

Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Engenharia Agronómica

Dissertação

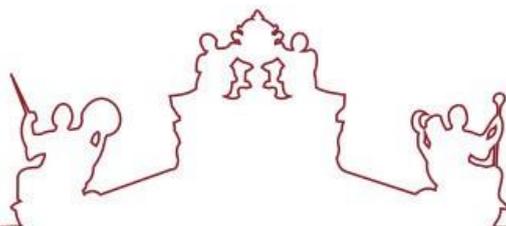
**Influência da aplicação de composto orgânico
municipal nas características do solo, na produção e na
qualidade do espinafre**

Miguel Taborda Brás Robalo

Orientador / Professor Doutor Rui Manuel de Almeida Machado

Évora 2021





Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Engenharia Agronómica

Dissertação

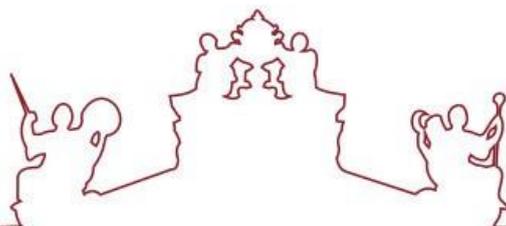
**Influência da aplicação de composto orgânico
municipal nas características do solo, na produção e
na qualidade do espinafre**

Miguel Taborda Brás Robalo

Orientador / Professor Doutor Rui Manuel de Almeida Machado

Évora 2021





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

Presidente / Vasco Fitas da Cruz (Universidade de Évora)

Vogais / Rui Ferreira (Universidade de Évora) (Arguente)
Rui Manuel Machado (Universidade de Évora) (Orientador)

Évora 2021



Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

Agradecimentos

Quero agradecer à Universidade de Évora e aos professores que fizeram parte do meu percurso universitário, em especial ao Professor Doutor Rui Manuel de Almeida Machado pela disponibilidade, paciência, incentivo e total colaboração, tanto na realização dos ensaios, como na escrita da dissertação.

À Professora Doutora Isabel Alves Pereira, pela disponibilidade e apoio imprescindível na realização das análises químicas e bioquímicas.

À D. Luiseta Palma e D. Maria das Dores, pela ajuda prestada no Laboratório de Física do Solo da Mitra.

Ao Francesco Manicone, pelo auxílio, disponibilidade e incentivo durante a realização dos ensaios e pela partilha de experiência para a escrita da dissertação.

Agradecer também aos meus colegas de curso, em especial Inês Marques, Maria Margarida Borges, Daniela Farinha, Miguel Silva e David Tavares, pelo companheirismo, amizade e incentivo, não só durante a dissertação, mas também por estarem sempre presentes ao longo da minha vida académica.

Por fim, um agradecimento especial aos meus pais e ao meu irmão, pelo apoio incondicional, amizade, incentivo e força que sempre me deram ao longo de todo o meu percurso académico, para ultrapassar todos os obstáculos e também na escrita da dissertação. Sem eles nada disto teria sido possível e a eles dedico esta dissertação.

Resumo

Este trabalho teve como objetivo analisar a influência da aplicação de composto orgânico municipal, sem e com a adição de azoto, nas características do solo, na produção e qualidade de espinafre. Para o efeito, realizou-se um ensaio, com dois solos e sete tratamentos; solo fertilizado e 6 tratamentos com composto (duas taxas de composto, 35 e 70 t/ha) distribuído no solo e 35 t/ha localizado no solo e essas taxas suplementadas com azoto. A adição de composto, aumentou a condutividade elétrica dos solos, mas o seu acréscimo, não alcançou valores prejudiciais ao crescimento das plantas. A aplicação de composto ao solo ácido (5,5), nas duas taxas, elevou o pH para valores adequados. A suplementação do composto com azoto, em ambos os solos, aumentou a produção, em cerca de 207%. A produção, com a aplicação de 70 t de composto mais azoto, foi igual à obtida no solo fertilizado (37,8 t/ha).

Palavras-chave: compostos orgânicos municipais; pH, condutividade elétrica; produção; nitrato

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

Influence of municipal organic compost application on the soil characteristics, yield and quality of spinach

Abstract

This work aimed to analyse the influence of the application of municipal organic compost, without and with the addition of nitrogen, on the soil characteristics, on the yield and quality of spinach. For this purpose, an experiment was carried out, with two soils and seven treatments; fertilized soil and 6 compost treatments (two compost rates, 35 and 70 t/ha) distributed and 35 t/ha located in the soil and these rates supplemented with nitrogen. The addition of compost increased the electrical conductivity of the soils, but its addition did not reach values harmful to plant growth. The application of compost to acidic soil (5,5), at both rates, raised the pH to adequate values. The supplementation of the compost with nitrogen, in both soils, increased the production, about 207%. The production, with the application of 70 t of compost plus nitrogen, was equal to that obtained in fertilized soil (37,8 t/ha).

Keywords: municipal organic composts; production; pH and soil electrical conductivity; nitrate

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

Índice

Resumo.....	III
Abstract.....	IV
Índice de figuras.....	VI
Índice de quadros.....	VII
Lista de abreviaturas.....	VIII
1. Introdução.....	1
2. Revisão Bibliográfica.....	4
2.1 A cultura do espinafre.....	4
2.1.1 Características nutricionais e fitoquímicas do espinafre.....	7
2.2 Pigmentos fotossintéticos.....	10
2.3 Nitrato.....	12
2.3.1 Fatores influenciadores da absorção e acumulação de nitrato.....	13
2.4 Composto orgânico municipal.....	15
2.4.1 Efeitos da aplicação de compostos orgânicos municipais no solo.....	17
3. Materiais e Métodos.....	21
3.1 Tratamentos e delineamento estatístico.....	21
3.2 Instalação e condução do ensaio.....	23
3.3 Parâmetros medidos.....	26
4. Resultados e Discussão.....	29
4.1 Solo.....	29
4.1.1 Temperatura do solo.....	29
4.1.2 Humidade do solo.....	30
4.1.3 Condutividade elétrica.....	31
4.2 pH, condutividade elétrica e matéria orgânica do solo após a colheita....	33
4.3 Crescimento e produção.....	37
4.4 Parâmetros Qualitativos.....	40
4.4.1 Pigmentos fotossintéticos.....	40
4.4.2 Nitrato.....	44
5. Conclusões.....	46
6. Referências bibliográficas.....	48

Índice de figuras

Figura 1 - Plantas de espinafre, <i>Spinacia oleracea</i> cv. Manatee.	5
Figura 2 - Produção, área cultivada e produtividade de espinafre em Portugal nos anos 2016, 2017 e 2018 (INE, 2016 - 2018).	6
Figura 3 - Fenóis totais em espinafre, feijão verde e brócolos frescos, congelados e cozidos (Watson & Preedy, 2010).	9
Figura 4 - Representação estrutural: A - Clorofila-a; B- Clorofila-b; C - β -carotenos (Streit et al., 2005).	11
Figura 5 - Aspeto dos motes com plântulas de espinafre antes da transplantação.	24
Figura 6 - Vista do ensaio - Disposição dos vasos durante o período experimental.	25
Figura 7 - Temperaturas registadas durante o período experimental ao nível da canópia.	25
Figura 8 - Instrumentos utilizados nas medições.	26
Figura 9 - Influência do solo e dos tratamentos no pH do solo após a colheita	34
Figura 10 - Influência do solo e dos tratamentos na matéria orgânica do solo após a colheita	36
Figura 11 - Influência do solo e dos tratamentos na condutividade elétrica do solo após a colheita.	37
Figura 12 - Influência do solo e dos tratamentos na percentagem de matéria seca.	38
Figura 13 - Influência do solo e dos tratamentos no conteúdo de clorofila-a	42
Figura 14 - Influência do solo e dos tratamentos no conteúdo de clorofila-b.	42
Figura 15 - Influência do solo e dos tratamentos no conteúdo total de clorofilas ..	43
Figura 16 - Influência do solo e dos tratamentos no conteúdo de carotenoides	44
Figura 17 - Influência do solo e dos tratamentos na acumulação de nitratos na parte aérea dos espinafre	45

Índice de quadros

Quadro 1 - Composição nutricional do espinafre, com valores por 100 g de peso fresco (USDA, 2019).	8
Quadro 2 - Características físicas e químicas dos solos usados	22
Quadro 3 - Características físicas e químicas do composto orgânico municipal utilizado no trabalho experimental.....	23
Quadro 4 - Influência dos solos e dos tratamentos com composto na temperatura do solo a 10 cm de profundidade.	29
Quadro 5 - Influência do solo e dos tratamentos com composto na temperatura à superfície do solo.....	30
Quadro 6 - Influência do solo e dos tratamentos com composto no teor de umidade volúmica do solo.	31
Quadro 7 - Influência do solo e dos tratamentos com composto na condutividade elétrica.....	32
Quadro 8 - Influência do solo e dos tratamentos com composto no pH, na condutividade elétrica e na matéria orgânica do solo medida na profundidade de 0 a 10 cm, após a colheita	33
Quadro 9 - Efeitos do solo e da adição de composto na produção, matéria seca e na área foliar.	40

Lista de abreviaturas

ATP - Adenosina Trifosfato

C - Carbono

C/N - Razão Carbono/Azoto

Ca - Cálcio

CH₄ - Metano

Ch-a - Clorofila-a

Ch-b - Clorofila-b

Cc - carotenos

CO₂ - Dióxido de carbono

CTC - Capacidade de troca catiónica

DAP - Dias Após a Plantação

FW - Peso fresco

H - Hidrogénio

K - Potássio

Mg - Magnésio

MSWC - Municipal Solid Waste Compost

N - Azoto

NADPH - Fosfato de dinucleótido de nicotinamida e adenina (forma reduzida)

NH₃ - Amoníaco

NO₃⁻ - Ião Nitrato

NR - Nitrate Redutase, EC 1.7.1.1

O₂ - Oxigénio

P - Fósforo

ROS - Espécies reativas de oxigénio

1. Introdução

Existe uma preocupação crescente com os problemas ambientais relacionados com o solo, nomeadamente a degradação do mesmo, a desertificação, a erosão e a perda de fertilidade. Estes problemas são parcialmente consequência do declínio do teor de matéria orgânica (Martínez-Blanco et al., 2013). Em Portugal, a generalidade dos solos é ácido e tem baixos teores de matéria orgânica e com tendência para a sua diminuição, devido às condições climáticas e más práticas agrícolas (Avillez & Carvalho, 2015). A manutenção e melhoria dos níveis de carbono orgânico do solo está a tornar-se um aspeto cada vez mais importante na agricultura moderna.

Os compostos orgânicos, nomeadamente os compostos orgânicos municipais, providenciam, potencialmente, um dos métodos mais eficazes para aplicar matéria orgânica aos solos e para melhorar os níveis de carbono orgânico. A aplicação de compostos ao solo, na produção de vegetais, demonstrou potencial para diminuir a necessidade de fertilizantes, irrigação e pesticidas (Paulin & O'Malley, 2008). Para além disso, a utilização de compostos orgânicos municipais permite reduzir o volume de resíduos nos aterros, convertendo-os num produto rico em matéria orgânica e que pode ser aplicado no solo (Moldes et al., 2007).

A Comissão Europeia, considera também, o uso de compostos orgânicos municipais na agricultura, um caminho a seguir para o fornecimento de matéria orgânica, para melhorar a fertilidade do solo, tendo estabelecido como objetivo, reutilizar e reciclar, pelo menos 70% dos resíduos orgânicos municipais antes de 2030 (Cesaro et al., 2015; Minelgaité & Liobikienė, 2019). Para tal, é necessário efetuar uma separação correta na origem, possibilitando a obtenção de uma matéria-prima pura e de elevada qualidade para produção de um composto não contaminado. Uma matéria-prima pura, recolhida através de um sistema de recolha seletiva, cumpre mais facilmente com as normas de qualidade para composto, produzindo um produto de fácil comercialização e aplicação, o que se traduz em vantagens para o meio ambiente (Comissão Europeia, 2020).

O espinafre, sendo uma cultura de folhas, tem como característica acumular uma grande quantidade de nitratos. Idealmente, o regime de fertilização de azoto

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

deve ser gerido de forma a que a produção seja a máxima possível sem levar a acumulação excessiva de nitratos (Abubaker et al., 2010). Os nitratos são potencialmente nocivos para os humanos se consumidos em grandes quantidades (Ott et al., 2008). Os limites estabelecidos pela União Europeia de concentração de nitratos nos espinafres é de 3500 mg/kg (peso fresco) e o limite máximo de 2000 mg/kg, para espinafres processados (Regulamento (UE) nº1258/2011 da Comissão Europeia). Os compostos orgânicos municipais contêm geralmente baixas concentrações de N, P e K. Para além disso, normalmente, estes decompõem-se lentamente e comportam-se como uma fonte de libertação lenta de N ao longo de vários meses ou anos. Assim, a sua disponibilidade para as plantas pode ser baixa e irregular (Machado et al., 2020). Por outro lado, estes compostos têm normalmente pH e condutividade elétrica elevadas, o que pode afetar negativamente o crescimento das plantas. Contudo, como grande parte dos solos portugueses são ácidos, a sua aplicação pode contribuir para corrigir o pH. Assim, este trabalho tem como objetivo estudar a influência da aplicação de composto orgânico municipal, “NUTRIMAIS”, da Lipor, com e sem suplementação de azoto, nas características do solo, na produção e na qualidade dos espinafres. Para avaliar o efeito que o composto teve sobre as características do solo foram medidos o pH, a condutividade e o teor de matéria orgânica e a temperatura do solo. De forma a avaliar a sua influência no crescimento da cultura, avaliou-se o seu efeito na produção comercial e na biomassa, conteúdo em pigmentos fotossintéticos e teor de nitrato.

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

2. Revisão Bibliográfica

2.1 A cultura do espinafre

O espinafre (*Spinacia oleracea* L.), pertence ao género *Spinacia* e à família das *Amarantáceas*, que inclui um número escasso de espécies herbáceas, originárias do sudoeste asiático.

O espinafre tem um sistema radicular superficial, que prefere regas curtas e frequentes, de forma a manter uma humidade uniforme no solo. No entanto, deve haver precauções, pois o espinafre é sensível à asfixia radicular (Koike et al., 2011). Dentro dos vegetais de folhas (*leafy vegetables*), o espinafre é dos que tem menor eficiência em absorver e usar azoto, requerendo elevadas taxas de fertilização, para crescer e para se obter melhor qualidade foliar (Di Mola et al., 2020). Do azoto aplicado na fertilização, cerca de 60% é perdido por lixiviação, provavelmente devido ao sistema radicular superficial e ao ciclo curto da cultura (Joshi et al., 2020).

Em relação às necessidades climáticas o espinafre é uma cultura vegetal de rápida maturação e de época fria. As sementes germinam entre os 2 e 30°C, sendo a temperatura ótima entre os 7 e os 24°C. A cultura cresce com temperaturas entre os 5 e os 30°C, sendo que se verifica um crescimento mais rápido entre os 15 e 18°C. Aguentam baixas temperaturas entre -9 e -6°C sem grandes lesões. As plantas jovens (plântulas) não suportam temperaturas abaixo de zero. No entanto, as plantas mais maduras conseguem tolerar temperaturas abaixo de 0°C durante várias semanas (Koike et al., 2011).

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre



Figura 1 - Plantas de espinafre, *Spinacia oleracea* cv. Manatee.

As folhas, dispostas em roseta, são pecioladas e têm o limbo de forma ovada, alongada ou pontiaguda. Nas folhas completamente expandidas, o comprimento dos pecíolos é semelhante ao do limbo, mas diminui progressivamente das folhas mais velhas para as mais jovens (Almeida, 2006). O espinafre é uma planta dioica, ou seja, o desenvolvimento das flores masculinas e femininas ocorre em plantas separadas (Cermeño, 1977).

O espinafre é classificado principalmente com base nas características das folhas. Segundo, Avsar, (2011) e Welbaum, (2015), as três principais cultivares de espinafres são:

- *Savoy*, que se caracteriza por ter folhas mais encaracoladas, vincadas e mais crocantes, usada especialmente para venda em fresco;
- *Folha lisa*, que se caracteriza por ter folhas alisadas sem vincos em forma de espada, usada preferencialmente para processamento;
- *Baby leaf*, que é um tipo de espinafre usado preferencialmente em saladas devido ao seu sabor e textura delicada;

Segundo Almeida (2006), interessa do ponto de vista hortícola considerar os seguintes critérios de classificação das cultivares:

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

- Porte da planta: ereto, semi-ereto ou prostrado. Se a colheita for mecanizada é necessário escolher cultivares de porte ereto.
- Tipo de folhas: tamanho, intensidade de cor verde, forma.
- Rugosidade do limbo:
 - Cultivares de folhas lisas;
 - Folhas semi-rugosas
 - Folhas rugosas
- Aptidão: fresco, congelação
- Adaptação à época de produção: Outono-Inverno e Primavera-Verão.

