



**Efeito de fertilizantes com mecanismos de liberação  
gradual de nutrientes na cultura do castanheiro  
(*Castanea sativa*)**

**Vagner Grade**

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do  
Grau de Mestre em Agroecologia*

Orientado por

**Professora Doutora Margarida Maria Pereira Arrobas Rodrigues**

Coorientado por

**Professor Doutor Luís César Cassol**

**Professor Doutor Manuel Ângelo Rosa Rodrigues**

Esta dissertação não inclui as críticas e sugestões feitas pelo Júri

**Bragança**

**2018**





VAGNER GRADE

**EFEITO DE FERTILIZANTES COM MECANISMOS DE LIBERAÇÃO GRADUAL  
DE NUTRIENTES NA CULTURA DO CASTANHEIRO (*CASTANEA SATIVA*)**

Dissertação apresentada ao Instituto Politécnico de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Agroecologia no âmbito da dupla diplomação com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadores:

Prof. Dr. Margaria Maria Pereira Arrobas Rodrigues

Prof. Dr. Luís César Cassol

Prof. Dr. Manuel Ângelo Rosa Rodrigues

BRAGANÇA  
2018

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero agradecer aos meus queridos pais, Volnei e Ivete, e ao meu irmão Valter, pelo apoio incondicional e esforço que fizeram para que eu chegasse até esta etapa em minha vida.

Aos demais familiares, avós, tios e tias, primos e primas, padrinhos e madrinhas, afilhado e afilhada, pela motivação e inspiração durante esta caminhada.

Agradeço em especial a minha namorada, Taís, que está sempre ao meu lado.

Aos meus orientadores, Prof. Dra. Margarida Maria Pereira Arrobas Rodrigues, Prof. Dr. Manuel Ângelo Rodrigues e Prof. Dr. Luís César Cassol, pelos conselhos e apoio à conclusão desta dissertação.

Registro meu agradecimento ao Laboratório de Solos do IPB, pelo suporte durante as análises. Agradeço a D. Rita e a D. Ana por todo o auxílio prestado no laboratório.

Ao Instituto Politécnico de Bragança pela oportunidade de realizar minha dissertação. À UTFPR pela oportunidade de participar do programa de dupla-diplomação.

À ATLANLUSI, na pessoa do Sr. Engenheiro Valdemar Barroso, pelo fornecimento dos fertilizantes. À ARBOREA, na pessoa do seu presidente, Sr. Engenheiro Abel Pereira, pela facilitação da logística e organização dos ensaios.

Aos produtores, Sr. Mário Rodrigues (Moimenta) e Sr. Marcelino Rodrigues (Meixedo), por disponibilizarem os pomares para os ensaios e que se responsabilizaram pela apanha das castanhas.

Aos meus amigos e colegas que me ajudaram na realização deste trabalho e também estiverem presentes nos momentos de descontração.

Por fim, agradeço à todos que de uma forma ou outra colaboraram para o desenvolvimento desta dissertação.

Muito obrigado!

## RESUMO

A cultura do castanheiro (*Castanea sativa* Mill.) apresenta grande importância econômica na região Norte de Portugal. A redução da produção nos principais países produtores, devido a problemas fitossanitários, tem impulsionado os preços da castanha e estimulado os produtores a fertilizarem os seus pomares. Neste cenário, empresas de fertilizantes estão propondo soluções de fertilização aos produtores sem devido respaldo da investigação. O objetivo do estudo foi avaliar o efeito da aplicação de fertilizantes comerciais com mecanismos de liberação gradual de nutrientes propostos por uma empresa para a cultura do castanheiro. Foram conduzidos ensaios em dois locais no distrito de Bragança, com delineamento experimental em blocos casualizados e três repetições. Os tratamentos fertilizantes utilizados foram: orgânico de origem vegetal (13:03:05); organo-mineral de longa duração (06:15:08); organo-mineral com ácidos húmicos e fúlvicos (05:14:07); mineral de liberação controlada (18:05:13); e controle sem fertilização. Foram aplicados 3 kg de fertilizante por árvore nos anos 2015, 2016 e 2017 no mês de fevereiro. Avaliou-se o estado nutricional das árvores (mês de julho) e a produtividade em 2015, 2016 e 2017. As características químicas do solo e a atividade da fosfatase ácida foram avaliadas em amostras de solo coletadas em 3 profundidades (0-10 cm, 10-20 cm, e 20-30 cm) após três anos de aplicação dos fertilizantes. O adubo orgânico de origem vegetal (13:03:05) estimulou a atividade da fosfatase ácida na camada 0-10 cm. O estado nutricional das árvores comparado com o limite inferior do intervalo de suficiência, demonstrou que os elementos N e B foram os mais limitantes à cultura do castanheiro. Em rigor, não houve efeito dos fertilizantes sobre a produção acumulada de castanha, uma vez que as diferenças não tiveram significado estatístico, atribuído a elevada variabilidade experimental. No entanto, todos os fertilizantes começaram a destacar-se do controle sem fertilização. Os resultados das características químicas do solo foram pouco relevantes. O estado nutricional e produtividade das árvores indicam que o fertilizante mineral (18:05:13) de liberação controlada revestido por polímeros apresentou tendência de ser o mais adequado à cultura do castanheiro, possivelmente por ser mais concentrado nos elementos mais limitantes detectados pelas análises foliares. Os mecanismos de liberação gradual dos nutrientes não exerceram um efeito relevante no estado nutricional e na produtividade do castanheiro.

**Palavras chave:** fertilizantes de liberação lenta; fertilizantes de liberação controlada; adubos orgânicos; fosfatase ácida; análise foliar; fertilidade do solo.

## ABSTRACT

Chestnut tree (*Castanea sativa* Mill.) plays an important role in the economy of the Northern region of Portugal. The reduction of production in the main producing countries due to phytosanitary problems has increased the prices of the nuts and stimulated the producers to fertilize their orchards. Without previous studies on tree response to fertilization, fertilizer companies are proposing fertilizer solutions with poor research support. The aim of the study was to evaluate the effect of fertilizer with mechanisms of slow and controlled release of nutrients in chestnut orchards. Two experiments were conducted in the district of Bragança arranged as randomized complete block designs and three replicates. The fertilizer treatments were: organic of vegetal origin (13:03:05); controlled release, organo-mineral (06:15:08); organo-mineral with humic and fulvic acids (05:14:07); controlled release, mineral (18:05:13); and control without fertilization. Each fertilizer was applied at the rate of 3 kg per tree in 2015, 2016 and 2017 by late in winter. The nutritional status of the trees and chestnut yields were assessed in 2015, 2016 and 2017. Several soil chemical properties, including acid phosphatase activity, were evaluated from soil samples collected at 3 depths (0-10 cm, 10-20 cm, and 20-30 cm) after three years of fertilizer application. The organic fertilizer of vegetable origin (13:03:05) stimulated the activity of acid phosphatase in the 0-10 cm layer. N and B were the elements that most limit the chestnut crop if they were compared to the sufficiency ranges established for this species. In fact, there was not found a significant effect of the fertilizer treatments on the accumulated chestnut yield, in spite of the huge differences among average values, as a result of the high experimental variability. The fertilizer treatments had a poor effect on the main soil properties. The nutritional status of the trees and chestnut yields indicate that the mineral (18:05:13) polymer-coated controlled-release fertilizer tended to be the most adequate for these chestnut orchards, possibly because it is more concentrated in the more limiting elements detected by foliar analysis. The mechanisms of slow and controlled release of nutrients did not have a relevant effect on the nutritional status and productivity of the chestnut tree.

**Keywords:** slow-release fertilizers; controlled-release fertilizers; organic fertilizers; acid phosphatase; foliar analysis; soil fertility.

## ÍNDICE

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>14</b>
2.1 GERAL.....	14
2.2 ESPECIFICOS.....	14
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>15</b>
3.1 O CASTANHEIRO .....	15
3.1.1 Origem e distribuição geográfica .....	15
3.1.2 Caracterização morfológica e adaptação ecológica.....	16
3.1.3 Importância econômica.....	18
3.2 FERTILIZAÇÃO E NUTRIÇÃO EM CASTANHEIROS.....	20
3.2.1 Importância da matéria orgânica no solo .....	23
3.3 MATÉRIAS FERTILIZANTES .....	25
3.3.1 Fertilizantes de eficiência aprimorada.....	28
3.3.1.1 Fertilizantes estabilizados (stabilized fertilizers).....	29
3.3.1.2 Fertilizantes de liberação lenta e controlada (slow-and controlled-release).....	29
3.3.2 Estudos sobre fertilizantes de eficiência aprimorada .....	30
3.4 BIOINDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO .....	31
3.4.1 Atividade da fosfatase.....	32
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>35</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS LOCAIS .....	35
4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL .....	37
4.2.1 Descrição dos tratamentos fertilizantes .....	37
4.3 DETERMINAÇÕES DE CAMPO.....	38
4.3.1 Amostragem de folhas .....	38
4.3.2 Amostragem de solo .....	39
4.3.3 Produtividade.....	39
4.4 DETERMINAÇÕES LABORATORIAIS .....	40
4.4.1 Análise de solos.....	40
4.4.2 Análise de tecidos vegetais.....	41
4.4.3 Atividade da fosfatase ácida .....	42
4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	43
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>44</b>
5.1 PARÂMETROS AVALIADOS NO SOLO .....	44
5.1.1 Matéria orgânica .....	44
5.1.2 pH .....	46
5.2 TEOR DE NUTRIENTES NO SOLO .....	47
5.2.1 Fósforo.....	47
5.2.2 Potássio .....	49

5.2.3 Boro .....	50
5.3 CONCENTRAÇÃO DE MACRONUTRIENTES NAS FOLHAS .....	52
5.3.1 Nitrogênio.....	52
5.3.2 Fósforo.....	53
5.3.3 Potássio .....	54
5.3.4 Cálcio.....	55
5.3.5 Magnésio .....	57
5.4 CONCENTRAÇÃO DE MICRONUTRIENTES NAS FOLHAS .....	58
5.4.1 Cobre, ferro, zinco e manganês.....	58
5.4.2 Boro .....	61
5.5 ATIVIDADE DA FOSFATASE ÁCIDA .....	62
5.6 PRODUTIVIDADE.....	64
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>67</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>68</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1 – Alguns aspectos da morfologia do castanheiro: folhas (A); frutos em desenvolvimento (B); em deiscência (C); e maduros, mostrando o seu pericarpo (D); e semente (E). Adaptado de Agustí (2010). ..... 17
- Figura 2 - Quantidade de castanha produzida por país no ano de 2016 (FAOSTAT, 2018). ..... 19
- Figura 3 - Distribuição das observações utilizadas na revisão de Margalef et al. (2017). Revisão baseada em 213 publicações e um total de 378 sites em todo o mundo. ...33
- Figura 4 - Imagens panorâmicas dos pomares onde está instalado os ensaios na localidade de Meixedo (A) e Moimenta (B).....35
- Figura 5 - Precipitação e temperatura média do ar mensais na estação meteorológica de Bragança entre janeiro de 2015 e abril de 2018.....36
- Figura 6 - Aspecto visual dos fertilizantes Humix 13:03:05 (A), Exactyon 06:15:08 (B), Biocaspe 05:14:07 (C) e Exactyon 18:05:13 (D). .....38
- Figura 7 - Coleta de solo em Moimenta (A) e Meixedo (B).....39
- Figura 8 - Teor de matéria orgânica no solo em profundidade (0-10, 10-20 e 20-30 cm) em Meixedo (A) e Moimenta (B). Letras distintas sobre as colunas significa diferença entre os tratamentos pelo teste Tukey ( $\alpha = 0,05$ ). .....45
- Figura 9 - Teor de fósforo no solo em profundidade (0-10, 10-20 e 20-30 cm) em Meixedo (A) e Moimenta (B). Letras distintas sobre as colunas significa diferença entre os tratamentos pelo teste Tukey ( $\alpha = 0,05$ ). .....48
- Figura 10 - Teor de potássio no solo em profundidade (0-10, 10-20 e 20-30 cm) em Meixedo (A) e Moimenta (B). Letras distintas sobre as colunas significa diferença entre os tratamentos pelo teste Tukey ( $\alpha = 0,05$ ). .....50
- Figura 11 - Teor de boro no solo em profundidade (0-10, 10-20 e 20-30 cm) em Meixedo (A) e Moimenta (B). Letras distintas sobre as colunas significa diferença entre os tratamentos pelo teste Tukey ( $\alpha = 0,05$ ). .....51
- Figura 12 - Concentração de nitrogênio nas folhas expressa na matéria seca no mês de julho de 2015, 2016 e 2017 no ensaio de Meixedo (A) e Moimenta (B). Letras distintas sobre as colunas significa diferença entre os tratamentos pelo teste Tukey ( $\alpha = 0,05$ ). \*LSIS – Limite superior do intervalo de suficiência \*LIIS – Limite inferior do intervalo de suficiência. ....52
- Figura 13 - Concentração de fósforo nas folhas expressa na matéria seca no mês de julho de 2015, 2016 e 2017 no ensaio de Meixedo (A) e Moimenta (B). Letras distintas sobre as colunas significa diferença entre os tratamentos pelo teste Tukey ( $\alpha = 0,05$ ).

\*LSIS – Limite superior do intervalo de suficiência \*LIIS – Limite inferior do intervalo de suficiência.....54

Figura 14 - Concentração de potássio nas folhas expressa na matéria seca no mês de julho de 2015, 2016 e 2017 no ensaio de Meixedo (A) e Moimenta (B). Letras distintas sobre as colunas significa diferença entre os tratamentos pelo teste Tukey ( $\alpha = 0,05$ ). \*LSIS – Limite superior do intervalo de suficiência \*LIIS – Limite inferior do intervalo de suficiência.....55

Figura 15 - Concentração de cálcio nas folhas expressa na matéria seca no mês de julho de 2015, 2016 e 2017 no ensaio de Meixedo (A) e Moimenta (B). Letras distintas sobre as colunas significa diferença entre os tratamentos pelo teste Tukey ( $\alpha = 0,05$ ). \*LSIS – Limite superior do intervalo de suficiência \*LIIS – Limite inferior do intervalo de suficiência.....56

Figura 16 - Concentração de magnésio nas folhas expressa na matéria seca no mês de julho de 2015, 2016 e 2017 no ensaio de Meixedo (A) e Moimenta (B). Letras distintas sobre as colunas significa diferença entre os tratamentos pelo teste Tukey ( $\alpha = 0,05$ ). \*LSIS – Limite superior do intervalo de suficiência \*LIIS – Limite inferior do intervalo de suficiência. ....57

Figura 17 - Concentração de boro nas folhas expressa na matéria seca no mês de julho de 2015, 2016 e 2017 no ensaio de Meixedo (A) e Moimenta (B). Letras distintas sobre as colunas significa diferença entre os tratamentos pelo teste Tukey ( $\alpha = 0,05$ ). \*LSIS – Limite superior do intervalo de suficiência \*LIIS – Limite inferior do intervalo de suficiência.....61

Figura 18 - Atividade da fosfatase ácida no solo em Meixedo (A) e Moimenta (B) em função da profundidade do solo. Letras distintas sobre as colunas significa diferença entre os tratamentos pelo teste Tukey ( $\alpha = 0,05$ ).....63

Figura 19 - Produtividade acumulada de castanha em 2015 e 2016 no ensaio de Meixedo (A) e em 2015, 2016 e 2017 no ensaio de Moimenta (B). Bragança, junho de 2018. As letras sobre as colunas são o resultado da análise de variância ( $P < 0,05$ ) para a produção total acumulada. ....65

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Valores normais para as concentrações foliares em castanheiro em Trás-os-Montes. (Adaptado de Arrobas et al., 2018).....	21
Tabela 2 - Classificação dos teores de matéria orgânica dos solos agrícolas (Adaptado de LQARS, 2006).....	24
Tabela 3 - Consumo mundial de adubos (N, P, K) em milhões de toneladas dos principais países/região e suas respectivas participações em percentagem (Adaptado de FAO, 2016).....	27
Tabela 4 - Algumas propriedades do solo antes da instalação dos ensaios nas localidades de Meixedo e Moimenta nas profundidades 0-10; 10-20 e 20-30 cm.....	36
Tabela 5 - Composição dos fertilizantes utilizados nos ensaios, com base na informação disponível da ficha técnica dos fertilizantes.....	37
Tabela 6 - Valores de pH determinados por três métodos e em três profundidades do solo, avaliados após três anos da aplicação dos tratamentos fertilizantes, nos ensaios de Meixedo e Moimenta. Nas colunas, para cada localidade, médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes pelo teste Tukey ( $\alpha = 0,05$ ). .....	46
Tabela 7 - Concentração dos nutrientes nas folhas nos anos de 2015 a 2017 no ensaio de Meixedo. Na coluna, médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes pelo teste Tukey ( $\alpha = 0,05$ ). .....	59
Tabela 8 - Concentração dos nutrientes nas folhas nos anos de 2015 a 2017 no ensaio de Moimenta. Na coluna, médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes pelo teste Tukey ( $\alpha = 0,05$ ). .....	60
Tabela 9 - ANOVA com quadrado médio do erro para a produção de castanha nos anos 2015, 2016, 2017, média da produção e produção acumulada.....	64

## 1 INTRODUÇÃO

Muitas espécies do gênero *Castanea* são cultivadas em várias partes do mundo para produção de madeira e/ou castanha comestível. No entanto, apenas quatro apresentam importância econômica (*Castanea dentata*, *Castanea mollissima*, *Castanea crenata* e *Castanea sativa*). A China é o maior produtor mundial de castanha (*Castanea mollissima*), tendo produzido cerca de 83% da produção mundial em 2016. A Europa é responsável por produzir 6,7% da produção mundial de castanha (*Castanea sativa*), com destaque para Turquia, Itália, Grécia, Portugal, Espanha e França, com representatividades na produção mundial de aproximadamente 2,7%, 2,3%, 1,4% e 1,2%, 0,7% e 0,4%, respectivamente (FAOSTAT, 2016).

Em Portugal a área cultivada com castanheiros em 2016 totalizou 35 718 hectares (Estatísticas Agrícolas, 2016) e, segundo o presidente da Associação Portuguesa da Castanha (REFCAST), estima-se que a produção de castanha se encontre entre 35 000 e 45 000 mil toneladas por ano (Laranjo, 2013). Em Portugal, a produção de castanha está concentrada na região Norte, a qual é responsável por mais de 80% da produção (Estatísticas Agrícolas, 2016).

A castanha cultivada em Portugal (*Castanea sativa*) possui menos septos em relação aos demais gêneros de *Castanea*, o que lhe concede excelente aptidão para a indústria de transformação e consumo em fresco devido à facilidade de descasque (Laranjo, 2013). O cultivo de *Castanea sativa* na Europa, assim como em Portugal, enfrenta graves problemas fitossanitários, causados pela doença da tinta (*Phytophthora cinnamomi*) e pelo cancro (*Cryphonectria parasitica*) que ocasionam a morte das árvores e, conseqüente, a redução da produção (Pereira, 2015). Além disso, segundo a AREFLH (2017), as mudanças climáticas têm contribuído para a redução da produção devido às temperaturas mais altas, as quais podem afetar a produção em 30 a 50 % entre anos.

A redução de oferta, associado à elevada procura pela excelência da castanha europeia, tem impulsionado os preços pagos aos produtores. Segundo Arrobas et al. (2018), estimulados pelo bom rendimento econômico da castanha, produtores de Portugal estão implantando e renovando pomares, com sistemas mais intensivos (compassos de 8 m x 8 m ou menores), com mais cuidados de poda, colheita mecanizada e fertilização.

Para Arrobas et al. (2017), o castanheiro que sempre foi uma cultura marginal e por esse motivo pouco fertilizada, passa agora a receber aplicações de fertilizantes de síntese industrial mais elaborados. Tais fertilizantes possuem diferenciais atrativos em relação aos fertilizantes convencionais, como mecanismos de liberação gradual de nutrientes. Nesse sentido, empresas de fertilizantes vêm propondo soluções comerciais de fertilização aos produtores da região norte de Portugal. Todavia não existe o devido respaldo da investigação sobre os efeitos destas soluções de fertilização na cultura do castanheiro.

Nesse contexto, o presente estudo objetiva avaliar os efeitos da aplicação de fertilizantes comerciais com mecanismos de liberação gradual de nutrientes, propostos por uma empresa para a cultura do castanheiro.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 GERAL

Avaliar os efeitos da aplicação de fertilizantes comerciais com mecanismos de liberação gradual de nutrientes, propostos por uma empresa para a cultura do castanheiro.

### 2.2 ESPECIFICOS

- Avaliar o efeito dos fertilizantes na fertilidade do solo tendo por base a determinação de parâmetros diversos, como o teor de nutrientes, a matéria orgânica, o pH e a atividade da enzima fosfatase ácida;

- Estudar a dinâmica dos nutrientes no solo através da avaliação das propriedades do solo em diferentes profundidades;

- Monitorizar o estado nutricional das árvores com base na análise do tecido foliar; e

- Avaliar a produtividade a partir dos registros anuais de produção de castanha em função dos tratamentos fertilizantes.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

No referencial teórico é apresentada informação sobre os temas que permitem facilitar a compreensão da pesquisa, contextualizar a necessidade do estudo e destacar a importância do mesmo, bem como ajudar a interpretar os resultados.

#### 3.1 O CASTANHEIRO

##### 3.1.1 Origem e distribuição geográfica

O castanheiro é uma árvore pertencente à família Fagaceae e ao género *Castanea*. Supõe-se que é originário da China, pois é onde se encontra a maior diversidade genética do castanheiro (Abreu, 2007). A partir da China o castanheiro migrou para diferentes regiões do globo, e adaptou-se de acordo com as condições edafoclimáticas de cada local, existindo atualmente 13 espécies com características distintas dentro do género *Castanea* (Laranjo et al., 2009).

Dentre as várias espécies cultivadas de castanheiro, as de maior valor económico e mais exploradas a nível mundial são *Castanea dentata* ou americana, distribuída na América do Norte, *Castanea mollissima* ou chinesa e *Castanea crenata* ou japonesa, encontradas no continente asiático, e *Castanea sativa* ou europeia que está presente na Europa (Fórum Florestal, s.d.).

Segundo Agustí (2010), o castanheiro europeu tem sua origem na Grécia e Sul de Itália. Com a expansão dos romanos acabou por se estender a Portugal, Espanha, França entre outros países. Em Portugal cultiva-se sobretudo *Castanea sativa*, a qual está amplamente distribuída na “Terra Fria” transmontana e nas Beiras (Cardoso & Pereira, 2007).

Deve notar-se que, de acordo com Figueiredo (2012), Cambissolos e Leptossolos representam cerca de 90% dos solos da região de Trás-os-Montes, sendo genericamente solos pedregosos. Solos pedregosos associados a declividade elevada dos terrenos dificultam a mecanização e afetam a aptidão de uso do solo, tornando as alternativas culturais escassas. Nesse contexto, a cultura do castanheiro

apresenta-se como uma boa opção de cultivo por exigir pouco manejo de mecanização do solo.

