

**Desenvolvimento da parte aérea e radicular de plantas jovens de
oliveira após a aplicação de micorriza comercial**

Douglas Forcelini

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do
Grau de Mestre em Agroecologia no âmbito da dupla diplomação com a Universidade
Tecnológica Federal do Paraná campus Pato Branco*

Orientado por

Manuel Ângelo Rodrigues

Coorientadores

Margarida Maria Pereira Arrobas Rodrigues

Instituto Politécnico de Bragança

Luís César Cassol

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Bragança

2020

Agradecimentos

Agradeço a Deus pelo dom da vida, pela saúde, pela força, por me permitir estar aqui trilhando este caminho e pelos aprendizados que essa experiência me proporcionou. Também agradeço a Nossa Senhora de Aparecida, por sempre zelar por mim e pela minha família.

A minha família, principalmente a meus pais e minha irmã. Por todo o amor, incentivo e suporte. Por mesmo longe serem tão presentes na minha vida, por não medirem esforços para me ajudar a seguir meus sonhos e pelo amparo nos momentos difíceis.

Aos meus amigos pelo carinho, lealdade e parceria. Por compartilharmos sonhos, ambições, conselhos, ideias, dificuldades e conquistas, tornando esse percurso mais divertido e fazer valer a pena.

As instituições Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR campus Pato Branco e ao Instituto Politécnico de Bragança, que possibilitaram essa dupla diplomação e tantas outras oportunidades. Também agradeço a todos os professores que contribuíram com minha formação profissional, em especial a meus orientadores Manuel Ângelo Rodrigues, Margarida Arrobas e Luís César Cassol.

Agradeço também a Rita Diz, Ana Pinto, David Cabral, Soraia Raimundo e Sandra Afonso por todo apoio prestado e auxílio em realização das análises e a todos aqui não citados que de forma direta ou indireta auxiliaram a conclusão deste trabalho.

Muito obrigado!

Resumo

O desenvolvimento da oliveira (*Olea europaea* L.) é influenciado por diversos fatores, como clima, disponibilidade de água, solo, nutrientes, entre outros. Relativamente a isso se faz importante o estudo de novas práticas e tecnologias, uma vez que a cultura da oliveira exerce grande influência na economia de Portugal. Com a necessidade atual de uma agricultura mais sustentável, de forma a encontrar alternativas aos fertilizantes sintéticos e reduzir o impacto ambiental causado pelo mau uso dos mesmos, a utilização de biofertilizantes tem se mostrado uma boa alternativa aos fertilizantes minerais, contribuindo para a ciclagem de nutrientes no solo e para a manutenção da sua fertilidade a longo prazo. Diante dos fatos expostos, este trabalho teve por objetivo avaliar a influência da aplicação de um produto comercial contendo micorrizas sobre a biodisponibilidade de nutrientes para plantas jovens de oliveira, como também sobre seu desenvolvimento ao longo de dois anos após o plantio. O experimento decorreu em vasos, em casa de vegetação e sob rega controlada, nas estufas do Instituto Politécnico de Bragança, região nordeste de Portugal. Foram realizados sete tratamentos (micorriza; 3% NPK; 3% NPK + 3% N; 3% NPK + 3% P; 3% NPK + 3% K; 3% NPK + micronutrientes; Testemunha), com três repetições, sob delineamento experimental casualizado. As plantas foram coletadas, separadas em folhas, caules e raízes e levadas a estufa, até atingirem peso constante, pesadas, moídas, para determinação da biomassa produzida e avaliação da composição elementar dos tecidos. Amostraram-se os solos dos diferentes tratamentos para determinação de diversos parâmetros de fertilidade. Observaram-se diferenças significativas para uma das duas análises de fluorescência da clorofila. Na produção de biomassa foram encontradas diferenças mais expressivas nas concentrações de macro micronutrientes dos caules e folhas, como também para as análises acerca de nutrientes nos tecidos. Nos solos observou-se tendência para aumento da biodisponibilidade de fósforo conferida pela micorriza comercial. De modo geral, a micorriza comercial mostrou boa atividade de nutrição quando comparada com a testemunha, em muitos casos se igualou aos tratamentos fertilizantes e em algumas situações específicas se mostrou superior aos demais tratamentos.

Palavras-chave: *Olea europaea* L.; agricultura sustentável; fertilidade do solo; biofertilizantes; fungos micorrízicos.

Abstract

Several factors are able to influence the growth and development of the olive tree (*Olea europaea* L.), such as climate, water availability, soil and fertilization. In this regard, the study of new practices and technologies is important, knowing that this crop has a great influence on the Portuguese economy. Also, with the current need for a sustainable agriculture, in order to find alternatives to synthetic fertilizers and to reduce the environmental impact caused by its misuse, the use of biofertilizers has shown to be a good agricultural alternative, contributing to the cycling of nutrients in the soil and the maintenance of its long-term fertility. Based on the exposed, this work aimed to evaluate the influence of the application of a commercial product containing mycorrhizal fungi on the bioavailability of nutrients for young olive plants, as well as on their development over two years. The experiment was conducted in pots, in a greenhouse, and under controlled irrigation conditions, in the Polytechnic Institute of Bragança, northeast region of Portugal. Seven treatments were performed (mycorrhizal fungi; 3% NPK; 3% NPK + 3% N; 3% NPK + 3% P; 3% NPK + 3% K; 3% NPK + micronutrients; control), with three replications, under a randomized experimental design. The plants were collected and separated into leaves, stems, and roots and then were processed to evaluate the biomass produced and the elemental composition of the tissues. The soils of different treatments were sampled to determine several soil fertility parameters. Significant differences were observed for one of the two chlorophyll fluorescence analyzes. For the biomass production, it was found more significant differences in the stems and leaves, as well for the nutritional analyzes in the tissues. In the soils, trend of increase was observed regarding the bioavailability of phosphorus conferred by the commercial mycorrhiza. In general, the commercial mycorrhiza showed good nutritional activity in comparison to the control. In many cases, it was equal to the fertilizer treatments and in some specific situations, it was superior to the other treatments.

key words: *Olea europaea* L.; sustainable agriculture; soil fertility; biofertilizers; mycorrhizal fungi.

Sumário

Agradecimentos	2
Resumo.....	3
Abstract	4
Lista de figuras	8
1. Introdução.....	11
2. Embasamento teórico	13
2.1. Oliveira	13
2.1.1 Origem e história.....	13
2.1.2 Adaptabilidade	13
2.1.3. Importância.....	14
2.1.4. Botânica e morfologia	14
2.1.5. Cultivar Cobrançosa.....	15
2.2. Agricultura sustentável	15
2.2.1. Problemas relativos ao mau uso de fertilizantes químicos.....	16
2.2.2. Agricultura biológica.....	17
2.3. O solo.....	18
2.3.1 Biologia do solo	19
2.3.2 Rizosfera.....	19
2.3.3 Matéria orgânica	20
2.4. Biofertilizantes	20
2.5. Fungos micorrízicos.....	21
2.5.1. Ectomicorrizas	23
2.5.2 Endomicorrizas	23
3. Material e métodos.....	24
3.1. Localização e caracterização do experimento.....	24

3.2. Análise de fluorometria de clorofila	26
3.3. Análises de solo	27
3.3.1. Determinação do pH.....	27
3.3.2 Determinação de matéria orgânica.....	28
3.3.3. Determinação do fósforo e potássio potencialmente disponíveis	28
3.3.4. Determinação do fósforo lábil	28
3.3.5. Capacidade de troca catiônica.....	29
3.3.6. Determinação de micronutrientes (boro, cobre, ferro, zinco e manganês).....	30
3.3.7. Atividade da fosfatase ácida	30
3.4. Análises dos tecidos vegetais	30
3.4.1. Determinação de nitrogênio.....	31
3.4.2. Determinação de boro	31
3.4.3. Determinação de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, ferro, zinco e manganês	32
3.5. Análise estatística dos dados	32
4. Resultados.....	33
4.1. Parâmetros de avaliação de atividade das clorofilas	33
4.2. Produção de matéria seca.....	34
4.3. Concentração de nutrientes nos tecidos	35
4.4 Nutrientes aparentemente recuperados	39
4.5 Resultados referentes as análises de solo.....	44
5. Discussão	48
5.1 Atividade das clorofilas	48
5.2 Produção de matéria seca.....	48
5.3 Concentração de nutrientes nos tecidos	49
5.4 Nutrientes aparentemente recuperados	51
5.5 Análise de solos.....	52

6. Conclusões.....	54
7. Referências bibliográficas	55

Lista de figuras

Figura 1. Localização das estufas e laboratórios.	24
Figura 2. Disposição dos tratamentos e aspecto das plantas na data 04/10/2019.....	25
Figura 3. Método de análise de fluorometria da clorofila.	27
Figura 4. Moinho FOSS CT 293 Cyclotec™.	31

Lista de tabelas

Tabela 1. Classificação botânica da oliveira (adaptado de Bacelar et al., 2009).....	14
Tabela 2. Parâmetros de fluorescência das clorofilas O (fluorescência basal), J (fluorescência a 2 μ s), I (fluorescência a 30 μ s), P e FM (fluorescência máxima), FV (fluorescência variável) e F0 (fluorescência mínima), determinados no dia 01/07/2019.	33
Tabela 3. Parâmetros de fluorescência das clorofilas O (fluorescência basal), J (fluorescência a 2 μ s), I (fluorescência a 30 μ s), P e FM (fluorescência máxima), FV (fluorescência variável) e F0 (fluorescência mínima), determinados no dia 21/08/2019.	34
Tabela 4. Produção média de matéria seca nas diferentes partes da planta (raízes, caules e folhas) e total em função do tratamento fertilizante.....	34
Tabela 5. Concentração de macronutrientes nas folhas em função do tratamento fertilizante.....	35
Tabela 6. Concentração de macronutrientes nos caules em função do tratamento fertilizante.....	36
Tabela 7. Concentração de macronutrientes nas raízes em função do tratamento fertilizante.....	37
Tabela 8. Concentração de micronutrientes nas folhas em função do tratamento fertilizante.....	37
Tabela 9. Concentração de micronutrientes nos caules em função do tratamento fertilizante.....	38
Tabela 10. Concentração de micronutrientes nas raízes em função do tratamento fertilizante.....	39
Tabela 11. Macronutrientes aparentemente recuperados nas folhas em função do tratamento fertilizante.	40
Tabela 12. Macronutrientes aparentemente recuperados nos caules em função do tratamento fertilizante.	40
Tabela 13. Macronutrientes aparentemente recuperados nas raízes em função do tratamento fertilizante.	41
Tabela 14. Micronutrientes aparentemente recuperados nas folhas em função do tratamento fertilizante.	41

Tabela 15. Micronutrientes aparentemente recuperados nos caules em função do tratamento fertilizante.	42
Tabela 16. Micronutrientes aparentemente recuperados nas raízes em função do tratamento fertilizante.	43
Tabela 17. Macronutrientes acumulados na totalidade da planta (folhas, caules e raízes) em função do tratamento fertilizante.	43
Tabela 18. Micronutrientes acumulados na totalidade da planta (folhas, caules e raízes).	44
Tabela 19. Resultados da análise de rotina dos solos em função dos tratamentos fertilizantes.	45
Tabela 20. Resultados das análises do complexo de troca em função do tratamento fertilizante.....	45
Tabela 21. Frações lábeis de fósforo no solo e atividade da fosfatase ácida em função do tratamento fertilizante.	46
Tabela 22. Teor de micronutrientes no solo em função do tratamento fertilizante.	47

1. Introdução

O desejo de se aplicar efetivamente a sustentabilidade na agricultura vem crescendo muito nos últimos anos, sendo constantemente alvo de debates, pesquisas, programas, e já é considerada uma necessidade, face ao grande impacto que a exploração agrícola tem sobre o meio ambiente.

Quando se refere ao termo agricultura sustentável, busca-se a longevidade da produção agrícola e reduzir o impacto causado por essa exploração através do uso de práticas e tecnologias ecológicas (Altieri, 2018).

Uma questão importante e que exerce bastante influência na sustentabilidade da produção agrícola é a dos tipos e fontes dos fertilizantes utilizados. Uma vez que o mau uso de fertilizantes sintéticos ao longo do tempo pode danificar severamente a biota do solo, causar alterações sobre a fertilidade natural a longo prazo e exercer influência nos atributos químicos e físicos dos solos, como também sua susceptibilidade a erosão e contaminação dos lençóis freáticos e rios (Sharma, 2005).

Sendo assim, os fertilizantes biológicos são uma boa resposta a fim de manter e aumentar a fertilidade dos solos, contribuir com nutrição das culturas de forma a substituir alguns dos fertilizantes sintéticos utilizados evitando o impacto ecológico negativo, por isso se faz importante o presente estudo, bem como as demais pesquisas com biofertilizantes para as culturas de interesse econômico para a população.

Como é o caso da oliveira, *Olea europaea* L., espécie de extrema importância e impacto no âmbito agrícola comercial da Europa e de toda a bacia do mediterrâneo, sendo que Portugal ocupa o quinto e o sexto lugar de produção mundial de azeitona de mesa e azeite de oliva respectivamente (Eurostat, 2018).

Diante destes fatos, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da aplicação de um produto comercial a base de micorrizas no desenvolvimento de plantas jovens de oliveira em um período de dois anos. E dentro disso os objetivos específicos foram: Avaliar o efeito da aplicação de um produto comercial a base de micorrizas na biodisponibilidade dos macronutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio; Avaliar o efeito da aplicação de um produto comercial a base de micorrizas na biodisponibilidade dos micronutrientes, boro, ferro, manganês, zinco e cobre; Avaliar o efeito da aplicação de um produto comercial a base de micorrizas nos teores de macro e

micronutrientes nas folhas, caules e raízes das plantas; E avaliar o efeito da aplicação de um produto comercial a base de micorrizas nas propriedades do solo.

