



Ana Rita Fonseca Coelho
Licenciada em Biotecnologia

**Delineamento e Implementação do
Itinerário Técnico de Biofortificação em
Cálcio nos tubérculos de *Solanum
tuberosum* L. variedade *Agria***

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Tecnologias de Produção e Transformação Agro-Industrial

Orientador: Prof. Doutor Fernando José Cebola Lidon,
Professor Catedrático, FCT-NOVA
Co-orientador: Prof^a Doutora Maria Fernanda Guedes Pessoa,
Professora Auxiliar, FCT-NOVA
Co-orientador: Prof^a Doutora Maria Manuela Abreu da Silva,
GeoBiotec – Polo da FCT - NOVA

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Fernando Henrique da Silva Reboredo
Arguente: Doutora Paula Scotti Lorenzini Borges Campos Afonso
Vogal: Prof. Doutor Fernando José Cebola Lidon

Ana Rita Fonseca Coelho

Licenciada em Biotecnologia

**Delineamento e Implementação do
Itinerário Técnico de Biofortificação em
Cálcio nos tubérculos de *Solanum
tuberosum* L. variedade Agria**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Tecnologias de Produção e Transformação Agro-Industrial

Orientador: Prof. Doutor Fernando José Cebola Lidon,
Professor Catedrático, FCT-NOVA
Co-orientador: Prof^a Doutora Maria Fernanda Guedes Pessoa,
Professora Auxiliar, FCT-NOVA
Co-orientador: Prof^a Doutora Maria Manuela Abreu da Silva,
GeoBiotec – Polo da FCT/NOVA

‘Delineamento e Implementação do Itinerário Técnico de Biofortificação em Cálcio nos tubérculos de *Solanum tuberosum* L. variedade Agria’

Copyright © em nome de Ana Rita Fonseca Coelho, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, quero agradecer com muito carinho, respeito e admiração ao meu orientador, **Professor Doutor Fernando José Cebola Lidon** e co-orientadoras, **Professora Doutra Maria Fernanda Guedes Pessoa** e **Professora Doutora Maria Manuela Abreu da Silva**, por toda a disponibilidade demonstrada, amabilidade e apoio ao longo não só, da minha dissertação de mestrado, como em todo o mestrado.

A todos os professores do Departamento de Ciências da Terra, por toda a ajuda, disponibilidade e por todos os conhecimentos transmitidos. Um agradecimento especial à **Professora Maria Manuela Simões**, pelas palavras de incentivo e por todo o carinho demonstrado ao longo desta jornada.

A todo o pessoal não docente que sempre me acarinhou e me auxiliou no decorrer do meu percurso académico.

Ao Doutor Nuno Alvarenga e à Doutora Elsa Gonçalves do INIAV, pela simpatia demonstrada e pela prontidão e disponibilidade em esclarecer as minhas dúvidas.

Agradeço aos Engenheiros Nuno Cajão e António Gomes da Cooperativa Agrícola Louricoop por todo o apoio prestado e pela contribuição no decorrer deste trabalho.

Aos meus colegas de mestrado por terem percorrido esta etapa comigo e por todos os momentos partilhados. Um agradecimento especial à Isabel Pais, por todos os conselhos, afecto e amizade – Obrigada!

A todos os meus colegas de laboratório, pelas gargalhadas partilhadas e pelos bons momentos passados nas idas ao campo experimental. Um agradecimento especial às minhas meninas, que sem elas, não seria a mesma coisa! Obrigada pelo companheirismo.

À **minha família** e ao **meu namorado**, um enorme obrigada por todo o apoio, paciência, dedicação e por terem estado sempre a meu lado nos bons e menos bons momentos. Muito obrigada por sempre acreditarem nas minhas capacidades. É a vocês que devo tudo o que até hoje conquistei na vida. Um agradecimento especial, do fundo do meu coração, ao meu avô, **António Maria Fonseca**, por sempre me ter incentivado a subir mais um degrau na escada académica. És tudo, avô.

À minha avó, que sempre esteve a olhar por mim ✨

Resumo

O cálcio é o elemento mineral mais abundante do corpo humano e um dos três minerais essenciais ao funcionamento do mesmo, sendo necessário em quantidades relativamente elevadas. É imprescindível para a síntese e metabolismo do osso, mineralização dos dentes e para a regulação de processos intracelulares em diversos tecidos. Acresce que a deficiência de Ca pode promover uma baixa densidade e fragilidade óssea, podendo ainda determinar a evolução de patologias, nomeadamente a osteoporose e o raquitismo. A biofortificação em Ca é uma estratégia que promove o incremento de nutrientes em culturas alimentares, podendo fornecer a longo prazo um acréscimo da assimilação e acumulação de nutrientes no organismo humano enquanto consumidor. O objetivo principal deste trabalho consistiu no desenvolvimento de um itinerário técnico para a biofortificação em Ca de uma variedade de batata (Agria), no decurso do ciclo de produção de 2018. No campo experimental Moledo, localizado na região Oeste de Portugal (coordenadas GPS: 39° 16' 38,816'' N; 9° 15' 9,128'' O), seleccionou-se uma parcela com cerca de 20 x 20m, para subsequente implementação de um itinerário técnico de biofortificação em Ca e análise dos tubérculos, considerando ainda a acção de parâmetros adicionais associados à composição do solo e da água. Promoveu-se a adubação folhear das plantas ao longo do respectivo ciclo produtivo. Após a plantação, em 4/5/2018, efectuaram-se 4 aplicações folheares (6/7/2018, 16/7/2018, 26/7/2018 e 3/8/2018) com CaCl_2 (1, 3, 6 e 12 kg ha^{-1}) e $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (0,5, 1, 2, 4 kg ha^{-1}). Procedeu-se à monitorização de elementos minerais durante a fase intermédia do desenvolvimento das folhas e dos tubérculos. Constatou-se à colheita que o índice de biofortificação médio de Ca, na totalidade dos tubérculos variou entre 4,7 - 33%, e que considerando apenas a polpa dos tubérculos o índice oscilou entre 1,8 - 27,3%. Aponte-se ainda que, apesar de não se terem verificado diferenças significadas entre as aplicações com CaCl_2 e $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ nos tubérculos à colheita, se observou uma tendência para o aumento da concentração de Ca, com o aumento da concentração de CaCl_2 , em ambas as técnicas de quantificação. Paralelamente, procedeu-se à análise das características físicas, químicas e organolépticas e à análise dos índices colorimétricos dos tubérculos nos diferentes tratamentos. Também se verificou que o teor de sólidos solúveis totais foram mais elevados, e que considerando o efeito térmico sobre os tubérculos biofortificados, não substitiram alterações significativas. Conclui-se que, com a implementação do itinerário técnico descrito neste estudo, pode induzir-se a biofortificação dos tubérculos em Ca, não subsistindo alterações consideráveis no que diz respeito às características expectáveis do alimento.

Palavras - chave: Biofortificação em cálcio; Características físicas e organolépticas; Parâmetros colorimétricos; *Solanum tuberosum* variedade Agria.

Abstract

Calcium is the most abundant mineral element in the human body and one of the three minerals essential to its functioning and is required in relatively large quantities. It's essential for bone synthesis and metabolism, teeth mineralization and for the regulation of intracellular processes in various tissues. In addition, Ca deficiency may promote low bone density and fragility, and may also determine the evolution of pathologies, namely osteoporosis and rickets. Ca biofortification is a strategy that promotes nutrient enhancement in food crops and can in the long run provide increased nutrient uptake and accumulation in the human body as a consumer. This study aims to develop a technical itinerary for Ca biofortification of a potato variety (Agria) during the 2018 production cycle. In the experimental field Moledo (GPS coordinates: 39° 16' 38,816 " N; 9° 15 '9,128"O), located in the west of Portugal, a plot of about 20 x 20m was selected for subsequent implementation of a technical biofortification pathway in Ca and analysis of the tubers, also considering the action of additional parameters associated with soil and water composition. Fertilization of the plants was promoted throughout the respective production cycle. After planting on 4/5/2018, 4 leaf applications (6/7/2018, 16/7/2018, 7/26/2018 and 3/8/2018) were made with calcium chloride (1, 3, 6 and 12 kg ha⁻¹) and calcium nitrate (0.5, 1, 2, 4 kg ha⁻¹). Mineral elements were monitored during the intermediate phase of leaf and tuber development. The harvest showed that the average Ca biofortification index in all tubers varied between 4.7 – 33 %, and considering only the tuber pulp the index ranged from 1.8 to 27.3 %. It should be noted that, although there were no significant differences between the applications with calcium chloride and calcium nitrate at harvest, there was a tendency to increase Ca contents, with the increase of the concentration of calcium chloride, in both techniques of quantification. At the same time, the physical, chemical and organoleptic characteristics were analyzed and the colorimetric indexes of the tubers were analyzed in the different treatments. It was also found that the total soluble solids content was higher, and that considering the thermal effect on the biofortified tubers, no significant changes were substantiated. It is concluded that with the implementation of the technical itinerary described in this study, the biofortification of the tubers in Ca can be induced, with no significant changes regarding the expected characteristics of the food.

Key words: Calcium biofortification; Colorimetric parameters; Physical and organoleptic characteristics; *Solanum tuberosum* Agria variety.

Índice

Agradecimentos.....	III
Resumo.....	V
Abstract	VII
Índice.....	IX
Índice de Figuras	XI
Índice de Tabelas.....	XV
Capítulo 1 – Introdução e Objectivos.....	1
1.1- A batata a nível mundial.....	3
1.2- Aspetos botânicos e cultivo da batata.....	4
1.3- Aspetos nutricionais da batata.....	10
1.4- Variedade Agria	12
1.5- Necessidades alimentares no mundo.....	14
1.6- Deficiência de nutrientes	14
1.7- Suplementação, fortificação e biofortificação.....	16
1.8- A biofortificação	17
1.9- O Cálcio – elemento mineral essencial	21
1.10- Acumulação de nutrientes nas plantas.....	23
1.11- Absorção e acumulação de cálcio pelas plantas.....	24
1.12- Biofortificação de batata	26
1.13- Objectivo do trabalho.....	26
Capítulo 2 – Metodologia.....	29
2.1- Material Biológico.....	31
2.2 – Operações culturais efectuadas.....	31
2.3 – Recolha de amostras de solos	32
2.4 – Procedimentos analíticos	33
2.4.1- Humidade do solo e matéria orgânica	33
2.4.2- pH e condutividade elétrica do solo.....	33
2.4.3- Qualidade da água	33
2.4.4- Elementos minerais.....	34
2.4.5- Parâmetros colorimétricos	37
2.4.6- Sólidos solúveis totais	39
2.4.7- Tratamento térmico da polpa do tubérculo: características físicas e químicas e análise sensorial	39
2.4.8- Tratamento estatístico.....	41
Capítulo 3 – Delineamento e Implementação do Itinerário Técnico de Biofortificação em Cálcio na variedade Agria	43

3.1- Caracterização do Campo Experimental e Meteorologia Durante o Ciclo de Produção..	44
3.1.1- Caracterização dos Solos	44
3.1.2- Propriedades da água nos solos	52
3.1.3- Condicionantes Meteorológicas.....	55
3.1.3.1- Estação Meteorológica Base Aérea de Monte Real.....	55
3.1.4- Adubação e Fitossanidade	57
3.2- Caracterização física e química ao longo do ciclo de produção	65
3.2.1- Quantificação de Elementos Minerais.....	65
3.2.1.1- Folhas.....	65
3.2.1.2- Tubérculos	67
3.2.1.2.1- Monitorização Durante o Desenvolvimento Fenológico do Tubérculo.....	67
3.2.1.2.2- Definição do Índice de Biofortificação em Cálcio no Tubérculo e Interações Nutricionais.....	69
3.2.1.2.2.1- Quantificação por Fluorescência de Raios-X	69
3.2.1.2.2.2- Quantificação por Espectrofotometria de Absorção Atómica	70
3.2.2- Morfometria e Colorimetria dos Tubérculos.....	72
3.2.2.1- Altura, Diâmetro, Densidade e Peso Seco	72
3.2.2.2- Sólidos Solúveis Totais.....	75
3.2.2.3- Índices Colorimétricos.....	76
3.2.3- Características Físicas e Organolépticas	82
Capítulo 4 – Conclusões Finais.....	87
4.1- Conclusões finais.....	89
4.2-Perspetivas de trabalho futuro	90
Referências Bibliográficas	93
Anexos.....	105
Anexo I - Requisitos de Qualidade da Batata para Consumo Humano	107
Anexo II – Diagrama de Piper	111
Anexo III – Diagrama de Riverside.....	112
Anexo IV – Determinação Índice SAR	113
Anexo V – Índice de Saturação de Langelier (ISL).....	113

Índice de Figuras

Figura 1.1- Composição ao nível botânico da planta de batateira ^[a]	5
Figura 1.2- Ilustração das cinco fases de desenvolvimento da batata ^[b]	6
Figura 1.3- Geneviève Regnault De Nagis, placa botânica de uma batata, de ‘La Botanique Mise à la portée de tout le Monde’, 1774 (Smith, 2011).....	6
Figura 1.4 - Exemplo visual de uma batata com brotos ^[c]	8
Figura 1.5- Desenvolvimento da batata aos 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100 e 110 dias (Fonte: BASF, 2019 ^[23]).....	9
Figura 1.6- Ilustração da composição da batata crua (g/100g) e a sua distribuição energética (Fonte: PortFIR, 2019 ^[7]).....	10
Figura 1.7- Aspeto visual do tubérculo e da polpa da variedade Agria.....	12
Figura 2.1- Localização do campo experimental Moledo com delimitação do ensaio.....	31
Figura 2.2- Esquematização da recolha de amostras simples de solo no campo experimental (malha sistemática regular - padrão quadrado ou diamante).....	32
Figura 2.3- Imagem do analisador NITON (modelo XL3t 950 He GOLDD +) e esquema de funcionamento do analisador ^[d]	34
Figura 2.4- Diagrama de um espectrómetro de absorção atómica com chama ^[e]	35
Figura 2.5- Preparação das amostras para análise de fluorescência por aplicação de raios-X dos tubérculos do campo Moledo (variedade Agria), à colheita.....	36
Figura 2.6- Imagem do espectrofotómetro de Absorção Atómica modelo <i>Perkin Elmer AAnalyst 200</i> ^[f]	36
Figura 2.7- Imagem do colorímetro Minolta CR 300 (Minolta Corp., Ramsey, NJ, Estados Unidos).....	37
Figura 2.8- Imagem do colorímetro espectrofotométrico de varrimento (Agrosta, União Europeia).....	38
Figura 2.9- Imagem representativa da gama do espectro visível da luz ^[g]	38
Figura 2.10- Imagem do refractómetro digital Atago (Atago, Tóquio, Japão) ^[h]	39
Figura 2.11- Esquema do procedimento para as amostras de batata (cubos de batata).....	39
Figura 3.1- Campo experimental Moledo - produção de tubérculos de batateira da variedade Agria (39° 16' 38,816'' N; 9° 15' 9,128'' O).....	44

Figura 3.2- <i>Boxplot</i> da caracterização da condutividade dos solos colectados no campo experimental.....	45
Figura 3.3- Aspecto visual de uma amostra de solo do campo experimental Moledo.....	46
Figura 3.4- Localização geográfica das amostras de solo do campo experimental Moledo.....	49
Figura 3.5 - Espaço de cor Cielab e exemplo figurativo das coordenadas de uma maçã ^[i]	50
Figura 3.6- Temperaturas máxima e mínima diárias registada durante o ano de 2018 na estação meteorológica da Base Aérea de Monte Real. Assinalam-se os dias de aplicação dos tratamentos e colheita no campo experimental Moledo.....	56
Figura 3.7- Humidade máxima e mínima diária registada durante o ano de 2018 na estação meteorológica Base Aérea de Monte Real. Assinalam-se os dias de aplicação dos tratamentos e a colheita no campo experimental Moledo.....	56
Figura 3.8 - Precipitação acumulada diária durante o ano de 2018 na estação meteorológica Base Aérea de Monte Real. Na figura assinalam-se os dias de aplicação dos tratamentos e colheita no campo experimental Moledo.....	57
Figura 3.9- Visualização de alguns aspectos do ciclo produtivo da variedade Agria de batata no campo experimental Moledo (A- preparação do terreno – 18/5/2018; B- pleno desenvolvimento vegetativo – 23/6/2018; C- colheita – 4/9/2018).....	58
Figura 3.10- Ilustração figurativa da vantagem do uso do adubo ADP Nergetic 10-10-22 ^[j]	63
Figura 3.11- Aspecto visual dos tubérculos do campo Moledo (variedade Agria), no dia 4 de Setembro (à colheita).....	74
Figura 3.12- Aspecto visual das folhas dos tubérculos do campo Moledo (variedade Agria), no dia 25 de Julho de 2018 (após 2ºadubação foliar).....	77
Figura 3.13- Aspecto visual da polpa dos tubérculos do campo Moledo (variedade Agria), no dia 25 de Julho de 2018 (após 2ºadubação foliar).....	77
Figura 3.14- Aspecto visual da polpa dos tubérculos do campo Moledo (variedade Agria), no dia 4 de Setembro de 2018 (à colheita).....	78
Figura 3.15 - Média da transmitância colorimétrica (n = 3), na banda dos 450 – 650 nm, na polpa de tubérculos de <i>Solanum tuberosum</i> L. variedade Agria do campo Moledo em 4/9/2018 (à colheita)	81
Figura 3.16 – Representação da intensidade do espectro, demonstrando quais os comprimentos de onda que são geralmente mais intensos para o olho humano ^[k]	81
Figura 3.17- Perfil de temperatura para as amostras de batatas da variedade Agria (com os teores máximos de CaCl ₂ e Ca(NO ₃) ₂), do campo experimental Moledo.....	82
Figura 3.18- Representação do Sistema Munsell de ordenação de cores ^[l]	84
Figura 3.19- Exemplo dos perfis de textura das amostras ao longo do processamento térmico de cozimento. O gráfico é referente a amostras do controlo da variedade em estudo (Agria), sendo	

que as cores preto, azul escuro, vermelho, verde, azul claro, rosa, roxo e amarelo, representam
respetivamente os tempos (min) de 0, 5, 7,5, 10, 12,5, 15, 17,5 e 20.....84

Índice de Tabelas

Tabela 1.1- Produção de batatas incluindo sementes em 2015 (adaptado de: Eurostat, 2015 ^[2])....3	3
Tabela 1.2- Consumo humano anual de batata, no período de 2015-2018, em Portugal (adaptado de: INE, 2019 ^[4]).....4	4
Tabela 1.3- Composição nutricional de batata crua por 100g de parte edível (g- grama; kJ – kilojoule; kcal- quilocalorias; mg- miligrama e µg- micrograma) (adaptado de: PortFIR, 2019 ^[7]).....11	11
Tabela 1.4- Características sumárias da variedade Agria (adaptado de: NIVAP, 2011 ^[3] e de SEED, 2019 ^[10]).....13	13
Tabela 1.5- Resistência sumária de doenças da variedade Agria (adaptado de: NIVAP, 2011 ^[3] e de SEED, 2019 ^[10]).....13	13
Tabela 1.6- Recomendação de ingestão de cálcio, segundo diversas organizações (adaptado de: França <i>et al.</i> , 2014).....22	22
Tabela 3.1- Caracterização sumária dos solos (colectadas a uma profundidade entre 0-30 cm; 600-1000g) do campo experimental Moledo, em 27 de Março de 2018 (n = 16).....45	45
Tabela 3.2- Relação entre os níveis desejáveis de matéria orgânica e os teores de argila (adaptado de: Gonçalves, 2005).....46	46
Tabela 3.3- Classes de riqueza dos solos em matéria orgânica (adaptado de: Gonçalves, 2005)..47	47
Tabela 3.4- Classes de salinidade considerando o Método EC _e (Método de laboratório padrão para testes de condutividade eléctrica do solo, utilizando uma pasta saturada, não sendo preciso ajustar o solo à textura) e o Método EC _{1:1} (Método de teste de condutividade do solo utilizando uma proporção solo-água de 1:1, devendo ser ajustado para a textura do solo (adaptado de: Smith & Doran, 1996).....48	48
Tabela 3.5- A tolerância ao sal e o rendimento diminuem quando se ultrapassa o limite de condutividade eléctrica para a cultura da batata (adaptado de: Smith & Doran, 1996).....48	48
Tabela 3.6- Médias dos parâmetros colorimétricos Cielab (L – brilho, a* verde – vermelho e b* azul – amarelo). A 1ª Determinação foi registada após a determinação da percentagem de humidade, a 2ª determinação foi registada após determinação da percentagem da matéria orgânica. As letras a, b, c indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre os tratamentos (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de factor único, P ≤ 0,05).....49	49

Tabela 3.7- Diferenças dos parâmetros colorimétricos Cielab (L – brilho, a* verde – vermelho e b* azul – amarelo) entre a 2ª Determinação (registada após determinação da percentagem da matéria orgânica) e a 1ª determinação (registada após a determinação da percentagem de humidade).....	50
Tabela 3.8 – Quantificação de elementos minerais constituintes do solo (0-30 cm de profundidade) no campo experimental Moledo.....	51
Tabela 3.9 –Avaliação qualitativa da biodisponibilidade de cationes metálicos em solos não contaminados, em função do pH e do teor de matéria orgânica (adaptado de: Fairbrother <i>et al.</i> , 2007).....	52
Tabela 3.10 – Parâmetros físicos e químicos do campo experimental Moledo (recolha de amostras efectuada em 12/10/2018).....	53
Tabela 3.11 – Diretrizes para a interpretação da qualidade da água para irrigação (adaptado de: Ayers <i>et al.</i> , 1985) EC (condutividade elétrica) é uma medida da salinidade da água, a 25°C (dS m ⁻¹). SAR é a taxa de adsorção de sódio.....	54
Tabela 3.12 – Tolerância da cultura e potencial de produtividade sob a influencia da irrigação de água salina (EC _w – Condutividade elétrica da água) ou da salinidade do solo (EC _e – Condutividade elétrica do solo) (dS m ⁻¹) (adaptado de: Ayers & Westcot, 1985).....	55
Tabela 3.13 – Informação relativa à aplicação de fitofármacos e fertilizantes em todos os tratamentos, durante o ciclo de produção no campo Moledo.....	60
Tabela 3.14 – Teor médio (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em folhas de <i>Solanum tuberosum</i> L. variedade Agria do campo Moledo em 25/7/2018 (2ª Pulverização) e respectivo erro padrão. As letras a, b, c indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre os tratamentos (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de factor único, P ≤ 0,05).	66
Tabela 3.15 – Teor médio (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em tubérculos de <i>Solanum tuberosum</i> L. variedade Agria do campo Moledo em 25/7/2018 (2ª Pulverização) e respectivo erro padrão. As letras a, b, c indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre os tratamentos (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de factor único, P ≤ 0,05).	68
Tabela 3.16 – Teor médio (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial), por fluorescência por aplicação de raios-X, em tubérculos de <i>Solanum tuberosum</i> L. variedade Agria do campo Moledo em 4/9/2018 (à colheita) e respectivo erro padrão. As letras a, b, c indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre os tratamentos (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de factor único, P ≤ 0,05).	70

Tabela 3.17– Teor médio (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial), por espectrofotometria de absorção atômica, em tubérculos de *Solanum tuberosum* L. variedade Agria do campo Moledo em **4/9/2018 (à colheita)** e respectivo erro padrão. As letras a, b indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre os tratamentos (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de factor único, $P \leq 0,05$).71

Tabela 3.18– Média (n = 3) da altura e diâmetro de tubérculos de *Solanum tuberosum* L. Agria do campo Moledo em **25/7/2018 (após a 2ª adubação folhear)** e **4/9/2018 (à colheita)** e respectivo erro padrão. A letra a indica ausência de diferenças significativas de cada parâmetro entre os tratamentos de cada período temporal (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de factor único, $P \leq 0,05$).73

Tabela 3.19– Média (n = 3) da densidade e do peso seco de tubérculos de *Solanum tuberosum* L. variedade Agria do campo Moledo em **4/9/2018 (à colheita)** e respectivo erro padrão. As letras a, b indicam diferenças significativas de cada parâmetro entre os tratamentos (análise estatística de factor único, $P \leq 0,05$)74

Tabela 3.20- Média (n = 3) de sólidos solúveis totais de tubérculos de *Solanum tuberosum* L. variedade Agria do campo Moledo em em **4/9/2018 (à colheita)** e respectivo erro padrão. As letras a, b indicam diferenças significativas de cada parâmetro entre os tratamentos (análise estatística de factor único, $P \leq 0,05$).75

Tabela 3.21– Médias (n = 3) dos parâmetros colorimétricos Cielab (L – Luminosidade / brilho, a* verde – vermelho e b* azul – amarelo), utilizando o iluminante D₆₅, de folhas de *Solanum tuberosum* L. variedade Agria do campo Moledo em **25/7/2018 (após a 2ª adubação folhear)** e respectivo erro padrão. As letras a, b, c indicam diferenças significativas de cada parâmetro entre os tratamentos de cada período temporal (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de factor único, $P \leq 0,05$).76

Tabela 3.22– Médias (n = 3) dos parâmetros colorimétricos Cielab (L – Luminosidade / brilho, a* verde – vermelho e b* azul – amarelo), utilizando o iluminante D₆₅, da polpa de tubérculos de *Solanum tuberosum* L. variedade Agria do campo Moledo em **25/7/2018 (após a 2ª adubação folhear)** e respectivo erro padrão. As letras a, b indicam diferenças significativas de cada parâmetro entre os tratamentos de cada período temporal (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de factor único, $P \leq 0,05$).78

Tabela 3.23– Médias (n = 3) dos parâmetros colorimétricos Cielab (L – Luminosidade / brilho, a* verde – vermelho e b* azul – amarelo), utilizando o iluminante D₆₅, da polpa de tubérculos de *Solanum tuberosum* L. variedade Agria do campo Moledo em **4/9/2018 (à colheita)** e respectivo erro padrão. As letras a, b indicam diferenças significativas de cada parâmetro entre os

tratamentos de cada período temporal (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de factor único, $P \leq 0,05$).	79
Tabela 3.24 – Média da transmitância colorimétrica (n = 3), na banda dos 450 – 650 nm, na polpa de tubérculos de de <i>Solanum tuberosum</i> L. variedade Agria do campo Moledo em 4/9/2018 (à colheita) e respectivo erro padrão. A letra a indica ausência de diferenças significativas de cada parâmetro entre os tratamentos de cada comprimento de onda (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de factor único, $P \leq 0,05$).	80
Tabela 3.25 - Alterações colorimétricas para cada tratamento térmico, da variedade de batata Agria do campo experimental Moledo, considerando o controlo e os dois tratamentos obtidos com as pulverizações máximas de CaCl_2 e $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. Valores médios e respectivo erro padrão. As letras a, b indicam diferenças significativas de cada parâmetro entre os tratamentos (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de factor único, $P \leq 0,05$). Os parâmetros L, Chroma e Hue, traduzem a luminosidade / Brilho, pureza de cor e a tonalidade.....	83
Tabela 3.26 - Médias da fracturabilidade, trabalho força n° de picos, dureza e adesividade para cada tratamento térmico, da variedade de batata Agria, considerando o controlo e os dois tratamentos obtidos com as pulverizações máximas de CaCl_2 e $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. Valores médios e respectivo erro padrão. As letras a, b indicam diferenças significativas de cada parâmetro entre os tratamentos (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de factor único, $P \leq 0,05$). A vermelho assinalam-se as diferenças significativas.....	85

Capítulo 1 – Introdução e Objectivos

1.1- A batata a nível mundial

Actualmente a desnutrição está largamente associada a carências financeiras e que, conseqüentemente, envolvem dietas onde predomina o consumo dos cereais, raízes e tubérculos ricos em amido (FAO, 2000). De facto, nomeadamente no continente Asiático, há países em que as calorias diárias consumidas por pessoa têm origem em 80% do consumo deste tipo de alimentos (Johns & Eyzaguirre, 2007).

O consumo de batata ter-se-á iniciado nas montanhas dos Andes da América do Sul, nos tempos pré-colombianos, sendo actualmente uma cultura de sucesso a nível mundial (Smith, 2011).

O setor associado à produção de batata, a nível mundial, está encontrando grandes alterações. Até aos anos 90 a maioria da batata era produzida e consumida na Europa, Norte da América e pelos países pertencentes à antiga União Soviética. Desde então, ocorreu um drástico aumento da produção e procura por batata na Ásia, África e América Latina, atingindo mais de 165 milhões de toneladas de produção em 2007 ^[1].

Segundo dados da Eurostat, em 2015, cerca de 53 milhões de toneladas de batata foram produzidas na União Europeia. Destas, cerca de 20% da produção correspondia à Alemanha, seguindo-se a França e os Países Baixos, ambos com 13%, a Polónia com 12% e o Reino Unido com 11% (**Tabela 1.1**). A produção destes cinco países, ultrapassa dois terços da produção total de batatas da União Europeia ^[2].

Tabela 1.1- Produção de batatas incluindo sementes em 2015 (adaptado de: Eurostat, 2015^[2]).

País	Produção (1000 toneladas)	Percentagem da produção dos EU-28 (%)
<i>EU-28</i>	<i>53 160</i>	<i>100</i>
Alemanha	10 370	19.5
França	7 114	13.4
Países Baixos	6 652	12.5
Polónia	6 152	11.6
Reino Unido	5 598	10.5
Portugal	487	0.9

Num futuro próximo, o sector mundial de produção de batata deverá estar apto para lidar com diversos fatores, nomeadamente, com as alterações nas dietas alimentares dos consumidores, a crescente tendência para a comida pronta a consumir e com a adoção de um estilo de vida mais saudável. Como tal, os produtores de batata enfrentam cada vez mais, e de forma persistente, o

desafio para encontrarem respostas para estas vicissitudes, comercializando novas variedades que possam satisfazer as novas preferências dos consumidores ^[3].

Em Portugal, segundo dados do Instituto Nacional de Estatística ^[4], desde 2015 tem-se observado um aumento considerável do consumo de batata pelo ser humano (**Tabela 1.2**).

Tabela 1.2- Consumo humano anual de batata, no período de 2015-2018, em Portugal (adaptado de: INE, 2019 ^[4]).

Período de referência dos dados	Consumo humano anual de batata
2017/2018	996 000
2016/2017	967 000
2015/2016	958 000

1.2- Aspectos botânicos e cultivo da batata

A batateira (*Solanum tuberosum* L.) é uma espécie herbácea anual. É uma planta que produz um tubérculo rico em amido, sendo apontada como a quarta cultura alimentar mais importante do mundo, após a cultura do milho, do trigo e do arroz. Pertence à família *Solanaceae*, ao género *Solanum*, no qual também se incluem o tomate e beringela. A espécie *S. tuberosum* engloba duas subespécies: *andigena* (adaptada às condições de dia curto e é sobretudo cultivada nos Andes) e a *tuberosum* (cultivada em todo o mundo, acreditando-se ser derivada de batateiras andigenas que se adaptaram a dias mais longos) ^[1].

É uma planta que pode desenvolver-se até atingir cerca de 100 cm de altura ^[1]. Considerada uma dicotiledónea perene, com capacidade reprodutiva por meio dos tubérculos. Aquando da floração, tem início a formação de tubérculos, que surgem na porção subterrânea do caule. A formação e o número de tubérculos pode ser afetada por ação da temperatura, humidade, fotoperíodo e síntese de glícidos (Gould, 1999).

Considerando os aspectos botânicos, para além de ser uma herbácea, é uma planta que apresenta um porte ereto, aberto e decumbente. Possui folhas simples, profundamente recordadas (lóbulos), apresentando semelhanças a folhas compostas. O caule pode ser quadrangular, triangular ou redondo e apresenta-se geralmente com uma coloração verde, podendo existir uma pigmentação avermelhada ou escura (Horton, 1987). A parte subterrânea do caule é formada por estolões, que nas suas extremidades dão origem aos tubérculos (**Figura 1.1**).

As raízes provenientes de sementes botânicas da radícula do embrião, constituem as “raízes verdadeiras”, enquanto que as provenientes dos tubérculos são chamadas de brotos, ou seja, raízes adventícias (Horton, 1987).

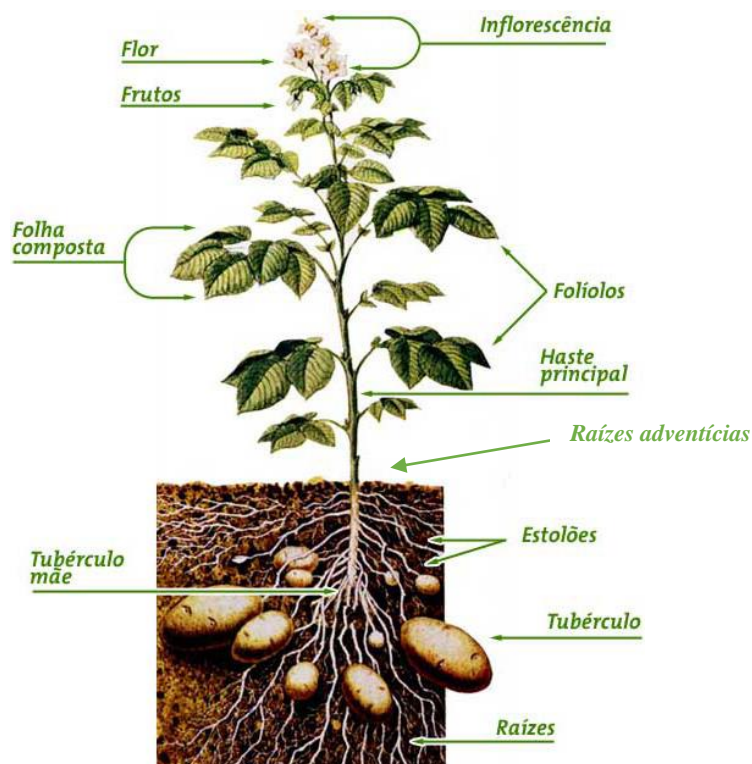


Figura 1.1- Composição ao nível botânico da planta de batateira ^[a].

A absorção de nutrientes nos tubérculos é diferente nas várias fases de crescimento (Zhang *et al.*, 2019). Neste contexto, o ciclo fenológico da batateira pode ser sumariamente dividido em cinco etapas / fases (**Figura 1.2**):

1. **Abrolhamento à pré-emergência (I)**: quando as condições ambientais são ideais à pré-emergência. É um período que dura de três a seis dias. Nesta fase, os brotos desenvolvem-se a partir dos olhos e começam a emergir do solo, enquanto as raízes começam a desenvolver-se;

2. **Crescimento vegetativo (II)**: dura cerca de 15 a 30 dias, dependendo da cultivar e das condições ambientais. A parte aérea forma-se quanto as raízes e os estolões se desenvolvem;

3. **Início da tuberização (III)**: esta etapa dura cerca de 10 a 15 dias. Inicia-se com a formação dos tubérculos nas extremidades dos estolões, como resultado do armazenamento dos fotoassimilados na forma de amido.

4. **Crescimento dos tubérculos (IV)**: ocorre quando finaliza o desenvolvimento da folhagem enquanto a maioria do amido é armazenado rapidamente, aumentando as dimensões dos tubérculos.

