

Efeito da aplicação de leonardite nas propriedades do solo e na produtividade de alface cultivada em vasos

Monica de Andrade Seixas

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

Orientado por
Manuel Ângelo Rosa Rodrigues
Margarida Maria Pereira Arrobas
Sérgio Miguel Mazaro

Bragança
2020

MONICA DE ANDRADE SEIXAS

Efeito da aplicação de leonardite nas propriedades do solo e na produtividade de alface cultivada em vasos

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

Orientadores:

Prof. Dr. Manuel Ângelo Rodrigues

Prof. Dr. Margarita Maria Pereira Arrobas Rodrigues

Prof. Dr. Sérgio Miguel Mazaro

BRAGANÇA
2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela proteção que recebo todos os dias, pela força.

Em segundo, agradeço aos meus pais: José Gladistone e minha mãe Serli, pelo incentivo, pelas palavras, por serem minha motivação de ter chegado até aqui.

Agradeço a minha irmã Gabrielly, pelo carinho, que teve comigo, por me alegrar em vários momentos.

Um agradecimento muito especial ao Willian, pela paciência, pela companhia, por estar comigo nessa caminhada.

Aos meus orientadores, Professor Doutor Manuel Ângelo Rodrigues, Professora Doutora Margarida Maria Pereira Arrobas Rodrigues e Professor Doutor Sérgio Mazaro por todo o ensinamento, e dedicação em meio a correria tirar um tempo para me orientar.

E a todos que ajudaram de uma forma ou outra, meu muito obrigada.

RESUMO

O solo é um meio de suporte para o crescimento de diversas espécies vegetais, fornecendo nutrientes, minerais e água. Porém alguns solos são deficientes ou apresentam baixa disponibilidade de nutrientes para as plantas, necessitando de complementos com fertilização mineral, orgânica e/ou condicionadores. A leonardite tem sido utilizada como condicionador de solo para melhoramento da sua fertilidade, porém seus efeitos no solo estão ainda pouco estudados. O objetivo desse trabalho foi estudar o efeito de duas leonardites comerciais sobre as propriedades do solo, o estado nutricional das plantas e a produção de biomassa de alface, por comparação com outros substratos orgânicos e uma modalidade testemunha. Os tratamentos utilizados foram: Testemunha sem fertilização (T), Composto C1 (35,7 g/vaso), Composto C2 (71,4 g/vaso), Condicionador leonardite H1 (1,74 g/vaso), Condicionador leonardite H2 (3,57 g/vaso), Condicionador leonardite M1 (0,18 g/vaso), Condicionador leonardite M2 (0,36 g/vaso), T+F (solo+ 5 g de NPK), Composto C1+F (35,7 g + 5 g de adubo composto NPK), Composto C2+F (71,4 g + 5 g de adubo composto NPK), Condicionador H1 (1,74 g + 5 g de adubo composto NPK), Condicionador H2 (3,57 g + 5 g de adubo composto NPK), Condicionador M1 (0,18 g + 5 g de adubo composto NPK), Condicionador M2 (0,36 g + 5 g de adubo composto NPK). O experimento foi organizado de forma completamente casualizada com catorze tratamentos e três repetições. Os ensaios decorreram nas estufas do Instituto Politécnico de Bragança em vasos com cerca de 3 kg de solo peneirado, durante dois ciclos, um no outono outro na primavera. Nas plantas de alface foi avaliada a produção de matéria seca, a concentração de nutrientes nos tecidos e a quantidade de nutrientes recuperados nos tecidos. No solo avaliou-se, no fim do segundo ciclo, o teor de nutrientes, pH, carbono orgânico e complexo de troca. Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA de 1 fator, unidirecional). Quando se registaram diferenças significativas ($P < 0,05$), as médias foram separadas pelo método de comparação múltipla de médias Tukey-HSD ($\alpha = 0,05$). Em geral a maioria dos tratamentos com fertilização mineral alcançaram a maior produção de matéria seca e os maiores teores e recuperação de nutrientes nos tecidos. O tratamento M2+F foi o que acumulou maior quantidade de matéria seca durante o primeiro e segundo ciclos de cultivo da alface. Nos solos, os tratamentos que registaram teores mais elevados de nutrientes foram os compostos C2 e C2+F, sendo a associação com fertilizante mineral a mais vantajosa. Nos nutrientes fósforo, potássio e sódio, os condicionadores apresentaram valores baixos em relação à testemunha e aos compostos.

Palavras-chave: *Lactuca sativa*; condicionadores de solo; compostos orgânicos; produção de matéria seca; concentração de nutrientes; propriedades do solo.

ABSTRACT

Soil is a means of support for the growth of several plant species providing nutrients, minerals and water. However, some soils are deficient or have low availability of nutrients for plants, requiring to be supplemented with mineral and organic fertilizers and/or soil conditioners. Leonardite has been used as a soil conditioner to improve soil fertility, but its effects on the soil are still poorly studied. The aim of this work was to study the effect of two commercial leonardites on soil properties, the nutritional status of plants and the production of lettuce, by comparison with other organic substrates and a non-fertilized control treatment. The treatments used were: Control (T), Compound C1 (35.7 g/pot), Compound C2 (71.4 g/pot), Conditioner leonardite H1 (1.74 g/pot), Conditioner leonardite H2 (3, 57 g/pot), Conditioner leonardite M1 (0.18 g/pot), Conditioner leonardite M2 (0.36 g/pot), T + F (soil + 5 g NPK), Compound C1 + F (35.7 g + 5 g of compound NPK fertilizer), Compound C2 + F (71.4 g + 5 g of compound NPK fertilizer), Conditioner H1 (1.74 g + 5 g of compound NPK fertilizer), Conditioner H2 (3.57 g + 5 g of compound NPK fertilizer), Conditioner M1 (0.18 g + 5 g of compound NPK fertilizer), Conditioner M2 (0.36 g + 5 g of compound NPK fertilizer). The experiment was organized in a completely randomized design with fourteen treatments and three replications. The tests took place in the greenhouses of the Polytechnic Institute of Bragança in pots with about 3 kg of sieved soil, during two growing cycles, one in autumn and one in spring. The following analyzes were carried out on lettuce plants: production of dry matter; concentration and nutrient recovery in plant tissues. In the soil, at the end of the second growing cycle, the nutrient content, pH, organic carbon and exchangeable complex were evaluated. Data were submitted to analysis of variance (one-way ANOVA, unidirectional). When significant differences were found ($P < 0.05$), the means were separated by the Tukey-HSD multiple range test ($\alpha = 0.05$). In general, most treatments with mineral fertilization reached the higher dry matter yields and nutrient concentration and recovery in plant tissues. The M2 + F treatment produced more dry matter during the first and second lettuce cultivation cycles. In the soils the treatments reaching high nutrient levels were the compounds C2 and C2 + F, being the association with mineral fertilizer the most advantageous. In the soil s, phosphorus, potassium and sodium levels were lower with soil conditioners in comparison to the control and organic compound treatments.

Keywords: *Lactuca sativa*; soil conditioners; organic compounds; dry matter yield; nutrient concentration; soil properties.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	III
RESUMO.....	IV
ABSTRACT.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABELAS.....	X
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 O SOLO COMO MEIO DE SUPORTE AO DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS.....	2
2.1.1 Origem do solo, matéria orgânica e partículas minerais	2
2.1.2 Macro e micronutrientes essenciais às plantas.....	3
2.2 FERTILIZAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL	4
2.3 CONDICIONADORES DO SOLO	7
2.3.1. Uso de condicionadores na cultura da alface	9
2.4 LEONARDITE COMO MATERIAL FERTILIZANTE	10
2.4.1. Ácidos fúlvicos, húmicos e humina	12
2.5 A CULTURA DA ALFACE	13
2.5.1 Origem e características morfológicas.....	13
2.5.2 Importância econômica.....	14
2.5.3 Aspectos nutricionais	15
3. MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL E DO CLIMA	16
3.2 INSTALAÇÃO DOS ENSAIOS	17
3.3 MATERIAIS FERTILIZANTES E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	17
3.4 PREPARAÇÃO DOS VASOS	18
3.5 PREPARAÇÃO DAS PLANTAS E PLANTAÇÃO.....	20
3.6 MANUTENÇÃO DOS EXPERIMENTOS.....	22
3.6.1 Rega	22
3.6.2 Combate as plantas daninhas	22
3.7 ANÁLISES LABORATORIAIS.....	22
3.7.1 Análise de solo.....	22
3.7.1.1 <i>pH em água</i>	23
3.7.1.2 <i>pH em cloreto de potássio</i>	23

3.7.1.3	<i>Capacidade de troca</i>	23
3.7.1.4	<i>Disponibilidade de fósforo e potássio</i>	23
3.7.1.5	<i>Carbono orgânico (procedimento Walkley-Black)</i>	24
3.7.1.6	<i>Disponibilidade de boro de solo</i>	24
3.7.1.7	<i>Biodisponibilidade de micronutrientes e metais pesados</i>	24
3.7.1.8	<i>Atividade de fosfatase ácida</i>	24
3.7.2	<i>Análises dos tecidos vegetais</i>	25
3.7.2.1	<i>Determinação de nitrogênio</i>	25
3.7.2.2	<i>Determinação de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, ferro, zinco e manganês</i>	26
3.7.2.3	<i>Determinação de boro</i>	26
3.8	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	26
4.	RESULTADOS	27
4.1	PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA	27
4.2	CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NOS TECIDOS	28
4.2.1	<i>Concentração de macronutrientes nos tecidos</i>	28
4.2.2	<i>Concentração de micronutrientes nos tecidos</i>	31
4.3	NUTRIENTES RECUPERADOS NOS TECIDOS	34
4.4	SOLOS	43
5.	DISCUSSÃO	49
5.1	PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA	49
5.2	CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NOS TECIDOS	50
5.2.1	<i>Concentração de macronutrientes nos tecidos</i>	50
5.2.2	<i>Concentração de micronutrientes nos tecidos</i>	52
5.3	NUTRIENTES RECUPERADOS NOS TECIDOS	55
5.4	SOLOS	59
6.	CONCLUSÕES	66
	REFERÊNCIAS	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localização da estufa onde foram realizados os experimentos (Google maps, 2020).....	16
Figura 2. Pesagem dos fertilizantes em balança de precisão.....	17
Figura 3. Enchimento dos vasos com solo recentemente coletado e crivado.....	20
Figura 4. Alfaces nas cubetes de germinação a meio da fase de desenvolvimento.....	21
Figura 5. Plantio das alfaces no primeiro ciclo (em cima) e no segundo ciclo (em baixo).....	21
Figura 6. Produção de matéria seca nos dois ciclos culturais da alface com e sem fertilização mineral. As letras sobre as colunas são o resultado da análise de variância para a produção de matéria seca. Médias a que correspondam letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$).....	27
Figura 7. Nitrogênio recuperado nos tecidos durante dois ciclos culturais da alface com e sem fertilização mineral. As letras sobre as colunas são o resultado da análise de variância para a produção de matéria seca. Médias a que correspondam letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$), separadamente por grupo de fertilização e por ciclo da alface.....	35
Figura 8. Fósforo recuperado nos tecidos durante dois ciclos culturais da alface com e sem fertilização mineral. As letras sobre as colunas são o resultado da análise de variância para a produção de matéria seca. Médias a que correspondam letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$), separadamente por grupo de fertilização e por ciclo da alface.....	36
Figura 9. Potássio recuperado nos tecidos durante dois ciclos culturais da alface com e sem fertilização mineral. As letras sobre as colunas são o resultado da análise de variância para a produção de matéria seca. Médias a que correspondam letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$), separadamente por grupo de fertilização e por ciclo da alface.....	37
Figura 10. Cálcio recuperado nos tecidos durante dois ciclos culturais da alface com e sem fertilização mineral. As letras sobre as colunas são o resultado da análise de variância para a produção de matéria seca. Médias a que correspondam letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$), separadamente por grupo de fertilização e por ciclo da alface.....	38
Figura 11. Magnésio recuperado nos tecidos durante dois ciclos culturais da alface com e sem fertilização mineral. As letras sobre as colunas são o resultado da análise de variância para a produção de matéria seca. Médias a que correspondam letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$), separadamente por grupo de fertilização e por ciclo da alface.....	39
Figura 12. Boro recuperado nos tecidos durante dois ciclos culturais da alface com e sem fertilização mineral. As letras sobre as colunas são o resultado da análise de variância para a produção de matéria seca. Médias a que correspondam letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$), separadamente por grupo de fertilização e por ciclo da alface.....	39

Figura 13. Ferro recuperado nos tecidos durante dois ciclos culturais da alfaca com e sem fertilização mineral. As letras sobre as colunas são o resultado da análise de variância para a produção de matéria seca. Médias a que correspondam letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$), separadamente por grupo de fertilização e por ciclo da alfaca.....	40
Figura 14. Manganês recuperado nos tecidos durante dois ciclos culturais da alfaca com e sem fertilização mineral. As letras sobre as colunas são o resultado da análise de variância para a produção de matéria seca. Médias a que correspondam letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$), separadamente por grupo de fertilização e por ciclo da alfaca.....	41
Figura 15. Teor de zinco recuperado nos tecidos durante dois ciclos culturais da alfaca com e sem fertilização mineral. As letras sobre as colunas são o resultado da análise de variância para a produção de matéria seca. Médias a que correspondam letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$).....	42
Figura 16. Cobre recuperado nos tecidos durante dois ciclos culturais da alfaca com e sem fertilização mineral. As letras sobre as colunas são o resultado da análise de variância para a produção de matéria seca. Médias a que correspondam letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$), separadamente por grupo de fertilização e por ciclo da alfaca.....	43

ÍNDICE DE TABELAS

Quadro 1. Algumas propriedades do solo (média ± desvio padrão) no momento da instalação do experimento em vasos.....	1
Quadro 2. Concentração média de macronutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio nas alfaces durante o 1º ciclo de cultivo em função dos tratamentos fertilizantes.....	29
Quadro 3. Concentração média de macronutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio nas alfaces durante o 2º ciclo de cultivo em função dos tratamentos fertilizantes.....	31
Quadro 4. Concentração média de micronutrientes boro, ferro, manganês, zinco e cobre nas alfaces durante o 1º ciclo de cultivo em função dos tratamentos fertilizantes.....	32
Quadro 5. Concentração média de micronutrientes boro, ferro, manganês, zinco e cobre nas alfaces durante o 2º ciclo de cultivo em função dos tratamentos fertilizantes.....	34
Quadro 6. Carbono orgânico, pH e fósforo e potássio extratáveis nas amostras de solo dos vasos após o segundo ciclo da alface.....	44
Quadro 7. Análise ao complexo de troca do cálcio (Ca ⁺⁺), magnésio (Mg ⁺⁺), potássio (K ⁺), sódio (Na ⁺), acidez de troca (AT) e capacidade de troca efetiva (CTCe) presentes nas amostras de solos da alface após o segundo ciclo.....	46
Quadro 8. Concentração de micronutrientes boro, ferro, zinco, cobre e manganês nas amostras de solo após o segundo ciclo da cultura da alface.....	48

1. INTRODUÇÃO

O solo é a base para o cultivo de plantas, fornecendo suporte mecânico, água e nutrientes. Porém, alguns nutrientes presentes no solo são insuficientes para o desenvolvimento das plantas cultivadas, sendo necessário buscar alternativas para corrigir esse problema.

Diante disso, uma maneira de assegurar o fornecimento de nutrientes ao solo é através da fertilização. Uma outra alternativa, ou um complemento, é o uso de condicionadores de solo, que podem aumentar a produtividade das plantas, promovendo seu crescimento, auxiliando no sistema radicular e amenizando efeitos tóxicos. Nesse contexto, a leonardite está sendo comercializada como condicionador de solo e fertilizante orgânico, devido as substâncias húmicas ricas em ácidos húmicos e fúlvicos que contém. Assim, neste trabalho procura demonstrar-se o efeito da aplicação de leonardite no solo e na cultura da alface em dois ciclos culturais sequenciais, um no outono e outro na primavera. No delineamento experimental incluem-se tratamentos sem fertilização e com fertilização mineral, na expectativa de avaliar o efeito da leonardite mas também possíveis efeitos sinérgicos com a fertilização mineral.

Esta tese encontra-se dividida em cinco tópicos principais, começando pela revisão de literatura e seguindo-se materiais e métodos, resultados, discussão e uma breve conclusão.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O SOLO COMO MEIO DE SUPORTE AO DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS

2.1.1 Origem do solo, matéria orgânica e partículas minerais

Os solos são provenientes do intemperismo das rochas. Formam-se minerais primários e secundários que mais tarde determinam importantes propriedades do solo (ESPINDOLA, 2017). Os principais fatores que contribuem para a formação dos solos são o clima, os organismos, o relevo e o tempo. No processo podem ocorrer perdas, adições e transporte de materiais minerais e orgânicos (COELHO et al., 2013).