Em Portugal, o espinafre é consumido em grandes quantidades ao longo do ano, para responder a esse hábito de consumo, é produzido ao ar livre e em ambiente protegido.

De acordo com o Instituto Nacional de Estatística, nos anos 2016, 2017 e 2018 a produção e a área cultivada foram de 5709, 6498 e 6946 toneladas e 611, 536 e 436 hectares, respetivamente (figura 2). Apesar da área cultivada ter vindo a diminuir, a produtividade tem vindo a aumentar, tal como se verifica na figura 2.

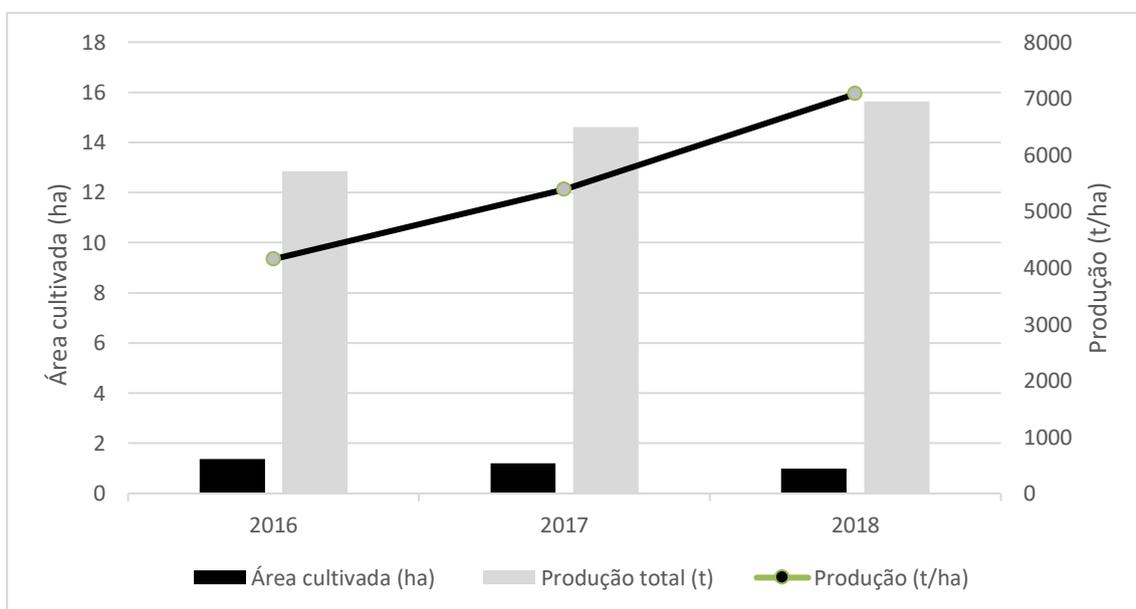


Figura 2 - Produção, área cultivada e produtividade de espinafre em Portugal nos anos 2016, 2017 e 2018 (INE , 2016, 2017, 2018).

2.1.1 Características nutricionais e fitoquímicas do espinafre

O espinafre tem um elevado valor nutracêutico (nutricional e funcional), pois é rico em minerais (Joshna & Lakshmi, 2013) (quadro 1), tem poucas calorias e gordura, é rico em vitaminas e fitoquímicos (Alvino & Barbieri, 2015) e possui elevada atividade antioxidante (Ismail et al., 2004).

O espinafre é rico em potássio, magnésio, manganês, cálcio e ferro e em vitamina A, C e K. (quadro 1). De destacar a elevada percentagem de água presente nos espinafres (91,4 %), a quantidade de proteínas (2,35 g/100 g FW) e de fibra (2.2 g/100g FW), que corresponde a 8,8% da dose diária recomendada para um adulto saudável (Roberts & Moreau, 2016). De destacar também a baixa concentração de lípidos e açúcares, característica que faz do espinafre um alimento diurético, muito presente em dietas mais saudáveis (quadro 1).

O consumo de espinafres beneficia a saúde humana na medida em que, ao melhorar o estado nutricional, ajuda a prevenir a ocorrência de determinadas patologias humanas tais como a obesidade, o cancro, a hiperglicemia e doenças cardiovasculares (Almeida, 2006; Roberts & Moreau, 2016).

O espinafre tem uma atividade antioxidante maior que a cebola, o pimento e o tomate e um conteúdo fenólico maior que o pepino, cenouras e couves (Fornaciari et al., 2014). O espinafre, em relação a outras culturas hortícolas, como o feijão-verde e o brócolo, contêm uma maior quantidade de compostos fenólicos (figura 3).

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

Quadro 1 - Composição nutricional do espinafre, com valores por 100 g de peso fresco (FW) (USDA, 2019).

	Unidade	Valor por 100 g de FW
Água	g	91,4
Energia	kcal	24
Proteína	g	2,35
Lípidos	g	0,39
Carboidratos	g	3,53
Fibra	g	2,2
Açúcares	g	0,42
Cálcio	mg	99
Ferro	mg	2,35
Magnésio	mg	71
Fósforo	mg	49
Potássio	mg	559
Sódio	mg	76
Zinco	mg	0,53
Manganês	mg	0,897
Vitamina C	mg	28,2
Vitamina A	µg	469
Vitamina D (D2+D3)	µg	0
Vitamina E	mg	2,03
Vitamina K	µg	483,5
Vitamina B6	mg	0,195
Vitamina B12	µg	0
Riboflavina	mg	0,189
Niacina	mg	0,724
Tiamina	mg	0,078

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

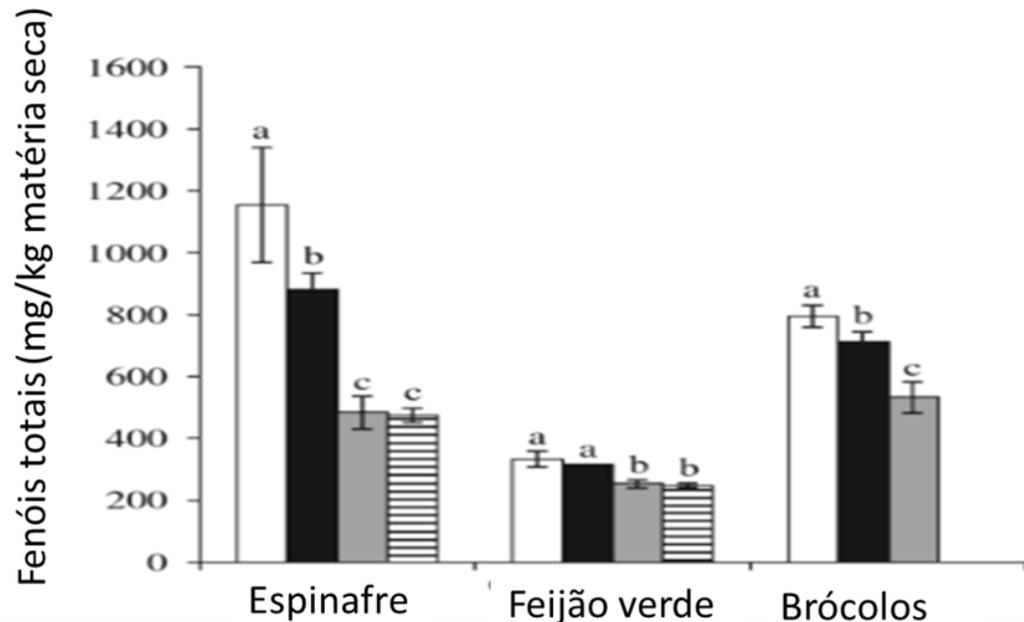


Figura 3 - Fenóis totais em espinafre, feijão verde e brócolos frescos, congelados e cozidos (Watson & Predy, 2010) (coluna a branco - vegetais frescos).

O espinafre contém uma quantidade significativa de fitoquímicos que podem ser definidos como compostos bioativos não nutritivos. Os fitoquímicos presentes no espinafre são descritos como poderosos agentes antioxidantes, capazes de: i) eliminar ROS (espécies reativas de oxigênio); ii) prevenir a ocorrência de danos oxidativos em macromoléculas; iii) modular a expressão de genes envolvidos no metabolismo, proliferação e inflamação celular; iv) inibir a ingestão de alimentos por indução da secreção hormonal (Roberts & Moreau, 2016), propriedades que conferem ao espinafre elevado valor funcional, uma vez que para além de constituir uma fonte nutricional básica, comporta-se também como agente promotor de saúde.

Os compostos fitoquímicos presentes no espinafre, como os carotenos (maioritariamente β -caroteno), luteína e flavonoides e ainda as vitaminas C e E, trazem muitos benefícios para a saúde humana, como por exemplo, a redução do stress oxidativo e a ação protetora contra o cancro gastrointestinal (Dias, 2019; Olasupo & Aborisade, 2018). Para além dos flavonoides, luteína e β -caroteno, o espinafre contém outros fitoquímicos como o ácido ascórbico, riboflavina, outros

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

carotenoides, tocoferóis e fenóis. O espinafre é também rico em oxalatos, que em elevadas concentrações nos fluidos corporais podem cristalizar em forma de oxalato de cálcio e causar problemas de saúde como a litíase renal, na gíria designada de pedras nos rins (Dias, 2019).

Os níveis de fibra e outros fitoquímicos são afetados por fatores ambientais, genótipo, condições de crescimento, estágio de crescimento e técnicas de pós-colheita tal como as condições de armazenamento (Barkat et al., 2018).

2.2 Pigmentos fotossintéticos

Os pigmentos fotossintéticos são substâncias capazes de absorver luz visível desempenhando um papel relevante na captação de energia radiante e na sua transformação em energia química com a geração de equivalentes redutores sob a forma de NADPH e de ATP. Apesar de as células animais serem capazes de modificá-los quimicamente para a assimilação, não são capazes de os sintetizar (Schoefs, 2002).

Os pigmentos fotossintéticos como as clorofilas e os carotenoides (figura 4), são componentes usuais dos alimentos, uma vez que são componentes endógenos nas plantas.

As clorofilas pertencem a uma família de pigmentos verdes presentes em cianobactérias e em todos os organismos que contêm cloroplastos nas suas células. O conteúdo em clorofila nas folhas é também um bom indicador informativo da saúde vegetal (Barchanska et al., 2014), uma vez que a assimilação de carbono, sob a forma de dióxido de carbono (CO₂), depende da taxa de fotossíntese. Existem dois tipos maioritários de clorofila: i) Clorofila-a, numerosa e presente em todos os centros de ação; ii) Clorofila-b que, quando presente, integra o grupo dos pigmentos antena ou recetores. No espinafre, cerca de 75% da clorofila é do tipo a (Jubert & Bailey, 2007).

Os carotenoides são pigmentos acessórios como a luteína, de cor vermelho alaranjada, que alargam o espetro de captação de radiação eletromagnética ou protegem contra as ROS, como o β-caroteno (figura 4) (Muñoz-Ortuño et al., 2017).

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

São compostos de natureza tetraterpenoide que podem ser detetados em flores, frutos e raízes vegetais (Hashimoto et al., 2016). Os carotenoides podem ser também precursores de fito hormonas, como o ácido abscísico (ABA) e as estrigolactonas (SLs) (Al-Babili & Bouwmeester, 2015). Alguns derivados dos carotenoides podem participar em vias de sinalização que medeiam o desenvolvimento da planta e a resposta ao stress ambiental (Hou et al., 2016; Tian, 2015). Além do seu papel central no metabolismo vegetal, os carotenoides desempenham um papel vital na nutrição e saúde humana, sendo por esse motivo componentes indispensáveis da dieta como agentes antioxidantes que previnem o aparecimento de patologias cardiovasculares, do foro oncológico e oculares, relacionadas com a idade (Sun et al., 2018).

O conteúdo de pigmentos fotossintéticos nas células vegetais pode ser afetado por “stress” abiótico ou biótico. Por exemplo, o stress salino pode diminuir o teor de pigmentos fotossintéticos, possivelmente devido à menor capacidade das plantas em sintetizá-los ou na maior degradação de clorofilas (Parida et al., 2004). A deficiência em nutrientes influencia fortemente as funções e estrutura do aparelho fotossintético (Kalaji et al., 2014).

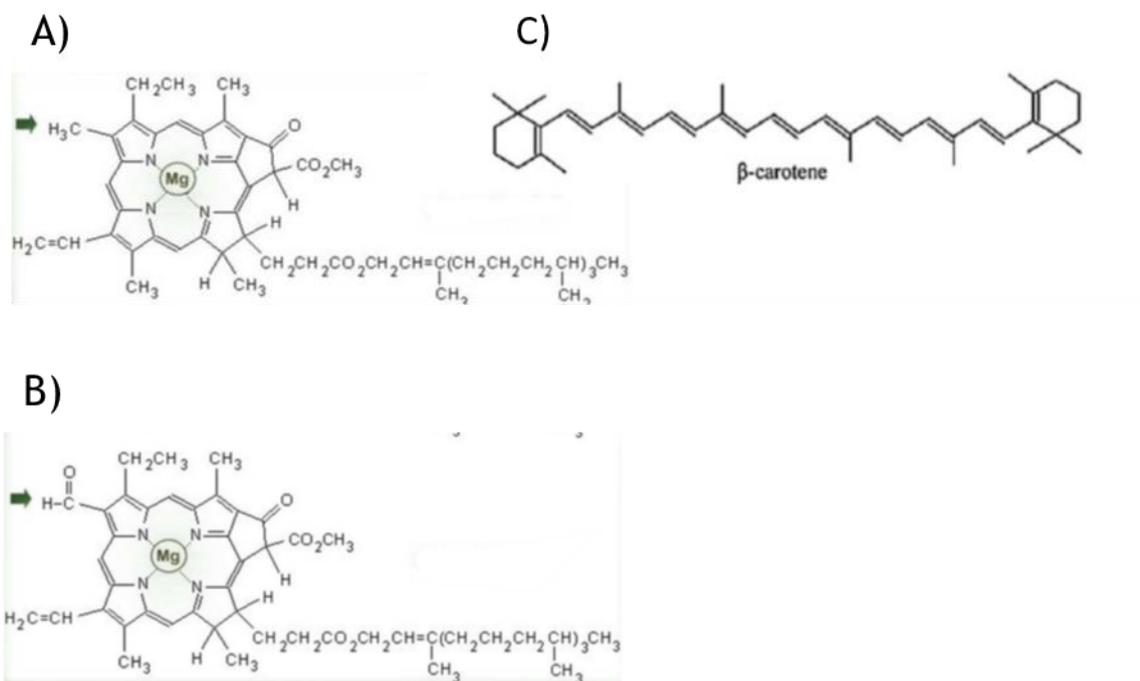


Figura 4 - Representação estrutural: A - Clorofila-a; B- Clorofila-b; C - B-carotenos (Streit et al., 2005).

2.3 Nitrato

O nitrato é um composto de azoto que ocorre naturalmente em concentrações moderadas nos mais variados ambientes (Wakida & Lerner, 2005). O azoto é um constituinte da clorofila, proteínas e muitas outras moléculas vitais para o crescimento das plantas e influencia a produção e a qualidade das plantas hortícolas. É um dos nutrientes mais aplicados e tende a ser um dos nutrientes que mais limita o seu crescimento (Jalali, 2005). Os vegetais de folhas como o espinafre, são o grupo de vegetais mais sensível à acumulação de nitrato, sendo que uma elevada concentração de nitratos é indesejável devido às possíveis implicações na saúde humana (Alvino & Barbieri, 2015).

Os vegetais são a maior fonte diária de consumo de nitrato, cerca de 72% a 94% do consumo diário de nitrato (Anjana et al., 2007). Contudo, a presença de nitratos, está associada a várias patologias (Irigoyen et al., 2006), pois:

- Pensa-se que a toxicidade provocada pelos nitratos, é devida à sua redução em nitritos e posterior conversão para nitrosaminas e nitrosamidas, cuja ação cancerígena é conhecida (Anjana et al., 2007).
- O nitrato é muitas vezes relacionado com a metemoglobinemia nos bebés, que ocorre quando há estímulo de produção de óxido nítrico no intestino que ao reagir com a oxiemoglobina no sangue converte-a em metemoglobina que não tem capacidade de transportar oxigénio (Powlson et al., 2008). Os adultos e os pré-adolescentes são muito menos suscetíveis à metemoglobina do que crianças mais novas (Santamaria, 2006).
- É considerado haver elevado risco de cancro bocal, do esófago, faringe, próstata, bexiga, cólon, reto e outras regiões intestinais relacionado com a elevada ingestão de nitratos. Outras doenças relacionadas com a elevada ingestão de nitratos são a doença de Alzheimer, demência do tipo Biswanger, múltiplos defeitos congénitos, esclerose múltipla, aborto espontâneo, defeitos congénitos e linfoma (Anjana et al., 2007).