5. **Maturação (V)**: nesta última fase, todos os fotoassimilados são direcionados para os tubérculos e a matéria seca acumulada atinge o nível máximo. As folhas ficam amareladas, até a parte aérea secar totalmente e a película dos tubérculos se torna mais firme ^[5].



Figura 1.2- Ilustração das cinco fases de desenvolvimento da batata ^[b].

A cultura da batata é um sucesso a nível mundial devido à sua capacidade para prosperar em elevadas altitudes e climas áridos, onde outras culturas base, como o caso do arroz, trigo e milho, não se conseguem desenvolver. Tal verifica-se, porque a batateira possui uma estação para crescimento favorável bastante curta, e requer pouco esforço tanto para cultivar como para colher (Smith, 2011).

Uma única planta de batateira é capaz de produzir, em média, 2 kg de batata, porém a produtividade pode ser muito maior. O *Guinness World Records* creditou o inglês Eric Jenkins, pelo cultivo de mais de 168 kg de batata produzido por uma única planta, em 1974 (Smith, 2011).

A popularidade da batata foi ganhando terreno devido essencialmente à sua versatilidade culinária. É um alimento de baixo custo, facilmente transportável e que se mantém em excelentes condições durante meses, quando armazenada de forma adequada. É um alimento de baixo custo e adaptável a uma variedade de pratos (Smith, 2011).

Durante 400 anos, a batata foi o alimento chave para colmatar a fome no mundo e agradou ao paladar dos consumidores (**Figura 1.3**).



Figura 1.3- Geneviève Regnault De Nagis, placa botânica de uma batata, de 'La Botanique Mise à la portée de tout le Monde', 1774 (Smith, 2011).

Embora exista cultivo de batata em todo o mundo, a sua cultura difere consoante o local de produção. Porém, as batateiras apresentam um melhor crescimento, quando cultivadas em clima relativamente frio e húmido, com solos leves (Gould, 1999). Requer, aquando da plantação da cultura, uma temperatura média entre 10 – 30 °C, considerando-se os 18 - 20 °C a temperatura ideal para obtenção de uma produção elevada ^[6].

A produção de batata pode ocorrer ao longo do ano, existindo dois períodos de colheita que se consideram mais importantes: março / abril e julho / agosto. No período de colheita de março / abril, o produto é designado como “batata primor”, devido ao carácter de primícia. No período de colheita de julho / agosto, a batata é conhecida como de conservação (devido ao grande poder de conservação que o completo amadurecimento lhe confere) ^[6].

A fertilização é uma prática chave para a obtenção de melhores resultados no rendimento das culturas e na qualidade da batata, utilizando-se usualmente adubações NPK, ou seja, com Azoto, Fosforo e Potássio, ainda que com aplicação de diferentes concentrações face à composição do solo. O N é importante para a produção de plantas saudáveis e deve estar disponível durante todo o crescimento da batata. Contudo, caso haja um fornecimento excessivo de N, poderão evoluir tubérculos mais pequenos e atrasar-se-á a colheita, existindo ainda a possibilidade de “rachaduras” nos tubérculos. O P é necessário para estimular a semente e o desenvolvimento adequado das raízes, a par do crescimento do caule, sendo que no início da floração estimula a formação das sementes. O K promove o crescimento das raízes, mantendo a planta na posição vertical, sendo ainda essencial para a translocação de açúcares (Gould, 1999).

Aquando da seleção da variedade a ser semeada, para além da adaptabilidade climática, dever-se-ão considerar as características agrícolas da mesma, nomeadamente: maturação; tubérculos (formato, cor da pele e polpa, dimensão, profundidade dos olhos); rendimento (de uma cultura madura); teor de matéria seca; qualidade de consumo (comportamento quando confecionada e cor após confecção); desenvolvimento de folhagem e resistência a vírus (do enrolamento da folha da batateira, A,X, e Yn), ao míldio, aos nemátodos quísticos, à sarna de batateira e à pisadura interna. As características morfológicas: características da planta (dimensão das folhas e inflorescência), do tubérculo (formato, cor da polpa e da pele) e do rebento (formato, cor e a pubescência) ^[3].

As variedades que melhor se adaptam à região do Vale do Tejo são a: Monalisa, Vivaldi, Asterix e Agria ^[6].

Durante o ciclo fenológico das batateiras, o CO₂ atmosférico e a água do solo, combinam-se na planta verde quando expostas à luz solar para sintetizar açúcares simples (açúcares redutores, ou seja, glicose e frutose) através do metabolismo fotossintético. Os açúcares simples, ao estabelecerem reacções glicosídicas, podem sintetizar sacarose. A sacarose é depois translocada do caule aéreo para o caule subterrâneo (*i.e.*, tubérculo). No caule subterrâneo a sacarose mediante isomerização e polimerização origina amido que é então acumulado (Gould, 1999).

Salienta-se que todo o processo de redução de açúcares para sacarose, e da sacarose para amido, pode ser revertido durante a respiração. Esta pode ser excessiva sob condições de *stress*, nomeadamente falta de água, temperaturas muito altas ou muito baixas, excesso de água, desequilíbrios com fertilizante, danos causados por insetos, doenças ou secas, entre outros (Gould, 1999).

À medida que a batateira se desenvolve as hastes subterrâneas (ou estolões), engrossam para formar até 20 tubérculos perto da superfície do solo ^[1]. A acumulação de sólidos totais (amido e outros glícidos, aminoácidos e proteínas, gorduras, minerais e vitaminas) é determinado pelo crescimento e estado fitossanitário da planta (Gould, 1999). O número de tubérculos que realmente atingem a maturidade depende da humidade disponível e dos nutrientes do solo ^[1].

No final da estação de crescimento, as folhas e caules da planta fenecem e os novos tubérculos desprendem-se dos seus estolões. Os tubérculos servem então como um depósito de nutrientes que permite que a planta sobreviva ao frio, podendo mais tarde regredir e reproduzir-se. Cada tubérculo tem de dois a 10 botões (ou "olhos"), dispostos segundo um padrão espiral em torno de sua superfície. Os botões geram brotos (**Figura 1.4**) que originam novas plantas quando as condições são novamente favoráveis ^[1].

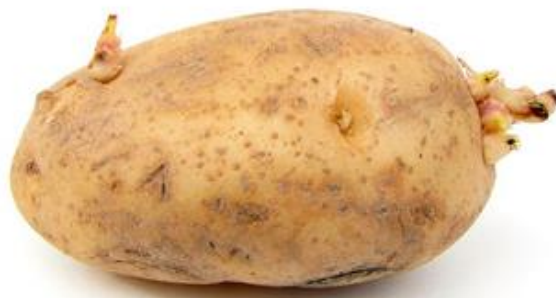


Figura 1.4 - Exemplo visual de uma batata com brotos ^[c].

Consideram-se tubérculos maduros, aqueles que são originários de campos onde as plantas feneceram, o que faz com que a epiderme dos tubérculos endureça (**Figura 1.5**). Quando se pretende efectuar o armazenamento de batatas estas devem encontrar-se maduras. A maturidade pode ser determinada pela quantidade de sacarose no tubérculo. Por exemplo, a sacarose ou a monitorização da maturidade química, deve ser de 1% ou menos se o objetivo é armazenar tubérculos para o mercado das “*chips*” (Gould, 1999).

A colheita deve ocorrer quando a sacarose se encontrar abaixo de 1,5 %, e durante o armazenamento das batatas, o nível de sacarose deve permanecer estável ou decrescer (Gould, 1999). Aquando da colheita, os tubérculos podem variar em forma e tamanho, e normalmente pesam até 300 g cada, dependendo da variedade ^[1].



Figura 1.5- Desenvolvimento da batata aos 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100 e 110 dias (Fonte: BASF, 2019 ^[23]).

No plano legislativo em Portugal, o Decreto-Lei nº14/2016 publicado em Diário da República, estabelece o regime jurídico da batata para consumo humano e da batata-semente, transpondo a Diretiva n.º 2002/56/CE, do Conselho, de 13 de junho de 2002, e as Diretivas de Execução nº 2013/63/UE, da Comissão, de 17 de dezembro de 2013, 2014/20/UE, da Comissão, de 6 de fevereiro de 2014, e 2014/21/UE, da Comissão, de 6 de fevereiro de 2014. O objectivo do decreto-lei centra-se no estabelecimento das denominações, requisitos de qualidade, regras de rotulagem e formas de acondicionamento a que deve obedecer o tubérculo para consumo humano da *Solanum tuberosum* L. e respectivos híbridos, destinado à comercialização e consumo no estado fresco, assim como o respetivo regime sancionatório, como também as normas relativas à produção, controlo, certificação e comercialização da batata-semente.

Salienta-se que no Artigo 3º do Capítulo II, se encontram explicitados os parâmetros a considerar para a batata de consumo, nomeadamente os requisitos de qualidade (**Anexo I**) e os limites de defeitos admitidos (nas tolerâncias de qualidade). Presente no Artigo 5º do mesmo capítulo, encontram-se descritas as denominações comerciais (batata primor, batata nova e batata de conservação), de acordo com o grau de maturação e o tempo de armazenamento. Considera-se como batata primor, quando é colhida antes da sua completa maturação fisiológica, sendo então comercializada imediatamente após o seu arranque e cuja pele se retira por simples fricção (excluindo-se a batata primor destinada à transformação industrial). É denominada como batata nova, quando é colhida após a sua completa maturação fisiológica e comercializada no mês imediato à sua colheita (armazenada e / ou conservada de forma apropriada). Caso seja armazenada e / ou conservada por um período mais ou menos prolongado e se verifica apta para ser comercializada, sem perdas das suas qualidades organoléticas, é denominada de batata de conservação (DL-nº14/2016).

1.3- Aspectos nutricionais da batata

Os tubérculos de *Solanum tuberosum* L. fornecem quantidades significativas de glícidos, K e ácido ascórbico na dieta humana. A maior parte do conteúdo em glícidos corresponde a amido, (cerca de 60 - 80% da matéria seca), que se encontra acondicionado em grânulos nos compartimentos celulares do parênquima (Romano *et al.*, 2018).

A composição e quantidade de nutrientes armazenados nos tubérculos encontram-se dependentes da temperatura e humidade da estação de crescimento, dos elementos de solo e nutrientes presentes no mesmo, assim como da composição genética da cultivar ou variedade. A composição química destes tubérculos é bastante importante e um aspeto determinante para os produtores de batata (Gould, 1999).

Na **Figura 1.6** apresenta-se a composição da generalidade das batatas em cru e a sua distribuição energética ^[7].

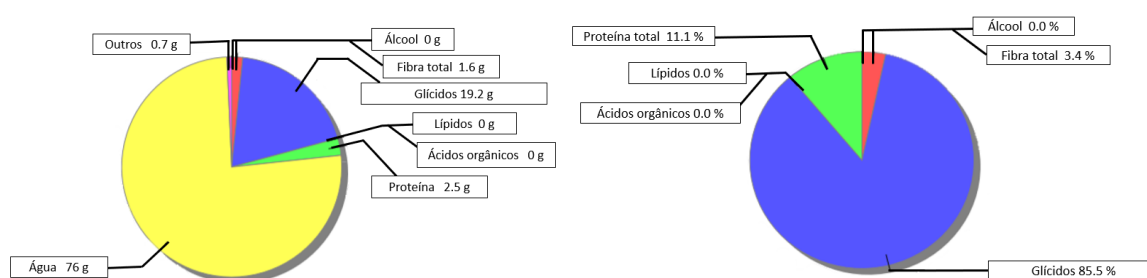


Figura 1.6- Ilustração da composição da batata crua (g/100g) e a sua distribuição energética (Fonte: PortFIR, 2019 ^[7]).

O conteúdo nutricional da batata é um aspeto a considerar, visto constituir uma boa fonte de vitaminas C e B₆, e de minerais como o ferro, potássio e zinco. Não contém gordura ou colesterol e caso se consuma a batata com pele, esta apresenta-se como uma excelente fonte de fibra (Smith, 2011). A batata crua possui 87 % de parte edível ^[7] e aproximadamente 80 % em peso do teor em glícidos da batata é amido, predominando amilopectina (75-95 %) e amilose (21-25 %) (Gould, 1999).

Na **Tabela 1.3** encontra-se indicada composição nutricional por 100 g de parte edível da batata.

Tabela 1.3- Composição nutricional de batata crua por 100g de parte edível (g- grama; kJ – kilojoule; kcal- quilocalorias; mg- miligrama e µg- micrograma) (adaptado de: PortFIR, 2019^[7]).

	Nome		Valor
Valor Energético	Energia, total metabolizável		90 kcal /382 kJ
Macroconstituintes	Lípidos	Ácidos gordos: totais saturados, monosaturados, polinsaturados, trans e 18:2 n-6 cis, cis.	0 g
	Glícidos	Disponível, expresso como equivalentes de monossacarídeos	21.1 g
		Açúcares, totais	1.2 g
		Sacarose	0.6 g
		Lactose	0 g
		Oligossacáridos, disponíveis	0 g
		Amido, total	18 g
	Sal		0g
	Fibra		1.6 g
	Proteína total		2.5 g
	Álcool		0 g
	Água		76 g
	Ácidos orgânicos totais		0 g
	Colesterol		0 mg
Vitaminas	Vitamina A		0 µg
	Vitamina D		0 µg
	Alfa-tocoferol		0.06 mg
	Tiamina		0.21 mg
	Riboflavina		0.02 mg
	Niacina, pré formada		1.4 mg
	Equivalentes de niacina, total		2 mg
	Equivalentes de niacina do triptofano		0.6 mg
	Vitamina B6, total		0.44 mg
	Vitamina B12		0 µg
	Vitamina C		14 mg
Minerais	Folato		35 µg
	Cinzas		0.74 g
	Sódio		9 mg
	Potássio		450 mg
	Cálcio		9 mg
	Fósforo		42 mg
	Magnésio		13m mg
	Ferro, total		0.2 mg
Zinco		0.2 mg	

Com o decorrer dos anos, a indústria do amido extraído a partir da batata, deixou de ser sazonal e passou à condição de transformadora permanente. Contudo, a par da obtenção do maior rendimento possível de amido por hectare, a manutenção da qualidade tornou-se particularmente relevante. Como tal, a indústria começou a preferir variedades, principalmente com resistência ao míldio e aos nemátodos ^[3].

1.4- Variedade Agria

Uma das variedades mais comercializadas de batata em Portugal é a Agria (**Figura 1.7**). É uma variedade de alto rendimento e que apresenta uma maturação semi-tardia ou semi-precose (**Tabela 1.4**)^[8,9].

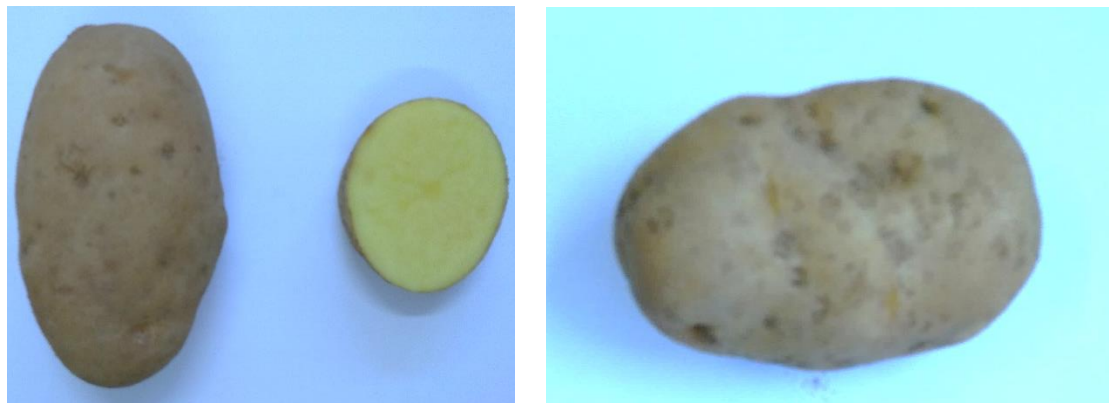


Figura 1.7- Aspeto visual do tubérculo e da polpa da variedade Agria.

Apresenta um elevado potencial ao nível da absorção de nutrientes sendo, portanto, aconselhável uma diminuição do fornecimento de N (cerca de 30%) em comparação a variedades que apresentem rendimentos semelhantes. É importante ter em conta que uma aplicação tardia de N pode colocar em risco a qualidade dos tubérculos aquando do processamento e armazenamento^[10].

Esta variedade apresenta uma dormência acentuada, sendo necessário que as sementes sejam pré-germinadas. É adequada para diversos usos ao nível culinário, nomeadamente “*French Fries*” (batatas fritas – aguentando um longo tempo de fritura sem escurecimento), “*Crips/Chips*”, produtos desidratados, processamento (amido / flocos), uso de mesa, entre outros^[8,10].

É sensível ao míldio da folhagem e pouco sensível ao do tubérculo^[11]. Os tubérculos apresentam alguma resistência a contusões e rachaduras. Alguns ensaios realizados verificaram uma boa resistência ao vírus *leafroll* de batata e ao vírus Yo da batata^[8]. A variedade Agria possui baixa resistência ao *blackleg* e os testes de resistência ao nematóide de quisto da batateira demonstraram resistência à *Globodera rostochiensis* Ro1 e suscetibilidade à *Globodera pallida* Pa 2/3, 1 (**Tabela 1.5**)^[8].

Tabela 1.4- Características sumárias da variedade Agria (adaptado de: NIVAP, 2011^[3] e de SEED, 2019^[10]).

Características	Variedade Agria
Maturação	Semi- tardia
Dormência	Longa
Desenvolvimento da folhagem	Boa
Cor da casca	Amarela
Cor da polpa	Amarela
Forma dos tubérculos	Oval a oval alongada
Calibre	Grande e regular
Qualidade da pele	Poderá apresentar alguma rugosidade
Sensibilidade a defeitos internos	Média
Sensibilidade a danos mecânicos	Média
Profundidade dos olhos/botões	Superficiais
Tamanho dos tubérculos	Grande
Rendimento	Muito alto
Teor em matéria seca	Bom
Descoloração após cozadura	Baixa
Cor em Frito	Muito Boa
Tipo culinário	B – Bastante consistente
Própria para	Batatas fritas
Armazenamento	Bom

Tabela 1.5- Resistência sumária de doenças da variedade Agria (adaptado de: NIVAP, 2011^[3] e de SEED, 2019^[10]).

Resistência a:	Variedade Agria
Virús do enrolamento	Moderadamente resistente
Virus A	Muito boa resistência
Virus X	Resistente
Virus Yn	Boa resistência
Vírus PLRV	Moderadamente /boa resistência
Míldio tubérculo	Moderadamente resistente
Rhizoctonia	Muito boa resistência
Phytophthora das folhas	Moderadamente/bastante suscetível
Phytophthora dos tubérculos	Boa/bastante resistência
Nemátode de cisto Ro1	Resistente
Sarna comum	Moderadamente resistente
Enegrecimento por impacto	Moderadamente resistente

1.5- Necessidades alimentares no mundo

Actualmente subsiste uma enorme pressão sobre a manutenção da alimentação mundial, face à perspectiva de um aumento de crescimento populacional de 7.6 mil milhões em 2017 para 8.6 mil milhões em 2030 e 9,8 mil milhões em 2050, sendo imperativo existir uma sustentável produção de alimentos (Lockyer *et al.*, 2018). Para alimentar a futura população mundial estimada para 2050, a produção de alimentos deve aumentar em 70 % (Pataco *et al.*, 2015).

Em pleno séc. XXI, ainda prevalece uma notória desigualdade global na prática de uma dieta adequada, verificando-se inacessível em determinadas partes do globo. Os últimos dados sugerem que, em todo o planeta, 462 milhões de adultos se encontram abaixo do peso considerado ideal e 45 % dos óbitos entre crianças com idade inferior a 5 anos se encontram associados à desnutrição (Lockyer *et al.*, 2018).

Um dos objetivos para um desenvolvimento sustentável, tal como preconizam as Nações Unidas, para 2030, é acabar com a fome em todas as suas formas (Lockyer *et al.*, 2018), tornando-se necessária a implementação de abordagens tecnológicas e institucionais para aumentar a disponibilidade de alimentos. Como tal, é indispensável o apoio conjunto da gestão e da conservação dos recursos naturais básicos, para possibilitar uma produção sustentável de alimentos, bem como alterações nos ambientes políticos, sociais e económicos relacionados com a segurança alimentar dos alimentos produzidos (Johns & Eyzaguirre, 2007).

O ser humano para manter o seu bem-estar e saúde necessita de, pelo menos, 22 elementos minerais, que podem ser fornecidos por uma dieta apropriada e equilibrada (White & Broadley, 2009; Gomez-Coronado *et al.*, 2019). Os nutrientes essenciais conhecidos por sustentar a vida humana são o Na, K, Ca, Mg, S, P e o Cl (macro-elementos), e o Fe, Zn, Cu, Mn, I, F, B, Se, Mo, Ni, Cr, V, Si, Sn e o Co (micro-elementos) (Welch & Graham, 2004; Gomez-Coronado *et al.*, 2019).

1.6- Deficiência de nutrientes

As deficiências nutricionais surgem muito nos países em desenvolvimento devido à pobreza, situação que promove uma alimentação centrada em alimentos base, predominantemente com carácter amiláceo. Usualmente não existe orçamento familiar que possibilite a compra de outros alimentos para a prática de uma dieta saudável, como é o caso de alimentos ricos em proteínas, alimentos lácteos, frutas e legumes, praticando-se uma dieta de baixa qualidade e variedade (Lockyer *et al.*, 2018). Aponte-se que a desnutrição em nutrientes é um problema que merece enorme importância, principalmente nas populações destes países (Johns & Eyzaguirre, 2007).

Contudo, a Organização Mundial de Saúde (OMS) refere que a deficiência de nutrientes (principalmente em micronutrientes) não se restringe apenas aos países em desenvolvimento, mas também subsiste nos países desenvolvidos (Oliveira *et al.*, 2015).

Os micronutrientes apresentam funções diversas no corpo humano e, como tal, baixa ingestão ou ingestão inadequada podem apresentar efeitos biológicos negativos, nomeadamente, crescimento deficiente, problemas cognitivos e aumento de morbidade e mortalidade dependendo do micronutriente em déficit. Em diversos casos, as deficiências nutricionais são generalizadas e muitas das vezes denominadas de “fome oculta” (Lockyer *et al.*, 2018). Possui esta denominação pois muitos dos sintomas das deficiências de micronutrientes não são observáveis, como por exemplo, um menor QI ou menor resistência a doenças e fadiga ^[12].

Estima-se que aproximadamente 2 mil milhões de pessoas, ou um em cada três indivíduos, sofram de desnutrição em todo o mundo (FAO *et al.*, 2015). Enfrentando um déficit médio diário de 200-300 kcal / pessoa / dia numa dieta onde predomina os cereais, raízes e tubérculos ricos em amido, ou seja, com pouca densidade (FAO, 2000), não obtendo vitaminas e minerais suficientes para o normal funcionamento fisiológico (Lockyer *et al.*, 2018).

Nos seres humanos, a desnutrição envolvendo deficiências num ou mais nutrientes, é usualmente causada pela carência de nutrientes nos solos e, como consequência, as culturas de base apresentam um teor insuficiente de nutrientes (Mao *et al.*, 2014).

Aponte-se que a maioria dos distúrbios que ocorrem por falta ou deficiência de nutrientes podem ser revertidos com a provisão dos nutrientes em déficit, contudo subsistem alguns distúrbios que podem induzir consequências irreversíveis ao longo da vida (Lockyer *et al.*, 2018).

Cerca de 30 % da população mundial apresenta défices de minerais como a vitamina A, Zn, I, Fe, Se e ácido fólico. Estas deficiências minerais induzem baixo peso estimando-se que promovem cerca de 3,7 milhões de óbitos por ano (Pataco *et al.*, 2015).

A maior preocupação, adoptando uma perspectiva de saúde pública, são as deficiências em vitamina A e nos elementos minerais Zn, I e Fe (Lockyer *et al.*, 2018). Estes micronutrientes são apenas requeridos pelo corpo em quantidades pequenas, contudo são essenciais para uma boa saúde e prevenção de doenças ^[12]. Prevalecem as consequências para a saúde, relativamente à deficiência destes elementos, principalmente em mulheres grávidas e crianças de idade igual ou inferior a 5 anos, devido às necessidades infantis e fetais de crescimento e desenvolvimento (Lockyer *et al.*, 2018).

A chave para atacar a fome, a pobreza e melhorar o estado de saúde nos países com menos desenvolvimento, onde reside a maioria das pessoas desnutridas, passa não só pelo aumento da

produtividade como também pelo maior acesso a alimentos nutritivos (Johns & Eyzaguirre, 2007).

É importante constatar que a diminuição da diversidade alimentar causada, tanto pela pobreza como pelas mudanças ambientais (onde se inclui a erosão da biodiversidade), é um fator subjacente da desnutrição (Kennedy *et al.*, 2003). No entanto tem-se verificado que mesmo em economias ricas, ou que se encontram numa fase de rápido desenvolvimento, ocorre um fenómeno de redução da diversidade alimentar em prol de dietas de elevada energia menos complexas. Tal, contribui para uma epidemia global de doenças não transmissíveis, nomeadamente diabetes, obesidade e doenças cardíacas, evidenciando-se uma crescente “dissipação” geral destas doenças (Johns & Eyzaguirre, 2007).

O Fe, Zn, Cu, Ca, Mg, Se e o I são considerados os sete elementos minerais dos quais as dietas humanas são mais desprovidas. As deficiências em Ca, Mg e Cu são ainda muito comuns ao nível mundial (White & Broadley, 2009).

Nas últimas décadas, os programas de melhoramento de plantas focaram-se essencialmente no aumento da produtividade e rendimento. Entre outras características essenciais, houve a priorização da seleção de variedades resistentes a doenças, considerando-se a altura da planta, a biomassa e o índice de colheita. Contudo, não só o aumento ao nível da produtividade, é essencial para alimentar a crescente população, como se torna importante a composição nutricional dos alimentos básicos, nomeadamente a qualidade de nutrientes e proteínas (Lidon *et al.*, 2018).

1.7- Suplementação, fortificação e biofortificação

A carência de um ou mais elementos minerais essenciais pode ser remediado através da diversificação da dieta, suplementação mineral, fortificação de alimentos ou aumento das concentrações e / ou biodisponibilidade (*i.e.*, envolvendo biodigestibilidade e bioassimilação) de elementos minerais na produção (biofortificação) (White & Broadley, 2009).

Numa perspetiva a longo prazo, aumentar a produção de alimentos que sejam ricos em nutrientes e melhorar a diversidade alimentar, irá diminuir significativamente o défice em nutrientes no organismo humano. No entanto, a curto prazo, o consumo de alimentos biofortificados pode auxiliar no combate às deficiências de nutrientes, visto aumentar a ingestão diária de nutrientes dos indivíduos (Bouis & Saltzman, 2017).

A suplementação é uma das frentes utilizada para lidar com a deficiência, principalmente de micronutrientes. A *Iniciativa Global para a Vitamina A*, iniciada em 1998, é um exemplo de suplementação que preveniu nos anos seguintes, cerca de 1,25 milhões de mortes em 40 países.

(WHO - *World Health Organization*, 2018). Estes programas de suplementação podem ser executados rapidamente e com baixos custos numa determinada região, onde existe a necessidade de fornecer elevadas doses de um determinado nutriente (Lockyer *et al.*, 2018).

Ao nível da fortificação podemos tomar como exemplo a China, que em regiões de solo pobres em Se, o sal fortificado com esse elemento mineral tem sido utilizado para prevenção da doença de Keshan (condição cardíaca causada pela baixa ingestão de Se aliada à exposição a um vírus) (Lockyer *et al.*, 2018). Recentemente, em 2016, sessenta e um países utilizavam farinha de trigo fortificada com ácido fólico, com o intuito de prevenir defeitos do tubo neural fetal durante a gravidez (Lockyer *et al.*, 2018).

A fortificação de alimentos, comparativamente à suplementação, usualmente necessita de um período mais longo para ser implementada num país, visto carecerem de mudanças na política e na produção de alimentos. Acresce que neste caso se torna necessária a realização de uma análise de risco / benefício devido a possíveis problemas de toxicidade (Lockyer *et al.*, 2018).

Aponte-se que nenhuma abordagem única irá reduzir, ou combater, os défices em nutrientes. No caso da biofortificação, esta é uma intervenção acessória que complementa outras já existentes, nomeadamente a suplementação e a fortificação industrial de alimentos (Bouis & Saltzman, 2017). No entanto, a biofortificação, ou seja, a fortificação natural de produtos vegetais apresenta três vantagens comparativas e que se consideram bastante relevantes: a sua relação custo-eficácia a longo prazo (baixo custo de produção), a capacidade de chegar a populações rurais carenciadas (maior cobertura populacional) e uma melhor abordagem profilática numa perspetiva a longo prazo. Um investimento em culturas biofortificadas é, no futuro, muito menor que as restantes abordagens, visto contrariar os gastos financeiros contínuos existentes nos programas de suplementação e fortificação industrial (*i.e.*, pós-colheita) (Oliveira *et al.*, 2015; Pataco *et al.*, 2015; Bouis & Saltzman, 2017).

1.8- A biofortificação

Nos últimos anos, a tecnologia agrícola sofreu alterações, e actualmente já não se destina unicamente a incrementar a produção de mais calorias para reduzir a fome, a centrando-se também na obtenção de alimentos ricos em nutrientes, para reduzir a falta de minerais e vitaminas das dietas atuais (Saltzman *et al.*, 2013) que, como já visto anteriormente, induzem a consequências negativas para a saúde.

O desenvolvimento de culturas que à colheita podem acumular maiores quantidades de um determinado nutriente, face a uma cultura padrão, podem ser submetidas a um itinerário de biofortificação (Lockyer *et al.*, 2018).

O conceito de biofortificação existe desde a “Revolução Verde” (1966 - 1985) (Pingali, 2012). Nos anos 90, um economista chamado Howarth Bouis começou a realizar estudos no âmbito da biofortificação, tendo por objectivo desenvolver uma solução para a desnutrição de micronutrientes dessa década. Em colaboração com Robin Graham e Ross Welch, obtiveram financiamento da Agência de Desenvolvimento Internacional Dinamarquesa (DANIDA) e do Centro Australiano de Pesquisa Agrícola Internacional, para identificação de plantas-mãe com elevada capacidade para acumular nutrientes (Lockyer *et al.*, 2018). O termo “biofortificação” (“*biofortification*”) adveio de Steve Beebe, investigador na área do feijão (Lockyer *et al.*, 2018).

Em 2003, começaram a ser disponibilizados recursos suficientes para a implementação da biofortificação a nível global para várias culturas de base, coincidindo com a aprovação do “*Biofortification Challenge Program*” pelo “*Consultive Group on Internacional Agriculture Research*” (CGIAR) (Bouis & Saltzman, 2017).

O foco do Programa HarvestPlus do “*Consultive Group on Internacional Agriculture Research*” (CGIAR) é a biofortificação, surgindo como uma ferramenta potencialmente poderosa para o aumento da ingestão de nutrientes essenciais em alimentos básicos (Johns & Eyzaguirre, 2007).

Entre 2009 e 2013, foi criada a primeira leva de cultivos biofortificados e desde 2014 o fornecimento de culturas biofortificadas aumentou para mais de 140 variedades em dez culturas biofortificadas com provitamina A, Fe e / ou Zn. Estas foram autorizadas em 30 países e estão sendo testadas e cultivadas em cerca de 60 países (Lockyer *et al.*, 2018).

A biofortificação é considerada um processo de “cultivo de nutrientes” em espécies com interesse alimentar, o que fornece um meio, a longo prazo, para obtenção de um teor acrescido em nutrientes no organismo humano (Saltzman *et al.*, 2013; Bouis & Saltzman, 2017). É considerada um meio viável e económico, assim como um investimento agrícola rentável e sustentável, que pode ajudar a reduzir as deficiências minerais e vitamínicas (Bouis & Saltzman, 2017). A estratégia deste processo centra-se na incorporação de nutrientes em variedades que já apresentam características agronómicas e de consumo, como o elevado rendimento. Possibilita o acesso, por parte de populações rurais com défice em nutrientes, que possam ter alcançabilidade limitada a dietas diversificadas, suplementos e alimentos fortificados (Saltzman *et al.*, 2013). Como tal, a biofortificação pode complementar as intervenções existentes, fornecendo nutrientes de forma sustentável, principalmente aos grupos populacionais mais vulneráveis do globo (Lidon *et al.*, 2015; Pataco *et al.*, 2017).

Os alimentos de base biofortificados dificilmente fornecem diariamente um nível tão elevado em minerais e vitaminas, quando comparados com os suplementos ou alimentos fortificados industrialmente (Saltzman *et al.*, 2013). Contudo, os alimentos biofortificados podem incrementar

a adequação diária das ingestões de nutrientes entre os indivíduos ao longo da sua vida (Bouis & Saltzman, 2017). Ao contrário das intervenções complementares na alimentação humana, como é o caso da fortificação e da suplementação que começam nos centros urbanos, as culturas biofortificadas chegam primeiro aos consumidores das áreas rurais, chegando posteriormente às áreas urbanas (Bouis & Saltzman, 2017).

Existem três tipos de abordagens que atualmente predominam na biofortificação: a convencional, a transgênica e a agronômica (Saltzman *et al.*, 2013; Bouis & Saltzman, 2017).

A biofortificação convencional pode ser realizada através de reprodução de plantas selecionadas, em que as linhagens parentais contêm naturalmente maiores níveis de minerais ou vitaminas. Estas são cruzadas ao longo de diversas gerações para produzir plantas, que apresentem as características nutricionais e agronômicas desejadas (Saltzman *et al.*, 2013; Lockyer *et al.*, 2018). Como exemplo de culturas de base biofortificadas temos o arroz biofortificado com Zn e o feijão biofortificado com Fe, que foram desenvolvidas por reprodução seletiva e introduzidas em determinados países com o intuito de diminuir as deficiências destes micronutrientes (Lockyer *et al.*, 2018).

No caso da biofortificação transgênica esta constitui uma abordagem vantajosa quando estamos perante uma cultura que naturalmente não apresenta um determinado nutriente. (Saltzman *et al.*, 2013) Consiste na inserção de genes necessários para a acumulação de um nutriente que de outro modo não existiria numa determinada cultura (de qualquer modo ou sob forma biodisponível) (Lockyer *et al.*, 2018). Porém, quando a linhagem transgênica é obtida, são necessários vários anos de reprodução convencional para garantir que os genes inseridos passem de geração em geração de forma estável. Contudo, por mais que a produção de transgênicos se apresente como uma frente contra déficit de nutriente, muitos países têm falta de estruturas a nível legal para que seja possível a produção e comercialização de variedades transgênicas (Saltzman *et al.*, 2013).

Aponte-se que a abordagem agrícola dominante está associada ao melhoramento de plantas. No entanto, é necessário ter em consideração que, por vezes, pode não ser o tipo de biofortificação mais adequada em determinadas regiões, onde os solos são deficientes em termos de nutrientes, sendo imprescindíveis para o desenvolvimento das plantas. Para além de que, a existência de uma variação genotípica que mantenha a estabilidade das suas características em solos diversos, é difícil de encontrar. Assim, a biofortificação agronômica, em que se incluem os usos de fertilizantes com micro e macronutrientes constitui uma solução relevante (Mao *et al.*, 2014).