Dependendo do material de origem e da ação dos fatores pedogênicos, vários tipos de solos poderão ser formados. Assim, o solo é o resultado das partículas minerais e orgânicas que se depositam nas camadas superficiais da crosta terrestre e que são muito importantes para o crescimento das plantas. É na camada superficial que se concentram também grande parte de suas raízes (COELHO et al., 2013).

Além disso, no solo está presente água (fase líquida), que pode ser retida ou armazenada e enriquecida com diversas substâncias. A planta pode absorver essa água e devolvê-la à atmosfera na forma de vapor. A fase gasosa tem também sua importância. O solo é um meio biologicamente ativo, em que numerosos microrganismos, raízes e pequenos animais necessitam de oxigênio para a sua atividade respiratória e produzir energia (LEPSCH, 2010).

Um solo para ser denominado fértil deve possuir um equilíbrio de todos os nutrientes essenciais às plantas e estes estarem em formas assimiláveis e livres de formas tóxicas. As suas propriedades químicas e físicas devem atender as necessidades das culturas. Adicionalmente, para um solo ser considerado produtivo, ele precisa estar em um local em que as condições climáticas sejam favoráveis às plantas (RONQUIM, 2010).

A matéria orgânica do solo é formada por resíduos da biota, em especial vegetais e restos de animais que sofreram decomposição parcial e se encontram em vários estádios de complexidade e diversidade estrutural (SILVA e RESCK, 1997; BATJES, 1999; ROSSI et al., 2011). A matéria orgânica é um dos principais componentes que contribui para a capacidade produtiva dos solos, devido aos efeitos

sobre a capacidade de troca de cátions, disponibilidade de nutrientes, complexação de elementos tóxicos, agregação, infiltração, retenção de água, aeração e atividade e biomassa microbiana (BAYER et al., 2008; PEREIRA et al., 2013)

Assim, a quantidade e qualidade da matéria orgânica tem grande importância no solo, devido a ser fonte de nutrientes e energia para os microrganismos que auxiliam na ciclagem de nutrientes. Portanto, é essencial preservar a matéria orgânica para a manutenção da sustentabilidade dos agroecossistemas (TEIXEIRA et al., 2009).

Os minerais presentes nos solos são a origem de grande parte dos nutrientes fornecidos às plantas. Contudo, esses materiais, muitas vezes, não conseguem armazenar água, além de impedir a penetração das raízes. Por outro lado, enquanto os nutrientes estiverem retidos não poderão ser absorvidos pelas plantas. Assim, o intemperismo dos materiais é o principal processo para auxiliar no crescimento das raízes e absorção de nutrientes (LEPSCH, 2010).

As partículas minerais do solo têm origem nos processos que ocorrem no material de origem e são caracterizados pelos influxos e fluxos de energia e matéria (VEZZANI et al., 2011). Os fluxos de energia e matéria geram as estruturas dissipativas na dimensão dos minerais, sendo assim os minerais sofrem alterações em sua composição química e mineralógica podendo interagir e originar outros minerais (VEZZANI et al., 2011).

2.1.2 Macro e micronutrientes essenciais às plantas

Os nutrientes essenciais às plantas podem dividir-se em macro e micronutrientes. Nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre, cálcio e magnésio são considerados macronutrientes. Boro, ferro, cobre, zinco, manganês, cloro, molibdênio e níquel são micronutrientes. Os nutrientes são considerados essenciais tendo em conta que eles desempenham uma função única na planta que não pode ser realizada por qualquer outro elemento, pelo que sem ele a planta não consegue completar o ciclo biológico (RONQUIM, 2010). É notável a importância de fornecer estes nutrientes às plantas para o seu desenvolvimento. Porém devem ser considerados os custos de produção, a quantidade de produção de alimentos e os problemas ambientais potencialmente associados. A maioria dos dejetos orgânicos, por exemplo, acaba

sendo descartados. Porém possuem quantidades de macro e micronutrientes relevantes, além de conferirem abrigo aos microrganismos e, dessa maneira, acabarem sendo também importantes para o desenvolvimento de plantas (AMARAL et al., 2004; CHICONATO et al., 2013).

A disponibilidade de nutrientes em um solo depende de diversos fatores, como pH, aeração e práticas de manejo do solo. Os macros- e micronutrientes presentes no solo têm origem na matéria orgânica e na fração mineral e parte deles encontram-se dissolvidos na solução do solo, podendo, dessa forma, ser utilizados pelas plantas.

Nas plantas destaca-se a importância do nitrogênio e do enxofre nas estruturas orgânicas, o fósforo, o silício e o boro no armazenamento de energia e integridade estrutural, o potássio, o cálcio, o magnésio, o cloro, o manganês e o sódio como formas iônicas na regulação osmótica das células e os elementos ferro, zinco, cobre, molibdênio e níquel nas reações de oxidação-redução (TAIZ e ZIEGER, 2006).

O sistema radicular das plantas é responsável por obter os nutrientes do solo. Inicialmente são absorvidos os nutrientes que estão ao seu redor e posteriormente das zonas mais afastadas devido à expansão do sistema radicular e a movimentos de fluxo de massa e difusão (LEPSCH, 2010).

Todavia, todo sistema de cultivo sofre ações naturais e antropogênicas, que podem causar efeitos negativos para as plantas, e o desequilíbrio de nutrientes no solo é o fator mais limitante ao seu desenvolvimento (CORRÊA et al., 2006; SALVADOR et al., 2011). Nesse caso, é importante repor os nutrientes através da adubação mineral e/ou orgânica.

2.2 FERTILIZAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL

A maioria dos países europeus após a segunda Guerra Mundial registou um forte aumento na quantidade de fertilizantes utilizados. A partir dos anos de 1970, 87% do consumo mundial de fertilizantes ocorreu em países desenvolvidos (PUGGINA, 2000; OLIVEIRA, 2009). Por mais de 150 anos os fertilizantes vêm desempenhando um papel importante na agricultura e são responsáveis por cerca de um terço até metade da produção agrícola mundial (BROWN, 1995; OLIVEIRA, 2009).

A principal função da fertilização é repor no solo os nutrientes que foram retirados ou perdidos após o cultivo, permitindo manter a produtividade e o rendimento

(DIAS et al., 2006). O uso de adubos tem uma ação direta nas plantas fornecendo nutrientes enquanto os corretivos orgânicos têm sobretudo um papel indireto nas plantas melhorando as propriedades do solo (SANTOS, 2012).

Os elementos que habitualmente estão em maior quantidade nos fertilizantes são os macronutrientes nitrogênio, fósforo e potássio. A maioria dos fertilizantes químicos possui esses sais inorgânicos, e de acordo com a presença desses nutrientes são denominados de simples (apenas um) ou compostos (dois ou mais nutrientes) (TAIZ e ZEIGER, 2006). Os demais elementos cálcio, magnésio e enxofre são secundários e acompanham as formulações, porém geralmente suas quantidades no solo estão adequadas para o desenvolvimento das culturas (SANTOS, 2015, ARROBAS e RODRIGUES, 2017).

Segundo Dias et al. (2006), o nitrogênio é o principal componente das proteínas e da clorofila e está relacionado com o aumento da produtividade. Todavia, esse elemento possui um grande problema que é a ineficiência em seu uso, e ao longo dos sistemas de produção pode apresentar perdas por lixiviação ou desnitrificação, contribuindo para a poluição dos rios e da atmosfera (OLIVEIRA, 2009).

O fósforo é responsável pelo armazenamento e utilização de energia (DIAS et al. 2006). O risco e perdas para fora do solo é menor, mas pode ficar imobilizado no solo e indisponível para as plantas (BANNANTE, 1998; OLIVEIRA, 2009).

O potássio é responsável pela abertura e fechamento dos estômatos, o que controla a entrada e saída de CO₂ (ARROBAS et al., 2017). De acordo com alguns estudos, a deficiência de potássio afeta a taxa fotossintética e indiretamente o desempenho das plantas (BASILE et al., 2003; ARROBAS et al., 2017).

Os adubos fosfatados e potássicos são provenientes de fontes minerais não renováveis e a obtenção de adubos nitrogenados tem gastos com energia fóssil elevados (ZIESEMER, 2007; ARAÚJO et al., 2008). Dessa forma, devido ao aumento dos custos dos fertilizantes comerciais e da poluição ambiental, o uso da adubação orgânica tornou-se uma alternativa que pode melhorar as condições físicas e químicas e a fertilidade geral do solo (PEREIRA et al., 2013). Além disso, outra vantagem é a facilidade em obter esses materiais, pois podem ser provenientes de esterco de animais, adubos verdes, restos de matérias provenientes do processamento de frutas, cana-de-açúcar, entre outros, que em algumas regiões do globo são abundantes.

Contudo, os fertilizantes orgânicos possuem baixas concentrações de nitrogênio, fósforo e potássio, pelo que a adubação mineral é uma maneira de complementar a disponibilidade de nutrientes para as plantas (BISSANI et al., 2008; ANDRADE et al., 2012). Dessa forma, uma das vantagens dos materiais orgânicos é reduzir a necessidade de fertilizantes minerais, pois sua utilização em excesso pode resultar em desequilíbrios econômicos e ambientais.

Os resíduos orgânicos no solo podem contribuir na quantidade de nutrientes disponíveis e estimular a atividade microbiana, com o objetivo de recuperar o potencial produtivo do solo e garantir a sustentabilidade do agrossistema (MOURA et al., 2007; ANDRADE et al., 2009). Para esse processo acontecer é necessário que os microrganismos decomponham esses resíduos e os nutrientes sejam liberados. O ritmo de decomposição, contudo, depende do tipo de material, condições ambientais, temperatura, acidez, umidade e aeração (CORREIA e ANDRADE, 1999; SEVERINO et al., 2006).

Quando a taxa de mineralização é baixa, o fertilizante orgânico tem problemas em ter uma boa eficiência. Assim, as culturas não podem depender apenas de fertilizantes orgânicos, necessitando de um complemento a mais de nitrogênio ou fósforo. Outra dificuldade é a possibilidade de ocorrerem maiores perdas de nutrientes em relação aos fertilizantes químicos (TAIZ e ZEIGER, 2006).

Segundo Ronquim (2010) a matéria orgânica pode ser considerada um condicionador biofísico do solo, pois melhora a sua porosidade. Por possuir baixa densidade, quando comparada aos minerais, reduz a densidade aparente do solo. A matéria orgânica humificada, aumenta a capacidade de troca de cátions no solo e o poder tampão, que é importante para regular a disponibilidade dos nutrientes.

A matéria orgânica presente nos fertilizantes orgânicos é formada por vários tipos de compostos que possuem diferentes formas de resistir a decomposição. Diante disso, pode se citar como exemplo os materiais ricos em nitrogênio, amido e açúcares, que são mineralizados de maneira mais rápida que os materiais ricos em celulose, lenhina e polifenóis (FERNANDES, 2017)

Existem vários trabalhos testando diferentes tipos de adubação orgânica e/ou mineral em diversas culturas e tipos de solos. Muitos destacam a eficiência da adubação orgânica em relação a mineral, ou resultados positivos no conjunto dos dois tipos de adubação. Em um experimento realizado em Bom Jesus do Piauí Brasil, o

desempenho vegetativo e reprodutivo da melância foi avaliado em função da adubação orgânica. Nesse experimento, a adubação orgânica (esterco de caprino e bovino) influenciou de forma positiva no comprimento e diâmetro do ramo principal da melância (CAVALCANTE et al., 2010).

Já em outro estudo realizado por Tiritan et al. (2010) na cultura do milho, foram avaliados os efeitos do fósforo aplicado como adubação fosfatada mineral e organomineral. Nesse estudo, observou-se que os teores de fósforo no milho apresentaram maior valor na presença de adubo orgânico, além da matéria orgânica ao ser aliada ao adubo mineral originou um aumento significativo na eficiência da adubação mineral.

Outro trabalho sobre adubação mineral e orgânica ocorreu em São Manuel, São Paulo, na cultura do Jambu. Foram testadas duas fontes de adubação orgânica e mineral e seis doses de nitrogênio. Como resultado, a adubação mineral originou maior produtividade, biomassa e acúmulo de nitrogênio e potássio em comparação a adubação orgânica. Porém, a adubação orgânica favoreceu maior acúmulo de fósforo nas plantas que a adubação mineral (BORGES et al., 2013).

Santos (2016) realizou um trabalho sobre o efeito da fertilização orgânica e mineral no desenvolvimento da cultura da alface, onde avaliou a concentração de pigmentos fotossintéticos, identificou os metabólitos presentes e o efeito da fertilização na presença de *Salmonella* spp. e de metais pesados. O resultado foi que a alface sob fertilização orgânica apresentou um desempenho parecido ou superior que sob fertilização mineral, em que não houve contaminação por metais pesados ou microrganismos e em que a adubação orgânica proporcionou maior acúmulo de aminoácidos, carboidratos e ácidos orgânicos e os pigmentos fotossintéticos não tiveram diferença entre os tratamentos. Com isso, o autor demonstrou a importância da fertilização orgânica, pois pode servir como uma alternativa para a produção dessas hortaliças.

2.3 CONDICIONADORES DO SOLO

Diversos produtos orgânicos e minerais podem ser usados como condicionador das propriedades físicas e químicas dos solos. Devido aos monopólios existentes no controle das jazidas minerais, a partir dos quais se obtêm os fertilizantes

minerais, o valor desses produtos é elevado. Assim, várias alternativas têm surgido no meio agrícola, para serem usados como condicionadores do solo, podendo estes ser utilizados em sua forma natural ou com alguma modificação (BEZERRA, 2010).

A maioria dos condicionadores do solo são formados por ácidos húmicos e fúlvicos, possuindo grande quantidade de matéria orgânica e podendo ter diferentes concentrações. Os condicionadores de origem orgânica podem ser obtidos pela extração de turfas, minas ou sintetizadas pela indústria com cadeias orgânicas muito parecidas às encontradas na natureza (DANTAS, 2011). Em complemento ao seu papel como corretivo orgânico, têm a vantagem do fornecimento de nutrientes como cálcio, potássio, fósforo e nitrogênio além de micronutrientes (MARCHI, 2006; PETTER et al., 2012).

Para Beauclair et al. (2007) os condicionadores podem causar um aumento na produtividade, devido a suas interferências nos fatores limitantes ao cultivo. As substâncias húmicas presentes podem amenizar o efeito de toxicidade do alumínio, neutralizando-o e favorecendo a liberação de cátions no solo mantendo-os disponíveis (MARCHI, 2006).

Dessa forma, por proporcionar equilíbrio químico físico e biológico, os condicionadores são utilizados com a finalidade de restaurar a fertilidade do solo, pois melhoram o desenvolvimento da estrutura do solo e o desenvolvimento radicular das plantas (OLIVEIRA et al., 2013). Por outro lado, ainda podem auxiliar na regulação da acidez e alcalinidade, além de atuarem no sequestro de carbono e estabilizarem os compostos poluentes (SILVEIRA et al., 2008, SILVA, 2018).

Todavia, um dos cuidados que devem ser tomados na escolha de um condicionador de solo é sua procedência e a utilização de bons materiais, isentos de patógenos. Além disso, para um resultado satisfatório do potencial produtivo da cultura, as mudas ou sementes necessitam de boas condições de clima além de boas condições fitossanitárias (LUZ et al., 2004; THOMAZINI et al., 2011).

Para Luz (2017), outra função dos condicionadores de solo está relacionada ao manejo de doenças, devido à sua capacidade de ciclagem, retenção e disponibilidade de nutrientes. Os compostos fenólicos presentes são importantes na defesa da planta e na supressão de agentes causadores de doenças, como nematoides, viroses e bacterioses.

Cada cultura tem uma resposta de acordo com a matéria-prima que foi utilizada na formulação do composto, pois cada matéria-prima orgânica possui diferentes teores e compostos que formam os compostos húmicos (CHEN et al., 2001; DANTAS, 2011). Todavia, as matérias-primas não renováveis podem ser limitadas dependendo do local em que se encontram e a forma de extração (DANTAS, 2011).

De acordo com Bezerra (2010) podem citar-se como exemplos de condicionadores do solo a vermiculita, que acelera a germinação de sementes e o desenvolvimento da raiz, a perlita e pedra pome, que promovem o crescimento das plantas e zeólitos, que estão relacionadas à lenta liberação da amônia. Já para outros pesquisadores os condicionadores que mais se destacam são calcário, gesso agrícola, hidroxiapatita, materiais ricos em ferro, manganês, argilas e até biossólidos (BOISSON et al., 1999; HAMON et al., 2002; BROWN et al., 2005; SILVEIRA et al., 2008). Todavia podem causar alterações no pH e converter os nutrientes em formas não imediatamente disponíveis para as plantas (HAMON et al., 2002; SILVEIRA et al., 2008).