2. Embasamento teórico

2.1. Oliveira

2.1.1 Origem e história

A oliveira (*Olea europaea* L.), nativa da parte oriental do Mediterrâneo, era cultivada na antiguidade pelos gregos, egípcios e romanos, além de outras civilizações, por seu fruto e seu azeite (Crisosto et al., 2011).

A domesticação da oliveira se deu entre os períodos paleolítico e neolítico. Acredita-se que possivelmente teve início na Mesopotâmia difundindo-se pela bacia do Mediterrâneo a partir do século VI a. C. (Reis, 2014). Os portugueses e espanhóis são considerados responsáveis pela introdução da cultura na América (Sibbet & Martin, 1994). A oliveira exerceu influência ao longo da história sobre a alimentação, saúde, arte, religião e cultura dos povos. Seus indícios estão presentes na mitologia grega, na Bíblia e no Alcorão (Reis, 2014).

2.1.2 Adaptabilidade

A oliveira é uma árvore rústica e de grande longevidade, que pode ser multiplicada facilmente por via vegetativa. O clima compatível para seu cultivo se encontra entre as latitudes 30° e 45° nos hemisférios norte e sul, em regiões de clima temperado com verões quentes e secos (Toscano et al., 2015).

Para que a árvore consiga quebrar a dormência e obter florescimento homogêneo é considerado imprescindível o acúmulo de frio. Abaixo dos 12,5 °C a oliveira cessa o crescimento, sendo ideal para seu desenvolvimento e frutificação normal temperaturas acima de 25 °C e abaixo de 35 °C. A atividade fotossintética é inibida quando as temperaturas ultrapassam os 35 °C, embora a planta consiga suportar temperaturas em torno de 40 °C sem sofrer queimaduras em seus ramos (Coutinho et al., 2009).

2.1.3. Importância

A oliveira é uma das culturas mais importantes da bacia do Mediterrâneo. Segundo Eurostat (2018), Portugal é o sexto maior produtor de azeitona de mesa, ficando atrás da Espanha, Turquia, Grécia, Itália e Albânia respectivamente. Também é o quinto maior produtor de azeite de oliva, sendo que o maior é a Espanha seguido da Itália, Turquia, Grécia e então Portugal.

2.1.4. Botânica e morfologia

Olea europaea L. é uma espécie de porte arbóreo que pertence à família Oleaceae (Crisosto et al., 2011). Sendo a única espécie das oleaceae que produz frutos comestíveis (Coutinho et al., 2015).

Entre as mais de 30 espécies de plantas que compõem o gênero *Olea*, destacam-se as oliveiras cultivadas, *Olea europaea* L. var. *europaea*, e os zambujeiros ou oliveiras bravas *Olea europaea* L. var. *sylvestris* Brot. (Monteiro, 1999). Na tabela 1 é apresentada a classificação botânica da oliveira.

Tabela 1. Classificação botânica da oliveira (adaptado de Bacelar et al., 2009).

Divisão	Spermatophyta
Subdivisão	Magnoliophytina (Angiospermae)
Classe	Magnoliopsida (Dicotyledoneae)
Subclasse	Lamiidae
Ordem	Oleales
Família	Oleaceae
Subfamília	Oleoideae
Tribo	Oleae
Gênero	<i>Olea</i>
Espécie	<i>Olea europaea</i> L.

O fruto da oliveira é a azeitona. Trata-se de uma drupa semelhante as demais frutas de caroço, consistindo em um carpelo (com a parede do ovário evoluindo para porções carnudas e secas), o exocarpo (o qual possui estômatos e é isento de pelos) e o endocarpo (envolvendo a semente) (Crisosto et al., 2011).

2.1.5. Cultivar Cobrançosa

Faz-se uma breve referência a cultivar Cobrançosa por ter sido utilizada neste estudo. A cultivar Cobrançosa é conhecida por ser uma das mais importantes e mais difundidas na região de Trás-os-Montes. Algumas características da cultivar são: árvores de porte médio com boa produtividade; e frutos com peso de aproximadamente 2,5 a 5 gramas de média e rendimento em azeite entre 18 e 22%. Apresenta também boa viabilidade para colheita mecanizada, com maturação concentrada e baixa queda natural de frutos. É uma cultivar de dupla aptidão, sendo destinada tanto para a produção de azeite como de azeitonas de conserva. Apresenta elevada resistência à gafa (*Colletotrichum spp.*) e à mosca da azeitona (*Bactrocera oleae*) e pouca susceptibilidade ao olho de pavão (*Spilocaea oleagina*) (DGPC, 2000).

2.2. Agricultura sustentável

É difícil de se definir com precisão o termo *agricultura sustentável*. O conceito está mais relacionado ao entendimento da aplicação da sustentabilidade na agricultura do que a um modo de produção agrícola com métodos e particularidades.

De acordo com Altieri (2018), geralmente quando se refere o termo agricultura sustentável, falamos sobre uma forma de agricultura que busca a longevidade da produção através do uso de práticas e tecnologias ecológicas.

A agricultura sustentável permite que o sistema de produção esteja em equilíbrio com o meio em que está inserido, de forma que não seja realizada uma extração dos recursos de solo e do ambiente maior do que sua capacidade de renovação ou que quando isso não seja possível que ao menos seja repostos de alguma forma, preferencialmente com recursos provenientes do próprio sistema ou das comunidades próximas, mantendo-se produtivo sob exploração a longo prazo.

Para isso, não se deve buscar apenas o aumento da produtividade de uma cultura em específico, mas buscar ampliar o entendimento, atentar para as perdas, desperdícios, manutenção dos recursos, buscar a melhoria do sistema como um todo e que o meio agrícola seja tratado como um ecossistema (Altieri, 2018).

A agricultura sustentável não leva em consideração apenas a sustentabilidade do meio ambiente, mas também do sistema social que depende da produção, de forma que sejam aplicadas medidas benéficas e viáveis para ambos (Altieri, 2018).

Dentro disso, o Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) (Ministério Federal de Cooperação e Desenvolvimento Econômico) fundado na Alemanha e hoje já presente em muitos países, elenca alguns pontos que compreendem a agricultura sustentável (BMZ, 2015), sendo este um modelo que:

- Enfatiza os métodos e processos que melhoram a produtividade do solo e minimizam os efeitos negativos ao solo, água, ar, clima, biodiversidade e saúde humana;
- Minimiza o uso de insumos proveniente de fontes não renováveis e produtos derivados de petróleo e apela à substituição pelos de recursos renováveis;
- Concentra-se na população local e suas necessidades, conhecimentos, habilidades, valores socioculturais e estruturas institucionais;
- Garante que os requisitos nutricionais básicos das gerações atuais e futuras sejam atendidos em termos de quantidade e qualidade;
- Oferece emprego de longo prazo, renda adequada e condições dignas de trabalho e vida para todos os envolvidos nas cadeias de valor agrícola;
- Reduz a vulnerabilidade do setor agrícola a condições naturais adversas, fatores socioeconômicos e outros riscos;
- Promove instituições rurais sustentáveis que incentivam a participação de todos os acionistas e promovem a reconciliação de interesses.

2.2.1. Problemas relativos ao mau uso de fertilizantes químicos

Dentro das diversas questões e problemáticas que remetem cada vez mais para a adoção de práticas sustentáveis nos meios de produção, a fim de se reduzir o impacto causado pela exploração agrícola no meio ambiente (como uso de produtos fitossanitários em excesso, erosão, entre outros), há a questão das fontes de fertilizantes adotadas.

Atualmente na agricultura discute-se a necessidade de reduzir o uso de fertilizantes químicos, devido ao seu impacto no meio ambiente, principalmente quando mal manejados ou aplicados em excesso. Por isso, buscam-se alternativas para a nutrição das

culturas, que sejam tão ou mais eficientes que a adubação química e que causem menos ou nenhum impacto ao meio ambiente, de forma a conciliar a nutrição de plantas com a sustentabilidade do ecossistema onde serão manejadas.

Sharma (2005) fala que o uso imprudente de fertilizantes sintéticos ao longo das décadas tem danificado severamente a biota do solo, a qual suporta a produção de culturas. Diz ainda, que os ganhos obtidos em produtividade com as variedades de alto rendimento associadas com grande uso de fertilizantes inorgânicos não podem ser mantidos por tempo indefinido, devido as alterações a longo prazo sobre a fertilidade natural dos solos, a diminuição do teor de matéria orgânica, como também seus atributos físicos e químicos.

Outra preocupação é sobre a dosagem de fertilizantes inorgânicos utilizados na agricultura, que acabam não sendo totalmente utilizados pela planta causando assim não somente o desperdício e gastos desnecessários por parte do produtor, como também a possível lixiviação do excedente, seja superficialmente ou pelo perfil de solo até fontes de água. O nitrogênio e o fósforo são exemplos de nutrientes que podem provocar a contaminação de lençóis freáticos e a eutrofização de rios (Sharma, 2005).

Rai (2016) refere que a poluição do meio ambiente proveniente da alta disponibilidade de nutrientes ocorre de forma direta, através do excesso e do mau manejo de fertilizantes, e de forma indireta, pela própria produção e transporte dos fertilizantes. Eventualmente a parte que é perdida durante esses processos acabará depositada nos ecossistemas terrestres onde por vezes causam alterações prejudiciais no meio.

2.2.2. Agricultura biológica

O sistema de *agricultura biológica* tem como objetivo manter o equilíbrio sobre a exploração agrícola com a sustentabilidade, de forma que as práticas empregadas para esse meio possam manter a biodiversidade, proporcionar o bem-estar animal, preservar os recursos naturais e fazer o possível para minimizar o impacto causado ao meio ambiente (DGADR, 2017).

A Direção Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural (DGADR) (2017), salienta ainda que dentro das práticas da agricultura biológica estão: o uso de processos mecânicos e práticas que empreguem organismos vivos no sistema produtivo, de forma que seja adequada a boa manutenção do solo; excluam o uso de Organismo

Geneticamente Modificado (OGM), focando em avaliar cada situação de forma que sejam tomadas medidas preventivas acerca dos fatores que possam prejudicar o sistema. E isso vem em alternativa ao uso de químicos e produtos sintéticos, que por sua vez não são renováveis e sua exploração tem grande impacto na natureza.

Sobre gestão e exploração do modo de produção biológico, acima de tudo deve-se priorizar o uso de recursos renováveis, sempre que possível dentro de uma escala local para promover o desenvolvimento e a preservação de onde está inserido, como também, minimizar os desperdícios e promover a ciclagem de nutrientes para o solo. Por isso, se faz essencial a produção animal nesse sistema, que fornece fertilizantes orgânicos para o modo de produção (DGADR, 2017).

Nesse contexto a produção biológica busca evitar a compactação e a erosão e promover o aumento da fertilidade dos solos, em particular a sua atividade biológica, através da rotação de culturas, ciclagem de nutrientes, cobertura vegetal, aplicação de estrume proveniente de produção não intensiva, entre outras práticas.

A fim de evitar poluir os recursos naturais, no modo de produção biológico não é permitido o uso de fertilizantes minerais nitrogenados e existe um limite máximo de estrume a ser aplicado por hectare relacionado ao teor de nitrogênio dele.

2.3. O solo

O *solo* é um sistema dinâmico e heterogêneo, constituído de matéria mineral e matéria orgânica, com porosidade onde se armazenam água e ar. Nesse sistema vivem inúmeros organismos de diversas formas, tamanhos e habitats (Jeffery et al., 2010). O solo desempenha um papel fundamental no ecossistema, afetando também o bem-estar do ser humano (Bogunovic et al., 2017).

Segundo Jeffery et al. (2010), solos de diferentes texturas e estruturas interagem de forma diferente com a água, ligam os nutrientes de maneira diferente, fornecendo assim habitats diferentes para os organismos do solo e para as raízes. O que define as diferentes texturas dos solos são as diferentes proporções da fração mineral (areia, silte e argila) (Jeffery et al., 2010).

Devido a isso, do ponto de vista biológico a estrutura dos poros é o aspecto físico mais importante da estrutura do solo, pois é onde a vida encontra seu habitat (Jeffery et al., 2010).

Jeffery et al. (2010), considera o solo como um habitat semiaquático pois a maioria dos organismos do solo, principalmente os microrganismos, necessitam de água para sobreviver e se locomover.

2.3.1 Biologia do solo

A quantidade e diversidade de *microrganismos* que habitam o solo desempenham um papel importante na sua fertilidade (Barea et al., 2005).

A atividade dos microrganismos afeta a estrutura, a produtividade do solo e exerce influência no declínio e ciclagem de macro e micronutrientes (Bot & Benites, 2005). Assim, os microrganismos são parcialmente responsáveis pela manutenção da saúde e qualidade do solo (Barea et al., 2011).

2.3.2 Rizosfera

A porção do solo que está mais próxima do sistema radicular das plantas, adquire aspectos diferentes das demais porções do solo, pois recebe influências dos exsudatos das raízes alterando seus atributos químicos e físicos. Por isso é tratada de forma diferente e é conhecida como rizosfera (Mukerji et al., 2006).

O termo *rizosfera* foi introduzido em 1904 pelo alemão, microbiologista do solo, Hiltner, definindo-o como “solo influenciado pelas raízes vivas”. Saliente ainda que a influência das raízes sob o solo diminui com o aumento da distância das raízes (Jeffery et al., 2010).

Na rizosfera ocorre uma alteração do equilíbrio entre a mineralização e a imobilização do nitrogênio, devido às populações e a atividade microbiana que são estimuladas, sendo maior do que em porções do solo não exploradas por raízes (Barea et al., 2005).

2.3.3 Matéria orgânica

Matéria orgânica do solo é o material produzido por organismos vivos, plantas ou animais, sendo que a maioria dessa matéria é originária de tecidos vegetais, que após a morte se depositam no solo e passam por processo de decomposição que ao longo do tempo vai adquirindo um formato mais estável e uniforme que é chamado de *húmus* (Bot & Benites, 2005).