A biofortificação agronômica visa fornecer aumentos temporários de micro e macronutrientes que são absorvidos pela porção edível da cultura, através do uso de fertilizantes ricos em nutrientes ou *sprays* / pulverizações foliares (Saltzman *et al.*, 2013; Bouis, 2017; Lockyer

et al., 2018). Verifica-se uma abordagem bastante viável se o objetivo é aumentar micronutrientes que podem ser diretamente absorvidos pela planta. No entanto, será menos eficaz e eficiente para os micronutrientes que são sintetizados na planta e que não podem ser absorvidos diretamente (Bouis & Saltzman, 2017).

Tem sido demonstrado que, por exemplo, fertilizantes de Se, Zn ou I aplicados no solo e / ou ao nível foliar apresentam efeitos positivos na biofortificação de distintas culturas alimentares (Mao *et al.*, 2014). Um estudo realizado por Mao *et al.* (2014), constatou que a aplicação foliar de selênio e selenito de sódio no trigo de inverno, apresentou um aumento de 25 $\mu\text{g kg}^{-1}$ para 312 $\mu\text{g kg}^{-1}$. Verificando-se que a biofortificação agronômica de partes edíveis de culturas alimentares com micronutrientes pode ser uma maneira eficaz para aumentar as concentrações dos mesmos, salientando-se que a respectiva eficácia depende das espécies, das formas, tipo de fertilizantes e como se procede a aplicação (Mao *et al.*, 2014). Um outro exemplo deste tipo de biofortificação, é a aplicação foliar de fertilizante de Zn, que segundo estudos realizados na Índia e no Paquistão, constatou-se um aumento da concentração do elemento em grãos de trigo até 20 ppm (Zou *et al.*, 2012).

As culturas biofortificadas carecem da aceitação por parte do consumidor. Note-se que as escolhas alimentares humanas são determinadas por fatores culturais, económicos, preferências ao nível organolético e pela variedade alimentar. Destaque-se ainda que a biofortificação de uma variedade pode alterar certas qualidades importantes para o consumidor, nomeadamente as suas qualidades de cozimento, armazenamento ou sensorial (*i.e.*, sabor, cor, odor, textura) e que todas estas características asseguram a sua aceitação. É, portanto, imperativo promover a educação do consumidor, de modo a que indivíduos e populações possam ser orientados para modificar tanto as práticas alimentares como a compreenderem o conceito por trás dos alimentos biofortificados (Johns & Eyzaguirre, 2007).

O consumo regular de alimentos biofortificados em países em desenvolvimento, onde é comum a existência de deficiências de nutrientes (com destaque para micronutrientes), adopta as recomendações dietéticas da Organização Mundial da Saúde (Lockyer *et al.*, 2018), e no futuro espera-se que o consumo destes alimentos gere uma melhoria considerável na saúde e nutrição humana (Bouis & Saltzman, 2017).

Atualmente mais de 20 milhões de pessoas em todo o mundo consomem culturas biofortificadas (Bouis & Saltzman, 2017).

É essencial referir que a biofortificação de culturas básicas pode ajudar a melhorar dietas de baixa qualidade, em especial, onde há uma limitada escolha de alimentos e os solos se encontram desprovidos de nutrientes biodisponíveis (Lockyer *et al.*, 2018). Porém, não se pode esperar que esta abordagem agronômica, resolva deficiências de micro ou macronutrientes, ou que consiga

eliminarlas em todos os grupos populacionais, mas sim, contribuir para o aumento da ingestão dos mesmos, servindo como um complemento (Bouis & Saltzman, 2017) .

Quando o objetivo é implementar um itinerário de biofortificação, a primeira etapa consiste na identificação da população-alvo, em que se verifique alta probabilidade de obtenção de benefícios (Lockyer *et al.*, 2018). Como tal, aponta-se a possibilidade da utilização do “Índice de Priorização de Biofortificação”, que classifica os países tendo em conta a sua produção e dependência de culturas básicas, e ainda a deficiência de micro e macronutrientes que detêm (Lividini *et al.*, 2017).

Após a identificação do nutriente alvo e posteriormente à sua validação, subsiste a produção da cultura e por fim, o teste do consumidor. Os testes ao consumidor visam verificar a disposição por parte dos agricultores de produzir ou não culturas biofortificadas, se há aceitabilidade por parte do consumidor e quanto este está disposto a pagar pelo produto (Birol *et al.* 2015).

1.9- O Cálcio – elemento mineral essencial

O cálcio é um mineral essencial para os seres humanos, sendo necessário em quantidades relativamente elevadas. É imprescindível para a formação e metabolismo do osso, para a mineralização dos dentes e ainda para a regulação de processos intracelulares em diversos tecidos. Cerca de 99% do Ca corporal total presente nos ossos e dentes, encontra-se na forma hidroxiapatita de cálcio $[Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2]$. Esta percentagem de Ca total é um dos responsáveis pela manutenção da concentração do cálcio sérico, fundamental para certas funções fisiológicas vitais ao organismo (IOM, 2011; França *et al.*, 2014).

O Ca é um dos principais minerais que constituem a fração inorgânica do osso, sendo responsável pela dureza do mesmo e assegura ainda a resistência às forças mecânicas, conferindo proteção aos tecidos moles do organismo (França *et al.*, 2014). A restante fracção, menos de 1 % do Ca corporal total, é necessária para o sistema circulatório, líquido extracelular, músculo e outros tecidos, sendo fundamental para mediar a contração vascular e vasodilatação, função muscular, transmissão nervosa, sinalização intracelular e secreção hormonal (IOM, 2011).

A necessidade em Ca, varia com a idade e o estado fisiológico, sendo superior no final da infância e adolescência para garantir um normal processo de crescimento. Nesta fase ocorre o crescimento ósseo, subsistindo um aumento no depósito mineral até que o pico da massa óssea seja atingido, ou seja, por volta da segunda década de vida (França *et al.*, 2014)).

O nível médio diário de ingestão, considerando uma ampla gama, encontra-se entre 1000 e 1300 mg, havendo variações de acordo com a idade dos indivíduos, a gravidez ou amamentação (Tabela 1.6) [13].

Na idade adulta a ingestão de Ca deve ser cerca de 1000 mg dia⁻¹ em ambos os sexos, visto a formação e reabsorção óssea se encontrarem estáveis. Nos idosos a necessidade de Ca aumenta, para compensar as perdas diárias deste mineral e para evitar a desmineralização do esqueleto (França *et al.*, 2014). Como consequência, a ingestão de Ca numa fase tardia da vida diminui a ocorrência de fraturas osteoporóticas (IOM, 2011; EFSA, 2015).

Tabela 1.6- Recomendação de ingestão de cálcio, segundo diversas organizações (adaptado de: França *et al.*, 2014).

Organização	Bebés (< 3 anos) (mg dia ⁻¹)	Criança (3-12 anos) (mg dia ⁻¹)	Adolescentes (12-18 anos) (mg dia ⁻¹)	Adultos (18-65 anos) (mg dia ⁻¹)	Idosos (> 65 anos) (mg dia ⁻¹)
FAO/OMS	300-400	600-700	1300	1000	1300
Comissão Europeia	400	450-550	800-1000	700	700
Food Nutrition Board	200-260	500-800	1300	800-1200	1200

A deficiência de Ca pode levar à baixa densidade e à fragilidade óssea, característica da osteoporose e do raquitismo. Em algumas regiões da África e da Ásia, onde a ingestão de Ca é quase nula, existe uma preocupante falta deste elemento durante a infância, levando a deformidades ósseas e ao aumento da mortalidade infantil. Doenças como a hipertensão e o cancro colorretal têm sido associadas à baixa ingestão dietética de Ca (IOM, 2011; EFSA, 2015).

Geralmente nas dietas os produtos lácteos e derivados fornecem a maior parte do Ca. As frutas (maçãs, pimentão verde, tomates, entre outros) e tubérculos (batata) representam um menor teor de Ca, usualmente apenas 2 % do nível médio diário de ingestão de Ca advêm deste tipo de alimentos. Aponte-se que a maior concentração de Ca está presente em vegetais folhosos (nomeadamente, endívia e espinafre) (EFSA, 2015).

Neste enquadramento, a adubação com Ca em culturas alimentares está a ser adotada para aumentar a biodisponibilidade deste elemento. Além disso, têm sido realizadas modificações genéticas de plantas reprodutoras para incrementar a concentração ou disponibilidade de Ca. Uma das estratégias para aumentar a biodisponibilidade de Ca nas culturas, tem sido a redução ou remoção de oxalato e o baixo teor de fitato (EFSA, 2015; D'Imperio *et al.*, 2016).

1.10- Acumulação de nutrientes nas plantas

As plantas carecem de 14 elementos minerais, dos quais seis macronutrientes e oito micronutrientes para o seu normal crescimento e desenvolvimento (Chen *et al.*, 2011).

As plantas apenas podem assimilar elementos minerais fornecidos sob formas químicas específicas. Como tal, para o sucesso na biofortificação, é imperativo conhecer as formas de elementos minerais absorvidos pelas raízes das plantas, as limitações do fornecimento e a fitodisponibilidade dos mesmos (White & Broadley, 2009). O seu crescimento e desenvolvimento depende grandemente da combinação e concentração de nutrientes minerais disponíveis. A deficiência nutricional ou a toxicidade, podem levar à diminuição da produtividade e / ou fertilidade da planta (Pataco *et al.*, 2017).

A acumulação de nutrientes nas plantas encontra-se intimamente ligado à homeostase, envolvendo atividades coordenadas de captação, transporte, tráfico e sequestro. Neste contexto, uma quantidade adequada de nutrientes pode ser fornecida a todos os tipos de células, em todas as etapas de desenvolvimento e perante diferentes condições ambientais (Pataco *et al.*, 2017).

O processo de acumulação de nutrientes decorre do *background* genético das plantas e pelas interações ambientais dominantes. Os fatores ambientais, como a disponibilidade de água, as características do solo e a aplicação de fertilizantes apresentam um grande impacto sob os fatores genótipos, e por conseguinte, nas concentrações de minerais. A interface raiz-solo limita a absorção de nutrientes, como tal, para que a taxa de absorção através das raízes aumente, os níveis disponíveis de nutrientes na rizosfera também têm de aumentar (Pataco *et al.*, 2017).

Os elementos minerais podem estar presentes no solo sob diversas formas (nomeadamente iões livres ou compostos dissolvidos). As propriedades do solo são determinantes para a disponibilidade mineral, nomeadamente, o pH, condições redox, capacidade de troca de catiões, estrutura do solo, matéria orgânica e teor de água (White & Broadley, 2009). Aponte-se ainda que a acumulação mineral na rizosfera ocorre principalmente por difusão, possuindo a humidade do solo uma ação determinante (Mourinho *et al.*, 2015).

O pH do solo apresenta um impacto elevado na solubilidade de micronutrientes, prevalecendo nos solos alcalinos uma solubilidade baixa e verificando-se o oposto no caso de solos ácidos (Mourinho *et al.*, 2015).

Os mecanismos de captação precisam de ser funcionais, e com especificidade suficiente, para possibilitarem a acumulação de nutrientes. Quando absorvidos ao nível radicular, os nutrientes necessitam de ser translocados e acumulados eficientemente nos órgãos da planta. Contudo, podem ocorrer deficiências críticas se um determinado limiar for atingido, nomeadamente face a um *fitostress*, levando a consequências negativas ao nível da cinética de captação e translocação

(Pataco *et al.*, 2017). No caso dos micronutrientes, estes apresentam mais fitodisponibilidade para serem absorvidos sob a forma de catiões pelas raízes (Mourinho *et al.*, 2015).

As raízes de todas as espécies vegetais podem absorver nas suas formas catiónicas o Fe, Zn, Cu, Ca e Mg (White & Broadley, 2009). Nas plantas, o primeiro passo da absorção, é o transporte dos elementos minerais para as células epidérmicas da raiz ou células da exoderme, o que requer um “transportador de influxo”. Contudo, o principal centro de absorção nas raízes encontra-se dependente do elemento mineral (Chen *et al.*, 2011).

Para as concentrações de minerais nos tecidos edíveis aumentarem sem perda de rendimento, deve favorecer-se a captação pelas raízes (relativamente aos minerais presentes na solução do solo) ou folhas (para os minerais pulverizados ao nível folhear), havendo uma redistribuição efetiva no interior da planta até à parte edível e acumulação nos mesmos numa forma atóxica (White & Broadley, 2009). Ressalve-se que a absorção de nutrientes através da aplicação foliar é muito mais rápida do que a aplicação no solo através das raízes das plantas (Che *et al.*, 2018).

1.11- Absorção e acumulação de cálcio pelas plantas

O cálcio é considerado o terceiro nutriente mais disponível nos solos (D'Imperio *et al.*, 2016). Porém, a principal fonte deste elemento é a calcite (CaCO_3) que se apresenta como a forma mais difundida e relativamente móvel de carbonatos de Ca. A dolomite [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$] e o gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), são também fontes de Ca no solo (Kabata-Pendias, 2011).

É um nutriente essencial para as plantas, requerido na forma de catião Ca^{2+} . Considera-se um agente de transdução de sinal, dando estabilidade e integridade à parede celular, e tendo um papel central na resposta ao *stress* (Hocking *et al.*, 2016). Esse macronutriente é requerido como cofator por algumas enzimas envolvidas no catabolismo de ATP e fosfolipídios, atuando como um segundo mensageiro na regulação metabólica (Taiz & Zeiger, 2002).

A absorção de Ca pelas pontas das raízes ocorre intensamente nas regiões meristemáticas com elevada taxa de crescimento, relativamente a seções de raízes mais antigas, onde as bandas de Caspary não são descontínuas ou rompidas, portanto onde não há restrições no crescimento radical quando a absorção de Ca é suficiente (Bonomelli & Ruiz, 2010).

Admite-se que o Ca pode atingir o xilema apenas através do apoplasto radicular em regiões onde as bandas de Caspary estão ausentes, ou através do citoplasma de células da endoderme não protegidas onde as bandas de Caspary estão presentes. Contudo, as contribuições das vias apoplástica e simplástica para o fluxo de Ca para o xilema são ainda objecto de controvérsia. O influxo de cálcio para as células radiculares é mediado por uma multiplicidade de canais catiónicos permeáveis ao Ca^{2+} (White & Broadley, 2009). Estes incluem canais de Ca^{2+} ativados por hiperpolarização, que se supõe serem formados por anexinas de plantas, canais de catiões

independentes da voltagem, em que se admite serem membros das famílias de proteínas do canal cíclico de nucleótidos (CNGC) e / ou recetores de glutamato (GLR), e activados na ausência de polaridade nos canais de Ca^{2+} , um dos quais pode ser codificado pelos homólogos do gene *AtTPC1*. A membrana plasmática também pode conter canais iónicos mecano-sensíveis permeáveis ao Ca^{2+} codificados por membros do canal mecano-sensível da família genética de pequena condutância (MSS) (White & Broadley, 2009; Chen *et al.*, 2011).

É raro as plantas apresentarem falta de Ca no solo, ficando comprometido o respectivo crescimento. Geralmente, as concentrações de Ca^{2+} na solução da rizosfera encontram-se na faixa do milimolar, porém pode subsistir uma deficiência de Ca em plantas que crescem em solos tropicais, em solos fortemente ácidos (o Al^{3+} pode inibir a absorção de Ca^{2+}) e em solos sódicos ou salinos (Na^+ em excesso inibe a absorção de Ca^{2+}) (White & Broadley, 2009).

No entanto, os sintomas de deficiência de Ca nas plantas estão associados a necroses de regiões meristemáticas jovens, tanto em folhas jovens como em pontas de raízes, onde a divisão celular e a formação de paredes são mais intensivas. Uma grave falta de Ca nas regiões meristemáticas jovens pode ser fatal para a planta. O défice de Ca promove a deformação em folhas jovens (Taiz & Zeiger, 2002), bem como no desenvolvimento de tecidos. Isso ocorre devido à impossibilidade de mobilização de Ca de tecidos mais antigos e distribui-se através do floema e, ao mesmo tempo, pela captação de Ca via xilema, num fluxo de transpiração unidirecional. Mesmo subsistindo uma baixa concentração de cálcio no solo, que pode ser insuficiente para as culturas, o maior problema é a translocação do cálcio dentro da planta (White & Broadley, 2009).

As concentrações de Ca dependem da solubilidade e da atividade fisiológica. O Ca pode ser absorvido ligado a grupos carboxílicos de pectina ou em proteínas, na forma de nitratos, cloretos e ácidos orgânicos. Se ocorrer excesso de Ca, o mesmo é acumulado nos grupos oxalato, fosfato e carbonatos, sequestrados em idioblastos, na epiderme e hipoderme, podendo ser remobilizados posteriormente (Bonomelli & Ruiz, 2010).

Segundo alguns estudos recentes, verificou-se que a pulverização com Ca retarda a deterioração do fruto durante a pós-colheita, reduzindo a deterioração, prolongando o *shelf-life* e aumentando o conteúdo em Ca de diferentes frutas e vegetais (Bonomelli e Ruiz, 2010; Chen *et al.*, 2011; D'Imperio *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2018)

Em 2011, num estudo realizado com morangos que consistiu, na fase pós-colheita, na divisão em três grupos e submersão dos frutos em 10 L de solução de CaCl_2 com diferentes concentrações (0, 1 e 4 %) durante 15 minutos, observou-se que após secagem e armazenamento a 4 °C por 15 dias, os tratamentos com banho de CaCl_2 retardaram as alterações das propriedades físico-químicas e a degradação das pectinas (Chen *et al.*, 2011).

Segundo um estudo com vegetais (manjerição, mizuna, tatsoi e endívia), em que foram aplicadas à solução nutritiva duas soluções de 100 e 200 mg L^{-1} de Ca, constatou-se que em todos

os vegetais, o teor de Ca aumentou nas plantas, sem ter afetado o crescimento dos vegetais, o conteúdo de oxalato e a qualidade comercializável. No entanto, plantas com 200 mg Ca L⁻¹ apresentaram maior teor de Ca, relativamente ao tratamento com 100 mg Ca L⁻¹ (D'Imperio *et al.*, 2016).

Em 2010, um estudo realizado com uvas, revelou que a aplicação de CaCl₂, tornou o fruto maior, mais turgente, com matéria seca baixa e células maiores. Diferentes formas de CaCl₂ foram aplicadas no solo (300 kg ha⁻¹) e ao nível foliar (solução 1% p/p), no entanto, os tratamentos com Ca não tiveram efeitos sobre o conteúdo de Ca no solo, folha ou fruto, bem como no rendimento e concentração de açúcar nas bagas (Bonomelli & Ruiz, 2010).

1.12- Biofortificação de batata

Em 2019, um estudo realizado na China (Zhang *et al.*, 2019), relatou que a batata enquanto alimento base, ao ser enriquecida com selénio, poderia constituir uma abordagem eficaz no combate à deficiência deste micronutriente. Como tal, foram efetuadas aplicações foliares (100 g ha⁻¹) de selenato de sódio (Na₂SeO₄) e selenito de sódio (Na₂SeO₃), em três fases (III, IV e V) de crescimento das batateiras (**Figura 1.2**). Os resultados demonstraram que o selenato foi mais eficiente que o selenito, no aumento do Se total. Verificou-se ainda que a maior concentração de Se no tubérculo foi obtida na fase IV de crescimento dos tubérculos (**Figura 1.2**). Contudo, a acumulação de Se inorgânico foi maior nos tubérculos pulverizados com selenato (31.9 % do total de Se), em comparação aos pulverizados com selenito (1.5 %). Os resultados obtidos sugeriram que a aplicação foliar de selenito durante a fase de crescimento do tubérculo é apropriada para a produção de batatas ricas em Se (Zhang *et al.*, 2019).

Ressalve-se que comparada com a aplicação de nutrientes no solo, a aplicação foliar é mais eficiente, pois evita a fixação em grande escala do nutriente e a sua significativa lixiviação no solo (Zhang *et al.*, 2019).

1.13- Objetivo do trabalho

O objectivo central deste projecto consistiu no desenvolvimento de um itinerário técnico para a biofortificação em Ca da variedade de batata Agria. Como tal, procedeu-se à biofortificação agronómica por meio de pulverizações folheares de Ca (Ca(NO₃)₂ e CaCl₂). Realizaram-se até à data de colheita quatro aplicações folheares com concentrações de 1, 3, 6 e 12 kg ha⁻¹, com CaCl₂ e de 0,5, 1, 2, 4 kg ha⁻¹, com o Ca(NO₃)₂, para se determinar a melhor concentração e o composto mais eficiente na acumulação de Ca no tubérculo. Paralelamente, pretendeu-se garantir a qualidade dos tubérculos, pelo que a mesma foi objetivo de caracterização neste estudo. Os

resultados apresentados decorreram da implementação deste itinerário técnico no decurso do ciclo de produção 2018, no campo experimental Moledo localizado na Lourinhã, região Oeste de Portugal.

Capítulo 2 – Metodología

2.1- Material Biológico

O itinerário técnico de biofortificação em cálcio, adoptou o conjunto de acções usuais na cultura de batata. Utilizaram-se tubérculos de batateira (*Solanum tuberosum* L.) da variedade Agria em dois estágios de desenvolvimento, provenientes do campo experimental Moledo (coordenadas GPS: 39° 16' 38,816'' N; 9° 15' 9,128''O) (**Figura 2.1**). Efetuou-se uma recolha inicial de tubérculos, após uma segunda pulverização (25/7/2018) com CaCl_2 (1, 3, 6 e 12 kg ha^{-1}) e $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (0,5, 1, 2, 4 kg ha^{-1}) e uma recolha final, à colheita (4/9/2018) com os mesmos tratamentos e concentrações.



Figura 2.1- Localização do campo experimental Moledo com delimitação do ensaio.

2.2 – Operações culturais efectuadas

No campo experimental Moledo efectuou-se a plantação em 4/5/2018 e após início da tuberização efectuaram-se 4 aplicações folheares em 6/7/2018, 16/7/2018, 26/7/2018 e 3/8/2018, com CaCl_2 (1, 3, 6 e 12 kg ha^{-1}) ou, em alternativa, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (0,5, 1, 2, 4 kg ha^{-1}). Cada tratamento foi efectuado em quadruplicado, em talhões 20 x 20 m. A colheita foi efectuada em 4/9/2018.

2.3 – Recolha de amostras de solos

A recolha de amostras de solo no campo experimental, foi previamente definida e organizada em malha sistemática regular (padrão quadrado ou diamante) (**Figura 2.2**). A profundidade da amostra situa-se entre 0 e 30 cm e o peso de cada amostra recolhida varia entre os 600 g e os 1000 g.

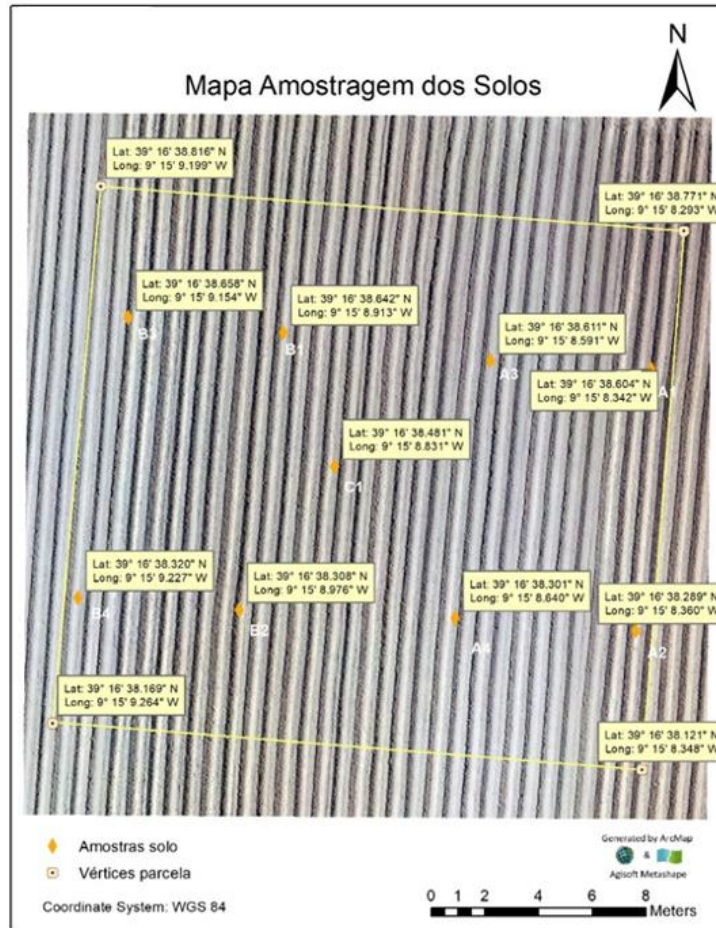


Figura 2.2-Esquematização da recolha de amostras simples de solo no campo experimental (malha sistemática regular - padrão quadrado ou diamante).

2.4 – Procedimentos analíticos

2.4.1- Humidade do solo e matéria orgânica

A humidade do solo e matéria orgânica foi feita de acordo com o método LOI (*Loss on Ignition*) (Heiri *et al.*, 2001). Peneiraram-se cerca de 100 g de solo de cada amostra para cadinhos de porcelana, utilizando uma peneira com malha de 2,0 mm para remoção de pedras, materiais grosseiros e outros detritos. O peso da amostra foi registado, e posteriormente após secagem a 105 °C durante 24 h e colocação no exsiccador até temperatura ambiente (aproximadamente 1 h), determinou-se a massa seca e a percentagem de humidade. De seguida as amostras foram colocadas na mufla com aquecimento gradual até 550 °C durante 4 horas (até peso constante). As amostras de solo foram removidas da mufla a 100 °C e colocadas no exsiccador até temperatura ambiente (aproximadamente 1 h). Procedeu-se então à determinação da percentagem de matéria orgânica.

2.4.2- pH e condutividade eléctrica do solo

Após a determinação da percentagem de humidade no solo determinou-se o pH do solo e a condutividade eléctrica segundo o método descrito por Pessoa *et al.* (2016). Resumidamente, numa proporção de 1:2,5 g mL⁻¹ de água milli-q, usando um potenciómetro portátil, após uma hora de agitação, e permanecendo a 25 °C por 30 minutos de banho termal, determinou-se o pH do solo e a condutividade eléctrica após decantação do sobrenadante.

2.4.3- Qualidade da água

Procedeu-se à recolha de amostras de água do campo experimental Moledo, para determinação de parâmetros físicos (pH, temperatura e condutividade eléctrica) e químicos (bicarbonato, sulfato, cloreto, sódio, cálcio, magnésio, potássio, nitrato e fosfato). A condutividade eléctrica e o pH foram determinados com um analisador multiparamétrico da Consort (C 6030) e eléctrodos SP21 (pH) e SK20T (condutividade eléctrica). Por cromatografia iónica de alta pressão (HPLC) foram quantificados os iões cálcio, sódio, potássio e magnésio, com cromatógrafo da *Metrohm* (Modelo 761 Compact IC) equipado com coluna e pré-coluna (Metrosep cation 1-2, 6.1010.000), segundo as indicações do cromatógrafo (eluente 4 mM ácido tartárico / 1 mM ácido dipicolínico, Fluxo 1,00 mL min.⁻¹, Volume 10,0 µL).

A alcalinidade/bicarbonato foi determinada por titulação, considerando 100 mL de amostra de água e ácido clorídrico 0,1 N como titulante, na presença do indicador alaranjado de metilo a 0,1 %, segundo o método descrito por Rodier *et al.* (2009). Por fotometria (*Spectroquant*, NOVA

60, da Merck) foram quantificados os íons cloreto, sulfato, nitrato e fosfato com aparelho, utilizando Kits como referência (codificação 1.14897, 1.14779, 1.14773 e 1.14842).

2.4.4- Elementos minerais

Na determinação de elementos minerais em amostras de solos: procedeu-se ao respectivo aquecimento a 550 °C, durante 4 horas (até peso constante) e, após arrefecimento, cada amostra foi peneirada numa peneira (malha de 200 µm), para homogeneizar a granulometria.

Relativamente à determinação dos teores minerais nas folhas e tubérculos procedeu-se à respectiva secagem a 60 °C (até peso constante), sendo posteriormente moídos e transformados em pó.

Em seguida, nas amostras de solo, folhas e tubérculos procedeu-se à análise dos elementos minerais, utilizando um analisador XRF (modelo XL3t 950 He GOLDD+) (**Figura 2.3**) sob atmosfera de He, de acordo com o método descrito por Pelica *et al.* (2018) para solos e Reboredo *et al.* (2018) para amostras biológicas.



Figura 2.3- Imagem do analisador NITON (modelo XL3t 950 He GOLDD +) e esquema de funcionamento do analisador ^[d].

A fluorescência por aplicação de raios-X é uma técnica analítica utilizada para determinação da composição química (multi-elemento em simultâneo) de diversos tipos de amostra, incluindo sólidos, líquidos, pastas e pós soltos. É uma técnica não destrutiva e de rápida preparação de amostras, sendo que muitas amostras podem ser analisadas num curto intervalo de tempo. É um método com uma elevada precisão e exatidão, podendo analisar elementos desde o berílio até o urânio e na gama de concentrações que varie de 100% a níveis de sub-ppm (análise de elementos traço), fornecendo informações qualitativas e quantitativas sobre uma determinada amostra.

Acresce ainda que os métodos quantitativos que recorrem à utilização de raios-X, medem o comprimento de onda e a intensidade da "luz" (raios-X) emitida pelos átomos energizados nas amostras. A irradiação emitida por um feixe de raios-X primário, causa a emissão de raios-X fluorescentes com energias discretas, características dos elementos presentes nas amostras, sendo possível determinar-se a respectiva composição química (**Figura 2.4**) [14].

Na análise de espectrofotometria de absorção atômica, o princípio fundamental do seu funcionamento envolve a medição da absorção da intensidade da radiação eletromagnética, proveniente de uma fonte de radiação primária, por átomos gasosos no estado fundamental. Esta técnica utiliza esse fenómeno para a determinação quantitativa elementos (metais, semi-metais e alguns não metais) em diversos tipos de amostras, nomeadamente em materiais biológicos (tecidos e fluídos), ambientais (águas, solos, sedimentos e plantas), alimentos e geológicos [16]. A espectrofotometria de absorção atômica com chama é a técnica mais utilizada para análises elementais ao nível de mg L^{-1} [16]. Baseia-se na medição da quantidade de energia electromagnética de um determinado comprimento de onda (região do ultravioleta ou região visível), o qual é absorvido à medida que passa através de uma nuvem de átomos de um elemento químico particular proveniente de amostras e padrões.

A determinação de teores de P, Ca, Mg, K, Al, Fe e Mn nas plantas, frutos ou, neste caso, nos tubérculos, é feita após a decomposição (digestão) das amostras com ácido ou mistura de ácidos (Filho *et al.*, 2012).

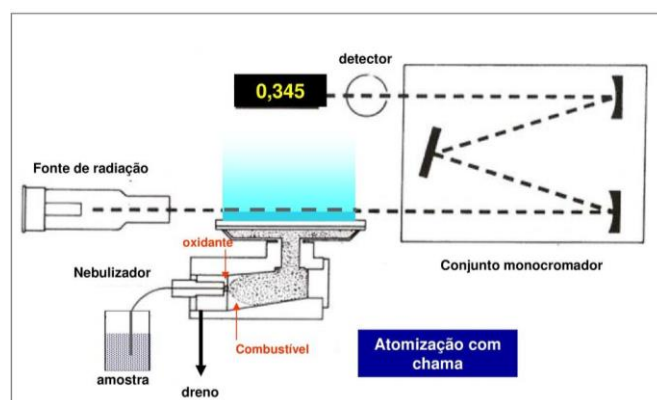


Figura 2.4- Diagrama de um espectrómetro de absorção atômica com chama [e].

Nos tubérculos obtidos à colheita, os elementos minerais foram ainda analisados de acordo com a metodologia reportada por Reboredo *et al.* (2018). Aproximadamente 1g de cada amostra (**Figura 2.5**) foi pesado e colocado num Erlenmeyer de 50 mL. Após adição de 10 mL de ácido nítrico, esta preparação foi aquecida a 100 – 150 °C até evaporação total, adicionando-se então uma solução de HNO_3 : $\text{HClO}_4 = 2:3$ mL.



Figura 2.5- Preparação das amostras para análise de fluorescência por aplicação de raios-X dos tubérculos do campo Moledo (variedade Agria), à colheita.

Após novo aquecimento até evaporação total, o precipitado foi diluído numa solução de HCl a 2% e filtrado (*Whatman* nº4) para um balão volumétrico de 50 mL. A solução padrão ou o branco foi preparada com HCl a 2 % e, em seguida, analisada. A absorvência foi então registrada por espectrofotometria de absorção atômica, utilizando um espectrofotômetro de Absorção Atômica modelo *Perkin Elmer AAnalyst 200* (**Figura 2.6**), com o programa de *software AA WinLab*.

Ao contrário da técnica de fluorescência por aplicação de raios-X, a técnica de espectrofotometria de absorção atômica é destrutiva.

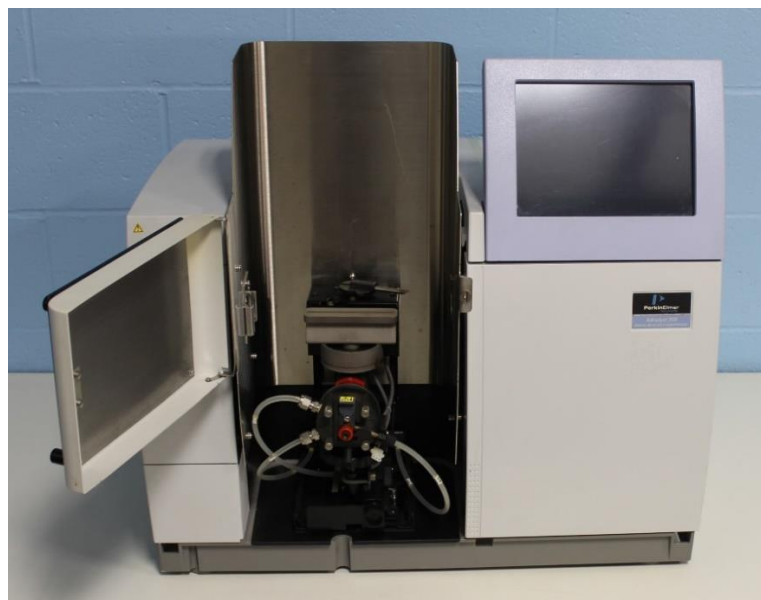


Figura 2.6- Imagem do espectrofotômetro de Absorção Atômica modelo *Perkin Elmer AAnalyst 200* [1].