Diversos trabalhos têm destacado o efeito positivo dos condicionadores do solo. Carvalho et al. (2014), em um trabalho realizado nas safras de 2012 e 2013 na cultura do milho, conduzido em Goiás, Brasil, e que consistiu na combinação de quatro tipos de condicionadores (calcário, calcário + gesso, gesso e controle), teve como resultado no primeiro ano, efeitos positivos nos teores de enxofre e cálcio nos tecidos da planta. Em relação à massa seca das plantas de milho, foi o calcário o que mais propiciou melhoria na nutrição das plantas e produção de biomassa.

Por outro lado, um condicionador que vem sendo muito estudado é o biochar. Petter et al. (2012) avaliou em seu trabalho o efeito do biochar em cinco concentrações para as mudas de eucalipto. Obteve como resultado, na concentração de 7,5% de biochar mais um substrato comercial, uma melhoria da qualidade nas mudas de eucalipto.

2.3.1. Uso de condicionadores na cultura da alface

Dantas (2011) em um experimento realizado em Brasília, avaliou o efeito de matérias orgânicas como adubo ou condicionador do solo na cultura da alface. Utilizou três materiais orgânicos (borra de café, esterco de ovino e material húmico) em cinco

doses. Os resultados obtidos mostraram que o esterco de ovino aumentou a produtividade da alface em solos com fertilidade alta, tendo tido os melhores desempenhos agronômicos de entre os fertilizantes.

Outro trabalho em que foram avaliados os efeitos dos condicionadores de solo sobre a qualidade das mudas de alface foi realizado por Simões (2014) em Rio Branco, Brasil. O investigador utilizou seis tratamentos, designadamente casca de arroz carbonizada, casca de coco, composto orgânico, substrato comercial, palheira e sumaúma. Dentre esses tratamentos a palheira obteve mais destaque, pois quando utilizada como condicionador melhorou a qualidade das mudas, massa fresca e seca da parte aérea, além de aumentar a produtividade.

Um estudo que ocorreu em Minas Gerais, Brasil, buscou avaliar a associação entre alface e rúcula, sob adubação orgânica e mineral, em quatro tipos de arranjos e em cultivo solteiro. A adubação orgânica apresentou efeitos condicionadores positivos sobre a alface e rúcula quando cultivadas isoladamente, obtendo melhor desempenho produtivo, além de melhor rendimento de folhas de alface, já a rúcula aumentou a eficiência agronômica do sistema consorciado (OLIVEIRA et al., 2010).

2.4 LEONARDITE COMO MATERIAL FERTILIZANTE

A leonardite é obtida através de materiais orgânicos fossilizados e, sendo uma forma oxidada de carbono, é utilizada para extrair ácidos húmicos (GUTIERREZ et al., 2015; GONZÁLES et al., 2017). Para, Ortiz e Diaz (2010) a leonardite tem origem sedimentar, sobre condições de pressão e temperatura elevadas em que os resíduos vegetais e animais sofreram evoluções geológicas.

Portanto, a deposição dos materiais é um processo que ocorreu há milhões de anos, em que os restos vegetais foram cobertos, devido a dobras da crosta terrestre. Essas massas foram cobertas por solo arenoso, preservando esses restos vegetais de sua mineralização e da percolação da água. A presença de oxigênio nessa camada do solo ocasionou transformações químicas e enriqueceu-a com substâncias húmicas (QUILUMBANGO, 2015).

A leonardite contém ácidos fúlvicos e húmicos, e para extrair esses ácidos de maneira mais rápida em relação ao processo natural no solo, é realizado um processo químico de ativação, que separa esses componentes ativos dos outros componentes

não solúveis. Essa ativação tem a função de extrair todos os nutrientes da leonardite, ocasionando muitos pontos ativos dos ácidos húmicos e fúlvicos (QUILUMBANGO, 2015).

Assim, grande parte desses ácidos encontrados no mercado são provenientes da leonardite, pois possuem melhor qualidade e propriedades agronômicas. A leonardite é um estado intermediário de transformação da turfa e lignito, além de ser rica em matéria orgânica (MURRILLO, 1992; SALAS, 2017).

O ácido húmico granulado presente na leonardite é originado da matéria orgânica vegetal, sendo uma substância completa. Dessa forma, possui a função de melhorar as características do solo, além de atuar com biocatalizador e estimulante das plantas (DROKASA, 2010; SALAS, 2017).

Segundo Ortiz e Dias (2010) a leonardite pode melhorar o solo tanto na parte física, química como biológica. Na parte física atua como regulador nas variações de temperatura do solo; é responsável pela estrutura granular facilitando maior porosidade, ocasionando mais aeração, drenagem e menos viscosidades nas argilas. Os ácidos húmicos podem atuar como agentes de prevenção da erosão. Na parte química e biológica aumentam a quantidade de elementos nutritivos para as plantas, promovem a ação compensatória de ânions e cátions, servem de meio de suporte para os microrganismos que são essenciais ao solo, mantêm o fósforo na forma assimilável às plantas e favorecem a formação de raízes que melhoram a absorção de nutrientes.

A leonardite possui uma estrutura complexa, pois cerca de 55% do seu peso total é formado por carbono. Assim torna-se apolar e seus compostos hidrofóbicos podem escapar sem haver um excesso de competição com a água (SUGIER et al., 2013; CIPOLETA, 2017).

Ao aplicar doses de ácido húmico granulado de leonardite e ácidos fúlvicos e húmicos com macro e micro elementos (na forma líquida), pode-se dizer que os ácidos fúlvicos aumentam a atividade das enzimas, estimulam a germinação de sementes, aumentam o metabolismo de proteínas (RNA e DNA) e promovem o crescimento das raízes e seu rendimento (SALAS, 2017).

Um trabalho realizado por Sarmiento (2014) em Milagros, no Equador, buscou avaliar os efeitos da leonardite sobre a eficiência do uso do nitrogênio na cultura do arroz. Esse estudo teve o objetivo de avaliar as melhores doses, os nutrientes do tecido foliar, a eficiência de uso do nitrogênio, além da análise econômica. Obteve

como resultado que a leonardite utilizada em todos os tratamentos aumentou o rendimento de grãos em casca ao ser comparada a testemunha. À medida que as doses de leonardite aumentaram, a eficiência agrônômica aumentou, bem como a recuperação de nitrogênio. O tratamento de melhor retorno econômico foi de 120 kg de nitrogênio + 4 kg de leonardite por hectare.

De acordo com um trabalho realizado por González et al. (2017) no Equador, as roseiras mostraram melhores resultados no número de brotações e produtividade da haste quando tratadas com leonardite na dose de 15 g em relação aos outros tratamentos. Contudo, os seus efeitos sobre as propriedades do solo não foram avaliados.

Já outro trabalho desenvolvido por Veliz (2018) na cultura da banana teve como objetivo avaliar a aplicação de soluções nutricionais mais leonardite. Os resultados mostraram que o tratamento leonardite + ureia alcançou os melhores rendimentos, além do melhor retorno econômico.

Em uma revisão de literatura desenvolvida por Zandonadi et al. (2014) foi discutida a bioatividade induzida pela leonardite, ou seja, como a matéria orgânica se comporta na fisiologia das hortaliças. Nessa análise concluíram que a utilização de biofertilizantes provenientes da leonardite (além de outros compostos orgânicos citados no trabalho) ao serem aplicados no momento correto traz benefícios às hortaliças. Sendo os principais fatores positivos o aumento do uso de nutrientes, pois ativa enzimas para a absorção de elementos. Por outro lado, as moléculas orgânicas promovem o crescimento vegetal e melhoram as propriedades do solo.

Em um experimento realizado por Borcioni et al. (2016) procurou avaliar-se o desenvolvimento da alface americana, tratada com solução contendo 10% de ácido fúlvico de leonardite em diferentes doses e na testemunha. As alfaces tratadas com diferentes doses do ácido fúlvico revelaram melhor crescimento do sistema radicular, aumento no número de folhas e na circunferência de sua cabeça.

Lüdtke (2014) em seu trabalho avaliou o efeito do fertilizante leonardite no rendimento da alface e cebolinha. Concluiu que o desenvolvimento das plantas de alface e cebolinha em altura, número de folhas, diâmetro e comprimento de raiz foi favorecido pela adição de substâncias húmicas de leonardite.

2.4.1. Ácidos fúlvicos, húmicos e humina

A substância com maior acidez total é o ácido fúlvico, dessa forma é solúvel em todas as faixas de pH (VERMEER e KOOPAL, 1998; CESSA et al., 2010). Os ácidos fúlvicos são formados por moléculas de massa molecular mais baixa que a dos ácidos húmicos e com maior conteúdo de grupos funcionais ácidos (BALDOTTO e BALDOTTO, 2014).

Quando ocorre a solubilização do ácido fúlvico, os prótons irão sofrer uma dissociação e gerar uma carga negativa na extremidade. Durante o processo de competição pelas cargas, esses prótons serão responsáveis pela adsorção do ácido fúlvico à superfície dos minerais (CESSA et al., 2010). As huminas representam a parte orgânica insolúvel, proveniente da extração de ácidos fúlvicos e húmicos (BALDOTTO e BALDOTTO, 2014).

Já os ácidos húmicos, esses são formados por moléculas agregadas heterogêneas e são estabilizados por interações hidrofóbicas, sendo que a estabilização ocorre por pontes de hidrogênio (PICCOLO, 2001; BALDOTTO et al., 2009). São responsáveis por grande parte das trocas catiônicas de origem orgânica nas camadas mais superficiais do solo onde se encontram os resíduos culturais (BENITES et al., 2003; ROSSI et al., 2011).

Outras vantagens dos ácidos húmicos são as melhorias das funções do solo, pois podem reter água, estimular o crescimento das plantas, tamponar o pH e desintoxicar de poluentes, além de terem características de agentes redutores (RODRIGUES et al., 2014; MARCHI et al., 2015).

2.5 A CULTURA DA ALFACE

2.5.1 Origem e características morfológicas

A alface (*Lactuca sativa* L.) é originária da Europa e da Ásia Ocidental. É uma planta com caule pequeno, as suas folhas podem ser lisas ou crespas e com formação de cabeça ou não. Quanto a sua tonalidade possui vários tons de verde. Floresce em condições de dias longos com altas temperaturas e vegeta em dias curtos e temperaturas mais baixas. Sua raiz é bastante superficial (FILGUEIRA, 2003; LUZ et al., 2010).

A alface é uma planta anual, pertencendo à família Asteraceae. A maioria das cultivares desenvolve-se melhor em climas frescos, pois temperaturas altas podem acelerar o ciclo da cultura (HENZ e SUINAGA, 2009). Entre as hortaliças folhosas é a que mais tem destaque, sendo o seu consumo geralmente na forma “in natura” (ALMEIDA et al., 2011).

A produção de alface depende da utilização de insumos, portanto o substrato é fundamental para o desempenho final das plantas, tanto nutricionalmente como o tempo necessário para seu crescimento e número de ciclos produtivos por ano (FILGUEIRA, 2003; FREITAS et al., 2013). O período vegetativo vai desde a emergência das plantas até à maturação das sementes, sendo a fase vegetativa em que as folhas atingem o seu máximo desenvolvimento utilizado para comercialização (ABAURRE, 2004, ARAUJO, 2010).

No Brasil, as cultivares de alfaces se dividem em cinco grupos: as Americanas, que possuem cabeça com folhas grossas; as Crespas, em que não há formação de cabeça, porém as folhas são crespas; as Lisas ou Manteigas, em que há formação de cabeça, mas com folhas lisas; as Mimosas, em que não há formação de cabeça e suas folhas tem a borda repicada; e as Romanas, em que sua cabeça é alongada com as folhas lisas, duras e grossas (CHAVES, 2017).

2.5.2 Importância econômica

No Brasil, o grupo de alfaces mais cultivadas são as crespas, possuindo uma área plantada de cerca de 35.000 ha. Dentro das alfaces crespas a cultivar Verônica predomina em 70% do mercado, tendo as Americanas 15% de cota (COSTA, 2005; SALA 2005; ALMEIDA 2011). O estado maior produtor é São Paulo, onde também se concentra a maior quantidade de consumidores (CAMARGO FILHO, 2008; CAMARGO, 2008; ALMEIDA, 2011).

Já em Portugal os lugares mais produtores de alface encontram-se próximo dos grandes centros populacionais, na zona litoral, como a região Oeste, Entre Douro e Minho e Beira Litoral. A produção nacional portuguesa está em torno de 56 mil toneladas e ocupa uma área de cultivo de 2.500 ha (ALMEIDA, 2006; FERREIRA, 2017).

2.5.3 Aspectos nutricionais

Na produção de hortaliças os materiais orgânicos são os fertilizantes mais recomendados, devido a serem fontes de nutrientes e trazer benefícios ao solo (KIEHL, 2010; DANTAS, 2011). O nitrogênio é um elemento essencial para as plantas quanto para os animais sendo, de maneira geral, o mais exigido pelas culturas (FAQUIN, 1994; ARAÚJO et al.,2011). A alface é muito exigente em nutrientes e muitas vezes o solo não fornece o necessário. As folhas tenras são de elevada exigência, já que é a parte a ser comercializada (FILGUEIRA, 2005; ARAUJO, 2010).

Solos com excesso de umidade podem afetar o desenvolvimento da alface. A espécie tolera acidez ligeira, preferindo solos com pH em torno de 6,5 a 7. É moderadamente sensível a salinidade, suportando condutividade elétrica até $1,3 \text{ dS}^{-1}\text{m}$, pois acima desse valor as perdas de produtividade podem chegar a 13% por cada dS^{-1}m (MAYNARD e HOCHMUTH,1997; FERREIRA, 2017).

Alguns sintomas podem ser notados nas plantas que apresentam deficiência de nutrientes, sendo a sua identificação importante para solucionar a causa dessa desordem. Os sintomas de deficiência geralmente revelam cor e crescimento anormal e queima e distorções em algumas partes das plantas (YURI et al., 2016).

Segundo Araujo (2010) os nutrientes mais importantes na cultura da alface são nitrogênio e fósforo, sendo o fósforo importante no desenvolvimento radicular, pois aumenta a absorção de água e nutrientes. Já o nitrogênio auxilia no crescimento vegetativo e aumenta o potencial produtivo da planta. Doses adequadas de potássio favorecem a formação e translocação de carboidratos, além do uso eficiente da água, porém seu excesso pode provocar o desequilíbrio da nutrição da cultura, prejudicando a absorção e a ação de outros elementos. O cálcio também é um nutriente importante.

Um experimento realizado por Tischer e Neto (2012) buscou avaliar o desenvolvimento de alfaces crespas com omissão de macronutrientes. Esse trabalho teve como resultado que a omissão desses nutrientes afetou o desenvolvimento da alface e tornou-a imprópria para a comercialização. Sendo assim, determinou em ordem crescente de importância os macronutrientes que afetaram o desenvolvimento da cultura como sendo nitrogênio, enxofre, cálcio, magnésio, fósforo e potássio.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL E DO CLIMA

O experimento foi realizado em vasos, dentro de uma estufa localizada na Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança- IPB, com coordenadas 41°47'48" Latitude Norte e 6°45'42" Longitude Oeste, situada em Bragança- PT, conforme mostra a figura 1.



Figura 1- Localização da estufa onde foram realizados os experimentos (Google maps, 2020).

Segundo a classificação de Köppen-Geiger, Bragança sofre influência de um clima Temperado ou Mesotérmico do tipo C, assim pertence ao subtipo Csb, clima temperado úmido com verão seco e temperado (AGROCONSULTORES e COBA, 1991).

As condições climáticas em Bragança, apresentam um verão rápido, seco e um céu com poucas nuvens (de junho a setembro). Já o inverno é muito frio, com muita precipitação e céu encoberto (de dezembro a março). O outono vai de setembro a dezembro e as temperaturas decrescem de 25 a 2 °C, sendo os meses mais chuvosos novembro e dezembro (acima de 80 mm). A primavera dura de março a

junho, com temperaturas amenas, variando de 3 a 25 °C, poucas chuvas e os dias são mais longos (WEATHERSPARK, 2020).

Os dados do Instituto de Meteorologia (IPMA, 2020) mostram que Bragança se encontra a uma altitude de 690 metros, e durante os anos de 1971 a 2000 a média de temperatura diária anual foi de 12,3 °C e a média da precipitação total anual atingiu 758,3 mm.

3.2 INSTALAÇÃO DOS ENSAIOS

O ensaio consistiu em avaliar o efeito de diversos tratamentos fertilizantes na cultura da alface durante dois ciclos culturais, no outono e na primavera, no ano de 2019/2020 num ensaio em vasos. No dia 02 de outubro de 2019, no laboratório da Escola Superior Agrária de Bragança (Centro de Investigação de Montanha-CIMO) em Bragança, foi realizada a pesagem das amostras dos fertilizantes para início do ensaio (Figura 2).