De acordo com Jeffery et al. (2010), o processo de humificação que converte matéria orgânica fresca em húmus, alimenta a população de microrganismos do solo e outros organismos, mantendo elevado o nível de biodiversidade do solo, sendo o húmus uma substância coloidal que aumenta a habilidade do solo em armazenar nutrientes e reduzir sua lixiviação.

O húmus é capaz de conter cerca de 80 a 90% do seu peso em humidade. Durante o processo de humificação as bactérias e fungos secretam gomas pegajosas, mantendo as partículas unidas, o que confere ao solo boa estrutura e maior aeração. Também algumas substâncias tóxicas, como metais pesados, podem ficar ligadas ao húmus e impedidas de entrar nas cadeias tróficas (Jeffery et al., 2010).

2.4. Biofertilizantes

Os fertilizantes biológicos ou *biofertilizantes* contêm microrganismos, como bactérias, algas e/ou fungos, que possuem alguma capacidade de melhorar ou auxiliar a nutrição das plantas (Sharma, 2005).

Existem fortes indícios de que o início da colonização das terras, pela vegetação natural ao longo da história, teve ajuda ou pelo menos alguma assistência de microrganismos simbiotes, como os fungos micorrízicos e que certamente outros tipos de simbioses, tanto por micorrizas quanto por bactérias, foram evoluindo (Fitter & Moyersoen, 1996).

Os biofertilizantes são fontes interessantes para a nutrição de plantas, utilizadas na agricultura sustentável, são ecológicos, renováveis e participam da manutenção da fertilidade do solo a longo prazo (Sharma, 2005).

A capacidade da interação solo-planta em fornecer nutrientes para as plantas em um período é chamada de biodisponibilidade de nutrientes, que é determinada pelas

características do solo, pelas raízes, pelos fungos e pela dinâmica de crescimento e desenvolvimento dos fungos e raízes (Comerford, 2005).

Comerford (2005) fala que a absorção de nutrientes é mais sensível à área de exploração do solo por parte das raízes e das hifas do que as características de absorção delas. Dessa forma, o aumento de área de exploração provocado pelos biofertilizantes traz grandes benefícios para uma boa nutrição das plantas e maior exploração dos recursos disponíveis no solo.

São vários os biofertilizantes já conhecidos e que possuem distintos modos de ação, podendo ser agrupados de diferentes formas com base na sua natureza e função. De acordo com Kumar et al. (2017), os principais grupos distribuem-se por *fixadores de nitrogênio*, *solubilizadores de fósforos*, *solubilizadores de zinco* e *decompositores de matéria orgânica ou de celulose*. Também as denominadas Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) constituem organismos que melhoram a disponibilidade de nutrientes, para além de atuarem como bioprotetores ou produtores de hormonas essenciais ao ciclo de vida das plantas (Kumar et al., 2017). De acordo como os objetivos deste trabalho, dá-se especial atenção aos biofertilizantes com ação na disponibilidade de fósforo, nomeadamente aos fungos micorrízicos.

2.5. Fungos micorrízicos

A micorriza é vista como uma interação biotrófica, sustentável e não patogênica entre um fungo e uma raiz (Fitter & Moyersoen, 1996). Porém ainda não se encontra na literatura uma definição amplamente aceita, que abranja toda a complexidade da relação fungo micorrízico arbuscular e hospedeiro (Gosling et al., 2006).

No âmbito da produção e sustentabilidade o uso de microrganismos benéficos tem-se mostrado uma boa alternativa, pois nas últimas décadas houve um aumento das evidências sobre seus benefícios e o papel desenvolvido pelas comunidades microbiológicas na agricultura sustentável. Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) tem-se mostrado um componente essencial para uma interação solo – planta sustentável, atuando no incremento de absorção de nutrientes e na sua incorporação no córtex da raiz, bem como na estruturação dos agregados de forma a promover a conservação do solo (Rai, 2006).

Entre as diversas associações simbióticas que ocorrem entre as raízes e os microrganismos algumas são encontradas em grande variedade de hospedeiros e algumas em poucos hospedeiros específicos. Porém a mais difundida é sem dúvidas a que envolve os fungos micorrízicos (Fitter & Moyersoen, 1996).

Os FMA formam associações simbióticas com mais de 80% das famílias de plantas (Gosling et al., 2006). Micorriza é o resultado da associação de mutualismo entre as raízes da planta com o micélio do fungo micorrízico (Kannaiyan, 2002). Trata-se de uma simbiose na qual o fungo micorrízico realiza a colonização das raízes da planta sendo ou não obrigatoriamente dependente dos produtos da fotossíntese e energia do hospedeiro. Devido ao minúsculo diâmetro das hifas do fungo, elas estendem-se a partir das raízes incrementando a área de superfície explorada da solução do solo, geralmente promovendo uma absorção mais eficiente de nutrientes e aumentando o crescimento da planta (Rai, 2006).

A colonização das raízes pelo fungo ocorre principalmente por três formas, sendo elas por esporos presentes no solo (estruturas de dispersão e sobrevivência de longo prazo), fragmentos de raízes previamente colonizadas pelo fungo e através das hifas já presentes no solo (Smith & Read, 2008).

Porém não são em todos os casos que a simbiose é bem sucedida. Além de alguns fatores que podem exercer influência sobre a colonização, como por exemplo as condições de solo e clima, as combinações de espécies de fungo e hospedeiros podem causar uma variação na adaptabilidade da simbiose e sobre a resposta da planta (Rai, 2006).

O fungo micorrízico arbuscular possui vesículas onde se armazenam nutrientes e arbúsculos para canalizar os nutrientes armazenados para o sistema radicular (Kannaiyan, 2002). É conhecido principalmente pela sua atuação no fósforo do solo. Barea et al. (2005) fala que os FMA mediam a mobilização e distribuição do fósforo para as plantas. Também Rai (2006) afirma que a micorriza auxilia na mobilização e solubilização do fósforo aumentando sua absorção pelas plantas. Koide et al. (2000) observou que os FMA aumentaram a absorção de fósforo em plantas de *Lactuca sativa* e *Abutilon theophrasti*.

De fato, as micorrizas são mais comumente conhecidas pela sua potencialização na absorção do fósforo por parte das plantas, apesar de também absorverem outros macro e micronutrientes a captação de fósforo é maior em relação aos outros nutrientes (Miransari, 2013). Outros autores também relatam que a absorção de nutrientes como nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio, ferro e manganês pode ser aprimorada com a inoculação

micorrízica (Marschner & Dell, 1994; Hodge et al., 2001), como também outros nutrientes não móveis, tais como o zinco (Zn) e o cobre (Cu), transferindo-os rapidamente para a planta (Smith & Read, 2008; Marschner & Dell, 1994).

Alguns trabalhos revelaram que a micorriza arbuscular é capaz de captar nitrogênio (Hodge et al., 2001). Abo-Ghaila (2008), em estudo com plantas de trigo, observou que a resistência ao estresse hídrico pode ser aumentada com a inoculação de micorriza.

2.5.1. Ectomicorrizas

A raiz ectomicorrízica possui três características principais em sua estrutura, sendo elas um manto de tecido fúngico envolvendo a raiz, um crescimento interno de hifas em labirinto entre as células epidérmicas e corticais chamadas redes de Hartig e um sistema externo de hifas formando conexões com o solo e com esporocarpos dos fungos que formam as ectomicorrizas (Smith & Read, 2008). Em geral, as raízes de vegetais com ectomicorrizas não possuem pelos radiculares que são substituídos nas suas funções pelas hifas do fungo (Van Der Heijden, 2015).

2.5.2 Endomicorrizas

Vulgarmente denominadas de fungos micorrízicos arbusculares, que permitem um aumento na produtividade das culturas pelo acesso a uma maior quantidade de nutrientes, aspecto particularmente importante em solos de reduzida fertilidade. As suas hifas distribuem-se por vários centímetros no solo, mas também se encontram dentro das células corticais das raízes em formações semelhantes às de um arbusto (Van Der Heijden, 2015).

3. Material e métodos

3.1. Localização e caracterização do experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação (estufas) no município de Bragança, região de Trás-os-Montes, nordeste de Portugal, nas instalações da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança. A localização das estufas (demarcado pela cor vermelha na Figura 1) e os laboratórios (pontos pretos na Figura 1) onde se procederam as análises do experimento podem ser observadas na figura abaixo.

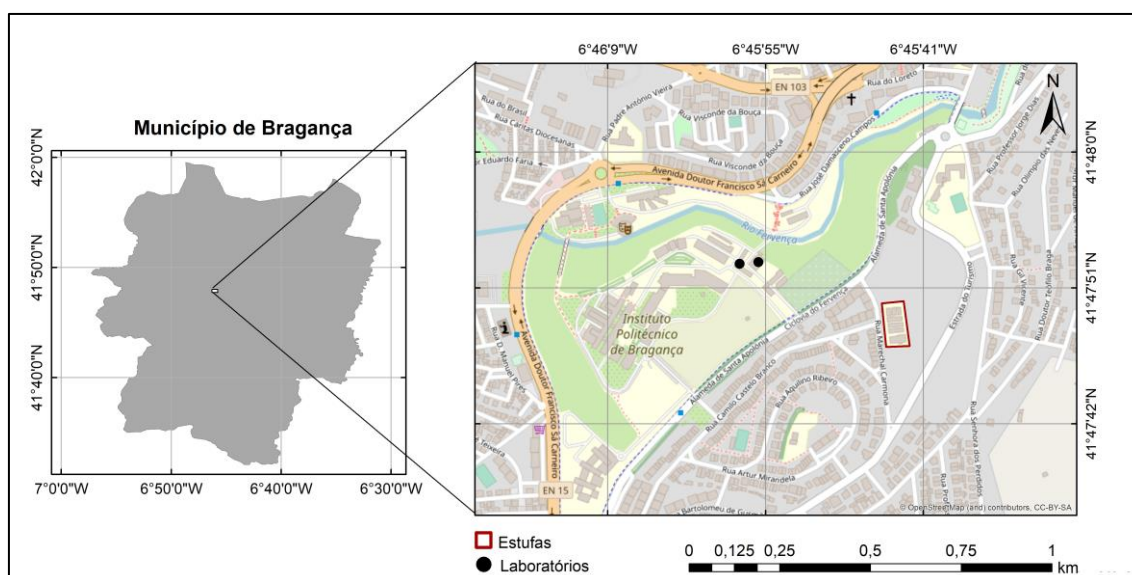


Figura 1. Localização das estufas e laboratórios.

O material de cobertura da estufa é policarbonato de parede dupla. A estufa possui aberturas laterais e superior para bom arejamento e melhor dissipação do calor. Também apresenta regulação térmica e de umidade através de telas de sombra e nebulizadores.

O experimento foi instalado em 12 de outubro de 2017, sendo organizado em delineamento inteiramente casualizado, com sete tratamentos e três repetições. Sendo eles:

Micorriza, na dose de 15 g por vaso (o produto comercial vem enriquecido com 3% N, 3% P₂O₅ e 3% K₂O);

3% NPK, suplemento com NPK equivalente aos teores no produto comercial (0,45 g N, P_2O_5 e K_2O por vaso);

3%NPK + 3% N, reforço da adubação nitrogenada com 0,45 g N por vaso;

3%NPK + 3% P, reforço da adubação fosfatada com 0,45 g P_2O_5 por vaso;

3%NPK + 3% K, reforço da adubação potássica com 0,45 g K_2O por vaso;

3%NPK + micro, reforço da adubação com micronutrientes; e

Testemunha, sem aplicação de qualquer produto fertilizante.

Os suplementos de nutrientes N, P_2O_5 e K_2O foram feitos com recurso aos adubos de nitrato de amônio 20,5% N, superfosfato de cálcio 18% P_2O_5 e cloreto de potássio 60% K_2O . Os micronutrientes foram aplicados usando uma mistura comercial contendo 10% MgO, 0,3% B, 18,5% SO_3 , 0,3% Cu, 2% Fe, 1% Mn, 0,02% Mo, 1,6% Zn, aplicado à razão de $0,08 \text{ g vaso}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

A Figura 2 mostra de forma real como estavam dispostos os tratamentos na estufa.



Figura 2. Disposição dos tratamentos e aspecto das plantas na data 04/10/2019.

Foram selecionadas mudas sadias de oliveira da cultivar Cobrançosa com aproximadamente 20 cm de altura, as quais foram replantadas em vasos de plástico com capacidade de 2,5 L, tendo recebido 3 kg de terra fina seca.

A micorriza foi aplicada na forma de um produto comercial. O produto é uma mistura natural composto por 18 espécies de endo e ectomicorrizas, sendo que a maior parte de esporos/gramas é *Pisolithus tinctorius*, possuindo ainda em menor quantidade, outros gêneros como, *Rhizopogon*, *Scleroderma*, *Laccaria* e uma série de organismos do gênero *Glomus*.

As plantas permaneceram em estufa e foram regadas regularmente conforme a necessidade durante todo período de experimento até a sua destruição para análises laboratoriais.

As plantas foram destruídas no dia 4 de outubro de 2019 e separadas em raízes, caules e folhas. Também se coletou amostras de solo de cada vaso. Todas as amostras foram identificadas em sacos plásticos e levadas a estufa com ventilação forçada, tendo sido os tecidos vegetais secos a 70 °C e os solos a 40 °C, até atingirem peso constante. Na sequência foi pesada a massa seca de cada parte da planta e posteriormente moída num moinho Cyclotec com malha de 1 mm para análise de composição elementar. Os solos, depois de secos, foram crivados em malha de 2 mm para análise dos parâmetros químicos.