Assim, a União Europeia estabeleceu limite máximo de nitrato (NO_3^-) para as

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

diferentes culturas hortícolas. Para espinafre em fresco (*Spinacia oleracea* L.) o limite é 3500 mg/kg (Hord et al., 2009; Irigoyen et al., 2006) (Regulamento (UE) nº1258/2011 da Comissão Europeia).

Contudo, a ingestão de nitratos pode também ter efeitos positivos para a saúde humana, tendo funções gastroprotetoras importantes (Anjana et al., 2007). A presença de nitratos e nitritos na dieta pode também contribuir para a redução da pressão arterial e estão também relacionados com a diminuição do risco de doenças cardiovasculares, mais precisamente doenças coronárias e redução do risco de AVC isquémico (Hord et al., 2009).

2.3.1 Fatores influenciadores da absorção e acumulação de nitrato

A acumulação e absorção de nitrato por parte das plantas hortícolas dependem de fatores: ambientais, incluindo a humidade do solo, a quantidade de horas de luz por dia, intensidade de radiação solar, temperatura; nutricionais, como por exemplo a disponibilidade de nutrientes no solo, e ainda fatores fisiológicos (Anjana et al., 2007; Maynard et al., 1976; Wang & Li, 2004).

O nitrato pode ser acumulado nas raízes, caules, folhas e frutos (Fytianos & Zarogiannis, 1999). No caso do espinafre, a acumulação de nitrato, é maior nos caules e nos pecíolos, podendo a concentração ser 261% e 241% maior, respetivamente, em relação às folhas (Beis et al., 2002).

Em relação aos fatores ambientais, há vários estudos que indicam que a intensidade da luz e a concentração de nitrato nas hortícolas estão correlacionados. A absorção e assimilação de nitrato dependem da irradiação e fotossíntese (Colla et al., 2018). A acumulação de nitrato no espinafre é maior em situações de baixa intensidade luminosa (Mitova et al., 2017).

Em particular, a intensidade da luz e o teor de nitrato, antes e durante a colheita, são tidos como fatores críticos na determinação dos níveis de nitrato no espinafre e outras hortícolas de folha (Santamaria, 2006). A intensidade da luz determina ainda a produção de carboidratos por parte da planta, afetando assim a assimilação de nitratos (através do fornecimento de NADH e indução da nitrato

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

redutase), podendo ainda afetar a liberação de nitrato (Anjana et al., 2007).

A temperatura, quer aérea, quer na zona radicular, afeta a acumulação de nitrato pois influencia os processos de absorção, translocação e assimilação por parte da planta, em que os espinafres tiveram um maior crescimento e maior acumulação de nitratos na primavera (18-39 °C) comparado com o inverno (14-28 °C) (Colla et al., 2018).

A fertilização azotada é um fator chave para o crescimento de hortícolas, particularmente as hortícolas de folhas verdes, e muitas vezes são fertilizadas com elevadas quantidades de N para obter altas produções, suculência e cor verde-escura. No entanto, excesso de N pode levar, em certas espécies, a consumo de luxo e acumulação excessiva de nitrato (Vieira et al., 1998).

O equilíbrio da concentração de nitrato nas hortícolas depende principalmente da taxa de absorção de nitrato por parte da planta do solo e a atividade endógena da NR (nitrato redutase) (Fytianos & Zarogiannis, 1999). A aplicação de fertilizantes à base de azoto, em fases tardias do crescimento vegetativo, têm um forte impacto na acumulação de nitrato (Colla et al., 2018). Uma das medidas chave para reduzir a acumulação de nitrato nas hortícolas reside na gestão da aplicação dos fertilizantes (Wang & Li, 2004).

Para além de azoto, outros nutrientes podem influenciar a acumulação de nitrato. A deficiência em enxofre foi associada à acumulação de nitrato em folhas de alface, uma vez que a atividade da nitrato redutase envolve um grupo sulfidrílico (Colla et al., 2018).

O fósforo (P), é um dos elementos fundamentais para as plantas, sendo que a absorção e a redução de nitrato é um processo que requer consumo de energia fornecida pela adenosina trifosfato (ATP), que contém fósforo (P). Consequentemente o metabolismo de nitrato está diretamente relacionado com o fornecimento de fósforo (Wang & Li, 2004). A absorção de fósforo inorgânico é necessário para o metabolismo e armazenamento de nitrato, mas altas concentrações inibem reações enzimáticas, criando pressões celulares anormais e provoca a aceleração da senescência (Ahmed et al., 2000). O aumento da taxa de aplicação de potássio facilita a absorção e transporte de nitrato em direção à parte

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

aérea da planta, promovendo o metabolismo e utilização do nitrato, fazendo com que a acumulação de nitrato seja reduzida (Anjana et al., 2007).

A deficiência em cálcio, restringe o desenvolvimento das raízes, tendo um efeito indireto na absorção de nitrato e quanto ao magnésio não há evidências que tenha influência na acumulação de nitrato, no entanto, tem influência no metabolismo da planta e desenvolvimento dos cloroplastos e subsequentemente na atividade da NR (Maynard et al., 1976).

Em relação aos fatores fisiológicos, a quantidade de nitrato presente nas hortícolas depende da espécie e da cultivar da mesma espécie (Anjana et al., 2007). As variedades de espinafre de folha lisa têm uma maior produção com menor aplicação de azoto, em comparação com as variedades de folha *savoy* (Cantliffe & Phatak, 1974). Esta variação é derivada do papel do nitrato como fator osmótico para manter a turgescência e impulsionar a expansão das folhas sob circunstâncias em que a capacidade fotossintética é demasiada baixa para produzir solutos orgânicos (Colla et al., 2018).

No geral, a variação genética natural relacionada com a capacidade de acumulação de nitrato e a variação relacionada com características chave, sugerem que seleção genética de variedades de hortícolas como o espinafre com baixa concentração de nitrato, pode ser uma abordagem viável de forma a reduzir os níveis de nitrato na colheita (Colla et al., 2018).

2.4 Composto orgânico municipal

O termo resíduos sólidos municipais “*Municipal solid waste*” (MSW) refere-se ao conjunto de resíduos gerado por famílias, estabelecimentos comerciais, indústrias e instituições, e consiste nos objetos e materiais do dia-a-dia, como produtos de empacotamento, relva cortada, mobília, roupas, restos de comida (Farrell & Jones, 2009).

A quantidade de MSW que chega aos aterros tem vindo a aumentar, provocando efeitos negativos em termos ambientais e de saúde pública, como por exemplo a presença de maus odores, pequenas explosões resultantes da formação

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

de gases inflamáveis e de efeito de estufa (CO₂ e CH₄) e contaminação de lençóis freáticos (Moldes et al., 2007).

A porção orgânica dos MSW pode ser sujeita a compostagem, processo pela qual é degradada microbiologicamente em condições aeróbicas, para formar um produto final estável semelhante ao húmus (Farrell & Jones, 2009). Esta permite reduzir o volume de resíduos nos aterros, convertendo-os num produto rico em matéria orgânica e que pode ser aplicado no solo (Moldes et al., 2007) e devido à temperatura atingida durante o processo da compostagem, as sementes de infestantes são também “eliminadas”, diminuindo a sua germinação no solo (Hargreaves et al., 2008).

Para além de reduzir o volume de resíduos nos aterros, a inserção de composto municipal nos solos pode contribuir para aumentar a matéria orgânica do solo, e reduzir a aplicação de nutrientes inorgânicos como o azoto (Moldes et al., 2007).

O declínio da matéria orgânica dos solos representa uma das maiores ameaças em muitos solos aráveis no mundo. Em Portugal, a generalidade dos solos tem baixos teores de matéria orgânica e com tendência para a sua diminuição progressiva em resultado de condições climáticas favoráveis à sua decomposição e más práticas agrícolas (não incorporação de restolhos no solo), sem reposição adequada dos seus níveis (Avillez & Carvalho, 2015; Fernandes, 2016).

Assim, o enriquecimento do solo com matéria orgânica, nomeadamente com composto orgânico municipal, é um meio para melhorar as características físico-químicas e biológicas do solo, melhorando a sua fertilidade. O aumento da produção biológica ou orgânica aumenta também o interesse nestes compostos (Hargreaves et al., 2008). A Comissão Europeia, considera também, o uso de compostos orgânicos municipais na agricultura um caminho a seguir para o fornecimento de matéria orgânica, para melhorar a fertilidade do solo (Cesaro et al., 2015).

Em 2015, a Comissão Europeia propôs algumas medidas, nomeadamente em relação aos fertilizantes, que incluiu o reconhecimento do valor dos fertilizantes orgânicos com origem em resíduos municipais. A Comissão Europeia estabeleceu como objetivo, reutilizar e reciclar, pelo menos 70% dos resíduos orgânicos municipais antes de 2030 (Chen et al., 2020; Minelgaité & Liobikienė, 2019).

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

Em Portugal, os restos de origem alimentar representam 40% do lixo produzido. Contudo, a sua recolha, ainda não é uma prática comum em Portugal. A partir de 2023, vai ser obrigatório recolher este tipo de resíduos. Para o efeito, vão ser distribuídos contentores para que as pessoas façam a separação dos resíduos orgânicos. A gestão destes restos alimentares irá servir para a criação de composto com objetivo de ser usado na agricultura (Pinheiro, 2020).

Apesar da reconhecida importância da aplicação de matéria orgânica aos solos, a aplicação de compostos orgânicos municipais requerem um profundo conhecimento científico sobre a sua natureza e o seu impacto no sistema solo-planta, tal como o ambiente circundante (Urrea et al., 2019).

2.4.1 Efeitos da aplicação de compostos orgânicos municipais no solo

A aplicação de composto orgânico municipal (MSWC) aos solos tem várias vantagens, tendo também alguns riscos. A sua adição ao solo melhora as características físicas, químicas e biológicas do solo e aumenta o sequestro de carbono.

A aplicação de MSWC melhora: as características físicas, a capacidade de troca catiónica e de retenção de água no solo (Shiralipour et al., 1992). Os compostos orgânicos municipais, por si mesmos, têm uma grande capacidade de retenção de água devido à sua elevada quantidade de matéria orgânica, com valores entre os 43 e 64%, fazendo com que a água disponível para as plantas aumente significativamente, afetando positivamente o crescimento das mesmas (Evangelou et al., 2016; Farrell & Jones, 2009; Hargreaves et al., 2008). A aplicação de composto, resulta numa diminuição na densidade do solo e num aumento na porosidade total. Por exemplo, a aplicação de taxas composto de cerca de 12 t reduziu a densidade do solo até 80 por cento do seu valor inicial, ao longo de um período de 2 anos em solos franco-argilosos (Brown & Cotton, 2011).

A aplicação de compostos orgânicos municipais também contribui para a nutrição das plantas, pois contêm azoto e outros nutrientes e também substâncias húmicas, principalmente ácido húmico e fúlvico. Os ácidos húmicos intensificam a

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

capacidade de troca catiónica e a estabilização química do solo, podendo assim reduzir a introdução de fertilizantes inorgânicos. A aplicação do composto nos campos agrícolas e jardins, leva a um decréscimo da procura de outros adubos e corretivos orgânicos (Comissão Europeia, 2020). Os compostos municipais são ricos numa gama variada de nutrientes que podem ser absorvidos pelas plantas (Farrell & Jones, 2009; Srivastava et al., 2016).

O conteúdo em nutrientes presente no MSWC, é menor do que nos fertilizantes comerciais. No entanto, a quantidade de N e P, é maior do que a que existe na maior parte dos solos agrícolas (Shiralipour et al., 1992).

O azoto é um dos principais nutrientes fornecidos pelo MSWC. Contudo, a sua disponibilidade depende da razão C/N, condições de compostagem, taxa de decomposição/estabilização e duração de compostagem (Amlinger et al., 2003). A concentração de N no MSWC aumenta com o tempo de compostagem devido à utilização de C por parte dos microrganismos (Hargreaves et al., 2008).

A aplicação de composto orgânico municipal pode reduzir a perda por lixiviação de N, pois a libertação de N por parte do composto é relativamente lenta, o que pode contribuir para reduzir ou até substituir a aplicação de azoto inorgânico (Shiralipour et al., 1992).

A par do azoto, o fósforo (P) é um nutriente necessário para o crescimento das plantas. A aplicação de MSWC é considerado uma opção eficaz na reciclagem do fósforo (P), pois o fósforo derivado de compostos orgânicos, tem um papel importante na dinâmica dos nutrientes e da atividade microbiótica no ecossistema do solo. A maior parte dos MSWC têm uma concentração 3 a 10 vezes maior de P que o total de P na maior parte dos solos agrícolas. Contudo, apesar de a aplicação de composto melhorar a quantidade de P disponível no solo, a sua absorção não foi proporcional à quantidade de composto aplicado (Giannakis et al., 2014; Martínez-Blanco et al., 2013; Stoffella et al., 2001; Wei et al., 2015).

A concentração de potássio (K) no solo aumentou sempre que foi aplicado MSWC, mesmo que em pequenas quantidades (Giusquiani et al., 1995). Do total de K presente no composto, 36 a 48% está disponível para as plantas (Soumaré et al., 2003). Um estudo de longo-prazo sobre a aplicação de MSWC, demonstrou que o potássio estava tão disponível no MSWC como nos fertilizantes (Hargreaves et al., 2008).

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

Apesar das vantagens mencionadas, os compostos municipais têm geralmente elevada condutividade elétrica (CE) e pH, o que pode afetar negativamente o crescimento das plantas.

Os MSWC têm geralmente valores elevados de CE, pois a extensiva decomposição dos materiais orgânicos leva a que a concentração de sais seja elevada. Assim, a incorporação de MSWC no solo pode aumentar a condutividade elétrica do solo, para valores que podem afetar negativamente o crescimento das plantas. Um dos efeitos negativos de elevada CE no solo é a inibição da germinação das sementes, e do crescimento das plantas. O MSWC pode ainda aumentar a concentração de sódio (Na) e cloreto (Cl) nas plantas, o que pode ser um aspeto negativo para pessoas com dieta pobre em sódio (Hargreaves et al., 2008; Shiralipour et al., 1992).

O valor de pH dos MSWC é geralmente elevado, situando-se em valores entre os 8 e 9. Estes valores podem afetar negativamente a nutrição das plantas e o seu crescimento (Ameen et al., 2016; Moldes et al., 2007). Contudo, como maioria dos solos portugueses são ácidos, a incorporação de composto municipal no solo pode ser vantajosa. Quando aplicados em solos ácidos, elevam o pH do solo, reduzindo ou eliminando toxicidade de alumínio (Al) e/ou manganês (Mn), cuja toxicidade pode acontecer em solos onde o pH é inferior a 5,5 (Hargreaves et al., 2008; Mkhabela & Warman, 2005; Shiralipour et al., 1992).

Outra das preocupações com a utilização dos compostos municipais é a sua concentração em metais pesados (ex.: Cádmio, Cobre, Chumbo e Zinco), que podem atingir concentrações tóxicas para os seres humanos, nas culturas às quais foram aplicados compostos orgânicos municipais (de Araújo et al., 2010). Contudo, segundo Hargreaves et al. (2008) consegue-se uma redução destes metais pesados e a produção de um composto seguro, quando a fonte de matéria-prima, as proporções utilizadas, o procedimento e a duração da maturação são feitos corretamente. Assim, após a compostagem, as principais características de um composto orgânico municipal a ser avaliadas são, a concentração de metais pesados a percentagem de matéria orgânica, a densidade aparente, concentração de macro e micronutrientes e razão C/N, a condutividade elétrica e o pH (Das et al., 2002).

Para evitar com sucesso a deposição da fração orgânica em aterros, é necessário efetuar uma separação correta na origem. Apesar de ser possível extrair

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

a fração orgânica a partir dos resíduos indiferenciados, esta opção resulta num processo mais demorado e num produto que poderá estar contaminado. A separação na origem possibilita a obtenção de uma matéria-prima pura e de elevada qualidade para a produção de um composto não contaminado. Uma matéria-prima pura, recolhida através de um sistema de recolha seletiva, cumpre mais facilmente com as normas de qualidade para composto, produzindo um produto de fácil comercialização e aplicação, o que se traduz em vantagens para o meio ambiente (Comissão Europeia, 2020).

A adição de compostos orgânicos municipais leva ainda ao aumento da atividade microbiótica no solo, e os microrganismos presentes no solo têm funções importantes tais como, a influência no ciclo dos nutrientes e na degradação de poluentes (ex.: pesticidas, resíduos industriais). Uma forma de medir a saúde microbiótica do solo é através da atividade de enzimas do solo envolvidas na transformação dos nutrientes principais (Hargreaves et al., 2008).

3. Materiais e Métodos

3.1 Tratamentos e delineamento estatístico

Para avaliar a influência de composto orgânico municipal foi realizado um ensaio em vasos numa estufa do complexo de estufas, situado na Herdade Experimental da Mitra (38°31 52 N, 8° 01 05 W), Universidade de Évora. A estufa tem armação metálica e cobertura de policarbonato e não tem luminosidade adicional.