Figura 2. Pesagem dos fertilizantes em balança de precisão.

3.3 MATERIAIS FERTILIZANTES E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Foram usados dois tipos de leonardites comerciais (H e M), como condicionadores de solo, e um fertilizante orgânico comercial compostado a partir de resíduos sólidos urbanos (C). A leonardite H contém no extrato seco 23,2% de

carbono orgânico, 40% de extrato húmico, 30% de ácidos húmicos, 10% de ácidos fúlvicos, 2% de azoto orgânico, 5% de trióxido de enxofre (SO₃) e 24% de dióxido de silício (SiO₂). A leonardite M contém 72% (p/p) de extrato húmico total, 56% de ácidos húmicos, 16% de ácidos fúlvicos, e 8% de óxido de potássio (K₂O). O composto orgânico C apresenta teor de umidade de 10,5% (± 1,95), matéria orgânica 52,5% (± 3,87), carbono total 29,2% (± 2,5), nitrogênio total 2,41% (± 0,21), fósforo (P₂O₅) 1,49% (± 0,27), potássio (K₂O) 1,81% (± 0,14) e outros macro e micronutrientes em menor percentagem.

O experimento foi organizado com catorze tratamentos e três repetições. Devido ao elevado número de tratamento, o aparato experimental foi tratado como dois experimentos independentes, organizados de forma completamente casualizada e com sete tratamentos em cada experimento. No primeiro grupo foram incluídos os tratamentos que não receberam o fertilizante mineral NPK e no segundo grupo incluíram-se os que receberam NPK. Sendo os seguintes tratamentos:

Sem fertilização mineral (grupo 1): T (sem fertilização); C1 (dose 1), composto na dose de 35,7 g por vaso; C2 (dose 2), composto na dose de 71,4 g por vaso; H1 (dose 1), condicionador H na dose de 1,75 g por vaso; H2 (dose 2), condicionador H na dose de 3,57 g por vaso; M1 (dose 1), condicionador M na dose de 0,18 g por vaso; M2 (dose 2), condicionador M na dose de 0,36 g por vaso.

Com fertilização mineral (grupo 2): Todos os tratamentos do grupo 1 mais adubo composto NPK (10% N, 10% P₂O₅, 10% K₂O) na dose de 5 g por vaso.

3.4 PREPARAÇÃO DOS VASOS

O solo usado no experimento foi coletado junto às estufas da Escola Superior Agrária de Bragança, no dia 04 de outubro de 2019. Algumas propriedades do solo são apresentadas no quadro 1.

Quadro 1- Algumas propriedades do solo (média ± desvio padrão) no momento da instalação do experimento em vasos

Matéria orgânica		Fósforo e potássio extratáveis	
Total (%)	2,01±0,19	P ₂ O ₅ (g kg ⁻¹)	115,87±29,68
		K ₂ O (g kg ⁻¹)	194±59,40
pH		Complexo de troca	
H ₂ O	6,77±0,09	Ca ⁺⁺ (cmol ⁺ kg ⁻¹)	11,63±0,62
KCl	5,87±0,07	Mg ⁺⁺ (cmol ⁺ kg ⁻¹)	4,24±0,34
		K ⁺ (cmol ⁺ kg ⁻¹)	0,45±0,12
		Na ⁺ (cmol ⁺ kg ⁻¹)	1,58±0,13
Micronutrientes		AT (NaOH) (cmol ⁺ kg ⁻¹)	0,00±0,00
Boro (mg kg ⁻¹)	0,30±0,04	CTCe (cmol ⁺ kg ⁻¹)	17,90±0,71
Cobre (mg kg ⁻¹)	41,14±3,34		
Zinco (mg kg ⁻¹)	3,52±0,45		
Ferro (mg kg ⁻¹)	85,54±2,09		
Manganês (mg kg ⁻¹)	115,68±9,08		

Com auxílio de um balde e uma rede de malha de 6 mm foi peneirado para tornar-se mais homogêneo e livre de elementos grosseiros (Figura 3). Após o solo ser peneirado, foram utilizados ~3 kg de terra fina para fazer a mistura com o tratamento fertilizante correspondente a uma alface. Após colocação da mistura nos vasos estes foram etiquetados. O número total de vasos foi de 42 vasos (14 tratamentos e 3 repetições).

A dose de cada fertilizante foi determinada de acordo com o que cada alface receberia em campo, tendo em conta que em cada vaso se cultivou apenas uma alface. Dessa forma, os tratamentos com H1 foram utilizados de forma a corresponder à aplicação de 25 kg (dose comercial recomendada) e 50 kg para H2 por 1000 m² (14 000 alfaces). O tratamento M1 foi aplicado nas doses correspondentes a 2,5 kg (dose comercial) e 5 kg para M2 por 1000 m². O composto orgânico C foi aplicado em dose correspondente a 5 t ha⁻¹ (C1) e 10 t ha⁻¹ (C2). O adubo NPK foi aplicado à razão de 70 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O. No segundo ciclo da alface, foi utilizado os mesmos vasos de solo com os fertilizantes, não foi realizado nenhuma aplicação de fertilizante durante esse ciclo.



Figura 3. Enchimento dos vasos com solo recentemente coletado e crivado.

3.5 PREPARAÇÃO DAS PLANTAS E PLANTAÇÃO

No Dia 04 de outubro de 2019 foi realizado o plantio das plântulas de alface nos vasos. Foi utilizada a cultivar *Maravilla Verano Canasta*. Nesse primeiro ciclo das alfaces, as plântulas foram adquiridas numa feira de produtos agrícolas, de onde vinham acondicionadas em cusetes. Com o auxílio de uma pequena espátula foram abertas pequenas covas, para posteriormente enterrar as plântulas, tendo muito cuidado com a parte radicular para não causar lesões.

O plantio do segundo ciclo das alfaces ocorreu no dia 30 de março de 2020 seguindo os mesmos procedimentos do primeiro plantio de alfaces. Porém as plântulas foram previamente preparadas em estufa a partir da semeadura de sementes de alface *Maravilla Verano Canasta* no dia 03 de março de 2020. Nesta data não foi possível usar plântulas da feira devido a estas estarem encerradas pelo problema da pandemia COVID 19. Inicialmente foram colocadas várias sementes por cubete com substrato orgânico comercial, cobertas com vermiculite e submetidas a um processo de rega regular por nebulização. Após o início da emergência, foi feito o arranque de algumas plântulas, de modo a na parte final cada cubete conter apenas uma plântula para evitar a competição. Nas figuras 4 e 5 podem observar-se as etapas em que as plântulas ainda se encontravam nas cubetes e após a transplantação para os vasos de crescimento.



Figura 4. Alfaces nas cubetes de germinação a meio da fase de desenvolvimento.



Figura 5. Plantio das alfaces no primeiro ciclo (em cima) e no segundo ciclo (em baixo).

3.6 MANUTENÇÃO DOS EXPERIMENTOS

3.6.1 Rega

Após o plantio das alfaces foi feito a rega, utilizando um copo de Becker de 33 cl como medida, até que a água atingisse o fundo do vaso, sendo cerca de 3 copos cheios. Nos demais dias foi aplicado um copo de água em cada vaso, conforme a necessidade das plantas, avaliada pelo estado aparente de humidade do solo. Nos dias mais ensolarados e com temperaturas mais altas, observou-se um rápido esgotamento da água do solo nos vasos, dessa forma foi necessário aplicar maior quantidade de água, já nos dias frios e chuvosos a humidade foi mantida nos vasos, não necessitando de rega.

3.6.2 Combate as plantas daninhas

Desde o início do plantio das alfaces foi realizado o controle das plantas infestantes de forma manual, com o arranque dessas ervas, para evitar a competição por luz, espaço, nutrientes e água com as alfaces, que poderia comprometer o seu desenvolvimento.

3.7 ANÁLISES LABORATORIAIS

A colheita do primeiro plantio da alface ocorreu no dia 06 de janeiro de 2020 com o corte das plantas junto ao solo com o auxílio de um estilete. As plantas foram posteriormente acondicionadas em sacos de plásticos etiquetados. Posteriormente foram lavadas e pesadas no Laboratório da Escola Superior Agrária de Bragança e colocadas para secar em estufa de ventilação forçada regulada a 70 °C. Após as alfaces estarem secas, foram retiradas da estufa e pesadas novamente, para obter o peso seco. Posteriormente, as alfaces foram moídas no moinho do Centro de Investigação da Montanha (Cimo, IPB), para a posterior realização das análises elementares.

3.7.1 Análise de solo

As amostras de solos foram colhidas no dia 29/06/2020 em todos os vasos após o fim do experimento. Dessa forma o solo foi peneirado em peneira de 22 mm e colocadas em saco para secar na estufa a 40 °C.

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

3.7.1.1 *pH em água*

Uma amostra foi preparada com proporção entre solo e água de 1 para 1,25 (p/v). Agitou-se por 2 horas e foi utilizado o equipamento potenciômetro para leitura.

3.7.1.2 *pH em cloreto de potássio*

Preparou-se uma amostra com proporção entre solo e solução de 1M KCl de 1 para 2,5 (p/v). Agitou-se por 2 horas e utilizou-se o equipamento potenciômetro para leitura.

3.7.1.3 *Capacidade de troca*

Esse método utiliza uma solução de sal neutro para substituir os cátions presentes no complexo de troca de solo. A amostra é extraída com uma solução de acetato de amônio tamponada ao pH 7.0. Já o Ca e Mg são medidos por espectrofotometria de absorção atômica. K e Na são medidos pela espectrofotometria de emissão de chama (REEUWIJK, 2002).

3.7.1.4 *Disponibilidade de fósforo e potássio*

O fósforo e o potássio foram determinados pelo método de Egner-Riehm. Uma amostra de solo foi adicionada a uma solução de lactato de amônio e ácido acético tamponada a pH 3,7 na proporção de 1:20 (p/v), e agitou-se durante duas horas (MAP, 1977). Após filtrar a suspensão, o fosfato foi determinado por colorimetria com o método azul de molibdênio de amônio com ácido ascórbico como agente redutor. Este

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

3.7.1.5 *Carbono orgânico (procedimento Walkley-Black)*

Através desse método o C orgânico foi facilmente oxidado e determinado pela oxidação de ácido cromado quente, após a remoção de carbonatos a medição do CO_2 evolui. Depois de 30 minutos de reação, o excesso de $Cr_2O_7^{2-}$ é titulado com solução de sulfato ferroso de amônio e o $Cr_2O_7^{2-}$ reduzido durante a reação com o solo assumindo o equivalente ao C orgânico presente na amostra. O teor de matéria orgânica do solo é avaliado multiplicando-se o %C pelo fator de 1.724 (NELSON e SOMMERS, 1996).

3.7.1.6 *Disponibilidade de boro de solo*

A extração do boro é realizada pelo método de extração de água quente e determinada por meio de um procedimento de colorimetria. A extração ocorre em bolsas lacradas com $CaCl_2$ 0,01M para minimizar o erro positivo devido à coloração amarela. Os extratos são analisados por azometine-H, um agente complexo de $B(OH)_3$ em meio aquoso. As leituras são feitas em espectrômetro UV/VIS T80+, PG Instruments Ltd (KEREN, 1996).

3.7.1.7 *Biodisponibilidade de micronutrientes e metais pesados*

Os elementos foram extraídos com uma solução de acetato de amônio, ácido acético, ácido etilenodiaminotetracético e medidos por espectrometria de absorção atômica (ASS) (LAKANEN e ERVIO, 1971).

3.7.1.8 *Atividade de fosfatase ácida*

Primeiramente foi pesado na balança uma grama de solo para um Erlenmeyer, depois foi adicionado 0,2 ml de tolueno, 4 ml de solução MUB (Modified Universal Buffer) em pH 6,5 e 1 ml de p-nitrofenil-fosfato. Esses frascos foram tampados com parafilmes e agitados de forma. Depois foram colocados em uma incubadora com 37 °C durante uma hora. Em seguida, foi adicionado 1 ml de CaCl₂ 0,5 M e 4 ml de NaOH 0,5 M sendo agitados e filtrados com papel filtro Watman #42.

Em todas as amostras, de acordo com a metodologia, foi feito o controle, o que mudou foi o momento de adicional o p-nitrofenil-fosfato, pois este foi adicionado imediatamente (antes da filtração das amostras). A atividade da fosfatase ácida foi determinada por espectrofotometria UV/VIS num comprimento de onda de 400 nm (ALEF et al., 1995).

3.7.2 Análises dos tecidos vegetais

Nos tecidos vegetais (parte aérea) da alface foi analisada a composição elementar. As alfaces foram secas a 70 °C em estufa de ventilação forçada (Memmert) até atingirem peso constante. Depois foram moídos em malha de um milímetro a partir de um moinho CT Cyclotec™ da marca Foss.

Após esse processo, as amostras já estavam prontas para a análise, tendo sido realizadas as determinações de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, boro, ferro, zinco, cobre e manganês.

3.7.2.1 *Determinação de nitrogênio*

Para a determinação da concentração de nitrogênio foi utilizado o procedimento Kjeldahl.

Uma grama da matéria seca foi pesada num frasco de digestão e colocada num suporte de alumínio. Em seguida foi adicionado 15 ml de ácido sulfúrico e duas pastilhas de um catalisador (para aumentar a taxa de oxidação da matéria orgânica), permanecendo no bloco de digestão em alumínio por 40 minutos a uma temperatura de 400 °C. Após a digestão e arrefecimento das amostras, o nitrogênio amoniacal foi determinado por destilação, pois a amônia formada é arrastada na corrente de vapor e titulada com ácido clorídrico num vaso, com solução de ácido bórico 4%, hidróxido

de sódio 40% e os indicadores verde de bromocresol e vermelho de metila (BREMNER, 1996).

3.7.2.2 *Determinação de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, ferro, zinco e manganês*

Os demais nutrientes foram analisados após a pesagem de 0,25 g de material seco que foi digerida em micro-ondas (MARS, CEM Corporation) com ácido nítrico. A solução obtida foi diluída até 50 ml, a partir desta solução o fósforo foi determinado pelo método de espectrofotometria UV/VIS o que consiste no desenvolvimento de uma cor azul de molibdênio e que usa o ácido ascórbico como agente redutor, cuja intensidade é avaliada em um complexo fosfomolibdato de amônio num espectrofotômetro a 882 nm. O potássio foi determinado por espectrofotometria de chama e os demais nutrientes foram determinados no extrato por absorção atômica (WALINGA *et al.*, 1997) num equipamento PYE Unicam PU 9100X.

3.7.2.3 *Determinação de boro*

O boro foi determinado após incineração de 1 g da amostra com óxido de cálcio e após a diluição das cinzas com ácido sulfúrico diluído (0,5 M). Para a coloração utilizou-se o método da azometina-H cuja intensidade foi avaliada através da leitura num espectrofotômetro a 420 nm (JONES, 2001).

3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

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

4. RESULTADOS

4.1 PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA

Na figura 6 apresentam-se os resultados da produção de matéria seca nos dois ciclos da cultura da alface, o primeiro com início no outono de 2019 e o segundo na primavera de 2020. Durante o 1º ciclo de cultivo sem adubação mineral, os tratamentos C1 (dose 1) e C2 (dose 2) apresentaram valores significativamente mais elevados que os restantes. Entre os tratamentos do 1º ciclo com fertilização mineral o valor mais elevado foi registado no tratamento M2+F (dose 2 de M2 + adubo composto NPK), e o mais baixo no tratamento C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK), porém os valores de todos os restantes tratamentos não entre si nem entre os anteriormente mencionados.

No 2º ciclo da alface os tratamentos não apresentaram diferenças estatísticas entre si, tanto nos tratamentos com fertilização mineral como nos tratamentos sem fertilização mineral. Comparando os dois ciclos, a produtividade foi mais elevada no segundo (ciclo da primavera). Comparando os tratamentos com e sem fertilização mineral, os resultados foram mais elevados nos tratamentos fertilizados.