3.2. Análise de fluorometria de clorofila

As análises de fluorometria decorreram em dois momentos, nas datas de 01/07/2019 e 21/08/2019. As medições (Figura 3 B) foram realizadas pela manhã aproximadamente no período das 11:00 horas, em folhas jovens com lâminas foliares totalmente expandidas após um período de adaptação ao escuro de pelo menos 35 minutos.

A fluorescência da clorofila e o transiente de fluorescência foram determinados a partir dos protocolos adaptados no escuro F_V/F_M , F_V/F_0 e o teste avançado de OJIP, realizados com fluorômetro OS30p+ (Figura 3 C). F_M representa a fluorescência máxima, F_0 a fluorescência mínima e F_V a fluorescência variável de folhas adaptadas ao escuro, com o uso de cliques específicos para o equipamento (Figura 3 A). Sendo que $F_V/F_M = (F_M$

$- F_0) / F_M$ e $F_V / F_0 = (F_M - F_0) / F_0$. O teste OJIP oferece a fluorescência basal a $20 \mu s$ (O), fluorescência a $2 \mu s$ (J), fluorescência a $30 \mu s$ (I) e fluorescência máxima (P, F_M).



Figura 3. Método de análise de fluorometria da clorofila.

3.3. Análises de solo

Após a obtenção da fração terra fina dos solos de cada vaso, foram realizadas análises para determinação de pH, matéria orgânica, fósforo e potássio extraíveis, fósforo lábil, capacidade de troca catiônica, atividade da fosfatase ácida e determinação de micronutrientes.

3.3.1. Determinação do pH

O pH do solo, abreviação para potencial hidrogeniônico, é um termo químico usado para descrever se a condição que o solo se encontra é ácida, neutra ou alcalina. Determinada por valores que variam entre 0 e 14, sendo que valores de pH de 0 a 6 representam pH baixo ou ácido, 7 pH neutro e valores entre 8 e 14 representam pH alto ou alcalino (Ghazali et al., 2019)

O pH do solo é determinado em laboratório através de suspensões de solo em soluções aquosas ou salinas, geralmente água ou 1M de KCl (Delgado & Gómez, 2016).

Neste trabalho o pH do solo foi determinado em solução aquosa (H_2O) e em solução de KCl 1M na relação 1:2,5. Após duas horas de contato entre o solo e a solução, com agitação ocasional, fez-se a leitura em equipamento Inolab Level 1 WTW.

3.3.2 Determinação de matéria orgânica

A matéria orgânica foi determinada pelo método de Walkey-Black que consiste na mineralização crômica ácida do carbono facilmente oxidável. A matéria orgânica é determinada multiplicando o valor de C pelo fator 1,72, associado à estimativa de que a matéria orgânica contém 58% de carbono (Nelson & Sommers, 1996).

3.3.3. Determinação do fósforo e potássio potencialmente disponíveis

As formas solúveis de fósforo e potássio foram extraídas através do método Egner-Riehm por uma combinação de lactato de amônio com ácido acético tamponizado a pH de 3.7 (Balbino, 1968). Para esta análise foi utilizada uma relação de solo:solução de 1:20.

O fósforo foi medido por espectrofotômetro UV/VIS no comprimento de onda 882 nm após a determinação colorimétrica com o método de ácido ascórbico como agente redutor. Já o potássio foi determinado por fotometria de chama num equipamento Jenway.

3.3.4. Determinação do fósforo lábil

Foi determinado através das frações mais biodisponíveis avaliadas pelo método de fracionamento de Hedley et al. (1982). Neste método uma mesma amostra é sequencialmente tratada com diferentes soluções que acedem a fósforo mais ou menos disponível, designado de P lábil, P mineral e orgânico não ocluso e P mineral e orgânico ocluso da amostra. Neste trabalho foi objetivo aceder apenas às frações mais facilmente absorvidas pelas plantas, extraída com uma resina de troca aniônica (P resina), seguida de uma extração com uma solução de $NaHCO_3$ 0,5M (P bicarbonato). O procedimento foi o seguinte:

Para determinação de P resina foram separadas membranas de troca aniônica, previamente seccionadas em partes de 40 mm x 20 mm. Estas membranas ou resinas de troca foram primeiro saturadas durante 24 horas com uma solução de NaHCO_3 0,5M.

No dia seguinte, pesou-se 1 g de solo para tubos de centrífuga NALGENE de 50 mL de capacidade, adicionaram-se 20 ml de água e então introduziu-se a resina. Em seguida, os frascos foram agitados por 12 horas a 180 rotações por minuto (rpm). Após a agitação, as resinas foram transferidas para outro frasco contendo 20 ml de H_2SO_4 0,5M, onde foram deixadas por 24 horas para que o fósforo pudesse ser extraído. Os tubos com água foram centrifugados e o sobrenadante extraído. Foram depois adicionados 30 mL de NaHCO_3 0,5M e os tubos foram agitados por mais 12 horas. Ao fim deste tempo, os tubos foram centrifugados e extraído o sobrenadante para a determinação do fósforo. O fósforo foi determinado no extrato ácido da resina e no extrato de NaHCO_3 por espectrofotometria, no comprimento de onda de 882 nm. O fósforo destas duas frações representa a quantidade mais acessível às raízes das plantas.

3.3.5. Capacidade de troca catiônica

A capacidade de troca catiônica consiste na soma das bases de troca (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+) e acidez de troca (Al^{3+} e H^+). A análise determina a máxima quantidade de cátions que a unidade de massa de um material pode reter sob forma permutável (Madeira & Ricardo, 2015).

Para esta determinação, 2,5 g de amostra de solo foi pesada para frascos de agitação e adicionada uma solução de acetato de amônio tamponada a pH 7.0. A suspensão foi agitada durante 30 minutos e posteriormente filtrada. Para a leitura do Ca^{2+} e Mg^{2+} foi utilizada a espectrofotometria de absorção atômica, com o equipamento PYE Unicam PU 9100X. Já o K^+ e o Na^+ foram medidos por espectrofotometria de chama no mesmo equipamento. A acidez de troca foi determinada após a agitação de uma porção de solo com KCl 1M e posterior filtração. O filtrado foi titulado com uma solução de NaOH 0,1M para determinação de Al^{3+} e H^+ , usando a fenolftaleína como indicador. Também foi feita uma segunda titulação com HCl 0,1M, para determinação somente de Al^{3+} (Sims, 1996).

3.3.6. Determinação de micronutrientes (boro, cobre, ferro, zinco e manganês)

O boro do solo foi extraído pelo método da água fervente e determinado por espectrofotometria pelo método de azometina H, um agente complexante do boro em meio aquoso (Keren, 1996). Os restantes micronutrientes foram extraídos com uma solução de acetato de amônio, ácido acético e EDTA e determinados por espectrofotometria de absorção atômica (Lakanen & Ervio, 1971).

3.3.7. Atividade da fosfatase ácida

Pesou-se 1,0 g de solo para um erlenmeyer e adicionou-se 0,2 ml de tolueno, 4 ml de solução MUB (Modified Universal Buffer) em pH 6,5 e 1 ml de p-nitrofenil-fosfato.

Os frascos foram tapados com parafilmes e levemente agitados. Em seguida foram introduzidos em uma incubadora a 37 °C por 1 hora. Após este tempo, adicionou-se 1 ml de CaCl₂ 0,5 M e 4 ml de NaOH 0,5 M, sendo depois levemente agitados e filtrados com papel de filtro Watman #42.

Para todas as amostras foi feito um controle, seguindo a mesma metodologia, mudando apenas o momento de adição do p-nitrofenil-fosfato, sendo este adicionado imediatamente antes da filtração das amostras. Após filtrados, a atividade da fosfatase ácida foi determinada por espectrofotometria UV/VIS num comprimento de onda de 400 nm (Alef et al., 1995).

3.4. Análises dos tecidos vegetais

Tal como já foi referido, os tecidos vegetais, separados em folhas, caules e raízes e secos em estufa de ventilação forçada a 70 °C como dito no início do material e métodos, após atingirem peso constante foram moídos em malha de um milímetro a partir de um moinho CT CyclotecTM da marca Foss (Figura 4).

A partir dessa preparação, as amostras estavam prontas e procedeu-se com as análises de determinação de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, boro, ferro, zinco, cobre e manganês.



Figura 4. Moinho FOSS CT 293 Cyclotec™.

3.4.1. Determinação de nitrogênio

Utilizou-se o procedimento Kjeldahl, no qual o nitrogênio é medido após digestão da amostra em equipamento UDK152 Distillation & Titration Unit.

Para a digestão, 1 g de material vegetal foi pesado e aquecida com 15 ml de ácido sulfúrico a 400 °C para promover a oxidação da amostra. Também foi adicionado um catalisador para aumentar a taxa de oxidação da matéria orgânica pelo ácido sulfúrico. Com a amostra já digerida, o nitrogênio amoniacal foi determinado por destilação com solução de ácido bórico 4%, hidróxido de sódio 40% e os indicadores verde de bromocresol e vermelho de metila (Bremner, 1996).

3.4.2. Determinação de boro

O boro nas plantas foi determinado após a incineração das amostras (de 1 g) com óxido de cálcio e diluição das cinzas em ácido sulfúrico (0,5 M). Para a coloração utilizou-

se azometina – H e depois a leitura foi feita num espectrofotômetro a 420 nm (Jones, 2001).

3.4.3. Determinação de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, ferro, zinco e manganês

Os demais nutrientes foram analisados após a pesagem de 0,25 g de material vegetal e digestão em micro-ondas (*MARS, CEM corporation*) com ácido nítrico.

O fósforo foi determinado por espectrofotometria UV/VIS no comprimento de onda de 882 nm, após coloração pelo método do ácido ascórbico. O potássio foi determinado por espectrofotometria de chama e os demais nutrientes por absorção atômica.

3.5. Análise estatística dos dados

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA de 1 fator, unidirecional). Quando se registraram diferenças significativas ($P < 0,05$), as médias foram separadas pelo método de comparação múltipla de médias Tukey-HSD ($\alpha = 0,05$).

4. Resultados

4.1. Parâmetros de avaliação de atividade das clorofilas

Os valores médios da fluorescência basal (O) variaram entre 236,7 (3% NPK + 3% N) e 290,0 (Testemunha), com diferenças significativas entre tratamentos (Tabela 2). Para J e I também ocorreram diferenças significativas entre tratamentos, mantendo-se uma tendência de valores mais elevados para o tratamento Testemunha. O tratamento Micorriza registrou valores intermediários se comparados com os tratamentos restantes. O tratamento 3% NPK + 3% N manteve tendência para valores elevados naquelas variáveis, só inferiores ao tratamento Testemunha. Os valores de P não diferiram significativamente entre tratamentos. As variáveis F_V/F_M e F_V/F_0 não diferiram de forma significativa entre tratamentos. Os valores médios de F_V/F_M ficaram entre 0,81 e 0,83 e os valores médios de F_V/F_0 entre 4,24 e 4,75.

Tabela 2. Parâmetros de fluorescência das clorofilas O (fluorescência basal), J (fluorescência a 2 μ s), I (fluorescência a 30 μ s), P e FM (fluorescência máxima), FV (fluorescência variável) e F0 (fluorescência mínima), determinados no dia 01/07/2019.

Tratamentos	O	J	I	P	F_V/F_M	F_V/F_0
Micorriza	246,7 b	405,3 b	869,0 ab	1072,7 a	0,82 a	4,68 a
3% NPK + 3% N	262,0 ab	417,0 ab	927,0 ab	1133,7 a	0,82 a	4,56 a
3% NPK + 3% P	236,7 b	368,0 b	831,0 b	1064,0 a	0,82 a	4,63 a
3% NPK + 3% K	250,7 b	395,3 b	863,0 ab	1077,7 a	0,82 a	4,72 a
3% NPK + micro	244,0 b	381,0 b	846,0 ab	1074,3 a	0,83 a	4,75 a
3% NPK	254,7 b	405,3 b	874,7 ab	1089,0 a	0,82 a	4,70 a
Testemunha	290,0 a	475,3 a	958,0 a	1133,7 a	0,81 a	4,24 a
P	0,0024	0,0016	0,0231	0,0865	0,1192	0,1582

* Valores com a mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os resultados das análises de fluorometria, realizadas na data 21 de agosto de 2019, podem ser observados na tabela 3. Nenhum dos parâmetros analisados apresentou diferença estatística.

Tabela 3. Parâmetros de fluorescência das clorofilas O (fluorescência basal), J (fluorescência a 2 μ s), I (fluorescência a 30 μ s), P e FM (fluorescência máxima), FV (fluorescência variável) e F0 (fluorescência mínima), determinados no dia 21/08/2019.

Tratamentos	O	J	I	P	F _V /F _M	F _V /F ₀
Micorriza	231,3 a	376,0 a	771,0 a	879,0 a	0,82 a	4,52 a
3% NPK + 3% N	237,7 a	369,3 a	786,0 a	995,3 a	0,81 a	4,27 a
3% NPK + 3% P	226,0 a	361,0 a	762,0 a	968,7 a	0,81 a	4,38 a
3% NPK + 3% K	247,7 a	371,7 a	739,7 a	929,7 a	0,82 a	4,51 a
3% NPK + micro	238,3 a	368,0 a	752,3 a	971,7 a	0,81 a	4,39 a
3% NPK	227,0 a	358,3 a	735,7 a	939,0 a	0,82 a	4,48 a
Testemunha	260,0 a	419,7 a	838,3 a	1048,0 a	0,81 a	4,32 a
P	0,5805	0,2843	0,3502	0,2474	0,3718	0,4127

* Valores com a mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.2. Produção de matéria seca

A produção de matéria seca total das plantas com relação aos tratamentos (Tabela 4), apresentou o maior valor no tratamento 3% NPK + 3% K o qual não diferiu estatisticamente dos tratamentos 3% NPK, 3% NPK + 3% P, Micorriza e 3% NPK + micro. Já o menor valor corresponde a Testemunha, a qual não diferiu do tratamento 3% NPK + 3% N.