O ensaio foi realizado com dois solos (solo I, solo II) (quadro 2) e sete tratamentos; solo fertilizado e seis tratamentos com composto (duas taxas de composto, 35 e 70 t/ha) distribuído no solo e 35 t composto/ha localizado no solo e essas taxas suplementadas com azoto. Os tratamentos foram:

1. Solo fertilizado (SF) sem adição de composto. [Antes da plantação (0,17 g N, 0,35 g P₂O₅, 0,52 K₂O e 0,035 g MgO por vaso, incorporado nos primeiros 10 cm)] e 1,05 g N/vaso.
2. 35 t composto municipal / ha incorporado nos primeiros 10 cm do solo.
3. 70 t composto municipal / ha incorporado nos primeiros 10 cm do solo.
4. 35 t composto municipal / ha incorporado nos primeiros 10 cm do solo + 0,53 g N/vaso.
5. 70 t composto municipal / ha incorporado nos primeiros 10 cm do solo + 0,53 g N/vaso.
6. 35 t composto municipal / ha localizado abaixo do mote.
7. 35 t composto municipal / ha localizado abaixo do mote + 0,53 g N/vaso.

Assim, tendo em consideração que estes tratamentos foram aplicados em dois solos, o ensaio teve 14 tratamentos. O ensaio foi delineado em blocos casualizados com 6 repetições por tratamento (figura 6). No quadro 2 são apresentadas as características dos solos, destacando-se que o solo I tem pH neutro e o solo II tem pH ácido (5,5). O azoto aplicado foi dividido em cinco aplicações semanais iguais. O adubo utilizado para a aplicação do azoto foi o nitrato de cálcio (15,5 % N-NO₃, 1,1% N- NH₄ e 26,5% CaO).

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

Quadro 2 - Características físicas e químicas dos solos usados.

Parâmetros	Solo 1 (pH neutro)	Solo 2 (pH ácido)
pH	7,19	5,5
Condutividade elétrica (mS/cm)	0,0827	0,03
NO ₃ ⁻ (ppm)	43.6	20.5
P ₂ O ₅ (ppm)	238	10
K ₂ O (ppm)	204	60
Ca (meq/100g)	8,34	1,16
Mg (meq/100g)	1,20	0,27
Na (meq/100g)	0,13	0,7
CTC (meq/100g)	9,39	5,70
K de troca (meq/100g)	0,49	0,11
M.O. (%)	1,62	1,1
Areia	70.3	81.2
Limo	12.3	8.0
Argila	17.4	10.8

O composto utilizado foi o NUTRIMAIS, produzido pela Central de Valorização Orgânica (CVO) da Lipor, é um corretivo agrícola orgânico, 100% natural, proveniente da compostagem de matérias-primas separadas na origem. As matérias-primas utilizadas no processo de fabrico do NUTRIMAIS incluem produtos hortofrutícolas, restos de alimentos criteriosamente selecionados em restaurantes, cantinas e estabelecimentos similares, resíduos de exploração florestal (troncos, ramagens e folhagens) e resíduos verdes (flores, relvas, podas, etc), materiais impróprios para consumo humano ou de processamento (frutas/legumes, laticínios em estado sólido, panificação, não inclui massas frescas) e materiais lenhosos. As características físicas e químicas do NUTRIMAIS são apresentadas no quadro x, sendo de destacar o elevado pH (8,68) e condutividade elétrica (5,4 mS/cm).

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

Quadro 3 - Características físicas e químicas do composto orgânico municipal utilizado no trabalho experimental.

Parâmetro	Média	Desvio Padrão
Matéria orgânica (%)	52,47	3,87
Humidade (%)	10,52	1,95
Ácidos húmicos (%)	3,71	0,88
Relação C/N	11,94	1,01
Carbono (C) total %	29,15	2,15
Azoto (N) total %	2,41	0,21
Fósforo (P ₂ O ₅) total %	1,49	0,27
Potássio (K ₂ O) total %	1,81	0,14
Cálcio (CaO) total %	15,17	0,95
Magnésio (MgO) total %	0,7	0,07
Consumo de (O ₂) (mg O ₂ /g MS)	15,99	1,02
Cádmio (Cd) total (mg/kg)	0,35	0,05
Chumbo (Pb) total (mg/kg)	32	8,72
Cobre (Cu) total (mg/kg)	49	18,19
Mercúrio (Hg) total (mg/kg)	0,1	0,08
Níquel (Ni) total (mg/kg)	7,47	2,03
Zinco (Zn) total (mg/kg)	160	34,64
Boro (B) total (mg/kg)	38	1
Condutividade Elétrica (mS/cm)	5,4	1,93
pH	8,68	0,43

A concentração dos diferentes metais pesados no composto utilizado, foi sempre inferior ao máximo admissível em compostos orgânicos (Anónimo, 2008).

3.2 Instalação e condução do ensaio

Os vasos, com 20 cm de altura e 26 cm de diâmetro, foram cheios com 14 kg de solo. Nos tratamentos com adição de composto distribuído, esse foi misturado nos primeiros 10 cm de solo. Nos tratamentos onde esse foi localizado, o composto

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

foi localizado por baixo dos torrões a 5 cm de profundidade. Após enchimento dos vasos e colocação do composto, procedeu-se a uma rega para deixar o solo o mais perto possível da capacidade de campo.

Uma semana após o enchimento dos vasos (19/02/2019) procedeu-se à plantação das plântulas de espinafre (*Spinacia oleracea* L. cv. Manatee). A cultivar Manatee caracteriza-se por ser uma variedade de porte médio, porte ereto e pecíolos grandes não quebradiços, ideal para fazer molhos, folhas de cor muito escura e com forma pontiaguda, variedade recomendada para colheitas de Primavera, Verão e Outono, segundo as zonas (Zwaan, 2020). Em cada vaso foram colocados três motes (figura 5), cada um com seis plântulas (339 plantas/m²).



Figura 5 - Aspeto dos motes com plântulas de espinafre antes da transplantação.

A rega foi realizada diariamente para evitar aplicar elevados volumes de água, e assim minimizar as perdas por drenagem e evitar que as plantas sofressem stress hídrico. A rega realizou-se, entre as 9 e as 10h da manhã, adaptando o volume de água às condições climáticas (temperatura e insolação), às leituras da humidade volúmica do solo e à capacidade de armazenamento do solo.

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre



Figura 6 - Vista do ensaio - Disposição dos vasos durante o período experimental.

A temperatura dentro da estufa ao nível da canóvia variou entre os 5,5 e os 36,1°C (figura 7).

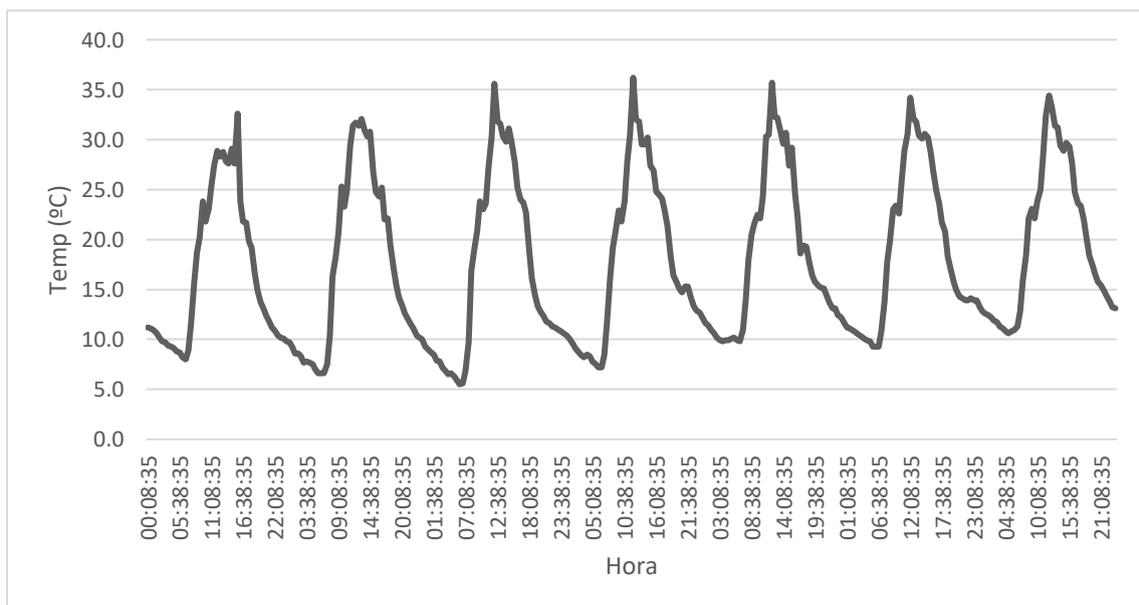


Figura 7 - Temperaturas registradas durante o período experimental ao nível da canóvia.

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

3.3 Parâmetros medidos

Ao longo do ciclo da cultura foram medidas, a temperatura do solo a 10 cm de profundidade e à superfície do solo, a humidade volúmica e a condutividade elétrica.

As medições destes parâmetros foram efetuadas antes das 10 horas da manhã. A medição da temperatura à superfície do solo (em dois pontos aleatórios do vaso) foi efetuada com um termómetro de infravermelhos (PARKSIDE®) (figura 8). As medições da temperatura e da condutividade elétrica a 10 cm de profundidade foram efetuadas com um Hanna Soil Test™ Direct Soil EC Tester - HI98331 (figura 8). A humidade do solo, na profundidade de 0 a 5 cm, foi medida no centro do vaso com um SM150 Soil Moisture Kit (figura 8).



Figura 8 - Instrumentos utilizados nas medições.

A colheita das plantas de espinafre foi efetuada aos 42 dias após a plantação (DAP). A parte aérea das plantas foi cortada ligeiramente acima da superfície do solo, e procedeu-se à determinação do peso verde total das plantas e do número de

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

plantas por vaso (média de 19,3 plantas/vaso). A área foliar por planta e a biomassa da parte aérea por vaso, foram determinadas em duas plantas por vaso escolhidas aleatoriamente. Para a determinação da matéria seca, as plantas foram secas numa estufa ventilada a 60 °C, durante 48 horas.

Após a colheita das plantas, foram colhidas três amostras de solo por vaso, utilizando uma sonda de 3 cm de diâmetro e 0,1 m de profundidade para medição de pH, condutividade elétrica (EC) e a percentagem de matéria orgânica do solo.

O pH do solo foi medido em suspensões aquosas (1:2,5, solo:água) do solo com um potenciômetro (pH Micro 200 Crison). A EC foi medida em extratos aquosos (1:5 solo:água) do solo usando um medidor de condutividade (LF 330 WTW, Weilhein, Alemanha).

A matéria orgânica (%) foi estimada a partir do carbono orgânico (%) usando o fator de conversão 1,72 [matéria orgânica (%) = carbono orgânico total (%) x 1,72]. O carbono orgânico (%), foi medido usando um determinador de enxofre/carbono (SC-144 DR, Leco Inc, EUA).

A determinação do teor de nitrato existente nos pecíolos e nos limbos de folhas de espinafre foi realizada de acordo com o método descrito por Lastra, (2003). Assim, as folhas de amostras de sete tratamentos e seis repetições, foram separadas em limbo e pecíolo e secas em estufa ventilada a 65°C durante 24 h para posterior maceração em almofariz de porcelana. Posteriormente, foram pesadas porções de 0,1 g de matéria vegetal seca, às quais foram adicionados 10 ml de água destilada. A preparação incubou durante 1h à temperatura de 45°C em banho com agitação. O extrato obtido foi filtrado através de filtros Whatman nº40.

Para cada amostra, foi preparada uma solução contendo 0,1 ml de extrato de tecido vegetal, e 0,4 ml de solução de ácido salicílico em ácido sulfúrico 5% /m/v), a qual incubou 20 minutos à temperatura ambiente. Posteriormente, adicionou-se 9,5 ml de solução de hidróxido de sódio 2 M. O cromóforo desenvolvido, foi quantificado pela leitura de absorvência num espectrômetro de absorção molecular (Thermo Scientific, Genesys 10S UV-VIS) nos comprimentos de onda de 338 nm e 440 nm. Para a obtenção do teor de nitrato existente no limbo e pecíolos, foi contruída uma curva de calibração entre 15 e 300 mg/L de NO₃ utilizando nitrato de potássio,

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

esta curva foi obtida de acordo com a lei de Lambert-Beer, com base nas leituras das absorvências.

Com o objetivo da determinação do conteúdo em pigmentos fotossintéticos, a preparação do extrato vegetal foi iniciada pela pesagem de 1,000 g de folhas de sete tratamentos e 6 repetições, seguida da sua maceração em almofariz e homogeneização em 8 ml de metano:água (90:10). Os extratos foram clarificados por centrifugação durante 15 minutos a 6500 g a 4°C. OS pigmentos fotossintéticos presentes neste extrato vegetal, foram quantificados por espectrometria de absorção molecular por leitura da absorvência a 663, 647 e 470, de acordo com o método descrito por Lichtenthaler & Buschmann (1987). O cálculo da concentração (mg/100g FW) em clorofila-a (Ch-a), clorofila-b (Ch-b) e caroteno (Cc) foi realizado segundo as seguintes equações:

$$\text{Ch-a} = 12,25A_{663} - 2,79A_{647};$$

$$\text{Ch-b} = 21,5A_{647} - 5,1A_{663};$$

$$\text{Cc} = (1000A_{470} - 1,82\text{Ch-a} - 85,02\text{C-b})/198$$

O tratamento dos dados foi feito através da análise de variância (ANOVA) e as médias foram separadas através do teste de separação de médias de Duncan, ao nível de 5%, com recurso ao programa de análise estatística IBM SPSS Statistics 25 (Chicago, Illinois, USA).

4. Resultados e Discussão

4.1 Solo

4.1.1 Temperatura

A temperatura do solo a 10 cm, com exceção da registrada na primeira data de medição (10 DAP) não foi afetada significativamente pelos tratamentos, nem pela sua interação (quadro 4). A temperatura medida nas diferentes datas de medição variou entre os 18,8 e 26,6°C, o que são temperaturas adequadas para a mineralização da matéria orgânica (Ghee et al., 2013).

Quadro 4 - Influência dos solos e dos tratamentos com composto na temperatura do solo a 10 cm de profundidade.

Tratamentos	Temperatura (°C)			
	DAP			
	10	17	24	31
Solo				
1	18,82 b	17,96	24,08	20,33
2	19,46 a	18,18	26,53	20,74
Comp.				
SF	19,13 a	17,99 a	24,02 a	21,07 a
35	19,31 a	18,23 a	24,11 a	19,63 a
70	19,53 a	18,10 a	23,41 a	20,51 a
35 + N	18,63 a	17,95 a	23,40 a	20,38 a
70 + N	18,89 a	17,73 a	24,42 a	20,47 a
35 L	19,23 a	18,32 a	24,24 a	21,20 a
35 L + N	19,26 a	18,17 a	23,40 a	20,49 a
Significância				
Solo	x	NS	NS	NS
Comp.	NS	NS	NS	NS
Int. (Solo*Comp.)	NS	NS	NS	NS

Dentro de cada coluna, as médias com letras diferentes são significativamente diferentes * P <0,05; ** P <0,001; *** P < 0,0001 níveis, respetivamente) (LSD), NS = não significativo. DAP - dias após a plantação

A temperatura do solo à superfície também não foi afetada significativamente pelos tratamentos ou pela sua interação (quadro 5), tendo variado entre os 18,5 e

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

os 21,0 °C.

Quadro 5 - Influência do solo e dos tratamentos com composto na temperatura à superfície do solo.

Tratamentos	Temperatura (°C)			
	DAP			
	10	17	24	31
Solo				
1	20,33 a	18,73 a	18,98 a	19,99 a
2	20,74 a	19,20 a	19,41 a	19,89 a
Comp.				
SF	21,07 a	18,54 a	18,62 a	20,20 a
35	19,63 a	19,02 a	19,08 a	19,74 a
70	20,51 a	19,18 a	19,14 a	20,17 a
35 + N	20,38 a	18,78 a	18,73 a	20,06 a
70 + N	20,47 a	18,93 a	20,08 a	19,74 a
35 L	21,20 a	19,73 a	19,92 a	19,66 a
35 L + N	20,49 a	19,61 a	18,78 a	19,99 a
Significância				
Solo	NS	NS	NS	NS
Comp.	NS	NS	NS	NS
Int. (Solo*Comp.)	NS	NS	NS	NS

Dentro de cada coluna, as médias com letras diferentes são significativamente diferentes * P <0,05; ** P <0,001; *** P < 0,0001 níveis, respetivamente) (LSD), NS = não significativo. DAP - dias após a plantação

4.1.2 Humidade

O teor de humidade do solo não foi afetado pela interação dos tratamentos (quadro 6). O teor de humidade foi influenciado significativamente, pelo solo, em todas as datas da medição. O teor de humidade foi mais elevado no solo mais fértil (solo I; quadro 6), provavelmente devido ao maior teor de matéria orgânica, que é um dos fatores que mais influencia a capacidade de retenção de água no solo (Yang et al., 2014). O aumento da capacidade de solo, para armazenar água com a adição de composto municipal, também foi observado por vários autores (Carter, 2007; Głab et al., 2020; Paradelo et al., 2019).