Além disso, Laranjo et al. (2009) apontam as boas condições edafoclimáticas da região para o desenvolvimento do castanheiro como um dos motivos que o tornam uma das culturas mais importantes para o rendimento das explorações locais. Vale também a pena ressaltar que, além da produção do fruto, é possível explorar o castanheiro para madeira.

Visando oferecer maior qualidade de castanhas ao mercado e preservar a riqueza genética da espécie, foram criadas quatro áreas com Denominação de Origem Protegida (DOP) que valorizam as castanhas de Portugal na comercialização nacional e internacional (Costa et al., 2008). As quatro DOPs instituídas são Terra Fria (25 500 ha), Padrela (6 000 ha), Soutos da Lapa (2 000 ha) e Marvão (500 ha). A DOP Terra Fria, que abrange a maior área de cultivo, integra-se na região de Trás-os-Montes e cultiva maioritariamente a variedade 'Longal' que corresponde a mais de 70% da produção. Contudo, outras variedades como 'Judia', 'Cota', 'Amarela', 'Lamela', 'Aveleira', 'Boaventura', 'Trigueira', 'Martaínha' e 'Negral' fazem parte da DOP Terra Fria (MADRP, 2007).

Apesar da possibilidade de comercializar a castanha através das DOPs, muito pouco tem se explorado. Devido, ao mercado da castanha ser ainda muito especulativo, grande parte da castanha portuguesa é comercializada no mercado paralelo, principalmente com o país vizinho e também produtor de castanha, a Espanha.

### 3.1.2 Caracterização morfológica e adaptação ecológica

Segundo Paiva (2007), o castanheiro Europeu é uma árvore angiospérmica dicotiledónea, monóica, de grande porte, podendo atingir cerca de 30 metros de altura, formando uma copa semiesférica com diversas e resistentes ramificações. O castanheiro inicia a frutificação aos 6 anos, atinge produção plena aos 10 anos e a partir dos 70 anos a sua produção diminui ao longo do tempo.

O ciclo vegetativo do castanheiro ocorre geralmente de março a novembro. Em condições favoráveis, o caule do castanheiro pode engrossar 1 a 2 cm por ano. O sistema radicular do castanheiro é robusto, embora o seu desenvolvimento em

profundidade seja limitado. A maioria das raízes desenvolvem-se na camada até 50 cm de profundidade (Pinto et al., 2007).

De acordo com Agustí (2010), as folhas do castanheiro possuem 10 a 20 cm de comprimento, pecíolo curto, nervura pinada e, bordo serrado. São folhas caducas, simples, alternadas e de cor verde escura (Figura 1A). As flores masculinas são formadas por glomérulos de 5 a 6 flores. As flores femininas, de cor amarela-dourado, estão logo abaixo das flores masculinas envolvidas por uma cúpula verde, coriácea e espinhosa, denominada popularmente de “ouriço” (Figura 1B). O fruto é uma noz com formato oval ou subgloboso que se desenvolve e se encontra dentro da cúpula, a qual tem uma cicatriz de inserção na base. O fruto apresenta pericarpo duro e brilhante (Figura 1D). Com o desenvolvimento, a cúpula passa de coloração verde para amarela, e a deiscência da cúpula ou ouriço ocorre nos meses de setembro a novembro, liberando de 1 a 3 castanhas (Figura 1C e D). A semente não possui endosperma e acumula substâncias de reserva nos cotilédones (Figura 1E).

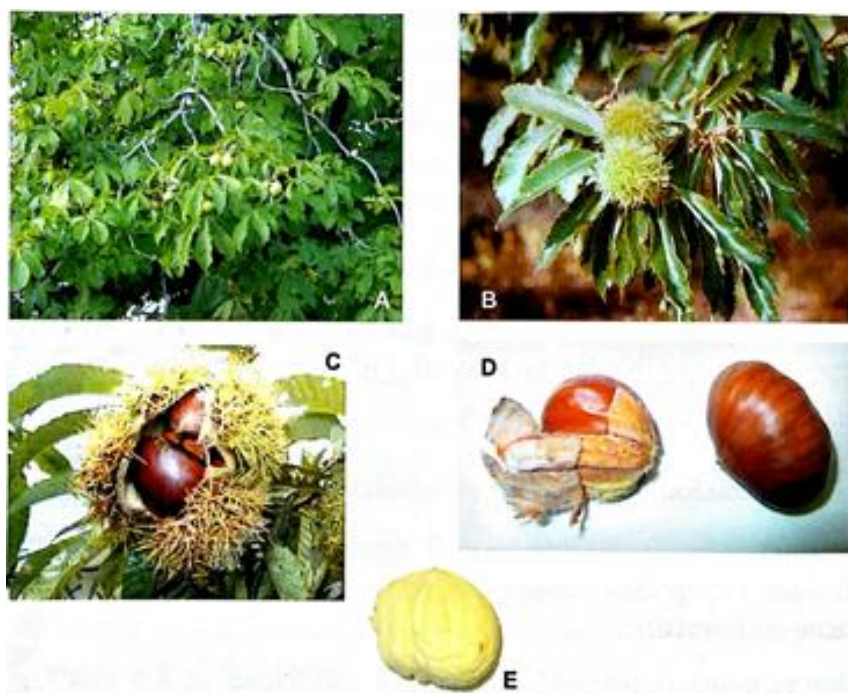


Figura 1 – Alguns aspectos da morfologia do castanheiro: folhas (A); frutos em desenvolvimento (B); em deiscência (C); e maduros, mostrando o seu pericarpo (D); e semente (E). Adaptado de Agustí (2010).

O castanheiro cultiva-se desde o nível do mar até uma altitude de 900 m. Entretanto, as maiores áreas cultivadas encontram-se em altitudes entre 400 e 800 m. Precipitações anuais superiores a 600 mm são favorável, sendo que os solos

devem ter drenagem adequada. O castanheiro resiste bem a baixas temperaturas no inverno durante o repouso vegetativo. No entanto, é sensível à geada na primavera. Adapta-se bem a regiões com temperatura média anual de 14° C, as quais superam os 24° C no mês mais quente e os 15° C no mês mais frio (Laranjo et al, 2007; Agustí, 2010). Quanto aos requerimentos de solo mais indicados para o castanheiro, os mesmos devem apresentar boas características físicas e químicas, ser profundos e permeáveis, ricos em matéria orgânica, moderadamente ácidos e com pH compreendido entre 5,5 a 6 (Costa, 2008).

### 3.1.3 Importância econômica

De acordo com os dados da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), no período de 2006 a 2016 estima-se que a produção mundial de castanha passou de 1,5 milhões toneladas para 2,3 milhões toneladas e que a área de colheita, que era de 450 milhões de hectares em 2006, atingiu os 600 milhões de hectares em 2016. Analisando a evolução da produção e da área plantada, a produtividade mundial aumentou, passando de 3,33 t ha<sup>-1</sup> para 3,75 t ha<sup>-1</sup>. Sendo assim, a produção de castanha a nível mundial aumentou 51,13% e a produtividade 12,61% no período de 10 anos, evidenciando o crescimento do sector da castanha.

A China é o maior produtor do mundo de castanha, tendo em 2016 produzido 1,9 milhões toneladas (cerca de 83% da produção mundial), seguida da Bolívia com 85 mil toneladas (cerca de 3,75%). A Europa é responsável por produzir 6,7% do total mundial, com destaque para Turquia, Itália, Grécia, Portugal, Espanha e França, com representatividades na produção mundial de aproximadamente 2,7%, 2,3%, 1,4% e 1,2%, 0,7% e 0,4%, respectivamente (FAOSTAT, 2016). A quantidade de castanha produzida por país no ano de 2016 está demonstrada na figura 2.

Em Portugal a área cultivada com castanheiros em 2016 totalizou 35 718 hectares, os quais resultaram em uma produção de 26 780 toneladas e uma produtividade média de 0,75 t ha<sup>-1</sup>, tornando Portugal no 7º maior produtor mundial de castanha. No cenário nacional, destaca-se a região norte de Portugal, com participação de 85% na área cultivada e 82,6% na produção. Em seguida, a região Centro de Portugal representa 10% e a região do Alentejo 5,8% (Estatísticas Agrícolas, 2016).

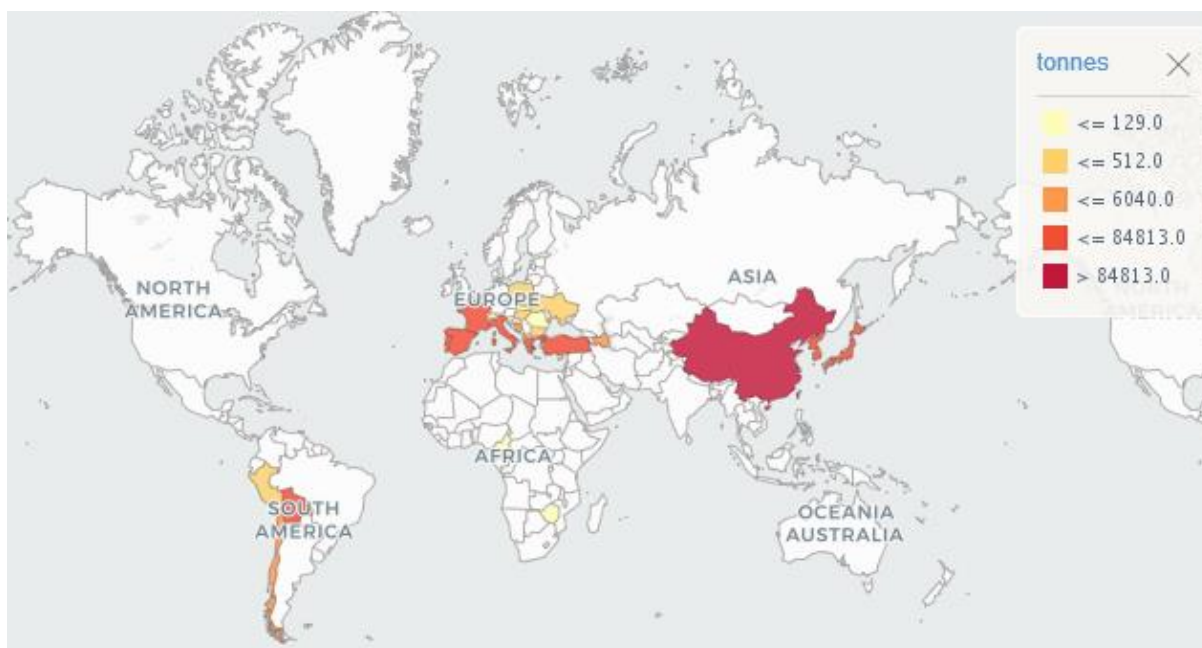


Figura 2 - Quantidade de castanha produzida por país no ano de 2016 (FAOSTAT, 2018).

De acordo com um estudo económico de desenvolvimento da fileira da castanha em Portugal, os dados oficiais de produção de castanha estão subestimados. A força do mercado paralelo, o autoconsumo, a falta de divulgação de toda a informação disponível, associado à falta de meios sofisticados para realização de um levantamento mais rigoroso, dificultam determinar com exatidão os dados da fileira da castanha (Fórum Florestal, s.d.) Desta forma, em uma análise realizada pelas principais associações do setor e segundo o presidente da Associação Portuguesa da Castanha (Refcast), Laranjo (2013), estima-se que a produção de castanha em Portugal se encontre entre 35 000 e 45 000 mil toneladas por ano. .

Mesmo considerando o valor estimado de produção pelas associações portuguesas, a produtividade média nacional permanece baixa quando comparada a outros países europeus produtores de castanha, como Grécia (3,47 t ha<sup>-1</sup>), Itália (2,28 t ha<sup>-1</sup>) e Turquia (1,66 t ha<sup>-1</sup>) (Faostat, 2016). Embora a média produtiva seja baixa, de acordo com Laranjo (2013), a castanha portuguesa é reconhecida pela sua qualidade a nível mundial, devido a boas características organolépticas e ótima aptidão para a transformação industrial, o que fortalece a procura externa da castanha portuguesa.

Não é só verdade, como cerca de 74% da produção de castanha em Portugal foi exportada em 2016, tendo como principais destinos Espanha, França e Brasil. A produção e comercialização da castanha, de forma geral, ocorre entre os meses de

outubro a janeiro e o preço médio pago aos produtores durante os últimos 5 anos (2012-2016) foi de 1,75 euros por quilograma de castanha (Estatísticas Agrícolas, 2016). Entretanto, no último Boletim Mensal de Estatística (INE, 2018), no mês de novembro de 2017 o preço médio pago por quilograma de castanha atingiu os 2,20 euros.

O restante da castanha não exportada, cerca de 26%, é consumida a nível interno, a qual é entregue para agroindústrias da região que a preparam para consumo em fresco ou para indústrias de transformação, que basicamente elaboram a castanha congelada a qual tem elevada aceitação para fins culinários (Cardoso & Pereira, 2007). A castanha é um alimento rico em hidratos de carbono (amido representa 30 a 45% do peso) e vitamina C, com teor semelhante aos citrinos (Costa, 2008). O destino das castanhas geralmente está associado ao tamanho. As castanhas de maior calibre são destinadas ao consumo em fresco e as de calibre menor são destinadas à indústria de congelação.

De acordo com Laranjo (2013), estima-se que o valor pago à castanha portuguesa possa gerar cerca de 70 milhões de euros anualmente e movimentar mais de 30 milhões de euros em fatores de produção. Nesse contexto, nos últimos anos tem-se verificado aspectos favoráveis ao sector do castanheiro, que apresenta boas perspectivas para os próximos anos, principalmente para a região norte, especificamente para Trás-os-Montes e Alto Douro onde se encontra a maior área produtora de castanha.

### 3.2 FERTILIZAÇÃO E NUTRIÇÃO EM CASTANHEIROS

Conforme Arrobas et al. (2018), o castanheiro sempre foi uma cultura marginal e por esse motivo pouco fertilizada. Geralmente sua fertilização tem estado dependente da disponibilidade de estrumes. Entretanto, a valorização da castanha portuguesa no mercado internacional tem elevado o preço e tornado o cultivo da castanha mais atrativo para os produtores, que começaram a renovar as plantações com maior número de plantas por hectare e a aplicar fertilizantes de síntese industrial incluindo alguns fertilizantes foliares.

De acordo com Laranjo (2013), o desenvolvimento de técnicas de produção, como a não mobilização do souto, fertilização do souto (controlo da acidez, fósforo,

cálcio e boro) e implantação de outras formas de condução das árvores, permitem elevar a densidade de plantação e, conseqüentemente, aumentar a produtividade.

Estudos realizados no Nordeste de Portugal por Arrobas et al. (2018), mostraram que as áreas com cultivo do castanheiro apresentam valores de acidez de solo elevados, baixo teor de matéria orgânica, baixos valores de fósforo e alto teor de potássio. No entanto, quando correlacionados com o estado nutricional da planta através das análises foliares, houve pouca ou nenhuma relação entre a fertilidade do solo e o estado nutricional da planta.

Na tabela 1, mostram-se os valores normais para as concentrações foliares em castanheiro na região de Trás os Montes, de acordo com os valores propostos por Arrobas et al. (2018).

Tabela 1 - Valores normais para as concentrações foliares em castanheiro em Trás-os-Montes. (Adaptado de Arrobas et al., 2018).

<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>	<b>Cu</b>	<b>B</b>
----- g kg <sup>-1</sup> -----					----- mg kg <sup>-1</sup> -----				
20 - 28	1,1 - 3,0	7,5 - 18	5,0 - 15	1,5 - 6	10 - 300	100-2000	15 - 75	4,0 - 40	20 - 100

Em outro trabalho de Arrobas et al. (2017), avaliando o crescimento inicial de plantas de castanheiro durante 4 anos, os resultados mostraram que o castanheiro apresenta tolerância moderada a solos ácidos, pois quando realizada a calagem em um solo com pH inicial de 5,5 o crescimento das árvores não foi influenciado em comparação com a modalidade controle. Por outro lado, no mesmo estudo, a não aplicação de potássio e boro reduziram o crescimento inicial das plantas e a lenha de poda. Os resultados foram associados a baixa concentração de potássio e boro nas folhas. Entretanto, os resultados de baixa concentração de potássio nas folhas foram considerados inesperados na medida em que o teor de potássio no solo foi classificado com teor médio.

Estudos conduzidos em pomares de castanheiro na região Norte de Portugal, têm relatado frequentemente sintomas de deficiência de boro, apontando o boro como um dos principais elementos limitantes ao desenvolvimento do castanheiro. Durante o período de 1992-2013, Portela et al. (2011) realizaram levantamentos ao estado nutritivo da cultura do castanheiro em 91 pomares nas regiões Alto Trás-os-Montes e Alto Douro e constataram que cerca de 50% apresentam fortes indícios de carência de boro, com concentrações foliares inferiores a 20 mg kg<sup>-1</sup>.

Os resultados de Azevedo (2014), avaliando a resposta do castanheiro à correção do pH e a ausência de fertilização dos elementos nitrogênio, fósforo, potássio e boro, demonstraram que o boro foi o elemento que mais limitou o crescimento das árvores, através da redução da altura e diâmetro do tronco. Sendo assim, o elemento boro deve ser considerado no plano de fertilização desde o início da instalação dos pomares e receber atenção especial por frequentemente se encontrar em baixas concentrações nos tecidos foliares.

Segundo Portela et al. (2015), alguns dos sintomas de deficiência de boro em soutos são o abortamento, frutos mumificados e queda prematura de frutos. No entanto, o diagnóstico através destes sintomas é tardio e não permite tomar decisões de fertilizar a tempo para corrigir a deficiência. Os resultados de Portela e Louzada (2012), avaliando diferentes tecidos para análise foliar, obtiveram correlação significativa entre as concentrações foliares de boro em julho e setembro com a produção de castanha, e indicando o tecido foliar, o mais adequado para detecção precoce da deficiência de boro.

Portela et al. (2010), avaliando a relação entre magnésio trocável e altos teores de manganês no solo em alguns solos de pomares de castanha na região Norte de Portugal, mostraram que sob condições ácidas do solo, níveis mais elevados de manganês extraível propiciam o aparecimento de deficiência de magnésio no castanheiro. Sendo assim, os solos precisam atingir níveis mais elevados de magnésio trocável ( $\geq 0,34 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) para fornecer magnésio às plantas. Enquanto que os solos que têm manganês extraível abaixo de  $25 \text{ mg kg}^{-1}$ , a deficiência de Mg no castanheiro só aparece quando o magnésio trocável está abaixo de  $0,20 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  de solo.

A mobilização do solo é o sistema de gestão tradicional das plantações de castanheiro no Norte de Portugal (Raimundo et al., 2015). O principal motivo da utilização deste sistema por parte dos agricultores é a forma como as castanhas são colhidas. Como a maior parte das castanhas ainda são apanhadas manualmente do chão, os ouriços do ano anterior dificultam a operação de colheita, e através da escarificação é possível incorporar os ouriços, facilitando a colheita para o próximo ano.

Raimundo et al. (2015) avaliou três sistemas de gestão do solo quanto à dinâmica da mineralização do N, designadamente mobilização tradicional com escarificador duas vezes por ano (MT), mobilização nula e instalação de pastagem

melhorada (mistura de leguminosas e gramíneas) (PM) e mobilização nula com vegetação herbácea espontânea (pastagem natural) (PN). Os resultados encontrados mostraram que o sistema MT apresentou grande acréscimo da concentração de N mineralizado no solo logo após a escarificação. No entanto, a quantidade acumulada de N mineralizado durante o ano foi significativamente menor ( $51,8 \text{ kg ha}^{-1}$ ) em relação ao sistema PM ( $85,1 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e semelhante ao sistema PN ( $65,9 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Em conclusão, o estudo confirmou que os sistemas de não mobilização melhoraram a nutrição e a produtividade das árvores. Considerando os benefícios ambientais e econômicos da não mobilização, justificou-se nesse caso de estudo, especialmente a utilização do sistema PN nos pomares de castanheiro.

Em estudo mais recente, Borges et al. (2017), também encontram resultados positivos quando utilizado o sistema de não revolvimento (com manutenção da cobertura espontânea) em comparação ao sistema convencional de revolvimento do solo. O sistema de manejo de não revolvimento na cultura do castanheiro nas condições de clima Mediterrânico, parece ser benéfica, do ponto de vista que melhora o sequestro de carbono do solo e a qualidade do solo.

Recentemente, produtores tem adotado o sistema de colheita mecanizado da castanha, por motivos como a escassez de mão de obra e maior rapidez no momento colheita. O sistema de colheita mecanizada de castanha implica em manter o solo coberto com relvado para permitir uma boa eficiência de colheita, pois quando o solo é mobilizado, o terreno se torna irregular e, além de castanhas, a máquina aspira matérias estranhas como pedras, terra e restos vegetais.

Muitas empresas comerciais de fertilizantes vêm aconselhando os produtores a aplicar fertilizantes com mecanismos que permitem a liberação gradual de nutrientes e fertilizantes com elevados teores de matéria orgânica. Entretanto, existe pouco ou nenhum conhecimento sobre a eficiência e efeitos destes fertilizantes na cultura do castanheiro.

### 3.2.1 Importância da matéria orgânica no solo

Segundo Weil e Brady (2017), na maioria dos solos a percentagem de matéria orgânica do solo é baixa. Porém, seus efeitos sobre as funções do solo são profundos. Este componente do solo, a qual está em constante mudança, exerce uma influência

dominante sobre muitas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e sobre as suas funções nos ecossistemas.

Para Li et al. (2018), a quantidade de matéria orgânica do solo está relacionada com as condições climáticas da região, textura e atividade biológica do solo, práticas de cultivos adotadas, taxa de mineralização e quantidade e qualidade de material orgânico que chega ao solo. Para ser ter uma ideia da quantidade de matéria orgânica de um solo, na tabela 2 encontra-se a classificação proposta no Manual de Fertilização de Culturas em Portugal, expressa em percentagem e onde se pode ver que os valores variam em função da textura do solo.

Tabela 2 - Classificação dos teores de matéria orgânica dos solos agrícolas (Adaptado de LQARS, 2006).

Classificação	Matéria orgânica no solo (%)	
	Solos - textura grosseira	Solos - Textura média ou fina
Muito baixa	≤ 0,5	≤ 1,0
Baixa	0,6 - 1,5	1,1- 2,0
Média	1,6 - 3,0	2,1 - 4,0
Alta	3,1 - 4,5	4,1 - 6,0
Muito alta	> 4,5	> 6,0

Os benefícios da matéria orgânica do solo em relação às condições físicas se dão através da melhor agregação do solo, da redução da resistência do solo a penetração (Adeli et al., 2017), da melhor estabilidade dos agregados, do aumento da capacidade de retenção de água e da estabilização da temperatura do solo (Conceição et al., 2005) e, indiretamente, da melhoria da aeração e das relações hídricas do solo (Agustí, 2010).