Tabela 4. Produção média de matéria seca nas diferentes partes da planta (raízes, caules e folhas) e total em função do tratamento fertilizante.

Tratamentos	g planta ⁻¹			
	Raízes	Caules	Folhas	Total
Micorriza	6,66 a	21,12 abc	16,27 ab	44,06 ab
3% NPK + 3% N	6,19 a	18,87 bc	13,46 cd	37,52 bc
3% NPK + 3% P	6,42 a	21,75 abc	16,07 abc	44,24 ab
3% NPK + 3% K	6,60 a	26,23 a	18,31 a	51,14 a
3% NPK + micro	6,27 a	22,67 ab	14,67 bc	43,62 ab
3% NPK	7,88 a	24,99 a	15,93 abc	48,80 a
Testemunha	7,06 a	16,16 c	11,18 d	34,40 c
P	0,6543	0,0005	< 0,0001	0,0001

* Valores com a mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Ainda referente a tabela 4, analisando separadamente a produção de matéria seca das folhas, o maior valor foi observado no tratamento 3% NPK + 3% K, o qual não diferiu

estatisticamente dos tratamentos Micorriza, 3% NPK + 3% P, 3% NPK. O menor valor foi observado na Testemunha o qual não difere estatisticamente do tratamento 3% NPK + 3% N.

A produção de matéria seca dos caules também apresentou o maior valor no tratamento 3% NPK + 3% K o qual não diferiu estatisticamente dos tratamentos 3% NPK, 3% NPK + micro, 3% NPK + 3% P e Micorriza. O menor valor foi observado na Testemunha o qual não diferiu do tratamento 3% NPK + 3% N.

A matéria seca das raízes não apresentou diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos.

4.3. Concentração de nutrientes nos tecidos

Com relação à concentração de nitrogênio nas folhas, houve diferenças significativas para todos os macronutrientes estudados, com tendências diferentes para cada um, as quais podem ser observadas na tabela 5.

Tabela 5. Concentração de macronutrientes nas folhas em função do tratamento fertilizante.

Tratamentos	Nitrogênio		Fósforo		Potássio		Cálcio		Magnésio	
	g kg ⁻¹									
Micorriza	22,3	ab	1,78	a	8,3	a	3,6	ab	1,31	bc
3% NPK + 3% N	24,1	a	1,31	b	6,8	b	4,3	a	1,72	a
3% NPK + 3% P	22,5	ab	1,64	ab	8,3	a	3,6	ab	1,30	bc
3% NPK + 3% K	20,3	b	1,44	ab	7,9	ab	3,8	ab	1,29	bc
3% NPK + micro	23,4	a	1,46	ab	7,5	ab	4,0	ab	1,51	ab
3% NPK	24,1	a	1,42	ab	7,8	ab	3,8	ab	1,44	abc
Testemunha	12,4	c	1,86	a	8,7	a	3,2	b	1,05	c
P	< 0,0001		0,0066		0,0017		0,0389		0,0018	

* Valores com a mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As concentrações de macronutrientes na matéria seca dos caules para os diferentes tratamentos, podem ser observadas na tabela 6.

As análises de potássio, cálcio e magnésio não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos. As análises de nitrogênio e fósforo apresentaram diferenças

estatísticas e comportamentos diferentes entre elas, observando que o tratamento 3% NPK + 3% N apresentou o maior valor de concentração de nitrogênio e o menor valor de concentração de fósforo.

Tabela 6. Concentração de macronutrientes nos caules em função do tratamento fertilizante.

Tratamentos	g kg ⁻¹				
	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio
Micorriza	8,5 ab	1,77 a	7,1 a	2,6 a	0,88 a
3% NPK + 3% N	9,3 a	1,09 c	6,4 a	2,9 a	0,94 a
3% NPK + 3% P	8,8 ab	1,45 ab	7,0 a	2,9 a	0,88 a
3% NPK + 3% K	8,2 ab	1,35 bc	6,7 a	2,9 a	0,92 a
3% NPK + micro	9,1 ab	1,26 bc	6,8 a	2,7 a	0,84 a
3% NPK	7,1 bc	1,53 ab	7,0 a	2,7 a	0,85 a
Testemunha	5,7 c	1,31 bc	6,9 a	2,5 a	0,70 a
P	0,0003	0,0002	0,7989	0,3369	0,1032

* Valores com a mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A tabela 7 contém os valores médios referentes a concentração de macronutrientes nas raízes. Observa-se que o nitrogênio apresentou o maior valor no tratamento 3% NPK + 3% P, o qual não diferiu estatisticamente dos tratamentos 3% NPK + 3% N, Micorriza e 3% NPK + 3% K. O menor valor foi observado na Testemunha a qual diferiu de todos os demais tratamentos.

Já a análise do fósforo nas raízes apresentou valores médios de 1,42 g kg⁻¹ (NPK + 3% N) e 2,39 (Micorriza), com variações significativas entre os tratamentos.

A análise do fósforo apresentou o maior valor no tratamento Micorriza, o qual não diferiu estatisticamente dos tratamentos 3% NPK + 3% P e 3% NPK. O menor valor foi observado no tratamento 3% NPK + 3% N, o qual não diferiu estatisticamente dos tratamentos 3% NPK + micro, Testemunha e 3% NPK + 3% K.

O potássio apresentou maior valor de concentração no tratamento 3% NPK + 3% K, o qual não diferiu estatisticamente de todos os demais com exceção da Testemunha, que por sua vez apresentou o menor valor, não diferindo estatisticamente do tratamento 3% NPK.

O cálcio apresentou o maior valor de concentração no tratamento 3% NPK, o qual não diferiu estatisticamente dos demais tratamentos com exceção a Testemunha, que por sua vez apresentou o menor valor não diferindo apenas do tratamento Micorriza.

O magnésio não apresentou diferenças significativas acerca de sua concentração nas raízes em função dos tratamentos.

Tabela 7. Concentração de macronutrientes nas raízes em função do tratamento fertilizante.

Tratamentos	Nitrogênio		Fósforo		Potássio		Cálcio	Magnésio		
	g kg ⁻¹									
Micorriza	17,7	ab	2,39	a	8,9	a	3,51	ab	3,72	a
3% NPK + 3% N	18,3	a	1,42	c	8,8	a	3,74	a	3,02	a
3% NPK + 3% P	18,6	a	2,25	a	8,9	a	3,77	a	3,31	a
3% NPK + 3% K	17,3	ab	1,75	bc	9,6	a	3,70	a	3,19	a
3% NPK + micro	15,1	b	1,67	bc	9,2	a	3,69	a	3,59	a
3% NPK	12,3	c	2,07	ab	8,2	ab	3,81	a	3,09	a
Testemunha	8,8	d	1,74	bc	7,1	b	2,96	b	3,72	a
P	< 0,0001		< 0,0001		0,0038		0,022		0,0815	

* Valores com a mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na tabela 8, apresentam-se os valores de concentração de micronutrientes nas folhas em função dos diferentes tratamentos. Sendo que as concentrações de boro, ferro e zinco nas folhas não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos, enquanto o manganês e o ferro, apresentaram valores médios entre 33,9 e 98,2 mg kg⁻¹ e 7,1 e 11,3 mg kg⁻¹ respectivamente, com diferenças significativas entre os tratamentos.

Tabela 8. Concentração de micronutrientes nas folhas em função do tratamento fertilizante.

Tratamentos	Boro		Ferro		Manganês		Zinco	Cobre		
	mg kg ⁻¹									
Micorriza	18,9	a	278,7	a	48,5	bc	35,6	a	11,3	a
3% NPK + 3% N	17,7	a	221,8	a	98,2	a	37,1	a	8,3	bc
3% NPK + 3% P	18,6	a	171,1	a	53,5	b	31,8	a	9,0	b
3% NPK + 3% K	19,5	a	184,7	a	44,6	bc	27,9	a	8,7	bc
3% NPK + micro	18,9	a	207,0	a	61,6	b	35,4	a	8,7	bc
3% NPK	18,4	a	154,0	a	52,4	b	43,7	a	8,6	bc
Testemunha	18,2	a	158,6	a	33,9	c	24,8	a	7,1	c
P	0,3855		0,1100		< 0,0001		0,1946		< 0,0001	

* Valores com a mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na tabela 9, apresenta-se os valores de concentração de micronutrientes nos caules em função dos diferentes tratamentos.

As concentrações de boro, ferro, zinco e cobre nos caules não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos.

Em relação ao manganês o maior valor de concentração nos caules foi observado no tratamento 3% NPK + 3% N, o qual não diferiu estatisticamente dos tratamentos Micorriza, 3% NPK + micro, 3% NPK + 3% P e 3% NPK. O menor valor foi observado no tratamento 3% NPK + 3% K o qual não apresentou diferença significativa em relação demais com exceção do tratamento 3% NPK + 3% N.

Tabela 9. Concentração de micronutrientes nos caules em função do tratamento fertilizante.

Tratamentos	Boro	Ferro	Manganês	Zinco	Cobre
	mg kg ⁻¹				
Micorriza	16,1 a	227,7 a	19,7 ab	41,4 a	11,5 a
3% NPK + 3% N	15,3 a	137,3 a	25,6 a	21,7 a	9,6 a
3% NPK + 3% P	16,8 a	206,4 a	19,4 ab	21,2 a	10,0 a
3% NPK + 3% K	17,1 a	149,1 a	12,2 b	18,7 a	10,7 a
3% NPK + micro	15,0 a	179,4 a	19,5 ab	20,5 a	11,5 a
3% NPK	15,8 a	179,2 a	17,6 ab	24,3 a	9,9 a
Testemunha	15,5 a	126,0 a	16,5 b	22,4 a	8,4 a
P	0,1595	0,1174	0,0063	0,2014	0,3505

* Valores com a mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na tabela 10 pode observar-se a concentração de micronutrientes nas raízes em relação aos diferentes tratamentos.

A concentração de boro nas raízes apresentou o maior valor no tratamento 3% NPK, o qual não diferiu estatisticamente dos tratamentos 3% NPK + 3% K, Micorriza, 3% NPK + 3% P, 3% NPK + micro e Testemunha. O menor valor foi observado no tratamento 3% NPK + 3% N o qual não diferiu dos demais com exceção do tratamento 3% NPK.

Acerca da concentração de ferro o maior valor foi observado no tratamento 3% NPK, o qual diferiu apenas do tratamento 3% NPK + 3% N, sendo que este apresentou o menor valor, que por sua vez também apresentou diferença significativa apenas do tratamento 3% NPK.

O cobre apresentou maior valor concentração nas raízes do tratamento Micorriza, o qual não diferiu estatisticamente dos tratamentos 3% NPK, Testemunha, 3% NPK + 3% P e 3% NPK + 3% K. O menor valor foi observado no tratamento 3% NPK + 3% N, o qual diferiu significativamente apenas do tratamento Micorriza.

As concentrações de manganês e zinco nas raízes não apresentaram valores com diferenças significativas entre os tratamentos.

Tabela 10. Concentração de micronutrientes nas raízes em função do tratamento fertilizante.

Tratamentos	Boro		Ferro		Manganês		Zinco		Cobre	
	----- mg kg ⁻¹ -----									
Micorriza	12,7	ab	6230,6	ab	146,3	a	49,5	a	92,7	a
3% NPK + 3% N	10,7	b	3487,7	b	250,1	a	26,7	a	56,2	b
3% NPK + 3% P	12,6	ab	3902,8	ab	151,4	a	27,9	a	68,6	ab
3% NPK + 3% K	12,8	ab	4477,3	ab	123,3	a	28,1	a	66,7	ab
3% NPK + micro	12,1	ab	4269,5	ab	188,6	a	28,6	a	61,5	b
3% NPK	14,0	a	8900,2	a	246,5	a	37,0	a	81,2	ab
Testemunha	11,8	ab	6560,3	ab	122,5	a	35,9	a	78,0	ab
P	0,0136		0,0436		0,0667		0,1044		0,0051	

* Valores com a mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.4 Nutrientes aparentemente recuperados

Na tabela 11 apresenta-se os macronutrientes aparentemente recuperados nas folhas das plantas.

Os nutrientes nitrogênio, cálcio e magnésio apresentaram comportamentos semelhantes, sendo que nos três casos o menor valor foi observado na Testemunha, a qual diferiu significativamente dos demais tratamentos.

O fósforo apresentou o maior valor no tratamento Micorriza, o qual diferiu apenas do tratamento 3% NPK + 3% N, que por sua vez apresentou o valor mais baixo, diferindo apenas do tratamento Micorriza.

O potássio apresentou o maior valor no tratamento 3% NPK + 3% K, o qual não diferiu estatisticamente dos tratamentos Micorriza, 3% NPK + 3% P e 3% NPK. O menor

valor foi observado no tratamento 3% NPK + 3% N, o qual não diferiu dos tratamentos Testemunha e 3% NPK + micro.

Tabela 11. Macronutrientes aparentemente recuperados nas folhas em função do tratamento fertilizante.

Tratamentos	Nitrogênio		Fósforo		Potássio		Cálcio		Magnésio	
	----- g planta ⁻¹ -----									
Micorriza	0,36	a	0,029	a	0,14	ab	0,059	a	0,021	a
3% NPK + 3% N	0,32	a	0,018	b	0,09	d	0,058	a	0,023	a
3% NPK + 3% P	0,36	a	0,026	ab	0,13	ab	0,058	a	0,021	a
3% NPK + 3% K	0,37	a	0,026	ab	0,14	a	0,070	a	0,024	a
3% NPK + micro	0,34	a	0,021	ab	0,11	bcd	0,058	a	0,022	a
3% NPK	0,38	a	0,023	ab	0,12	abc	0,061	a	0,023	a
Testemunha	0,14	b	0,021	ab	0,10	cd	0,036	b	0,012	b
P	< 0,0001		0,0076		0,0003		< 0,0001		< 0,0001	

* Valores com a mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na tabela 12 são apresentados os valores referentes aos macronutrientes aparentemente recuperados nos caules das plantas em estudo, onde observa-se que o nitrogênio e potássio apresentaram poucas diferenças entre os tratamentos, com tendência de menor valor no tratamento Testemunha, enquanto que os outros nutrientes apresentaram maiores diferenças entre os tratamentos, porém também com menores valores observados no tratamento Testemunha.