A aplicação de composto, distribuído no solo, em relação ao solo fertilizado aumentou significativamente o teor de humidade, aos 24 e 31 DAP, o que está

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

relacionado com o aumento de matéria orgânica (Hargreaves et al., 2008). Contudo, a humidade do solo não foi afetada significativamente nem pela taxa de aplicação de composto, nem pela suplementação de azoto (quadro 6).

Aos 31 DAP, em relação ao tratamento fertilização, a adição de composto levou a aumentos do teor de humidade entre 7,64 e 12,3%. O teor de humidade do solo no tratamento 35 L + N, aos 24 e 31 DAP foi mais baixo do que nos outros tratamentos onde se aplicou composto (quadro 6).

Quadro 6 - Influência do solo e dos tratamentos com composto no teor de humidade volúmica do solo.

Tratamentos	Humidade volúmica do solo (%)			
	DAP			
	10	17	24	31
Solo				
1	21,91 a	21,63 a	19,50 a	21,01 a
2	17,34 b	18,12 b	16,67 b	19,33 b
Comp.				
SF	18,43 a	17,66 a	13,24 c	11,65 c
35	19,56 a	20,54 a	20,78 a	23,92 a
70	20,18 a	20,31 a	19,15 ab	23,24 a
35 + N	20,39 a	20,73 a	19,40 ab	22,22 ab
70 + N	20,28 a	20,14 a	18,85 ab	21,32 ab
35 L	19,58 a	20,23 a	18,38 ab	20,55 ab
35 L + N	19,18 a	19,52 a	16,80 bc	18,30 b
Significância				
Solo	***	***	***	***
Comp.	NS	NS	***	***
Int. (Solo*Comp.)	NS	NS	NS	NS

Dentro de cada coluna, as médias com letras diferentes são significativamente diferentes * P <0,05; ** P <0,001; *** P < 0,0001 níveis, respetivamente) (LSD), NS = não significativo. DAP - dias após a plantação

4.1.3 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica do solo nas diferentes datas de medição, não foi afetada significativamente pela interação dos tratamentos (quadro 7). A EC aos 10 e 24 DAP foi significativamente mais elevada no solo I.

A condutividade elétrica foi afetada significativamente pelos tratamentos de composto. A condutividade elétrica nos tratamentos onde o composto foi

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

distribuído, foi sempre maior do que nos tratamentos onde o solo fertilizado e em que o composto foi localizado por baixo dos motes (35 L e 35 L + N).

Nos tratamentos, onde se aplicou maior quantidade de composto (70 e 70 + N), os valores da condutividade elétrica foram mais elevados. Nestes tratamentos, os valores da condutividade variaram entre 0,45 e 0,492 mS/cm, o que são valores muito baixos. O valor de salinidade foi sempre inferior ao limiar de salinidade das culturas hortícolas, nomeadamente do espinafre (2 mS/cm) (Machado & Serralheiro, 2017). Assim, podemos concluir que apesar da elevada condutividade do composto (5,4 mS/cm), os valores de CE do solo foram sempre muito baixos, não representando um problema para o crescimento das plantas.

Quadro 7 - Influência do solo e dos tratamentos com composto na condutividade elétrica.

Tratamentos	Condutividade elétrica (mS/cm)			
	DAP			
	10	17	24	31
Solo				
1	0,40 a	0,29 a	0,26 a	0,22 a
2	0,27 b	0,25 a	0,18 b	0,18 a
Comp.				
SF	0,19 c	0,22 c	0,07 c	0,04 c
35	0,33 bc	0,27 ab	0,23 ab	0,24 ab
70	0,49 a	0,41 a	0,34 a	0,34 a
35 + N	0,36 bc	0,25 ab	0,27 ab	0,26 ab
70 + N	0,45 ab	0,40 a	0,32 a	0,26 ab
35 L	0,28 c	0,18 b	0,17 ab	0,14 bc
35 L + N	0,25 c	0,17 b	0,14 bc	0,12 bc
Significância				
Solo	xxx	NS	xxx	NS
Comp.	xxx	xxx	xxx	xxx
Int. (Solo*Comp)	NS	NS	NS	NS

Dentro de cada coluna, as médias com letras diferentes são significativamente diferentes * P <0,05; ** P <0,001; *** P < 0,0001 níveis, respetivamente) (LSD), NS = não significativo. DAP - dias após a plantação

A condutividade elétrica desde a primeira medição até à última medição diminuiu (quadro 7). Este decréscimo pode dever-se à absorção de nutrientes pela cultura, como também observado por Zhang et al. (2006), e/ou também à lixiviação de nutrientes.

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

4.2 pH, condutividade elétrica e matéria orgânica do solo após a colheita

O pH, a condutividade elétrica e a matéria orgânica medida na profundidade de 0 a 10 cm do solo, após a colheita da cultura, foram afetadas pela interação dos tratamentos (quadro 8).

Quadro 8 - Influência do solo e dos tratamentos com composto no pH, na condutividade elétrica e na matéria orgânica do solo medida na profundidade de 0 a 10 cm, após a colheita

Tratamentos	pH (H ₂ O)	Condutividade elétrica (mS/cm)	Matéria orgânica (%)
Solo			
1	7,95 a	0,28 a	2,72 a
2	6,44 b	0,20 b	1,50 b
Comp.			
SF	6,24 f	0,13 c	1,39 c
35	7,11 d	0,32 ab	2,08 b
70	7,30 a	0,21bc	2,30 b
35 + N	7,54 a	0,38 a	2,86 a
70 + N	7,71 a	0,34 ab	3,06 a
35 L	6,60 e	0,17 bc	1,55 c
35 L +N	6,62 e	0,17 bc	1,51 c
Significância			
Solo	xxx	xxx	xxx
Comp.	xxx	xxx	xxx
Int. (Solo*Comp.)	xxx	xxx	xxx

Dentro de cada coluna, as médias com letras diferentes são significativamente diferentes * P <0,05; ** P <0,001; *** P < 0,0001 níveis, respectivamente) (LSD), NS = não significativo. DAP - dias após a plantação

A adição de composto distribuído nos 10 cm superficiais do solo, em relação ao solo fertilizado, aumentou o pH, a condutividade elétrica e o teor de matéria orgânica. No solo I e II, onde o composto foi distribuído, o pH aumentou com a dose de composto sem e com adição de azoto (figura 9).

No solo I, o pH nos tratamentos onde foi aplicado composto orgânico municipal, variou entre 7,41 e 8,08, no tratamento 35 L + N e no tratamento 70,

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

respetivamente. Assim, com estas taxas de aplicação de composto, particularmente com 70 t, o pH alcançou valores elevados, que podem prejudicar a nutrição das plantas.

No solo II, nos tratamentos em que o composto foi distribuído nos 10 cm superficiais, os valores de pH variaram entre 6,6 e 7,35, no tratamento 35 + N e 70, respetivamente (figura 9). Assim, a adição de composto neste solo, elevou o pH para valores que podem contribuir para melhorar a nutrição das plantas e evitar a toxicidade de manganês e/ou alumínio. Neste solo, Avillez & Carvalho, (2015) observaram toxicidade de manganês, devido ao baixo pH como tal, a adição de composto, pode ser uma solução para corrigir o pH.

Nos tratamentos onde o composto foi aplicado por baixo das plantas, o aumento do pH no solo I, foi menor do que nos tratamentos onde o composto foi distribuído. No solo II, o pH foi semelhante ao observado no solo fertilizado. O menor acréscimo está relacionado com o método de amostragem, pois foi feita ao lado das plantas.

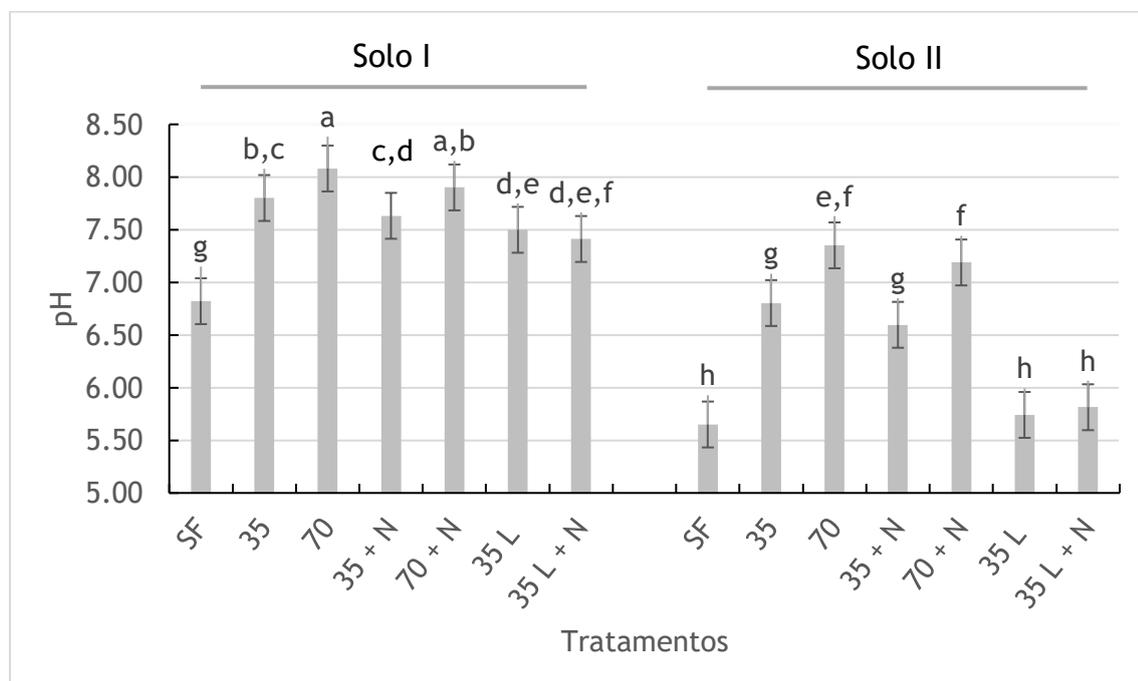


Figura 9 - Influência do solo e dos tratamentos no pH do solo após a colheita. Médias com letras diferentes são significativamente diferentes ($p < 0,05$). Cada barra representa a média de 6 repetições, e as barras de erro representam ± 1 SE.

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

O teor de matéria orgânica, nos tratamentos onde o composto foi distribuído, aumentou com a taxa de composto (figura 10). Em ambos os solos, o seu teor foi mais elevado nos tratamentos onde foi aplicada a maior quantidade de composto (70 e 70 + N). A adição de azoto ao composto, excetuando no tratamento 70 + N no solo I, não afetou o teor de matéria orgânica.

No solo I, verificou-se que a adição de 35 e 70 t de composto, aumentou o teor de matéria orgânica, para valores entre 2,98 e 4,19%, respetivamente (figura 10). No solo II, com a aplicação de 35 e 70 t de composto, o teor de matéria orgânica aumentou para valores de 1,63 e 1,94%, respetivamente. Os acréscimos de matéria orgânica no solo, foram inferiores aos do solo II, o que pode estar relacionado com a taxa de decomposição de matéria orgânica e/ou com as características do solo, como por exemplo a densidade aparente. Estes aumentos de matéria orgânica, devem-se à elevada matéria orgânica do composto (quadro 3).

Os valores de matéria orgânica no tratamento SF e nos tratamentos de aplicação localizada de composto (35 L e 35 L + N), não diferiram significativamente, o que pode, tal como na condutividade elétrica, estar relacionado com o método de amostragem.

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

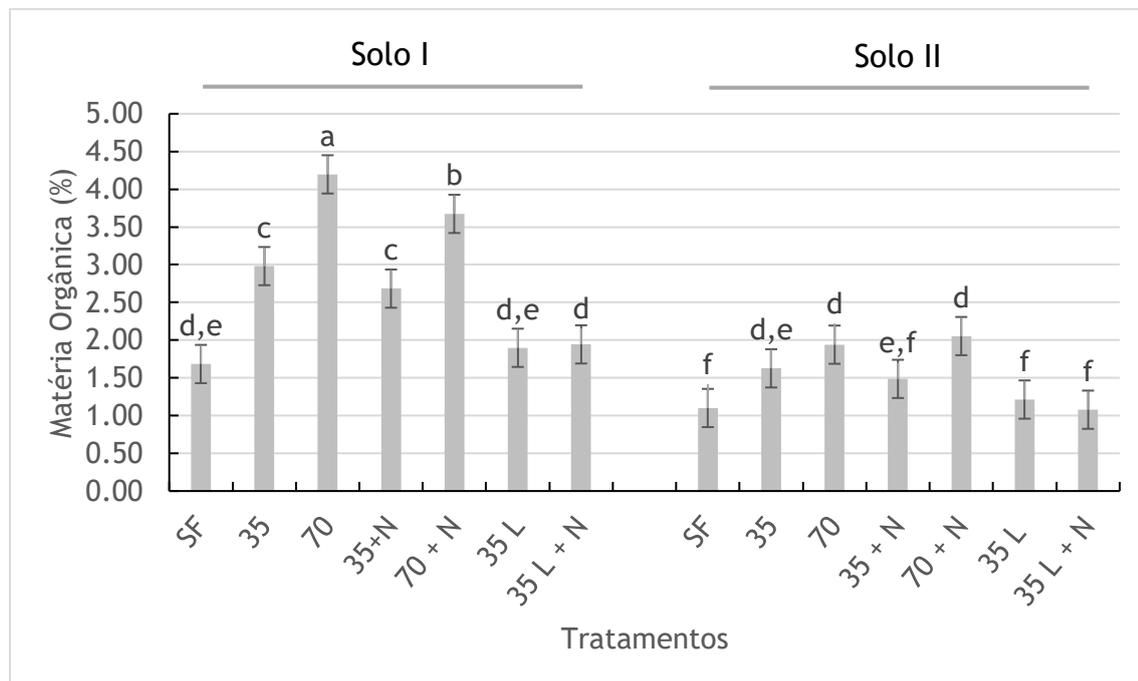


Figura 10 - Influência do solo e dos tratamentos na matéria orgânica do solo após a colheita. Médias com letras diferentes são significativamente diferentes ($p < 0,05$). Cada barra representa a média de 6 repetições, e as barras de erro representam ± 1 SE.

Em ambos os solos, a condutividade elétrica do solo em relação ao solo fertilizado, aumentou com a taxa de composto distribuído (figura 11). No solo I, os valores de EC mais elevados ocorreram nos tratamentos em que foi adicionado azoto ao composto, nos 10 cm superficiais do solo (70 + N e 35 + N). No solo II, os valores mais elevados de EC ocorreram nos tratamentos em que foram aplicadas maiores quantidades de composto (70 e 70 + N) (figura 11).

Apesar do aumento, a EC do solo, em ambos os solos, foi muito baixa, não ultrapassando os 0,45 mS/cm, o que é um valor baixo para prejudicar o crescimento das plantas (Machado & Serralheiro, 2017). Machado et al. (2020) também verificaram que, a adição de composto orgânico com elevada EC, não elevou a condutividade do solo para valores prejudiciais para o crescimento das plantas.

Nos tratamentos onde o composto foi localizado, a condutividade não diferiu da obtida no solo fertilizado, o que mais uma vez pode estar relacionada com a sua localização por baixo das plantas.