2.4.5- Parâmetros colorimétricos

A determinação dos parâmetros colorimétricos do solo e dos tubérculos, com utilização de comprimento de onda fixo, adoptou a metodologia descrita por Ramalho *et al.* (2018). Com algumas modificações, os parâmetros de cor, brilho (L) e cromaticidade (coordenadas a^* e b^*) foram obtidos com um colorímetro Minolta CR 300 (Minolta Corp., Ramsey, NJ, Estados Unidos) (**Figura 2.7**) acoplado a um recipiente para amostras sólidas (CR-A504). As medições foram realizadas para o iluminante D_{65} com base no sistema L, a^* b^* da *Commission Internationale d'Éclairage* (CIE). Os parâmetros colorimétricos foram medidos em triplicados para cada amostra de solo em dois períodos diferentes, primeiro, antes das amostras terem ido para a mufla a 550°C . A segunda análise colorimétrica foi realizada após as amostras saírem do forno a 550°C , depois de arrefecidas e do cálculo da percentagem da matéria orgânica. Os parâmetros colorimétricos dos tubérculos foram medidos, após a segunda pulverização e colheita na polpa dos tubérculos.



Figura 2.7- Imagem do colorímetro Minolta CR 300 (Minolta Corp., Ramsey, NJ, Estados Unidos).

Os parâmetros colorimétricos foram ainda determinados na polpa dos tubérculos frescos, à colheita, com um colorímetro espectrofotométrico de varrimento (Agrosta, União Europeia) (**Figura 2.8**). O sensor fornece uma detecção *half-max* de largura total de 40 nm e cobre toda a área visível. Este sensor possui 6 fototransistores, cada um com sensibilidade em um espectro específico, a 380 (Violeta) 450 (Azul), 500 (Verde), 570 (amarelo), 600 (laranja) e 670 (vermelho) nm. A luz é fornecida com um LED branco com um amplo espectro em toda a área visível.

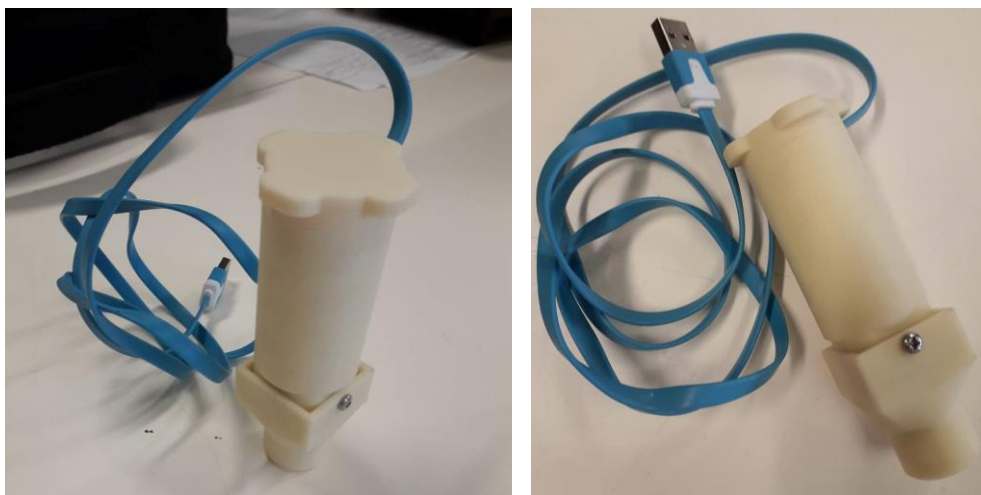


Figura 2.8- Imagem do colorímetro espectrofotométrico de varrimento (Agrosta, União Europeia).

Na **Figura 2.9** encontra-se a região do espectro eletromagnético (região espectral do visível) que a técnica colorimétrica de espectrofotometria varrimento analisa. Salientando-se que as radiações eletromagnéticas com comprimento de onda entre 380 e 780 nm são visíveis ao olho humano, e que o colorímetro de varrimento utilizado na determinação da transmitância dos tubérculos, apenas consegue analisar valores da gama de 450 a 650 nm. A unidade utilizada, nesta técnica laboratorial, é a transmitância (que é a capacidade de transmitir a luz), que exprime a fração de energia luminosa que é capaz de atravessar um determinado material, sem ser absorvida [15].

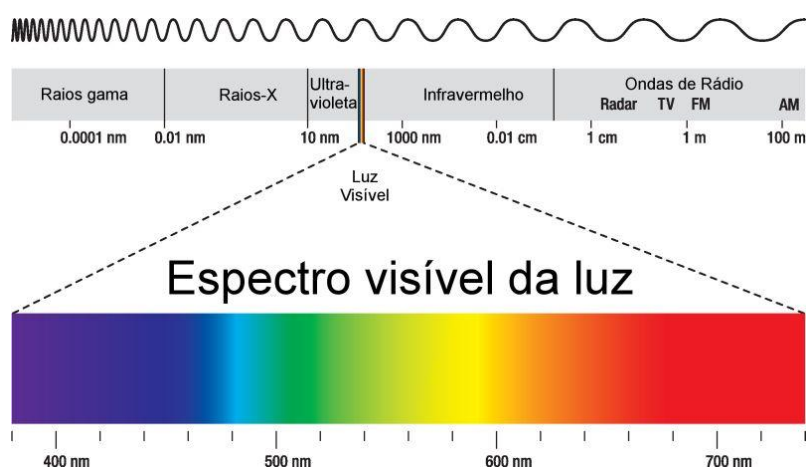


Figura 2.9- Imagem representativa da gama do espectro visível da luz [8].

2.4.6- Sólidos solúveis totais

Os sólidos solúveis totais foram aferidos no sumo dos tubérculos com um refractómetro digital Atago (Atago, Tóquio, Japão) (**Figura 2.10**), sendo os valores expressos em °Brix.



Figura 2.10- Imagem do refractómetro digital Atago (Atago, Tóquio, Japão) ^[h].

2.4.7- Tratamento térmico da polpa do tubérculo: características físicas e químicas e análise sensorial

Cada amostra foi lavada, descascada, enxaguada e cortada em cubos de tamanho 3x3 [cm]. Para cada réplica foram efectuados 11 cubos como mostra a **Figura 2.11**.

1 0 min	2 0 min	3 5 min	4 7,5 min	5 10 min	6 12,5 min
7 15 min	8 17,5 min	9 20 min	10 20 min	11 T	

Figura 2.11- Esquema do procedimento para as amostras de batata (cubos de batata).

Nove dos cubos foram colocados num recipiente com água fervente (100 °C). Após 5 min, o primeiro cubo foi retirado, colocado na água fria por 1 min e depois deixado arrefecer até a temperatura ambiente. A partir desse momento, a cada 2,5 min, um cubo era retirado e manuseado da mesma forma. Dois cubos fora deste conjunto - um sem cozimento (1) e um após 20 minutos de cozimento (2).

A última amostra (11) foi usada para medir a temperatura no centro geométrico do cubo, com um termopar Fluke de precisão ($\pm 1C$). Para a variedade em estudo, foi analisada a cor e textura de casa de cada tempo de cozimento.

O método utilizado para determinar o perfil de temperatura das batatas consistiu em medir a temperatura durante o tratamento térmico de cada amostra. Durante a medição o termopar Fluke

foi colocado no centro geométrico do cubo amostra e os valores foram recolhidos a cada 2,5 min. num tempo total de 20 min de processamento.

A avaliação de cor adotando a escala Cielab foi efectuada com recurso a um colorímetro (Minolta CR-300 JAPAN) com iluminante C, previamente calibrado com placa branca de acordo com padrões pré-estabelecidos. Para cada tratamento de batata nos diferentes tempos de cozimento, a medição de cor foi realizada directamente na superfície do cubo de batata, mantendo-se a integridade da mesma. Foram avaliados 3 parâmetros de cor: L, a* e b*. O valor de a* caracteriza coloração na região do vermelho (+a*) ao verde (-a*), o valor b* indica coloração no intervalo do amarelo (+b*) ao azul (-b*). O valor L nos fornece a luminosidade, variando do branco (L=100) ao preto (L=0). Foram efectuadas três medições por amostra. Calculou-se ainda, os parâmetros Croma e Hue. O Croma é a relação entre os valores de a* e b*, onde se obtém a cor real do objecto analisado. Hue-Angle é o ângulo formado entre a* e b*, indicando a saturação da cor do objecto. Para cálculo do Croma (C) foi utilizada a equação (1) e, para se calcular Hue-Angle (H), equação (2)

$$(1) C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

$$(2) H^* = \arctg \frac{b^*}{a^*}$$

A textura foi medida por texturometro (*Stable Micro System* TAHDi, EUA). Para cada amostra a textura foi medida com um teste de punção em três repetições, usando uma sonda de 3 mm ate uma distância de 15 mm. A força da célula de carga usada foi de 5 kg, o teste realizou-se uma velocidade de 1 mm s⁻¹. A análise foi realizada a 23 °C. A partir dos perfis de textura (texturograma), foram determinados os seguintes parâmetros: Fracturabilidade (N), que representa a resistência exercida pela superfície do alimento à penetração e é registada pela força registada no primeiro pico; o trabalho da força (Nxs) que representa a energia exercida pela sonda na penetração e é determinada pela área positiva do texturograma; o número de Picos (grandeza adimensional), que é uma medida indirecta da crocância); a dureza (N), determina-se pela força máxima do texturograma sendo uma medida da firmeza do material; e a Adesividade (-N*s) que é trabalho necessário para ultrapassar as forças de atracão entre o material e a superfície da sonda. É dado pelo valor da área correspondente á força negativa do texturograma.

A reologia é o estudo das mudanças de forma e fluxo de matéria resultante da aplicação da força, sendo dependente do tempo. O comportamento do material, neste caso dos tubérculos, é expresso em termos de tensão ao longo do tempo (Contador *et al.*, 2015).

A textura dos alimentos é um conjunto de propriedades mecânicas e sensoriais. A análise instrumental do perfil de textura permite quantificar distintas propriedades, nomeadamente a dureza e a adesividade (Santos *et al.*, 2016). Em geral, a textura é um fator essencial na percepção dos consumidores sobre a qualidade dos produtos agroalimentares. Isto aplica-se particularmente às batatas (García-Segovia *et al.*, 2008).

2.4.8- Tratamento estatístico

Utilizou-se a análise de variância (ANOVA), para avaliação dos resultados experimentais, após a determinação da significância pelo teste F tendo-se usado o teste de Tukey ($P \leq 0.05$) para estudo comparativo das médias.

Capítulo 3 – Delineamento e Implementação do Itinerário Técnico de Biofortificação em Cálcio na variedade Agria

3.1- Caracterização do Campo Experimental e Meteorologia Durante o Ciclo de Produção

No campo experimental Moledo (coordenadas GPS: Lat: 39°16'38.77''N e Long: 9°15'8.294'' W) seleccionou-se uma parcela com cerca de 20 x 20 m (**Figura 3.1**), para subsequente análise dos tubérculos da variedade Agria submetidos ao itinerário técnico de biofortificação em cálcio. A parcela localiza-se na freguesia de São Bartolomeu dos Galegos e Moledo, a cerca de 10 km do concelho da Lourinhã.

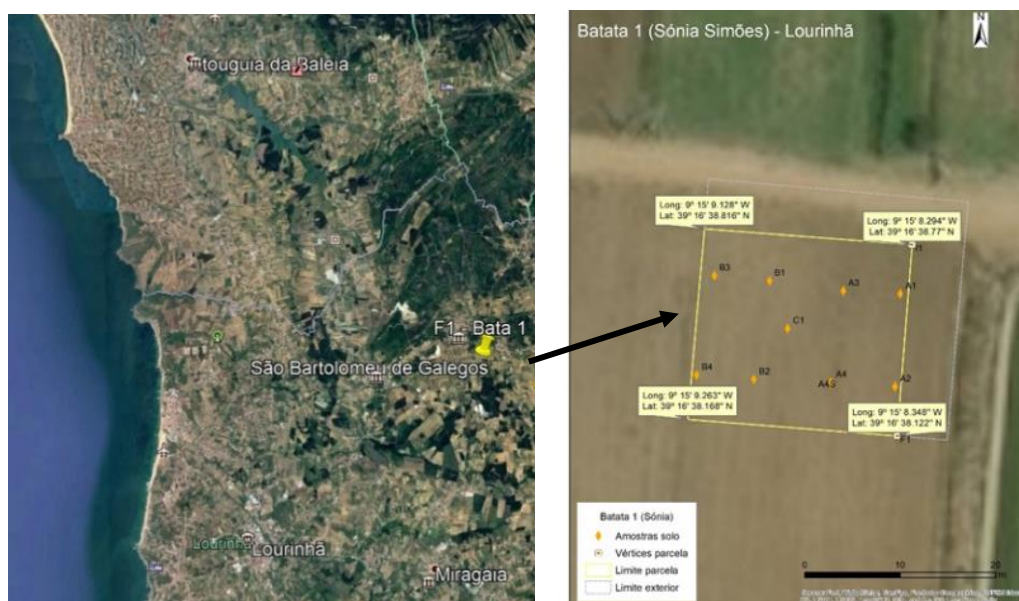


Figura 3.1- Campo experimental Moledo - produção de tubérculos de batateira da variedade Agria (39° 16' 38,816'' N; 9° 15' 9,128'' O).

3.1.1- Caracterização dos Solos

Considerando que as características dos solos podem interferir directamente no processo de biofortificação (White & Broadley, 2009; Pataco *et al.*, 2017) dos tubérculos, realizou-se uma caracterização dos mesmos. No dia 27 de Março de 2018 efetuou-se uma recolha de solos e procedeu-se à quantificação dos teores de humidade, matéria orgânica, pH, condutividade eléctrica, índices colorimétricos, micro e macro elementos.

Um parâmetro relevante na caracterização da qualidade física, química e biológica do solo, é a matéria orgânica, sendo utilizada como indicador da respectiva qualidade produtiva (Bayer & Mielniczuk, 1999; Vezzani, 2001), apresentando influência na fisiologia da planta. Aponte-se que a fracção húmica interfere na permeabilidade das membranas celulares, no transporte activo dos iões e na nutrição mineral, bem como na actividade relacionada com a síntese proteica. Estimula, ainda, a síntese / actividade de enzimas pela planta e regula a pressão osmótica incrementando, deste modo, a sua resistência à secura (Gonçalves, 2005). Adotando uma perspectiva pragmática,

constata-se que os compostos húmicos interagem ao nível do sistema solo-planta, condicionando largamente a fertilidade do solo (Gonçalves, 2005).

Na **Tabela 3.1** apresenta-se uma caracterização sumária dos solos coletados no campo experimental. Verificou-se que os valores de humidade, matéria orgânica, condutividade eléctrica e pH oscilam entre 8,31 – 13,0 %, 1,17 – 2,3 %, 128 – 339 $\mu\text{S cm}^{-1}$ e 7,3-7,6, respectivamente.

Tabela 3.1- Caracterização sumária dos solos (colectadas a uma profundidade entre 0-30 cm; 600-1000g) do campo experimental Moledo, em 27 de Março de 2018 (n = 16).

Campo Experimental	Parâmetros Estatísticos	Humidade (%)	Matéria Orgânica (%)	pH	Condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$)
Moledo	Mínimo	8,31	1,17	7,32	128
	Q1	11,4	1,75	7,36	128
	Mediana	11,8	1,99	7,36	203
	Média	11,4	1,88	7,41	205
	Q3	12	2,07	7,43	214
	Máximo	13,0	2,3	7,61	339

Na **Figura 3.2** encontra-se o *boxplot*, relativo à condutividade da amostragem de solo realizada ao campo experimental. É possível evidenciar-se um *outlier* severo (339 $\mu\text{S cm}^{-1}$), constatando-se ser um valor atípico tendo em conta os valores das restantes amostras.

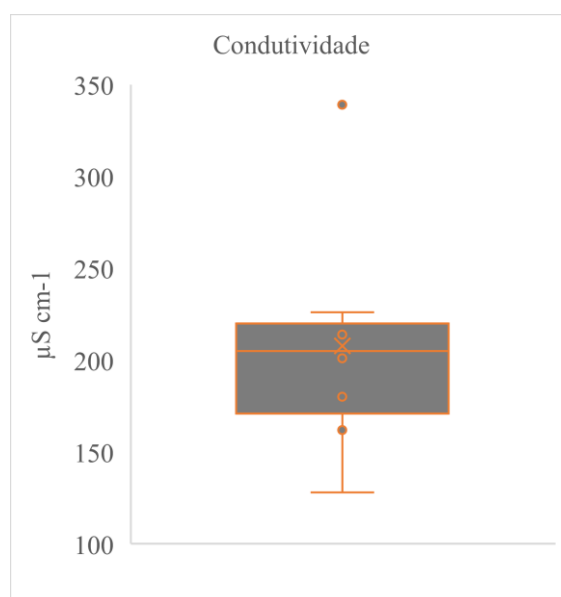


Figura 3.2- *Boxplot* da caracterização da condutividade dos solos colectados no campo experimental.

Em Portugal, os solos usualmente apresentam um baixo teor de matéria orgânica, assim como uma acentuada tendência para a respectiva diminuição progressiva. Tal acontece devido às condições climáticas prevalentes e favoráveis à decomposição, assim como as práticas culturais realizadas, nomeadamente a inexistência de reposição adequada dos seus níveis. Os níveis óptimos de matéria orgânica deverão corresponder a 45 % do teor de argila, podendo valores de matéria orgânica abaixo de 2,5 % nos solos argilosos, 2,0 % nos limosos e 1,3 % nos arenosos (**Tabela 3.2**), induzir a redução da fertilidade do solo (Gonçalves, 2005).

Tabela 3.2- Relação entre os níveis desejáveis de matéria orgânica e os teores de argila (adaptado de: Gonçalves, 2005).

Teor de argila (%)	Matéria orgânica (%)
<10	1,5- 2
10-30	2-2,5
>30	2,5-3

Na **Figura 3.3** pode visualizar-se uma das amostras de solo do campo experimental Moledo, tendo sido verificada uma acentuada homogeneidade na aparência visual do solo nas amostras recolhidas.



Figura 3.3- Aspecto visual de uma amostra de solo do campo experimental Moledo.

No enquadramento de uma matéria orgânica média de 1,88 %, evidenciou-se que a respectiva riqueza no solo do campo experimental pode integrar-se na classe B (Baixo), apresentando uma textura média e fina (**Tabela 3.3**).

Tabela 3.3- Classes de riqueza dos solos em matéria orgânica (M.O) (adaptado de: Gonçalves, 2005).

Classe	Textura Média e Fina	Textura Grosseira
MB (Muito Baixo)	M.O.< 1%	M.O.< 0,5 %
B (Baixo)	1,1 % <M.O.< 2 %	0,6 % <M.O.< 1,5 %
M (Médio)	2,1 % <M.O.< 7 %	1,6 % <M.O.< 5 %
A (Alto)	7,1 % <M.O.< 10 %	5,1 % <M.O.< 7 %
MA (Muito Alto)	M.O.> 10,1%	M.O.> 7,1 %

Verificou-se ainda que o solo se apresenta ligeiramente básico (pH entre 7,3 e 7,6) (**Tabela 3.1**). Esta faixa de pH (valores mais próximos da neutralidade) é considerada ideal para a agricultura, visto que nesta gama de valores os nutrientes (nomeadamente o N, P, K, Ca, Mg e S) apresentarem uma elevada disponibilidade para a absorção radicular nas espécies vegetais decorrente de uma maior solubilidade. Denota-se que em solos com pH inferior a 5,5 a solubilidade do Ca, Mg e do P é reduzida ^[16].

Relativamente à condutividade eléctrica, que mede a quantidade de sais presente em solução no solo, quanto maior a quantidade de sais presente na solução, maior será o valor da condutividade eléctrica. Aponte-se que o excesso de sais na zona radicular, prejudica a germinação, desenvolvimento e a produtividade das plantas, independentemente dos iões presentes. Ao subsistir uma maior concentração em solução, acentua-se a exigência por parte da planta de um maior gasto de energia para assegurar a absorção radicular da água (efeito osmótico), aspecto que constitui um prejuízo para os processos metabólicos essenciais da planta (o que, consequentemente, pode afectar a respectiva produtividade) (Brandão & Lima, 2002). Denote-se que, por exemplo, o excesso de Na^+ inibe a absorção de Ca^{2+} (White & Broadley, 2009). Contudo, ressalve-se que cada espécie vegetal apresenta um nível de tolerância diferente. Neste enquadramento verificou-se que (**Tabela 3.4**) a condutividade do solo do campo experimental apresenta valores oscilando entre 128 e 339 $\mu\text{S cm}^{-1}$ e um valor médio de 205 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (traduzindo-se em 0,205 dS m^{-1}), independentemente do método (EC_e ou o $\text{EC}_{1:1}$ adaptado para $\text{EC}_{1:2,5}$ - proporção utilizada no procedimento experimental), pertencendo assim à classe dos solos não salinos.

Tabela 3.4- Classes de salinidade, considerando o Método EC_e (Método de laboratório padrão para testes de condutividade eléctrica do solo, utilizando uma pasta saturada, não sendo preciso ajustar o solo à textura) e o Método EC_{1:1} (Método de teste de condutividade do solo utilizando uma proporção solo-água de 1:1, devendo ser ajustado para a textura do solo) (adaptado de: Smith & Doran, 1996).

Textura	Graus / Classes de Salinidade				
	Não Salino	Pouco Salino	Moderadamente Salino	Fortemente Salino	Muito Salino
Método EC_e (dS/m)					
Todas as texturas	0-2,0	2,1-4,0	4,1-8,0	8,1-16,0	>16,1
Método EC_{1:1} (dS/m)					
Areia grossa e argilosa	0-1,1	1,2-2,4	2,5-4,4	4,5-8,9	>9,0
Areia fina e argilosa	0-1,2	1,3-2,4	2,5-4,7	4,8-9,4	>9,5
Silte a barro argiloso	0-1,3	1,4-2,5	2,6-5,0	5,1-10,0	>10,1
Silte argiloso a argila	0-1,4	1,5-2,8	2,9-5,7	5,8-11,4	>11,5

Na **Tabela 3.5** apresentam-se os limites da condutividade eléctrica e a redução do rendimento do cultivo de batata, quando o limite é ultrapassado.

Tabela 3.5- A tolerância ao sal e o rendimento diminuem quando se ultrapassa o limite de condutividade eléctrica para a cultura da batata (adaptado de: Smith & Doran, 1996).

Cultivo	Limite EC _e (dS/m)	Limite EC _{1:1} (dS/m)	Redução de rendimento (%) por EC _{1:1} (dS/m) superior ao limite.
Batata	1,7	1,0-1,2	12,0

A determinação do índice colorimétrico obedeceu à escala Cielab (L – brilho, a* verde – vermelho e b* azul – amarelo), após remoção da humidade (1ª determinação - 24 horas após manutenção em estufa a 105 °C e subsequente manutenção num exsiccador durante 1 hora) e da matéria orgânica (2ª determinação - após manutenção a 550 °C, durante 6 horas e subsequente manutenção num exsiccador durante 1 hora), revelou valores substancialmente diferentes na fase que antecedeu a remoção de matéria orgânica (**Tabela 3.6**). Neste enquadramento, os resultados apontam para uma interferência da matéria orgânica na definição dos índices colorimétricos na 1ª determinação.

Tabela 3.6- Médias dos parâmetros colorimétricos Cielab (L – brilho, a* verde – vermelho e b* azul – amarelo). A 1ª Determinação foi registada após a determinação da percentagem de humidade, a 2ª determinação foi registada após determinação da percentagem da matéria orgânica. As letras a, b, c indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre os tratamentos (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de factor único, $P \leq 0,05$).

Amostragem	1ª Determinação			2ª Determinação		
	L	a*	b*	L	a*	b*
C1	38,5 a,b	3,63 a,b	12,7 a,b,c	48,0 a	16,0 a,b	32,5 a
A1	29,4 a	3,65 a,b	12,0 c	47,5 a	14,9 b	30,8 a
A2	39,1 a,b	4,09 a,b	13,3 a,b,c	49,0 a	16,1 a,b	32,4 a
A3	38,3 a,b	3,73 a,b	12,6 b,c	49,4 a	15,3 b	31,3 a
A4	39,6 a,b	3,94 a,b	13,2 a,b,c	50,5 a	16,5 a,b	33,5 a
B1	41,5 b	4,14 a	14,3 a	50,9 a	16,5 a,b	33,8 a
B2	40,8 a,b	3,98 a,b	14,1 a,b	49,4 a	17,1 a	33,8 a
B3	42,6 b	3,81 a,b	14,1 a,b	51,0 a	16,0 a,b	32,8 a
B4	41,2 b	3,49 b	13,7 a,b	47,5 a	15,3 b	31,3 a
Média	38,9	3,8	13,2	49,1	15,9	32,4

Na **Figura 3.4**, representa-se o mapa de amostragem de solos do campo experimental Moledo.

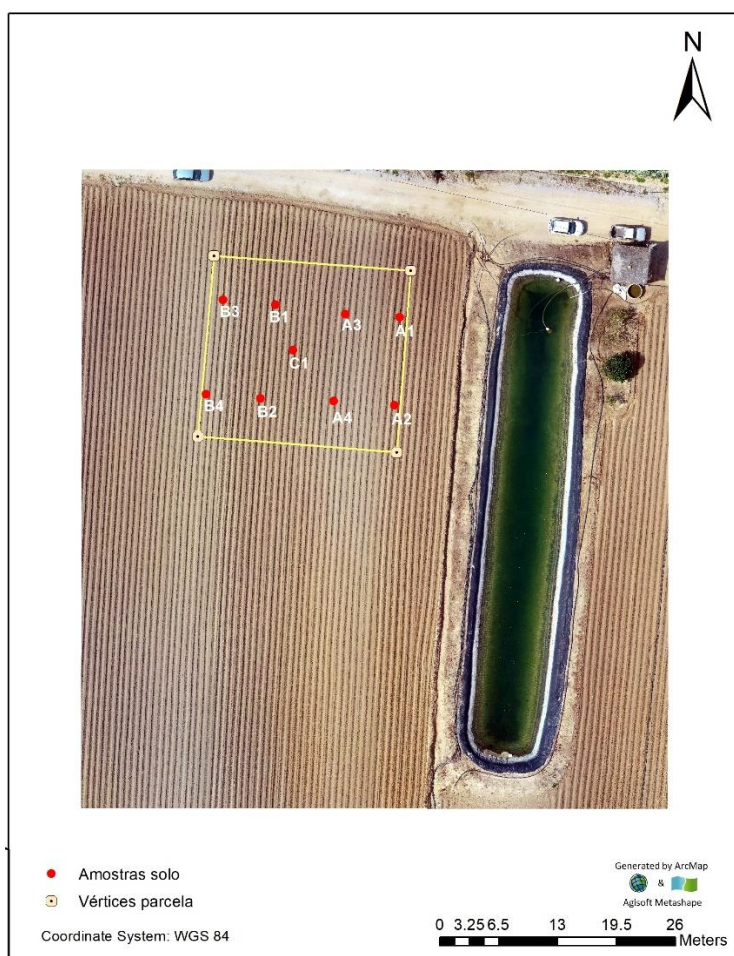


Figura 3.4- Localização geográfica das amostras de solo do campo experimental Moledo.

Na escala Cielab, a coordenada L representa a luminosidade / brilho (ou seja, a contribuição do preto ou do branco, podendo variar entre 0 e 100), e os parâmetros a^* e b^* traduzem, respectivamente, a contribuição do verde ou vermelho (conforme o valor é negativo ou positivo) e do azul ou amarelo (quando é negativo ou positivo) (Figura 3.5).

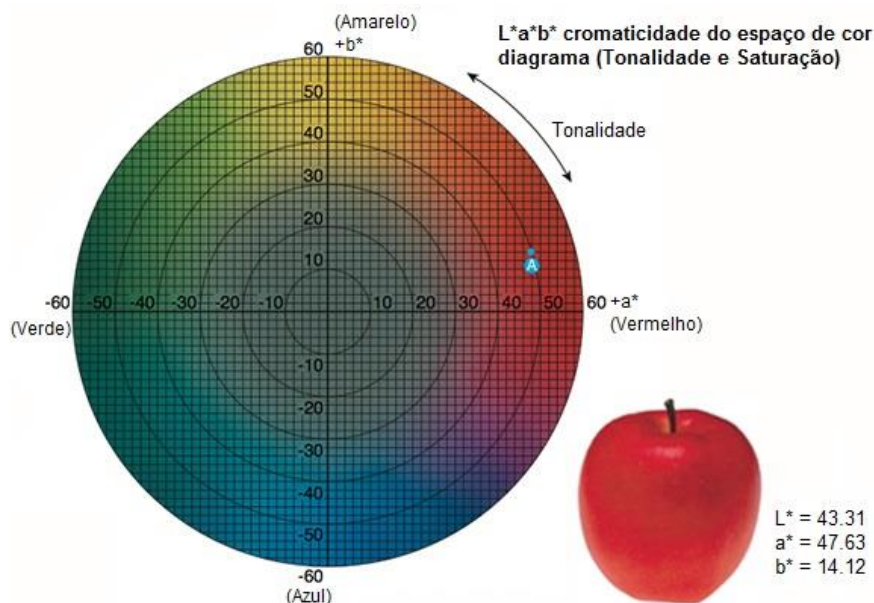


Figura 3.5 - Espaço de cor Cielab e exemplo figurativo das coordenadas de uma maçã ^[i].

As diferenças de cor entre duas ou mais amostras podem ser calculadas através dos Delta (Δ) para a coordenada L, a^* e b^* , podendo ser negativas (-) ou positivas (+). Ressalte-se a possibilidade de calcular a diferença total de cor (ΔE), sendo esta sempre positiva ^[17].

ΔL = diferença em mais claro e escuro (+ = mais claro, - = mais escuro)

Δa^* = diferença em vermelho e verde (+ = mais vermelho, - = mais verde)

Δb^* = diferença em amarelo e azul (+ = mais amarelo, - = mais azul)

ΔE^* = diferença total de cor = $\Delta E^* = [\Delta L^2 + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}]^{1/2}$

Tabela 3.7- Diferenças dos parâmetros colorimétricos Cielab (L – brilho, a^* verde – vermelho e b^* azul – amarelo) entre a 2ª Determinação (registada após determinação da percentagem da matéria orgânica) e a 1ª determinação (registada após a determinação da percentagem de humidade).

Campo	ΔL	Δa^*	Δb^*	Diferença total de cor (ΔE)	
				1ª determinação	2ª determinação
Campo Moledo	+10,2	+12,1	+19,2	56,05	97,4

Observa-se na **Tabela 3.6** que na primeira determinação, o maior teor de matéria orgânica do campo experimental confere, um índice colorimétrico ao solo com menor luminosidade / brilho, mas com maior predomínio do vermelho e menor contribuição do amarelo. Após remoção da matéria orgânica, o solo do campo experimental revela um aumento substancial do brilho, do vermelho e do amarelo. Na **Tabela 3.7** é possível constatar o que foi evidenciado, visto as diferenças dos parâmetros colorimétricos apresentarem valores positivos.

Procedeu-se à análise dos teores em elementos minerais no solo (**Tabela 3.8**) do campo experimental, recorrendo à análise de fluorescência por aplicação de raios-X (com recurso a um analisador portátil de raios-X Niton Thermal Scientific), destacando-se a existência de teores relativamente elevados dos contaminantes Pb e As.

Tabela 3.8 – Quantificação de elementos minerais constituintes do solo (0-30 cm de profundidade) no campo experimental Moledo.

Parâmetros Estatísticos	Elementos minerais nos solos (0 – 30 cm de profundidade)									
	Ca (%)	K (%)	Mg (%)	P (%)	Fe (%)	S (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Pb (ppm)	As (ppm)
Mínimo	0,25	1,94	0,10	0,15	0,76	26,2	< 12*	< 180*	8,68	10,3
Q1	0,32	2,18	0,14	0,21	1,17	54,9	15,4	267	9,55	12,5
Mediana	0,42	2,20	0,15	0,25	1,24	63,4	20,1	322	11,1	12,9
Média	0,39	2,20	0,15	0,23	1,19	55,9	19,6	318	11,0	12,5
Q3	0,45	2,27	0,17	0,26	1,29	64,4	23,1	370	12,2	13,0
Máximo	0,49	2,35	0,18	0,30	1,54	69,0	27,0	449	14,1	13,3
Distorção	-0,72	-1,43	-0,50	-0,75	-0,78	-1,50	0,02	0,01	0,22	-2,00

Os solos podem conter maiores ou menores concentrações em elementos minerais, nomeadamente de metais pesados, podendo subsistir concentrações abaixo do limite de deteção em face dos métodos analíticos utilizados (Alloway, 2010).

Cerca de 99 % do conteúdo total da crosta terrestre é constituído por O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg, Ti, P, C, Cl, H e S (Alloway, 2010). Os restantes elementos são designados por elementos-traço e as suas concentrações individuais, normalmente não excedem 1000 mg kg⁻¹, podendo na maior parte das vezes existir concentrações médias inferiores a 100 mg kg⁻¹ (Alloway, 2010).

Apesar da existência de teores relativamente elevados de elementos minerais contaminantes, os teores de Pb nos solos encontravam-se abaixo do valor limite de concentração apontado ao nível legislativo, considerando que para um pH superior a 7.0, o valor limite é 450 mg kg⁻¹ de matéria seca (DL n°118/2006). Aponte-se ainda que no caso do As, num solo não contaminado a concentração deste elemento mineral pode variar entre 0,2 e 40 mg kg⁻¹ (Cunha & Duarte, 2008).

A biodisponibilidade de metais pesados para as plantas encontra-se condicionada pelas características do solo em que estas se desenvolvem (Fairbrother *et al.*, 2007). Segundo Reboredo *et al.* (2019), sabe-se que o pH do solo é um dos fatores mais importantes no que diz respeito à mobilidade de metais pesados. No entanto, até à data, o solo do campo experimental Moledo não apresentava preocupações ao nível da problemática dos metais pesados.

A avaliação qualitativa da biodisponibilidade dos cátions metálicos em solos não contaminados para plantas e invertebrados no solo, em função do pH e do teor de matéria orgânica, encontra-se expressa na **Tabela 3.9**, verificando-se que a biodisponibilidade de cátions metálicos nos solos do campo experimental corresponde a um valor médio, face ao respectivo pH e o baixo teor de matéria orgânica.

Tabela 3.9–Avaliação qualitativa da biodisponibilidade de cátions metálicos em solos não contaminados, em função do pH e do teor de matéria orgânica (M.O) (adaptado de: Fairbrother *et al.*, 2007).

pH do solo	Teor de M.O.		
	Baixo (<2% M.O.)	Média (2 ≤ M.O. < 6%)	Alto (M.O. ≥ 6%)
4,0 < pH ≤ 5,5	Muito alta	Alta	Média
5,5 < pH ≤ 7,0	Alta	Média	Baixa
7,0 < pH ≤ 8,5	Média	Baixa	Muito Baixa

3.1.2- Propriedades da água nos solos

Um terço do consumo de água na Europa é da responsabilidade do setor agrícola ^[18]. Em matéria de eficiência na utilização dos recursos hídricos encontra-se a irrigação das culturas, visto que nos países do sul da Europa, como a Grécia, Itália, Portugal, Chipre e Espanha, as condições áridas ou semiáridas impõem o recurso à irrigação. Atualmente, nestas regiões, cerca de 80 % da água consumida pela agricultura é utilizada na irrigação ^[18].

A agricultura irrigada depende de um fornecimento adequado de água de qualidade, tendo em consideração a sua utilização. A qualidade da água é definida por características físicas, químicas e biológicas. Está relacionada com as características que irão influenciar a respectiva adequação para um determinado uso (Ayers & Westcot, 1985).