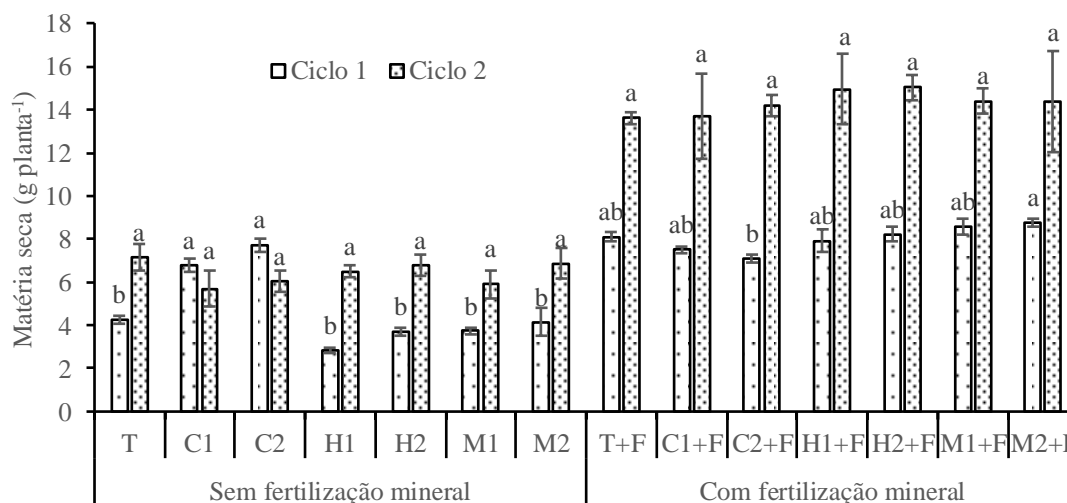


Figura 6. Produção de matéria seca nos dois ciclos culturais da alface com e sem fertilização mineral. As letras sobre as colunas são o resultado da análise de variância para a produção de matéria seca. Médias a que correspondam letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). Tratamentos sem fertilização mineral: T-testemunha com solo, composto C1 (35,7 g/vaso), composto C2 (71,4 g/vaso), condicionador H1 (1,74 g/vaso), condicionador H2 (3,57 g/vaso), condicionador M1 (0,18 g/vaso), condicionador M2 (0,36 g/vaso). Tratamentos com fertilização mineral: todos os tratamentos anteriores mais 5 g de NPK.

4.2 CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NOS TECIDOS

4.2.1 Concentração de macronutrientes nos tecidos

Nos quadros 2 e 3 são apresentadas as concentrações de macronutrientes no 1º e 2º ciclos da cultura da alface (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio), sem e com fertilização mineral. Para os teores de nitrogênio nos tratamentos sem fertilização mineral, a concentração de nitrogênio mais elevada ocorreu no tratamento C2 (dose 2) com 25,1 g kg⁻¹ e mais baixa no tratamento M1 (dose 1) com 16,4 g kg⁻¹. Nos demais tratamentos situaram-se entre estas duas situações extremas.

Já com fertilização mineral os valores mais elevados de nitrogênio nos tecidos foram registados no tratamento C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK) com 30,1 g kg⁻¹ e os mais baixos no tratamento M2+F (dose 2 de M2 + adubo composto NPK) com 26,8 g kg⁻¹. Os demais tratamentos fertilizantes não diferiram entre si nem individualmente com os tratamentos referidos anteriormente. Comparando os tratamentos com fertilização mineral com os que não receberam esta adubação, os primeiros originaram resultados consistentemente mais elevados.

A maior concentração de fósforo nos tecidos nos tratamentos sem fertilização mineral foi obtida na testemunha com 3,7 g kg⁻¹ e em H1 (dose 1) com 3,7 g kg⁻¹. Os valores mais baixos foram registados no tratamento C1 (dose 1) com 2,8 g kg⁻¹ seguido de C2 (dose 2) com 3,0 g kg⁻¹. O tratamento H2 (dose 2) registou valores intermédios com 3,4 g kg⁻¹, sem diferenças estatísticas para nenhum dos outros tratamentos. Com fertilização mineral, os valores mais elevados ocorreram no tratamento M1+F (dose 1 de M1 + adubo composto NPK) com 3,3 g kg⁻¹ e os mais baixos em M2+F (dose 2 de M2 + adubo composto NPK) com 2,7 g kg⁻¹.

Para o potássio não houve diferença estatística entre os tratamentos com ou sem fertilização mineral. Contudo, os valores dos tratamentos com fertilização mineral tenderam a apresentar resultados mais elevados.

Os valores mais elevados de cálcio foram observados nos tratamentos H1 (dose 1) e M2 (dose 2) com 3,7 g kg⁻¹ e os valores mais baixos em C2 (dose 2) com 2,8 g kg⁻¹. Com fertilização mineral os resultados mais baixos foram registados no tratamento H2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK) com 2,8 g kg⁻¹ e entre os restantes tratamentos não ocorreram diferenças estatísticas.

Os teores de magnésio nos tecidos não diferiram significativamente entre tratamentos no grupo sem fertilização mineral. Todavia nos tratamentos com fertilização mineral, o tratamento C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK) com 3,3 g kg⁻¹ originou os valores mais elevados e o tratamento H2+F (dose 2 de H2 + adubo composto NPK) com 2,7 g kg⁻¹ os mais baixos. Nos tratamentos fertilizados os valores tenderam a ser mais elevados que nos tratamentos sem fertilização mineral.

Quadro 2. Concentração média de macronutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio nas alfaces durante o 1º ciclo de cultivo em função dos tratamentos fertilizantes.

	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio
	----- (g kg ⁻¹) -----				
Sem fertilização mineral					
T	21.9 bc	3.7 a	83.7 a	3.4 ab	2.5 a
C1	22.5 bc	2.8 c	80.9 a	3.0 bc	2.5 a
C2	25.1 a	3.0 bc	81.1 a	2.8 c	2.6 a
H1	19.7 cd	3.7 a	71.4 a	3.7 a	2.4 a
H2	17.7 de	3.4 abc	72.7 a	3.3 abc	2.4 a
M1	16.4 e	3.5 ab	69.5 a	3.4 ab	2.5 a
M2	18.0 de	3.6 ab	80.3 a	3.7 a	2.4 a
Com fertilização mineral					
T+F	27.7 ab	3.0 ab	90.9 a	3.4 ab	3.2 abc
C1+F	29.1 ab	2.9 ab	88.9 a	3.6 a	3.3 ab
C2+F	30.1 a	3.2 ab	81.7 a	3.5 ab	3.3 a
H1+F	28.6 ab	3.1 ab	84.8 a	3.5 ab	3.0 abc
H2+F	28.1 ab	2.8 ab	86.2 a	2.8 b	2.7 c
M1+F	28.0 ab	3.3 a	85.3 a	3.7 a	3.2 abc
M2+F	26.8 b	2.7 b	79.6 a	3.0 ab	2.8 bc

*Separadamente entre os grupos de tratamentos sem fertilização e com fertilização mineral, médias a que correspondam letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$).

Os resultados da concentração de macronutrientes nos tecidos vegetais durante o 2º ciclo são representados no quadro 3. Observa-se que o nitrogênio apresentou maior concentração no tratamento M1 (dose 1) com 14,0 g kg⁻¹, tendo, contudo, diferido apenas da testemunha com 11,1 g kg⁻¹. Nos tratamentos com fertilização, a testemunha também apresentou o menor valor, enquanto a maior concentração de nitrogênio nos tecidos ocorreu no tratamento C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK). Ao comparar os tratamentos com e sem fertilização mineral, os primeiros alcançaram resultados bastante mais elevados.

Os valores de fósforo foram mais baixos na testemunha, entre os tratamentos sem fertilização mineral. As concentrações mais elevadas foram verificadas no tratamento M1 (dose 1). Entre os restantes tratamentos não ocorreram diferenças significativas. Nos vasos fertilizados os menores valores foram registados no

tratamento H2+F (dose 2 de H2 + adubo composto NPK) e os valores mais elevados foram registados no tratamento C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK).

Os teores de potássio nas alfaces que não receberam fertilização mineral não apresentaram diferenças significativas no primeiro ciclo. No segundo ciclo, C1+F (dose 1 de C1 + adubo composto NPK) registou os valores mais elevados com 76,8 g kg⁻¹. Os valores mais baixos foram observados nos tratamentos H2+F (dose 2 de H2 + adubo composto NPK), T+F (adubo composto NPK) e H1+F (dose 1 de H1 + adubo composto NPK), respetivamente 49,4; 49,5 e 51,9 g kg⁻¹. Os valores nos tratamentos com fertilização mineral foram mais elevados que nos tratamentos em fertilização mineral.

As concentrações de cálcio e magnésio registaram um comportamento similar em que não ocorreram diferenças significativas entre tratamentos nos grupos sem e com fertilização mineral. Os valores médios da concentração de cálcio nos tecidos tenderam a ser ligeiramente mais elevados nos tratamentos com fertilização enquanto as concentrações de magnésio foram bastante mais elevadas nos tratamentos fertilizados em comparação com os não fertilizados.

Em resumo, o tratamento M1 (dose 1) (no grupo sem fertilização mineral) apresentou as concentrações médias de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio nos tecidos mais elevadas. A testemunha (T) tendeu a apresentar os valores mais baixos. No grupo com fertilização mineral, o tratamento C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK) tendeu a apresentar os resultados mais elevados. Comparando os dois ciclos (quadros 2 e 3), o 1º ciclo da alface tendeu a mostrar maior concentração de macronutrientes que o 2º ciclo.

Quadro 3. Concentração média de macronutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio nas alfices durante o 2º ciclo de cultivo em função dos tratamentos fertilizantes.

	Nitrogênio		Fósforo		Potássio		Cálcio		Magnésio	
	----- (g kg ⁻¹) -----									
Sem fertilização mineral										
T	11.1	b	1.9	b	37.2	a	2.3	a	1.6	a
C1	12.3	ab	2.7	ab	42.2	a	3.4	a	2.0	a
C2	12.7	ab	2.5	ab	43.4	a	2.7	a	1.8	a
H1	11.5	ab	2.3	ab	39.6	a	3.0	a	1.7	a
H2	12.5	ab	2.2	ab	37.6	a	2.7	a	1.6	a
M1	14.0	a	3.0	a	43.2	a	3.9	a	1.7	a
M2	12.0	ab	2.5	ab	35.7	a	2.7	a	1.5	a
Com fertilização mineral										
T+F	27.6	b	2.3	b	49.5	b	3.3	a	3.1	a
C1+F	33.5	ab	2.8	ab	76.8	a	3.2	a	2.6	a
C2+F	36.3	a	3.4	a	70.6	ab	3.3	a	2.6	a
H1+F	29.8	ab	2.3	b	51.9	b	3.3	a	2.8	a
H2+F	29.1	ab	2.2	b	49.4	b	2.2	a	2.9	a
M1+F	34.7	ab	2.7	ab	69.6	ab	3.9	a	3.3	a
M2+F	33.6	ab	2.8	ab	64.4	ab	3.8	a	3.3	a

*Separadamente entre os grupos de tratamentos sem fertilização e com fertilização mineral, médias a que correspondam letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$).

4.2.2 Concentração de micronutrientes nos tecidos

Nos quadros 4 e 5 são apresentadas, respectivamente as concentrações de micronutrientes (boro, ferro, manganês, zinco e cobre) no primeiro e no segundo ciclos da alfice. No 1º ciclo a testemunha registou teores de boro significativamente mais elevados que os restantes tratamentos com 30,3 mg kg⁻¹, no grupo de tratamentos sem fertilização. Entre os restantes tratamentos não ocorreram diferenças significativas. No grupo de tratamentos com fertilização mineral não ocorreram diferenças significativas nos teores de boro nos tecidos.

Nos tratamentos sem fertilização mineral, os valores mais elevados de ferro foram registados no tratamento M2 (dose 2) com 676,5 mg kg⁻¹, tendo-se registado diferenças significativas entre tratamentos. Os valores mais baixos de ferro foram observados no tratamento C2 (dose 2) com 310 mg kg⁻¹. Já no grupo de tratamentos com fertilização mineral não se registaram diferenças significativas entre eles.

Nos tratamentos sem fertilização mineral não se registaram diferenças estatísticas nos teores de manganês nos tecidos. Com o uso de fertilização mineral observaram-se diferenças estatísticas, sendo os valores mais elevados registados nos tratamentos T+F (adubo composto NPK), M2+F (dose 2 de M2 + adubo composto NPK) e M1+F (dose 1 de M1 + adubo composto NPK), com 96,5; 94,0 e 91,3 mg kg⁻¹.

¹, respetivamente. Os valores mais baixos foram observados no tratamento C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK) com 64,2 mg kg⁻¹.

O zinco registou maiores concentrações nos tecidos, tanto no grupo de tratamentos com fertilização mineral quanto sem, na testemunha, respetivamente com 140,7 e 151,8 mg kg⁻¹. Os menores valores nos tratamentos sem fertilização mineral foram encontrados em C1 (dose 1) com 63,2 mg kg⁻¹, H1 (dose 1) com 61,8 mg kg⁻¹ e em H2 (dose 2) com 72,7 mg kg⁻¹. Com uso de fertilização mineral os tratamentos não originaram diferenças significativas nos teores de zinco nos tecidos.

As concentrações de cobre nos tecidos não variaram significativamente entre tratamentos sem uso de fertilização mineral. Já com o uso de fertilização mineral o tratamento C1+F (dose 1 de C1 + adubo composto NPK) com 26,3 mg kg⁻¹ obteve a maior concentração de cobre na alface e H2+F (dose 2 de H2 + adubo composto NPK) obteve o resultado mais baixo com 17,2 mg kg⁻¹.

Quadro 4. Concentração média de micronutrientes boro, ferro, manganês, zinco e cobre nas alfaces durante o 1º ciclo de cultivo em função dos tratamentos fertilizantes.

	Boro	Ferro	Manganês	Zinco	Cobre
	----- (mg kg ⁻¹) -----				
Sem fertilização mineral					
T	30.3 a	402.7 bc	44.2 a	140.7 a	25.4 a
C1	21.5 b	375.7 bc	45.9 a	63.2 c	17.2 a
C2	22.9 b	310.1 c	46.9 a	87.4 bc	16.9 a
H1	23.5 b	414.2 bc	44.1 a	61.8 c	15.3 a
H2	25.1 b	594.0 ab	71.5 a	72.7 c	15.5 a
M1	23.8 b	599.4 ab	73.7 a	129.2 ab	29.1 a
M2	23.8 b	676.5 a	63.1 a	98.1 abc	23.0 a
Com fertilização mineral					
T+F	26.2 a	380.4 a	96.5 a	151.8 a	21.1 ab
C1+F	21.3 a	770.5 a	82.8 ab	106.1 b	26.3 a
C2+F	22.0 a	662.5 a	64.2 bc	102.3 b	20.0 ab
H1+F	22.1 a	463.9 a	89.5 b	106.3 b	19.9 ab
H2+F	23.1 a	344.4 a	85.7 ab	108.9 b	17.2 b
M1+F	22.7 a	646.9 a	91.3 a	109.7 b	20.1 ab
M2+F	22.6 a	631.5 a	94.0 a	113.7 b	18.5 ab

*Separadamente entre os grupos de tratamentos sem fertilização e com fertilização mineral, médias a que correspondam letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$).

A concentração de micronutrientes nos tecidos na cultura da alface para o segundo ciclo é apresentada no quadro 5. Conforme o quadro, o maior teor de boro foi encontrado no tratamento M1 (dose 1) com 31,0 mg kg⁻¹ (sem fertilização mineral) e C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK) com 30,8 mg kg⁻¹ (com fertilização mineral). Os menores teores foram observados na testemunha (T) com 24,0 mg kg⁻¹

(sem fertilização mineral) e no tratamento T+F (adubo composto NPK) com 19,3 mg kg⁻¹ (com fertilização mineral). Ao analisar o uso de fertilização mineral com a não utilização, as alfaces que não receberam fertilização mineral apresentaram valores médios de boro tendencialmente mais elevados.

Os valores mais elevados da concentração de ferro nos tecidos, nos tratamentos sem fertilização mineral, ocorreu no tratamento C1 (dose 1) que apresentou o teor de 1161,4 mg kg⁻¹, enquanto o menor registro ocorreu na testemunha (T) com 316,6 mg kg⁻¹. Nos tratamentos com fertilização mineral, o valor mais elevado alcançou 456,5 mg kg⁻¹ no tratamento C1+F (dose 1 de C1 + adubo composto NPK), e os menores valores ocorreram na testemunha, H2+F (dose 2 de H2 + adubo composto NPK) e C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK), respectivamente com 139,4; 144,9 e 167,8 mg kg⁻¹.

Os tratamentos sem fertilização mineral, nos micronutrientes manganês e zinco, não registaram diferenças significativas. Por outro lado, nos tratamentos que receberam fertilização mineral, apenas o manganês registou diferenças significativas entre tratamentos, sendo os valores médios mais elevados registrados em T+F (adubo composto NPK com 152,0 mg kg⁻¹) e M2+F (dose 2 de M2 + adubo composto NPK com 157,9 mg kg⁻¹) e os mais baixos no tratamento C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK com 60,6 mg kg⁻¹).

No grupo de tratamentos com fertilização mineral, o zinco não registou diferenças significativas. A alface apresentou o maior teor de cobre nos tecidos no tratamento sem fertilização mineral C1 (dose 1) com 15,9 mg kg⁻¹. Já os menores teores podem ser observados na testemunha e no tratamento C2 (dose 2) com 7,7 e 9,1 mg kg⁻¹. Nos tratamentos com fertilização mineral não se registaram diferenças estatísticas.