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

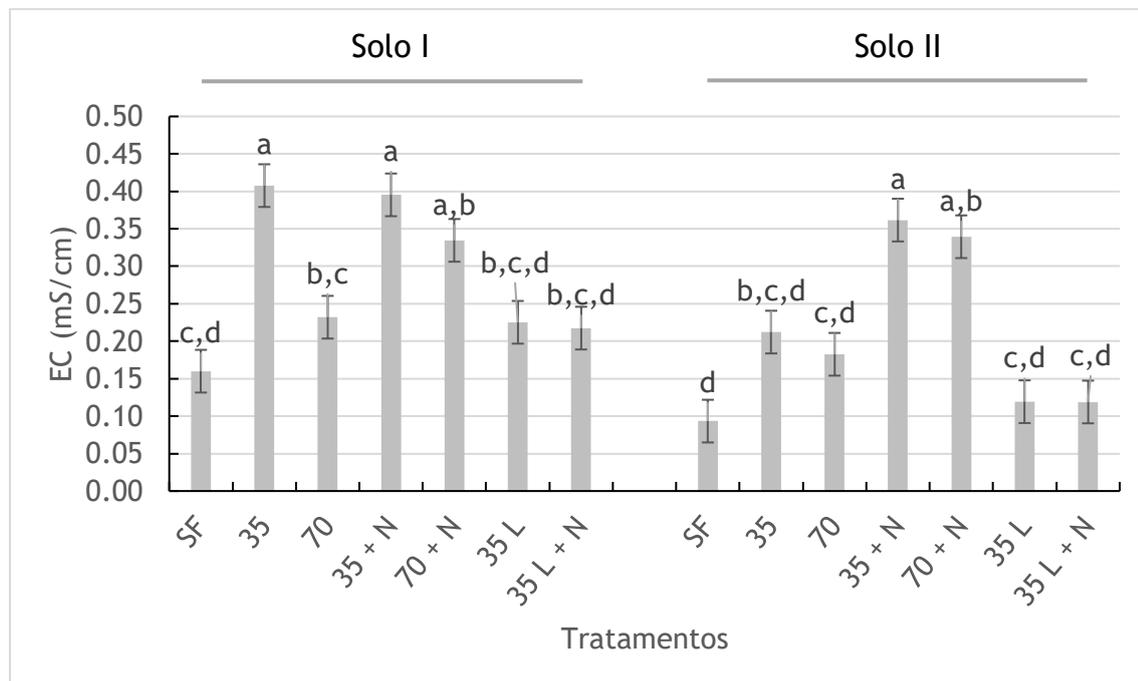


Figura 11 - Influência do solo e dos tratamentos na condutividade elétrica do solo após a colheita. Médias com letras diferentes são significativamente diferentes ($p < 0,05$). Cada barra representa a média de 6 repetições, e as barras de erro representam ± 1 SE.

4.3 Crescimento e produção

A percentagem de matéria seca da parte aérea foi influenciada pela interação entre os tratamentos, o que significa que a resposta à aplicação dos tratamentos com composto varia com o solo (figura 12). No solo I, a percentagem de matéria seca foi mais elevada no tratamento onde se fez a fertilização convencional (15,7%). A aplicação conjunta de composto mais o nitrato de cálcio diminuiu a acumulação de biomassa (figura 12).

No solo II, a percentagem de matéria seca, excetuando os tratamentos 35 + N e 70 + N, onde foi mais baixa, não diferiu significativamente.

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

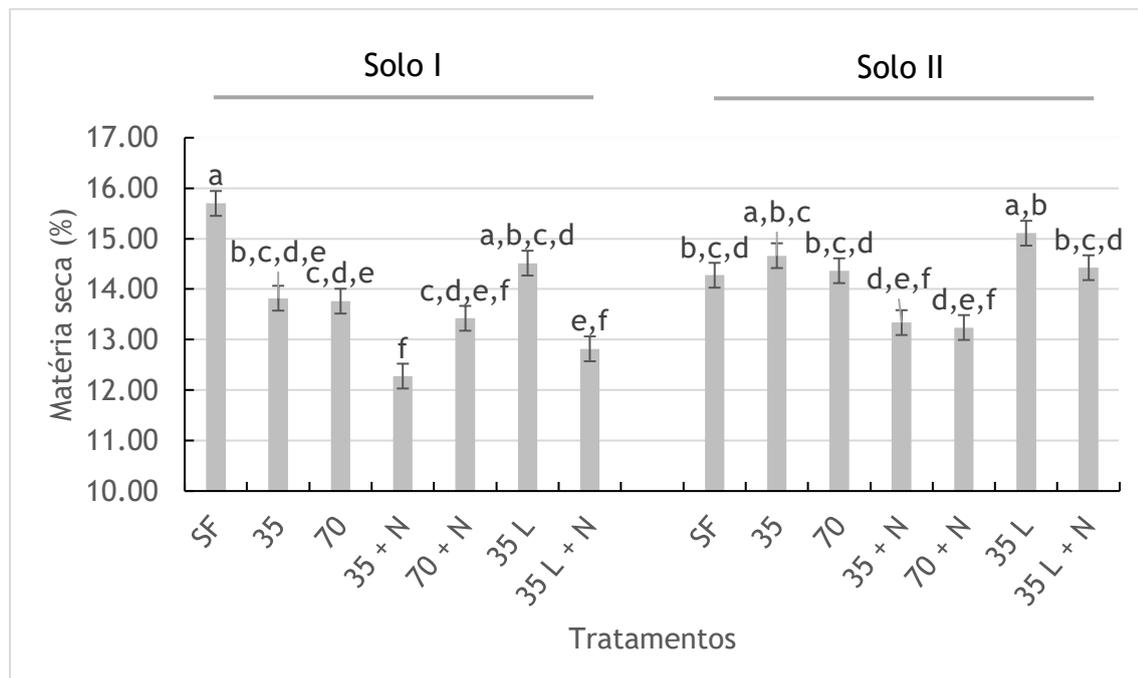


Figura 12 - Influência do solo e dos tratamentos na percentagem de matéria seca. Médias com letras diferentes são significativamente diferentes ($p < 0,05$). Cada barra representa a média de 6 repetições, e as barras de erro representam ± 1 SE.

A área foliar não foi afetada pela interação dos tratamentos, nem pelo solo (quadro 9). A taxa de composto distribuído, sem ou com adição de azoto, não influenciou a área foliar (quadro 9). A área foliar aumentou com a adição de azoto ao composto, independentemente da quantidade de composto aplicada. A área foliar das plantas nos tratamentos onde o composto foi distribuído com adição de azoto, foi semelhante à registada nas plantas sujeitas à adubação convencional.

A adição de composto aos dois solos, contribuiu para o aumento da produção, pois em ensaios realizados anteriormente, no solo I, sem adição de composto e sem adição de azoto, a produção foi muito baixa e sem valor comercial (Manicone, 2020). No solo II, as plantas de espinafre não cresceram, devido à deficiência de nutrientes, ampliada pela elevada população potencial e/ou toxicidade de algum nutriente devido ao pH (Machado dados não publicados).

A produção foi influenciada significativamente pelo solo, sendo mais elevada no solo I (quadro 9). A produção em ambos os solos com a adição de composto sem

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

ou com suplementação de azoto, aumentou com a dose de composto. A produção nos tratamentos 35, 70 e 35 L, sem adição de azoto, foi mais baixa do que nos mesmos tratamentos com adição de azoto (quadro 9). A adição ao composto, de metade da quantidade de azoto aplicada semanalmente, ao solo fertilizado (SF), levou a acréscimos significativos na produção. A adição do azoto ao composto nos tratamentos 35, 70 e 35 L provocou acréscimos de produção de, 18,1, 18,1 e 17,2 t/ha, respetivamente.

De salientar que, com a adição de 70 t de composto mais adição de azoto, a produção comercial (37,75 t/ha), nos dois solos, não diferiu significativamente da obtida no tratamento onde as plantas cresceram com fertilização (37,83 t/ha) (quadro 9). Estas produções podem ser consideradas elevadas, pois a média de produção em Portugal, em 2018, foi de 15,93 t/ha (INE, 2018).

Estes resultados indicam que a aplicação de composto contribuiu para o aumento da fertilidade destes solos e que quando suplementada com azoto, permite obter produções elevadas e mesmo semelhantes às obtidas com a utilização de adubos inorgânicos. Assim, estes resultados indicam que a aplicação conjunta de composto orgânico municipal suplementado com azoto inorgânico, pode contribuir para a redução da aplicação de azoto inorgânico e da produção de gases com efeito de estufa. Este comportamento também foi observado por Shiralipour et al. (1992) e por Machado et al. (2020).

A aplicação localizada de composto em relação à mesma quantidade aplicada, mas distribuída, não provocou acréscimos significativos na produção (quadro 9).

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

Quadro 9 - Efeitos do solo e da adição de composto, com ou sem suplementação de azoto na produção, matéria seca e na área foliar.

	Matéria seca (%)	Área Foliar (cm ² /planta)	Produção (t/ha)
Tratamentos			
Solo			
I	13,76 b	188,18	29,0 a
II	14,20 a	184,08	25,8 b
Comp.			
SF	14,99 a	228,09 a	37,8 a
35	14,24 abc	92,02 b	14,3 e
70	14,06 abc	125,46 b	19,7 d
35 + N	12,81 c	247,28 a	32,4 c
70 + N	13,33 cd	256,78 a	37,7 ab
35 L	14,81 ab	131,10 b	16,3 de
35 L + N	13,62 abc	222,18 a	33,5 bc
Significância			
Solo	x	NS	xxx
Comp.	xxx	xxx	xxx
Int. (Solo*Comp.)	xx	NS	NS

Dentro de cada coluna, as médias com letras diferentes são significativamente diferentes * P <0,05; ** P <0,001; *** P < 0,0001 níveis, respetivamente) (LSD), NS = não significativo. DAP - dias após a plantação

4.4 Parâmetros Qualitativos

4.4.1 Pigmentos fotossintéticos

A clorofila a, b e total foram afetadas significativamente pela interação dos tratamentos. Em ambos os solos, o teor de clorofila-a foi mais elevado no tratamento solo fertilizado (figura 13).

No solo I, no tratamento SF o teor de clorofila-a foi de 27,789 mg/100g FW. Neste solo, quando o composto foi distribuído, o teor de clorofila-a é mais baixo nos tratamentos com maior dose de composto aplicado, com e sem adição de azoto (figura 13). Em relação aos tratamentos com composto, o teor de clorofila-a variou entre 21,39 e 7,49 mg/100g FW, respetivamente nos tratamentos 35 e 35 L. No caso da aplicação localizada de composto, o teor de clorofila-a não foi afetado pela adição de azoto. No solo II, os teores de clorofila-a, nos tratamentos onde se aplicou

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

composto, não apresentaram diferenças significativas (figura 13).

No solo I, pode-se concluir que, a aplicação de azoto, influenciou significativamente o conteúdo de clorofila-b, sendo que os valores mais elevados se encontram nos tratamentos em que houve aplicação de azoto. Os valores mais elevados verificaram-se em SF (22,037 mg/100g FW), 35 + N (20,585 mg/100g FW) e 70 + N (21,262 mg/100g FW) (figura 14).

No solo II, a clorofila-b foi mais elevada no tratamento 35 + N (21,363 mg/100g FW). Os restantes valores encontram-se entre as 13,045 mg/100g FW (tratamento SF) e as 15,51 mg/100g FW (tratamento 35 L). Neste caso, para além da aplicação de fertilizante, também a aplicação de composto teve influência significativa no conteúdo de clorofila-b.

O teor total de clorofilas foi mais elevado em alguns dos tratamentos do solo I. Estas diferenças observadas nos teores de clorofila, podem estar relacionadas com a percentagem de matéria seca (quadro 9), pois pode levar à diluição da clorofila e/ou com a disponibilidade de nutrientes no solo, como mencionado por Parida et al., (2004) e Kalaji et al. (2014). O solo também influenciou o conteúdo de clorofila nas plantas, pois a sua síntese está dependente da disponibilidade de vários nutrientes (ex.: azoto, fósforo , etc.) (Fredeen et al., 1990). Assim, em trabalhos futuros é necessário avaliar a influência da adição de composto na disponibilidade de nutrientes no solo e na sua absorção pelas culturas ao longo do seu ciclo.

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

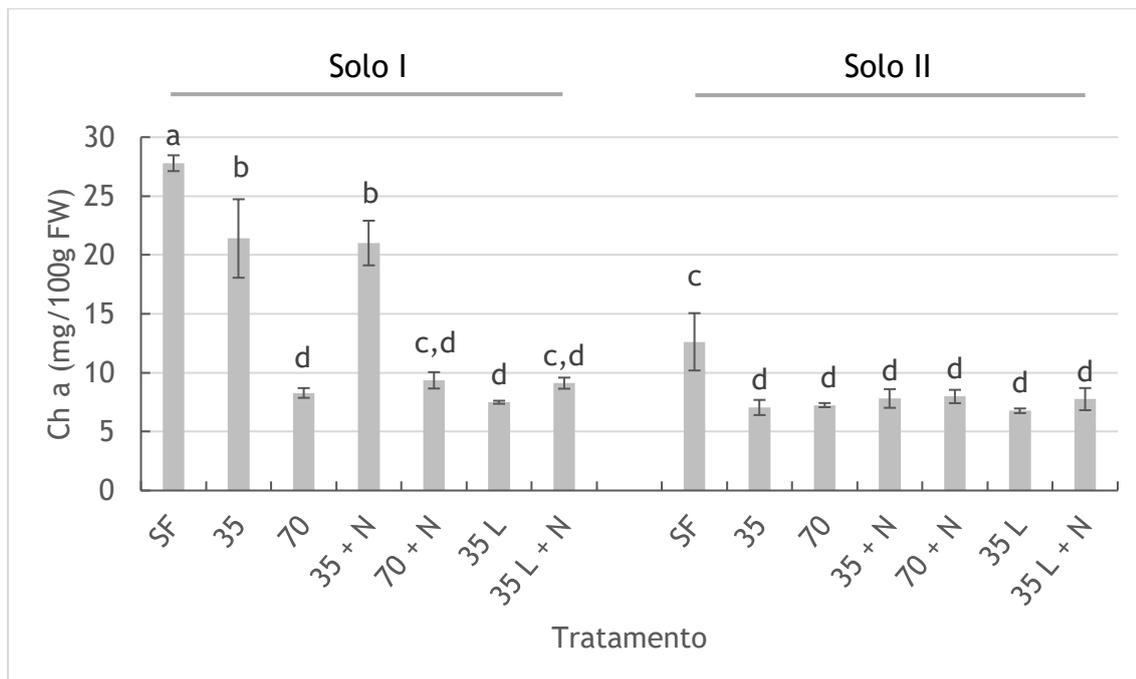


Figura 13 - Influência do solo e dos tratamentos no conteúdo de clorofila-a. Médias com letras diferentes são significativamente diferentes ($p < 0,05$). Cada barra representa a média de 6 repetições, e as barras de erro representam ± 1 SE.

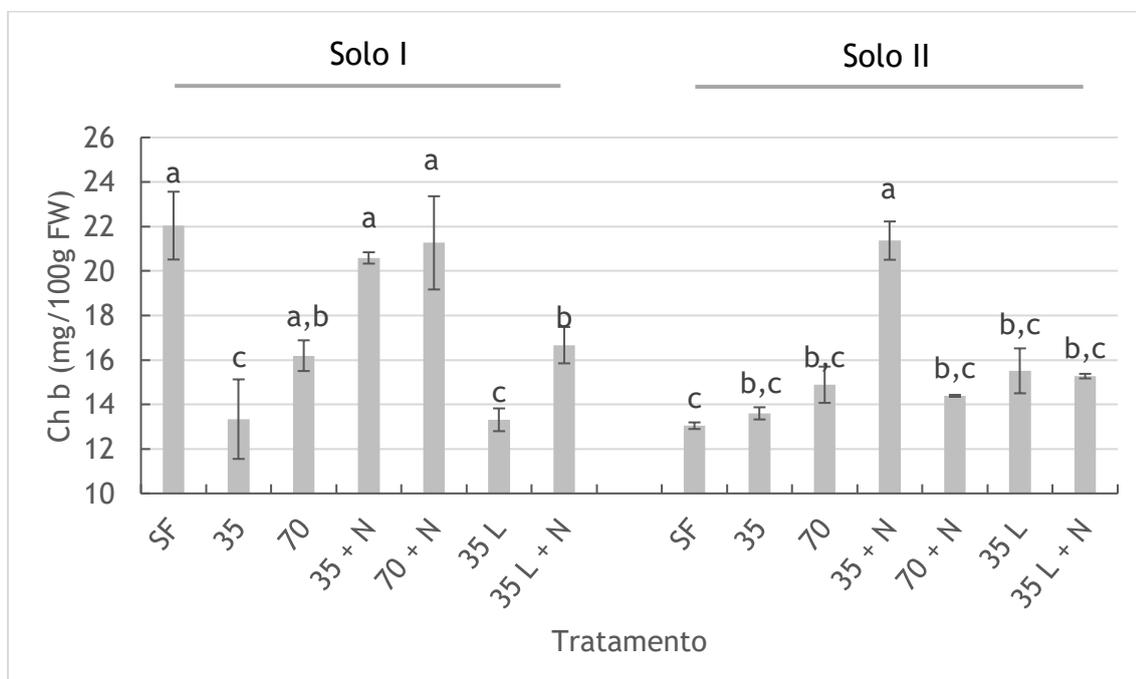


Figura 14 - Influência do solo e dos tratamentos no conteúdo de clorofila-b. Médias com letras diferentes são significativamente diferentes ($p < 0,05$). Cada barra representa a média de 6 repetições, e as barras de erro representam ± 1 SE.