A adequação de uma água para irrigação é determinada pelo tipo e teores totais de sais. Podem ocorrer diversos tipos de problemas na génese do solo e cultivo, quando o teor total em sais aumenta, sendo essencial adequar-se as práticas de manejo para manter um rendimento aceitável das culturas produzidas (Ayers & Westcot, 1985).

A composição física e química da água de rega deve ser considerada em termos dos seus efeitos no solo (impermeabilização e / ou alcalinização) e nas culturas (toxicidade), bem como as

precauções a ter com os equipamentos empregues na irrigação (incrustações e corrosão) (Ayers & Westcot, 1985). Considerando estes pressupostos, efectuou-se a classificação da água dos solos do campo experimental (**Tabela 3.10**) em termos de iões dominantes, segundo a metodologia proposta por Piper (**Anexo II**); determinando-se o índice SAR (índice de adsorção de sódio). Classificou-se ainda a água, relacionando o índice SAR com a condutividade eléctrica, nas classes C e S. Adicionalmente, estimou-se o índice de saturação de Langelier (ISL), a partir do pHe (pH de equilíbrio), com vista à determinação do poder incrustante, ou de agressividade da água, em relação ao carbonato de cálcio (Sadashivaiah *et al.*, 2008).

Tabela 3.10– Parâmetros físicos e químicos do campo experimental Moledo (recolha de amostras efectuada em 12/10/2018).

Parâmetro	Campo Moledo	
Condutividade eléctrica (CE)	1322 $\mu\text{S cm}^{-1}$ a 20 °C	
pH	7,2	
Cálcio (Ca^{2+})	156,4 mg L^{-1}	7,8 meq L^{-1}
Magnésio (Mg^{2+})	22,5 mg L^{-1}	1,8 meq L^{-1}
Sódio (Na^+)	33,8 mg L^{-1}	1,4 meq L^{-1}
Potássio (K^+)	2,1 mg L^{-1}	0,05 meq L^{-1}
Bicarbonato (HCO_3^-)	297,6 mg L^{-1}	4,8 meq L^{-1}
Cloreto (Cl^-)	56,6 mg L^{-1}	1,6 meq L^{-1}
Sulfato (SO_4^{2-})	166 mg L^{-1}	3,4 meq L^{-1}
Nitrato (NO_3^-)	90,3 mg L^{-1}	1,4 meq L^{-1}
Fosfato (PO_4^{3-})	< 1,5 mg L^{-1}	< 0,04 meq L^{-1}

No campo experimental Moledo, a água de irrigação é de origem subterrânea, de fácies hidroquímica bicarbonatada sulfatada cálcica, com salinidade elevada (concentração de sais avaliados em termos de condutividade eléctrica) (**Tabela 3.11**) e pertence à classe C3S1 (**Anexo III**), com índice SAR 0,64 (**Anexo VI**). Verificou-se que não representa perigo de alcalinização do solo, por apresentar baixa concentração de sódio em relação ao cálcio e magnésio, podendo ser utilizada em quase todo o tipo de solo. Contudo, devido à elevada concentração de sais, não é recomendada a sua utilização em solos com drenagem deficiente, podendo ser necessário aplicar medidas especiais para controlo da salinização. Sempre que possível, a água com SAR elevado deve ser diluída para reduzir os problemas de infiltração (Ayers & Westcot, 1985). É uma água que só deve ser aplicada a culturas tolerantes aos sais, nomeadamente a batateira, pois é uma cultura com tolerância relativa (Ayers & Westcot, 1985). Trata-se de uma água subsaturada em carbonato de cálcio com tendência corrosiva quando circular em canalizações com esta

composição, apresentando pHe igual a 7,3 e ISL de -0,41, à temperatura de referência de 20 °C (Anexo V).

Tabela 3.11– Diretrizes para a interpretação da qualidade da água para irrigação (adaptado de: Ayers *et al.*, 1985) EC (condutividade elétrica) é uma medida da salinidade da água, a 25°C (dS m⁻¹). SAR é a taxa de adsorção de sódio.

Potenciais problemas de irrigação		Grau de restrição ao uso da água				
		Nenhum	Leve a moderado	Severo		
Salinidade						
EC (dS m ⁻¹)		< 7,0	0,7-3,0	>3,0		
Infiltração (Avaliada juntamente com o CE e o SAR)						
SAR	= 0-3	=	>0,7	0,7-0,2	<0,2	
	= 3-6	=	>1,2	1,2-0,2	<0,3	
	= 6-12	EC	=	>1,9	1,9-0,5	<0,5
	= 12-20	=	>2,9	2,9-1,3	<1,3	
	=20-40	=	>5,0	5,0-2,9	<2,9	
Toxicidade iônica específica						
Sódio						
Irrigação de superfície (SAR)		<3	3-9	>9		
Irrigação por aspersão (meq L ⁻¹)		<3	>3			
Cloreto						
Irrigação de superfície (SAR)		<4	4-10	>10		
Irrigação por aspersão (meq L ⁻¹)		<3	>3			
Boro (mg/L)		<0,7	0,7-3,0	>3,0		
Efeitos diversos						
Nitrato (NO₃-N) (mg L⁻¹)		<5	5-30	>30		
Bicarbonato (HCO₃) (meq L⁻¹)						
Irrigação por aspersão		<1,5	1,5-8,5	>8,5		
pH			6,5-8,4			

Salienta-se que estamos perante um problema de salinidade se os sais se acumularem na zona da raiz da cultura, em concentrações que possam causar uma perda no rendimento. As reduções dos rendimentos das culturas ocorrem quando os sais se acumulam na zona da raiz de tal forma, que a cultura não consegue extrair água suficiente da solução salina do solo, resultando num *stress* hídrico por um período de tempo significativo. Se a absorção de água é consideravelmente reduzida, a planta diminui a sua taxa de crescimento e consequentemente o rendimento (Ayers & Westcot, 1985).

Tabela 3.12– Tolerância da cultura e potencial de produtividade sob a influencia da irrigação de água salina (EC_w – Condutividade elétrica da água) ou da salinidade do solo (EC_e – Condutividade elétrica do solo) ($dS\ m^{-1}$) (adaptado de: Ayers & Westcot, 1985).

Cultura	Rendimento potencial (%)									
	100		90		75		50		0	
	EC_e	EC_w	EC_e	EC_w	EC_e	EC_w	EC_e	EC_w	EC_e	EC_w
Batata (<i>Solanum tuberosum</i> L.)	1,7	1,1	2,5	1,7	3,8	2,5	5,9	3,9	10	6,7

Considerando a **Tabela 3.12**, evidencia-se que o rendimento potencial da cultura se encontra entre 90-100 %, tendo em conta a condutividade elétrica do solo e da água de irrigação.

3.1.3- Condicionantes Meteorológicas

As condições meteorológicas associadas ao ciclo de produção de tubérculos de batateira no campo experimental Moledo foram registadas pela estação da rede meteorológica nacional localizada na Base Aérea de Monte Real (coordenadas GPS: 39°49'41.293" N; 8°52'52.427" O). Os dados compreendem o período que medeia de Janeiro de 2018 até Dezembro de 2018 (dados diários).

3.1.3.1- Estação Meteorológica Base Aérea de Monte Real

As condições meteorológicas associadas ao ciclo de produção de tubérculos de batateira foram registadas, considerando que não só a adaptação das espécies vegetais como os fatores relacionados ao ambiente, podem influenciar a capacidade das plantas de absorver ao nível radicular e de translocar minerais para a parte aérea (Gregório *et al.*, 2000). Neste enquadramento, torna-se imprescindível a sua análise.

O período de ensaio, que decorreu entre 4 de Maio (data da plantação) e 4 de Setembro (data da colheita), caracterizou-se por uma temperatura média máxima de 23 °C e média mínima de 15 °C, sendo os valores máximo e mínimo registados 41°C e 6 °C, respectivamente (**Figura 3.6**). O relatório do IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera - para o período de Primavera refere que os valores da temperatura média do ar foram inferiores ao normal, sendo Julho o mais frio desde 2000. Já o mês de Agosto foi o 2º mais quente dos últimos 88 anos (depois de 2003), sendo o dia 4 de Agosto o mais quente do século XXI. Neste dia foram excedidos os extremos absolutos da temperatura máxima e ultrapassados os maiores valores da temperatura mínima, para o mês de Agosto ^[19].

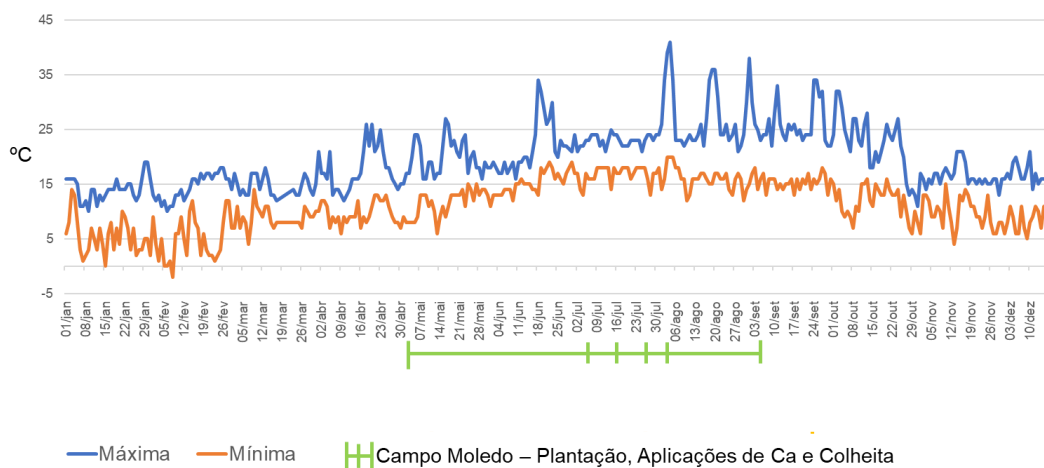


Figura 3.6- Temperaturas máxima e mínima diárias registada durante o ano de 2018 na estação meteorológica da Base Aérea de Monte Real. Assinalam-se os dias de aplicação dos tratamentos e colheita no campo experimental Moledo.

No decurso do período experimental, a humidade máxima do ar registada na estação meteorológica Base Aérea de Monte Real foi 100 % e a mínima de 8 %, sendo a média dos valores máximos diários 96 %, e a média dos valores mínimos diários 53 % (Figura 3.7).

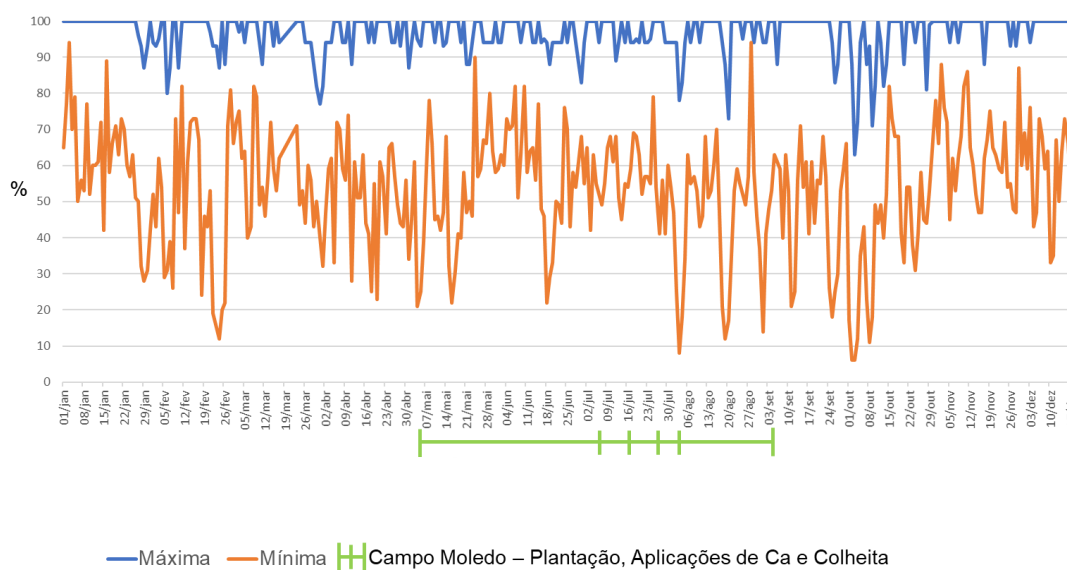


Figura 3.7- Humidade máxima e mínima diária registada durante o ano de 2018 na estação meteorológica Base Aérea de Monte Real. Assinalam-se os dias de aplicação dos tratamentos e a colheita no campo experimental Moledo.

O boletim meteorológico do IPMA (Figura 3.8) refere que a precipitação acumulada nos meses de Março a Maio foi de 429 mm, o que corresponde a cerca de 200 % do valor médio; foi a 3ª Primavera mais chuvosa desde 1931 (depois de 1936 e 1956). A nível nacional, o mês de Junho de 2018, foi o 2º mês Junho mais chuvoso desde 2000, ocorrendo aguaceiros por todo o território, localmente fortes, com granizo e acompanhados de trovoadas. No período experimental,

a precipitação total acumulada foi de 60,4 mm (com um máximo diário de 18,03 mm), a que corresponde a média diária 0,41 mm ^[19].

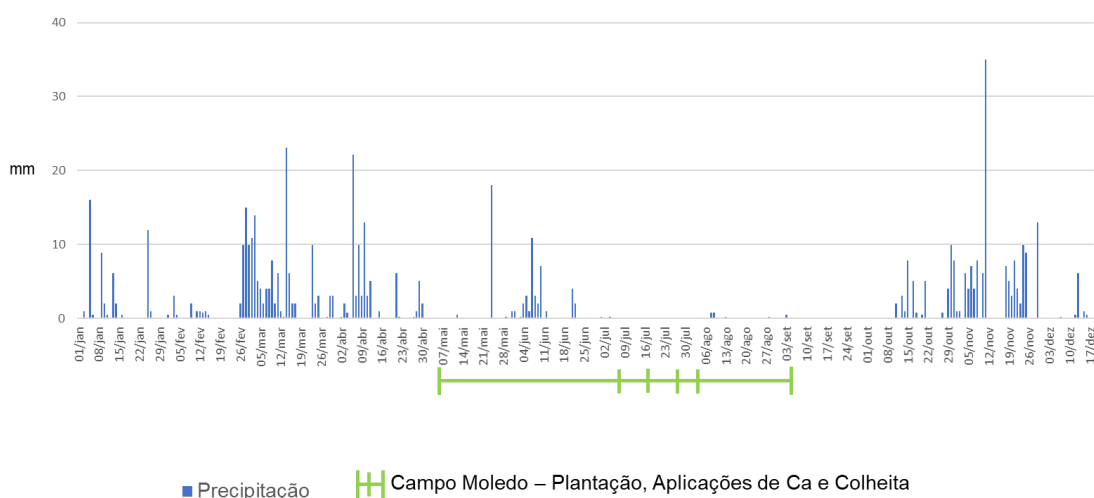


Figura 3.8 - Precipitação acumulada diária durante o ano de 2018 na estação meteorológica Base Aérea de Monte Real. Na figura assinalam-se os dias de aplicação dos tratamentos e colheita no campo experimental Moledo.

3.1.4- Adubação e Fitossanidade

O itinerário técnico de biofortificação em cálcio adoptou o conjunto de acções usuais na cultura de batata da variedade Agria. Aponte-se que a plantação efectuou-se em 4/5/2018 (**Figura 3.9**) e que após o início da tuberização, se realizaram 4 aplicações folheares em 6/7/2018, 16/7/2018, 26/7/2018 e 3/8/2018, com CaCl_2 (1, 3, 6 e 12 kg ha⁻¹) ou, em alternativa, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (0,5, 1, 2, 4 kg ha⁻¹).



Figura 3.9- Visualização de alguns aspectos do ciclo produtivo da variedade Agria de batata no campo experimental Moledo (A- preparação do terreno – 18/5/2018; B- pleno desenvolvimento vegetativo – 23/6/2018; C- colheita – 4/9/2018).

A batateira é uma planta bastante exigente no que diz respeito à adubação, sendo responsável por um elevado consumo de fertilizantes. É uma planta de crescimento rápido, apresentando uma grande exigência de nutrientes num curto período do ciclo vegetativo. Considerando-se um ciclo de 90 a 110 dias, a absorção máxima de N, K, Mg e S ocorre normalmente entre 40 e 50 dias após a emergência (DAE), sendo o P e o Ca absorvidos, continuamente, até 80 DAE (Mesquita *et al.*, 2012).

Segundo Mesquita *et al.* (2012), a eficiência da utilização de fertilizantes contendo N, quando da produção de tubérculos, é de 50%. Salientando, que doses adequadas de misturas NPK têm um efeito benéfico na produção, ainda que em excesso, se tornem prejudiciais para a batateira.

Evidencia-se que o cálcio é um nutriente de grande relevância quando do desenvolvimento das plantas. Contribui para o crescimento e desenvolvimento das mesmas, estimula o crescimento radicular e possibilita o aumento da massa dos frutos (neste caso, dos tubérculos) por melhoria da estrutura da parede celular (Cavalcante *et al.*, 2019).

Ao longo do ciclo de produção, foram aplicados, para além dos tratamentos com CaCl_2 ou $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, produtos fitofarmacêuticos e fertilizantes (**Tabela 3.13**).

Tabela 3.13 – Informação relativa à aplicação de fitofármacos e fertilizantes em todos os tratamentos, durante o ciclo de produção no campo Moledo.

Registo de Aplicação de Produtos Fitofarmacêuticos				
Data Aplicação	Finalidade	Nome Comercial do Produto Fitofarmacêutico	AV/APV	Intervalo de Segurança (dias)
04/05/2018	Rizoctonia	Monceren	3851	-
04/05/2018	Alfinete	Pyrinex 5G	1001	-
22/05/2018	Infestantes	Artist	0701	-
19/06/2018	Míldio	Spirit Pro	0799	21
19/06/2018	Epitrix	Calypso	0071	21
04/07/2018	Míldio	Carial Flex	0994	21
12/07/2018	Míldio	Spirit Pro	0799	21
12/07/2018	Escaravelho	Coragen	4020	14
20/07/2018	Míldio	Carial Flex	0994	21
20/07/2018	Escaravelho	Calypso	0071	21
30/07/2018	Míldio	Cabrio Duo	0196	7
30/07/2018	Escaravelho	Coragen	4020	14
08/08/2018	Alternariose	Cabrio Duo	0196	7
08/08/2018	Traça	Decis Evo	0813	7
17/08/2018	Dessecante	Basta S	0521	-
Registo de Aplicação de Fertilizantes				
Data Aplicação	Nome Comercial do Fertilizante		Modo de Aplicação	
02/05/2018	Adubo Orgânico Folhadouro 4-3-3		Solo	
02/05/2018	Nergetic 10-10-22		Solo	
01/06/2018	Nutricomplex 13-40-13		Folear	
22/06/2018	Fortan		Folear	
04/07/2018	Nitrato Cálcio		Solo	
06/07/2018	Tecnifol Cálcio		Folear	
06/07/2018	Nitrato Cálcio Rega		Folear	
16/07/2018	Tecnifol Cálcio		Folear	
16/07/2018	Nitrato Cálcio Rega		Folear	
20/07/2018	Fitoalgas Green		Folear	
26/07/2018	Tecnifol Cálcio		Folear	
26/07/2018	Nitrato Cálcio Rega		Folear	
31/07/2018	Fortan		Folear	
03/08/2018	Tecnifol Cálcio		Folear	
03/08/2018	Nitrato Cálcio Rega		Folear	

No âmbito dos produtos fitofarmacêuticos procedeu-se à identificação das características e dosagens recomendadas.

O produto comercial Monceren (APV N°3851) é um fungicida indicado para desinfeção de tubérculos da batateira contra *Rhizoctonia solani* (Rizoctónia), é uma suspensão concentrada com 250 g L⁻¹ de pencicurrão. Pertence ao grupo químico Fenilureia e não apresenta um intervalo de segurança a ser considerado. Aconselha-se uma dosagem de 1 L ton⁻¹ e deve ser pulverizado nos tubérculos imediatamente antes da plantação ^[20].

O produto comercial Pyrinex 5G (AV N°1001 concedida pela DGAV) é um insecticida de solo sob a forma de grânulos, que actua por contacto, ingestão e fumigação. Pertence à família química dos organofosforados. A sua utilização em batateira visa o combate de Alfinetes (*Agriotes spp*), Melotontas (*Melolontha spp*), Scutigerele (*Scutigerelella immaculata*), Noctuas (*Agrotis ipsilon*, *A.Segetum*). Aconselha-se uma dosagem de 8-15 kg ha⁻¹, devendo o produto ser aplicado durante a sementeira com incorporação no solo e apenas uma aplicação por campanha ^[21].

O produto comercial Artist (AV N° 0701) é utilizado na cultura de batateira contra infestantes. Deve ser aplicado na a cultura em pré-emergência e nas infestantes no máximo com 2 folhas. Ressalve-se que o solo deve encontrar-se húmido na altura da aplicação, caso tal não se verifique, deve proceder-se à rega do terreno após a aplicação. A dose recomendada é de 1,5-2 kg ha⁻¹. Não apresenta como recomendação nenhum intervalo de segurança ^[22].

O produto comercial Spyrit Pro (AV N°0799) é um fungicida de largo espectro (sobretudo para fungos Oomicetes), com atividade preventiva, curativa e anti-esporulante, indicado para o controlo de Míldio da batateira (*Phytophthora infestans*). Aconselha-se um número máximo de três aplicações e a existência de um intervalo entre aplicações de 7 a 12 dias (utilizar o intervalo mais curto em condições de elevada pressão da doença). O intervalo de segurança aconselhado é de 21 dias ^[23].

O produto comercial Calypso (AV N° 0071) é um insecticida sistémico contra pragas em diversas culturas, nomeadamente na batateira. É uma suspensão concentrada com 480 g L⁻¹ de tiaclopride e é um produto pertencente ao grupo químico dos Neonicotinóides. Recomenda-se um intervalo de segurança de 21 dias no caso da produção de batata. No caso de problemas com Epitrix a concentração é 30 mL hL⁻¹ e a dosagem de 0,15 L ha⁻¹. Deve proceder-se à aplicação do produto aquando do aparecimento dos primeiros adultos. No caso de problemas com Escaravelho, a concentração é 14-21 mL hL⁻¹ e a dosagem de 0,1 - 0,15 L ha⁻¹, a aplicar ao início dos ataques. Em ambas as problemáticas repetir, se necessário, a aplicação ^[24].

O produto comercial Cerial Flex (AV N° 0994) é um fungicida sistémico com atividade preventiva e curativa, indicado para o combate ao míldio (*Phytophthora a infestans*) da batateira. Apresenta uma formulação granulada dispersíveis em água com 250g kg⁻¹ de mandipropamida (amida do ácido carboxílico (CAA)) e 180g kg⁻¹ de cimoxanil. Pertence ao grupo químico das

mandelamida e cianoacetamida oxima. A dose recomendada é de 0,6 kg ha⁻¹ com um intervalo de segurança de 21 dias. A aplicação deve ser feita aquando do aparecimento dos primeiros sintomas ou, me condições favoráveis ao desenvolvimento da doença. A persistência biológica do produto é de 7 dias e não se deve realizar mais do que três tratamentos (seja com este ou outros fungicidas contendo CAA). Salienta-se que os tratamentos devem ser realizados em sequência de duas aplicações ou intercaladas com fungicidas de outros grupos químicos [25].

O produto comercial Coragen (APV N° 4020) é um insecticida à base de clorraniliprol e actua por contacto e ingestão sobre as larvas de lepidópteros e coleópteros. Apresenta uma formulação de suspensão concentrada com 200 g L⁻¹ de clorraniliprol e pertence ao grupo químico das diamida antranflica. O intervalo de segurança no caso da batateira é de 14 dias. É utilizado contra o problema dos escaravelhos, com uma concentração de 5-20 mL hL⁻¹ e dosagem de 50-60 mL ha⁻¹. Deve ser aplicado no início da eclosão dos ovos, antes que se seja possível observar estragos nas folhas e deve repetir-se a aplicação apos 14-21 dias, em função da pressão da praga [26].

O produto comercial Cabrio Duo (AV N° 0196) é um fungicida composto por dimetomorfe e piraclostrobina, destinado ao combate do míldio (*Phytophthora infestans*) e alternariose (*Alternaria solani*). O dimetomorfe é um produto derivado do ácido cinâmico (grupo CAA) e a piraclostrobina (substância activa pertencente ao grupo químico das estrobilurinas). Na batateira para tratamento do míldio (*Phytophthora infestans*) e alternariose (*Alternaria solani*) a concentração recomendada é de 200-250 mL hL⁻¹, correspondendo a uma dose de 2-2,5 L ha⁻¹. A persistência biológica do produto é de 7-10 dias, sendo que em condições de maior pressão da doença, aconselha-se utilizar o intervalo mais curto (7dias) e a dose mais elevada (2,5 L ha⁻¹). Sugere-se a realização de, no máximo três aplicações por ciclo cultural e no máximo duas aplicações consecutivas [27].

O produto comercial Decis Evo (AV N° 0813) é um insecticida de contato e ingestão, cuja substância activa pertence ao grupo dos piretróides (MoA IRAC 3A), e que actua ao nível do sistema nervoso dos insectos, como modelador dos canis de sódio. É uma emulsão de óleo em água com 25 g L⁻¹ ou 2,4 % (p/p) de deltametrina. No caso da batateira é indicado no combate a pragas de afídeos (*Myzus persicae*, *Macrosiphum euphorbiae* e *Aphis nasturtii*), escaravelho da batateira (*Leptinotarsa decemlineata*), tripes (*Thrips tabaci*) e apresenta uma acção colateral contra a traça da batata (*Phthorimaea operculella*). Deve utilizar-se uma dose de 0,3 - 0,5 L ha⁻¹ e proceder-se no máximo a três aplicações com intervalo de 14 dias. Na cultura da batateira o total de aplicações com deltametrina não pode ser superior a 3 para o conjunto das pragas [28].

O produto comercial Basta S (AV N°0521) é um herbicida de contacto para infestantes em diversas culturas, nomeadamente na batateira. Apresenta-se como uma solução concentrada com 150 g L⁻¹ de glufosinato-amónio, pertencendo ao grupo químico Ácido aminofosfínico. Na cultura de batateira, o intervalo de segurança é de 14 dias. É um produto utilizado para desfolhar. A dose

recomendada é de 2 - 2,5 L ha⁻¹ tratado. Deve proceder-se à aplicação do produto 14 dias antes da data prevista de colheita, salientando-se que não se deve efectuar a aplicação do produto após chuva forte ou outras condições de humidade elevada [29].

No âmbito da aplicação de fertilizantes procedeu-se à identificação das suas características.

O adubo orgânico folhadouro 4-3-3, é um fertilizante 100 % orgânico em *pellets*, ecológico e higiénico. O material orgânico deste fertilizante contém estruturas de ácidos principalmente húmicos, que são benéficos aos solos facilitando a disponibilidade de nutrientes, libertando gradualmente os minerais presentes no solo e, por conseguinte, mais minerais ficam disponíveis para posterior absorção pelas raízes das plantas. A aplicação correcta evita sintomas de deficiência nas culturas durante a estação de crescimento. Salienta-se que a utilização de fertilizantes orgânicos leva a um aumento da atividade microbiológica do solo [30].

O adubo ADP Nergetic 10-10-22, apresenta uma macromolécula reguladora da lixiviação e volatilização com um eficiente potenciador nutricional. Pode ser utilizado em adubações de fundo numa só aplicação ou/e em cobertura para culturas como a batata. É um adubo complexo NPK, NP e azotado com Mg e S [31]. Apresenta como vantagens a proteção de todos os nutrientes e a sua libertação gradual ao ritmo das necessidades das plantas, diminuição da lixiviação, a maior eficiência da utilização de nutrientes, o maior desenvolvimento vegetativo das culturas e o aumento da produção (**Figura 3.10**) [32].

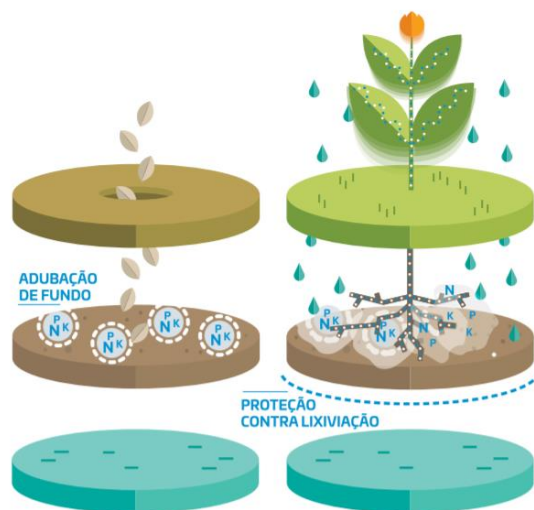


Figura 3.10- Ilustração figurativa da vantagem do uso do adubo ADP Nergetic 10-10-22 [6].

O adubo Nutricomplex 13-40-12 é um adubo NPK com formulação de cristais solúveis. A concentração a utilizar deverá ser de 15 kg por cada 100 litros de água e dependendo do tipo de solo e cultura recomenda-se a aplicação de doses de 400 - 800 kg ha⁻¹ ano⁻¹ [33].

O Fortan é um fortalecedor nutritivo disponível e de rápida absorção pelas plantas. Apresenta como principais afeitos o aumento da produção em quantidade e em qualidade, possibilita o aumento do nível de açúcares (grau brix) e o teor de amido nos frutos e produtos hortícolas, e

aumenta o poder de conservação, conferindo uma maior rigidez ao nível da epiderme dos frutos e produtos hortícolas. No caso de culturas hortícolas de aplicação foliar recomenda-se 2,5 - 3,5 kg ha⁻¹ e realizar-se 2 a 4 aplicações durante o ciclo vegetativo da cultura ^[34].

O solo foi suplementado com Ca(NO₃)₂. Este apresenta um aspeto branco, sólido e granulado. É um sal duplo de Ca(NO₃)₂ e amónio. É utilizado como fertilizante em várias culturas, especialmente nas culturas mais exigentes em Ca ^[35]. Um estudo realizado por Cavalcante *et al.* (2019) com goiabeiras, concluiu que a adubação com Ca(NO₃)₂ promove o aumento dos teores foliares de P, K, Ca, S, Mg e Zn.

O adubo foliar Tecnifol Cálcio (vulgarmente conhecido como CaCl₂, ao longo deste estudo), é constituído por cerca de 13,5 % (176 g L⁻¹) de CaO e 0,2 % (3 g L⁻¹) de B. A dosagem de aplicação varia com o grau de carência. Perante uma carência grave de Ca recomenda-se a aplicação de 8 - 10 L ha⁻¹, aquando de uma carência moderada é recomendada a aplicação de cerca de 5 - 6 L ha⁻¹ e em caso de manutenção 2-4 L ha⁻¹. A concentração máxima nas culturas em geral é de 2 L de Tecnifol Cálcio em 100 L⁻¹ de água ^[36].

O Nitrato Cálcio Rega (conhecido no decorrer deste estudo como Ca(NO₃)₂) é um adubo azotado com formulação granulada. Constituído aproximadamente por 27% de cálcio (CaO) e 15,5% de N ^[37].

Auxiliou-se a cultura ainda com o produto Fitoalgas Green. É um bioestimulante de elevada ação com 16,5 % (p/v) ou 15 % (p/p) de *Ascophyllum nodosum s.m.s.*, que é uma alga considerada a mais activa biologicamente apresentando na sua composição macro e micronutrientes e um conjunto de compostos orgânicos que promovem o aumento das produções quer em quantidade quer em qualidade. É recomendada a aplicação em culturas hortícolas, ao nível foliar de 2 - 3 L ha⁻¹, recomendando-se duas ou três aplicações durante o ciclo vegetativo da cultura ^[38].

A prática de uma adubação adequada é imprescindível para aumentar a disponibilidade de nutrientes no solo e a absorção pelas plantas de forma equilibrada. Para além da adubação apresentar um papel crucial no aumento da produtividade da cultura e da qualidade da mesma, possibilita que as plantas possuam menor susceptibilidade ao ataque de pragas e doenças, assim como, uma maior tolerância e resistência a deficiências hídricas e de outros tipos de *stresses* que possam surgir, além de que a produtividade aumenta (Mesquita *et al.*, 2012; Cavalcante *et al.*, 2019).

3.2- Caracterização física e química ao longo do ciclo de produção

No âmbito deste estudo, com a biofortificação agronómica em cálcio dos tubérculos de batateira, pretendeu-se incrementar a concentração deste elemento mineral nos tubérculos, promovendo-se a adubação folhear das plantas ao longo do respectivo ciclo produtivo. Neste contexto, no campo experimental Moledo após a plantação (4/5/2018) efectuaram-se, no início da tuberização, 4 aplicações folheares nos dias: 6/7/2018, 16/7/2018, 26/7/2018 e 3/8/2018, com CaCl_2 (1, 3, 6 e 12 kg ha^{-1}) ou, em alternativa, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (0,5, 1, 2, 4 kg ha^{-1}). Efectuou-se a monitorização de elementos minerais (destacando-se o cálcio e equacionando e analisando as relações sinérgicas e antagónicas com outros elementos nutricionais), durante a fase intermédia do desenvolvimento das folhas e dos tubérculos das plantas, para caracterizar a mobilização de nutrientes para os tubérculos, a par da fotoassimilação, também se verificando a partir das folhas.

3.2.1- Quantificação de Elementos Minerais

3.2.1.1- Folhas

No campo experimental Moledo, a monitorização da acumulação de nutrientes nas folhas das plantas, foi realizada sem extracção prévia dos elementos minerais, recorrendo à análise de fluorescência por aplicação de raios-X (com recurso a um analisador de raios - X *Niton Thermal Scientific*). Procedeu-se a uma recolha inicial de folhas, após a 2^a pulverização (25/7/2018) com CaCl_2 e $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (**Tabela 3.14**).

Tabela 3.14– Teor médio (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em folhas de *Solanum tuberosum* L. variedade Agria do campo Moledo em 25/7/2018 (2ª Pulverização) e respectivo erro padrão. As letras a, b, c indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre os tratamentos (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de factor único, $P \leq 0,05$).