Tabela 12. Macronutrientes aparentemente recuperados nos caules em função do tratamento fertilizante.

Tratamentos	Nitrogênio		Fósforo		Potássio		Cálcio		Magnésio	
	----- g planta ⁻¹ -----									
Micorriza	0,18	a	0,037	a	0,150	ab	0,056	bc	0,019	ab
3% NPK + 3% N	0,17	a	0,019	c	0,114	ab	0,052	bc	0,017	bc
3% NPK + 3% P	0,19	a	0,032	ab	0,153	ab	0,064	ab	0,019	ab
3% NPK + 3% K	0,21	a	0,035	a	0,176	a	0,077	a	0,024	a
3% NPK + micro	0,20	a	0,029	abc	0,156	ab	0,061	ab	0,019	ab
3% NPK	0,18	a	0,038	a	0,176	a	0,067	ab	0,021	ab
Testemunha	0,09	b	0,021	bc	0,111	b	0,040	c	0,011	c
P	0,0002		0,0003		0,0131		< 0,0001		0,0003	

* Valores com a mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na tabela 13 são apresentados os valores referentes aos macronutrientes aparentemente recuperados nas raízes das plantas em função de cada tratamento, onde o

potássio, cálcio e magnésio não apresentaram diferenças significativas, já o nitrogênio e o fósforo diferiram estatisticamente entre os tratamentos, mas com comportamentos diferentes.

Tabela 13. Macronutrientes aparentemente recuperados nas raízes em função do tratamento fertilizante.

Tratamentos	Nitrogênio		Fósforo		Potássio		Cálcio		Magnésio	
	----- g planta ⁻¹ -----									
Micorriza	0,19	a	0,016	a	0,059	a	0,024	a	0,025	a
3% NPK + 3% N	0,11	ab	0,009	b	0,054	a	0,023	a	0,019	a
3% NPK + 3% P	0,12	a	0,014	ab	0,057	a	0,024	a	0,021	a
3% NPK + 3% K	0,11	ab	0,013	ab	0,063	a	0,024	a	0,021	a
3% NPK + micro	0,10	ab	0,010	ab	0,058	a	0,023	a	0,022	a
3% NPK	0,10	ab	0,016	a	0,063	a	0,030	a	0,042	a
Testemunha	0,06	b	0,012	ab	0,050	a	0,021	a	0,021	a
P	0,0338		0,0055		0,5386		0,4650		0,1701	

* Valores com a mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Como pode ser observado na tabela 14, a maioria dos micronutrientes aparentemente recuperados nas folhas apresentaram diferenças significativas, com exceção do zinco que não diferiu entre os tratamentos, os demais nutrientes expressaram valores mais baixos nas testemunhas e apesar de algumas exceções a o tratamento com micorriza não diferiu dos maiores valores encontrados.

Tabela 14. Micronutrientes aparentemente recuperados nas folhas em função do tratamento fertilizante.

Tratamentos	Boro		Ferro		Manganês		Zinco		Cobre	
	----- mg planta ⁻¹ -----									
Micorriza	0,31	ab	4,53	a	0,79	b	1,27	a	0,18	a
3% NPK + 3% N	0,24	cd	3,02	ab	1,31	a	0,51	a	0,11	bc
3% NPK + 3% P	0,30	abc	2,79	ab	0,86	b	0,52	a	0,15	ab
3% NPK + 3% K	0,36	a	3,37	ab	0,82	b	0,51	a	0,16	ab
3% NPK + micro	0,28	bc	3,02	ab	0,90	b	0,52	a	0,12	bc
3% NPK	0,29	bc	2,44	ab	0,83	b	0,71	a	0,14	ab
Testemunha	0,20	d	1,77	b	0,38	c	0,28	a	0,08	c
P	< 0,0001		0,0317		< 0,0001		0,1902		0,0001	

* Valores com a mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na tabela 15 apresenta-se os micronutrientes aparentemente recuperados nos caules das plantas em função do tratamento.

O boro apresentou o maior valor no tratamento 3% NPK + 3% K, não diferindo dos tratamentos 3% NPK, 3% NPK + 3% P, Micorriza e 3% NPK + micro. O menor valor foi observado na Testemunha a qual não diferiu dos tratamentos 3% NPK + 3% N, 3% NPK + micro, Micorriza e 3% NPK + 3% P.

Os nutrientes ferro, manganês e zinco não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos.

O cobre apresentou o maior valor no tratamento 3% NPK + 3% K, diferindo apenas da Testemunha, a qual apresentou o menor valor não diferindo dos tratamentos 3% NPK + 3% N, 3% NPK + 3% P e Micorriza.

Tabela 15. Micronutrientes aparentemente recuperados nos caules em função do tratamento fertilizante.

Tratamentos	Boro		Ferro		Manganês		Zinco		Cobre	
	----- mg planta ⁻¹ -----									
Micorriza	0,34	ab	4,90	a	0,42	a	0,89	a	0,24	ab
3% NPK + 3% N	0,27	b	2,46	a	0,46	a	0,38	a	0,17	ab
3% NPK + 3% P	0,37	ab	4,53	a	0,42	a	0,46	a	0,22	ab
3% NPK + 3% K	0,45	a	3,85	a	0,32	a	0,49	a	0,28	a
3% NPK + micro	0,34	ab	4,11	a	0,45	a	0,46	a	0,26	a
3% NPK	0,40	a	4,48	a	0,44	a	0,60	a	0,25	a
Testemunha	0,25	b	1,99	a	0,26	a	0,36	a	0,13	b
P	0,0011		0,0591		0,1424		0,18161		0,0058	

* Valores com a mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na tabela 16 apresenta-se os micronutrientes aparentemente recuperados nas raízes das plantas em função do tratamento. Porém para este caso, nenhum dos micronutrientes avaliados nas raízes apresentou diferença estatística entre os tratamentos.

Para o nitrogênio acumulado na totalidade da planta (Tabela 17) houve pouca variação sendo que apenas o tratamento Testemunha apresentou valor significativamente menor, diferindo de todos os demais.

Para os nutrientes fósforo, potássio, cálcio e magnésio se observaram diferenças significativas com uma tendência de menor valor ser expresso na Testemunha e na maioria dos casos o tratamento Micorriza se posicionar entre os valores mais altos encontrados.

Tabela 16. Micronutrientes aparentemente recuperados nas raízes em função do tratamento fertilizante.

Tratamentos	mg planta ⁻¹				
	Boro	Ferro	Manganês	Zinco	Cobre
Micorriza	0,08 a	42,3 a	0,99 a	0,34 a	0,63 a
3% NPK + 3% N	0,07 a	23,0 a	1,56 a	0,17 a	0,35 a
3% NPK + 3% P	0,08 a	25,2 a	0,97 a	0,18 a	0,44 a
3% NPK + 3% K	0,08 a	30,0 a	0,84 a	0,19 a	0,43 a
3% NPK + micro	0,08 a	26,7 a	1,18 a	0,19 a	0,39 a
3% NPK	0,11 a	34,4 a	2,06 a	0,30 a	0,65 a
Testemunha	0,08 a	45,7 a	0,85 a	0,25 a	0,55 a
P	0,0779	0,1107	0,1775	0,2244	0,0601

* Valores com a mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 17. Macronutrientes acumulados na totalidade da planta (folhas, caules e raízes) em função do tratamento fertilizante.

Tratamentos	g				
	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio
Micorriza	0,66 a	0,082 a	0,34 a	0,138 bc	0,065 ab
3% NPK + 3% N	0,60 a	0,046 c	0,26 b	0,133 c	0,059 b
3% NPK + 3% P	0,67 a	0,072 ab	0,34 a	0,146 bc	0,061 ab
3% NPK + 3% K	0,70 a	0,073 ab	0,38 a	0,171 a	0,068 ab
3% NPK + micro	0,64 a	0,061 bc	0,32 ab	0,143 bc	0,063 ab
3% NPK	0,66 a	0,077 a	0,36 a	0,158 ab	0,086 a
Testemunha	0,29 b	0,054 c	0,26 b	0,097 d	0,044 b
P	< 0,0001	< 0,0001	0,0006	< 0,0001	0,0050

* Valores com a mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na tabela 18 são apresentados os valores referentes aos micronutrientes aparentemente recuperados na totalidade das plantas (folhas, caules e raízes) em função de cada tratamento.

O boro apresentou o maior valor no tratamento 3% NPK + 3% K, o qual não diferiu estatisticamente do tratamento 3% NPK. Um valor intermediário foi observado no tratamento 3% NPK + 3% P, o qual não diferiu dos tratamentos, 3% NPK, Micorriza e 3% NPK + micro. O menor valor foi observado na Testemunha, não apresentando diferença do tratamento 3% NPK + 3% N.

O ferro e o zinco não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos para este caso.

O manganês apresentou valores entre 1,50 (Testemunha) a 3,34 (3% NPK + 3% N), sendo que o tratamento 3% NPK + 3% N apresentou o maior valor diferindo

significativamente apenas do tratamento Testemunha, o qual apresentou o menor valor diferindo apenas dos tratamentos 3% NPK e 3% NPK + 3% N.

O cobre apresentou o maior valor no tratamento Micorriza, diferindo apenas do tratamento 3% NPK + 3% N, o qual apresentou o menor valor, diferindo dos tratamentos 3% NPK e Micorriza.

Tabela 18. Micronutrientes acumulados na totalidade da planta (folhas, caules e raízes).

Tratamentos	Boro	Ferro	Manganês	Zinco	Cobre
	mg				
Micorriza	0,73 b	51,8 a	2,20 ab	2,51 a	1,06 a
3% NPK + 3% N	0,58 cd	28,5 a	3,34 a	1,06 a	0,63 b
3% NPK + 3% P	0,75 b	32,5 a	2,25 ab	1,16 a	0,80 ab
3% NPK + 3% K	0,89 a	37,2 a	1,98 ab	1,19 a	0,87 ab
3% NPK + micro	0,69 bc	33,9 a	2,53 ab	1,16 a	0,77 ab
3% NPK	0,80 ab	81,3 a	3,33 a	1,60 a	1,03 a
Testemunha	0,54 d	49,4 a	1,50 b	0,89 a	0,76 ab
P	< 0,0001	0,1036	0,0121	0,1943	0,0214

* Valores com a mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.5 Resultados referentes as análises de solo

Na tabela 19 apresentam-se os valores de pH dos solos em água e em cloreto de potássio, fósforo e potássio extratáveis e teor de matéria orgânica.

Para os valores de pH observou-se diferenças significativas e para as duas análises realizadas houve uma tendência com maior valor nos tratamentos Testemunha, Micorriza e 3% NPK + 3% K.

Quanto ao fósforo ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos, com valores entre 55,3 (Testemunha) a 314,7 (Micorriza). Para o potássio também se observou diferenças significativas com o menor valor no tratamento Testemunha (55,3) e o maior no tratamento 3% NPK + 3% K (141,3). O teor de matéria orgânica dos solos variou em todos os tratamentos, com valores de 1,58 (3% NPK + 3% K) a 2,00 (Micorriza).

Tabela 19. Resultados da análise de rotina dos solos em função dos tratamentos fertilizantes.

Tratamentos	pH		P ₂ O ₅		K ₂ O		MO			
	H ₂ O	KCl	mg kg ⁻¹		mg kg ⁻¹		%			
Micorriza	6,62	ab	6,06	a	314,7	a	141,0	a	2,00	a
3% NPK + 3% N	6,11	c	5,41	d	131,0	d	115,3	bc	1,80	d
3% NPK + 3% P	6,41	b	5,76	bc	281,7	b	112,0	bc	1,61	f
3% NPK + 3% K	6,61	ab	5,95	ab	158,7	c	141,3	a	1,58	g
3% NPK + micro	6,42	b	5,74	bc	181,3	c	119,3	b	1,94	b
3% NPK	6,42	b	5,69	c	169,3	c	107,7	c	1,73	e
Testemunha	6,74	a	5,74	bc	55,3	e	55,3	d	1,86	c
P	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

* Valores com a mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A tabela 20 contém os valores das bases de troca, acidez efetiva e capacidade de troca catiônica efetiva dos solos de diferentes tratamentos.

A acidez ativa, capacidade de troca catiônica efetiva, Na⁺⁺ e Mg⁺⁺ não apresentaram variações em função dos tratamentos fertilizantes, com comportamentos muito semelhantes. Para o caso do Ca⁺⁺ se observaram diferenças significativas, com valores variando de 21,4 cmol_c kg⁻¹ (3% NPK + 3% K) a 24,8 cmol_c kg⁻¹ (3% NPK + 3% P).

Para o K⁺ os valores variaram significativamente com menor valor obtido no tratamento Testemunha (0,15 cmol_c kg⁻¹) diferindo de todos os demais e maior valor no tratamento Micorriza, o qual não diferiu do apenas tratamento 3% NPK + 3% K.

Tabela 20. Resultados das análises do complexo de troca em função do tratamento fertilizante.