Ao analisar o quadro 5 observa-se que o tratamento C1 (dose 1) sem fertilização mineral alcançou os teores mais elevados de boro, ferro, manganês, zinco e cobre. Já nos tratamentos que receberam fertilização mineral o tratamento C1+F (dose 1 de C1 + adubo composto NPK) foi o que teve resultados mais elevados de boro, ferro, zinco e cobre, enquanto os maiores teores de manganês foram registrados no tratamento M2+F (dose 2 de M2 + adubo composto NPK).

Quadro 5. Concentração média de micronutrientes boro, ferro, manganês, zinco e cobre nas alfaces durante o 2º ciclo de cultivo em função dos tratamentos fertilizantes.

	Boro	Ferro	Manganês (mg kg ⁻¹)	Zinco	Cobre
Sem fertilização mineral					
T	24.0 b	316.6 c	58.1 a	16.1 a	7.7 c
C1	28.4 ab	1161.4 a	67.3 a	95.5 a	15.9 a
C2	29.5 ab	434.9 bc	49.7 a	16.2 a	9.1 c
H1	28.6 ab	637.1 b	56.0 a	17.1 a	9.3 bc
H2	27.6 ab	566.3 bc	62.8 a	17.7 a	10.2 bc
M1	31.0 a	427.9 bc	71.0 a	28.2 a	14.3 ab
M2	29.4 ab	410.3 bc	58.6 a	16.3 a	10.0 bc
Com fertilização mineral					
T+F	19.3 c	139.4 c	152.0 a	38.7 a	11.3 a
C1+F	26.6 ab	456.5 a	108.8 b	30.1 a	12.4 a
C2+F	30.8 a	167.8 c	60.6 c	39.8 a	12.9 a
H1+F	22.2 bc	237.6 bc	136.9 ab	31.9 a	12.0 a
H2+F	21.7 bc	144.9 c	146.9 ab	31.9 a	11.3 a
M1+F	26.9 bc	309.6 b	148.4 ab	31.3 a	11.9 a
M2+F	25.6 abc	212.6 bc	157.9 a	37.1 a	12.6 a

*Médias a que correspondam letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$).

4.3 NUTRIENTES RECUPERADOS NOS TECIDOS

A figura 7 mostra a quantidade de nitrogênio recuperada nos 1º e 2º ciclos da alface cultivada em vasos. No grupo sem fertilização mineral e no primeiro ciclo, podem observar-se valores significativamente mais elevados no tratamento C2 (dose 2) com 193,8 mg planta⁻¹. Os valores mais baixos no primeiro ciclo foram obtidos no tratamento H1 (dose 1) com 56,0 mg planta⁻¹.

No ciclo 2 não se registaram diferenças significativas entre os tratamentos que não receberam fertilização mineral. Ao analisar os tratamentos que tiveram aplicação de fertilizantes minerais, os valores mais altos, embora não apresentando diferenças significativas para os outros tratamentos, ocorreram em C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK) com 514,2 mg planta⁻¹ no segundo ciclo. No primeiro ciclo os valores foram mais baixos que no segundo e também não ocorreram diferenças significativas entre tratamentos.

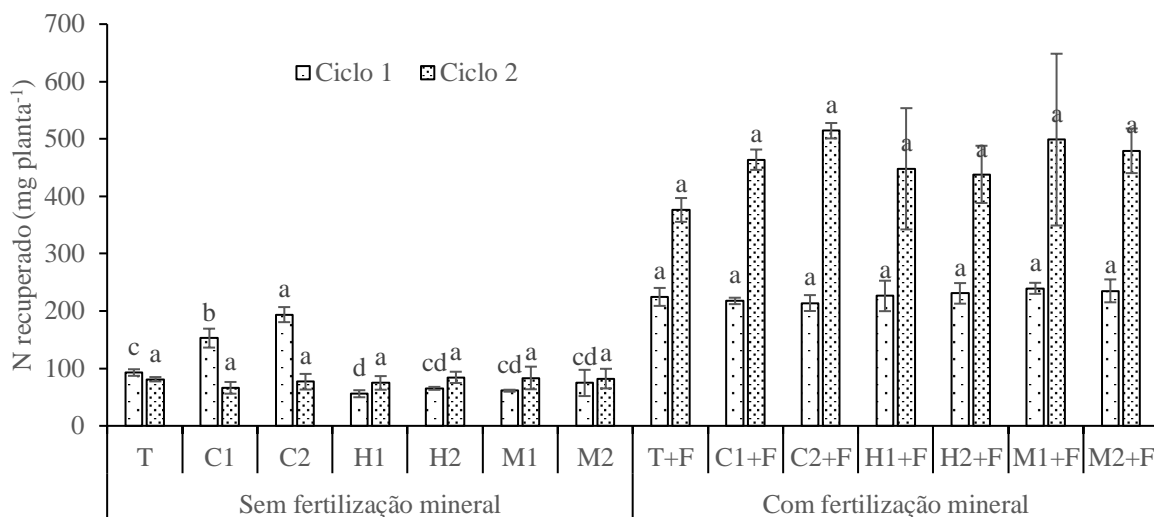


Figura 7. Nitrogênio recuperado nos tecidos durante dois ciclos culturais da alfaca com e sem fertilização mineral. As letras sobre as colunas são o resultado da análise de variância para a produção de matéria seca. Médias a que correspondam letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$), separadamente por grupo de fertilização e por ciclo da alfaca.

Na figura 8 são apresentados os resultados do fósforo recuperado na alfaca nos dois ciclos culturais. No primeiro ciclo os valores mais elevados nos vasos não fertilizados foram registados no tratamento C2 (dose 2) com 23,4 mg planta⁻¹. Já o tratamento C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK), com aplicação de fertilização mineral e no ciclo 2, registou os valores médios mais elevados (48,3 mg planta⁻¹) apesar de não haver diferenças significativas entre tratamentos. Os valores mais baixos foram registados nos tratamentos H1 (dose 1), H2 (dose 2) e M1 (dose 1) com 10,43; 12,51 e 13,0 mg planta⁻¹ no primeiro ciclo da alfaca e nos tratamentos sem fertilização mineral.

A observação da figura 8 permite verificar que tanto o segundo quanto o primeiro ciclo com fertilização mineral não registaram diferenças estatísticas entre os tratamentos. Porém, a quantidade de fósforo recuperado nos tratamentos que tiveram aplicação de fertilização mineral no segundo ciclo foi bastante mais elevada que os que não tiveram aplicação mineral.

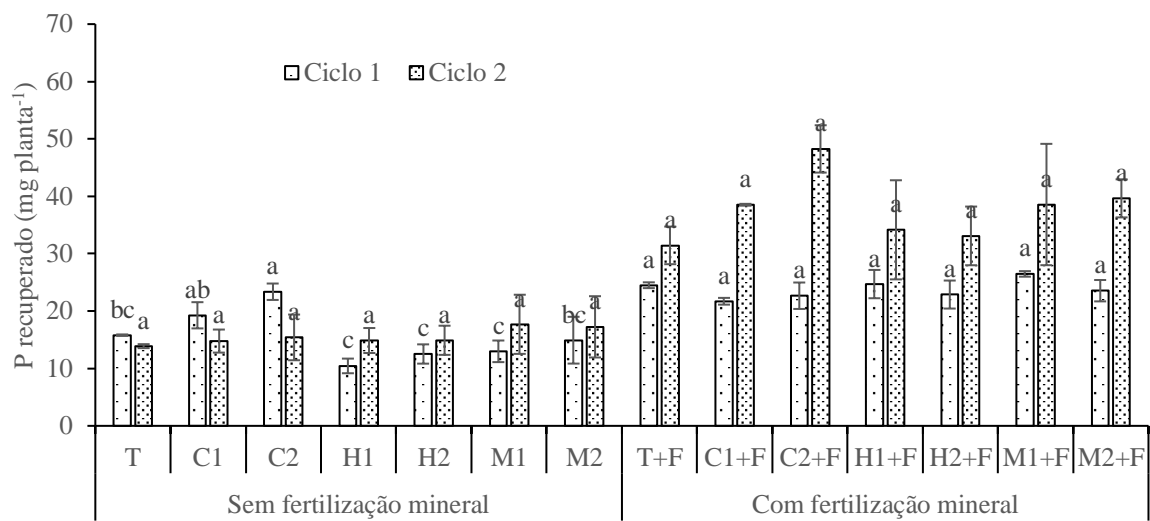


Figura 8. Fósforo recuperado nos tecidos durante dois ciclos culturais da alfaca com e sem fertilização mineral. As letras sobre as colunas são o resultado da análise de variância para a produção de matéria seca. Médias a que correspondam letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$), separadamente por grupo de fertilização e por ciclo da alfaca.

A figura 9 mostra a quantidade de potássio recuperado nos dois ciclos da alfaca. Os valores mais elevados do primeiro ciclo e no grupo de tratamentos sem fertilização foram registados nos tratamentos C2 (dose 2) e C1 (dose 1) com 626,7 e 551,3 mg planta⁻¹ respetivamente, com diferenças significativas para os restantes. O valor médio mais baixo de potássio recuperado foi registado no tratamento H1 (dose 1) com 203,0 mg planta⁻¹.

No segundo ciclo não se registaram diferenças significativas no grupo de tratamentos sem fertilização. Com fertilização mineral os valores de potássio exportado foram mais elevados em comparação com os tratamentos sem fertilização mineral, mas entre os tratamentos do grupo com fertilização não ocorreram diferenças significativas em nenhum dos ciclos de cultivo. Porém no primeiro ciclo o maior valor médio encontrado foi de 746,2 mg planta⁻¹ no tratamento M1+F (dose 1 de M1 + adubo composto NPK) e no segundo ciclo foi de 1091,7 g planta⁻¹ no tratamento C1+F (dose 1 de C1 + adubo composto NPK).

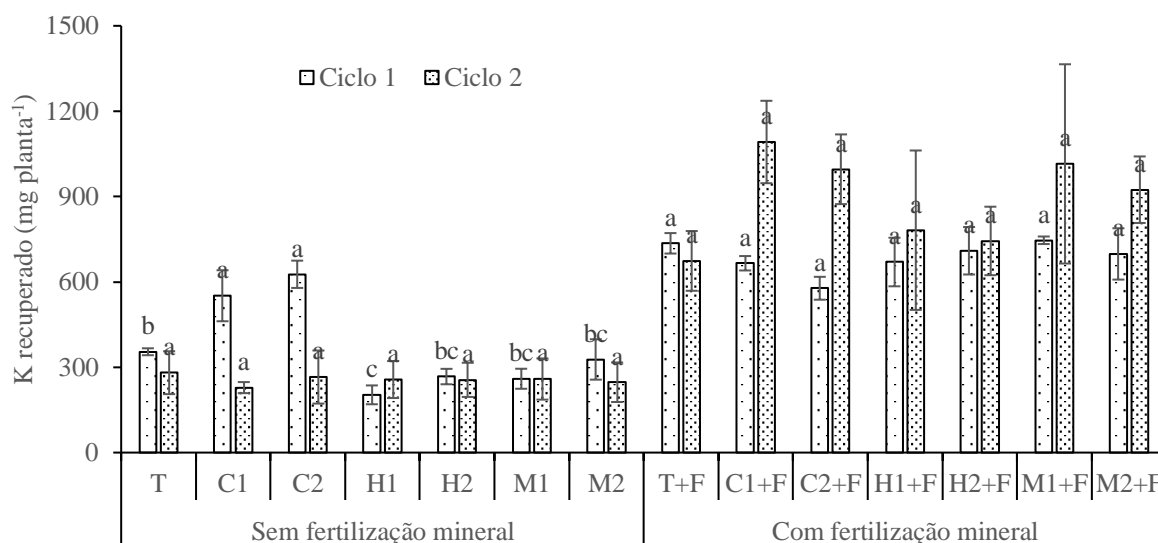


Figura 9. Potássio recuperado nos tecidos durante dois ciclos culturais da alface com e sem fertilização mineral. As letras sobre as colunas são o resultado da análise de variância para a produção de matéria seca. Médias a que correspondam letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$), separadamente por grupo de fertilização e por ciclo da alface.

A quantidade de cálcio recuperado nos tecidos da alface são apresentados na figura 10. No primeiro ciclo os tratamentos que mostraram resultados mais elevados foram C2 (dose 2) e M1+F (dose 1 de M1 + adubo composto NPK) com 21,9 e 29,4 mg planta⁻¹, respectivamente. Os valores mais baixos foram observados na testemunha e nos tratamentos H1 (dose 1), H2 (dose 2) e M1 (dose 1).

Os tratamentos do segundo ciclo da alface não apresentaram diferenças significativas entre si, porém o maior valor ocorreu no tratamento M1+F (dose 1 de M1 + adubo composto NPK) com 55,9 mg planta⁻¹. Todos os tratamentos que receberam fertilização mineral no segundo ciclo originaram valores mais elevados que os que não receberam fertilização mineral e que os do primeiro ciclo da alface. Contudo, não ocorreram diferenças entre tratamentos. No primeiro ciclo os valores mais baixos e mais elevados foram registados respectivamente nos tratamentos H2+F (dose 2 de H2 + adubo composto NPK) e M1+F (dose 1 de M1 + adubo composto NPK).

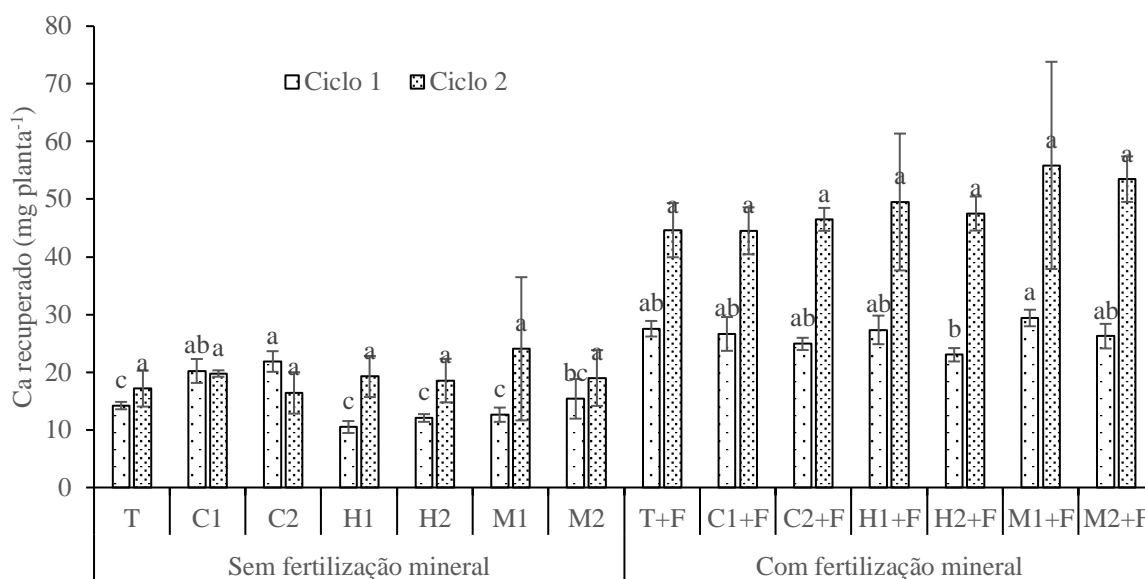


Figura 10. Cálcio recuperado nos tecidos durante dois ciclos culturais da alface com e sem fertilização mineral. As letras sobre as colunas são o resultado da análise de variância para a produção de matéria seca. Médias a que correspondam letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$), separadamente por grupo de fertilização e por ciclo da alface.

A figura 11 mostra a quantidade de magnésio recuperado nos tecidos da alface nos dois ciclos. Assim, como para potássio os tratamentos C1 (dose 1) e C2 (dose 2) apresentaram valores mais elevados tanto no primeiro como no segundo ciclos da alface nos tratamentos sem fertilização mineral, além do tratamento M2 (dose 2) que também apresentou valores elevados. Os valores mais baixos foram observados na testemunha e nos tratamentos H1 (dose 1), H2 (dose 2) e M2 (dose 2) com teores menores que $10,4 \text{ mg planta}^{-1}$.

Nos tratamentos com aplicação de fertilização mineral não houve diferenças significativas entre os tratamentos para qualquer um dos ciclos. Os valores mais elevados, embora não diferindo entre os demais tratamentos, registaram-se no tratamento M1+F (dose 1 de M1 + adubo composto NPK) com $26,3 \text{ mg planta}^{-1}$ no ciclo 1 e $46,8 \text{ mg planta}^{-1}$ no ciclo 2. Sendo assim os tratamentos com fertilização mineral obtiveram destaque entre os demais, sobretudo no segundo ciclo de cultivo.