Tratamentos	Ca	P	K	S	Mg	Fe	Zn	Mn
	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm
Controlo	5,125 b,c ±0,885	0,58a ±0,11	11,03a ±1,49	1,18a,b ±0,14	4,25a,b,c ±0,28	938b ±459	33,7a,b ±2,20	233a,b,c ±43
Ca(NO₃)₂ (0,5 kg ha⁻¹)	5,554 a,b,c ±1,135	0,58a ±0,06	9,26a,b ±0,71	1,32a,b ±0,17	5,25a,b,c ±0,97	2929a ±349	51,6a ±3,15	376a ±74
Ca(NO₃)₂ (1 kg ha⁻¹)	8,406 a,b ±1,012	0,53a ±0,10	9,878a,b ±0,77	1,53a ±0,13	5,40a,b ±0,52	984b ±270	37,0 a,b ±1,67	335a,b ±57
Ca(NO₃)₂ (2 kg ha⁻¹)	8,919 a ±0,461	0,70a ±0,03	10,07a,b ±0,48	1,46a ±0,04	7,44a +0,59	786b ±260	37a,b ±4,05	276a,b,c ±18
Ca(NO₃)₂ (4 kg ha⁻¹)	5,807 a,b,c ±0,130	0,73a ±0,07	9,76a,b ±0,12	1,60a ±0,10	4,12a,b,c ±1,05	653b ±105	37,1a,b ±8,73	159b,c ±49
CaCl₂ (1 kg ha⁻¹)	6,797 a,b,c ±0,522	0,63a ±0,07	9,08a,b ±0,56	1,17a,b ±0,07	5,13a,b,c ±0,81	405b ±39	20,1b ±2,43	141b,c ±6
CaCl₂ (3 kg ha⁻¹)	6,535 a,b,c ±0,492	0,45a ±0,03	8,75a,b ±0,81	1,13a,b ±0,02	3,43b,c ±1,12	572b ±237	29,8b ±2,22	298a,b,c ±48
CaCl₂ (6 kg ha⁻¹)	4,822 c ±0,124	0,42a ±0,04	7,51a,b ±0,65	0,90b ±0,02	1,59c +0,35	366b ±54	23,3b ±1,13	90c ±16
CaCl₂ (12 kg ha⁻¹)	7,491 a,b,c ±0,888	0,44a ±0,05	6,87b ±0,74	1,13a,b ±0,09	3,51b,c ±0,61	530b ±39	28,4b ±1,96	153b,c ±27

Na **Tabela 3.14**, encontram-se apresentados os teores médios de vários elementos, tendo-se observado que, relativamente ao controlo, ocorreu um aumento nos teores de Ca em todos os tratamentos (exceptuando o tratamento CaCl₂ (6 kg ha⁻¹). Este aumento nos teores de Ca foi significativo no tratamento Ca(NO₃)₂ (2 kg ha⁻¹). Os elementos P, Mg, S, Zn e Mn, face ao controlo, não variaram de forma significativa ao longo dos tratamentos e o K apenas apresentou valores significativamente inferiores no tratamento CaCl₂ (12 kg ha⁻¹). O Fe não variou de forma significativa relativamente ao controlo, com exceção do tratamento Ca(NO₃)₂ (0,5 kg ha⁻¹), que foi mais elevado. Após a análise realizada à **Tabela 3.14**, foi possível constatar-se que, independentemente das concentrações aplicadas de Ca(NO₃)₂ ou CaCl₂, não subsistiram aspectos fitotóxicos, muito embora fossem evidentes algumas alterações induzidas pelo cálcio sobre a cinética de acumulação dos restantes elementos minerais.

Segundo Amaral & Militão (2015), os teores de nutrientes na matéria seca das folhas de tubérculos, 72 após a plantação apresentaram valores entre 2,82 e 4,21 % para o Ca, entre 1,83 e 3,85 % para o K e entre 0,51 e 0,69 % para o P. Efectuando uma análise comparativa com os valores da **Tabela 3.14**, estes foram semelhantes aos obtidos no estudo realizado por Amaral & Militão (2015), excepto no caso do Ca, onde se verificaram valores menores.

Considerando um estudo realizado por Echer *et al.* (2009), com folhas de batata-doce (na época da colheita), o N foi o macronutriente em maior quantidade, seguido do K e do Ca. O S e o P apresentaram menores concentrações. Relativamente ao teor em micronutrientes, o Mn foi o elemento mineral que predominou, seguido do B, Zn, Fe e Cu. Apesar deste estudo ter sido realizado na época da colheita, constatou-se (**Tabela 3.14**) que o K em relação ao Ca, é o

macroelemento em maior quantidade em folhas de *Solanum tuberosum* L. da variedade Agria do campo Moledo, seguindo-se o S e P. Relativamente aos micronutrientes, evidencia-se que ao contrário do estudo de Echer *et al.* (2009), o Fe é o predominante, seguindo-se do Mn, Zn e Mg.

Um estudo realizado por Madani *et al.* (2015), em que se efectuaram aplicações folheares com cálcio (CaCl_2 e $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) em plantas de papaia, constatou-se que a concentração de Ca nas folhas aumentou em comparação ao controlo. Evidenciou-se ainda, que a concentração de Mg diminuiu com o aumento da concentração de CaCl_2 , atribuindo-se tal acontecimento ao efeito antagónico do Ca sobre o Mg. No caso do P, evidenciou-se que as aplicações foliares com Ca aumentaram a concentração deste macroelemento, indicando uma relação sinérgica entre estes elementos minerais. Considerando os valores da **Tabela 3.14**, podemos observar a mesma tendência relatada por Madani *et al.* (2015), em relação ao Ca e ao Mg.

3.2.1.2- Tubérculos

3.2.1.2.1- Monitorização Durante o Desenvolvimento Fenológico do Tubérculo

No campo experimental Moledo, a monitorização da acumulação de macronutrientes, foi efectuada sem extracção prévia dos elementos minerais, recorrendo-se à análise de fluorescência por aplicação de raios-X (com recurso a um analisador de raios - X *Niton Thermal Scientific*). Efectuou-se uma recolha inicial de tubérculos, após a 2ª pulverização (25/7/2018) com CaCl_2 e $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (**Tabela 3.15**).

Tabela 3.15– Teor médio (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em tubérculos de *Solanum tuberosum* L. variedade Agria do campo Moledo em 25/7/2018 (2ª Pulverização) e respectivo erro padrão. As letras a, b, c indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre os tratamentos (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de factor único, $P \leq 0,05$).

Tratamentos	Ca	P	K	S
	%	%	%	%
Controlo	0,122 c,d ±0,006	0,204 a,b,c ±0,006	3,364 a,b ±0,099	0,173 a,b ±0,005
Ca(NO₃)₂ (0,5 kg ha⁻¹)	0,143 a,b,c ±0,012	0,218 b,c ±0,005	3,454 b ±0,086	0,186 a,b ±0,005
Ca(NO₃)₂ (1 kg ha⁻¹)	0,159 a,b ±0,005	0,181 c ±0,004	3,349 a,b ±0,025	0,182 b ±0,008
Ca(NO₃)₂ (2 kg ha⁻¹)	0,130 b,c,d ±0,007	0,205 c ±0,009	3,219 a,b ±0,060	0,180 a,b ±0,002
Ca(NO₃)₂ (4 kg ha⁻¹)	0,136 a,b,c,d ±0,007	0,185 a ±0,006	3,305 a ±0,238	0,179 a ±0,006
CaCl₂ (1 kg ha⁻¹)	0,120 c,d ±0,007	0,186 a,b ±0,011	2,825 a ±0,086	0,157 a ±0,006
CaCl₂ (3 kg ha⁻¹)	0,113 c,d ±0,000	0,176 c ±0,006	3,272 a,b ±0,067	0,148 a ±0,004
CaCl₂ (6 kg ha⁻¹)	0,107 d ±0,006	0,170 a,b,c ±0,002	3,155 a,b ±0,035	0,163 a,b ±0,004
CaCl₂ (12 kg ha⁻¹)	0,165 a ±0,001	0,237 b,c ±0,011	3,577 a,b ±0,157	0,188 a,b ±0,013

Verificou-se (**Tabela 3.15**) que nesta fase os teores de Ca, relativamente ao controlo, foram significativamente mais elevados nos tratamentos Ca(NO₃)₂ (1 kg ha⁻¹) e CaCl₂ (12 kg ha⁻¹) e inferiores no CaCl₂ (6 kg ha⁻¹). No entanto, os teores de K, S e P não apresentaram, relativamente ao controlo, variações significativas nos diferentes tratamentos. Nesta fase do desenvolvimento dos tubérculos, independentemente das variações detectadas para todos estes elementos minerais, e à semelhança do que se detectou a nível folhear (**Tabela 3.14**), também nos tubérculos não se constataram acumulações fitotóxicas (ou seja, as variações detectadas integravam-se na elasticidade metabólica intra-específica, razão porque também não se visualizaram sintomas de toxicidade associados à morfologia externa dos tubérculos nesta fase do desenvolvimento).

Ressalve-se que apesar do processo de absorção de nutrientes ser específico e seletivo, existe competição entre eles. Esta pode ser favorável (sinérgica), quando um determinado ião auxilia a absorção de outro, ou desfavorável (antagónica), quando a absorção de um certo ião é prejudicada pela presença de outro. Os transportadores iónicos em raros casos são específicos, pelo que os iões podem competir pelo transporte, sendo esta competição influenciada tanto pelas propriedades do transporte como pela diferença na concentração de iões numa determinada solução [34].

3.2.1.2.2- Definição do Índice de Biofortificação em Cálcio no Tubérculo e Interações Nutricionais

A caracterização do índice de biofortificação de tubérculos de batata (variedade Agria), produzida no campo experimental Moledo, foi realizado recorrendo-se a duas técnicas: análise de fluorescência por aplicação de raios-X em amostras previamente desidratadas (com recurso a um analisador de raio-X *Niton Thermal Scientific*, modelo Xlt) e espectrofotometria de absorção atômica (com utilização de um sistema *Perkin Elmer AA200*, UK), após extracção dos elementos minerais de amostras dos diferentes tratamentos.

Salienta-se que a existência de diferentes concentrações obtidas para os diferentes elementos minerais num mesmo tratamento ocorreu devido a: diferentes métodos de preparação das amostras (desidratação na técnica de fluorescência por raios-X e digestão ácida na técnica de espectrofotometria de absorção atômica); à heterogeneidade no processo de enriquecimento das amostras em Ca aquando da pulverização da solução tanto de CaCl_2 como de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (determinando diferentes índices nas relações sinérgicas e antagónicas nos elementos minerais presentes nas amostras); às condicionantes meteorológicas, estando a absorção de cálcio condicionada pelos factores ambientais (vento, radiação solar, humidade do ar, temperatura, etc.), visto que diferentes graus de exposição das amostras de cada tratamento a estes factores abióticos pode favorecer a desidratação das caldas de cloreto e $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ pulverizadas numas amostras em detrimento de outras do mesmo tratamento; a diferentes limites de detecção e quantificação dos elementos minerais em cada um das técnicas utilizadas (Fernández *et al.*, 2016).

3.2.1.2.2.1- Quantificação por Fluorescência de Raios-X

Nos tubérculos produzidos no campo experimental Moledo, à colheita (4/9/2018), recorreu-se à análise de fluorescência por aplicação de raios-X, para avaliar a acumulação de elementos minerais (sem extracção prévia dos mesmos) e após secagem até peso constante. Verificou-se (**Tabela 3.16**) que os teores de Ca e S não variaram de forma significativa ao longo dos tratamentos (muito embora, relativamente ao controlo, todos os tratamentos tenham apresentado teores de Ca mais elevados, com excepção do $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (4 kg ha^{-1})). Os teores de K e P, face ao controlo, também não variaram de forma significativa (excepto em CaCl_2 (12 kg ha^{-1}) onde se registou um aumento significativo).

Tabela 3.16– Teor médio (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial), por fluorescência por aplicação de raios-X, em tubérculos de *Solanum tuberosum* L. variedade Agria do campo Moledo em **4/9/2018 (à colheita)** e respectivo erro padrão. As letras a, b, c indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre os tratamentos (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de factor único, $P \leq 0,05$).

Tratamentos	Ca	P	K	S	Zn
	%	%	%	%	ppm
Controlo	0,106 a	0,152 b	2,483 b	0,154 a	5,540 b,c
	±0,015	±0,369	±0,024	±0,027	±4,000
Ca(NO₃)₂ (0,5 kg ha⁻¹)	0,135 a	0,212 a,b	3,470 a,b	0,236 a	13,230 a
	±0,012	±0,159	±0,008	±0,016	±0,231
Ca(NO₃)₂ (1 kg ha⁻¹)	0,122 a	0,225 a,b	3,025 a,b	0,217 a	8,177 a,b
	±0,008	±0,092	±0,020	±0,018	±0,867
Ca(NO₃)₂ (2 kg ha⁻¹)	0,114 a	0,227 a,b	3,058 a,b	0,226 a	8,447 a,b
	±0,007	±0,154	±0,023	±0,008	±1,050
Ca(NO₃)₂ (4 kg ha⁻¹)	0,087 a	0,207 a,b	3,270 a,b	0,229 a	6,350 b,c
	±0,014	±0,206	±0,011	±0,030	±0,430
CaCl₂ (1 kg ha⁻¹)	0,106 a	0,179 a,b	2,673 a,b	0,166 a	5,560 b,c
	±0,006	±0,126	±0,018	±0,006	±0,780
CaCl₂ (3 kg ha⁻¹)	0,108 a	0,225 a,b	2,782 a,b	0,182 a	6,893 a,b,c
	±0,017	±0,054	±0,011	±0,003	±1,023
CaCl₂ (6 kg ha⁻¹)	0,111 a	0,206 a,b	2,462 b	0,144 a	-
	±0,010	±0,262	±0,008	±0,027	
CaCl₂ (12 kg ha⁻¹)	0,115 a	0,267 a	3,506 a	0,205 a	6,720 b,c
	±0,001	±0,232	±0,028	±0,005	±0,510

Segundo os valores obtidos (**Tabela 3.16**), verificou-se um índice de biofortificação em cálcio que variou entre 1,9% - 27,4% (não se considerando o tratamento Ca(NO₃)₂ (4 kg ha⁻¹)).

3.2.1.2.2.2- Quantificação por Espectrofotometria de Absorção Atômica

Na análise por espectrofotometria de absorção atômica, após extracção dos elementos minerais dos tubérculos obtidos à colheita verificou-se (**Tabela 3.17**) que, comparativamente ao controlo, os teores de Ca foram significativamente mais elevados em todos os tratamentos. Os valores obtidos apontaram para um índice de biofortificação em Ca que oscilou entre 4,7 – 33 %. Os teores de P, Na, Fe e Zn não variaram de forma significativa relativamente ao controlo. O Cu apresentou valores mínimos no controlo, apenas tendo-se detectado aumentos significativos no tratamento CaCl₂ (3 kg ha⁻¹).

Tabela 3.17– Teor médio (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial), por espectrofotometria de absorção atômica, em tubérculos de *Solanum tuberosum* L. variedade Agria do campo Moledo em **4/9/2018 (à colheita)** e respectivo erro padrão. As letras a, b indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre os tratamentos (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de factor único, $P \leq 0,05$).

Tratamentos	Ca	P	K	Fe	Zn	Na	Cu
	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm
Controlo	0,021a	0,40a	0,27d	137a	53,6a	87,6a	0,408b
	$\pm 0,000$	$\pm 0,28$	$\pm 0,006$	± 23	$\pm 9,2$	$\pm 1,81$	$\pm 0,408$
Ca(NO₃)₂ (0,5 kg ha⁻¹)	0,022a,b	0,66a	0,31c,d	292a	30,7a	89,7a	2,714a,b
	$\pm 0,001$	$\pm 0,15$	$\pm 0,004$	± 168	$\pm 1,3$	$\pm 2,08$	$\pm 0,725$
Ca(NO₃)₂ (1 kg ha⁻¹)	0,027b	0,96a	0,32c	147a	33,2a	91,5a	3,646a,b
	$\pm 0,001$	$\pm 0,09$	$\pm 0,007$	± 10	$\pm 3,1$	$\pm 1,96$	$\pm 0,981$
Ca(NO₃)₂ (2 kg ha⁻¹)	0,027b	0,85a	0,32c	135a	31,9a	76,6a	4,009a,b
	$\pm 0,000$	$\pm 0,05$	$\pm 0,003$	± 3	$\pm 1,6$	$\pm 0,81$	$\pm 1,341$
Ca(NO₃)₂ (4 kg ha⁻¹)	0,027b	0,84a	0,34b,c	134a	29,9a	69,1a	4,414a,b
	$\pm 0,001$	$\pm 0,44$	$\pm 0,010$	± 6	$\pm 1,8$	$\pm 2,79$	$\pm 1,691$
CaCl₂ (1 kg ha⁻¹)	0,025b	0,95a	0,36a,b	119a	35,7a	81,6a	5,502a,b
	$\pm 0,001$	$\pm 0,12$	$\pm 0,004$	± 6	$\pm 1,4$	$\pm 0,91$	$\pm 1,715$
CaCl₂ (3 kg ha⁻¹)	0,027b	0,90a	0,37a,b	123a	33,9a	58,2a	6,900a
	$\pm 0,002$	$\pm 0,11$	$\pm 0,009$	± 7	$\pm 0,8$	$\pm 1,38$	$\pm 1,237$
CaCl₂ (6 kg ha⁻¹)	0,028b	1,08a	0,37a,b	120a	31,4a	94,0a	4,604a,b
	$\pm 0,000$	$\pm 0,26$	$\pm 0,004$	± 13	$\pm 3,5$	$\pm 0,84$	$\pm 1,363$
CaCl₂ (12 kg ha⁻¹)	0,026b	0,64a	0,38 a	116a	32,3a	70,9a	5,788a,b
	$\pm 0,000$	$\pm 0,15$	$\pm 0,009$	± 9	$\pm 1,3$	$\pm 1,45$	$\pm 1,163$

Existe uma forte associação entre a quantidade de matéria seca e a acumulação de nutrientes numa determinada planta, seja qual for a cultura. No caso da batata, existem variações na quantidade de nutrientes acumulados pelos tubérculos. Tal ocorre devido à influência por parte de fatores ligados à produção e partição de matéria seca para os tubérculos. Usualmente os nutrientes mais exportados pelos tubérculos são o N e K (Braun *et al.*, 2011).

Um estudo realizado por Fernandes *et al.* (2011), com outras cultivares de batata, constatou que os macronutrientes absorvidos em maior quantidade foram, decrescentemente, o K, Ca e o P. Apesar do método de extração não ser identifi-co, é possível verificar-se que os valores presentes na **Tabela 3.17**, não apresentam a mesma tendência. Observa-se que a acumulação de P é mais elevada que os restantes macronutrientes, esta tendência contrária pode dever-se à variedade e condições de cultivo serem muito diferentes.

Considerando um estudo realizado por Echer *et al.* (2009), com raízes tuberosas de batata doce, em que se verificou que o N era o nutriente presente em maior quantidade, seguido do K, do Ca, do P e do S. E que em termos de micronutrientes, o Mn foi o mais predominante seguido do B, Zn, Fe e Cu (Echer *et al.*, 2009). Evidencia-se na **Tabela 3.17**, a mesma tendência nos macronutrientes (excepto o N, que não foi analisado) e, no caso dos micronutrientes, o Cu é mais predominante que o Fe (sendo o oposto do verificado por Echer *et al.* (2009). Ressalve-se que apesar de ser um estudo com tubérculos, é referente a uma variedade diferente e que se encontrava exposta a condições de cultivo bastante dispares.

3.2.2- Morfometria e Colorimetria dos Tubérculos

3.2.2.1- Altura, Diâmetro, Densidade e Peso Seco

No campo experimental Moledo, nos tubérculos de batateira submetidos aos diferentes tratamentos, relativamente ao controlo, não se detectaram (**Tabela 3.18**) variações significativas na altura e diâmetro, considerando uma fase intermédia do seu desenvolvimento (25/7/2018) e a colheita (4/9/2018). Constatou-se que à colheita, a altura dos tubérculos oscilou entre 9,3 – 11,8, tendo o diâmetro oscilado entre 4,8 – 5,8 cm.

Tabela 3.18– Média (n = 3) da altura e diâmetro de tubérculos de *Solanum tuberosum* L. Agria do campo Moledo em **25/7/2018 (após a 2ª adubação folhear)** e **4/9/2018 (à colheita)** e respectivo erro padrão. A letra a indica ausência de diferenças significativas de cada parâmetro entre os tratamentos de cada período temporal (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de factor único, $P \leq 0,05$).

Tratamentos	25 de Julho		4 de Setembro	
	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)
Controlo	9,150 a	4,975 a	9,300 a	5,600 a
	±1,124	±0,275	±0,186	±0,088
Ca(NO₃)₂ (0,5 kg ha⁻¹)	8,925 a	5,025 a	11,000 a	5,767 a
	±0,898	±0,576	±0,481	±0,407
Ca(NO₃)₂ (1 kg ha⁻¹)	8,350 a	4,975 a	10,533 a	5,233 a
	±0,922	±0,680	±0,587	±0,222
Ca(NO₃)₂ (2 kg ha⁻¹)	10,350 a	6,175 a	11,767 a	5,467 a
	±0,622	±0,266	±0,308	±0,126
Ca(NO₃)₂ (4 kg ha⁻¹)	9,525 a	5,725 a	11,433 a	4,767 a
	±0,967	±0,475	±0,914	±0,150
CaCl₂ (1 kg ha⁻¹)	8,275 a	5,575 a	11,533 a	5,333 a
	±0,325	±0,232	±0,834	±0,101
CaCl₂ (3 kg ha⁻¹)	8,650 a	5,675 a	9,500 a	5,700 a
	±0,997	±0,539	±0,185	±0,120
CaCl₂ (6 kg ha⁻¹)	8,900 a	5,750 a	9,900 a	4,733 a
	±1,298	±0,538	±0,677	±0,283
CaCl₂ (12 kg ha⁻¹)	8,325 a	5,350 a	10,667 a	4,933 a
	±1,309	±0,287	±0,259	±0,084

O calibre dos tubérculos é determinado pelo maior diâmetro transversal medido em milímetros (mm) ^[39]. Segundo a Portaria n.º 587/87 de 9 de Julho, o calibre dos tubérculos não pode ser inferior no caso da batata de consumo a 35 mm, ou 30 g, em variedades de tubérculos oblongos e a 40 mm, ou 30 g, em variedades de tubérculos arredondados (Portaria n.º 587/87). Neste enquadramento verifica-se que os tubérculos possuem um calibre superior a 40 mm (Amaral & Militão, 2015), considerando-se adequados para uma produção comercial.

Quando se realiza uma colheita única, os fotoassimilados são direcionados para o crescimento dos tubérculos sendo estes colhidos no final do ciclo, como tal, as plantas podem desenvolver tubérculos durante todo o ciclo, originando um menor número de tubérculos, mas com um maior diâmetro e peso (Corrêa *et al.*, 2007).

Na **Figura 3.11** apresenta-se uma imagem do aspecto visual da batata de variedade Agria aquando da colheita.

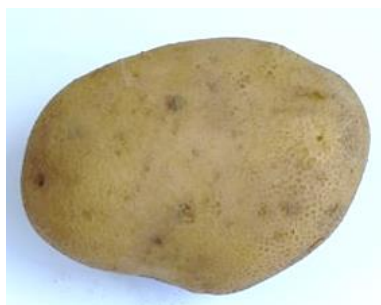


Figura 3.11- Aspecto visual dos tubérculos do campo Moledo (variedade Agria), no dia 4 de Setembro (à colheita).

A densidade e o peso seco, à colheita, também não apresentaram variações significativas entre os tratamentos, oscilando a densidade em torno de 1366 - 4561 kg m⁻³ e o peso seco entre 20,0% e 25,2 % (**Tabela 3.19**).

Tabela 3.19– Média (n = 3) da densidade e do peso seco de tubérculos de *Solanum tuberosum* L. variedade Agria do campo Moledo em 4/9/2018 (à colheita) e respectivo erro padrão. As letras a, b indicam diferenças significativas de cada parâmetro entre os tratamentos (análise estatística de factor único, P ≤ 0,05).

Tratamentos	Densidade (kg m ⁻³)	Peso seco (%)
Controlo	1366,998 a ± 228,392	25,250 a ± 0,459
Ca(NO ₃) ₂ (0,5 kg ha ⁻¹)	2322,873 a ± 763,900	21,040 b ± 0,359
Ca(NO ₃) ₂ (1 kg ha ⁻¹)	4561,262 a ± 1279,964	20,011 b ± 1,837
Ca(NO ₃) ₂ (2 kg ha ⁻¹)	3522,773 a ± 1690,641	20,042 b ± 0,248
Ca(NO ₃) ₂ (4 kg ha ⁻¹)	1881,740 a ± 150,641	20,191 b ± 0,660
CaCl ₂ (1 kg ha ⁻¹)	2721,771 a ± 1015,163	21,082 b ± 0,221
CaCl ₂ (3 kg ha ⁻¹)	1948,831 a ± 133,288	22,651 a,b ± 0,386
CaCl ₂ (6 kg ha ⁻¹)	1488,419 a ± 99,074	22,432 a,b ± 0,790
CaCl ₂ (12 kg ha ⁻¹)	1440,460 a ± 110,724	21,061 b ± 0,845

Usualmente a densidade da batata varia entre 1,078 e 1,092 g mL⁻¹, ou seja, 1078 e 1092 kg m⁻³ [40]. No caso específico da variedade Agria, segundo Hejlová & Blahovec (2008), os valores obtidos para a densidade variaram entre 1083 e 1093 kg m⁻³. Como tal, verifica-se que a variedade Agria do campo experimental Moledo apresenta uma densidade muito superior.

Segundo Braun *et al.*, (2010) o teor de matéria seca é uma das características que mais determina a textura do tubérculo após o cozimento e, relaciona-se directamente com a respectiva densidade específica. O teor de matéria seca é também relevante para o processamento industrial, sendo um critério a considerar para classificar os tubérculos de batateira. O teor de matéria seca, quando superior a 20%, verifica-se compatível com o requerido pelas indústrias de

processamento. Como tal, os tubérculos que apresentam um elevado teor em matéria seca melhoram o rendimento industrial, para além de reduzir a absorção de gordura durante o processo de fritura, resultando num produto processado de melhor qualidade, nomeadamente, “chips” mais crocantes e estaladiças (Braun *et al.*, 2010).

Os teores de matéria seca / peso seco obtidos estão de acordo com os valores o que a indústria de processamento considera como requisito (Braun *et al.*, 2010) e apresentam-se superiores aos teores obtidos por Romano *et al.* (2018), para a mesma variedade ($18,6 \pm 0,42$ %) e idênticos à média dos valores obtidos (também para a variedade Agria) por Arvanitoyannis *et al.* (2012), 23,27 %.

3.2.2.2- Sólidos Solúveis Totais

Os tubérculos do campo experimental Moledo, face ao controlo, apresentam no tratamento $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (4 kg ha⁻¹) um teor significativamente inferior em sólidos solúveis totais. Os restantes tratamentos não revelaram variações significativas (**Tabela 3.20**).

Tabela 3.20- Média (n = 3) de sólidos solúveis totais de tubérculos de *Solanum tuberosum* L. variedade Agria do campo Moledo em em **4/9/2018 (à colheita)** e respectivo erro padrão. As letras a, b indicam diferenças significativas de cada parâmetro entre os tratamentos (análise estatística de factor único, $P \leq 0,05$).

Tratamentos	Grau Brix (°)
Controlo	6,166 a $\pm 0,136$
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (0,5 kg ha ⁻¹)	5,333 a,b $\pm 0,272$
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (1 kg ha ⁻¹)	5,666 a,b $\pm 0,268$
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (2 kg ha ⁻¹)	5,400 a,b $\pm 0,249$
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (4 kg ha ⁻¹)	5,000 b $\pm 0,000$
CaCl_2 (1 kg ha ⁻¹)	5,933 a,b $\pm 0,054$
CaCl_2 (3 kg ha ⁻¹)	5,066 a,b $\pm 0,054$
CaCl_2 (6 kg ha ⁻¹)	5,300 a,b $\pm 0,244$
CaCl_2 (12 kg ha ⁻¹)	5,166 a,b $\pm 0,166$

Comparando os valores de sólidos solúveis totais (°Brix) médios da variedade Agria, com outras variedades de batata, constata-se a predominância de valores superiores. Segundo Virmond *et al.* (2014), para a variedade Ágata, Atlantic e BRS Clara, o valor dos sólidos solúveis obtidos foi, respetivamente de 4,00, 4,8 e 3,2. Como os sólidos solúveis totais são constituídos, maioritariamente por açúcares simples, como tal, um maior teor de graus Brix é indicativo de um maior conteúdo nomeadamente de glicose (Virmond *et al.*, 2014). Neste enquadramento, verificou-se que, comparativamente às variedades referidas, a variedade Agria do campo experimental Moledo é mais “doce”.

O teor de açúcar está dependente, em parte, do teor de matéria seca do tubérculo, que é uma característica específica da cultivar, podendo variar pelo manejo fitotécnico e pelas condições climáticas existentes (Braun *et al.*, 2010).

3.2.2.3- Índices Colorimétricos

No decurso do desenvolvimento dos tubérculos procedeu-se à análise colorimétrica das folhas (**Figura 3.12; Tabela 3.21**). Evidenciou-se, de acordo com a escala Cielab, a inexistência de variações nos parâmetros L e b*. Porém relativamente ao parâmetro a*, apesar de em todos os tratamentos com Ca(NO₃)₂, assim como nos tratamentos CaCl₂ (1 kg ha⁻¹) e CaCl₂ (12 kg ha⁻¹), se tenha acentuado o verde, não se verificaram variações significativas nos restantes tratamentos.

Tabela 3.21– Médias (n = 3) dos parâmetros colorimétricos Cielab (L – Luminosidade / brilho, a* verde – vermelho e b* azul – amarelo), utilizando o iluminante D₆₅, de folhas de *Solanum tuberosum* L. variedade Agria do campo Moledo em **25/7/2018 (após a 2ª adubação folhear)** e respectivo erro padrão. As letras a, b, c indicam diferenças significativas de cada parâmetro entre os tratamentos de cada período temporal (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de factor único, P ≤ 0,05).

Tratamentos	L	a*	b*
Controlo	30,810 a	-0,193 a	10,753 a
	±1,249	±0,287	±0,418
Ca(NO₃)₂ (0,5 kg ha⁻¹)	32,023 a	-0,953 a,b,c	7,437 a
	±2,130	±0,987	±3,037
Ca(NO₃)₂ (1 kg ha⁻¹)	30,387 a	-0,250 a	10,460 a
	±5,241	±0,611	±1,790
Ca(NO₃)₂ (2 kg ha⁻¹)	33,053 a	-3,540 c	11,227 a
	±1,846	±0,290	±0,292
Ca(NO₃)₂ (4 kg ha⁻¹)	30,837 a	-2,057 a,b,c	9,700 a
	±3,171	±0,308	±0,116
CaCl₂ (1 kg ha⁻¹)	36,610 a	-3,147 b,c	12,657 a
	±1,745	±0,812	±0,791
CaCl₂ (3 kg ha⁻¹)	23,743 a	0,107 a	7,963 a
	±5,000	±0,453	±1,038
CaCl₂ (6 kg ha⁻¹)	24,987 a	0,617 a	7,993 a
	±1,493	±0,479	±0,375
CaCl₂ (12 kg ha⁻¹)	27,447 a	-0,770 a,b	9,387 a
	±0,676	±0,178	±0,127



Figura 3.12- Aspecto visual das folhas dos tubérculos do campo Moledo (variedade Agria), no dia 25 de Julho de 2018 (após 2ª adubação foliar).

Após a segunda adubação foliar (25/7/2018), e ainda no decurso do desenvolvimento dos tubérculos, a análise colorimétrica face ao controlo apenas revelou (**Figura 3.13; Tabela 3.22**) no parâmetro brilho / luminosidade (L), valores que não variaram de forma significativa (excepto no tratamento $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (4 kg ha^{-1})). O parâmetro a^* , relativamente ao controlo, também não apresentou variações significativas (excepto no tratamento CaCl_2 (1 kg ha^{-1}), verificando-se o incremento do vermelho). O parâmetro b^* não revelou variações significativas relativamente ao controlo.



Figura 3.13- Aspecto visual da polpa dos tubérculos do campo Moledo (variedade Agria), no dia 25 de Julho de 2018 (após 2ª adubação foliar).

Tabela 3.22– Médias (n = 3) dos parâmetros colorimétricos Cielab (L – Luminosidade / brilho, a* verde – vermelho e b* azul – amarelo), utilizando o iluminante D₆₅, da polpa de tubérculos de *Solanum tuberosum* L. variedade Agria do campo Moledo em 25/7/2018 (após a 2ª adubação folhear) e respectivo erro padrão. As letras a, b indicam diferenças significativas de cada parâmetro entre os tratamentos de cada período temporal (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de factor único, P ≤ 0,05).

Tratamentos	L	a*	b*
Controlo	64,503 a ±0,534	1,420 b ±0,015	12,713 a,b ±0,094
Ca(NO₃)₂ (0,5 kg ha⁻¹)	63,617 a,b ±1,559	1,767 a,b ±0,078	12,427 a,b ±0,334
Ca(NO₃)₂ (1 kg ha⁻¹)	62,410 a ±0,981	1,397 b ±0,080	12,330 a,b ±0,197
Ca(NO₃)₂ (2 kg ha⁻¹)	58,070 b ±0,675	2,107 b ±0,101	11,650 b ±0,115
Ca(NO₃)₂ (4 kg ha⁻¹)	66,307 a ±0,143	1,733 a,b ±0,133	13,263 a ±0,283
CaCl₂ (1 kg ha⁻¹)	64,530 a ±1,870	1,887 a ±0,022	12,543 a,b ±0,508
CaCl₂ (3 kg ha⁻¹)	63,947 a,b ±0,633	1,787 a,b ±0,057	13,097 a ±0,103
CaCl₂ (6 kg ha⁻¹)	66,457 a ±0,930	1,440 b ±0,121	12,887 a,b ±0,188
CaCl₂ (12 kg ha⁻¹)	64,407 a ±2,095	1,773 a,b ±0,018	13,530 a ±0,376

Na **Figura 3.14** encontra-se uma imagem do aspecto visual da batata de variedade Agria aquando da colheita.

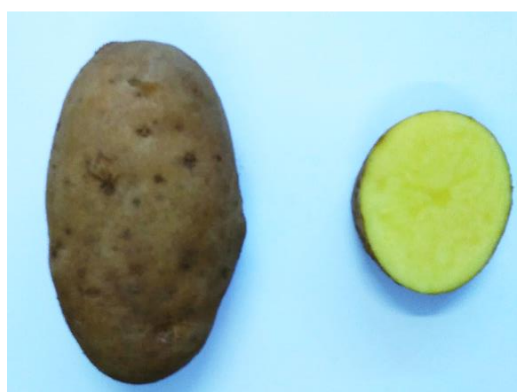


Figura 3.14- Aspecto visual da polpa dos tubérculos do campo Moledo (variedade Agria), no dia 4 de Setembro de 2018 (à colheita).

À colheita (4/9/2018), a análise colorimétrica da polpa dos tubérculos dos diferentes tratamentos não apresentou variações significativas nos parâmetros L, a* e b* (**Tabela 3.23**).

Tabela 3.23– Médias (n = 3) dos parâmetros colorimétricos Cielab (L – Luminosidade / brilho, a* verde – vermelho e b* azul – amarelo), utilizando o iluminante D₆₅, da polpa de tubérculos de *Solanum tuberosum* L. variedade Agria do campo Moledo em **4/9/2018 (à colheita)** e respectivo erro padrão. As letras a, b indicam diferenças significativas de cada parâmetro entre os tratamentos de cada período temporal (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de factor único, P ≤ 0,05).