Tratamentos	Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		K ⁺		Na ⁺		AT	CTCe		
	cmol _c kg ⁻¹											
Micorriza	22,9	ab	5,63	a	0,30	ab	1,64	a	0,01	a	30,5	a
3% NPK + 3% N	22,0	b	5,61	a	0,27	bc	1,63	a	0,03	a	29,5	a
3% NPK + 3% P	24,8	a	5,76	a	0,24	cd	1,70	a	0,02	a	32,5	a
3% NPK + 3% K	21,4	b	5,44	a	0,31	a	1,67	a	0,07	a	28,8	a
3% NPK + micro	22,8	ab	5,39	a	0,27	bc	1,59	a	0,14	a	30,0	a
3% NPK	23,3	ab	5,46	a	0,23	d	1,53	a	0,01	a	30,6	a
Testemunha	22,2	ab	5,52	a	0,15	e	1,57	a	0,07	a	29,5	a
P	0,0199		0,8801		< 0,0001		0,1299		0,3627		0,0789	

* Valores com a mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os resultados da atividade da fosfatase e fósforo lábil são apresentados na tabela 21, como também o fósforo extraível com resina (P resina) e com bicarbonato (P bicarbonato), componentes do fósforo lábil.

A atividade da fosfatase apresentou maior valor no tratamento Micorriza e menor valor no tratamento 3% NPK + 3% N, com resultados variando de 221,1 a 377,8 μg nitrofenol $\text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$.

Tabela 21. Frações lábeis de fósforo no solo e atividade da fosfatase ácida em função do tratamento fertilizante.

Tratamentos	P resina		P bicarbonato		P lábil		Fosfatase μg nitrofenol $\text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$	
	----- mg kg^{-1} -----							
Micorriza	41,3	ab	116,3	a	157,6	a	377,8	a
3% NPK + 3% N	23,1	bc	63,0	d	86,1	b	221,1	d
3% NPK + 3% P	53,4	a	95,4	b	148,8	a	265,2	cd
3% NPK + 3% K	38,8	abc	59,3	d	98,2	b	257,3	cd
3% NPK + micro	58,1	a	86,2	bc	144,3	a	285,2	c
3% NPK	42,6	ab	67,1	cd	109,7	b	352,4	ab
Testemunha	19,5	c	31,1	e	50,6	c	302,1	bc
P	0,0002		< 0,0001		< 0,0001		< 0,0001	

* Valores com a mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Continuando a análise da tabela 21, os resultados de P resina apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos, com menor valor no tratamento Testemunha e maior valor no tratamento 3% NPK + micro, sendo que este último diferiu apenas dos tratamentos 3% NPK + 3% N e Testemunha. Para o P bicarbonato o maior valor foi encontrado no tratamento Micorriza ($116,3 \text{ mg kg}^{-1}$) diferindo dos demais tratamentos, enquanto o menor valor foi observado no tratamento Testemunha ($31,1 \text{ mg kg}^{-1}$). O fósforo lábil apresentou resultados com menor valor no tratamento Testemunha ($50,6 \text{ mg kg}^{-1}$) diferindo dos demais e maior no tratamento Micorriza ($157,6 \text{ mg kg}^{-1}$), não diferindo dos tratamentos 3% NPK + 3% P e 3% NPK + micro.

Os resultados obtidos para os teores de boro, manganês, zinco e cobre no solo não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 22).

O ferro apresentou valores entre $132,6 \text{ mg kg}^{-1}$ (3% NPK + 3% N) e $208,9 \text{ mg kg}^{-1}$ (Micorriza), para este elemento apenas o tratamento Micorriza apresentou um valor

significativamente superior, diferindo de todos os demais. Sendo o único parâmetro desta tabela que apresentou diferença significativa.

Tabela 22. Teor de micronutrientes no solo em função do tratamento fertilizante.

Tratamentos	Boro		Ferro		Manganês		Zinco		Cobre	
	mg kg ⁻¹									
Micorriza	0,98	a	208,9	a	164,4	a	8,21	a	12,9	a
3% NPK + 3% N	1,03	a	132,6	b	137,6	a	5,10	a	13,7	a
3% NPK + 3% P	1,12	a	149,9	b	116,8	a	4,19	a	13,5	a
3% NPK + 3% K	1,09	a	146,0	b	148,6	a	3,38	a	9,8	a
3% NPK + micro	1,24	a	147,8	b	136,2	a	4,16	a	13,2	a
3% NPK	1,23	a	146,4	b	135,6	a	3,86	a	13,1	a
Testemunha	0,88	a	133,1	b	127,7	a	3,30	a	13,3	a
P	0,4833		< 0,0001		0,0937		0,1680		0,7971	

* Valores com a mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5. Discussão

5.1 Atividade das clorofilas

A atividade das clorofilas apresentou poucas variações entre tratamentos e apenas na primeira análise se detectaram diferenças significativas em parâmetros do teste OJIP. Isso se deve ao fato de não haver alterações expressivas de estresse causadas pela diferença na nutrição de plantas a ponto de que a sensibilidade do equipamento pudesse detectar. Boughalleb & Hajlaoui (2011) em experimento com oliveira submetidas a estresse hídrico controlado obtiveram diferenças significativas apenas após 40 dias de regime hídrico das plantas em comparação com as regularmente irrigadas, demonstrando a dificuldade em se encontrar diferenças a partir desses parâmetros. Também, os mesmos autores, obtiveram valores de F_v/F_M entre 0,81 e 0,83 em plantas de oliveira livres de estresse hídrico, valores condizentes com os encontrados nesse trabalho que foram também de 0,81 a 0,83 (Tabelas 2 e 3).

5.2 Produção de matéria seca

Com relação a produção de matéria seca o tratamento que recebeu inoculação da micorriza comercial não diferiu dos maiores valores obtidos nos tratamentos fertilizados, demonstrando a reduzida utilidade do seu uso em comparação com os outros suplementos de fertilizantes químicos estudados.

Quando comparado com a Testemunha o tratamento com inoculação de micorriza se mostrou superior em produção de biomassa. Resultado semelhante foi obtido por Bati et al. (2014), quando testou uma micorriza comercial em três cultivares diferentes de oliveira em que o tratamento que recebeu a inoculação micorriza apresentou um aumento estatisticamente significativo na produção de biomassa das plantas ao longo de dois anos, quando comparados com as plantas que não receberam inoculação de micorriza.

5.3 Concentração de nutrientes nos tecidos

Os valores para concentração de nitrogênio nas folhas das plantas variaram de 12,4 a 24,1 g kg⁻¹, sendo que o tratamento com aplicação micorrízica não diferiu do tratamento com suplementação de nitrogênio, embora ambos tenham mostrado valor significativamente superior a testemunha. Bati et al. (2014) encontraram valores semelhantes, a variar entre 15,7 a 26,2 g kg⁻¹. Porém das três cultivares de seu estudo apenas uma apresentou diferença significativa da aplicação de micorriza comercial em comparação com a não aplicação, enquanto as outras duas cultivares não diferiram. Para os caules e raízes as concentrações de nitrogênio, do presente estudo, apresentaram a mesma tendência que as folhas, mantendo-se iguais ao tratamento com reforço de nitrogênio e se mostrando significativamente superior a testemunha.

O tratamento Micorriza, para as concentrações de fósforo nos tecidos se mostrou equivalente ao tratamento com suplementação deste nutriente, para folhas, caules e raízes. No tratamento Micorriza as concentrações de fósforo nos caules e nas raízes foram superiores às da Testemunha, mas não diferindo em relação a Testemunha quando avaliado a concentração de fósforo nas folhas. Embora as plantas ainda não se encontrem em fase adulta, a concentração de fósforo nas folhas, que oscilou entre 1,31 e 1,86 g kg⁻¹, se encaixa dentro das concentrações consideradas ótimas para oliveiras adultas que é de 1 a 3 g kg⁻¹ (Freeman, 2005).

Para as concentrações de potássio nas folhas, caules e raízes o tratamento com aplicação micorrízica se mostrou equivalente ao tratamento que recebeu suplementação de potássio. Porém apenas para as raízes apresentou diferença do tratamento Testemunha, a qual apresentou um valor inferior. Freeman (2005) refere que as concentrações ótimas de potássio em oliveiras adultas se situam em torno das 8 g kg⁻¹. Relativamente a isso, embora ainda não adultas, pode-se dizer que as plantas do presente estudo mostraram valores de concentração de potássio nas folhas em boas condições, entre 6,8 e 8,7 g kg⁻¹, sendo que o tratamento Micorriza apresentou o valor médio de 8,3 g kg⁻¹ de potássio nas folhas.

Segundo Miransari (2013) a micorriza também possui a capacidade de absorver cálcio do solo. Como a exploração do solo é maior pela planta em simbiose micorrízica, espera-se que ocorra um aumento da absorção de cálcio. Porém o tratamento Micorriza

não apresentou diferenças significativas de nenhum outro tratamento para as concentrações de cálcio nas folhas, caules e raízes, provavelmente pelo fato de a oferta de cálcio no solo em nenhum momento se tenha mostrado abaixo das necessidades da planta.

Para as concentrações de magnésio na planta, nos caules e raízes os valores variaram de 0,70 a 0,94 g kg⁻¹ e 3,02 a 3,72 g kg⁻¹, respectivamente, não apresentando diferenças significativas entre os tratamentos. Porém os resultados se mostraram de certa forma condizentes com os obtidos por Bati et al. (2014) que encontraram valores de 0,7 a 1,3 g kg⁻¹ e 3,00 a 4,40 g kg⁻¹ para caules e raízes respectivamente, os quais também não observaram diferença estatística para os tratamentos com e sem aplicação de micorriza comercial.

Ainda para o magnésio, suas concentrações nas folhas não diferiram entre o tratamento Micorriza e Testemunha, ao contrário do estudo de Bati et al. (2014), onde se observaram diferenças significativas sendo que os valores foram superiores nos tratamentos com aplicação micorrízica comercial em relação a não aplicação. O tratamento com reforço de nitrogênio mostrou um valor significativamente superior ao do tratamento com aplicação de micorriza.

O tratamento com aplicação de micorriza não diferiu significativamente de nenhum dos outros tratamentos para as concentrações de boro nos tecidos, tanto para as folhas como também para caules e raízes. Em contrapartida Bati et al. (2014) observaram diferenças significativas nas concentrações de boro nas plantas, porém as concentrações foram menores no tratamento com aplicação de micorrízica comercial quando comparado com a não aplicação, em dois dos cultivares estudados pelos autores. Marschner & Dell (1994) referem que esse micronutriente não é essencial para a micorriza, talvez por esse motivo o fungo não exerceria influência na absorção de boro pela planta.

O ferro não apresentou diferença de concentração nos tecidos das plantas quando se comparou o tratamento com aplicação micorrízica com a não aplicação, diferindo dos resultados obtidos por Bati et al. (2014), que para os três cultivares estudados apresentaram um valor superior de concentração de ferro nas folhas com aplicação de micorriza comercial em relação a não aplicação. Para os caules apenas uma cultivar apresentou diferença sendo a concentração inferior no tratamento com aplicação da micorriza comercial e nas raízes não foram observadas diferenças.

O manganês não diferiu em concentração para nenhum dos tecidos avaliados com relação ao tratamento Testemunha, sendo que sua concentração nas folhas também se mostrou inferior ao tratamento com suplementação de nitrogênio, o qual mostrou valor de concentração de manganês nas folhas superior a todos os outros tratamentos.

Para as concentrações de zinco nos tecidos das plantas, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos. Analisando os resultados de Bati et al. (2014), também para plantas de oliveira de dois anos, os resultados de um dos cultivares em estudo não apresentou diferença com aplicação de micorriza em comparação com a não inoculação, enquanto que os outros dois cultivares no mesmo estudo apresentaram diferença na concentração de zinco nas folhas e apenas um cultivar nos caules. Nas raízes nenhum dos três cultivares do estudo apresentaram diferença significativa para a concentração desse nutriente. Tendo em vista que os solos do presente estudo e do estudo em comparação não é o mesmo, observa-se certa semelhança no comportamento do zinco e maior variação é observada de acordo com o cultivar de oliveira estudado.

Para o cobre, o tratamento com aplicação de micorriza comercial não diferiu dos demais quando avaliado nos caules e nas raízes e se igualou a Testemunha, se mostrando superior apenas ao tratamento com reforço de nitrogênio. Em contrapartida o tratamento Micorriza mostrou concentração nas folhas superior a todos os outros tratamentos e embora com valores absolutos relativamente inferiores, o comportamento se mostrou muito semelhante ao observado por Bati et al. (2014). Possivelmente a micorriza influenciou na absorção de cobre como já referido por Miransari (2013).

5.4 Nutrientes aparentemente recuperados

A avaliação dos nutrientes aparentemente recuperados nas plantas nos dá uma perspectiva acerca do aproveitamento da planta sobre os fertilizantes aplicados e do conteúdo nutricional já presente no solo.

Levando em consideração os macro e micronutrientes aparentemente recuperados na totalidade da planta (Tabelas 17 e 18), pode-se dizer de modo geral que a aplicação micorrízica teve uma ação benéfica na planta. Os resultados são comparáveis aos dos restantes tratamentos fertilizados e superiores aos do tratamento Testemunha.

O tratamento com suplementação de nitrogênio quando avaliado principalmente sobre os nutrientes o fósforo, potássio e boro aparentemente recuperados, apresentou valores abaixo da maioria dos tratamentos, comportamento esse que difere do comportamento das plantas estudadas por Bati et al. (2014), que não apresentaram com expressividade esse tipo de influência.

5.5 Análise de solos

Como se pode observar na tabela 19, o pH dos solos, apesar de apresentar diferenças entre os tratamentos, oscilou de 6,11 a 6,74, faixa que se encaixa nas designações de pouco ácido a neutro segundo LQARS (2006), considerada adequada para o desenvolvimento não limitante das raízes, tendo em vista que o pH ideal para o desenvolvimento da oliveira se situa entre 6,0 e 7,5, segundo Arrobas & Moutinho-Pereira (2009). Os dados de produção de matéria seca de raízes (Tabela 4) reforçam essa afirmação, uma vez que não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos. Todavia em concordância com o comportamento observado nesse estudo Leifheit et al. (2015) também observaram uma leve elevação do pH em solos na presença do fungo micorrízico.