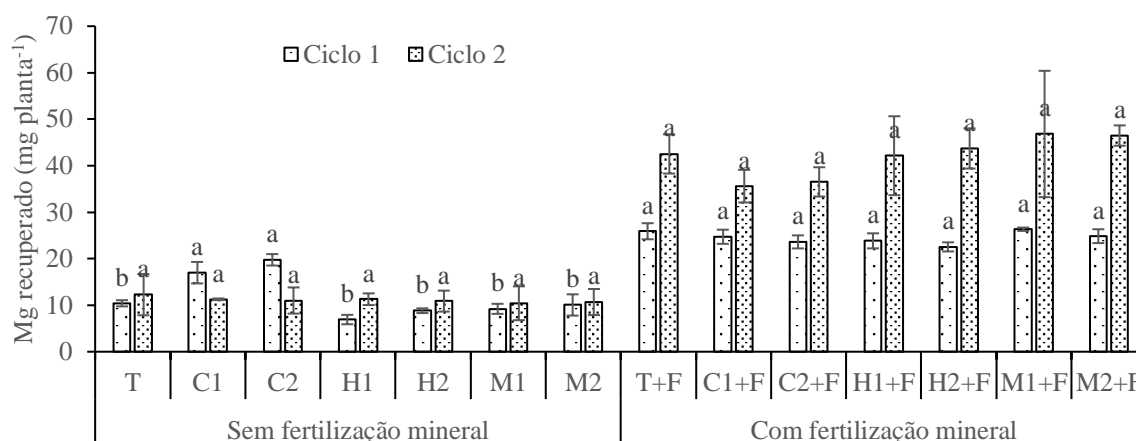


Figura 11. Magnésio recuperado nos tecidos durante dois ciclos culturais da alfaca com e sem fertilização mineral. As letras sobre as colunas são o resultado da análise de variância para a produção de matéria seca. Médias a que correspondam letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$), separadamente por grupo de fertilização e por ciclo da alfaca.

Na figura 12 apresenta-se a quantidade de boro recuperado nos tecidos da alfaca durante os dois ciclos separados pelo uso ou não de fertilização mineral. Em relação ao ciclo 1 sem fertilização mineral, os tratamentos que registaram menores valores de boro recuperado foram H1 (dose 1), H2 (dose 2), M1 (dose 1) e M2 (dose 2) com 0,07; 0,09; 0,09 e 0,10 mg planta⁻¹, sendo menores do que o valor encontrado na testemunha.

O valor mais alto foi encontrado no tratamento C2 (dose 2) com 0,18 mg planta⁻¹, já os tratamentos C1 (dose 1) e a testemunha (T) registaram valores intermédios. Os tratamentos do ciclo 2, sem ou com fertilização mineral, não apresentaram diferenças significativas entre si. Os valores médios mais elevados foram registados no ciclo 2 com fertilização mineral.

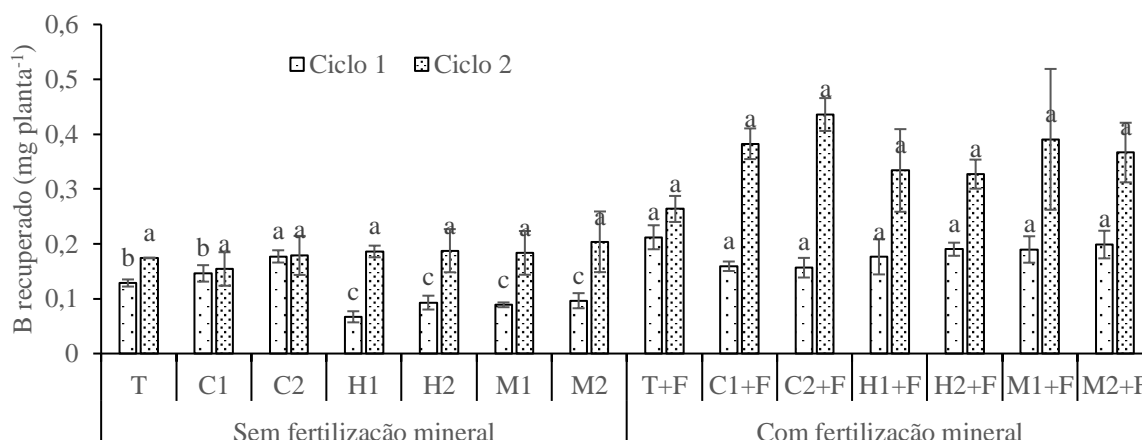


Figura 12. Boro recuperado nos tecidos durante dois ciclos culturais da alfaca com e sem fertilização mineral. As letras sobre as colunas são o resultado da análise de variância para a produção de matéria seca. Médias a que correspondam letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$), separadamente por grupo de fertilização e por ciclo da alfaca.

A quantidade de ferro recuperada nos tecidos da alface nos ciclos 1 e 2 apresenta-se na figura 13. Os valores mais elevados nos ciclos 1 e 2 (sem fertilização mineral) ocorreram no tratamento C1 (dose 1) com 2,54 mg planta⁻¹ e 7,32 mg planta⁻¹. Os valores mais baixos foram verificados no tratamento H1 (dose 1) com 1,17 mg planta⁻¹.

No grupo com fertilização mineral, no primeiro ciclo não ocorreram diferenças significativas. Já no ciclo 2 verificaram-se diferenças significativas entre tratamentos, sendo os valores mais baixos e elevados registados respetivamente nos tratamentos T+F (adubo composto NPK) e C1+F (dose 1 de C1 + adubo composto NPK) com 1,9 e 5,75 mg planta⁻¹.

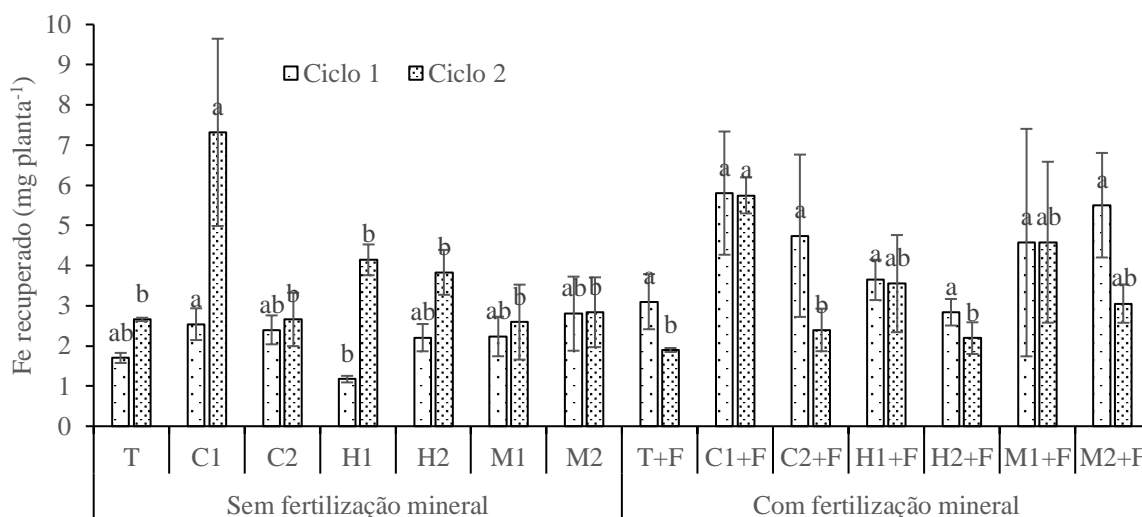


Figura 13. Ferro recuperado nos tecidos durante dois ciclos culturais da alface com e sem fertilização mineral. As letras sobre as colunas são o resultado da análise de variância para a produção de matéria seca. Médias a que correspondam letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$), separadamente por grupo de fertilização e por ciclo da alface.

Na figura 14 apresenta-se a quantidade de manganês recuperado nos tecidos da alface nos ciclo 1 e 2 com e sem fertilização mineral. No ciclo 1 os tratamentos (sem fertilização mineral) que originaram valores mais elevados foram C1 (dose 1) com 0,31 mg planta⁻¹ e C2 (dose 2) com 0,36 mg planta⁻¹, tratamentos que também apresentam uma quantidade elevada de manganês recuperado no ciclo 2, apesar de não terem ocorrido diferenças significativas entre os tratamentos. O valor mais baixo foi verificada no ciclo 1 no tratamento H1 (dose 1) com 0,13 mg planta⁻¹.

No ciclo 1 (com fertilização mineral) a quantidade mais alta foi registada no tratamento M2+F (dose 2 de M2 + adubo composto NPK) com 0,82 mg planta⁻¹ e a

mais baixa no tratamento C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK) com 0,46 mg planta⁻¹. O ciclo 2 (com aplicação de fertilização mineral) apresentou os maiores valores considerando o ciclo 1 e 2 e com e sem fertilização mineral, sendo que os tratamentos T+F (adubo composto NPK), H1+F (dose 1 de H1 + adubo composto NPK), H2+F (dose 2 de H2 + adubo composto NPK), M1+F (dose 1 de M1 + adubo composto NPK) e M2+F (dose 2 de M2 + adubo composto NPK) registaram valores acima de 2,07 mg planta⁻¹. O tratamento do ciclo 2, com fertilização mineral, com o resultado mais baixo foi C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK) com 0,87 mg planta⁻¹.

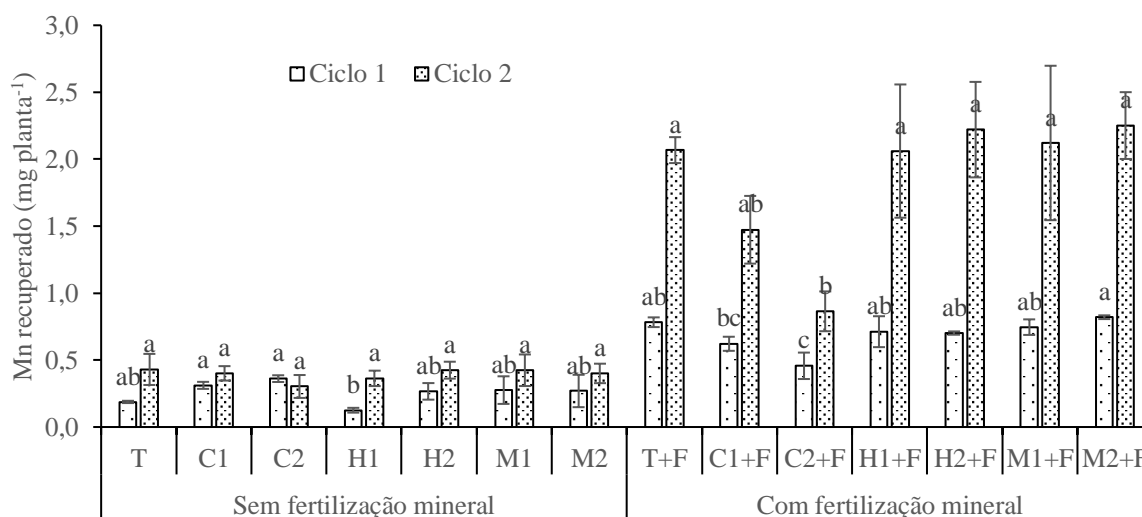


Figura 14. Manganês recuperado nos tecidos durante dois ciclos culturais da alface com e sem fertilização mineral. As letras sobre as colunas são o resultado da análise de variância para a produção de matéria seca. Médias a que correspondam letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$), separadamente por grupo de fertilização e por ciclo da alface.

Os resultados do zinco recuperado nos tecidos nos ciclos 1 e 2 da alface encontram-se na figura 15 divididos entre os grupos de tratamentos sem e com fertilização mineral. O tratamento C2 (dose 2) registou concentração os valores de zinco mais elevados com 0,67 mg planta⁻¹, seguido da testemunha (T) com 0,60 mg planta⁻¹. Já o tratamento H1 (dose 1) obteve o menor resultado assim como o tratamento H2 (dose 2) que está entre os valores mais baixos.

Os tratamentos sem aplicação de fertilização mineral no ciclo 2 não originaram diferenças significativas. O tratamento T+F (adubo composto NPK) registou valores de zinco recuperado nos tecidos da alface significativamente mais altos no ciclo 1 com fertilização mineral com 1,23 mg planta⁻¹. Os tratamentos C1+F (dose 1 de C1 + adubo

composto NPK), C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK) e H1+F (dose 1 de H1 + adubo composto NPK) apresentaram valores significativamente mais baixos que T+F (adubo composto NPK), respectivamente 0,80; 0,73 e 0,84 mg planta⁻¹. Ao analisar todos os tratamentos os valores mais elevados ocorreram no ciclo 1 com fertilização mineral. No ciclo 2, com aplicação de fertilização mineral, não ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos.

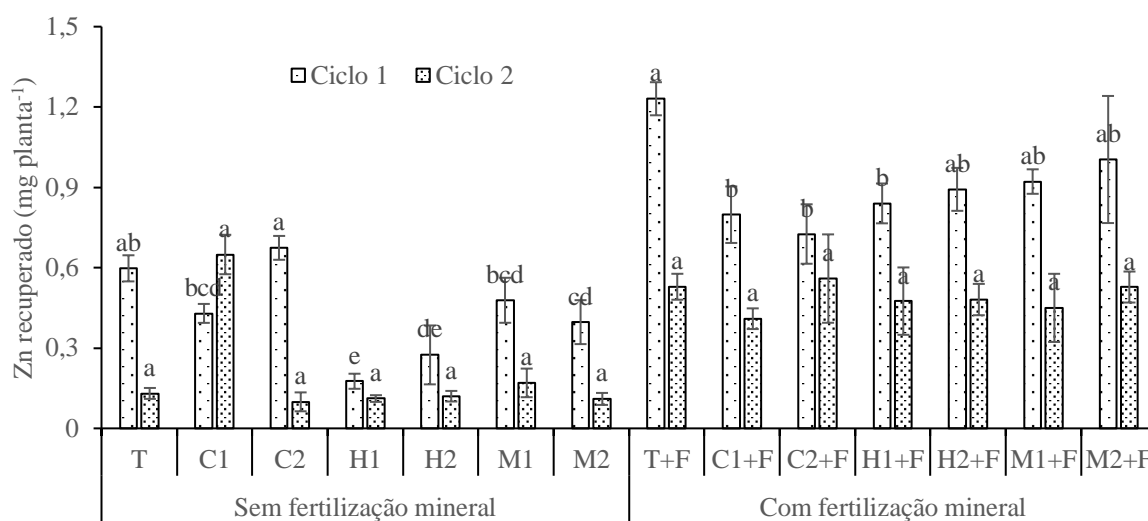


Figura 15. Teor de zinco recuperado nos tecidos durante dois ciclos culturais da alface com e sem fertilização mineral. As letras sobre as colunas são o resultado da análise de variância para a produção de matéria seca. Médias a que correspondam letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$).

Os valores de cobre recuperado nos tecidos da alface (ciclo 1 e ciclo 2) são apresentados na figura 16. Diferenças significativas entre tratamentos ocorreram apenas no grupo sem fertilização e no primeiro ciclo cultural. Os valores mais elevados foram obtidos no tratamento C2 (dose 2) com 0,13 mg planta⁻¹, seguido dos tratamentos C1 (dose 1), H2 (dose 2), M1 (dose 1), M2 (dose 2) e testemunha (T). O valor mais baixo foi registado no tratamento H1 (dose 1) com 0,04 mg planta⁻¹. Os tratamentos com aplicação de fertilização mineral no ciclo 1 não registaram diferenças significativas entre si.

Contudo, os valores mais elevados foram encontradas nos tratamentos com o uso de fertilização mineral, pois os teores passaram de 0,14 mg planta⁻¹ e chegaram a 0,20 mg planta⁻¹, enquanto sem uso de fertilização mineral o melhor tratamento alcançou o valor de 0,13 mg planta⁻¹.