Tratamentos	L	a*	b*
Controlo	54,360 a ±1,311	-2,887 a ±0,174	20,507 a ±0,221
Ca(NO₃)₂ (0,5 kg ha⁻¹)	56,767 a ±2,404	-2,943 a ±0,268	22,507 a ±0,851
Ca(NO₃)₂ (1 kg ha⁻¹)	55,507 a ±1,265	-1,823 a ±0,993	21,473 a ±0,956
Ca(NO₃)₂ (2 kg ha⁻¹)	56,803 a ±0,864	-2,900 a ±0,127	21,293 a ±0,492
Ca(NO₃)₂ (4 kg ha⁻¹)	59,543 a ±0,364	-3,307 a ±0,071	22,250 a ±0,330
CaCl₂ (1 kg ha⁻¹)	58,947 a ±0,928	-2,923 a ±0,259	21,112 a ±0,961
CaCl₂ (3 kg ha⁻¹)	58,840 a ±0,50	-2,953 a ±0,213	21,950 a ±0,285
CaCl₂ (6 kg ha⁻¹)	55,760 a ±1,295	-2,847 a ±0,078	21,732 a ±1,385
CaCl₂ (12 kg ha⁻¹)	59,620 a ±1,210	-2,930 a ±0,090	22,603 a ±0,387

Realizando-se a análise colorimétrica de varrimento na região espectral do visível (450-650 nm), dos tubérculos à colheita (4/9/2018), também não se quantificaram, no espectro de radiação do visível, variações apreciáveis na transmitância colorimétrica da polpa dos tubérculos entre os diferentes tratamentos. Salientou-se a existência de um pico de transmitância nos 550 nm (**Tabela 3.24; Figura 3.15**).

Tabela 3.24– Média da transmitância colorimétrica (n = 3), na banda dos 450 – 650 nm, na polpa de tubérculos de de *Solanum tuberosum* L. variedade Agria do campo Moledo em **4/9/2018 (à colheita)** e respectivo erro padrão. A letra a indica ausência de diferenças significativas de cada parâmetro entre os tratamentos de cada comprimento de onda (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de factor único, $P \leq 0,05$).

Tratamentos	450 nm	500 nm	550 nm	570 nm	600 nm	650 nm
Controlo	819a	941a	2132a	1185a	1379a	1592a
	$\pm 1,202$	$\pm 4,807$	$\pm 34,168$	$\pm 10,504$	$\pm 23,671$	$\pm 9,244$
Ca(NO₃)₂ (0,5 kg ha⁻¹)	809a	961a	2257a	1250a	1457a	1653a
	$\pm 14,146$	$\pm 30,050$	$\pm 81,615$	$\pm 48,952$	$\pm 59,702$	$\pm 47,806$
Ca(NO₃)₂ (1 kg ha⁻¹)	820a	929a	2082a	1179a	1372a	1604a
	$\pm 30,953$	$\pm 43,547$	$\pm 98,591$	$\pm 57,955$	$\pm 64,924$	$\pm 60,554$
Ca(NO₃)₂ (2 kg ha⁻¹)	795a	917a	2180a	1197a	1408a	1596a
	$\pm 41,789$	$\pm 58,213$	$\pm 80,873$	$\pm 60,003$	$\pm 61,490$	$\pm 60,416$
Ca(NO₃)₂ (4 kg ha⁻¹)	869a	1031a	2341a	1321a	1519a	1720a
	$\pm 18,622$	$\pm 10,682$	$\pm 28,378$	$\pm 0,882$	$\pm 3,528$	$\pm 10,149$
CaCl₂ (1 kg ha⁻¹)	858a	986a	2279a	1267a	1477a	1664a
	$\pm 2,517$	$\pm 12,897$	$\pm 32,090$	$\pm 27,187$	$\pm 26,194$	$\pm 28,603$
CaCl₂ (3 kg ha⁻¹)	828a	971a	2257a	1252a	1464a	1657a
	$\pm 36,379$	$\pm 47,962$	$\pm 59,280$	$\pm 52,214$	$\pm 49,702$	$\pm 57,263$
CaCl₂ (6 kg ha⁻¹)	816a	963a	2210a	1236a	1423a	1641a
	$\pm 21,074$	$\pm 11,590$	$\pm 47,904$	$\pm 32,189$	$\pm 39,725$	$\pm 38,000$
CaCl₂ (12 kg ha⁻¹)	853a	1000a	2308a	1301a	1516a	1714a
	$\pm 14,107$	$\pm 13,544$	$\pm 32,909$	$\pm 14,978$	$\pm 17,673$	$\pm 7,535$

As radiações eletromagnéticas com comprimento de onda entre 380 e 780 nm, são visíveis ao olho humano. As que apresentem valores abaixo de 380 nm é denominada de radiação ultravioleta (UV) e acima de 780 nm correspondem à zona infravermelha (IV) [35].

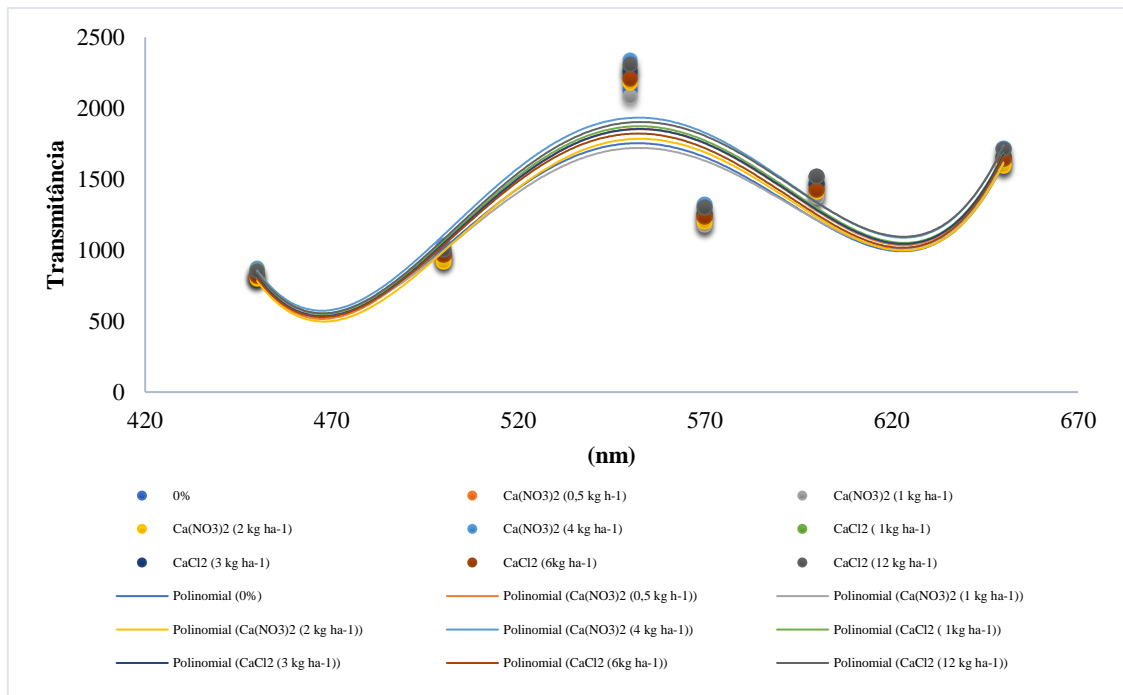


Figura 3.15 - Média da transmitância colorimétrica (n = 3), na banda dos 450 – 650 nm, na polpa de tubérculos de *Solanum tuberosum* L. variedade Agria do campo Moledo em 4/9/2018 (à colheita).

No enquadramento da **Tabela 3.24 e da Figura 3.16**, podemos observar que a curva apresenta um máximo de transmitância aos 550 nm, que corresponde ao comprimento de onda que geralmente é mais intenso para o olho humano, ou seja, a cor que chamamos de amarelo.

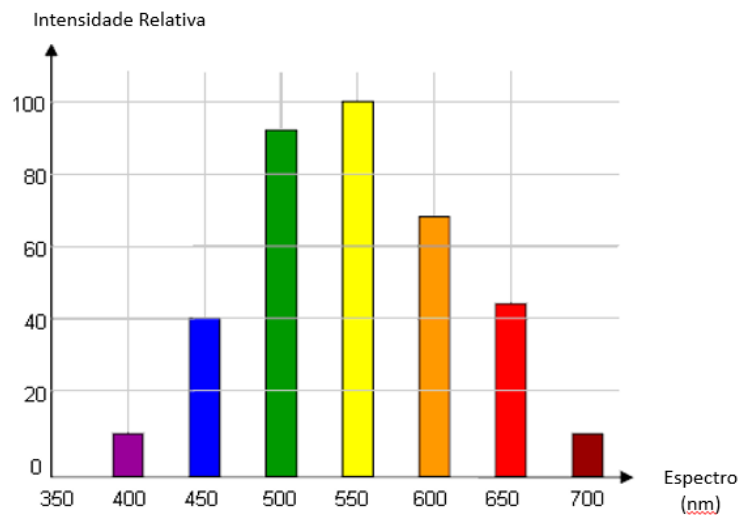


Figura 3.16 – Representação da intensidade do espectro, demonstrando quais os comprimentos de onda que são geralmente mais intensos para o olho humano ^[k].

3.2.3- Características Físicas e Organolépticas

Após processamento térmico das amostras, procedeu-se à análise dos perfis da temperatura para as diferentes amostras da variedade Agria do campo experimental Moledo (**Figura 3.17**), tendo-se verificado que os tratamentos de cálcio aplicados parecem não afectar o perfil de temperatura nos três tratamentos de batata analisadas.

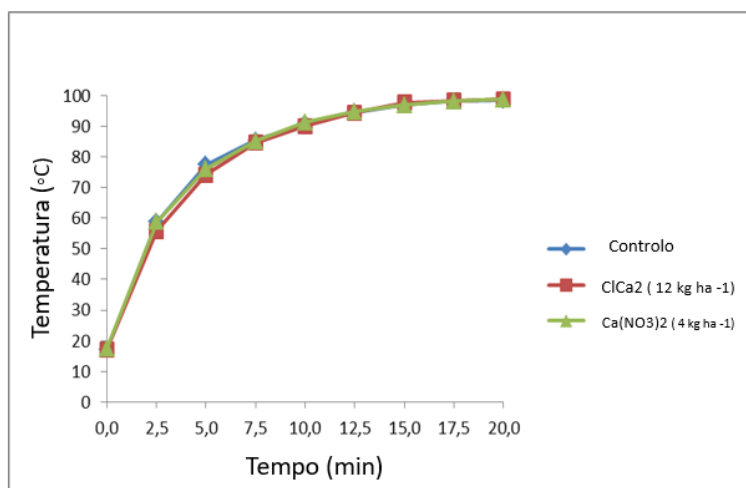


Figura 3.17- Perfil de temperatura para as amostras de batatas da variedade Agria (com os teores máximos de CaCl_2 e $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), do campo experimental Moledo.

Na **Tabela 3.25**, é possível verificar-se que relativamente ao brilho / luminosidade e ao Chroma, ocorreram alterações face ao controlo no tratamento térmico de 12,5 minutos, nos dois tratamentos (CaCl_2 (12 kg ha⁻¹) e $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (4 kg ha⁻¹)), porém não se visualizaram alterações significativas no parâmetro Hue.

Tabela 3.25- Alterações colorimétricas para cada tratamento térmico, da variedade de batata Agria do campo experimental Moledo, considerando o controlo e os dois tratamentos obtidos com as pulverizações máximas de CaCl₂ e Ca(NO₃)₂. Valores médios e respectivo erro padrão. As letras a, b indicam diferenças significativas de cada parâmetro entre os tratamentos (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de factor único, $P \leq 0,05$). Os parâmetros L, Chroma e Hue, traduzem a luminosidade / Brilho, pureza de cor e a tonalidade.

Tratamentos	Tempo de cozedura (minutos)							
	0	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20
Parâmetro L								
Controlo	69,11a	61,35a	58,53a	63,00a	55,44b	58,87a	58,70a	59,50a
	± 2,85	± 4,38	± 6,14	± 3,52	± 3,14	± 2,07	± 2,25	± 2,42
CaCl₂ (12 kg ha⁻¹)	71,03a	61,59a	60,41a	61,55a	62,02a	59,01a	59,56a	57,69a
	± 2,37	± 1,31	± 3,35	± 4,24	± 2,98	± 0,42	± 4,52	± 0,08
Ca(NO₃)₂ (4 kg ha⁻¹)	70,96a	62,10a	60,51a	60,82a	61,92a	61,02a	62,75a	61,98a
	± 2,56	± 0,10	± 4,87	± 4,98	± 2,96	± 1,94	± 1,34	± 4,66
Parâmetro Chroma								
Controlo	32,37a	29,37a	27,96a	28,76a	25,47b	24,08a	27,72a	24,37a
	± 1,76	± 3,54	± 2,78	± 2,06	± 2,00	± 1,08	± 6,14	± 1,16
CaCl₂ (12 kg ha⁻¹)	33,59a	29,46a	28,13a	25,59a	28,23a	25,42a	23,69a	23,52a
	± 2,35	± 0,80	± 2,16	± 4,68	± 0,66	± 1,42	± 1,15	± 0,59
Ca(NO₃)₂ (4 kg ha⁻¹)	33,02a	27,41a	27,69a	26,38a	30,48a	24,50a	23,59a	26,21a
	± 1,88	± 1,72	± 0,40	± 1,99	± 0,46	± 3,08	± 1,89	± 2,38
Parâmetro Hue								
Controlo	97,27a	107,61a	108,75a	110,15a	110,76a	113,58a	112,96a	113,16a
	± 0,64	± 0,97	± 1,12	± 0,74	± 1,30	± 1,13	± 0,38	± 0,84
CaCl₂ (12 kg ha⁻¹)	97,42a	107,43a	107,96a	110,24a	109,88a	111,67a	113,26a	113,15a
	± 0,61	± 0,82	± 0,97	± 3,24	± 0,73	± 0,64	± 0,55	± 0,83
Ca(NO₃)₂ (4 kg ha⁻¹)	97,55a	109,00a	109,44a	110,65a	109,18a	113,71a	114,03a	112,32a
	± 0,94	± 1,51	± 1,67	± 0,33	± 0,90	± 2,92	± 2,18	± 0,96

No enquadramento da **Tabela 3.25**, segundo Fernandes *et al.* (2010), para a polpa fresca de outras cultivares de batata, para o parâmetro Hue e para o parâmetro Chroma obtiveram-se, respectivamente, valores entre 100 e 101 e entre 19 e 25 (portanto, de acordo com os valores obtidos aos 0 minutos).

Na análise das alterações colorimétricas (**Tabela 3.25**), considerou-se o mais influente sistema de ordenação de cor – Sistema Munsell – utilizando um sistema numérico (alfanumérico) para classificar a cor. Denominou como Hue, Value e Chroma (**Figura 3.18**), respetivamente as características, tonalidade, luminosidade e croma [36]. Neste enquadramento o parâmetro L é correspondente ao Value, visto ambos serem representativos da luminosidade.

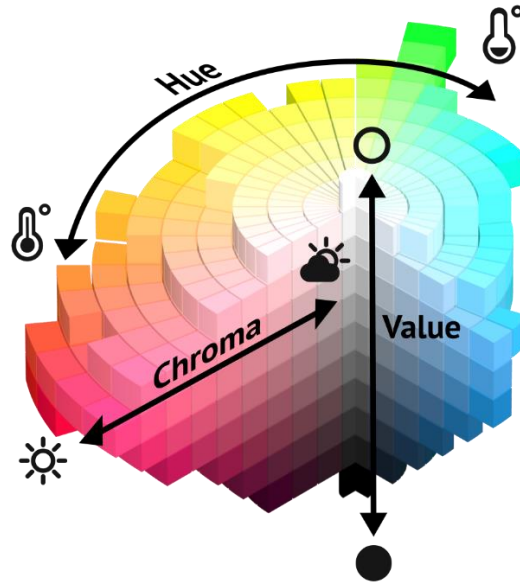


Figura 3.18- Representação do Sistema Munsell de ordenação de cores ^[1].

Equacionando os perfis de textura dos tubérculos (**Figura 3.19; Tabela 3.26**) revelaram alterações significativas nos parâmetros trabalho força (no controlo, tratamentos térmicos 7,5 e 17,5; com CaCl_2 , nos tratamentos térmicos com 10 e 17,5; com $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ no tratamento 5) e na adesividade (no controlo, nos tratamentos térmicos com 12,5 e 17,5; com CaCl_2 no tratamento 17,5).

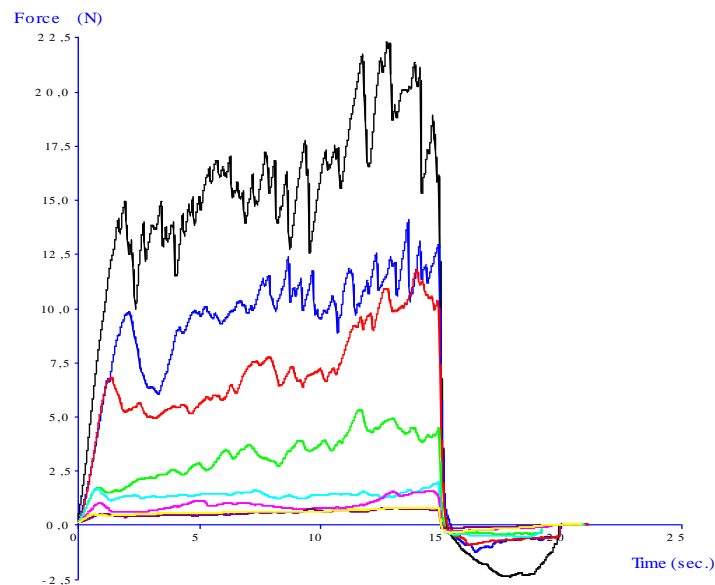


Figura 3.19- Exemplo dos perfis de textura das amostras ao longo do processamento térmico de cozimento. O gráfico é referente a amostras do controlo da variedade em estudo (Agria), sendo que as cores preto, azul escuro, vermelho, verde, azul claro, rosa, roxo e amarelo, representam respetivamente os tempos (min) de 0, 5, 7,5, 10, 12,5, 15, 17,5 e 20.

Tabela 3.26- Médias da fracturabilidade, trabalho força nº de picos, dureza e adesividade para cada tratamento térmico, da variedade de batata Agria, considerando o controlo e os dois tratamentos obtidos com as pulverizações máximas de CaCl₂ e Ca(NO₃)₂. Valores médios e respectivo erro padrão. As letras a, b indicam diferenças significativas de cada parâmetro entre os tratamentos (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de factor único, $P \leq 0,05$). A vermelho assinalam-se as diferenças significativas.

Tratamentos	Tempo (min)	Fracturabilidade (N)	Trabalho força (N*s ⁻¹)	Nº de Picos	Dureza (N)	Adesividade (- N*s)
Controlo	0	13,51a ± 1,17	220,67a ± 16,66	48a,b± 3	20,16a ± 2,12	9,39a ± 1,60
	5	8,07a ± 0,75	126,53a ± 2,68	26a± 2	12,03a ± 0,61	2,58a ± 0,38
	7,5	3,22a ± 0,47	57,70b± 6,39	23a± 1	7,24a ± 3,03	2,28a ± 0,10
	10	2,27a ± 0,53	43,15a± 4,20	13a± 2	4,33a ± 0,51	1,81a ± 0,44
	12,5	1,17a ± 0,24	16,50a± 3,69	9a± 1	1,69a ± 0,32	0,96b ± 0,01
	15	1,06a ± 0,02	12,62a± 0,31	7a± 1	1,32a ± 0,11	1,08a ± 0,19
	17,5	0,70a ± 0,11	8,69b± 1,29	4a± 1	0,83a ± 0,17	0,77b ± 0,06
	20	0,65a ± 0,23	7,77a± 0,40	3a± 1	0,74a ± 0,16	0,98a ± 0,18
CaCl ₂ (12 kg ha ⁻¹)	0	13,54 a ± 0,45	211,5a ± 11,23	56a ± 5	18,42a ± 1,61	11,83a ± 2,09
	5	6,44aa ± 1,72	115,93a,b ± 8,37	27a± 4	10,93a ± 1,22	2,38a ± 0,51
	7,5	3,52a± 0,29	71,55a.b± 3,82	19b± 1	6,92a ± 0,50	2,09a ± 0,23
	10	1,65a± 0,44	36,b± 1,33	14a± 2	3,75a ± 0,07	1,59a ± 0,35
	12,5	1,15a± 0,32	20,46a ± 3,86	9a± 2	2,16a ± 0,42	1,34a,b ± 0,25
	15	0,83a± 0,18	13,18a ± 1,29	6a± 1	1,25a ± 0,20	1,24a ± 0,08
	17,5	0,75a± 0,15	8,92b± 1,78	3b± 1	0,85a ± 0,20	0,90b ± 0,23
	20	0,84a± 0,15	9,52a ± 0,67	2a± 0	0,86a ± 0,12	1,12a ± 0,12
Ca(NO ₃) ₂ (4 kg ha ⁻¹)	0	12,47a ± 0,15	200,73a ± 14,14	43b ± 2	20,55a ± 5,34	9,32a ± 2,02
	5	7,84a± 2,23	112,77b ± 2,82	30a± 9	11,24a ± 1,50	2,29a ± 0,44
	7,5	3,18a± 0,45	75,42a± 9,82	19b± 2	7,80a ± 1,31	2,26a ± 0,12
	10	2,15a± 0,36	40,26a,b ± 3,26	14a± 1	3,47a ± 1,35	1,41a ± 0,24
	12,5	1,22a± 0,05	20,70a± 2,51	9a± 0	2,06a ± 0,26	1,43a ± 0,29
	15	0,91a± 0,14	12,81a± 2,08	4a± 2	1,16a ± 0,14	1,36a ± 0,30
	17,5	0,87a± 0,12	12,99a± 2,25	4a± 1	1,11a ± 0,25	1,37a ± 0,33
	20	0,90a± 0,27	10,38a± 2,64	3a± 1	0,94a ± 0,23	1,26a ± 0,41

Segundo um estudo realizado por Alvarez *et al.* (2002), com tubérculos de batata da variedade Kennebec, os resultados para o parâmetro da dureza (após cozimento dos tubérculos a 100 °C durante 6 minutos) foi de 3.97 N. Efetuando uma comparação com os valores obtidos na **Tabela 3.26**, constata-se que a variedade do campo experimental Moledo apresenta semelhante dureza aos 10 minutos de cozimento à mesma temperatura, sendo uma variedade com maior dureza (consoante o tempo de cozedura) do que a variedade Kennebec.

Um dos fatores importantes de qualidade é a textura das batatas, tanto cozidas como as processadas, que contribui para a aceitação e preferência por parte do consumidor (Murayama *et al.*, 2017). Em produtos com teor de amido elevado, a maior influência na textura aparenta estar relacionada com a gelatinização do amido durante o aquecimento (Romano *et al.*, 2018).

Aquando do cozimento de batatas ocorrem duas principais modificações: a gelatinização do amido e a separação da parede celular (Romano *et al.*, 2018). A gelatinização possibilita que o amido passe de uma forma semi-cristalina (relativamente indigerível) para uma forma amorfa que é facilmente digerível pelo organismo.

Segundo García-Segovia *et al.* (2008), a textura das batatas após cozimento tem sido associada ao amido e substâncias pécicas, teor de sólidos secos, amílase, açúcares, proteínas e ao teor total de azoto do tubérculo. Considerando ainda que o amido é a substância predominante nas batatas, é essencial considerar esta substância e as mudanças ocorridas durante o cozimento para explicar as variações na textura. Sabe-se que as mudanças na textura das batatas cozidas encontram-se associadas ao comportamento de gelatinização e de retrogradação do amido, juntamente com as alterações enzimáticas e não enzimáticas da pectina. A degradação da pectina enzimática por PME (pectinametilesterase) e PG (polga-lacturonase) leva à existência de cadeias de pectina desmetiladas como consequência de variações de textura drásticas, sendo que, um intervalo de temperatura entre 50 - 80 °C é ideal para a atividade da PME, podendo-se observar texturas mais firmes em frutas e vegetais como resultado da desmetilação da pectina pela PME.

Como já referenciado, a alteração da textura do tubérculo é maioritariamente determinada pela degradação da lamela média (sendo um dos principais constituintes, a pectina) aquando do cozimento, sendo acompanhada por uma contribuição inferior da pressão intracelular originada pelo inchaço do amido gelatinizado. A ligação cruzada da pectina via Ca^{2+} é um fator chave para determinar as propriedades de processamento da batata, devido ao aumento na estabilidade térmica dos polissacarídeos pecticulares reticulados de Ca^{2+} , estando envolvidos na adesão célula-célula. A disponibilidade de Ca^{2+} pode ser considerada como um fator limitante, em relação à formação das moléculas de pectina reticuladas dentro da parede celular do tubérculo de batateira. Pensa-se que o aumento da disponibilidade de Ca^{2+} na lamela média do tubérculo da batata aquando do crescimento, pode contribuir para uma melhor qualidade nas propriedades de processamento (Murayama *et al.*, 2017).

Considerando estes pressupostos, apesar do aumento da disponibilidade de cálcio resultante das aplicações foliares nas batateiras, não se constatou discrepâncias nos perfis de textura, das concentrações mais elevadas de CaCl_2 e $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ aplicadas, tendo como referencial o controlo.

Capítulo 4 – Conclusões Finais

4.1- Conclusões finais

Este trabalho teve como objectivo principal o desenvolvimento de um itinerário técnico para a biofortificação em cálcio de tubérculos da *Solanum tuberosum* L. variedade Agria, através da adubação folhear das plantas ao longo do ciclo produtivo. Os resultados apresentados resultaram da implementação deste itinerário técnico no decurso do ciclo de produção 2018, tendo-se realizado 4 aplicações folheares após a data de plantação, em 4/5/2018, com CaCl_2 (1, 3, 6 e 12 kg ha^{-1}) e $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (0,5, 1, 2, 4 kg ha^{-1}).

Foi possível verificar que o campo experimental apresentava as seguintes características: solo com baixa teor em matéria orgânica (1,17 – 2,3 %); um teor de humidade entre 8,31 -13 %; um pH ligeiramente básico (7,3-7,9), sendo ideal para a prática agrícola. A respectiva condutividade elétrica apresentou valores entre 128 – 339 $\mu\text{S cm}^{-1}$, portanto visto não ser muito elevada, não possui um teor grande de sal e como tal, não subsistiu um dispêndio excessivo de energia para as plantas conseguirem absorver água (*i.e.*, efeito osmótico), não prejudicando os seus processos metabólicos essenciais. Relativamente aos elementos minerais no solo, salienta-se a existência de teores relativamente consideráveis dos contaminantes Pb e As, porém tendo em conta o pH do solo, são teores inferiores aos valores limite apontados pela legislação portuguesa.

Relativamente à água de irrigação, verificou-se que é de origem subterrânea de fáceis hidroquímica bicarbonatada sulfatada cálcica, podendo ser usada na cultura de batata. Constatou-se ainda, que tendo em consideração a condutividade do solo e da água, o rendimento potencial da cultura se encontra entre 90 – 100 %.

Verificou-se ainda que relativamente à influência do clima no processo de biofortificação em Ca, subsistiram em fatores bastante atípicos na região do campo experimental, não se podendo excluir algum efeito prejudicial no metabolismo de acumulação de cálcio na generalidade dos tratamentos a que estiveram submetidas as batateiras.

Constatou-se à colheita que o índice de biofortificação médio de Ca, ao ser considerado a totalidade dos tubérculos (*i.e.*, com recurso à espectrofotometria de absorção atómica) variou entre 4,7-33 %, ainda que não se tenham obtido diferenças significativas entre os diferentes tratamentos (pulverizações com CaCl_2 ou $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$). Salienta-se que os teores baixos de Ca no solo, não provocaram alterações significativas nas concentrações totais do macroelemento. Na quantificação por fluorescência de raios-X em amostras previamente desidratadas, obteve-se um índice de biofortificação que oscilou entre 1,8 - 27,3 %. Salienta-se que não se verificaram diferenças significativas entre as aplicações de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ e CaCl_2 na quantificação por fluorescência de raios-X, porém observou-se um aumento da concentração de cálcio com o aumento da concentração de aplicação com CaCl_2 . Verificou-se a mesma tendência aquando da quantificação por espectrofotometria de absorção atómica.

Considerando que a biofortificação em Ca consiste no desenvolvimento de um produto para consumo humano que apresente características funcionais no plano fisiológico, salientando-se a prevenção face à osteoporose, observou-se que a parte interna do tubérculo (quantificação por fluorescência de raios-X), que apresentou um incremento de cálcio, será possível o desenvolvimento de produtos como *chips* ou purés enriquecidos neste macroelemento, possibilitando a criação de um produto de valor acrescentado.

Considerando as características físicas e químicas dos tubérculos aquando da colheita, verificou-se que a altura, diâmetro e a densidade média, não sofreram alterações entre os diferentes tratamentos. O peso seco apresentou variações significativas entre os tratamentos, porém os mesmos integram-se no intervalo aceite pela indústria de processamento. O teor de sólidos solúveis totais foi significativamente inferior no tratamento $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (4 kg ha^{-1}). Realizando a comparação com outras variedades da literatura, observaram-se valores superiores, revelando tratar-se de uma variedade mais “doce”, ou seja, com maior conteúdo de glicose. Nos parâmetros colorimétricos não se verificaram variações significativas em nenhum dos tratamentos, constatando-se a predominância dos tons amarelos, tal como se esperava.

Após análise dos índices colorimétricos nos tubérculos, à colheita, com o colorímetro Minolta CR300 e o colorímetro espectrofotométrico de varrimento, identificou-se a predominância de tons amarelos, tal como visualmente se constatou a olho nu.

Tendo em conta o efeito térmico (*i.e.*, cozedura) sobre os tubérculos biofortificados, verificou-se que os perfis de temperatura não variaram de forma significativa nos diferentes tratamentos, embora tenham subsistido algumas alterações nos parâmetros colorimétricos L (luminosidade / brilho) e Chroma (pureza de cor) no tratamento térmico de 12,5 minutos, nos tratamentos de CaCl_2 (12 kg ha^{-1}) e $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (4 kg ha^{-1}).

4.2-Perspetivas de trabalho futuro

No enquadramento da elaboração desta dissertação, que permitiu o desenvolvimento de um itinerário técnico para a biofortificação em cálcio de tubérculos da variedade Agria, seria de interesse estudar e elaborar um itinerário técnico dentro dos moldes aqui propostos, para outras variedades de interesse para a indústria.

Conjugando os resultados obtidos, seria igualmente desafiante a incorporação de novas concentrações e prosseguir o estudo apenas com pulverizações de CaCl_2 , visto ter-se verificado uma tendência de aumento da concentração de cálcio com o aumento da concentração de CaCl_2 aplicada. No entanto, tornar-se-ia imperativo a realização de uma análise para determinar quanto do cálcio aplicado é realmente absorvido pelas células. A utilização de, por exemplo, CaCo-2 cells para determinar a absorção de cálcio existente nas células, seria favorável para o estudo do

mecanismo de transporte do cálcio nas batateiras. Em alternativa, o uso de membranas permeáveis a cálcio, constituiria uma opção vantajosa para calcular efetivamente a concentração de cálcio.

Adoptando ainda uma perspectiva industrial, a incorporação de aditivos alimentares, para incrementar a conservação de produtos processados derivados da batata e possibilitar o aumento do *shelf life* do próprio tubérculo, seria ainda relevante. Actualmente é crucial agradar o consumidor, devendo estimular-se a apetência dos produtos derivados de batata para cativar os consumidores. Assim, o processamento e consumo de batata biofortificada com um elevado *shelf-life* poderá ser determinante para o sucesso dos produtos alimentares desenvolvidos. A aplicação de produtos, como o glutamato de sódio e/ou de *flavours*, tornando os produtos mais apetecíveis e atrativos, tornar-se-ia uma opção bastante viável e que possibilita diversificar uma variedade de gama de produtos (como por exemplo: as “*chips*” ou batatas pré-fritas congeladas).

Referências Bibliográficas

- Alloway, B.J. (2010). Heavy Metals in Soils – Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability. 3rd ed. *New York: Springer*, pp. 11-493.
- Alvarez, M., Canet, W. & López, M. (2002). Influence of deformation rate and degree of compression on textural parameters of potato and apple tissues in texture profile analysis. *European Food Research and Technology*, 215(1), pp.13-20.
- Amaral, A. & Militão, J. (2015). Efeito de doses e modo de fracionamento de potássio na batata de indústria “VR0808”. *Revista da Unidade de Investigação do Instituto Politécnico de Santarém*, 3(4), pp.118-130.
- Arvanitoyannis, I., Mavromatis, A., Vaitisi, O., Korkovelos, A. & Golia, E. (2012). Effect of genotype and geographical origin on potato properties (Physical and Sensory) for authenticity purposes. *Journal of Agricultural Science*, 4(4), pp.1916-1960.
- Ayers, R. & Westcot, D. (1985). Water quality for agriculture. 1st ed. *Rome: Food and Agriculture Organization*.
- Bayer, C. & Mielniczuk, J. (1999). Dinâmica e função da matéria orgânica. Em Santos, G. A. & Camargo, F. A. (ed.), *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*, Porto Alegre: Genesis, pp. 9-26.
- Birol, E., Meenakshi, J., Oparinde, A., Perez, S. & Tomlins, K. (2015). Developing country consumers’ acceptance of biofortified foods: a synthesis. *Food Security*, 7(3), pp.555-568.
- Bonomelli, C. & Ruiz, R. (2010). Effects of foliar and soil calcium application on yield and quality of table grape vc. *Thompson seedless*. *Journal of Plant Nutrition*, 33(3), pp.299-314.
- Bouis, H. & Saltzman, A. (2017). Improving nutrition through biofortification: A review of evidence from HarvestPlus, 2003 through 2016. *Global Food Security*, 12, pp.49-58.
- Brandão, S. & Lima, S. (2002). Ph e condutividade elétrica em solução do solo, em áreas de pinus e cerrado na chapada, em uberlândia (mg). *Caminhos de Geografia*, 3, pp. 46-56.
- Braun, H., Fontes, P., Busato, C. & Cecon, P. (2011). Teor e exportação de macro e micronutrientes nos tubérculos de cultivares de batata em função do nitrogênio. *Bragantia*, 70(1), pp.50-57.
- Braun, H., Fontes, P., Finger, F., Busato, C. & Cecon, P. (2010). Carboidratos e matéria seca de tubérculos de cultivares de batata influenciados por doses de nitrogênio. *Ciência e Agrotecnologia*, 34(2), pp.285-293.
- Cavalcante, A. C., Cavalcante, L. F., Bertino, A., Cavalcante, A. G., Lima, A. & Ferreira, N. (2019). Adubação com potássio e cálcio na nutrição e produção de goiabeira 'Paluma'. *Revista Ceres*, 66(1), pp.54-62.
- Chen, F., Liu, H., Yang, H., Lai, S., Cheng, X., Xin, Y., Yang, B., Hou, H., Yao, Y., Zhang, S., Bu, G. & Deng, Y. (2011). Quality attributes and cell wall properties of strawberries

- (*Fragaria annanassa Duch.*) under calcium chloride treatment. *Food Chemistry*, 126(2), pp.450-459.
- Contador, L., Shinya, P. & Infante, R. (2015). Texture phenotyping in fresh fleshy fruit. *Scientia Horticulturae*, 193, pp.40-46.
- Corrêa, R., Pinto, J., Reis, É., Monteiro, A., Pinto, C. & Faquin, V. (2007). Densidade de plantas e métodos de colheita na multiplicação de batata-semente em vasos. *Horticultura Brasileira*, 25(2), pp.270-274.
- Cunha, P. & Duarte, A (2008). Remoção de arsênio em águas para consumo humano. *Associação Portuguesa de Engenharia Sanitária e Ambiental (APESB)*.
- D'Imperio, M., Renna, M., Cardinali, A., Buttarò, D., Serio, F. & Santamaria, P. (2016). Calcium biofortification and bioaccessibility in soilless “baby leaf” vegetable production. *Food Chemistry*, 213, pp.149-156.
- Decreto-Lei nº 118/2006 de 21 de Junho - O Decreto-Lei n.º 446/91, de 22 de Novembro, estabelece o regime jurídico da utilização agrícola das lamas de depuração e demais legislação regulamentar, transpondo para a ordem jurídica nacional a Directiva n.º 86/278/CE, do Conselho, de 12 de Junho, relativa à protecção do ambiente e em especial dos solos na utilização agrícola das lamas.
- Decreto-Lei nº14/2016 emitido pelo Ministério da Agricultura, Florestas e Desenvolvimento Rural a 9 de março de 2016, que estabelece o regime jurídico da batata para consumo humano e da batata-semente.
- Echer, F., Dominato, J. & Creste, J. (2009). Absorção de nutrientes e distribuição da massa fresca e seca entre órgãos de batata-doce. *Horticultura Brasileira*, 27(2), pp.176-182
- EFSA (European Food Safety Authority) (2015). EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies. Scientific Opinion on Dietary Reference Values for calcium. *EFSA Journal*, 13(5), pp.4101.
- Fairbrother, A., Wenstel, R., Sappington, K. & Wood, W. (2007). Framework for metals risk assessment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 68(2), pp.145-227.
- FAO (2000). Food Insecurity: When People Live with Hunger and Fear Starvation. *Rome: Food and Agriculture Organization*.
- FAO, IFAD & WFP (2015). The State of Food Insecurity in the World 2015. *Rome: Food and Agriculture Organization*.
- Fernandes, A., Soratto, R. & Silva, B. (2011). Extração e exportação de nutrientes em cultivares de batata: I- macronutrientes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35(6), pp.2039-2056.
- Fernandes, A., Soratto, R., Evangelista, R. & Nardin, I. (2010). Qualidade físico-química e de fritura de tubérculos de cultivares de batata na safra de inverno. *Horticultura Brasileira*, 28(3), pp.299-304.