No que se refere aos atributos químicos do solo, destaca-se a interferência em aumentar a capacidade de troca de cátions, a disponibilidade de nutrientes, o pH, a condutividade elétrica, a ciclagem de nutrientes, a complexação de elementos tóxicos do solo e também como fonte de nutriente no solo, resultado do processo de mineralização da matéria orgânica (Weil & Brady, 2017; Scherer & Spagnollo, 2014; Bortolini et al., 2016).

Em solos com elevados teores de matéria orgânica, Bortolini et al. (2016), sugerem que o valor adotado de saturação de bases (70% é considerado ideal) possa ser reduzido a 50% para as principais plantas anuais em sistema de plantio direto, devido ao efeito de complexação do alumínio pela matéria orgânica. Conforme estudo

de Scherer & Spagnollo (2014), a utilização regular de adubos orgânicos, em doses entre 5 a 10 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, apresentou benefícios principalmente na camada superficial de até 5 cm, designadamente pelo aumento do teor de matéria orgânica, da capacidade de troca de cátions e da disponibilidade de nutrientes no solo.

Conforme Li et al. (2018), em relação aos benefícios de atributos biológicos, destaca-se a estimulação da biota do solo, pois fornece nutrientes e energia para desenvolvimento destes organismos, os quais são essenciais para desempenhar as funções dos ecossistemas. Para Weil e Brady (2017), a matéria orgânica também contém grandes quantidades de nutrientes vegetais e atua como depósito de nutrientes de liberação lenta, especialmente para nitrogênio. De acordo com (Kiehl, 2010), para que aconteça a liberação dos nutrientes às plantas, é necessário que ocorra o processo de mineralização, sendo os microrganismos do solo os principais responsáveis por realizar este processo. Desta forma, fertilizantes orgânicos estão dependentes da atividade biológica para a liberação gradual.

Sendo os microrganismos os responsáveis pela taxa de mineralização, as condições de temperatura, umidade e aeração que favorecem os processos biológicos, associado ao teor de nitrogênio e carbono (relação C/N) dos compostos orgânicos vão determinar a velocidade do processo de mineralização (Kiehl, 2010). Diante de todos os benefícios nas esferas químicas, físicas e biológicas do solo, é evidente a importância da matéria orgânica. Por todas estas razões, a quantidade e a qualidade da matéria orgânica do solo são centrais na determinação da qualidade do solo (Weil & Brady, 2017).

Desta forma, principalmente em solos de origem tropical e mediterrânea, onde normalmente os teores de matéria orgânica do solo são baixos, a utilização de fertilizantes orgânicos é uma excelente alternativa para fornecer matéria orgânica ao solo (Santos, 2015). Sendo assim, todas as práticas e estudos que almejam manter e/ou aumentar a quantidade e a qualidade de matéria orgânica dos solos são desejadas.

### 3.3 MATÉRIAS FERTILIZANTES

Segundo Santos (2015), fertilizante é uma a abreviação do termo matérias fertilizantes. Em Portugal, o decreto-Lei n.º 103/2015 de 15 de junho, publicado pelo

Ministério da Economia de Portugal, estabelece as regras a que deve obedecer a colocação no mercado das matérias fertilizantes assegurando as disposições do Regulamento (CE) nº 2003/2003, do Parlamento Europeu e do Conselho de 13 de outubro de 2003, relativo aos adubos. O decreto-lei define o termo matérias fertilizantes como “os adubos, os corretivos e os produtos especiais”.

O Código de Boas Práticas Agrícolas de Portugal, aprovado através do Despacho n.º 1230/2018, descreve um fertilizante como qualquer substância utilizada com o objetivo de manter ou melhorar a nutrição das plantas de forma direta ou indiretamente.

Conforme o decreto-Lei n.º 103/2015, os adubos são substâncias que apresentam como principal função fornecer um ou mais nutrientes às plantas, sendo que os corretivos possuem a função principal de melhorar as características físicas, químicas e biológicas do solo. Já os produtos especiais são todos aqueles que não são adubos ou corretivos agrícolas, e fornecem às plantas ou ao solo substâncias que favoreçam e regulam a absorção de nutrientes, ou ainda corrigem determinadas anomalias do tipo fisiológico na planta.

Com base na sua origem, os adubos podem ser sub-divididos em adubos minerais, orgânicos e organominerais. Os adubos minerais são de origem mineral ou obtidos por meio de processos industriais físicos e/ou químicos, os adubos orgânicos são de origem animal e/ou vegetal, e os adubos organominerais são obtidos através da mistura mecânica de adubos minerais e orgânicos (decreto-Lei n.º 103/2015).

Para Santos (2015), durante séculos os fertilizantes orgânicos foram os únicos fertilizantes utilizados na agricultura, e após o surgimento dos adubos minerais vieram a perder grande parte de sua importância. No entanto, hoje em dia, por razões ecológicas, os fertilizantes orgânicos voltaram a ser alvo de crescente atenção. A intensificação e concentração de indústrias agropecuárias, agrícolas, tratamento de lixo e esgotos dos centros populacionais tem gerado alta produção de resíduos orgânicos. Mesmo assim, embora seja crescente a utilização de adubos orgânicos e organominerais, a adubação é ainda em grande parte efetuada com adubos minerais, e aponta a facilidade de aplicação e a ação rápida como fatores decisivos para sua maior utilização.

Os adubos minerais mais utilizados na agricultura mundial têm como base os elementos nitrogênio, fósforo e potássio. De acordo com a FAO (2016), o consumo mundial de adubos minerais nitrogenados, fosfatados e potássicos foi cerca de 197

milhões de toneladas, sendo 110 milhões de toneladas de nitrogênio, 48 milhões de toneladas de fósforo ( $P_2O_5$ ) e 39 milhões de toneladas de potássio ( $K_2O$ ), conforme demonstrado na tabela 3. Os países China, Índia, Estados Unidos (EUA), Brasil e os estados membros da União Europeia representam mais de 70% do consumo mundial. A China destaca-se no cenário mundial do consumo de adubos minerais, sendo o maior consumidor mundial de nitrogênio (28%), fósforo (33%) e potássio (35%).

Tabela 3 - Consumo mundial de adubos (N, P, K) em milhões de toneladas dos principais países/região e suas respectivas participações em percentagem (Adaptado de FAO, 2016).

País/região	Nitrogênio N		Fósforo ( $P_2O_5$ )		Potássio ( $K_2O$ )	
China	30,46	28%	15,66	33%	13,73	35%
Índia	16,74	15%	6,71	14%	5,73	15%
EUA	12,04	11%	4,27	9%	4,79	12%
Brasil	4,37	4%	4,97	10%	2,51	6%
Europa	11,28	10%	2,65	6%	2,96	8%
Total mundial	110	100%	48	100%	39	100%

Em Portugal, de acordo com os dados do INE (2016), o consumo aparente de fertilizantes minerais na agricultura no ano de 2015 foi de 197 mil toneladas entre nitrogênio (N), fósforo ( $P_2O_5$ ) e potássio ( $K_2O$ ), e o nitrogênio foi o macronutriente de maior representatividade, com 61,4%, seguido do fósforo com 22,3% e por último do potássio com 16,2% do total do consumo aparente de fertilizantes.

De acordo com Ullmann (2007), quando os adubos minerais são aplicados ao solo apenas uma parte dos nutrientes é absorvida pelas plantas, enquanto outra parte é imobilizada no solo ou perdida por lixiviação e volatilização. Estas perdas podem resultar em problemas ambientais e indicam baixa eficiência. Em busca da agricultura sustentável, diversas instituições têm estudado o uso eficiente de adubos e fertilizantes.

Uma delas é a International Plant Nutrition Institute (IPNI) que promove o programa Boas Práticas para o uso eficiente de fertilizantes com o Slogan “Manejo 4 C”, que consiste em aplicar a fonte certa, no lugar certo, na época certa com a dose certa. Nesse contexto de promover uma agricultura mais sustentável, os adubos especiais (descrito da lei como produtos especiais) são uma alternativa para favorecer a absorção dos nutrientes e melhorar a eficiência dos mesmos.

Dentro dos produtos especiais descritos no grupo 7 da legislação Portuguesa, encontram-se denominações do tipo adubos com aminoácidos, ácidos húmicos e

fúlvidos, com inibidores da nitrificação, ureia revestida, sulfato de potássio e magnésio, extrato de algas, bactérias solubilizadoras de fósforo e fixadoras de nitrogênio.

Para Ullmann (2007), os fertilizantes especiais incluem os adubos foliares, micronutrientes, fertilizantes de liberação lenta e controlada (*slow- and controlled-release*), inibidores da nitrificação e adubos orgânicos, incluindo resíduos sólidos urbanos, estrumes e compostos.

Os termos de fertilizantes de liberação lenta e controlada são recentes, e portanto, não só as legislações Portuguesas assim como as legislações mundiais ainda não descrevem as definições destes mecanismos. No entanto, existe o consenso que são fertilizantes que liberam os nutrientes de forma gradual. Em seguida, busca-se esclarecer e fornecer informações sobre os designados fertilizantes de eficiência aprimorada (*enhanced efficiency fertilizers – EFF*), onde se enquadram os designados fertilizantes de liberação lenta e controlada.

### 3.3.1 Fertilizantes de eficiência aprimorada

De acordo com Li et al. (2017), os EEFs têm sido desenvolvidos para melhorar a sincronização de liberação dos nutrientes com a absorção das plantas, aumentando a eficiência e reduzindo as perdas.

Segundo a Association of American Plant Food Control Officials (AAPFCO), no mercado internacional, os produtos fertilizantes com características que permitem aumentar a disponibilidade dos nutrientes e reduzir o potencial de perda para o ambiente, como por exemplo perda de gases, lixiviação, ou erosão quando comparados a um produto fertilizante de referência são categorizados como EFF.

Para Trenkel 2010, estes tipos de fertilizantes especiais podem ser agrupados em três categorias: I fertilizantes foliares (*foliar fertilizers*); II fertilizantes estabilizados (*stabilized fertilizers*); e III fertilizantes de liberação lenta e controlada (*slow- and controlled-release*).

Através dos fertilizantes foliares é possível melhorar consideravelmente o uso eficiente dos nutrientes, porque a imobilização e lixiviação através do solo são evitadas. No entanto, são necessárias várias aplicações para fornecer a quantidade necessária de nutrientes para plantas, pois as folhas podem absorver apenas uma

quantidade limitada de nutrientes e concentrações elevadas causam problemas de fitotoxicidade. Na prática, para macronutrientes se torna economicamente inviável aplicar a quantidade necessária por da via foliar (Amberger, 1996).

### 3.3.1.1 Fertilizantes estabilizados (stabilized fertilizers)

A segunda categoria dos EEF, os fertilizantes “estabilizados” abrangem apenas os fertilizantes nitrogenados. Segundo Trenkel (2010), para se obter o nitrogênio estabilizado é adicionado uma substância para inibir a hidrólise da ureia pela enzima urease (inibidor de urease), ou uma substância inibidora da oxidação biológica que converte o amônio em nitrato (inibidor de nitrificação).

### 3.3.1.2 Fertilizantes de liberação lenta e controlada (slow-and controlled-release)

A terceira categoria dos EEF compreende os fertilizantes de liberação lenta (*slow release fertilizer* – SRF) e os fertilizantes de liberação controlada (*controlled release fertilizer* – CRF), assim designados na literatura. Ambos os fertilizantes possuem mecanismos que após sua aplicação, têm a capacidade de atrasar a liberação inicial dos nutrientes para a solução do solo ou estender o período de disponibilidade dos nutrientes para a absorção das plantas, em comparação com os fertilizantes de “liberação rápida” de nutrientes, como por exemplo ureia, nitrato de amônio, fosfato de amônio ou cloreto de potássio. Existem diversos mecanismos que podem atrasar ou estender a liberação dos nutrientes, como materiais que controlam a solubilidade na água (revestimentos semipermeáveis, materiais proteicos), outras formas químicas (hidrólise lenta de compostos de baixo peso molecular solúveis em água), ou por outros meios ainda desconhecidos (Trenkel, 2010).

Os fertilizantes de liberação lenta envolvem a liberação de nutrientes a uma taxa mais lenta que a dos fertilizantes usuais. No entanto, o padrão e período de liberação não são bem controlados. Até pouco tempo, não havia diferença oficial entre os termos fertilizante de liberação lenta e controlada. De acordo com Shaviv (2005), o termo de liberação controlada tornou-se aceitável quando os processos de produção se tornaram conhecidos e foram capazes de influenciar a determinação da taxa padrão e os períodos previsíveis para a liberação dos nutrientes nos fertilizantes.

Segundo Ullmann (2007), normalmente os produtos nitrogenados e microbiologicamente degradáveis são referidos no mercado como fertilizantes de liberação lenta e os produtos revestidos ou encapsulados são designados fertilizantes de liberação controlada. Conforme Trenkel (2010), o Comitê Europeu de Normalização estabelece que para um fertilizante ser considerado “slow release”, os três seguintes critérios devem ser atendidos, na temperatura de 25° C:

- Não mais que 15% liberado em 24 horas;
- Não mais que 75% liberado em 28 dias; e
- No mínimo 75% de liberação no prazo fixado pelo fabricante.

Recentemente a Organização Internacional de Normatização (International Organization for Standardization – ISO), publicou a ISO 21263:2017 referente a fertilizantes de liberação lenta e a ISO 18644:2016 referente aos fertilizantes de liberação controlada. A pré-visualização da ISO 18644:2016 define um fertilizante de liberação controlada semelhante à descrita pelos autores citados, sendo um fertilizante que libera os nutrientes de forma controlada, a uma taxa e no tempo específico de liberação do nutriente em determinada temperatura.

De maneira mais simplificada, os fertilizantes de liberação lenta, liberam os nutrientes a uma taxa menor que a dos fertilizantes habituais, entretanto, a duração não é especificada pelo fabricante e os fertilizantes de liberação controlada possuem período de liberação previsível e influenciado pelo processo de fabricação.

### 3.3.2 Estudos sobre fertilizantes de eficiência aprimorada

Segundo Timilsen et al. (2014), os fertilizantes eficiência aprimorada apresentam as vantagens de reduzir as aplicações de fertilizantes, economizar o custo de mão de obra, permite aumentar os rendimentos e reduzir a poluição ambiental. Entretanto apesar das vantagens, de acordo com Bley (2015) os produtos de eficiência aprimorada ainda possuem utilização limitada. Superar alguns desafios como a redução de preço, comprovar a eficiência agrônômica e conscientizar a sociedade sobre a importância ambiental são fundamentais para ampliar a utilização dos fertilizantes eficiência aprimorada.

Li et al. (2017), analisaram resultados de 203 estudos publicados em 18 países entre 1980 e 2016 sobre os quatro principais tipos de EEFs, fertilizantes

revestidos com polímero (polymer-coated fertilizer - PCF), inibidores da nitrificação (nitrification inhibitors - NI), inibidores da urease (urease inhibitors UI) e inibidores duplos (urease and nitrification inhibitors combined). Avaliando a eficácia em melhorar o uso eficiente e reduzir as perdas de nitrogênio, concluíram que os EEFs podem desempenhar um papel significativo na produção agrícola sustentável. No entanto, é necessário reduzir os manejos inadequados de qualquer fertilizante e implementar conhecimentos baseados nas práticas de manejo de nitrogênio.

O estudo de Rodrigues et al. (2010), avaliou na cultura da couve (*Brassica oleracea*) fertilizantes nitrogenados com três distintos mecanismos de liberação de nutrientes, sendo eles: ureia condensada (isobutilideno diuréia), inibidor de nitrificação (fosfato de 3,4-dimetilpirazole) e revestimento com polímero. Ao final do estudo, os autores concluem que do ponto de vista agrônômico, nenhum dos mecanismos de liberação lenta de nitrogênio forneceu vantagens sobre a ureia, a qual é forma de nitrogênio mais utilizada.

Outros estudos, avaliando a eficácia de um fertilizante potássico revestido com enxofre e polímeros orgânicos em comparação ao cloreto de potássio convencional, Bley (2015) constatou que a liberação de potássio no solo foi gradativa com longevidade estimada em 315 dias (tempo necessário para liberar 75% do nutriente na temperatura de 25° C). No entanto, as doses que são recomendadas para solos com baixos teores potássio não atendem à demanda inicial da cultura do milho e seria necessária a recomendação de sobre dosagem de no mínimo 165%.

### 3.4 BIOINDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO

Conforme Bloem et al. (2006), a qualidade do solo depende da interação entre as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Os indicadores físicos (textura, porosidade, etc.) e químicos (pH, salinidade, carbono orgânico total, etc.) da qualidade do solo apresentam mudanças muito lentas em relação aos indicadores biológicos, sendo necessárias várias análises ao longo do tempo para demonstrar resultados significativos.

Devido a sensibilidade da atividade microbiana no solo ao estresse que o ambiente sofre, a avaliação de indicadores biológicos se torna uma excelente alternativa para avaliar o impacto de diferentes atividades antrópicas no solo, servindo

como ferramenta para orientar o planejamento de práticas de manejo e uso por solo por exemplo (Varma et al., 2007; Bünemann et al., 2018).

A atividade microbiana do solo influencia os fatores responsáveis pela degradação da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes, tendo importância na fertilidade do solo. Os bioindicadores mais utilizados para uso na avaliação da qualidade são a biomassa microbiana, a respiração, os quocientes microbiano e metabólico e a atividade enzimática do solo (Bünemann et al., 2018; Santos & Maia, 2013).

#### 3.4.1 Atividade da fosfatase

As fosfatases exercem função fundamental no processo de mineralização do fósforo, que muitas vezes é limitante para o desenvolvimento das plantas (Margalef et al., 2017). A fosfatase é responsável por hidrolisar compostos de fósforo orgânico (indisponível para absorção das plantas) transformando-os em diferentes formas de fósforo inorgânico (minerais), os quais podem ser assimilados pelas plantas. Essas enzimas podem ter origem a partir de microrganismos, como bactérias, fungos ou protozoários, assim como animais e raízes de plantas (Bloem et al., 2006; Varma et al., 2007).

Normalmente as três fosfatases extracelulares estudadas e que estão envolvidas no ciclo do fósforo do solo são a fosfodiesterase e as fosfomonoesterase ácida e alcalina. As fosfomonoesterases ácidas e alcalinas são relativamente inespecíficas e podem hidrolisar uma gama de compostos fósforo de baixo peso molecular, incluindo mononucleotídeos, fitatos, fosfatos de açúcar e polifosfatos, enquanto que a fosfodiesterase catalisa a hidrólise de ácidos nucleicos e fosfolipídios (Waldrip et al., 2011).

Segundo Tabatabai e Bremner (1969), as enzimas exercem sua função em determinada faixa de pH e temperatura, entretanto, existem alguns valores ótimos para que sua ação seja máxima. De acordo com o seu pH ótimo, as fosfatases são classificadas em ácida (pH ótimo 6,5) e alcalina (pH ótimo 11). Sendo que a atividade da fosfatase ácida predomina em solos ácidos e a atividade da fosfatase alcalina predomina em solos alcalinos. A determinação da atividade da enzima envolve a

estimativa colorimétrica do p-nitrofenol liberado quando o solo é incubado em uma solução tamponada do substrato p-nitrofenilfosfato.

Utilizando esterco de frango como fertilizante orgânico, o estudo realizado por Waldrip et al. (2011) demonstrou o aumento da atividade da fosfomonoesterase ácida, fosfomonoesterase alcalina e fosfodiesterase em solo rizosférico, em comparação com solo de rizosfera não alterado. Com base nas medições da atividade do pH e da fosfatase no solo, o aumento da disponibilidade de NaOH e HCl-P (formas de fósforo mais prontamente disponíveis as plantas) foi atribuído a estimulação da produção de fosfatase da raiz, ao enriquecimento do solo circundante para produção ou atividade da fosfatase microbiana e o aumento da solubilidade de fosfatos associados a alumínio e ferro.

Margalef et al. (2017) avaliaram a influência das características climáticas e do solo sobre a atividade da fosfatase utilizando análise de metadados com base em 213 estudos publicados (figura 3). Sendo esta a primeira análise de medições globais de fosfatase em solos naturais.

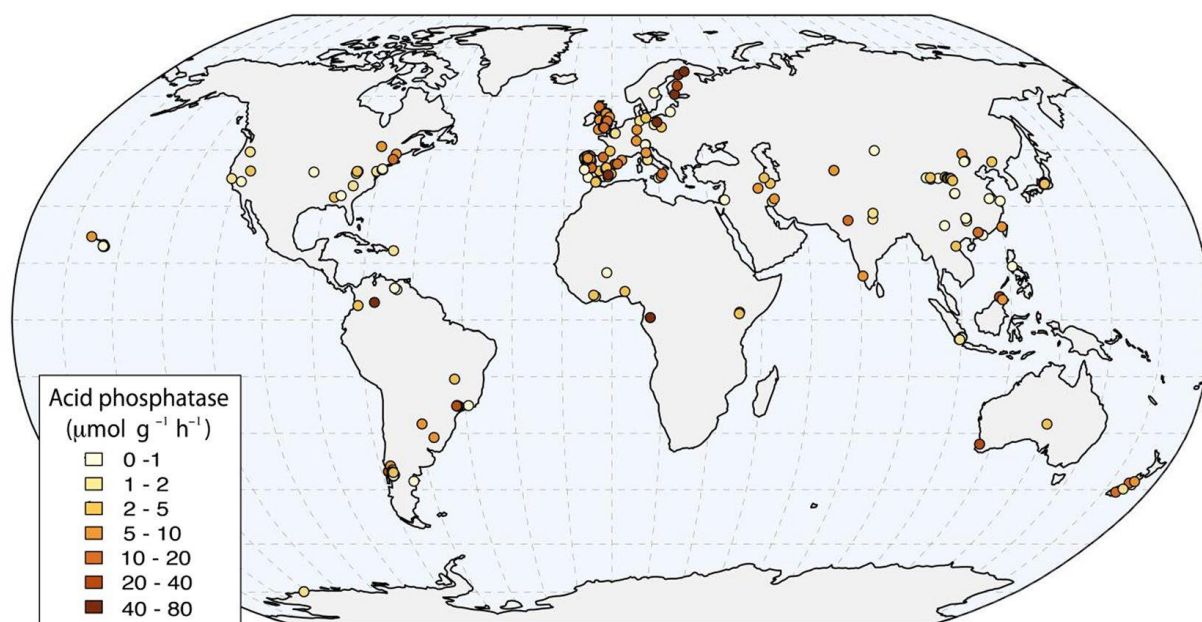


Figura 3 - Distribuição das observações utilizadas na revisão de Margalef et al. (2017). Revisão baseada em 213 publicações e um total de 378 sites em todo o mundo.

Os resultados desta ampla revisão demonstraram maior coeficiente de correlação entre o fósforo orgânico (52,7%) com a atividade da fosfatase ácida, em vez do fósforo disponível. Surgindo a fração fósforo orgânico, a mais importante na previsão da atividade da fosfatase ácida. Além disso, o nitrogênio total do solo foi o fator que mais explicou (52%) os gradientes espaciais observados na atividade

fosfatase, seguido dos fatores temperatura (30%) e precipitação média anual (24%), todos com relação positiva.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS LOCAIS

Foram instalados dois ensaios de campo. O primeiro ensaio está localizado na aldeia de Meixedo (coordenadas 41°51'10" de Latitude Norte e 6°46'13" Longitude Oeste), concelho de Bragança, com altitude de 735 m. O segundo ensaio está localizado na aldeia de Moimenta (coordenadas 41°56'78" de Latitude Norte e 7°0'16" de Longitude Oeste), Concelho de Vinhais, com altitude de 960 m.