O potássio do solo atingiu os maiores resultados no tratamento com suplementação de potássio (3% NPK + 3% K) com 141,3 mg kg⁻¹ e no tratamento Micorriza com 141,0 mg kg⁻¹, os quais não diferiram significativamente entre si e foram superiores aos demais tratamentos.

Analisando o fósforo extraível do solo, o tratamento Micorriza apresentou um valor de 314,7 mg kg⁻¹ quase seis vezes superior ao da Testemunha que foi de 55,3 mg kg⁻¹, sendo significativamente superior inclusive ao tratamento que recebeu a suplementação de fósforo (281,7 mg kg⁻¹). Também quando analisado a atividade da fosfatase, o tratamento Micorriza apresentou o maior valor, apesar de não ter diferido do tratamento 3% NPK, mostrou que certamente a micorriza exerceu influência na biodisponibilidade do fósforo, comportamento sobre a solubilização do fósforo como já referido por Kumar et al. (2017). Pode-se observar também que o tratamento com suplementação de fósforo (3% NPK + 3% P) apresentou um valor baixo de 265,2, não diferindo do menor valor

encontrado, fato coerente com o que VanAarle & Plassard (2010) referem, sobre uma atividade da fosfatase normalmente inferior em solos com alta concentração de fósforo.

Os teores de matéria orgânica dos diferentes tratamentos apresentaram diferenças significativas e nenhum se mostrou igual a outro. O tratamento Micorriza apresentou valor superior aos demais, contendo 2,00% de matéria orgânica, possivelmente houve uma influência do fungo micorrízico sobre a fixação de carbono no solo, comportamento do fungo já referido por Godbold et al. (2006). Koller et al. (2013) também falam sobre a influência dos microrganismos na mineralização da matéria orgânica, em estudo com protozoários e micorrizas, porém atribuem maior crédito aos protozoários a esta ação.

Apesar das diferenças estatísticas acerca dos cátions de cálcio presentes naturalmente no solo como pode-se observar no tratamento Testemunha, o valor encontrado tanto neste quanto nos outros tratamentos, variando de 21,4 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ a 24,8 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, encontram-se na faixa considerada muito alta segundo LQARS (2006), dessa forma não expressariam diferentes influências entre os tratamentos. Ainda referindo LQARS (2006), também os cátions de magnésio e de sódio deste solo se encontram na designação muito alta em todos os tratamentos.

Estes valores são explicados devido aos aspectos conferidos aos solos pelas rochas ultrabásicas de formação, característica dos solos da região Nordeste de Portugal (Agroconsultores e Coba, 1991), conferindo também CTC efetiva naturalmente alta, segundo LQARS (2006), uma vez que seus valores permanecem dentro da faixa de 20,1 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ a 40,0 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$.

Os teores de boro, manganês, zinco e cobre no solo não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos, de forma a não apresentarem uma influência aparente da ação micorrízica sobre eles.

6. Conclusões

Para a atividade de fluorescência das clorofilas não se constata uma alteração coerente entre os tratamentos, sendo que apenas uma das análises apresentou diferenças estatísticas aparentemente por variabilidade experimental ou pouco tempo das folhas em regime escuro.

Para a produção de biomassa a micorriza comercial demonstrou influência positiva quando comparada com a testemunha, porém não superou os demais tratamentos fertilizantes, inclusive os tratamentos que continham apenas as doses de nitrogênio, fósforo e potássio equivalente as que existiam no produto comercial com o complexo micorrízico.

Assim, como concluído para a produção de biomassa, a concentração de nutrientes nos tecidos, os nutrientes aparentemente recuperados pelas plantas e os nutrientes acumulados nas plantas, não se registraram diferenças significativas entre tratamentos, com apenas algumas poucas exceções.

Já para as análises de solo a ação micorrízica se tornou mais expressiva, pois aumentou a biodisponibilidade de fósforo, potássio e ferro, e obteve o maior teor de matéria orgânica entre os tratamentos.

Portanto, de modo geral, o produto comercial à base de micorrizas apresentou um efeito benéfico para o desenvolvimento de plantas jovens de oliveira até o período de dois anos após o plantio. Porém, boa parte do benefício conferido se deveu à ação micorrízica junto do suplemento de nutrientes que acompanham a mistura. Em contrapartida para os efeitos sobre a ação benéfica nos solos conclui-se que foram exclusivos da micorriza, a qual se comparou com a suplementação de nutrientes realizada em] outros tratamentos.

7. Referências bibliográficas

- Abo-Ghalia, H. H., & Khalafallah, A. A. (2008). Responses of wheat plants associated with arbuscular mycorrhizal fungi to short-term water stress followed by recovery at three growth stages. *J Appl Sci Res*, 4, 570-580.
- Agroconsultores e Coba (1991). Carta de solos, carta do uso atual da terra e carta de aptidão da terra do nordeste de Portugal. UTAD. Vila Real.
- Alef, K., & Nannipieri, P. (1995). *Methods in applied soil microbiology and biochemistry* (No. 631.46 M592ma). Academic Press.
- Altieri, M. A. (2018). *Agroecology: the science of sustainable agriculture*. CRC Press.
- Arrobas, M., & Moutinho-Pereira, J. (2009). Fertilização do Olival. In M. Â. Rodrigues & C. Correia (Eds.), *Manual da safra e contra safra do olival* (1st ed., pp. 21–41). Bragança, Portugal: Instituto Politécnico de Bragança.
- Bacelar, E., Gonçalves, B., Moutinho-Pereira, J., & Correia, C. (2009). Botânica e Morfologia da Oliveira. In M. Â. Rodrigues & C. M. Correia (Eds.), *Manual da safra e contra safra do olival* (1st ed., pp. 18–20). Bragança, Pt: Instituto Politécnico de Bragança.
- Balbino, L. R. (1968). La méthode Egner-Riehm et la détermination du phosphore et du potassium «assimilável» des sols du Portugal. *II Col. Mediterrâneo Contrl. Fert. Plantas Cultivadas*, 55–65.
- Barea, J. M., Azcón, R., & Azcón-Aguilar, C. (2005). Interactions between mycorrhizal fungi and bacteria to improve plant nutrient cycling and soil structure. In *Microorganisms in soils: roles in genesis and functions* (pp. 195-212). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Bati, C. B., Santilli, E., & Lombardo, L. (2015). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and on micronutrient and macronutrient uptake and allocation in olive plantlets growing under high total Mn levels. *Mycorrhiza*, 25(2), 97-108.
- BMZ – Federal Ministry for Economic Cooperation and Development (2015). What is sustainable agriculture? Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

- Bogunovic, I., Trevisani, S., Seput, M., Juzbasic, D., & Durdevic, B. (2017). Short-range and regional spatial variability of soil chemical properties in an agro-ecosystem in eastern Croatia. *Catena*, 154, 50-62.
- Bot, A., & Benites, J. (2005). *The importance of soil organic matter: Key to drought-resistant soil and sustained food production* (No. 80). Food & Agriculture Org.
- Boughalleb, F., & Hajlaoui, H. (2011). Physiological and anatomical changes induced by drought in two olive cultivars (cv Zalmati and Chemlali). *Acta Physiologiae Plantarum*, 33(1), 53-65.
- Bremner, J. m. (1996). Nitrogen-Total. In D. I. et al SPARKS (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 3—Chemical Methods* (1st ed., pp. 1085–1121). Madison, EUA: Sssa Book.
- Comerford, N. B. (2005). Soil factors affecting nutrient bioavailability. In H. BassiriRad (Ed.), *Nutrient Acquisition by Plants* (Vol. 181, pp. 1–14). Flórida, EUA: Springer-Verlag.
- Coutinho, E. F., Ribeiro, F. C., & Cappellaro, T. H. (2009). Cultivo de oliveira (*Olea europaea* L.). *Embrapa Clima Temperado-Sistema de Produção (INFOTECA-E)*.
- Coutinho, H. L. C. *et al.* (2015). *Oliveira: aspectos técnicos e cultivo no sul do Brasil*. 1. ed. Brasília: EMBRAPA.181 p.
- Crisosto, C. H., Ferguson, L., & Nanos, G. (2011). Olive (*Olea europaea* L.). In *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits* (pp. 63-87e). Woodhead Publishing.
- Delgado, A., & Gómez, J. A. (2016). The soil. Physical, chemical and biological properties. In *Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture* (pp. 15-26). Springer, Cham.
- DGADR (2017). Guia para o produtor biológico, Direção Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural, URL: https://www.dgadr.gov.pt/images/docs/val/mpb/Guia_Produtor_Biologico.pdf

- DGPC - Direcção Geral de Protecção das Culturas (2000). Produção Integrada da Oliveira. Oeiras, 2000. Ministério da Agricultura do Desenvolvimento Rural e das Pescas.
- Eurostat. (2018). Agriculture, forestry and fishery statistics. Luxemburgo: European Union.
- Fitter, A. H., & Moyersoen, B. (1996). Evolutionary trends in root-microbe symbioses. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 351(1345), 1367-1375.
- Ghazali, M. F., Wikantika, K., Harto, A. B., & Kondoh, A. (2019). Generating soil salinity, soil moisture, soil pH from satellite imagery and its analysis. *Information Processing in Agriculture*.
- Godbold, D. L., Hoosbeek, M. R., Lukac, M., Cotrufo, M. F., Janssens, I. A., Ceulemans, R., ... & Miglietta, F. (2006). Mycorrhizal hyphal turnover as a dominant process for carbon input into soil organic matter. *Plant and Soil*, 281(1-2), 15-24.
- Gosling, P., Hodge, A., Goodlass, G., & Bending, G. D. (2006). Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. *Agriculture, ecosystems & environment*, 113(1-4), 17-35.
- Hedley, M. J., & Stewart, J. W. B. (1982). Method to measure microbial phosphate in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 14(4), 377-385.
- Hodge, A., Campbell, C. D., & Fitter, A. H. (2001). An arbuscular mycorrhizal fungus accelerates decomposition and acquires nitrogen directly from organic material. *Nature*, 413(6853), 297-299.
- Jones Jr, J. B. (2001). *Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis* (1st ed.). London, New York, Washington Dc: Crc Press Llc.
- Kannaiyan, S. (Ed.). (2002). *Biotechnology of biofertilizers*. Alpha Science Int'l Ltd.
- Koide, R. T., Goff, M. D., & Dickie, I. A. (2000). Component growth efficiencies of mycorrhizal and nonmycorrhizal plants. *The New Phytologist*, 148(1), 163-168.

- Jeffery, S., Gardi, C., & Jones, A. (2010). European Atlas of Soil Biodiversity. European Commission <http://dx.doi.org/10.2788/94222>.
- Kumar, R., Kumawat, N., & Sahu, Y. K. (2017). Role of biofertilizers in agriculture. *Pop Kheti*, 5(4), 63-66.
- Lakanen, E., & Ervio, R. (1971). *A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils*. Acta Agr. Fenn(123), p. 223-232.
- Leifheit, E. F., Verbruggen, E., & Rillig, M. C. (2015). Arbuscular mycorrhizal fungi reduce decomposition of woody plant litter while increasing soil aggregation. *Soil Biology and Biochemistry*, 81, 323-328.
- LQARS (Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva) (2006). Manual de fertilização das culturas. INIAP – LQARS. Lisboa.
- Madeira, M., & Ricardo, R. P. (2015). Complexo de troca, classificação e gestão dos Solos Ferralíticos de Angola. *Revista de Ciências Agrárias*, 38(3), 390–406.
- MAPA (2012). Instrução normativa nº 1, de 30 de janeiro de 2012. <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=629707739>>. Acesso em 27/08/2019.
- Maria Dulce Alcobia; José Raul Ribeiro (2001). Manual do Olival em Agricultura Biológica.
- Marschner, H., & Dell, B. (1994). Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and soil*, 159(1), 89-102.
- Miransari, M. (2013). Arbuscular mycorrhizal fungi and uptake of nutrients. In *Symbiotic endophytes* (pp. 253-270). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Monteiro, A. M. (1999). A oliveira. *Série Património Natural Transmontano*. João Azevedo Editor. Mirandela.
- Mukerji, K. G., Manoharachary, C., & Singh, J. (Eds.). (2006). *Microbial activity in the rhizosphere* (Vol. 7). Springer Science & Business Media.

- Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods*, 5, 961-1010.
- Rai, M. (Ed.). (2006). *Handbook of microbial biofertilizers*. CRC Press.
- Reis, P. (2014). O olival em Portugal. Dinâmicas, tecnologias e relação com o desenvolvimento rural. *Lisboa: Animar—Associação Portuguesa para o Desenvolvimento Local*.
- Sharma, A. K. (2005). The living soil. *Biofertilizers for Sustainable Agriculture, Agrobios (India), Jodhpur*, 1-19.
- Sibbet, G. S., & Martin, G. C. (1994). *Olive production manual* (Vol. 3353). L. Ferguson (Ed.). University of California.
- Sims, J. T. (1996). Lime Requirement. In D. . et al Sparks (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 3—Chemical Methods* (1st ed., pp. 491–515). Madison, EUA: Sssa Book.
- Smith, S. E., & Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal symbiosis*. Third edition. Academic press.
- Tabatabai, M. A., & Bremner, J. M. (1969). Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 1(4), 301–307. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(69\)90012-1](https://doi.org/10.1016/0038-0717(69)90012-1).
- Toscano, P., Iannotta, N., & Scalercio, S. (2015). Botanical and Agricultural Aspects: Agronomic Techniques and Orchard Management. *Agricultural and Food Biotechnologies of Olea europaea and Stone Fruits*, 1, 3.
- Van Der Heijden, M. G., Martin, F. M., Selosse, M. A., & Sanders, I. R. (2015). Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future. *New Phytologist*, 205(4), 1406-1423.
- Wolf, B. (1974). Communications in soil science and plant analysis improvements in the azomethine - H method for the determination of boron. *Communications In Soil Science And Plant Analysis*, 5(1), 37–41.