- Fernández, Z., Álvarez, J., Álvarez, A., González, I., Júnior, J., Milan, M., Pérez, G., Bombuse, D., González, M., Torres, D., Macias, N., Hernández, N. & Álvarez, R. (2016). Multielement analysis of lichen samples using XRF methods. Comparison with ICP-AES and FAAS. *X-Ray Spectrometry*, 45(2), pp.77-84.
- Filho, H., Salazar, R., Neto, M., Alcântara, M. & Peixoto, A. (2012). State-of-the-Art and Trends in Atomic Absorption Spectrometry. *Atomic Absorption Spectroscopy, Muhammad Akhyar Farrukh, IntechOpen*, pp.13-36.
- França, N., Peters, B. & Martini, L. (2014). Carência de cálcio e vitamina D em crianças e adolescentes: uma realidade nacional. *Blucher Medical Proceedings*, 1(4), pp.154-161.
- García-Segovia, P., Andrés-Bello, A. & Martínez-Monzó, J. (2008). Textural properties of potatoes (*Solanum tuberosum* L., cv. Monalisa) as affected by different cooking processes. *Journal of Food Engineering*, 88(1), pp.28-35.
- Gomez-Coronado, F., Almeida, A., Santamaria, O., Cakmak, I. & Poblaciones, M. (2019). Potential of advanced breeding lines of bread-making wheat to accumulate grain minerals (Ca, Fe, Mg and Zn) and low phytates under Mediterranean conditions. *J Agro Crop Sci*, 205(3), pp.341– 352.
- Gonçalves, S. (2005). Gestão de resíduos orgânicos. 1st ed. Porto: *SPI – Sociedade Portuguesa de Inovação*.
- Gould, W. (1999). Potato production, processing and technology. 1st ed. USA: *Cti Publications*, pp. 4-290.
- Gregório, G., Dharmawansa, S., Htut, H. & Graham, R. D. (2000). Breeding for trace mineral density in rice. *Food and Nutrition Bulletin*, 21(4), pp.382-386
- Heiri, O., Lotter, A. & Lemcke, G. (2001). Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content. *Journal of Paleolimnology*, 25(1), pp.101-110.
- Hejlová, A. & Blahovec, J. (2008). Sloughing in potatoes induced by tuber density and affected by variety. *Czech Journal of Food Sciences*, 26(1), pp.48-57.
- Hocking, B., Tyerman, S., Burton, R. & Gilliam, M. (2016). Fruit calcium: transport and physiology. *Frontiers in Plant Science*, 7 pp.569.
- Horton, D. (1987). Potatoes: production, marketing, and programs for developing countries. Boulder, CO: Westview Press.
- IOM (Institute of Medicine) (2011). Dietary Reference Intakes for Calcium and Vitamin D. *Washington, DC: The National Academies Press*.
- Johns, T. & Eyazaguirre, P. (2007). Biofortification, biodiversity and diet: A search for complementary applications against poverty and malnutrition. *Food Policy*. 32 (1), pp.1-24.
- Kabata-Pendias, A. (2011). Trace Elements in Soils and Plants. 4th ed. *CRC Press, United States*. pp. 548.

- Kennedy, G. Nantel, G. & Shetty, P. (2003). The scourge of “hidden hunger”: global dimensions of micronutrient deficiencies. *Food, Nutrition and Agriculture*, 32: 8–16.
- Lidon, F., Almeida, A., Costa, A., Bagulho, A., Scotti-Campos, P., Semedo, J., Maças, B., Coutinho, J., Pinheiro, N., Gomes, C., Leitão, A., Pais, I., Silva, M., Reboredo, F., Pessoa, M. & Ramalho, J. (2015). Sequential zinc and iron biofortification of bread-wheat grains: from controlled to uncontrolled environments. *Crop and Pasture Science*, 66(11), pp.1097-1104.
- Lidon, F., Oliveira, K., Ribeiro, M., Pelica, J., Pataco, I., Ramalho, J., Leitão, A., Almeida, A., Campos, P., Ribeiro-Barros, A., Pais, I., Silva, M., Pessoa, M. & Reboredo, F. (2018). Selenium biofortification of rice grains and implications on macronutrients quality. *Journal of Cereal Science*, 81, pp.22-29.
- Lividini, K. (2017). Identification of optimal investments. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 17(02), pp.12092-12105.
- Lockyer, S., White, A., Walton, J. & Buttriss, J. (2018). Proceedings of the ‘Working together to consider the role of biofortification in the global food chain’ workshop. *Nutrition Bulletin*, 43(4), pp.416-427.
- Madani, B., Wall, M., Mirshekari, A., Bah, A. & Mohamed, M. (2015). Influence of Calcium Foliar Fertilization on Plant Growth, Nutrient Concentrations, and Fruit Quality of Papaya. *HortTechnology*, 25, pp.496-504.
- Mao, H., Wang, J., Wang, Z., Zan, Y., Lyons, G. & Zou, C. (2014). Using agronomic biofortification to boost zinc, selenium, and iodine concentrations of food crops grown on the loess plateau in China. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 14, pp.459-470.
- Mesquita, H., Pádua, J., Yuri, J. & Araújo, T. (2012). Fertilização da cultura da batata. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, 33 (270), pp. 52-61.
- Mourinho, M., Pataco, I., Oliveira, K., Santos, C., Pelica, J., Ramalho, J., Leitao, A., Pais, I., Campos, P., Lidon, F., Reboredo, F. & Pessoa, M. (2015). Zinc biofortification in *triticum aestivum* L. – from grains to bakery products. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 27(2), pp. 164-170.
- Murayama, D., Tani, M., Ikeda, S., Palta, J., Pelpolage, S., Yamauchi, H. & Koaze, H. (2017). Effects of Calcium Concentration in Potato Tuber Cells on the Formation of Cross-Links between Pectin Molecules by Ca²⁺. *American Journal of Potato Research*, 94(5), pp. 524-533.
- Oliveira, K., Pataco, I., Mourinho, M., Santos, C., Pelica, J., Ramalho, J., Leito, A., Pais, I., Campos, P., Lidon, F. & Pessoa, F. (2015). Selenium Biofortification in Rice - A pragmatic perspective. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 27(3), pp.231.
- Pataco, I., Mourinho, M., Oliveira, K., Santos, C., Pelica, J., Pais, I., Ramalho, J., Leito, A., Campos, P., Lidon, F. & Pessoa, F. (2015). Durum Wheat (*Triticum durum*) biofortification

- in iron and definition of quality parameters for the industrial production of pasta - a review. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 27(3), pp.242-249.
- Pelica, J., Barbosa, S., Reboredo, F., Lidon, F., Pessoa, F. & Calvão, T. (2018). The paradigm of high concentration of metals of natural or anthropogenic origin in soils – The case of Neves-Corvo mine area (Southern Portugal). *Journal of Geochemical Exploration*, 186, pp.12-23.
- Pessoa, M., Campos, P., Pais, I., Feteiro, A., Canuto, D., Simes, M., Pelica, J., Pataco, I., Ribeiro, V., Reboredo, F., Ramalho, J. & Lidon, F. (2016). Nutritional profile of the Portuguese cabbage (*Brassica oleracea* L var. costata) and its relationship with the elemental soil analysis. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 28(6), pp.381-388.
- Pingali, P. (2012). Green Revolution: Impacts, limits, and the path ahead. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(31), pp.12302-12308.
- Portaria n.º 587/87 de 9 de Julho. Diário da República n.º 155/1987, Série I. Ao abrigo do disposto no n.º1 do artigo 4.º do Decreto-Lei n.º 512/85, de 31 de Dezembro. Ministérios da Agricultura, Pescas e Alimentação e da Indústria e Comércio. Lisboa.
- Ramalho, J., Pais, I., Leitão, A., Guerra, M., Reboredo, F., Máguas, C., Carvalho, M., Scotti-Campos, P., Ribeiro-Barros, A., Lidon, F. & Damatta, F. (2018). Can elevated air [CO₂] conditions mitigate the predicted warming impact on the quality of coffee bean?. *Frontiers in Plant Science*, 9, pp.287.
- Reboredo, F., Pelica, J., Lidon, F., Ramalho, J., Pessoa, M., Calvão, T., Simões, M. & Guerra, M. (2018). Heavy metal content of edible plants collected close to an area of intense mining activity (southern Portugal). *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(8), pp.484.
- Reboredo, F., Simões, M., Jorge, C., Mancuso, M., Martinez, J., Guerra, M., Ramalho, J., Pessoa, M. & Lidon, F. (2019). Metal content in edible crops and agricultural soils due to intensive use of fertilizers and pesticides in Terras da Costa de Caparica (Portugal). *Environmental Science and Pollution Research*, 26(3), pp.2512-2522.
- Rodier J., Legube B. & Merlet N. (2009). L'analyse de l'eau. 9^{ème} édition, *Dunod*, Paris, pp.1579.
- Romano, A., D'Amelia, V., Gallo, V., Palomba, S., Carputo, D. & Masi, P. (2018). Relationships between composition, microstructure and cooking performances of six potato varieties. *Food Research International*, 114, pp.10-19.
- Sadashivaiah, C., Ramakrishnaiah, C. & Ranganna, G. (2008). Hydrochemical analysis and evaluation of groundwater quality in Tumkur Taluk, Karnataka State, India. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 5(3), pp.158-164.
- Saltzman, A., Birol, E., Bouis, H., Boy, E., De Moura, F., Islam, Y. & Pfeiffer, W. (2013). Biofortification: Progress toward a more nourishing future. *Global Food Security*, 2(1), pp.9-17.

- Santos, K., Gonçalves, R., Alegria, C. & Almeida, D. (2016) Evolução do perfil sensorial de textura de pera Rocha durante o período de armazenamento. IX Simpósio Ibérico de Maturação e Pós Colheita. *Actas Portuguesas de Horticultura* nº28, pp.133-138.
- Smith, F. (2011). Potato: a global history. 1st ed. Londres: *Reaktion Books Ltd*, pp.10-140.
- Smith, J. & J. Doran (1996). Measurement and use of pH and electrical conductivity for soil quality analysis. P. J.W. Doran & A.J. Jones ed. Methods for assessing soil quality. *Soil Science Society of America Spec*, pp.169-185
- Taiz, L. & Zeiger, E. (2002). Plant Physiology. 3rd ed. *Sinauer Associates, Inc., Publishers*, Sunderland, pp.665.
- Vezzani, F. (2001). Qualidade do sistema solo na produção agrícola. Porto Alegre: *Universidade Federal do Rio Grande do Sul*.
- Virmond, E., Kawakami, J., Voncik, K., Córdova, K & Slompo, P. (2014). Características físico-químicas de cultivares de batata sob cultivo orgânico. *Ambiência Guarapuava*, 10(1), pp. 31-42.
- Wang, Y., Zhang, X., Wang, Y., Yang, S. & Qu, H. (2018). The changes of intracellular calcium concentration and distribution in the hard end pear (*Pyrus pyrifolia* cv. ‘Whangkeumbae’) fruit. *Cell Calcium*, 71, pp.15-23.
- Welch, R., & Graham, R. (2004). Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. *Journal of Experimental Botany*, 55(396), pp.353-364.
- White, P., & Broadley, M. (2009). Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets - iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. *New Phytologist*, 182(1), pp.49-84.
- World Health Organization (2018). Guideline: Fortification of rice with vitamins and minerals as a public health strategy. *World Health Organization*.
- Zhang, H., Zhao, Z., Zhang, X., Zhang, W., Huang, L., Zhang, Z., Yuan, L. & Liu, X. (2019). Effects of foliar application of selenate and selenite at different growth stages on Selenium accumulation and speciation in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Food Chemistry*, 286, pp-550-556.

Acesso a portais de Internet

- 1- <http://www.fao.org/potato-2008/en/potato/index.html> (acedido em 20/03/2019)
- 2- <https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-eurostat-news/-/DDN-20170328-2> (acedido em 23/03/2019)

- 3- http://www.aardappelpagina.nl/files/Catalogo_holandes_de_variedades_de_batata_2011_Nivap.pdf (acedido em 17/04/2019)
- 4- https://ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&userLoadSave=Load&userTableOrder=173&tipoSelecao=1&contexto=pq&selTab=tab1&submitLoad=true&xlang=pt (acedido em 17/04/2019)
- 5- <https://www.embrapa.br/hortalicas/batata/origem-e-botanica> (acedido em 17/04/2019)
- 6- <http://www.agromais.pt/pagina.aspx?ID=65> (acedido em 17/04/2019)
- 7- <http://portfir.insa.pt/foodcomp/food?635> (acedido em 18/04/2019)
- 8- <http://varieties.ahdb.org.uk/varieties/view/AGRIA> (acedido em 18/04/2019)
- 9- <http://www.calcob.com/produtos/default.aspx?idcont=29&idf=85&idp=245&ida=102&sc=1&title=agria&idioma=pt> (acedido em 20/04/2019)
- 10- http://www.seed.pt/catalogo/detalhes_produto.php?id=16 (acedido em 20/04/2019)
- 11- <https://dica.madeira.gov.pt/index.php/producao-vegetal/horticultura/208-algumas-variedades-de-batata> (acedido em 21/04/2019)
- 12- <https://www.harvestplus.org/biofortification-nutrition-revolution-now>(acedido em 21/04/2019)
- 13- <https://ods.od.nih.gov/Factsheets/Calcium/> (acedido em 25/04/2019)
- 14- <https://www.malvernpanalytical.com/br/products/technology/x-ray-fluorescence> (acedido em 2/05/2019)
- 15- <https://kasvi.com.br/espectrofotometria-analise-concentracao-solucoes/> (acedido em 4/05/2019)
- 16- <https://acientistaagricola.pt/ph-do-solo/> (acedido em 4/05/2019)
- 17- <http://www.ufjf.br/baccan/files/2011/05/AAS-geral-parte-1-revisada.pdf> (acedido em 4/05/2019)
- 18- <https://www.eea.europa.eu/pt/articles/a-agua-na-agricultura> (acedido em 5/05/2019)
- 19- <https://www.ipma.pt/pt/oclima/monitorizacao/> (acedido em 2/03/2019)
- 20- https://cropscience.bayer.pt/internet/produtos/produto.asp?id_produto=195 (acedido em 6/03/2019)
- 21- <http://www.dgav.pt/fitofarmaceuticos/lista/Rotulos/1001.pdf>(acedido em 8/03/2019)
- 22- <http://www.lojaagropecuaria.pt/222-001695>) (acedido em 10/04/2019)
- 23- <http://www.dgav.pt/fitofarmaceuticos/lista/Rotulos/0799.pdf> (acedido em 10/04/2019)
- 24- https://cropscience.bayer.pt/internet/produtos/produto.asp?id_produto=163 (acedido em 10/04/2019)
- 25- <https://www.syngenta.pt/sites/g/files/zhg511/f/ficha-tecnica-carial-flex.pdf?token=1514374247> (acedido em 10/04/2019)
- 26- https://cropscience.bayer.pt/internet/produtos/produto.asp?id_produto=232#propriedades (acedido em 10/04/2019)

- 27- https://www.agro.basf.pt/agroportal/pt/media/migrated/productfiles/labels/Cabrio_Duo1.pdf (acedido em 13/04/2019)
- 28- <http://www.dgav.pt/fitofarmaceuticos/lista/Rotulos/0813.pdf> (acedido em 15/04/2019)
- 29- https://cropsience.bayer.pt/internet/produtos/produto.asp?id_produto=132#propriedades (acedido em 18/04/2019)
- 30- <https://pt.fermofeed.com/produtos/biol%C3%B3gicos-fertilizantes/fertilizante-org%C3%A2nico-4-3-3> (acedido em 18/04/2019)
- 31- <http://www.lojaagropecuaria.pt/9032-NER25> (acedido em 20/04/2019)
- 32- http://www.adp-fertilizantes.pt/media/834289/adp-monofolha-_ftech-nergetic.pdf (acedido em 20/04/2019)
- 33- <http://nutrisapex.pt/wp-content/uploads/2016/08/Nutricomplex13-40-13-FT.pdf> (acedido em 23/04/2019)
- 34- <http://nutrisapex.pt/wp-content/uploads/2016/05/Fortan-FT.pdf> (acedido em 24/04/2019)
- 35- <http://www.adp-fertilizantes.pt/media/605666/nitrato-de-c%C3%A1lcio-nca-ds-007-nov-2017-pt-esds.pdf> (acedido em 30/04/2019)
- 36- <http://www.adp-fertilizantes.pt/pt/agricultura/produtos/categorias/foliares/linha-tecnifol/tecnifol-c%C3%A1lcio/> (acedido em 30/04/2019)
- 37- <https://www.agrozapp.pt/produtos/fertilizer/adp-fertilizantes-soluteck-nitrato-de-calcio-rega> (acedido em 30/04/2019)
- 38- [http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/8C2796BCB76E0F9B83257E20006560E2/\\$FILE/Page10-16-149.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/8C2796BCB76E0F9B83257E20006560E2/$FILE/Page10-16-149.pdf) (acedido em 1/05/2019)
- 39- <http://www.hortibrasil.org.br/classificacao/batata/arquivos/norma.html> (acedido em 6/05/2019)
- 40- <https://wwwf.imperial.ac.uk/blog/physics-of-cooking/2011/03/09/potato-density-changes-with-age-karim-bahsoon/> (acedido em 18/05/2019)
- a- <http://batatinhaquandonascediferente.blogspot.com/2010/06/batata-do-pe-cabeca-voce-ja-viu.html>
- b- http://uenf.br/Uenf/Downloads/LMGV_5207_1338297102.pdf
- c- <http://www.dcoracao.com/2014/06/e-saudavel-comer-batatas-com-brolhos-sim.html>
- d- <https://inspectioneering.com/journal/2016-04-28/5301/advancements-in-positive-material-identification-tools-bring-acc>
- e- https://www.google.com/url?sa=i&source=images&cd=&ved=2ahUKEwi_59uWucXiAhUj6uAKHXusDMgQjRx6BAgBEAU&url=https%3A%2F%2Fdocplayer.com.br%2F7

027231-Espectrometria-de-absorcao-atomica.html&psig=AOvVaw0n-
P3dVkdMrvF8Gr4YRw9Y&ust=1559381020449401

- f- <http://www.perkinelmer.com.br/brochuras/AAAnalyst%20200-400.pdf>
- g- <http://www.infoescola.com/wp-content/uploads/2007/12/espectro-visivel-da-luz.jpg>
- h- <http://loja.atago-brasil.com/refratometros-manuais/master-53m>
- i- <http://sensing.konicaminolta.com.br/2013/11/entendendo-o-espaco-de-cor-lab/>
- j- http://www.adp-fertilizantes.pt/media/834289/adp-monofolha-_ftech-nergetic.pdf
- k- <http://www.instant-analysis.com/Principles/intensity.gif>
- l- <https://en.color-style.com/wp-content/uploads/sites/5/2016/12/hue-chroma-value.png>

Anexos

Anexo I - Requisitos de Qualidade da Batata para Consumo Humano

1 - Características de Qualidade

O desenvolvimento e o estado de maturação dos tubérculos deve ser tal que permita suportar o transporte e manipulação, assim como chegar em condições satisfatórias ao seu destino. Cada embalagem ou lote deve estar isenta de matérias estranhas, isto é, terra aderente e não aderente e de corpos estranhos. Os tubérculos, depois do acondicionamento e embalagem, devem apresentar, tendo em conta as tolerâncias admitidas, as seguintes características mínimas:

- a) Aspeto normal para a variedade, considerando a região da respetiva produção;
- b) Inteiros, isto é, isentos de todos os cortes ou ablações que provoquem uma alteração da sua integridade;
- c) A ausência parcial de pele nos tubérculos de «batata primor» não constitui uma alteração à integridade dos mesmos;
- d) São, excluindo-se os produtos atacados de podridão ou alterações tais que os tornem impróprios para consumo;
- e) Praticamente limpos, isentos de materiais estranhos;
- f) Com a pele bem formada, apenas para a batata de conservação e batata nova;
- g) Firmes;
- h) Praticamente isentas de pragas ou de danos causados pelas mesmas;
- i) Na «batata primor» e na «batata nova» não se admite a presença de brotos ou gregos;
- j) No caso da «batata de conservação», os tubérculos devem apresentar-se praticamente não germinados e, caso apresentem brotos ou gregos, estes não podem medir mais de 3 mm;
- k) Isentos de humidade exterior anormal, isto é, secos adequadamente se forem lavados;
- l) Isentos de odores e ou de sabores estranhos;
- m) Isentos de defeitos externos ou internos que prejudiquem o aspeto geral do produto, a sua qualidade, a sua conservação e a sua apresentação na embalagem, tais como:
 - i) Manchas acastanhadas devido ao calor;
 - ii) Fendas de crescimento, fissuras, cortes, mordeduras de roedores, picadas e rugosidades na pele que ultrapassem os 3,5 mm de profundidade para os tubérculos de «batata primor» e 5 mm de profundidade para os tubérculos de «batata nova» e de «batata de conservação»;
 - iii) Coloração verde que não cubra mais de um oitavo da superfície, não constituindo defeito a coloração que se pode retirar por descasque normal;
 - iv) Deformações graves;

v) Manchas subepidérmicas cinzentas, azuis ou negras que ultrapassem 5 mm de profundidade, numa superfície superior a 2 cm²;

vi) Manchas de ferrugem, coração oco, enegrecimento e outros defeitos internos;

vii) Sarna comum profunda e sarna pulverulenta em mais de um décimo da superfície total do tubérculo e com uma profundidade de 2 mm ou mais;

viii) Sarna comum superficial em mais de um quarto da superfície total do tubérculo;

ix) Danos causados pelo frio e ou gelo.

2 - Classificação

a) Categoria I

Batatas de boa qualidade e que apresentem as características inerentes ao tipo de variedade a que pertencem. No entanto, desde que não prejudique o aspeto geral do produto nem a sua qualidade, conservação ou apresentação, podem apresentar os seguintes defeitos:

- Ligeiro defeito de forma, tendo em conta a forma típica da variedade e a sua zona de produção;
- Ligeiros defeitos superficiais;
- Ligeiros defeitos de coloração;
- Muito ligeiros defeitos internos.

b) Categoria II

Engloba as batatas que não podem ser classificadas na categoria I, mas que cumpram as características mínimas estabelecidas no ponto 1 do presente anexo. No entanto, podem apresentar os defeitos a seguir indicados, desde que mantenham as características essenciais de qualidade, conservação e apresentação:

- Defeitos de forma, tendo em conta a forma típica da variedade e a sua zona de produção;
- Defeitos superficiais;
- Defeitos de coloração;
- Ligeiros defeitos internos.

3 - Disposições Relativas à Calibragem

O calibre do tubérculo é determinado por malha quadrada. Os tubérculos devem ter:

a) Um calibre mínimo de 28 mm x 28 mm, no caso de «batata primor» e de 35 mm x 35 mm, no caso de «batata nova» e de «batata de conservação»;

b) Um calibre máximo de 80 mm x 80 mm e, para as variedades longas, de 75 mm x 75 mm.

As batatas de conservação que ultrapassem o calibre máximo são admitidas na condição de que a diferença entre os calibres mínimo e máximo não ultrapasse 30 mm e desde que sejam comercializadas sob outra denominação ou nome comercial.

Os tubérculos com calibre compreendido entre 18 mm e 35 mm são comercializados com a denominação «miúda» ou outra denominação comercial equivalente.

A homogeneidade de calibre não é sempre obrigatória, aplicando-se as tolerâncias indicadas no ponto 4 do presente anexo.

Nas embalagens para venda direta ao consumidor com um peso máximo de 5 kg, o intervalo de calibre não pode exceder 30 mm.

Uma variedade é considerada alongada quando o comprimento médio dos tubérculos for superior ao dobro da sua largura média.

Às variedades alongadas de forma irregular não são aplicáveis as exigências relativas ao calibre.

4 - Tolerâncias

São admitidas tolerâncias de qualidade e de calibre para os produtos não conformes com as características mínimas indicadas, dentro da embalagem ou dentro de cada lote, no caso de apresentação a granel em contentor ou em veículo.

a) Tolerâncias de qualidade

Categoria I

No caso de «batatas primor» e de «batatas novas», 6 % em peso dos tubérculos que não cumpram os requisitos desta categoria, nas quantidades máximas definidas no anexo II, mas que se enquadrem nos requisitos que estão definidos para a categoria II ou, excecionalmente, nas tolerâncias para esta categoria.

No caso de «batatas de conservação», 8 % em peso dos tubérculos que não cumpram os requisitos desta categoria, nas quantidades máximas definidas no anexo II, mas que se enquadrem nos requisitos que estão definidos para a categoria II ou, excecionalmente, nas tolerâncias para esta categoria.

Categoria II

Respetivamente, 8 % ou 10 % em peso, para as batatas «primor», «novas» e «de conservação», de tubérculos que não cumpram os requisitos desta categoria, nem os requisitos mínimos, nas quantidades máximas definidas no anexo II, ficando excluídos os produtos que apresentem alterações que os tornem impróprios para consumo.

b) Tolerâncias de calibre

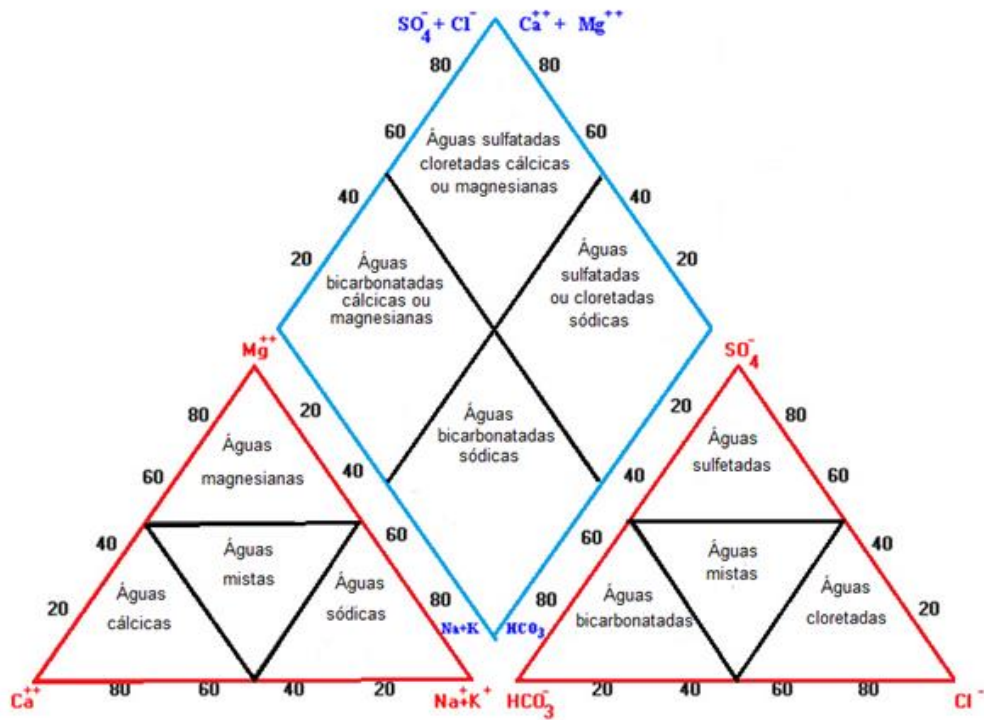
Para todos os tipos e categorias de batata, 6 % em peso dos tubérculos que não cumpram os requisitos de calibre mínimo estabelecido ou, no caso de se apresentarem calibrados, que não correspondam ao calibre inferior e ou superior especificado, com um desvio máximo de 15 %.

c) Tolerância de outras variedades

2 % em peso de tubérculos de variedades diferentes das que constituem a embalagem ou o lote, no caso de apresentação a granel em contentor ou em veículo.

Anexo II – Diagrama de Piper

(Fonte: <https://userscontent2.emaze.com/images/81400c85-8481-4f53-8079-549b9dc94413/740390eb0dfe5d24bd7a52667a436506.PNG>)

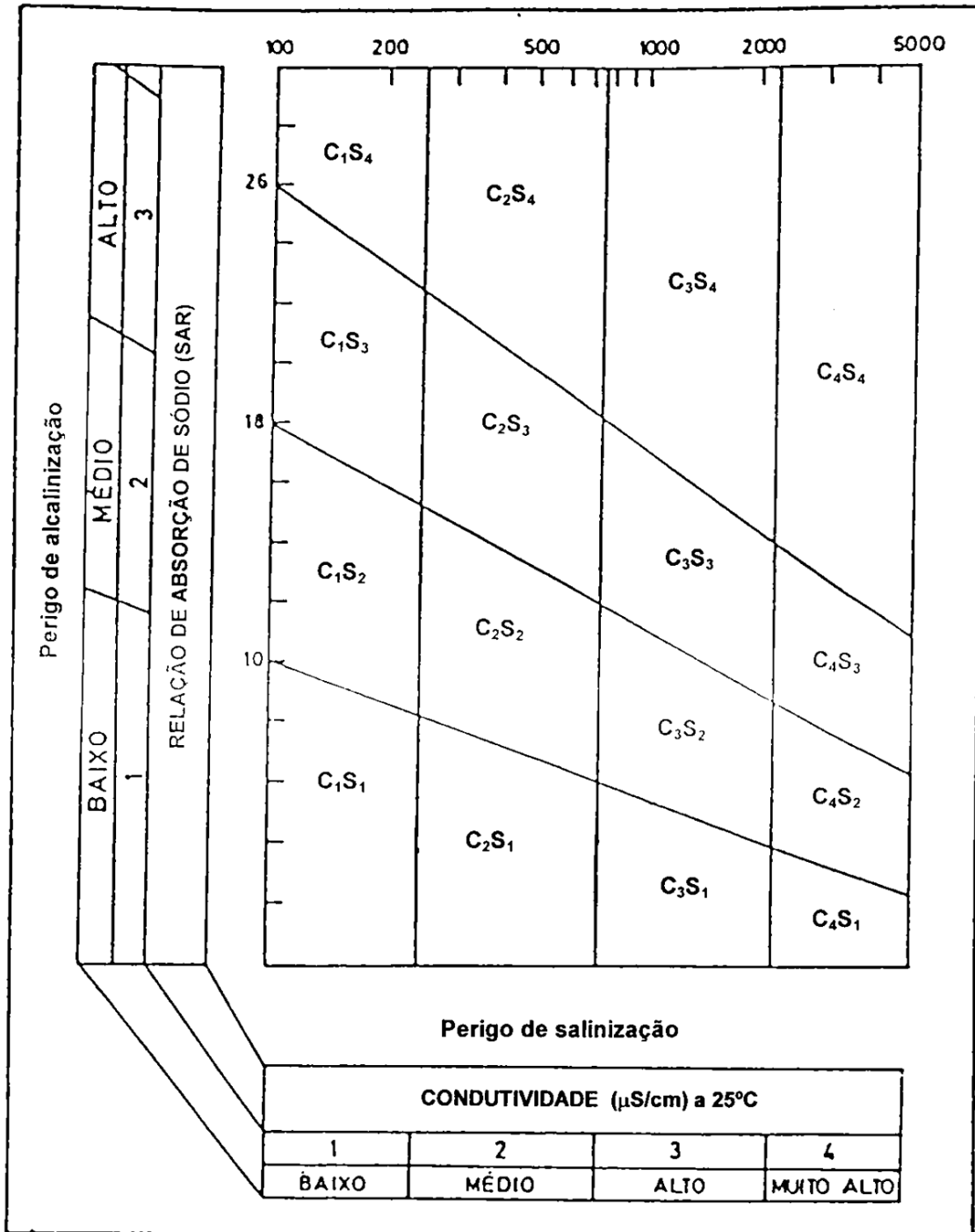


Anexo III – Diagrama de Riverside

(Adaptado de:

https://www.researchgate.net/profile/Fatima_Becher_Quinodoz/publication/272022934/figure/fig6/AS:392015071203335@1470475084959/Figura-14-Diagrama-de-clasificacion-para-riego-segun-Riverside.png)

DIAGRAMA DE RIVERSIDE



Anexo IV – Determinação Índice SAR

(Adaptado de: <http://www.fao.org/3/T0234E/T0234E03.htm>)

O método mais recente utilizado para avaliar o potencial do problema de infiltração é o índice de Adsorção de Sódio (SAR):

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}}{2}}}$$

Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} em meq L⁻¹

Anexo V – Índice de Saturação de Langelier (ISL)

(Adaptado de: <https://www.lenntech.com/calculators/langelier/index/langelier.htm>)

$$\text{ISL} = \text{pH} - \text{pHs}$$

pHs- é o pH na saturação em calcita ou carbonato de cálcio.

ISL	Indicação
< 0	A água é insaturada em relação ao carbonato de cálcio. Este tipo de água tem uma tendência a remover/corroer os revestimentos existentes em tubagens e equipamentos.
= 0	A água é considerada neutra. Não existe formação de incrustações ou eliminação dos mesmos.
>0	A água é supersaturada em relação ao carbonato de cálcio (CaCO ₃) e pode ocorrer formação de incrustações.