A figura 4 mostra o aspecto geral dos pomares de Meixedo (4A) e Moimenta (4B) onde foram instalados os ensaios. Em ambos os ensaios as árvores apresentavam um arranjo espacial de 8 m x 8 m, resultando em 156 árvores por hectare.



Figura 4 - Imagens panorâmicas dos pomares onde está instalado os ensaios na localidade de Meixedo (A) e Moimenta (B).

De acordo com Köppen-Geiger, a classificação do clima da região é Csb (clima temperado com verão seco). Os registos meteorológicos para o período em estudo na estação meteorológica de Bragança, que distância 9 km do ensaio de Meixedo e 40 km do ensaio de Moimenta são apresentados na figura 5.

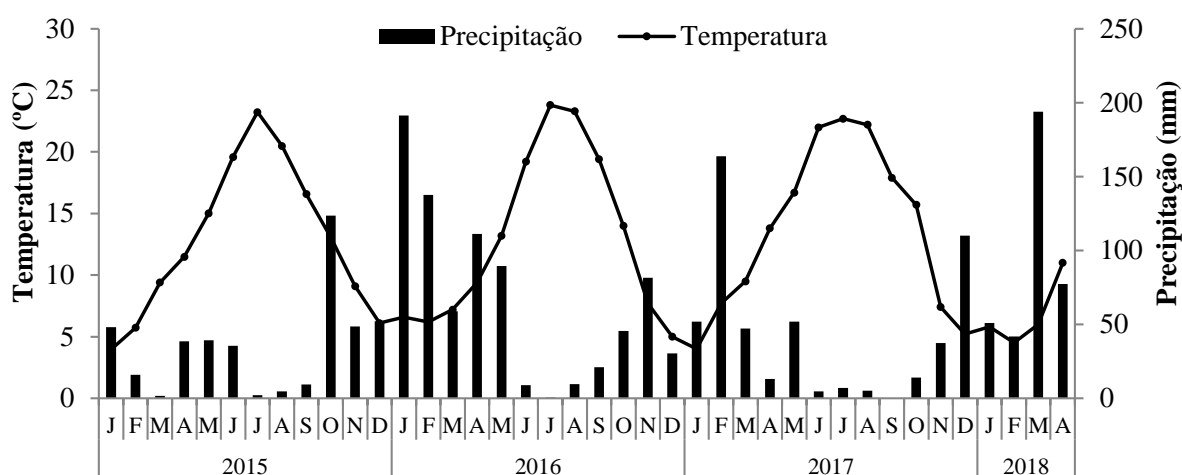


Figura 5 - Precipitação e temperatura média do ar mensais na estação meteorológica de Bragança entre janeiro de 2015 e abril de 2018.

O soto de Meixedo encontra-se instalado num Leptosolo úmbrico derivado de rochas básicas. O solo do soto de Moimenta é um Cambissolo úmbrico derivado de granito. Uma coleta de amostras de solo foi efetuada em 13 de março de 2015 para caracterização inicial dos locais.

De acordo com manual de fertilização de culturas, ambos os locais ensaios na camada de 0-10 cm do solo classificam-se com teor de matéria orgânica média e as camadas 10-20 e 20-30 cm com teor baixo de matéria orgânica. O maior teor de matéria orgânica no ensaio de Moimenta pode ser atribuído a maior altitude do local, no qual os volumes de precipitação são mais elevados e a temperatura média é mais baixa. Alguns dos principais resultados são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 - Algumas propriedades do solo antes da instalação dos ensaios nas localidades de Meixedo e Moimenta nas profundidades 0-10; 10-20 e 20-30 cm.

Local	Camadas	MO <sup>1</sup>	pH		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sup>2</sup>	K <sub>2</sub> O <sup>2</sup>	Boro <sup>3</sup>	Ca <sup>4</sup>	Mg <sup>4</sup>	K <sup>4</sup>	Na <sup>4</sup>	AT <sup>4</sup>	AL <sup>4</sup>	CTCe <sup>4</sup>
		g kg <sup>-1</sup>	H <sub>2</sub> O	KCl	mg kg <sup>-1</sup>			cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>						
Meixedo	0-10cm	15,2	5,6	4,6	238	216	1,1	8,1	0,6	0,6	0,6	0,3	0,3	10,2
	10-20cm	9,2	4,9	3,8	107	161	0,9	4,6	0,5	0,4	0,6	1,3	1,1	7,5
	20-30cm	8,9	4,6	3,6	72	147	1,0	3,7	0,6	0,4	0,8	2,1	2,1	7,5
<b>Média</b>	<b>0 - 30cm</b>	<b>11,1</b>	<b>5,1</b>	<b>4,0</b>	<b>139</b>	<b>175</b>	<b>1,0</b>	<b>5,5</b>	<b>0,6</b>	<b>0,4</b>	<b>0,7</b>	<b>1,2</b>	<b>1,2</b>	<b>8,4</b>
Moimenta	0-10cm	19,4	4,7	3,9	220	178	0,7	0,9	0,4	0,8	1,3	1,1	1,0	4,4
	10-20cm	13,7	4,6	3,9	192	113	0,5	0,6	0,3	0,4	0,9	1,6	1,6	3,7
	20-30cm	11,5	4,6	3,9	192	103	0,4	0,7	0,3	0,4	1,2	1,6	1,6	4,1
<b>Média</b>	<b>0 - 30cm</b>	<b>14,9</b>	<b>4,7</b>	<b>3,9</b>	<b>201</b>	<b>132</b>	<b>0,5</b>	<b>0,7</b>	<b>0,3</b>	<b>0,5</b>	<b>1,1</b>	<b>1,4</b>	<b>1,4</b>	<b>4,1</b>

<sup>1</sup>Walkley-Black; <sup>2</sup>Egner-Rhiem; <sup>3</sup>Azometina-H; <sup>4</sup>Acetato de amônio pH 7.0

## 4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Os ensaios foram conduzidos em delineamento experimental de blocos casualizados com três repetições (3 blocos). Os tratamentos corresponderam a quatro fertilizantes e um controle, totalizando 15 unidades experimentais. Cada árvore correspondeu a uma unidade experimental. Dentro de cada bloco foram selecionadas árvores homogêneas em termos de dimensão do dossel. Os nomes comerciais dos fertilizantes utilizados foram Humix (13:03:05), Exactyon (06:15:08), Biocaspe (05:14:07) e Exactyon (18:05:13). Os fertilizantes foram fornecidos pela empresa Atlantusi.

### 4.2.1 Descrição dos tratamentos fertilizantes

Na tabela 5, encontra-se descrita a composição dos fertilizantes utilizados na experiência de acordo com a ficha técnica fornecida pela empresa.

Tabela 5 - Composição dos fertilizantes utilizados nos ensaios, com base na informação disponível da ficha técnica dos fertilizantes.

Fertilizante	N	P (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	K (K <sub>2</sub> O)	MO	Ca	Mg (MgO)	B (B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Cu	Fe	Zn	Mn
	----- % -----						----- mg kg <sup>-1</sup> -----				
<b>Controle</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Humix</b>	12	3	5	80	1,2	0,4	100	-	332	36	89
<b>Exactyon</b>	6	15	8	3	15,1	1,8	-	4	6000	119	600
<b>Biocaspe</b>	5	14	7	33	18	0,2	-	-	136	15	36
<b>Exactyon</b>	18	5	13	0	6,2	1,6	6400	2	2600	51	200

Em seguida fornece-se informação suplementar sobre cada um dos fertilizantes.

**Humix 13:03:05** - É um adubo orgânico de origem vegetal obtido de melaço líquido condensado de mandioca e cana-de-açúcar. Encontra-se na forma de grânulos sólidos com dimensão média de 2 mm. Além da informação disponibilizada na tabela 5, contém 26,2% de ácidos fúlvicos e 3,8% de ácidos húmicos. Em pomares é recomendada a aplicação em cobertura na Primavera.

**Exactyon 06:15:08** - É um adubo organo-mineral de longa duração (de 3 meses) recomendado para a fertilização de castanheiros. Cerca de 23,6% das

unidades fertilizantes são capsuladas com polímeros, com o nitrogênio a atingir 37,7 % de grânulos encapsulados e o fósforo 33,1%. Encontra-se na forma de grânulos sólidos com dimensão média de 3,2 mm. É recomendado para aplicação em cobertura, durante os meses de fevereiro a junho.

**Biocaspe 05:14:07** - É um adubo organo-mineral que se apresenta na forma de grânulos sólidos com dimensão média de 2,7 mm. Além dos nutrientes descritos na tabela 5, contém 10,7% de ácidos fúlvicos e 1,6 de ácidos húmicos. A recomendação quanto ao modo de aplicação é a utilização como cobertura. É também um fertilizante revestido por polímeros.

**Exactyon 18:05:13** - É um adubo mineral de liberação controlada revestido por polímeros de longa duração (3 meses) que a empresa está a recomendar para adubação de base da cultura da oliveira. Encontra-se na forma de grânulos sólidos com dimensão média de 3 mm. Destaque-se entre os demais fertilizantes pelo elevado teor de boro.

Os fertilizantes foram aplicados durante o mês de março em 2015, 2016 e 2017 na dose de 3 kg por árvore. Na figura 6, encontram-se imagens do aspecto visual dos fertilizantes utilizados nos ensaios.

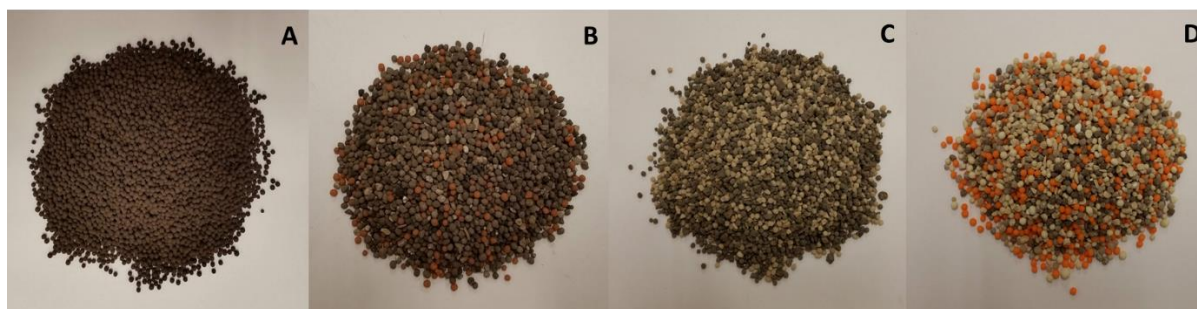


Figura 6 - Aspecto visual dos fertilizantes Humix 13:03:05 (A), Exactyon 06:15:08 (B), Biocaspe 05:14:07 (C) e Exactyon 18:05:13 (D).

### 4.3 DETERMINAÇÕES DE CAMPO

#### 4.3.1 Amostragem de folhas

Coletaram-se folhas em 3 anos (2015-2017), tendo por base o fim do mês de julho, respeitando a norma padrão para a cultura, que consiste ainda na coleta de folhas jovens com o limbo expandido e percorrendo todos os quadrantes das árvores

(Arrobas et al., 2018). Após a colheita, as folhas foram levadas ao laboratório, onde foram secas em estufa de ventilação forçada regulada a 70 °C. Após secas, foram moídas em moinho com malha de 1 mm. Posteriormente procedeu-se a determinação da composição elementar dos tecidos.

#### 4.3.2 Amostragem de solo

Em ambos os ensaios foram coletadas amostras de solo em três camadas distintas de profundidade (0-10; 10-20 e 20-30 cm) em 6 de fevereiro de 2018, figura 7. Em seguida, as amostras foram levadas ao laboratório, secas em estufa com circulação forçada a 40 °C. Após secas, as amostras foram crivadas em peneira com malha de 2 mm e sujeitas a diversas determinações analíticas, como o teor de matéria orgânica, pH, complexo de troca e disponibilidade de elementos importantes como fósforo, potássio e boro.



Figura 7 - Coleta de solo em Moimenta (A) e Meixedo (B).

#### 4.3.3 Produtividade

No castanheiro a colheita é feita de forma escalonada, apanhando os frutos do chão de forma manual ou mecanizada à medida que vão caindo, normalmente durante o mês de novembro. Nos ensaios os frutos foram apanhados manualmente para permitir a pesagem por árvore.

## 4.4 DETERMINAÇÕES LABORATORIAIS

### 4.4.1 Análise de solos

A seguir descrevem-se brevemente os procedimentos analíticos efetuados na fração terra fina para determinação das características químicas do solo.

**pH em água** - Preparou-se uma amostra com proporção entre solo e água de 1 para 1,25 (p/v) e agitou-se por 2 horas. Na leitura foi utilizado um potenciômetro.

**pH em cloreto de potássio** - Preparou-se uma amostra com proporção entre solo e solução de 1M KCl de 1 para 2,5 (p/v). Agitou-se por 2 horas e fez-se a leitura em um potenciômetro.

**pH em cloreto de cálcio** - Preparou-se uma amostra com proporção entre solo e solução a 0,01M de cloreto de cálcio de 1 para 5 (p/v). Agitou-se por 2 horas e utilizou-se um potenciômetro na leitura.

**Matéria orgânica** - A matéria orgânica foi determinada pelo método Walkley-Black. Este método consiste numa digestão húmida da matéria orgânica da amostra de solo com a mistura de dicromato de potássio e ácido sulfúrico durante 30 minutos. Para a determinação do carbono facilmente oxidável, o dicromato residual foi titulado com sulfato de ferro e o teor de matéria orgânica foi estimado através da multiplicação da percentagem de carbono pelo fator 1,72, associando a suposição de que a matéria orgânica da amostra de solo contém cerca de 58% de carbono (Van Reeuwijk, 2002).

**Capacidade de troca** - Foi percolada uma amostra de solo com uma solução de acetato de amónio tamponizada a pH 7 após 30 minutos de contato e agitação. Os cátions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$  e  $\text{Na}^{+}$  foram determinados no extrato filtrado por espectrofotometria de absorção atômica (Van Reeuwijk, 2002) num equipamento PYE Unicam PU 9100X.

**Fósforo e potássio** - O fósforo e o potássio foram determinados pelo método de Egner-Riehm. Uma amostra de solo foi adicionada a uma solução de lactato de amónio e ácido acético tamponizada a pH 3,5 na proporção de 1:20 (p/v), agitando-se durante duas horas (MAP, 1977). Após filtrada a suspensão, o fósforo foi determinado por espectrofotometria UV/VIS no comprimento de onda 882 nm, após o desenvolvimento de cor pelo método do ácido ascórbico. Este método de

desenvolvimento de cor consiste na formação de um complexo ácido fosfo-molibdénico que foi reduzido o azul-fosfo-molibdénico na presença do ácido ascórbico (Van Reeuwijk, 2002). Foi utilizado para as leituras um espectrofotómetro UV/VIS T80 PG Instrument Lda. A quantificação do potássio foi realizada por fotometria de chama (MAP, 1977) no equipamento fotómetro de chama Jenway. A concentração destes elementos foi expressa nas formas de  $P_2O_5$  e  $K_2O$ .

**Micronutrientes** - Os elementos foram extraídos com uma solução de acetato de amónio, ácido acético, ácido etilenodiaminotetracético e medidos por espectrometria de absorção atômica (Lakanen e Ervio, 1971).

#### 4.4.2 Análise de tecidos vegetais

A seguir descrevem-se procedimentos analíticos realizados para a determinação dos elementos dos tecidos vegetais.

**Quantificação de nitrogênio** - Pesou-se 1,0 g das amostras de tecido vegetal que foram transferidas para tubos de digestão. Então adicionou-se 1 pastilha de um catalisador (selênio) e 15,0 ml de ácido sulfúrico concentrado (95-97%). Em seguida as amostras foram aquecidas a 400 °C durante 70 minutos. Após o arrefecimento realizou-se a destilação das amostras utilizando hidróxido de sódio (NaOH) e ácido bórico ( $H_3BO_3$ ) como indicador. Em seguida foi realizada a titulação com ácido clorídrico (HCl) até a mudança de cor da solução (Bremner, 1996).

**Quantificação de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, ferro, zinco e manganês** - Pesou-se 0,25 g das amostras que foram transferidos para tubos de digestão aos quais se adicionaram 10 ml de ácido nítrico. Os tubos foram fechados e então levados para digestão em micro-ondas MARSXpress. Após a digestão, o líquido foi transferido para um tubo e completado com água deionizada até 50 ml. Nesta etapa foram quantificados os teores de potássio, cálcio, magnésio, cobre, ferro, zinco e manganês em espectrofotómetro de absorção atômica. Para a determinação do fósforo, após a diluição adicionou-se 4,0 ml da solução molibdato de amónio azul com ácido ascórbico. Depois de 35 minutos foram realizadas as leituras de absorbância em espectrofotómetro a um comprimento de onda 882 nm (Walinga et al., 1989).

**Quantificação de boro** - Pesou-se 1,0 g das amostras que foram transferidas para cadinhos onde se adicionou 0,10 g de óxido de cálcio e misturou até a amostra

ficar homogênea. Posteriormente, realizou-se a queima das amostras em mufla a temperatura de 500 °C durante 90 minutos. Após a queima adicionou-se 10 ml de ácido sulfúrico 0,5 M e depois de 30 minutos filtrou-se as amostras em papel de filtro. Depois de filtradas, transferiu-se 1,0 ml das amostras para tubos de 10 ml de polipropileno e então foram adicionados 2,0 ml a base de azometina-H, e após 30 minutos de desenvolvimento de cor realizaram-se as leituras de absorvância das amostras em espectrofotômetro com comprimento de onda 420 nm (Walinga et al., 1989).

#### 4.4.3 Atividade da fosfatase ácida

A atividade da enzima fosfatase ácida foi determinada através da metodologia proposta por Alef & Nannipieri (1995). Pesou-se 1 g de solo em erlenmeyers de 50 ml. Em seguida, adicionou-se 0,2 g de tolueno, 4 ml de solução Buffer universal modificado (MUB) pH 6,5 e 1 ml de solução de p-nitrofenilfosfato (PNP). Os erlenmeyers foram vedados com parafilme agitados e incubados por 1 hora a 37 °C.

Após a incubação, adicionou-se 1 ml de  $\text{CaCl}_2$  0,5M e 4 ml de NaOH 0,5M. Agitou-se novamente e filtrou-se a suspensão com papel filtro Whatman nº 2V. Ao controle adicionou-se 1 ml da solução PNP após a adição 1 ml de  $\text{CaCl}_2$  0,5M e 4 ml de NaOH 0,5M imediatamente antes da filtração da suspensão.

Realizaram-se as leituras da absorvância das amostras (amostra e controle) em espectrofotômetro com comprimento de onda 420 nm. A curva de calibração foi realizada a partir de uma solução de reserva, seguindo o mesmo procedimento adotado em relação às amostras. Após obtidas as leituras, corrigiu-se os valores do controle para cada amostra. Os resultados foram expressos em mg de p-nitrofenol por kg de solo seco por hora ( $\text{mg p-nitrofenol g}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ ).

De acordo com a metodologia, o solo deve estar úmido, por este motivo as amostras após coletadas estavam armazenadas congeladas. Sendo assim, determinou-se a matéria seca de cada amostra de solo e corrigiu-se os valores para expressar em matéria seca de solo.

#### 4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram tabulados e posteriormente submetidos à análise de variância (Anova) pelo teste F. Quando ocorreram diferenças significativas entre tratamentos efetuou-se a comparação múltipla de médias utilizando o teste de Tukey com 5% de probabilidade de erro. As análises foram feitas no programa estatístico Genes versão 2016. 6.0. As tabelas e gráficos foram elaborados no programa Excel.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos nos ensaios descritos no capítulo material e métodos. Avalia-se o efeito dos fertilizantes sobre a fertilidade do solo em três profundidades ao longo do perfil, incluindo a atividade da fosfatase ácida, o estado nutricional das árvores e a produção de castanha.

### 5.1 PARÂMETROS AVALIADOS NO SOLO

#### 5.1.1 Matéria orgânica

Não houve efeito significativo no teor de matéria orgânica entre os tratamentos fertilizantes em relação ao controle no ensaio de Meixedo (figura 8A). Contudo, ocorreram pequenas diferenças que podem ser descritas. Quando comparado o teor de matéria orgânica da caracterização inicial do solo com o atual, o teor matéria orgânica aumentou na camada superficial (0-10 cm), inclusive no tratamento controle sem adubação, onde teor de matéria orgânica passou de 15,4 g kg<sup>-1</sup> para 22,90 g kg<sup>-1</sup> (aumento de 7,5 g kg<sup>-1</sup>). O fertilizante que mais contribuiu para o aumento do teor de matéria orgânica na camada 0-10 cm foi Exactyon 06:15:08. O fertilizante orgânico Humix 13:03:05 e o fertilizante orgânico-mineral Bioscape 05:14:07 com teores de matéria orgânica de 80% e 33%, respectivamente, não se diferenciaram dos fertilizantes exclusivamente minerais.

O aumento da matéria orgânica no ensaio de Meixedo mesmo no tratamento controle relativamente à situação inicial pode ser atribuído ao manejo realizado no soto de não revolvimento do solo, que através da redução do arejamento e do aumento da deposição de substrato orgânico pode ter contribuído para o efeito positivo registado. Os resultados do trabalho de Borges et al. (2017) demonstram o mesmo efeito. Quando o solo não foi revolvido, houve aumento do sequestro de carbono do solo, que justifica o aumento da matéria orgânica. De acordo com classificação dos teores de matéria orgânica dos solos agrícolas de Portugal proposta por LQARS

(2006), teores médios (1,6-3,0% - textura grosseira), são considerados satisfatórios para solos sob efeito de clima mediterrâneo.

Ao contrário do ensaio de Meixedo, os resultados do teor de matéria orgânica na camada de 0-10 cm do ensaio de Moimenta foram significativos (figura 8B). Os fertilizantes Humix 13:03:05, Bioscape 05:14:07 e Exactyon 18:05:13 aumentaram significativamente o teor de matéria em relação ao controle. O fertilizante orgânico Humix 13:03:05 com 80% de matéria orgânica em sua composição apresentou o maior do teor de matéria orgânica (27,13 g kg<sup>-1</sup>) na camada 0-10 cm.