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

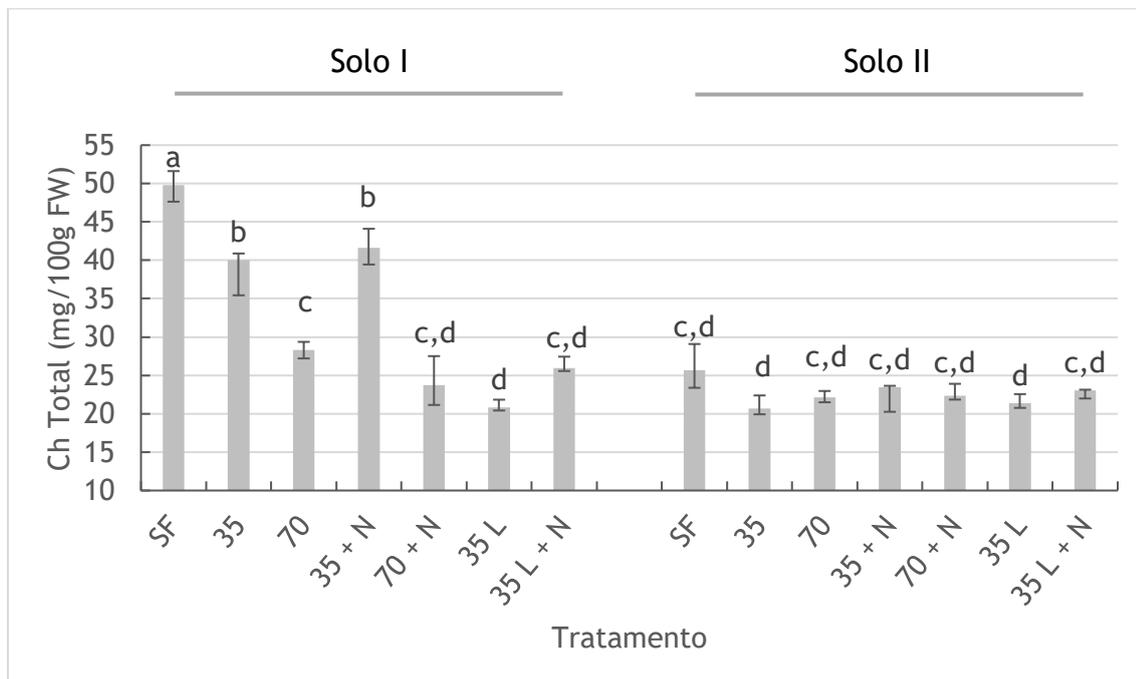


Figura 15 - Influência do solo e dos tratamentos no conteúdo total de clorofilas. Médias com letras diferentes são significativamente diferentes ($p < 0,05$). Cada barra representa a média de 6 repetições, e as barras de erro representam ± 1 SE.

O teor de carotenoides não foi afetado significativamente pela interação dos tratamentos. No solo I, o teor de carotenoides foi mais elevado no tratamento onde se aplicou fertilização convencional, o que pode estar relacionado com a maior aplicação de azoto (figura 16).

O teor de carotenoides, em ambos os solos, não foi afetado significativamente pela taxa de composto orgânico municipal sem adição de azoto. Contudo, aumentou quando esse foi suplementada com azoto (figura 16), quer quando o composto foi distribuído ou localizado no solo. De salientar que no solo II, no tratamento 70 + N, o teor de carotenoides foi semelhante ao medido no tratamento onde as plantas foram fertilizadas.

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

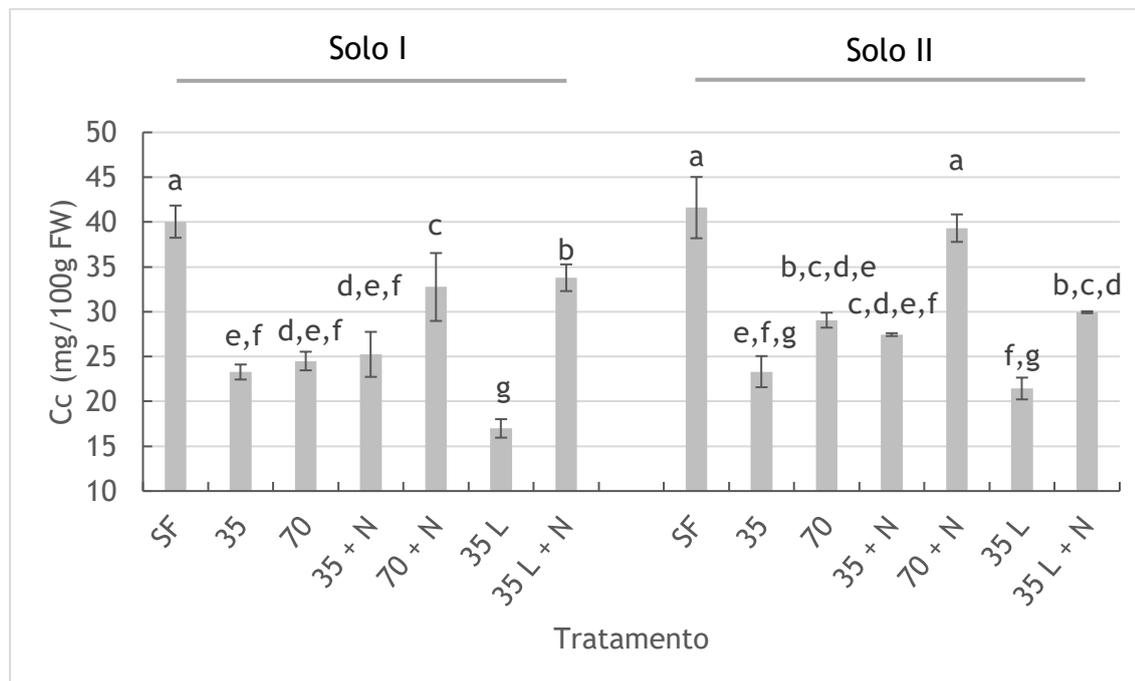


Figura 16 - Influência do solo e dos tratamentos no conteúdo de carotenoides. Médias com letras diferentes são significativamente diferentes ($p < 0,05$). Cada barra representa a média de 6 repetições, e as barras de erro representam ± 1 SE.

O aumento do conteúdo de carotenoides no espinafre, aumentou com a aplicação de azoto (Machado et al., 2018; Xu & Mou, 2016). Os valores do teor de carotenoides variaram 16,985 e 41,612 mg/100g FW. Estes valores estão dentro do intervalo de valores reportados por (Machado et al., 2018).

4.4.2 Nitrato

A concentração de nitrato foi influenciada significativamente pela interação dos tratamentos. A análise da figura 17, permite-nos verificar que a concentração de nitrato variou com os tratamentos, mas foi sempre inferior ao valor máximo permitido pela União Europeia para espinafre fresco (3,5 mg/g FW) (Regulamento (UE) nº1258/2011 da Comissão Europeia). A concentração de nitrato mais elevada (2,744 mg/g FW) foi no solo I, no tratamento 35 L (35 t composto orgânico municipal/ha localizado sem adição de azoto).

O valor mais baixo de concentração de nitrato (1,509 mg/g FW) foi registado

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

no tratamento 35 + N (35 t/ha incorporado nos primeiros 10 cm do solo + 0,53 g N), solo I. A análise da figura 17 permite-nos verificar que não houve uma resposta linear à adição de composto e de azoto, sendo que alguns dos valores mais elevados foram registados nos tratamentos sem adição de azoto.

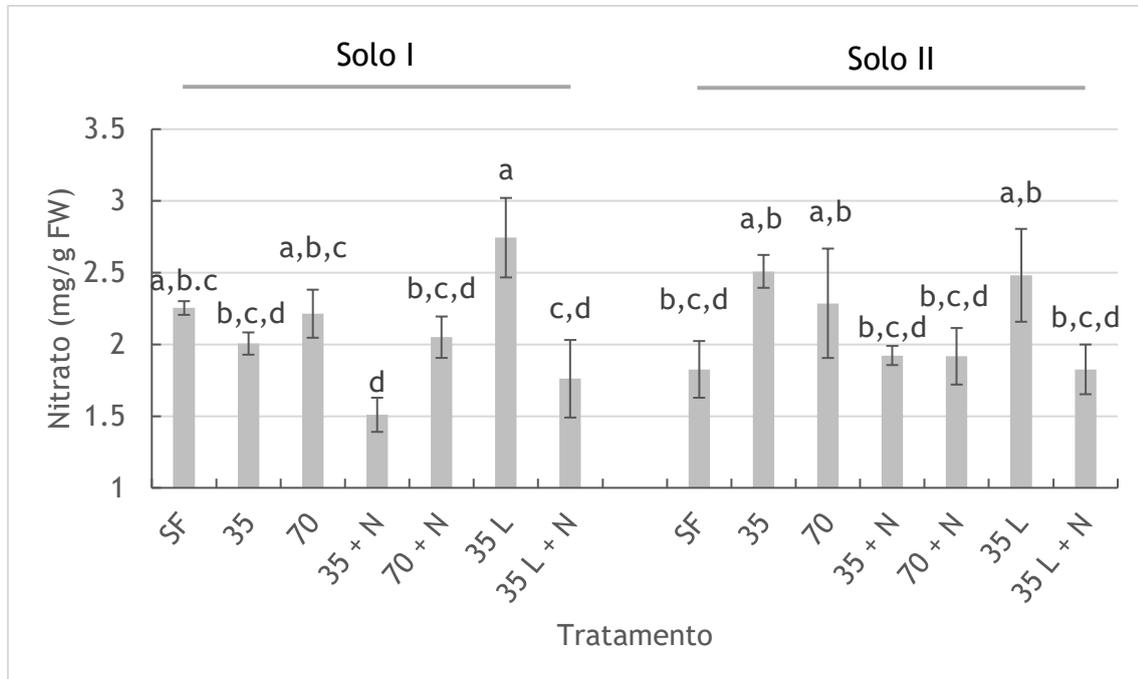


Figura 17 - Influência do solo e dos tratamentos na acumulação de nitratos na parte aérea dos espinafres. Médias com letras diferentes são significativamente diferentes ($p < 0,05$). Cada barra representa a média de 6 repetições, e as barras de erro representam ± 1 SE.

5. Conclusões

A aplicação de composto orgânico municipal incorporado no solo, sem e com adição de azoto, em ambos os solos, aumentou o teor de matéria orgânica e a capacidade de retenção de água. A adição de 35 e 70 t de composto sem e com azoto, em relação ao solo I e II fertilizado, provocou acréscimos de matéria orgânica, entre 1 e 2,51%, e entre 0,38 e 0,95%, respetivamente.

A adição de composto também aumentou o pH de ambos os solos. No caso do solo I, com pH de 7,1 no início do trabalho experimental, a adição de 70 t de composto, elevou o pH para 8,08, o qual pode ser prejudicial para a nutrição da cultura. No solo II, mais ácido, a aplicação de 35 e 70 t de composto elevou o pH de 5,5 para valores de 6,8 e 7,35, respetivamente. Assim, neste solo a adição de composto pode ser uma solução para corrigir o baixo valor de pH do solo e aumentar a disponibilidade de nutrientes.

A adição de composto ao solo nas diferentes taxas, sem ou com suplementação de azoto aumentou a condutividade elétrica. Contudo, os valores mais elevados em ambos os solos não ultrapassaram os 0,45 mS/cm, não representando assim uma restrição ao crescimento das plantas.

A produção, em ambos os solos, com a adição de composto, sem ou com suplementação de azoto, aumentou com a dose de composto aplicado. A adição, aos tratamentos com composto orgânico municipal, de 43% da quantidade de azoto aplicada no tratamento solo fertilizado, levou a acréscimos significativos na produção. A adição de azoto às 35, 70 e 35 L t de composto, provocou acréscimos de produção de 18,1, 18,1 e 17,2 t/ha, respetivamente. Assim, a suplementação do composto com azoto, levou a aumentos de produção na ordem dos 107%.

A produção comercial, no solo I (38,7 t/ha) e no solo II (36,8 t/ha), com a aplicação de 70 t de composto mais azoto, foi igual à produção obtida nos solos fertilizados. Assim, estes resultados indicam que a utilização de compostos orgânicos municipais, pode contribuir para reduzir: a quantidade de azoto inorgânico aplicado; a quantidade de resíduos orgânicos em aterros; e assim contribuir para a redução da

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

emissão de gases de efeito de estufa.

A adição de composto, nas diferentes doses, sem ou com azoto, influenciou a acumulação de nitrato na parte aérea da planta. Contudo, a concentração de nitrato mais elevada (2,744 mg/g FW), foi muito inferior ao valor máximo permitido pela União Europeia para espinafre em fresco (3,5 mg/g FW).

De um modo geral, tendo em conta os resultados obtidos neste trabalho experimental, pode-se dizer que a utilização de compostos orgânicos municipais, é um caminho a seguir no futuro, para reduzir a aplicação de nutrientes inorgânicos e aumentar a fertilidade dos solos. Contudo, ainda é necessário desenvolver investigação para estudar a influência da aplicação de composto na evolução da concentração de nutrientes nos solos e a sua influência na absorção de nutrientes.

6. Referências bibliográficas

- Abubaker, S. M., Abu-Zahra, T. R., Alzu'bi, Y. A., Ammari, T., & Tahboub, A. B. (2010). Nitrate accumulation in spinach (*Spinacia oleracea* L.) tissues under different fertilization regimes. *Journal of Food, Agriculture and Environment*.
- Al-Babili, S., & Bouwmeester, H. J. (2015). Strigolactones, a Novel Carotenoid-Derived Plant Hormone. *Annual Review of Plant Biology*. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-043014-114759>
- Almeida, D. (2006). *Manual de culturas hortícolas Vol. I (1ª)*. Editorial Presença - Lisboa.
- Alvino, A., & Barbieri, G. (2015). Vegetables of Temperate Climates: Leafy Vegetables. In *Encyclopedia of Food and Health*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00712-1>
- Ameen, A., Ahmad, J., & Raza, S. (2016). Effect of pH and moisture content on composting of Municipal solid waste. *International Journal of Scientific and Research Publications*.
- Amlinger, F., Götz, B., Dreher, P., Geszti, J., & Weissteiner, C. (2003). Nitrogen in biowaste and yard waste compost: Dynamics of mobilisation and availability - A review. *European Journal of Soil Biology*. [https://doi.org/10.1016/S1164-5563\(03\)00026-8](https://doi.org/10.1016/S1164-5563(03)00026-8)
- Anjana, Umar, S., & Iqbal, M. (2007). Nitrate accumulation in plants, factors affecting the process, and human health implications. A review. In *Agronomy for Sustainable Development*. <https://doi.org/10.1051/agro:2006021>
- Anónimo. (2008). Especificações Técnicas sobre a Qualidade e Utilizações do Composto. *Agência Portuguesa Do Ambiente - Lisboa*.
- Avillez, F., & Carvalho, M. (2015). A importância de uma gestão sustentável do solo para o crescimento. In *Cultivar Cadernos de Análise e Prospetiva*. <https://doi.org/10.15713/ins.mmj.3>

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

- Avsar, B. (2011). *Genetic Diversity of Turkish Spinach Cultivars (Spinacia oleracea L .) GENETIC DIVERSITY OF TURKISH SPINACH A Thesis Submitted to the Graduate School of Engineering and Sciences of zmir Institute of Technology in Partial Fulfillment of the Requirements f. June 2011.* <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36238.15684>
- Barchanska, H., Babilas, B., Gluzicka, K., Zralek, D., & Baranowska, I. (2014). Rapid determination of mesotrione, atrazine and its main degradation products in selected plants by MSPD - HPLC and indirect estimation of herbicides phytotoxicity by chlorophyll quantification. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry.* <https://doi.org/10.1080/03067319.2013.791977>
- Barkat, N., Singh, J., Jayaprakasha, G. K., & Patil, B. S. (2018). Effect of harvest time on the levels of phytochemicals, free radical-scavenging activity, α -amylase inhibition and bile acid-binding capacity of spinach (*Spinacia oleracea*). *Journal of the Science of Food and Agriculture.* <https://doi.org/10.1002/jsfa.8862>
- Beis, G. H., Siomos, A. S., & Dogras, C. C. (2002). Spinach composition as affected by leaf age and plant part. *Acta Horticulturae.* <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.579.115>
- Brown, S., & Cotton, M. (2011). Changes in Soil Properties and Carbon Content Following Compost Application: Results of On-farm Sampling. *Compost Science and Utilization.* <https://doi.org/10.1080/1065657X.2011.10736983>
- Cantliffe, D. J., & Phatak, S. C. (1974). Nitrate accumulation in greenhouse vegetable crops. *Canadian Journal of Plant Science.* <https://doi.org/10.4141/cjps74-132>
- Carter, M. R. (2007). Long-term influence of compost on available water capacity of a fine sandy loam in a potato rotation. *Canadian Journal of Soil Science.* <https://doi.org/10.4141/CJSS06042>
- Cermeño, Z. S. (1977). *Cultivo de plantas hortícolas em estufa* (9th ed.). Litexa - Portugal.