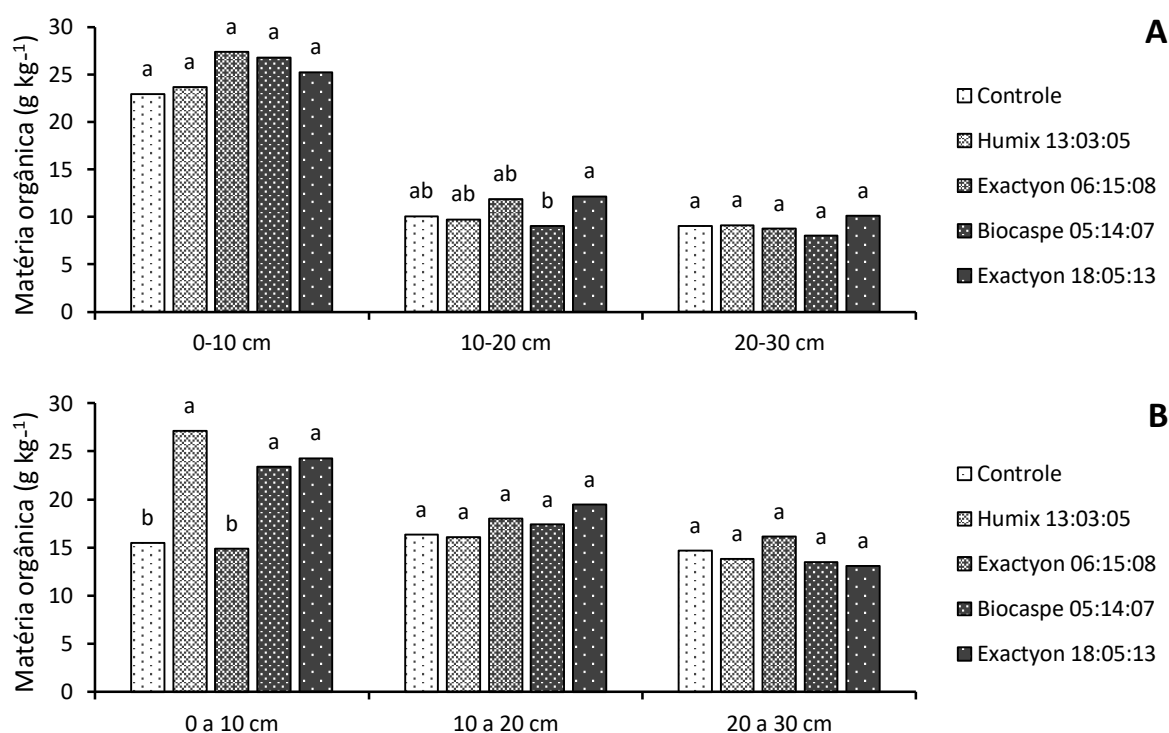


Figura 8 - Teor de matéria orgânica no solo em profundidade (0-10, 10-20 e 20-30 cm) em Meixedo (A) e Moimenta (B). Letras distintas sobre as colunas significa diferença entre os tratamentos pelo teste Tukey ( $\alpha = 0,05$ ).

O teor inicial de matéria orgânica de 15,50 g kg<sup>-1</sup> na camada superficial (0-10 cm) manteve-se no tratamento sem fertilização. Nas camadas 10-20 cm e 20-30 cm não houve efeito dos tratamentos fertilizantes. Entre os ensaios observa-se gradiente em profundidade do teor de matéria orgânica apenas no ensaio de Meixedo, o qual é conduzido sem revolvimento do solo. O ensaio em Moimenta é conduzido com revolvimento do solo, pelo que o teor de matéria orgânica entre as camadas é menos pronunciado.

## 5.1.2 pH

O valor de pH foi determinado por três métodos, designadamente por extração com água, KCl e CaCl<sub>2</sub>. Os valores médios de cada método de pH, são apresentados na tabela 6, de acordo com as camadas avaliadas.

Em ambos os ensaios não ocorreram diferenças significativas para os valores de pH em água. O valor de pH médio entre os tratamentos e as três profundidades de solo, no ensaio de Meixedo foi de 5,74, quando comparado com o pH inicial de 5,10, havendo um aumento de 0,64. O valor da camada inicial (0-10 cm) destacou-se, passando de 5,60 para 6,61. Nas camadas inferiores o aumento do pH em água foi menor. Os valores mais elevados de pH em água no experimento de Meixedo, principalmente na camada superficial, podem estar relacionados a maior quantidade de matéria orgânica (figura 8). Conforme os estudos de Bortolini et al. (2016), a matéria orgânica apresenta efeito de complexação do alumínio, que pode resultar no aumento do pH. No ensaio de Moimenta, o valor de pH em água médio entre os tratamentos e as três profundidades de solo, passou de 4,7 para 5,02.

Tabela 6 - Valores de pH determinados por três métodos e em três profundidades do solo, avaliados após três anos da aplicação dos tratamentos fertilizantes, nos ensaios de Meixedo e Moimenta. Nas colunas, para cada localidade, médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes pelo teste Tukey ( $\alpha = 0,05$ ).

<b>Meixedo</b>									
Tratamento	H <sub>2</sub> O			KCl			CaCl <sub>2</sub>		
	0-10cm	10-20cm	20-30cm	0-10cm	10-20cm	20-30cm	0-10cm	10-20cm	20-30cm
Controle	6,61 a	5,76 a	5,26 a	5,52 a	4,07 a	3,60 a	5,93 ab	4,55 a	3,89 a
Humix	6,50 a	5,58 a	5,12 a	5,35 a	3,89 a	3,60 a	5,83 ab	4,33 a	3,86 a
Exactyon 06	7,02 a	5,71 a	5,07 a	5,98 a	4,06 a	3,60 a	6,23 a	4,59 a	3,91 a
Biocaspe	6,33 a	5,28 a	5,06 a	5,28 a	3,71 a	3,57 a	5,46 b	4,13 a	3,82 a
Exactyon 18	6,58 a	5,38 a	4,93 a	5,64 a	3,85 a	3,56 a	6,14 a	4,30 a	3,86 a
Média	6,61	5,54	5,09	5,55	3,92	3,59	5,92	4,38	3,87

<b>Moimenta</b>									
Tratamento	H <sub>2</sub> O			KCl			CaCl <sub>2</sub>		
	0-10cm	10-20cm	20-30cm	0-10cm	10-20cm	20-30cm	0-10cm	10-20cm	20-30cm
Controle	5,21 a	5,21 a	5,14 a	4,02 a	4,02 a	4,16 a	4,16 a	4,02 a	4,05 a
Humix	5,15 a	4,98 a	4,88 a	3,79 ab	3,79 ab	3,83 b	3,84 b	3,76 b	3,77 b
Exactyon 06	5,20 a	4,91 a	4,87 a	3,88 ab	3,86 ab	3,93 ab	4,01 ab	3,87 ab	3,89 ab
Biocaspe	5,12 a	5,02 a	4,86 a	3,76 b	3,78 ab	3,79 b	3,86 b	3,83 ab	3,79 b
Exactyon 18	5,10 a	4,91 a	4,81 a	3,77 ab	3,73 b	3,78 b	3,92 ab	3,81 b	3,81 ab
Média	5,15	5,00	4,91	3,84	3,84	3,90	3,96	3,86	3,86

Em relação ao pH em KCl, não houve diferença no ensaio de Meixedo e a diferença que ocorreu no ensaio de Moimenta nas profundidades 10-20 cm e 20-30 cm podem ser atribuídas a variabilidade experimental, devido à camada superficial não apresentar efeito. No experimento de Meixedo, o valor inicial médio de pH em KCl era de 4,00, passando para 4,35, sendo o efeito mais significativo também na camada 0-10 cm, que passou de 4,60 para 5,50. Quanto ao ensaio de Moimenta, o pH em KCl inicial médio (3,90) entre as três camadas manteve-se semelhante após 3 anos, com valor de 3,86.

Ocorreu diferença entre os tratamentos no valor de pH em  $\text{CaCl}_2$  em ambos os ensaios. Em Meixedo o efeito se deu apenas na camada 0-10 cm, sendo o pH mais elevado (6,23) no tratamento fertilizante Exactyon 06:15:08 e o menor pH (5,46) no tratamento fertilizante Bioscape 05:14:07, não diferindo este do tratamento controle. No ensaio de Moimenta houve efeito dos tratamentos fertilizantes nas três camadas avaliadas. No entanto, as diferenças observadas podem ser atribuídas a variabilidade experimental, visto que não apresentam sequência lógica conforme a profundidade.

## 5.2 TEOR DE NUTRIENTES NO SOLO

### 5.2.1 Fósforo

Houve efeito significativo dos tratamentos fertilizantes sobre o teor fósforo extraível pelo método Egner-Riehm, tal como apresentado na figura 9. No ensaio de Meixedo a diferença significativa ocorreu apenas na camada 0-10 cm, enquanto que no ensaio de Moimenta houve diferença significativa nas três camadas.

De acordo com a classificação proposta por LQARS (2006), os teores de fósforo no solo no ensaio de Meixedo (figura 9A) são altos ( $101\text{-}200 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$ ) e muito altos ( $>200 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$ ) na camada 0-10 cm e os teores que predominam na profundidade 10-30 cm são classificados como baixos ( $26\text{-}50 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$ ). Conforme a caracterização inicial do solo, os teores fósforo já eram considerados muito altos ( $238 \text{ P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$ ) na camada 0-10 cm. Entretanto, os teores das nas camadas 10-20 cm e 20-30 cm eram altos ( $107 \text{ P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$ ) e médios  $72 \text{ (P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1})$ , respectivamente, evidenciando diminuição do teor de fósforo em profundidade possivelmente pelo efeito

de absorção das raízes e elevando ainda mais o gradiente em relação a camada superficial (0-10 cm).

Conforme Weil e Brady (2017), o fósforo por se tratar de elemento de baixa mobilidade no solo, acaba por se concentrar na camada mais superficial, justificando os valores encontrados. Os maiores teores de fósforo foram observados no tratamento fertilizante Exactyon 06:15:08 ( $314 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$ ) e Biocaspe 05:14:07 ( $296,33 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$ ), justamente os fertilizantes com maior percentagem de fósforo na formulação, os quais se diferenciaram em relação ao tratamento controle. O menor teor de fósforo foi do tratamento fertilizante Humix 13:03:05 ( $168,67 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$ ) que, no entanto, não diferiu do tratamento controle.

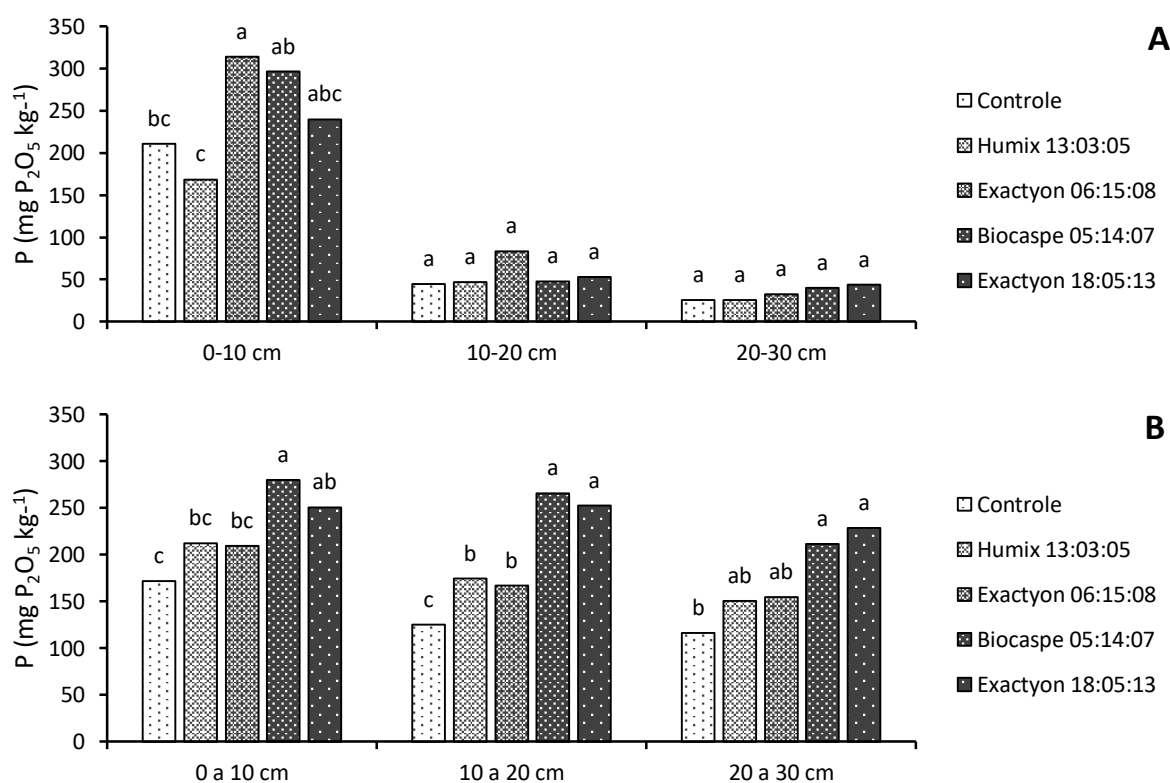


Figura 9 - Teor de fósforo no solo em profundidade (0-10, 10-20 e 20-30 cm) em Meixedo (A) e Moimenta (B). Letras distintas sobre as colunas significa diferença entre os tratamentos pelo teste Tukey ( $\alpha = 0,05$ ).

No ensaio de Moimenta, os resultados (figura 9B) mostram que o fósforo não se encontra concentrado na camada superficial. Estes resultados são atribuídos ao manejo de revolvimento realizado no pomar, sendo o fósforo incorporado em profundidade, visto que por si só, o fósforo não possui mobilidade suficiente no solo para tal efeito. Também de acordo com a classificação do LQARS (2006), os teores de fósforo no solo do ensaio de Moimenta são altos e muito altos até a profundidade

30 cm, inclusive no tratamento controle. Conforme a caracterização inicial do solo, os teores de fósforo já eram considerados muito altos (220, 192 e 192  $P_2O_5$   $kg^{-1}$  nas camadas 0-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm, respectivamente). Os maiores teores de fósforo foram observados no tratamento fertilizante Biocaspe 05:14:07 e Exactyon 18:05:13, que se diferenciaram do tratamento controle em todas as camadas avaliadas.

Considerando a consistência dos resultados do fertilizante Biocaspe 05:14:07 em ambos os ensaios, este parece ser o mais indicado para elevar o teor de fósforo no solo quando necessário.

### 5.2.2 Potássio

Houve efeito significativo dos tratamentos fertilizantes sobre o teor potássio extraível pelo método Egner-Riehm (figura 10). Da mesma forma que ocorreu para o teor de fósforo, no ensaio de Meixedo a diferença significativa ocorreu apenas na camada 0-10 cm, enquanto que no ensaio de Moimenta houve diferença significativa nas 10-20 cm e 20-30 cm.

De acordo com a classificação do LQARS (2006), os teores de potássio no solo no ensaio de Meixedo (figura 10A) são muito altos ( $>200$  mg  $P_2O_5$   $kg^{-1}$ ) na camada 0-10 cm e altos (101-200 mg  $P_2O_5$   $kg^{-1}$ ) nas camadas 10-20 cm e 20-30 cm. Conforme a caracterização inicial do solo, os teores potássio eram considerados muito altos (216 mg  $P_2O_5$   $kg^{-1}$ ) na camada 0-10 cm e altos (161 e 147 mg  $P_2O_5$   $kg^{-1}$  nas camadas 10-20 cm e 20-30 cm, respectivamente. Desta forma, os valores de potássio aumentaram principalmente na camada superficial (0-10 cm), assim como o fósforo. No entanto, diferente do fósforo, o potássio é considerado um elemento móvel no solo. Este fato pode ser explicado devido às baixas precipitações da região. Na camada 0-10 cm os maiores teores de potássio no solo foram observados no tratamento fertilizante Exactyon 18:05:13 (496 mg  $P_2O_5$   $kg^{-1}$ ) e Biocaspe 05:14:07 (457 mg  $P_2O_5$   $kg^{-1}$ ), os quais se diferenciaram em relação ao tratamento controle.

No ensaio de Moimenta, os maiores teores de potássio foram registados no talhão com o fertilizante Exactyon 18:05:13 em todas as camadas (figura 10B). No entanto, houve diferença significativa apenas para as camadas 10-20 cm e 20-30 cm. Resultados também atribuídos ao manejo de revolvimento do solo, o qual incorporou

o potássio a maiores profundidades. De acordo com a classificação do LQARS (2006), os teores de potássio no solo no ensaio de Moimenta são classificados como muito altos e altos.

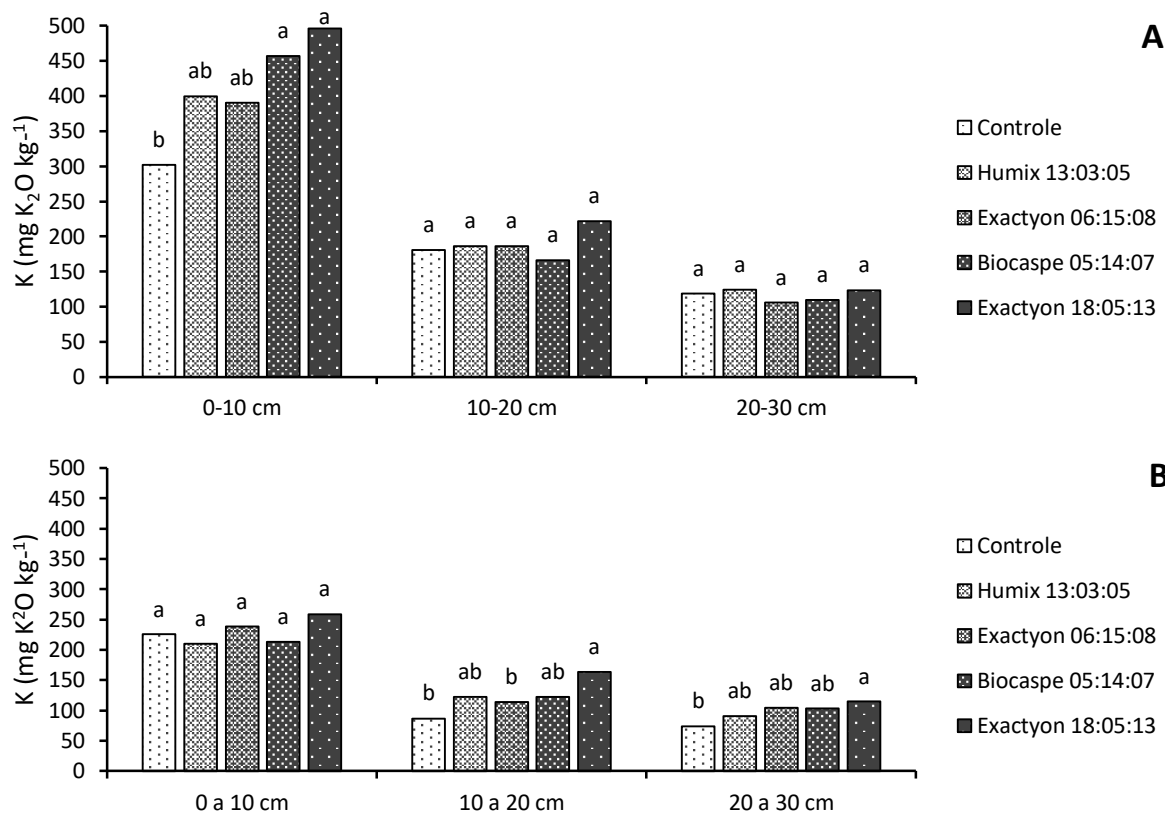


Figura 10 - Teor de potássio no solo em profundidade (0-10, 10-20 e 20-30 cm) em Meixedo (A) e Moimenta (B). Letras distintas sobre as colunas significa diferença entre os tratamentos pelo teste Tukey ( $\alpha = 0,05$ ).

Em relação ao potássio, o fertilizante Exactyon 18:05:13, justamente com o maior teor de potássio entre os fertilizantes, parece ser o mais indicado para corrigir as necessidades de potássio do solo, visto que apresentou os maiores teores em todas as camadas e ensaios, embora tenha havido diferença significativa apenas em três camadas das seis camadas avaliadas em ambos os ensaios.

### 5.2.3 Boro

Tomando como base a revisão de estudos da região Norte de Portugal, e tendo em conta que entre os micronutrientes o boro é o elemento mais limitante à cultura do castanheiro, este foi o único micronutriente avaliado. Houve efeito

significativo dos tratamentos fertilizantes em todas as camadas e ambos os ensaios (figura 11).

Como esperado, o fertilizante Exactyon 18:05:13, com a maior quantidade de boro (6400 mg de óxido de boro) na sua composição, resultou nos maiores teores de boro no solo. O fertilizante Humix 13:03:05 contém 100 mg de óxido de boro e os dois fertilizantes restantes não contem boro na sua formulação.

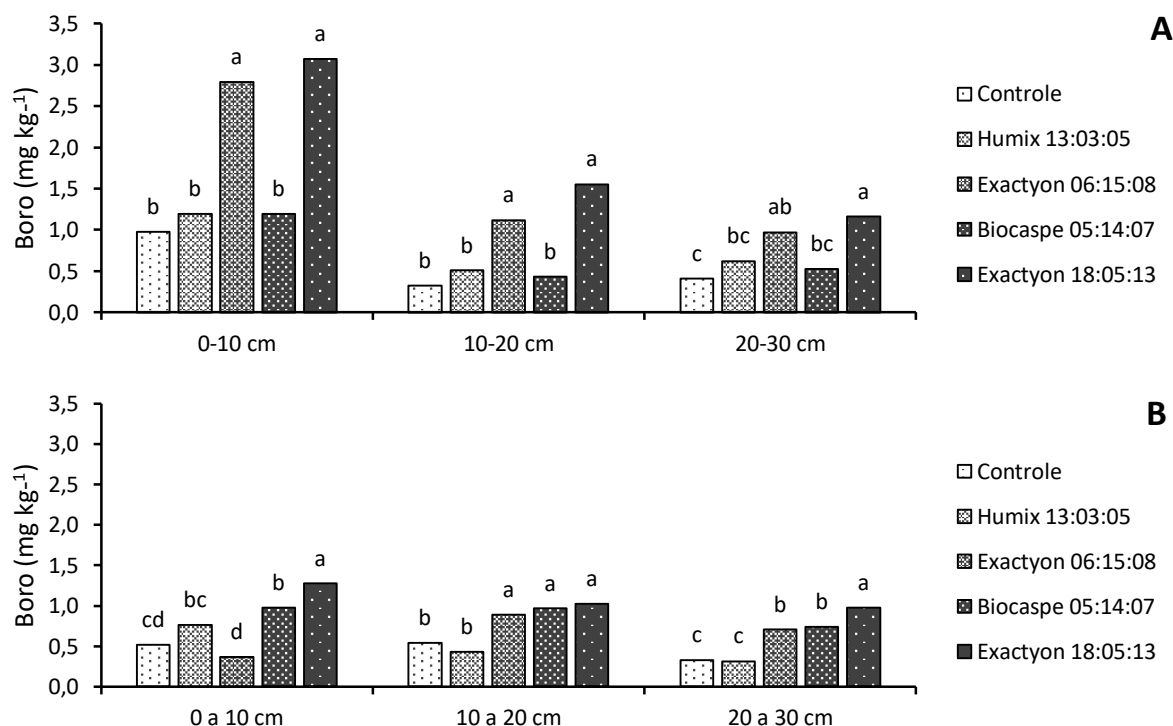


Figura 11 - Teor de boro no solo em profundidade (0-10, 10-20 e 20-30 cm) em Meixedo (A) e Moimenta (B). Letras distintas sobre as colunas significa diferença entre os tratamentos pelo teste Tukey ( $\alpha = 0,05$ ).