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

- Cesaro, A., Belgiorno, V., & Guida, M. (2015). Compost from organic solid waste: Quality assessment and European regulations for its sustainable use. *Resources, Conservation and Recycling*. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.11.003>
- Chen, T., Zhang, S., & Yuan, Z. (2020). Adoption of solid organic waste composting products: A critical review. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122712>
- Colla, G., Kim, H. J., Kyriacou, M. C., & Roupshael, Y. (2018). Nitrate in fruits and vegetables. In *Scientia Horticulturae*. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.016>
- Comissão Europeia. (2020). *Exemplos de compostagem e de recolhas selectivas bem sucedidas*. https://ec.europa.eu/environment//waste/publications/pdf/compost_pt.pdf
- Das, K. C., Smith, M. C., Gattie, D. K., & Hale Boothe, D. D. (2002). Stability and quality of municipal solid waste compost from a landfill aerobic bioreduction process. *Advances in Environmental Research*. [https://doi.org/10.1016/S1093-0191\(01\)00066-1](https://doi.org/10.1016/S1093-0191(01)00066-1)
- de Araújo, A. S. F., de Melo, W. J., & Singh, R. P. (2010). Municipal solid waste compost amendment in agricultural soil: Changes in soil microbial biomass. In *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*. <https://doi.org/10.1007/s11157-009-9179-6>
- Di Mola, I., Cozzolino, E., Ottaiano, L., Nocerino, S., Roupshael, Y., Colla, G., El-Nakhel, C., & Mori, M. (2020). Nitrogen use and uptake efficiency and crop performance of baby spinach (*Spinacia oleracea* L.) and Lamb's Lettuce (*Valerianella locusta* L.) grown under variable sub-optimal N regimes combined with plant-based biostimulant application. *Agronomy*. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020278>
- Dias, J. S. (2019). Nutritional Quality and Effect on Disease Prevention of Vegetables. *Food and Nutrition Sciences*. <https://doi.org/10.4236/fns.2019.104029>
- Evangelou, A., Gerassimidou, S., Mavrakis, N., & Komilis, D. (2016). Monitoring the

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

- performances of a real scale municipal solid waste composting and a biodrying facility using respiration activity indices. *Environmental Monitoring and Assessment*. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5303-6>
- Farrell, M., & Jones, D. L. (2009). Critical evaluation of municipal solid waste composting and potential compost markets. In *Bioresource Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.04.029>
- Fernandes, R. (2016). A matéria orgânica do solo. *INIAV, L.P.*, 3. http://www.inia.pt/fotos/editor2/materia_organica_do_solo.pdf
- Fornaciari, S., Milano, F., Mussi, F., Pinto-Sanchez, L., Forti, L., Buschini, A., & Arru, L. (2014). Assessment of antioxidant and antiproliferative properties of spinach plants grown under low oxygen availability. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6756>
- Fredeen, A. L., Raab, T. K., Rao, I. M., & Terry, N. (1990). Effects of phosphorus nutrition on photosynthesis in *Glycine max* (L.) Merr. *Planta*. <https://doi.org/10.1007/BF00195894>
- Fytianos, K., & Zarogiannis, P. (1999). Nitrate and nitrite accumulation in fresh vegetables from Greece. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. <https://doi.org/10.1007/s001289900858>
- Ghee, C., Neilson, R., Hallett, P. D., Robinson, D., & Paterson, E. (2013). Priming of soil organic matter mineralisation is intrinsically insensitive to temperature. *Soil Biology and Biochemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.06.020>
- Giannakis, G. V., Kourgialas, N. N., Paranychianakis, N. V., Nikolaidis, N. P., & Kalogerakis, N. (2014). Effects of municipal solid waste compost on soil properties and vegetables growth. *Compost Science and Utilization*. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2014.899938>
- Giusquiani, P. L., Pagliai, M., Gigliotti, G., Businelli, D., & Benetti, A. (1995). Urban Waste Compost: Effects on Physical, Chemical, and Biochemical Soil Properties. *Journal of Environmental Quality*. <https://doi.org/10.2134/jeq1995.00472425002400010024x>

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

- Głąb, T., Żabiński, A., Sadowska, U., Gondek, K., Kopec, M., Mierzwa-Hersztek, M., Tabor, S., & Stanek-Tarkowska, J. (2020). Fertilization effects of compost produced from maize, sewage sludge and biochar on soil water retention and chemical properties. *Soil and Tillage Research*. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104493>
- Hanafy Ahmed, A., Khalil, M., & Farrag, A. (2000). Nitrate Accumulation, Growth, Yield and chemical composition of Rocket (*Eruca vesicaria* subsp. *sativa*) plant as affected by NPK fertilization, Kinetin and Salicylic Acid. *Ichem2000*.
- Hargreaves, J. C., Adl, M. S., & Warman, P. R. (2008). A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. In *Agriculture, Ecosystems and Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.07.004>
- Hashimoto, H., Uragami, C., & Cogdell, R. J. (2016). Carotenoids and photosynthesis. *Sub-Cellular Biochemistry*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-39126-7_4
- Hord, N. G., Tang, Y., & Bryan, N. S. (2009). Food sources of nitrates and nitrites: The physiologic context for potential health benefits. In *American Journal of Clinical Nutrition*. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2008.27131>
- Hou, X., Rivers, J., León, P., McQuinn, R. P., & Pogson, B. J. (2016). Synthesis and Function of Apocarotenoid Signals in Plants. In *Trends in Plant Science*. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.06.001>
- INE - Instituto Nacional de Estatística, I. P. (2016). *Estatísticas Agrícolas 2016*. Lisboa - Portugal.
- INE - Instituto Nacional de Estatística, I. P. (2017). *Estatísticas Agrícolas 2017*. Lisboa - Portugal.
- INE - Instituto Nacional de Estatística, I. P. (2018). *Estatísticas Agrícolas 2018*. Lisboa - Portugal.
- Irigoyen, I., Lamsfus, C., Aparicio-Tejo, P., & Muro, J. (2006). The influence of 3,4-dimethylpyrazole phosphate and dicyandiamide on reducing nitrate accumulation in spinach under Mediterranean conditions. *Journal of*

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

Agricultural Science. <https://doi.org/10.1017/S0021859606006472>

Ismail, A., Marjan, Z. M., & Foong, C. W. (2004). Total antioxidant activity and phenolic content in selected vegetables. *Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.01.010>

Jalali, M. (2005). Nitrates leaching from agricultural land in Hamadan, western Iran. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.04.011>

Joshi, V., Joshi, M., & Penalosa, A. (2020). Comparative analysis of tissue-specific transcriptomic responses to nitrogen stress in spinach (*Spinacia oleracea*). *PLoS ONE*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232011>

Joshna, A., & Lakshmi, S. M. (2013). A review on South Indian Edible Leafy Vegetables. *Journal of Global Trends in Pharmaceutical Sciences*.

Jubert, C., & Bailey, G. (2007). Isolation of chlorophylls a and b from spinach by counter-current chromatography. *Journal of Chromatography A*. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2006.11.063>

Kalaji, H. M., Oukarroum, A., Alexandrov, V., Kouzmanova, M., Brestic, M., Zivcak, M., Samborska, I. A., Cetner, M. D., Allakhverdiev, S. I., & Goltsev, V. (2014). Identification of nutrient deficiency in maize and tomato plants by in vivo chlorophyll a fluorescence measurements. *Plant Physiology and Biochemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.03.029>

Koike, S. T., Cahn, M., Cantwell, M., Fennimore, S., Lestrangle, M., Natwick, E., Smith, R. F., & Takele, E. (2011). Spinach Production in California. In *Spinach Production in California*. <https://doi.org/10.3733/ucanr.7212>

Lastra, O. C. (2003). *Derivative spectrophotometric determination of nitrate in plant tissue*. *Journal of AOAC International*. <https://doi.org/10.1093/jaoac/86.6.1101>

Lichtenthaler, H., & Buschmann, C. (1987). Chlorophyll and Carotenoid Determination (after Lichtenthaler 1987), a practical instruction. In *Methods Enzymol*.

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

- Machado, R., Alves-Pereira, I., & Ferreira, R. M. A. (2018). Plant growth, phytochemical accumulation and antioxidant activity of substrate-grown spinach. *Heliyon*. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00751>
- Machado, R., Alves-Pereira, I., Lourenço, D., & Ferreira, R. M. A. (2020). Effect of organic compost and inorganic nitrogen fertigation on spinach growth, phytochemical accumulation and antioxidant activity. *Heliyon*. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05085>
- Machado, R., & Serralheiro, R. P. (2017). Soil salinity: Effect on vegetable crop growth. Management practices to prevent and mitigate soil salinization. In *Horticulturae*. <https://doi.org/10.3390/horticulturae3020030>
- Manicone, F. (2020). *Municipal solid waste compost evaluation as possible substitute of mineral fertilizers in open field and controlled environment cultivation*. Università degli Studi della Basilicata.
- Martínez-Blanco, J., Lazcano, C., Christensen, T. H., Muñoz, P., Rieradevall, J., Møller, J., Antón, A., & Boldrin, A. (2013). Compost benefits for agriculture evaluated by life cycle assessment. A review. In *Agronomy for Sustainable Development*. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0148-7>
- Maynard, D. N., Barker, A. V., Minotti, P. L., & Peck, N. H. (1976). Nitrate accumulation in vegetables. *Advances in Agronomy*. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60553-2](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60553-2)
- Minelgaitè, A., & Liobikienè, G. (2019). Waste problem in European Union and its influence on waste management behaviours. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.313>
- Mitova, I., Nenova, L., & Shaban, N. (2017). Abiotic factors and their impact on growth characteristics of Spinach (*Spinacia oleracea*). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*.
- Mkhabela, M. S., & Warman, P. R. (2005). The influence of municipal solid waste compost on yield, soil phosphorus availability and uptake by two vegetable crops grown in a Pugwash sandy loam soil in Nova Scotia. *Agriculture, Ecosystems and*

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

Environment. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.07.014>

Moldes, A., Cendón, Y., & Barral, M. T. (2007). Evaluation of municipal solid waste compost as a plant growing media component, by applying mixture design.

Bioresource Technology. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.10.021>

Muñoz-Ortuño, M., Serra-Mora, P., Herráez-Hernández, R., Verdú-Andrés, J., & Campíns-Falcó, P. (2017). A new tool for direct non-invasive evaluation of chlorophyll a content from diffuse reflectance measurements.

Science of the Total Environment. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.140>

Olasupo AD, Aborisade AB, O. O. (2018). Phytochemical Analysis and Antibacterial Activities of Spinach Leaf | Insight Medical Publishing. *American Journal of Phytomedicine and Clinical Therapeutics*. <https://doi.org/10.21767/2321-2748.100344>

Ott, K., Koenig, R., & Miles, C. (2008). Influence of plant part on nitrate concentration in lettuce and spinach. *International Journal of Vegetable Science*. <https://doi.org/10.1080/19315260802271304>

Paradelo, R., Basanta, R., & Barral, M. T. (2019). Water-holding capacity and plant growth in compost-based substrates modified with polyacrylamide, guar gum or bentonite. *Scientia Horticulturae*. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.08.046>

Parida, A. K., Das, A. B., & Mitra, B. (2004). Effects of salt on growth, ion accumulation, photosynthesis and leaf anatomy of the mangrove, *Bruguiera parviflora*. *Trees - Structure and Function*. <https://doi.org/10.1007/s00468-003-0293-8>

Paulin, B., & O'Malley, P. (2008). Compost production and use in horticulture. *Department of Agriculture and Food*.

Pinheiro D. (2020). *Recolha de restos alimentares vai passar a ser obrigatória*. <https://sicnoticias.pt/pais/2020-10-27-Recolha-de-restos-alimentares-vai-passar-a-ser-obrigatoria>

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

Powlson, D. S., Addiscott, T. M., Benjamin, N., Cassman, K. G., de Kok, T. M., van Grinsven, H., L'hirondel, J.-L., Avery, A. A., & van Kessel, C. (2008). When Does Nitrate Become a Risk for Humans? *Journal of Environmental Quality*. <https://doi.org/10.2134/jeq2007.0177>

Roberts, J. L., & Moreau, R. (2016). Functional properties of spinach (*Spinacia oleracea* L.) phytochemicals and bioactives. In *Food and Function*. <https://doi.org/10.1039/c6fo00051g>

Santamaria, P. (2006). Nitrate in vegetables: Toxicity, content, intake and EC regulation. In *Journal of the Science of Food and Agriculture*. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2351>

Schoefs, B. (2002). Chlorophyll and carotenoid analysis in food products. Properties of the pigments and methods of analysis. *Trends in Food Science and Technology*. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00182-6](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00182-6)

Shiralipour, A., McConnell, D. B., & Smith, W. H. (1992). Physical and chemical properties of soils as affected by municipal solid waste compost application. *Biomass and Bioenergy*. [https://doi.org/10.1016/0961-9534\(92\)90030-T](https://doi.org/10.1016/0961-9534(92)90030-T)

Soumaré, M., Tack, F. M. G., & Verloo, M. G. (2003). Effects of a municipal solid waste compost and mineral fertilization on plant growth in two tropical agricultural soils of Mali. *Bioresource Technology*. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00133-5](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00133-5)

Srivastava, V., De Araujo, A. S. F., Vaish, B., Bartelt-Hunt, S., Singh, P., & Singh, R. P. (2016). Biological response of using municipal solid waste compost in agriculture as fertilizer supplement. In *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*. <https://doi.org/10.1007/s11157-016-9407-9>

Stoffella, P., He, Z., Kahn, B., Yang, X., & Calvert, D. (2001). Plant Nutrition Benefits of Phosphorus, Potassium, Calcium, Magnesium, and Micronutrients from Compost Utilization. In *Compost Utilization In Horticultural Cropping Systems*. <https://doi.org/10.1201/9781420026221.ch15>

Streit, N. M., Canterle, L. P., Canto, M. W. do, & Hecktheuer, L. H. H. (2005). As

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

clorofilas. *Ciência Rural*. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782005000300043>

Sun, T., Yuan, H., Cao, H., Yazdani, M., Tadmor, Y., & Li, L. (2018). Carotenoid Metabolism in Plants: The Role of Plastids. In *Molecular Plant*. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2017.09.010>

Tian, L. (2015). Recent advances in understanding carotenoid-derived signaling molecules in regulating plant growth and development. In *Frontiers in Plant Science*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00790>

Urta, J., Alkorta, I., & Garbisu, C. (2019). Potential benefits and risks for soil health derived from the use of organic amendments in agriculture. In *Agronomy*. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090542>

USDA - United States Department of Agriculture. (2019). *Basic report 11457, Spinach raw*. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/168462/nutrients>

Vieira, I. S., Vasconcelos, E. P., & Monteiro, A. A. (1998). Nitrate accumulation, yield and leaf quality of turnip greens in response to nitrogen fertilisation. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. <https://doi.org/10.1023/A:1009797527061>

Wakida, F. T., & Lerner, D. N. (2005). Non-agricultural sources of groundwater nitrate: A review and case study. *Water Research*. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.07.026>

Wang, Z., & Li, S. (2004). Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on plant growth and nitrate accumulation in vegetables. *Journal of Plant Nutrition*. <https://doi.org/10.1081/PLN-120028877>

Watson, R., & Preedy, V. (2010). *Bioactive Foods in Promoting Health* (1st ed.). Academic Press. <https://www.elsevier.com/books/bioactive-foods-in-promoting-health/watson/978-0-12-374628-3>

Wei, Y., Zhao, Y., Xi, B., Wei, Z., Li, X., & Cao, Z. (2015). Changes in phosphorus fractions during organic wastes composting from different sources. *Bioresource Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.04.031>

Welbaum, G. E. (2015). *Vegetable production and practices* (1st ed.). CAB

Influência da aplicação de composto orgânico municipal nas características do solo, na produção e qualidade do espinafre

International - Oxfordshire, UK.

- Xu, C., & Mou, B. (2016). Responses of spinach to salinity and nutrient deficiency in growth, physiology, and nutritional value. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. <https://doi.org/10.21273/jashs.141.1.12>
- Yang, F., Zhang, G. L., Yang, J. L., Li, D. C., Zhao, Y. G., Liu, F., Yang, R. M., & Yang, F. (2014). Organic matter controls of soil water retention in an alpine grassland and its significance for hydrological processes. *Journal of Hydrology*. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.10.054>
- Zhang, M., Heaney, D., Henriquez, B., Solberg, E., & Bittner, E. (2006). A four-year study on influence of biosolids/msw cocompost application in less productive soils in alberta: Nutrient dynamics. *Compost Science and Utilization*. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2006.10702265>
- Zwaan, R. (2020). *Obtido em 23 de Abril de 2020 de Rijk Zwan, Portugal*. <https://www.rijkszwaan.pt/encontre-sua-variedade/espinafre/manatee-rz>