De acordo com LQARS (2006), os valores de classificação do teor de boro no solo são: muito baixo ( $\leq 0,2 \text{ mg kg}^{-1}$ ); baixo ( $0,21-0,40 \text{ mg kg}^{-1}$ ); médio ( $0,41-1,0 \text{ mg kg}^{-1}$ ); alto ( $1,1-2,5 \text{ mg kg}^{-1}$ ); e muito alto ( $>2,5 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Considerando ambos os ensaios e as três camadas de solo avaliadas, o menor teor de boro ( $0,98 \text{ mg kg}^{-1}$ ) sob efeito do fertilizante Exactyon 18:05:13 foi observado na camada 20-30 cm do ensaio de Moimenta. Sendo assim, o menor teor de boro observado está muito próximo de ser considerado como teor alto de boro no solo.

Segundo Santos (2015), ao contrário da maioria dos micronutrientes, o boro não é tão fortemente retido ao solo. Afirmação que explica o efeito do boro se pronunciar até a profundidade de 30 cm em ambos os ensaios. Os teores de boro no tratamento controle em ambos os ensaios, embora considerados na sua maioria como

médios estão muito próximos da classificação de baixos. Os resultados encontrados corroboram com outros estudos (Arrobas et al., 2017; Portela et al., 2015; Portela et al., 2011), que colocam o micronutriente boro importante no plano de fertilização. Portanto, neste estudo, para elevar os teores de boro no solo, o fertilizante Exactyon 18:05:13 apresentou os melhores resultados.

### 5.3 CONCENTRAÇÃO DE MACRONUTRIENTES NAS FOLHAS

#### 5.3.1 Nitrogênio

Para a concentração de nitrogênio no tecido foliar, houve diferença em ambos os ensaios (figura 12). De acordo com os níveis adequados de concentração de nitrogênio na folha ( $20-28 \text{ g kg}^{-1}$ ), todos os tratamentos apresentaram valores abaixo do limite inferior do intervalo de suficiência ou muito próximos do limite.

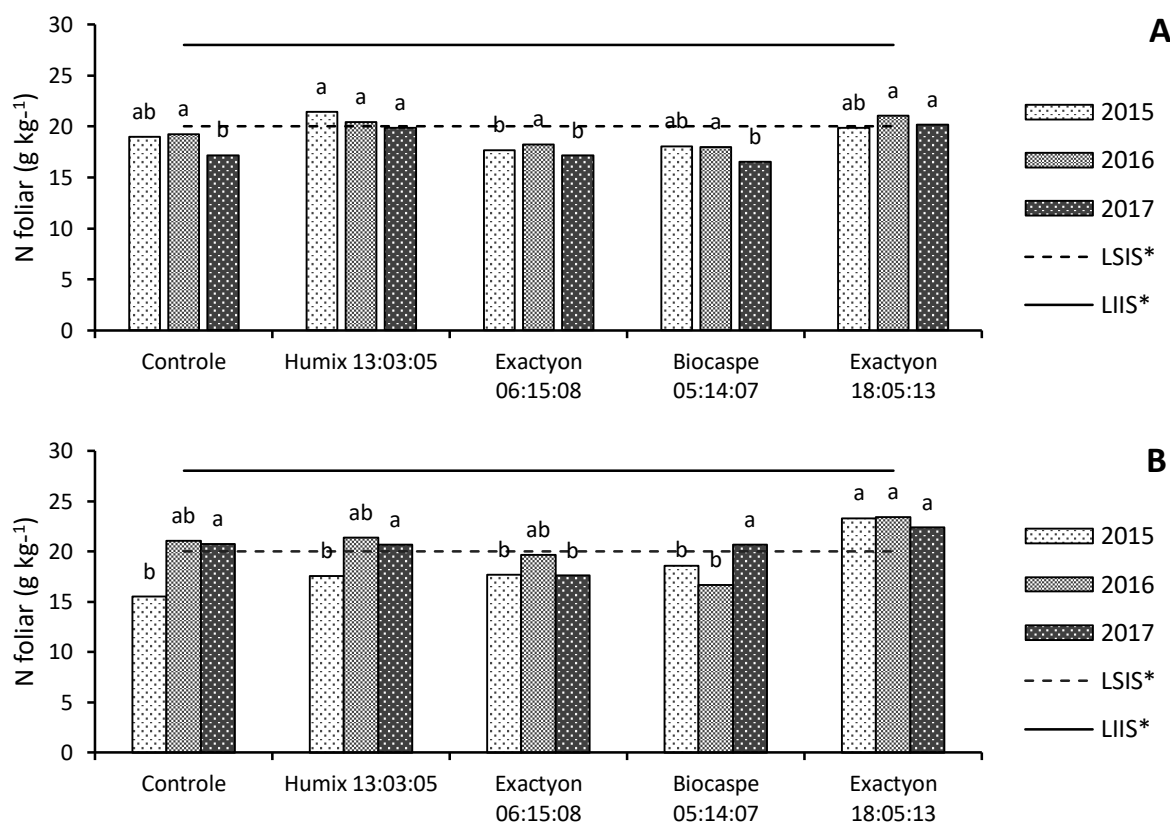


Figura 12 - Concentração de nitrogênio nas folhas expressa na matéria seca no mês de julho de 2015, 2016 e 2017 no ensaio de Meixedo (A) e Moimenta (B). Letras distintas sobre as colunas significa diferença entre os tratamentos pelo teste Tukey ( $\alpha = 0,05$ ). \*LSIS – Limite superior do intervalo de suficiência \*LIIS – Limite inferior do intervalo de suficiência.

As baixas concentrações de nitrogênio foliar encontrados, corroboram com os resultados de Arrobas et al. (2018), que descrevem o nitrogênio como um dos elementos mais limitantes ao castanheiro.

No primeiro ano de avaliação 2015, no ensaio de Meixedo, a maior concentração de nitrogênio foliar observou-se nas árvores sobre efeito do fertilizante Humix 13:03:05 (19,02 g kg<sup>-1</sup>), já nos anos 2016 e 2017 as maiores concentrações foram observadas nas árvores sobre efeito do fertilizante Exactyon 18:05:13, com concentrações de nitrogênio 21,06 e 20,20 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente (figura 12A). No ensaio de Moimenta (figura 12B), as maiores concentrações de nitrogênio foliar também corresponderam as árvores sobre efeito do fertilizante Exactyon 18:05:13, tendo concentrações de 23,30 g kg<sup>-1</sup> (2015), 23,40 g kg<sup>-1</sup> (2016) e 22,36 g kg<sup>-1</sup> (2017).

O efeito positivo do fertilizante Exactyon 18:05:13 pode ser atribuído a maior concentração de nitrogênio na sua composição, designadamente 18%. O fertilizante Humix 13:03:05 é segundo com maior concentração de nitrogênio (13%) em sua composição. Embora os teores médios de nitrogênio nas folhas sejam menores no fertilizante Humix 13:03:05, os mesmos não diferiram dos do Exactyon 18:05:13 na maioria do anos e ensaios.

### 5.3.2 Fósforo

Em rigor não houve diferença entre os tratamentos fertilizantes para a concentração de fósforo no tecido foliar em ambos os ensaios, e as diferenças que ocorreram nos valores médios foram pouco relevantes (figura 13).

Todos os tratamentos, inclusive o controle, apresentaram concentrações de fósforo no tecido foliar dentro dos valores normais de referência (1,1 - 3,0 g kg<sup>-1</sup>). O fato do tratamento controle apresentar concentrações de fósforo foliar adequados pode ser explicado com elevados teores de fósforo encontrados na caracterização inicial do solo.

No ensaio de Meixedo as concentrações de fósforo foliar variaram de 1,23 a 1,93 g kg<sup>-1</sup> enquanto que no ensaio de Moimenta as concentrações variaram entre 1,30 a 2,13 g kg<sup>-1</sup>.

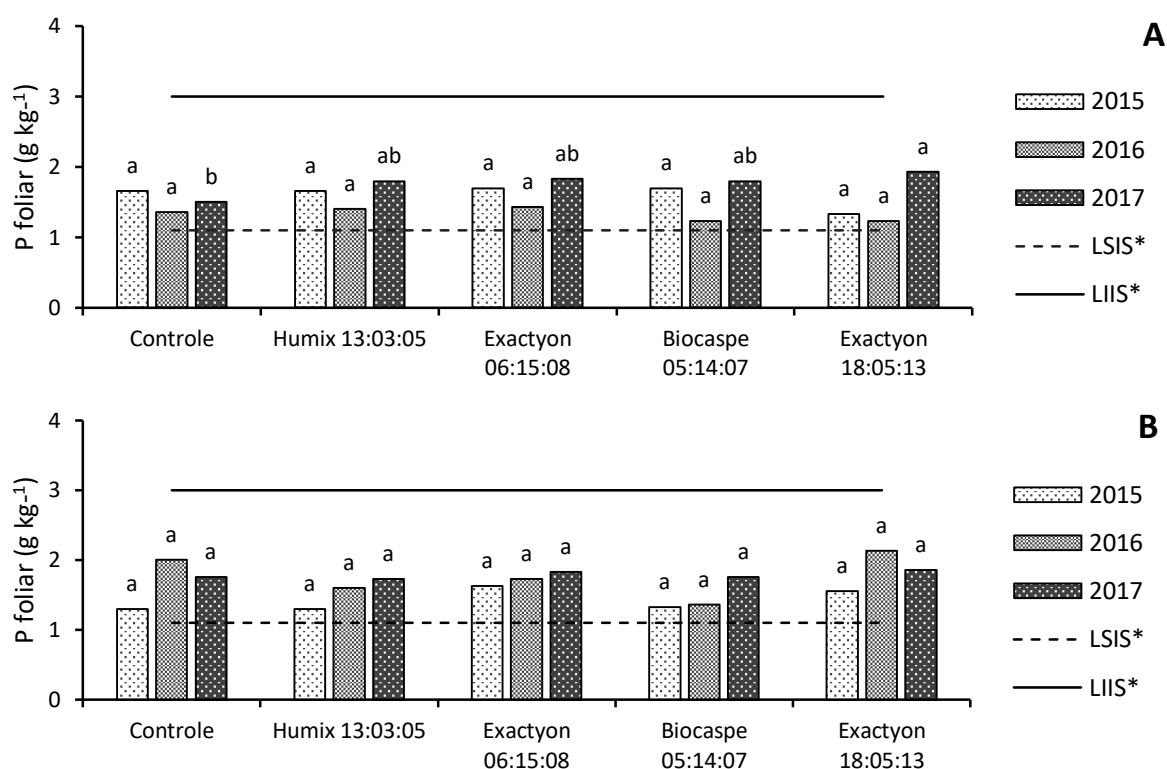


Figura 13 - Concentração de fósforo nas folhas expressa na matéria seca no mês de julho de 2015, 2016 e 2017 no ensaio de Meixedo (A) e Moimenta (B). Letras distintas sobre as colunas significa diferença entre os tratamentos pelo teste Tukey ( $\alpha = 0,05$ ). \*LSIS – Limite superior do intervalo de suficiência \*LIIS – Limite inferior do intervalo de suficiência.

### 5.3.3 Potássio

Em relação à concentração de potássio nas folhas, houve diferença significativa entre os tratamentos fertilizantes em ambos os ensaios (figura 14). Entretanto, em todos os tratamentos, incluindo o controle, as concentrações foliares de potássio encontraram-se acima do limite inferior do intervalo de suficiência de 7,5 g kg<sup>-1</sup>.

Tendo em conta que os fertilizantes foram aplicados no mês de fevereiro e a coleta das folhas em julho de 2015, e conforme a figura 5, os valores de precipitação registrados na região dos ensaios entre os meses de fevereiro e junho de 2015 foram extremamente baixos, podendo explicar as baixas concentrações foliares de potássio no mesmo ano. Visto que o potássio é um sal que necessita de humidade no solo para ser dissolvido e posteriormente absorvido pelas plantas, a baixa precipitação após a aplicação dos fertilizantes explica a menor concentração de potássio foliar no ano de 2015.

Nos anos seguintes, 2016 e 2017, possivelmente houve um efeito cumulativo do potássio no solo que não foi absorvido no ano anterior e as concentrações foliares de potássio aumentaram.

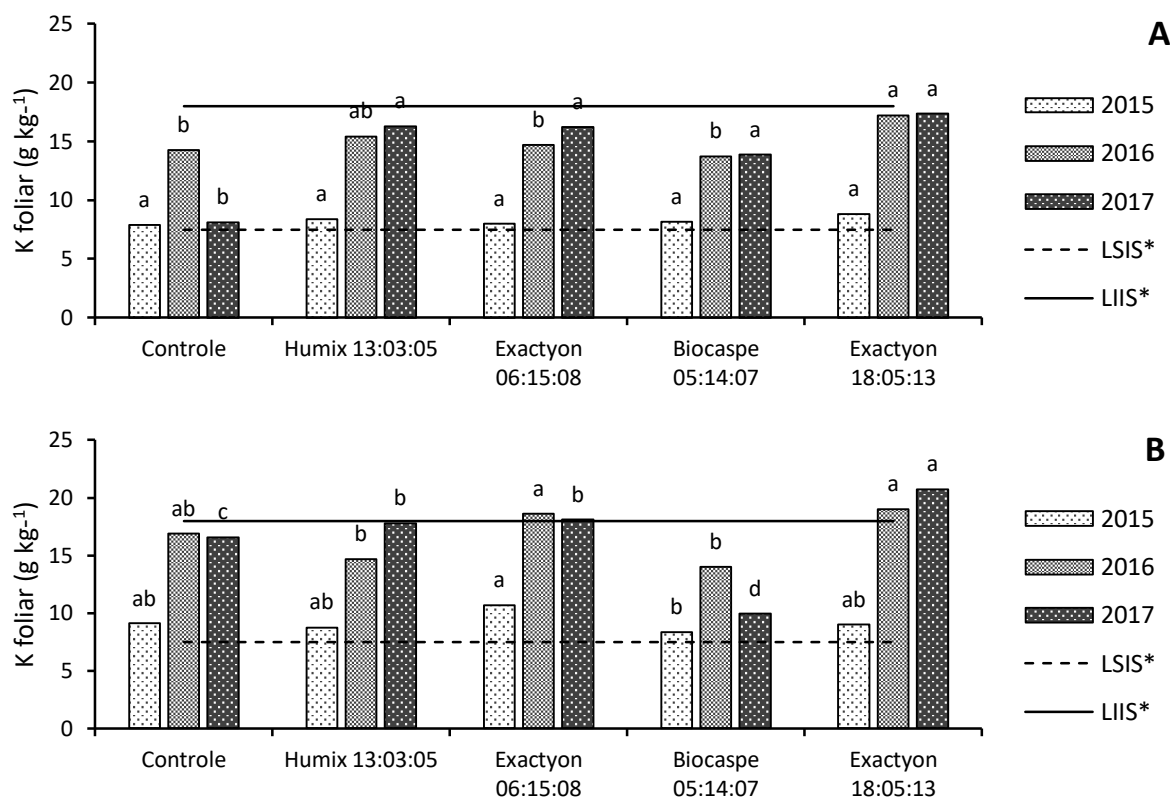


Figura 14 - Concentração de potássio nas folhas expressa na matéria seca no mês de julho de 2015, 2016 e 2017 no ensaio de Meixedo (A) e Moimenta (B). Letras distintas sobre as colunas significa diferença entre os tratamentos pelo teste Tukey ( $\alpha = 0,05$ ). \*LSIS – Limite superior do intervalo de suficiência \*LIIS – Limite inferior do intervalo de suficiência.

No ensaio de Moimenta (figura 14B), os fertilizantes com maior concentração de potássio em sua composição (Exactyon com 8%  $K_2O$  e Exactyon com 13%  $K_2O$ ) ultrapassaram o limite superior do intervalo de suficiência de  $18 \text{ g kg}^{-1}$ . No ano de 2016 observaram-se  $18,60$  e  $19,0 \text{ g kg}^{-1}$  de potássio foliar e em 2017  $18,10$  e  $20,73 \text{ g kg}^{-1}$  nos respectivos fertilizantes, Exactyon 06:15:08 e Exactyon 18:05:13. Nesse sentido, é importante o acompanhamento através das análises foliares nos próximos anos e reduzir a aplicação de potássio uma vez que não é necessário.

#### 5.3.4 Cálcio

Para as concentrações foliares de cálcio, houve diferença significativa em ambos os ensaios (figura 15). No ensaio de Meixedo todos os tratamentos inclusive o

controle, apresentaram concentrações dentro do intervalo adequado de suficiência, que se encontra entre 5 e 14 g kg<sup>-1</sup>. As concentrações foliares de cálcio no ensaio de Meixedo variaram de 6,23 a 8,60 g kg<sup>-1</sup> (figura 15A).

As diferenças no ensaio de Moimenta (figura 15B) foram mais relevantes, visto que se encontraram concentrações abaixo do limite inferior do intervalo de suficiência. Fato associado a menor quantidade de cálcio no solo, de acordo com a caracterização inicial do solo, a quantidade média das três camadas de solo no ensaio de Moimenta era de 0,7 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> enquanto que no ensaio de Meixedo era de 5,5 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>. O tratamento controle e fertilizante Humix 13:03:05 apresentaram concentrações foliares de cálcio abaixo do limite inferior do intervalo de suficiência na maioria dos anos, exceto o fertilizante Humix 13:03:05 no ano de 2016 que foi ligeiramente superior ao limite mínimo.

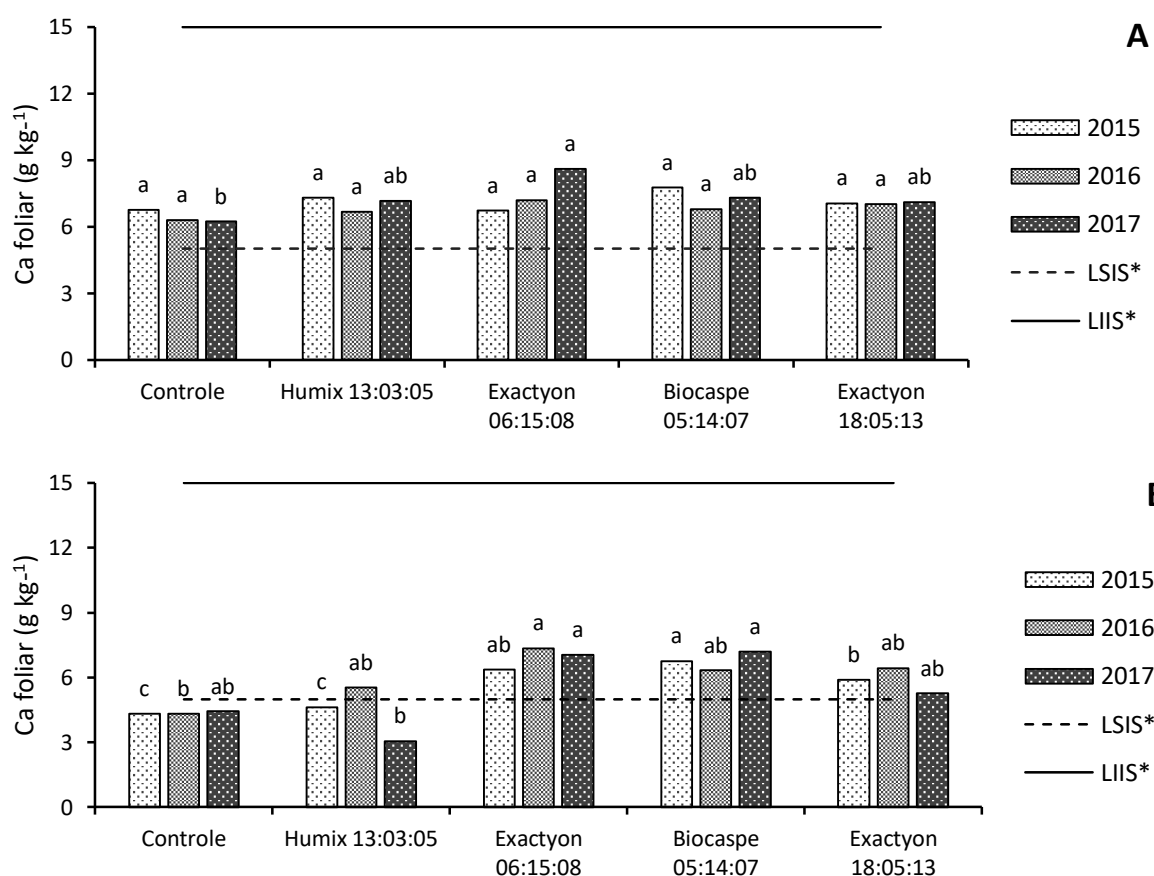


Figura 15 - Concentração de cálcio nas folhas expressa na matéria seca no mês de julho de 2015, 2016 e 2017 no ensaio de Meixedo (A) e Moimenta (B). Letras distintas sobre as colunas significa diferença entre os tratamentos pelo teste Tukey ( $\alpha = 0,05$ ). \*LSIS – Limite superior do intervalo de suficiência \*LIIS – Limite inferior do intervalo de suficiência.

Conforme a ficha técnica dos fertilizantes, o fertilizante com mais concentração de cálcio é o fertilizante Bioscape 05:14:07 (18%), seguido dos

fertilizantes Exactyon 06:15:08 (15,1%), Exactyon 18:05:13 (6,2%) e com menor concentração o fertilizante Humix 13:03:05 (1,2%).

Portanto, o efeito mais relevante observado no ensaio de Moimenta entre diferenças de concentrações de cálcio nos fertilizantes é resultado da menor quantidade de cálcio no solo. Neste estudo, fertilizante o Humix 13:03:05 com menor concentração de cálcio em sua composição (1,2%) não atendeu as exigências do castanheiro.

### 5.3.5 Magnésio

Em relação à concentração foliar de magnésio, houve diferença significativa entre os tratamentos. Entretanto, todos os tratamentos apresentaram concentrações dentro do intervalo adequado de suficiência (figura 16).

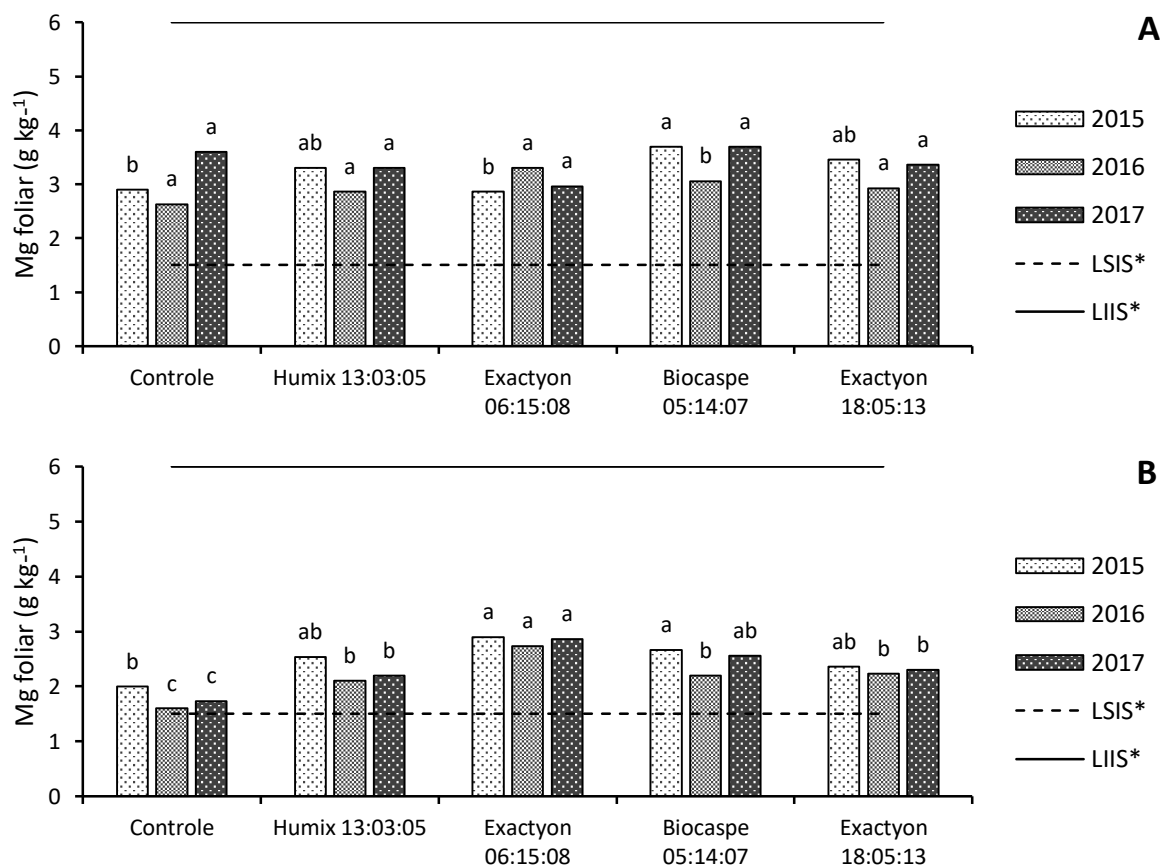


Figura 16 - Concentração de magnésio nas folhas expressa na matéria seca no mês de julho de 2015, 2016 e 2017 no ensaio de Meixedo (A) e Moimenta (B). Letras distintas sobre as colunas significa diferença entre os tratamentos pelo teste Tukey ( $\alpha = 0,05$ ). \*LSIS – Limite superior do intervalo de suficiência \*LIIS – Limite inferior do intervalo de suficiência.

Segundo a ficha técnica dos fertilizantes, o fertilizante com mais concentração de magnésio é o fertilizante Exactyon 06:15:08 (1,8% de MgO), seguido dos fertilizantes, Exactyon 18:05:13 (1,6% de MgO), Humix 13:03:05 (0,4% de MgO), e com menor concentração o fertilizante Bioscape 05:14:07 (0,2% de MgO).

Desta forma, o fertilizante com maior concentração de óxido de magnésio em sua composição correspondeu as maiores concentrações foliares no ensaio de Moimenta, com concentrações de 2,90 g kg<sup>-1</sup> (2015), 2,73 g kg<sup>-1</sup> (2016) e 2,86 g g<sup>-1</sup> (2017). Em suma, todos os fertilizantes atenderam as exigências nutricionais de magnésio do castanheiro.

## 5.4 CONCENTRAÇÃO DE MICRONUTRIENTES NAS FOLHAS

### 5.4.1 Cobre, ferro, zinco e manganês

Na tabela 7 podem observar-se as concentrações foliares médias dos micronutrientes cobre, ferro, zinco e manganês no ensaio de Meixedo. No ano de 2015, apenas não houve diferença significativa para as concentrações foliares de cobre. Em 2016, houve diferença significativa apenas para as concentrações foliares de cobre e em 2017 houve diferença significativa para todos as concentrações foliares dos micronutrientes listados na tabela.

Na tabela 8 pode-se observar os valores médios para a concentração foliar dos micronutrientes cobre, ferro, zinco e manganês no ensaio de Moimenta. Em 2015, houve diferença significativa para maioria das concentrações foliares dos micronutrientes listados na tabela, exceto para o manganês. No ano de 2016, houve diferença significativa apenas para as concentrações foliares de cobre. Em 2017, houve diferença significativa para maioria das concentrações foliares dos micronutrientes listados na tabela, exceto o cobre.

Durante os três anos avaliados, as concentrações foliares de cobre variaram entre 5,48 a 10,50 mg kg<sup>-1</sup> em Meixedo e entre 4,22 a 10,60 mg kg<sup>-1</sup> em Moimenta, sendo o intervalo de suficiência entre 4 a 40 mg kg<sup>-1</sup>. As concentrações foliares de ferro variaram entre 97,83 a 202,82 mg kg<sup>-1</sup> no ensaio de Meixedo e entre 53,96 a 168,05 mg kg<sup>-1</sup> no ensaio de Moimenta, com intervalo de suficiência entre 10 a 300 mg kg<sup>-1</sup>. Em relação ao Zinco, as concentrações foliares variaram entre 20,21 a 35,70

mg kg<sup>-1</sup> no ensaio de Meixedo e entre 24,96 a 40,65 mg kg<sup>-1</sup> em Moimenta, sendo o intervalo de suficiência entre 15 a 75 mg kg<sup>-1</sup>.

Tabela 7 - Concentração dos nutrientes nas folhas nos anos de 2015 a 2017 no ensaio de Meixedo. Na coluna, médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes pelo teste Tukey ( $\alpha = 0,05$ ).

Tratamento	2015							
	Cu		Fe		Zn		Mn	
	mg kg <sup>-1</sup>							
Controle	6,37	a	133,32	c	20,21	b	1724,00	bc
Humix 13:03:05	6,70	a	152,82	bc	26,01	a	2318,32	b
Exactyon 06:15:08	5,94	a	177,92	ab	26,25	a	3041,61	ab
Biocaspe 05:14:07	6,52	a	163,11	abc	23,79	ab	1793,45	bc
Exactyon 18:05:13	5,48	a	189,42	a	26,65	a	1613,81	c
CV (%)	12,50		6,94		8,11		10,16	
	2016							
Controle	6,43	b	99,95	a	20,46	a	1306,43	a
Humix 13:03:05	7,82	a	104,77	a	23,88	a	1767,17	a
Exactyon 06:15:08	6,86	ab	105,14	a	31,15	a	1880,54	a
Biocaspe 05:14:07	7,01	ab	97,83	a	22,51	a	1221,87	a
Exactyon 18:05:13	7,01	ab	111,63	a	32,19	a	1486,26	a
CV (%)	6,43		10,38		16,12		26,10	
	2017							
Controle	8,24	b	168,31	b	22,85	b	1122,61	d
Humix 13:03:05	10,50	a	160,35	b	31,09	ab	1508,88	bc
Exactyon 06:15:08	9,66	ab	173,73	b	35,70	ab	2038,65	a
Biocaspe 05:14:07	9,52	ab	202,82	a	24,56	b	1735,03	ab
Exactyon 18:05:13	9,99	a	168,79	c	28,08	ab	1374,70	cd
CV (%)	5,34		5,62		11,56		7,36	

\*Médias seguidas por letras distintas na coluna significa diferença entre os tratamentos pelo Teste de Tukey ( $\alpha 0,05$ ).

Em relação ao manganês, a maioria das concentrações foliares encontraram-se dentro do intervalo de suficiência, que varia entre 100 e 2000 mg kg<sup>-1</sup>. Entretanto, no ensaio de Meixedo, houve duas ocorrências de concentrações acima do limite superior do intervalo de suficiência. Ambas as ocorrências foram no ano de 2015 com os fertilizantes Humix 13:03:05 e Exactyon 06:15:08, que apresentaram concentrações de 2318,32 mg kg<sup>-1</sup> e 3041,61 mg kg<sup>-1</sup>. Logo, o fertilizante Exactyon 06:15:08 também apresenta a maior concentração de manganês em sua composição, 600 mg kg<sup>-1</sup> de fertilizante.

Segundo estudo de Portela et al. (2010), níveis mais elevados de manganês extraível podem propiciar o aparecimento de deficiência de magnésio no castanheiro.

Portanto, tendo em conta que nos anos seguintes, 2016 e 2017, as concentrações de manganês baixaram, mas continuaram muito próximas do limite superior de suficiência no ensaio de Meixedo, é importante ter cautela na aplicação deste fertilizante devido ao efeito acumulativo para evitar toxicidade de manganês, principalmente em casos como do ensaio de Meixedo, onde mesmo no tratamento controle as concentrações de manganês são elevadas.

Tabela 8 - Concentração dos nutrientes nas folhas nos anos de 2015 a 2017 no ensaio de Moimenta. Na coluna, médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes pelo teste Tukey ( $\alpha = 0,05$ ).

Tratamento	2015			
	Cu	Fe	Zn	Mn
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----			
<b>Controle</b>	4,70 bc	133,05 b	28,49 b	677,58 a
<b>Humix 13:03:05</b>	7,51 a	139,65 ab	31,44 ab	861,69 a
<b>Exactyon 06:15:08</b>	5,28 abc	163,73 a	37,66 a	873,15 a
<b>Biocaspe 05:14:07</b>	4,22 c	140,30 ab	35,54 ab	708,10 a
<b>Exactyon 18:05:13</b>	7,10 ab	163,67 a	30,73 ab	869,95 a
<b>CV (%)</b>	16,71	7,27	8,13	11,92
	2016			
<b>Controle</b>	6,58 ab	53,96 a	29,42 a	612,13 a
<b>Humix 13:03:05</b>	6,48 ab	56,75 a	24,96 a	990,08 a
<b>Exactyon 06:15:08</b>	6,68 ab	59,11 a	30,35 a	638,77 a
<b>Biocaspe 05:14:07</b>	6,15 b	63,89 a	28,04 a	960,84 a
<b>Exactyon 18:05:13</b>	7,73 a	69,28 a	34,02 a	1054,90 a
<b>CV (%)</b>	6,76	12,50	22,67	18,83
	2017			
<b>Controle</b>	9,19 a	160,62 ab	33,34 b	664,91 ab
<b>Humix 13:03:05</b>	9,59 a	146,53 ab	26,18 c	555,73 bc
<b>Exactyon 06:15:08</b>	10,37 a	124,19 b	40,65 a	599,01 b
<b>Biocaspe 05:14:07</b>	9,50 a	156,93 ab	32,38 bc	831,37 a
<b>Exactyon 18:05:13</b>	10,60 a	168,05 a	33,87 b	363,16 c
<b>CV (%)</b>	6,84	9,38	7,06	11,50

\*Médias seguidas por letras distintas na coluna significa diferença entre os tratamentos pelo Teste de Tukey ( $\alpha 0,05$ ).

Embora ocorreram diferenças significativas, as mesmas apresentam pouco relevância, ao ponto de vista que todas as concentrações foliares se encontraram dentro do intervalo de suficiência, exceto as concentrações foliares de manganês no ensaio de Meixedo, que existe a possibilidade de ocorrência de toxicidade.

## 5.4.2 Boro

Devido aos elevados estudos com relatos sobre deficiência de boro nos solos da região norte de Portugal, os resultados das concentrações foliares de boro são apresentados na figura 17, da mesma forma que macronutrientes foram apresentados. Houve efeito significativo dos tratamentos fertilizantes em ambos os ensaios, exceto no ano de 2015 no ensaio de Meixedo.

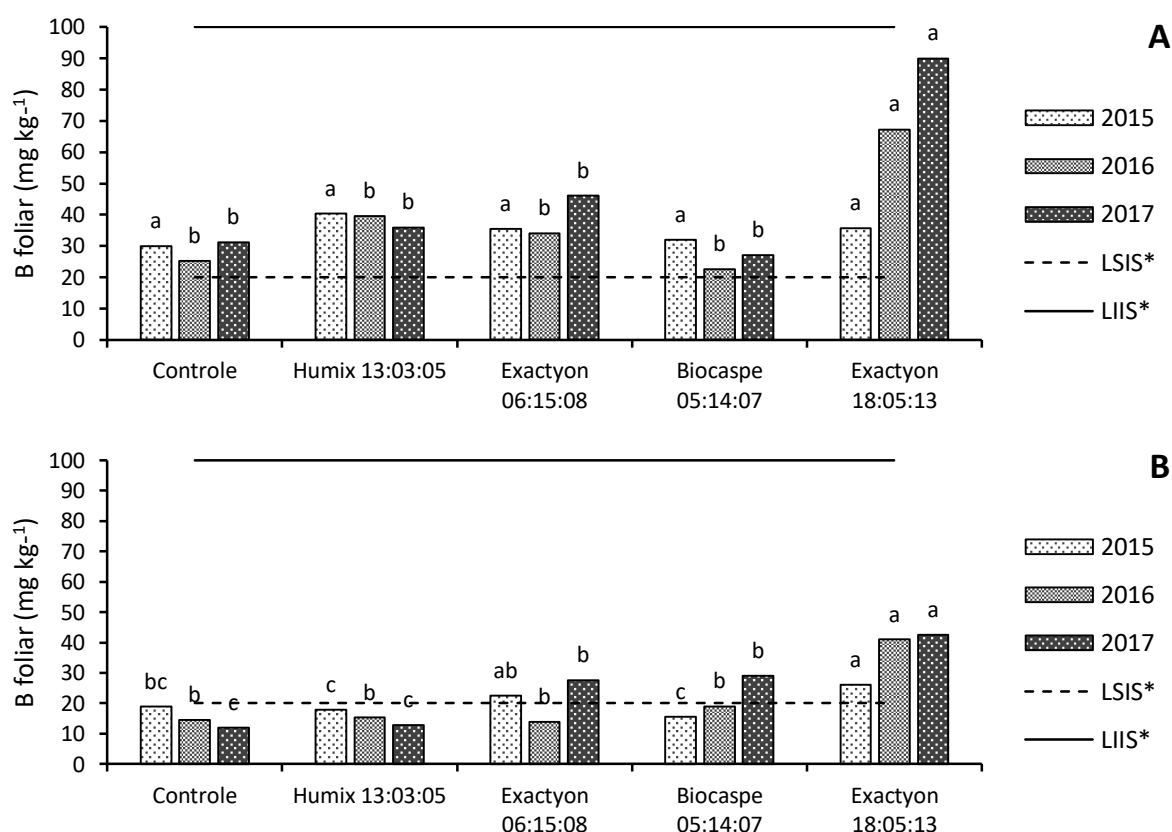


Figura 17 - Concentração de boro nas folhas expressa na matéria seca no mês de julho de 2015, 2016 e 2017 no ensaio de Meixedo (A) e Moimenta (B). Letras distintas sobre as colunas significa diferença entre os tratamentos pelo teste Tukey ( $\alpha = 0,05$ ). \*LSIS – Limite superior do intervalo de suficiência \*LIIS – Limite inferior do intervalo de suficiência.

No ensaio de Moimenta, as concentrações foliares de boro apresentaram-se abaixo do limite inferior do intervalo de suficiência de  $20 \text{ mg kg}^{-1}$ . A menor concentração foliar de boro foi observada no tratamento controle no ano de 2017, com concentração de  $12,05 \text{ mg kg}^{-1}$ . Os resultados encontrados corroboram com o estudo de Margarida et al. (2018), onde cerca de 40% das análises foliares da região norte de Portugal apresentaram concentrações foliares de boro abaixo de  $20 \text{ mg kg}^{-1}$ . Novamente o fertilizante Exactyon 18:05:13 resultou nas maiores concentrações foliares de boro e com efeito significativo em relação ao tratamento controle já no

primeiro ano, as concentrações foliares foram 26,08 mg kg<sup>-1</sup> em 2015 e 41,00 mg kg<sup>-1</sup> em 2016 e 42,58 mg kg<sup>-1</sup> em 2017.

De acordo com a ficha técnica dos fertilizantes, apenas os fertilizantes Humix 13:03:05 e Exactyon 18:05:13 contêm boro na composição, sendo 100 e 6400 mg kg<sup>-1</sup> de fertilizante, respectivamente. Portanto, a elevada concentração de boro no fertilizante Exactyon 18:05:13, justifica as maiores concentrações foliares de boro. Sendo assim, o fertilizante Exactyon 18:05:13 demonstra-se eficaz e recomendado para aplicação em solos com baixos teores boro.

## 5.5 ATIVIDADE DA FOSFATASE ÁCIDA

Foram observadas diferenças significativas na atividade da fosfatase ácida nas camadas 0-10 cm e 10-20 cm no ensaio de Meixedo. Não houve diferenças significativas entre tratamentos na atividade da fosfatase ácida no ensaio de Moimenta. Quando calculada a média entre as três camadas (0-30 cm) também não houve efeito significativo dos tratamentos em ambos os ensaios. A atividade da fosfatase ácida diminui conforme aumentou a profundidade em ambos os ensaios e a média da atividade fosfatase ácida foi mais alta no ensaio de Meixedo em todas as profundidades.

No ensaio de Meixedo na camada 0-10 cm, o tratamento fertilizante Humix 13:03:05 apresentou a maior atividade da fosfatase ácida (567,67 mg *p*-nitrofenol kg<sup>-1</sup> solo h<sup>-1</sup>), seguido do tratamento fertilizante Biocaspe 05:14:07 (482,48 mg *p*-nitrofenol kg<sup>-1</sup> solo h<sup>-1</sup>) e Exactyon 18:05:13 (476,74 mg *p*-nitrofenol kg<sup>-1</sup> solo h<sup>-1</sup>), os quais diferenciaram-se do tratamento Exactyon 06:15:08 e do controle (figura 18A). Na camada 10-20 cm, o tratamento fertilizante Exactyon 18:05:13 apresentou a maior atividade da fosfatase ácida (409,29 mg *p*-nitrofenol kg<sup>-1</sup> solo h<sup>-1</sup>), seguido do fertilizante Biocaspe 05:14:07 (391,78 mg *p*-nitrofenol kg<sup>-1</sup> solo h<sup>-1</sup>) e Exactyon 06:15:08 (310,85 mg *p*-nitrofenol kg<sup>-1</sup> solo h<sup>-1</sup>), diferenciando-se do tratamento Humix 13:03:05 e do controle. Os tratamentos fertilizantes não influenciaram a atividade da enzima fosfatase ácida no ensaio de Moimenta (figura 18B).

A altitude mais elevada de Moimenta (960 m) em relação a Meixedo (735 m), pode explicar o fato da atividade da fosfatase ácida ser menor. Não se registraram as temperaturas nos locais distintos. No entanto, é possível pressupor que a temperatura em Moimenta seja menor devido a altitude mais elevada, resultado em menor

atividade biológica em geral. Conforme referido por Margalef et al. (2017), a atividade da fosfatase ácida aumenta com a temperatura.

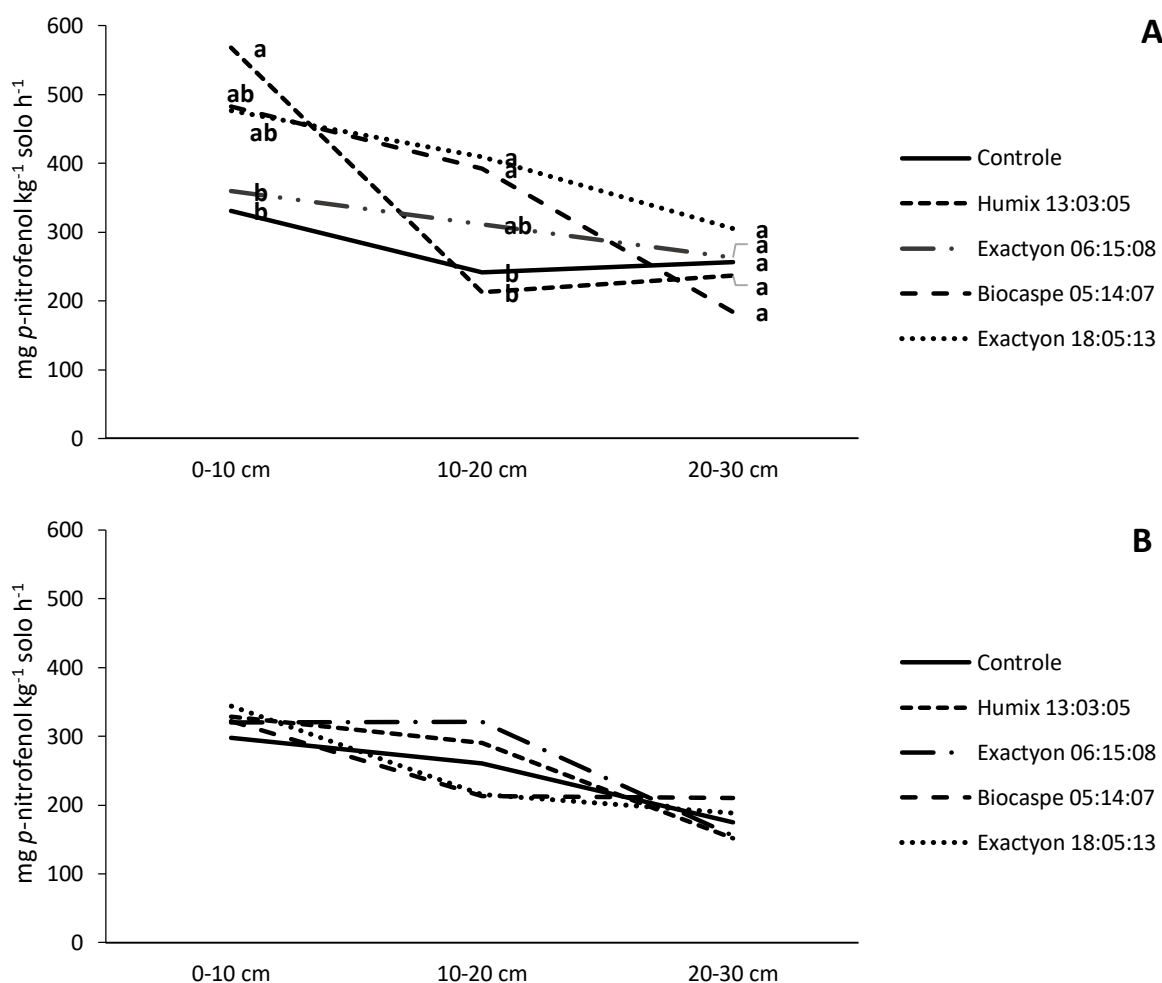


Figura 18 - Atividade da fosfatase ácida no solo em Meixedo (A) e Moimenta (B) em função da profundidade do solo. Letras distintas sobre as colunas significa diferença entre os tratamentos pelo teste Tukey ( $\alpha = 0,05$ ).

O fato da atividade microbiana ser menor com o aumento da profundidade, pode ser atribuído a menor disponibilidade de oxigênio, explicando a redução da atividade da fosfatase ácida conforme aumento de profundidade. O efeito mais gradual da redução da atividade da fosfatase ácida no ensaio de Moimenta em relação ao ensaio de Meixedo, pode ser atribuído ao manejo do solo. Em Meixedo o manejo do solo é cobertura vegetal com vegetal natural e Moimenta é realizado o manejo convencional (revolvimento do solo), resultando em maior acúmulo de matéria orgânica na camada superficial, que pode estar correlacionado com a maior atividade biológica, assim como a atividade na fosfatase ácida.

De acordo com Margalef et al. (2017), a fração fósforo orgânico é a mais importante na previsão da atividade da fosfatase ácida. Esta afirmação pode explicar o estímulo mais elevado do fertilizante Humix 13:03:05 (camada 0-10 cm no ensaio de Meixedo), que não sofreu incorporação dos fertilizantes e apresenta mais fósforo orgânico, pois tem 80% de matéria orgânica em sua composição.

## 5.6 PRODUTIVIDADE

Em rigor não houve diferença significativa a 5% para a produção de castanha em todos anos avaliados, na média dos anos e na produção acumulada (tabela 9). Embora seja possível identificar efeito dos tratamentos fertilizantes em relação ao controle sobre os valores médios obtidos de produção acumulada, o efeito significativo não é comprovado, provavelmente devido a heterogeneidade das áreas de ensaio, que resultou em elevada variabilidade experimental, com coeficiente de variação 31,65% em Meixedo e 46,23% em Moimenta (tabela 9).

Tabela 9 - ANOVA com quadrado médio do erro para a produção de castanha nos anos 2015, 2016, 2017, média da produção e produção acumulada.

Meixedo					
Fonte de variação	2015	2016	2017	Média anos	Acumulado
Tratamento	25,56 <sup>ns</sup>	14,93 <sup>ns</sup>	-	8,85 <sup>ns</sup>	35,43 <sup>ns</sup>
CV (%)	39,39	31,31	-	31,65	31,65
Média geral	27,27	12,87	-	20,06	40,13
Moimenta					
Tratamento	79,96 <sup>ns</sup>	198,83 <sup>ns</sup>	347,65 <sup>ns</sup>	137,18 <sup>ns</sup>	1231,98 <sup>ns</sup>
CV (%)	39,86	49,02	74,99	46,23	46,23
Média geral	14,98	26,67	17,22	19,62	58,88

-: não avaliado. \*: significativo a 5 % de probabilidade de erro. ns: não significativo a 5 % de probabilidade de erro.

No ensaio de Meixedo (figura 19A), o tratamento controle produziu 3588 kg ha<sup>-1</sup> (2015) e 1923 kg ha<sup>-1</sup> (2016), produtividade muito superior à média nacional (750 kg ha<sup>-1</sup>), demonstrando ser um soute conduzido em boas condições. A maior produtividade entre os tratamentos fertilizantes foi do Biocaspe e Exactyon 06:15:08 (4680 kg ha<sup>-1</sup>) em 2015 e do Humix (2547 kg ha<sup>-1</sup>) em 2016.

No ensaio de Moimenta (figura 19B) a produtividade também foi superior à média nacional, mesmo no tratamento controle. Em todos os anos avaliados os

tratamentos fertilizantes obtiveram médias de produtividade superior ao controle. O fertilizante Exactyon 18:05:13 destacou-se entre os demais nos anos 2016 e 2017, com produtividade de 5979 kg ha<sup>-1</sup> e 5538 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Ressalta-se a produção de castanha no de 2017 sobre efeito do fertilizante Exactyon 18:05:13, que mesmo sobre severas condições de estresse hídrico (figura 5), obteve boa produtividade.

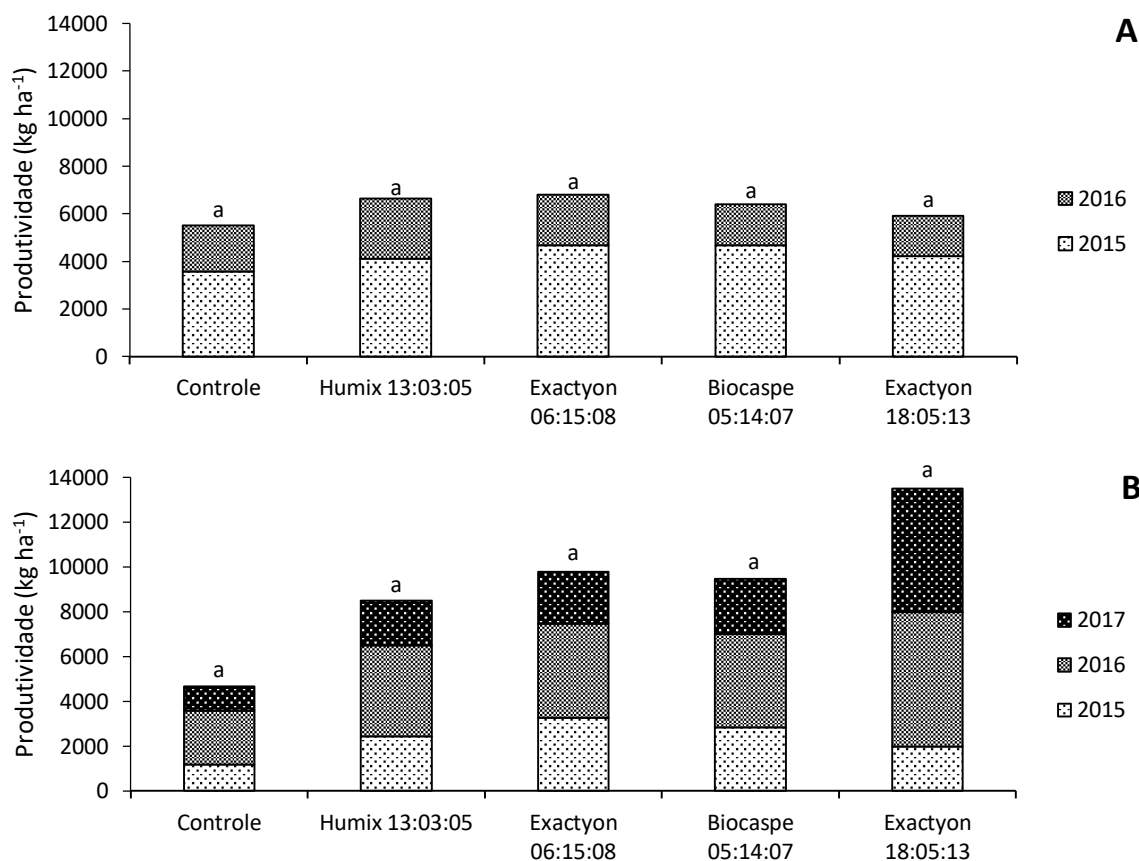


Figura 19 - Produtividade acumulada de castanha em 2015 e 2016 no ensaio de Meixedo (A) e em 2015, 2016 e 2017 no ensaio de Moimenta (B). Bragança, junho de 2018. As letras sobre as colunas são o resultado da análise de variância ( $P < 0,05$ ) para a produção total acumulada.

O fertilizante Exactyon 18:05:13 que possui as maiores concentrações de nitrogênio, potássio e boro entre os fertilizantes, destacou-se dos demais na produção acumulada. Os resultados corroboram com os estudos de Arrobas et al. (2018), que descrevem estes três elementos como os mais limitantes na produtividade do castanheiro.

A produção acumulada do fertilizante Exactyon 18:05:13 nos três anos de ensaio foi de 13505 kg ha<sup>-1</sup>, e a segunda maior produção acumulada foi do fertilizante Exactyon 06:15:08 com 9791 kg ha<sup>-1</sup>. Desta forma, a diferença de produção acumulada (três anos) entre a maior produtividade e a segunda maior produtividade

foi de 3714 kg ha<sup>-1</sup>. Os demais tratamentos fertilizantes resultaram em produtividade média superior ao controle, no entanto, as produtividades foram similares ao tratamento fertilizante Exactyon 06:15:08, com produtividade acumulada próxima de 9000 kg ha<sup>-1</sup>.

Portanto, na avaliação do efeito acumulado de produtividade, todos os fertilizantes começaram a destacar do controle sem adubação. O efeito dos fertilizantes foi mais pronunciado no ensaio de Moimenta, e o fertilizante Exactyon 18:05:13 parece começar a destacar-se.

## 6 CONCLUSÕES

Em relação as características químicas do solo, os efeitos mais relevantes foram observados na diferença de manejos dos pomares ao invés dos tratamentos fertilizantes. O ensaio de Meixedo, conduzido com manejo de não revolvimento do solo apresentou teores de nutrientes e matéria orgânica mais concentrados na camada superficial, enquanto que no ensaio de Moimenta conduzido em manejo convencional resultou em teores de nutrientes e matéria orgânica distribuindo no perfil do solo até 30 cm.

Com base na avaliação do estado nutricional das árvores e no limite inferior do intervalo de suficiência, os elementos nitrogênio e boro demonstram ser os mais limitantes na cultura do castanheiro.

Houve efeito dos fertilizantes sobre a atividade da fosfatase ácida no ensaio de Meixedo até à profundidade de 20 cm e o fertilizante orgânico Humix 13:03:05 (com 80% de matéria orgânica), estimulou a atividade da fosfatase ácida na camada 0-10 cm no ensaio de Meixedo. Embora não tenha havido efeito na concentração foliar de fósforo neste estudo, possivelmente devido aos teores iniciais de fósforo no solo em ambos os ensaios serem médios e altos, o fertilizante orgânico Humix 13:03:05 pode ser uma boa opção em solos com baixos teores de fósforo para estimular a atividade da fosfatase ácida.

Em rigor não houve efeito dos fertilizantes sobre a produção acumulada de castanha. No entanto, todos os fertilizantes começaram a destacar-se do controle sem fertilização. O ensaio de Moimenta foi mais responsivo ao efeito dos fertilizantes, e o fertilizante com maior quantidade de nitrogênio, potássio e boro (Exactyon 18:05:13) parece começar a destacar-se.

À partida, parece que a quantidade de elementos presentes nos fertilizantes é mais relevante que a forma ou técnica de liberação dos nutrientes. No entanto, os ensaios devem ser mantidos para avaliar o efeito a longo prazo dos fertilizantes e devem ser realizados novos ensaios com tratamentos que permitam avaliar de melhor forma a técnica de liberação dos nutrientes.

## REFERÊNCIAS

- Abreu, C.G. (2007). Castanheiros: Origem e dispersão do castanheiro pelo Mundo. Programa Agro 499. Vila Real. ISBN: 978-972-669-844-9.
- Adeli, A.; Dabney, S. M.; Tewolde, H.; Jenkins, J. N. (2017). Effects of tillage and broiler litter on crop productions in an eroded soil. *Soil & Tillage Research*, 165, p 198–209.
- Agustí, M. (2010). Fruticultura. Universidad Politécnica. Valencia. Mundi-Prensa. P. 388 - 395. ISBN 978-84-8476-398-7.
- Alef, K. & Nannipieri, P. (1995). Phosphatase activity: Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry. Alef, K; Nannipieri, P; Trazar-Cepeda, C. Editora, Academic Press.
- Amberger, A. (1996) Pflanzenernährung (Plant Nutrition). 4th Edition. (German) Uni-Taschenbücher 846, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, Germany.
- AREFLH - Assemblée des Régions Européennes Fruitières, Légumières et Horticoles. (2017). Chestnut in Europe – Limiting the decline of the European chestnut. Eurochestnut Group.
- Arrobas, M.; Afonso S.; Rodrigues M. A. (2018). Diagnosing the nutritional condition of chestnut groves by soil and leaf analyses. *Scientia Horticulturae* 228 113-121.
- Arrobas, M.; Afonso, S.; Ferreira, I. Q.; Moutinho-Pereira, J.; Carlos M. Correia, C. M.; Rodrigues, M. A.; (2017). Liming and application of nitrogen, phosphorus, potassium, and boron on a young plantation of chestnut. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 41: 441-451.
- Association of American Plant Food Control Officials (AAPFCO). Statements of uniform interpretation and policy. 2018. Disponível em: <http://www.aapfco.org/pdf/suip.pdf>. Acesso em: 09 mar. 2018.
- Azevedo, E. J. V.; (2014). Resposta do castanheiro à aplicação de fertilizantes ao solo. Dissertação em Agroecologia. Bragança, Portugal.
- Bley, H. (2015). Liberação, nutrição de plantas e lixiviação de potássio de fertilizante revestido. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre (RS).
- Bloem, J.; Hopkins, D. W.; Benedetti, A. (2006). Microbiological methods for assessing soil quality. CAB international. London, UK. p. 307.
- Borges, O.; Raimundo, F.; Coutinho, J.; Gonçalves, B.; Oliveira, I.; Martins, A.; Madeira, M. (2017). Carbon fractions as indicators of organic matter dynamics in chestnut orchards under different soil management practices. *Agroforest Syst.* DOI 10.1007/s10457-017-0088-3.

Bortolini, D.; Cassol, L. C.; Piva, J. T.; Bosi, C.; Rocha, K. F. (2016). Surface applied lime dynamics and base saturation index in a consolidated no-tillage area. *Comunicata Scientiae, Bom Jesus*, v.7, n4, p473-485, out./dez. 2016.

Bremner, John. M. Nitrogen-Total. In: *Methods of soil analysis. Part 3, Chemical methods- SSSA (1996). Soil Science Society of America Book Series. Book Series nº 5. pp. 1085-1122.*

Bünemanna, E. K.; Bongiornoa, G.; Baic, Z.; Creamer, R. E.; Deynb, G.D.; Goede, R.; Fleskens, L.; Geissen V.; Kuyper, T. W.; Mädera, P.; Pulleman, M.; Sukkelf, W.; Groenigenb, J. W. G.; Brussaard, L. (2018). Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry* 120 105–125.

Cardoso, J.F. e Pereira, M.P. (2007). *Castanheiros: O castanheiro de fruto em Portugal. Programa Agro 499. Vila Real. ISBN: 978-972-669-844-9.*

Código de boas práticas agrícolas (2018). Ministério da Agricultura, Florestas e Desenvolvimento Rural. Despacho nº 1230/2018. *Diário da Republica*, 2º - N 25 – 5 de fevereiro de 2018.

Conceição, P. C.; Amado, T. J. C.; Mielniczuk, J.; Spagnollo, E. (2005). Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.777-788.

Costa, R; Ribeiro, C; Valdivieso, T; Afonso, S. (2008). *Variedades de Castanha das Regiões Centro e Norte de Portugal. Projeto Agro 488. Instituto Nacional dos Recursos Biológicos, I.P INRB, I.P. ISBN 978-989-95658-2-1.*

Decreto-Lei n.º 103/2015 de 15 de junho. Ministério da Economia. *Diário da República*, 1.ª série — N.º 114 — 15 de junho de 2015.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <http://faostat.fao.org/>. Acesso em: 17 mar. 2018.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <http://www.fao.org/tc/exact/sustainable-agriculture-platform-pilot-website/nutrients-and-soil-fertility-management/en/>. Acesso em: 09 de mai. 2018.

Figueiredo, T. A. F. R. (2012). *Pedregosidade dos Solos em Trás-os-Montes: importância relativa e distribuição espacial. Instituto Politécnico de Bragança. ISBN 978-972-745-135-7.*

Fórum Florestal - Estrutura Federativa da Floresta Portuguesa (s.d.). *Estudo Económico de Desenvolvimento da Fileira da Castanha. Disponível em: http://forumflorestal.pt/projectos/siac/fileira-da-castanha/*. Acesso em: 15 mar. 2018.

INE, (2016). *Estatísticas Agrícolas. Instituto Nacional de Estatística, I.P. ISBN 978-989-25-0395-0.*

INE, (2018). *Boletim Mensal de Estatística: Janeiro. Instituto Nacional de Estatísticas 2018, I.P. ISSN 0032-5082.*

INIAP – Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva (2005). Manual de fertilização das culturas. Apartado 3228 – 1301-9003 Lisboa.

International Organization for Standardization. ISO 18644:2016. Fertilizers and soil conditioners - Controlled-release fertilizer – General requirements Disponível em: <https://www.iso.org/standard/63125.html>. Acesso em: 05 mar. 2018.

International Organization for Standardization. ISO 21263:2017. Slow-release fertilizers -- Determination of the release of the nutrients -- Method for coated fertilizers. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/70327.html>. Acesso em: 05 mar. 2018.

International Plant Nutrition Institute (IPNI). Modules and Case Studies for the 4R Plant Nutrition Manual. Disponível em: <http://www.ipni.net/publication/4rmanual.nsf>. Acesso em: 05 mar. 2018.

Kiehl, E. J. (2010) Novo fertilizantes orgânicos. Piracicaba. p 248.

Lakanen, E.; Ervio, R. (1971). A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils. *Accta Agr. Fenn* (123), p. 223-232

Laranjo, J. G. (2013). A fileira da castanha em Portugal: uma fileira de oportunidades. *Agrotec – Revista técnico científica agrícola*. Nº 8. ISSN:2182-4401. Publindústria. Porto. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10316.2/33570>. Acesso em: 11 mai. 2018.

Laranjo, J.G.; Coutinho, J.P.; Peixoto, F.; Alves, J.A. (2007). Castanheiros: Ecologia do castanheiro (*C. sativa* Mill.). Programa Agro 499. Vila Real. ISBN: 978-972-669-844-9.

Laranjo, J.G.; Peixoto, F.; Cardozo, J.F. (2009) – Castanheiro, Técnicas e Práticas, Pupilo Consulting – Industria Criativa & Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real.

Li, J.; Ramirez, G. H.; Kiani, M.; Quideau, S.; Smit, E.; Janzen, H. (2018). Francis Larney, and Dick Puurveen Li Soil organic matter dynamics in long-term temperate agroecosystems: rotation and nutrient addition effects. *Can. J. Soil Sci.* 98: 232–245.

Lopes, A. S. E Guilherme, L. R. G. (2007). Fertilidade do solo. Departamento de Ciência do Solo. Universidade Federal de lavras – UFLA.

MADRP - Ministério da Agricultura do Desenvolvimento Rural e das Pescas. (2007) Castanha – Sub-Fileira: Castanha. p. 17.

MAP – Ministério da Agricultura e Pescas, Laboratório Químico-Agrícola Rebelo da Silva. (1977) Sector Fertilidade do Solo. Documentação 2. D.G.S.A.

Margalef, O.; Sardans, J.; Fernández-Martínez, M.; Molowny-Horas, R.; Janssens, I.A.; Ciais, P.; Goll, D.; Richter, A.; Obersteiner, M.; Asensio, D.; Peñuelas J. (2017). Global patterns of phosphatase activity in natural soils. *Scientific Reports* 7: 1337.

Paiva, J. (2007). Árvores e florestas de Portugal. Do castanheiro ao Teixo. As outras espécies florestais. Público, Volume 5. Lisboa.

- Pereira, G. S. T. (2015). Incidência do Cancro do Castanheiro e estrutura populacional de *Cryphonectria parasítica* (Murrill) M.E. Barr na região do Entre Douro e Minho. Mestrado em Agricultura Biológica. Instituto Politécnico de Viana do Castelo.
- Pinto, T.; Anjos, R; Laranjo, J.G (2007). Castanheiros: Caracterização biológica: folha, caule, raiz, flor e fruto. Programa Agro 499. Vila Real. ISBN: 978-972-669-844-9.
- Portela, E. A. C.; Ferreira-Cardoso, J. V.; Louzada, J. L. (2011). Boron application on a chestnut orchard: effect on yield and quality of nuts. *Journal of Plant Nutrition*. 34:1245–1253.
- Portela, E., Louzada, J.L. (2012). Early diagnosis of boron deficiency in chestnut. *J. Journal of Plant Nutrition*. 35:2 304–310.
- Portela, E., Vale, R., Abreu, M.M. (2015). Carências de boro no interior – norte e centro – de Portugal. *Revista Ciências Agrárias* 38 (4): 484–517.
- Portela, E.; Martins, A.; Pires A. L.; Raimundo, F.; Marques, G.; (2007) Castanheiros - Práticas culturais no souto: o manejo do solo. ISBN: 978-972-669-844-9.
- Portela, E.; Pires, C. C.; Louzada, J. (2010). Magnesium deficiency in chestnut groves: the influence of soil manganese. *Journal of Plant Nutrition*, 33:452–460.
- Raimundo, F.; Coutinho, J.; Martins, A. Madeira, M. (2015). Soil management system effects on N availability and tree productivity in chestnut plantations under Mediterranean conditions. *Revista de Ciências Agrárias*, 38(4): 547-563 547.
- Rodrigues, M. A.; Santos, H.; Ruivo, S.; Arrobas, M. (2010). Slow-release N fertilisers are not an alternative to urea for fertilisation of autumn-grown tall cabbage. *Europ. J. Agronomy* 32 137–143.
- Santos, J. Q. (2015). Fertilização: Fundamentos agroambientais da utilização dos adubos e corretivos. Publindústria, edições técnicas, Porto.
- Santos, V. M./ Maia, L. C. (2013). Bioindicadores de qualidade do solo. *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica*, Recife, vol. 10, p.195-223.
- Scherer, E. E.; Spagnollo, E. (2014). Propriedades químicas do solo e produtividade de milho e feijão no sistema orgânico com uso de diferentes fontes de adubo. *Revista Agropecuária Catarinense*, Florianópolis, v.27, n.1, p.76-79.
- Shaviv, A. (2005). Controlled Release Fertilizers. IFA International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers, Frankfurt. International Fertilizer Industry Association Paris, France.
- Timilsena, Y. P.; Adhikari, R.; Casey, P.; Muster, T.; Gilla, H.; Adhikaria, B. (2014) Enhanced efficiency fertilisers: a review of formulation and nutrient release patterns. Society of Chemical Industry. *J Sci Food Agric*.
- Trenkel, M.E. (2010). Slow and controlled-release and stabilized fertilizers: An option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture. Paris: International Fertilizer Industry Association. Paris, France.

Ullmann's Agrochemicals (2007). Vol. 1. Wiley – VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. ISBN 978-3-527-31604-5.

Van Reeuwijk. (2002). Procedures for soil analysis. Sixth edition. ISRIC. FAO

Varma, A.; Oelmuller, R. (2007). Advanced Techniques in Soil Microbiology. Springer, Verlag Berlin Heidelberg. p. 427.

Waldrip, H. M.; He, Z.; Erich, M. S. (2011). Effects of poultry manure amendment on phosphorus uptake by ryegrass, soil phosphorus fractions and phosphatase activity. Biol Fertil Soils 47:407–418.

Walinga, I. Van vark, W. Houba, V. J. G. Van Der Lee, J. J. (1989). Soil and Plant analysis. Part 7, Plant Analysis Procedures. Departament of soil science and plant nutrition. p. 263

Weil, R. R.; Brady, N.C. (2017). The nature and properties of soils. 15<sup>th</sup> Edição. Pearson Education Limited. England.