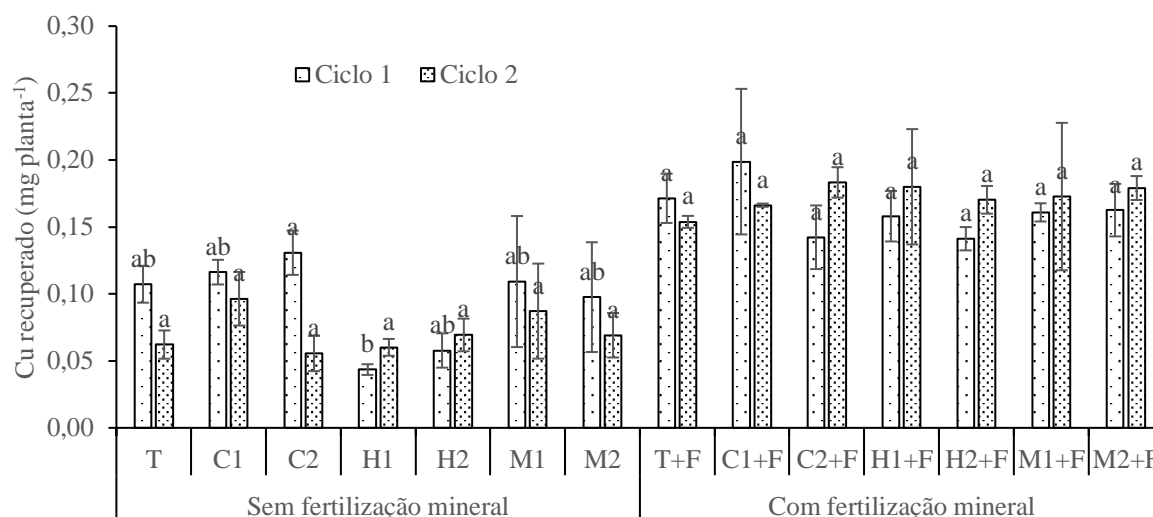


Figura 16. Cobre recuperado nos tecidos durante dois ciclos culturais da alface com e sem fertilização mineral. As letras sobre as colunas são o resultado da análise de variância para a produção de matéria seca. Médias a que correspondam letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$), separadamente por grupo de fertilização e por ciclo da alface.

4.4 SOLOS

Nos quadros 6, 7 e 8 são apresentados os resultados das análises de solos dos vasos no fim dos 2 ciclos da cultura da alface.

No quadro 6 são apresentados carbono orgânico, pH (H₂O), pH (KCl), P₂O₅ e K₂O, separados entre os tratamentos que não receberam aplicação de fertilização mineral. O carbono orgânico nos tratamentos sem aplicação de fertilização mineral não apresentou diferenças significativas. Já nos tratamentos com aplicação da fertilização mineral houve diferenças significativas, em que o tratamento C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK) alcançou o valor mais elevado com 17,3 g kg⁻¹, sendo o valor mais baixo encontrado nos tratamentos H1+F (dose 1 de H1 + adubo composto NPK) com 12,4 g kg⁻¹ e M2+F (dose 2 de M2 + adubo composto NPK) com 12,3 g kg⁻¹.

O pH_(H₂O) apresentou diferenças significativas entre tratamentos, com os valores mais elevados (6,9) a ser registados nos tratamentos C1 (dose 1) e C2 (dose 2). Com aplicação de fertilização mineral, os valores de pH foram mais baixos, variando de 5,8 no H2+F (dose 2 de H2 + adubo composto NPK) a 6,6 do tratamento C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK). O pH determinado pelo método de cloreto de potássio apresentou valores mais baixos, mas com uma variação entre tratamentos algo semelhante ao verificado para pH em água.

Para fósforo e o potássio as amostras de solo que não receberam fertilização mineral alcançaram os maiores valores no tratamento C2 (dose 2) com 251,6 mg kg⁻¹ de P₂O₅ e 507,7 mg kg⁻¹ de K₂O. Não apresentaram diferenças significativas os tratamentos H1 (dose 1), H2 (dose 2), M1 (dose 1), M2 (dose 2) em relação à testemunha tanto para fósforo quanto para potássio.

Os valores mais elevados nos tratamentos que receberam fertilização mineral foram encontrados em C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK) com 298,5 mg kg⁻¹ de P₂O₅ e 586,3 mg kg⁻¹ de K₂O. Os valores mais baixos foram registrados no tratamento T+F (adubo composto NPK) para P₂O₅ e nos tratamentos: T+F (adubo composto NPK), H1+F (dose 1 de H1 + adubo composto NPK), H2+F (dose 2 de H2 + adubo composto NPK), M1+F (dose 1 de M1 + adubo composto NPK) e M2+F (dose 2 de M2 + adubo composto NPK) para os teores de potássio no solo.

Os tratamentos C2 (dose 2) e C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK) registaram teores mais altos de carbono orgânico, pH (H₂O), pH (KCl), P₂O₅ e K₂O.

Quadro 6. Carbono orgânico, pH e fósforo e potássio extratáveis nas amostras de solo dos vasos após o segundo ciclo da alface.

	C orgânico (g kg ⁻¹)	pH H ₂ O	pH KCl	P ₂ O ₅ mg kg ⁻¹	K ₂ O mg kg ⁻¹
Sem fertilização mineral					
T	15.7 a	6.6 b	6.1 d	143.2 c	201.3 c
C1	15.6 a	6.9 a	6.5 b	206.1 b	370.7 b
C2	15.6 a	6.9 a	6.6 a	251.6 a	507.7 a
H1	13.7 a	6.7 b	6.2 c	134.7 c	161.0 c
H2	14.8 a	6.6 b	6.1 d	123.1 c	178.7 c
M1	13.9 a	6.6 b	6.1 d	130.7 c	189.3 c
M2	14.1 a	6.7 b	6.1 cd	129.8 c	178.7 c
Com fertilização mineral					
T+F	13.4 cd	6.0 bc	5.3 c	192.5 c	138.7 c
C1+F	14.3 bc	6.2 b	6.0 ab	277.8 ab	337.3 b
C2+F	17.3 a	6.6 a	6.2 a	298.5 a	586.3 a
H1+F	12.4 d	6.0 bc	5.7 abc	233.7 bc	176.0 c
H2+F	13.9 c	5.8 c	5.4 c	220.5 bc	153.3 c
M1+F	15.2 b	5.9 c	5.4 c	236.1 abc	184.0 c
M2+F	12.3 d	5.9 c	5.5 bc	228.5 bc	178.0 c

*Separadas por grupo sem e com fertilização mineral, médias a que correspondam letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$).

O quadro 7 mostra os resultados das análises ao complexo de troca. Os valores de cálcio e magnésio nos tratamentos com aplicação de fertilização mineral não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. O tratamento (sem fertilização mineral) que originou valores mais elevados foi C2 (dose 2) com 13,1

cmol₍₊₎ kg⁻¹ de Ca⁺⁺ e 4,5 cmol₍₊₎ kg⁻¹ de Mg⁺⁺ e os demais tratamentos apresentaram valores superiores a testemunha (T). O teor de K⁺ alcançou maior concentração no tratamento C2 (dose 2) e no tratamento C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK). Com exceção dos tratamentos C1 (dose 1) e C1+F (dose 1 de C1 + adubo composto NPK) os restantes tratamentos não apresentaram valores significativamente diferentes da testemunha (T).

Para o sódio, da mesma forma que na concentração de K⁺, o tratamento (sem fertilização mineral) com valores mais elevados foi o C2 (dose 2) com 2,02 cmol₍₊₎ kg⁻¹. O tratamento C1 (dose 1) com 1,62 cmol₍₊₎ kg⁻¹ apresentou um valor médio. Os demais tratamentos não originaram resultados com diferenças significativas em relação à testemunha (T). Os tratamentos com fertilização mineral apresentaram valores menores que os tratamentos sem fertilização mineral, sendo o tratamento C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK) com 1,97 cmol₍₊₎ kg⁻¹ que apresentou os valores mais elevados.

Quanto a acidez de troca nenhum tratamento diferiu estatisticamente da testemunha. Já na CTCe (Capacidade de troca efetiva) o maior valor registr

ado ocorreu no tratamento C2 (dose 2) com 21,2 cmol₍₊₎ kg⁻¹ seguido do tratamento C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK) com 21,0 cmol₍₊₎ kg⁻¹. Valores mais altos foram registados nos tratamentos com aplicação de fertilização mineral, em que todos os tratamentos foram superiores ao valor registado em T+F (adubo composto NPK). Os maiores teores de Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺, Na⁺, AT e CTCe foram registados nos tratamentos C2 (dose 2) e C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK).

Quadro 7. Análise ao complexo de troca do cálcio (Ca⁺⁺), magnésio (Mg⁺⁺), potássio (K⁺), sódio (Na⁺), acidez de troca (AT) e capacidade de troca efetiva (CTCe) presentes nas amostras de solos da alface após o segundo ciclo.

	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	AT	CTCe
------(cmol(+) kg ⁻¹)-----						
Sem fertilização mineral						
T	12.1 b	4.2 b	0.48 c	1.38 c	0.00 a	18.2 c
C1	12.8 ab	4.5 ab	1.09 b	1.62 b	0.03 a	20.0 b
C2	13.1 a	4.5 a	1.51 a	2.02 a	0.00 a	21.2 a
H1	12.6 ab	4.3 ab	0.32 c	1.35 c	0.07 a	18.7 c
H2	12.7 ab	4.3 ab	0.36 c	1.40 c	0.00 a	18.8 c
M1	12.7 ab	4.4 ab	0.38 c	1.30 c	0.00 a	18.8 c
M2	12.7 ab	4.3 ab	0.37 c	1.34 c	0.03 a	18.7 c
Com fertilização mineral						
T+F	13.0 a	4.4 a	0.27 c	1.38 b	0.10 a	19.1 b
C1+F	13.0 a	4.6 a	0.90 b	1.67 ab	0.03 a	20.2 ab
C2+F	12.7 a	4.5 a	1.76 a	1.97 a	0.00 a	21.0 a
H1+F	13.1 a	4.4 a	0.32 c	1.78 ab	0.07 a	19.6 ab
H2+F	13.6 a	4.5 a	0.30 c	1.40 b	0.07 a	20.0 ab
M1+F	13.3 a	4.5 a	0.37 c	1.35 b	0.03 a	19.6 ab
M2+F	13.4 a	4.6 a	0.36 c	1.38 b	0.00 a	19.8 ab

*Separadas por grupo sem e com fertilização mineral, médias a que correspondam letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$).

No quadro 8 apresentam-se os teores de micronutrientes nas amostras de solo após o segundo ciclo da alface. O boro apresentou os valores mais elevados no tratamento C2 (dose 2) com 1,16 mg kg⁻¹ sendo maior que o valor mais alto no tratamento das amostras que receberam fertilização mineral que foi de 1,10 mg kg⁻¹ no C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK). Os tratamentos que não diferiram estatisticamente dos resultados da testemunha foram C1 (dose 1) e M1 (dose 1), enquanto H2 (dose 2) e M2 (dose 2) registraram menores valores que a testemunha(T). Ao analisar os tratamentos com aplicação de fertilização mineral, os tratamentos C1+F (dose 1 de C1 + adubo composto NPK), H2+F (dose 2 de H2 + adubo composto NPK), M1+F (dose 1 de M1 + adubo composto NPK) e M2+F (dose 2 de M2 + adubo composto NPK) apresentaram valores mais elevados que os tratamentos sem fertilização mineral. Os menores teores foram de 0,15 e 0,21 mg kg⁻¹ nos tratamentos H2 (dose 2) e M2 (dose 2).

A concentração de ferro nos tratamentos sem aplicação de fertilização mineral não diferiram da testemunha. Com exceção dos tratamentos T+F (adubo composto NPK) e C1+F (dose 1 de C1 + adubo composto NPK) houve aumento significativo nos teores de ferro em relação aos tratamentos com aplicação de fertilização mineral. O tratamento C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK) obteve uma concentração

de 205,4 mg kg⁻¹. O valor mais baixo dos tratamentos foi registrado em T+F (adubo composto NPK) com 173,0 mg kg⁻¹.

O zinco registrou maior concentração no tratamento C2 com 6,4 mg kg⁻¹ e valor mais baixo no tratamento H2 (dose 2) com 5,4 mg kg⁻¹ e os demais tratamentos não diferiram significativamente da testemunha (T). Já nos tratamentos que houve aplicação de fertilização mineral não ocorreram diferenças significativas entre si. Com exceção do tratamento C1+F (dose 1 de C1 + adubo composto NPK) todos registaram valores superiores em relação ao uso de fertilização mineral.

Nenhum tratamento apresentou diferenças significativas nos teores de cobre em relação a testemunha (T) no grupo sem aplicação de fertilização mineral. O valor mais elevado foi verificado no tratamento H1+F (dose 1 de H1 + adubo composto NPK) com 86,2 mg kg⁻¹. Os tratamentos T+F (adubo composto NPK), C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK), H2+F (dose 2 de H2 + adubo composto NPK) e M1+F (dose 1 de M1 + adubo composto NPK) apresentaram menores teores de cobre no grupo de tratamentos com fertilização em relação ao grupo sem aplicação de fertilização mineral.

O manganês não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos sem fertilização mineral. Já com fertilização mineral todos os resultados foram elevados, menos no tratamento T+F (adubo composto NPK). Apenas os tratamentos T+F (adubo composto NPK), H2+F (dose 2 de H2 + adubo composto NPK) e M1+F (dose 1 de M1 + adubo composto NPK) registaram teores mais baixos no grupo de tratamentos com fertilização em relação ao grupo sem aplicação de fertilização mineral.

Quadro 8. Concentração de micronutrientes boro, ferro, zinco, cobre e manganês nas amostras de solo após o segundo ciclo da cultura da alface.

	Boro	Ferro	Zinco	Cobre	Manganês
	-----(mg kg^{-1})-----				
Sem fertilização mineral					
T	0.77 ab	195.8 a	6.3 ab	83.9 a	251.7 a
C1	0.26 ab	188.8 a	6.3 ab	82.3 a	250.2 a
C2	1.16 a	195.6 a	6.4 a	80.7 a	247.4 a
H1	0.40 ab	184.7 a	5.8 ab	85.7 a	258.0 a
H2	0.15 b	182.0 a	5.4 b	82.9 a	252.2 a
M1	0.32 ab	188.4 a	5.6 ab	85.2 a	263.4 a
M2	0.21 b	187.6 a	5.7 ab	83.7 a	254.1 a
Com fertilização mineral					
T+F	0.36 b	173.0 b	6.6 a	80.7 b	228.0 b
C1+F	0.82 ab	182.9 ab	6.0 a	82.6 ab	258.4 a
C2+F	1.10 a	205.4 a	6.8 a	79.9 b	264.1 a
H1+F	0.30 b	200.6 ab	6.2 a	86.2 a	261.9 a
H2+F	0.37 b	187.4 ab	5.9 a	79.8 b	251.2 a
M1+F	0.43 b	198.2 ab	6.6 a	79.9 b	258.2 a
M2+F	0.43 b	199.1 ab	6.3 a	81.5 ab	264.1 a

*Separadas por grupo sem e com fertilização mineral, médias a que correspondam letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$).

5. DISCUSSÃO

5.1 PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA

De acordo com a produção de matéria seca da alface, os tratamentos que alcançaram melhores resultados foram os que tiveram aplicação de fertilização mineral durante o segundo ciclo de cultivo. Resultados mais baixos ocorreram nos tratamentos do primeiro ciclo sem o uso de adubação mineral. Ao analisar os teores de matéria seca nos frutos de tomate, Rabelo (2015) não encontrou diferenças significativas entre os tratamentos: adubação mineral; e adubação mineral mais orgânica. O mesmo resultado ocorreu com os tratamentos do segundo ciclo da alface (com fertilização mineral) que não diferiram estatisticamente do tratamento T+F (adubo composto NPK) que apresentava apenas fertilização mineral.

O melhor tratamento do ciclo 1 da alface foi M2+F (dose 2 de M2 + adubo composto NPK) que também alcançou melhores valores no ciclo 2 (embora não tenham sido encontradas diferenças significativas no ciclo 2 entre as alfaces que receberam aplicação de fertilização mineral). Resultados similares foram observados por Lüdtke (2014) sobre a produção de alface e cebolinha em argissolo vermelho com aplicação de fertilizantes alternativos. Pois durante 48 dias de cultivo da alface observou que os tratamentos combinados apresentaram maiores valores de matéria seca do que aqueles sem combinações. Isso deveu-se ao efeito potencializado dos fertilizantes testados quando aplicados em conjunto.

Outra explicação para a resposta positiva na produção de matéria seca nas alfaces com adubação mineral, em relação aquelas que não receberam essa adubação, pode ser a resposta imediata destes fertilizantes em relação aos outros que não receberam fertilização mineral. Dessa forma ocorre a rápida liberação dos nutrientes minerais em relação a outros fertilizantes quando utilizados na produção hortícola (IPINMOROTI et al., 2006; ADEOYE et al., 2008; AINIKA et al., 2012; LADEIRA, 2017).

Já os menores valores encontrados nos tratamentos sem aplicação de adubação mineral podem ser justificados pelo processo de mineralização dos nutrientes, temperatura, umidade, textura e mineralogia do solo, além da composição química. A mineralização é importante pois permite que os nutrientes possam ser

aproveitados pelas plantas (RABELO, 2015). Se ocorrer o processo de imobilização sobre a mineralização, há riscos de deficiência de nutrientes para a cultura (SILVA, 2008; RABELO, 2015). A diferença no tempo de decomposição dos fertilizantes orgânicos assegura um fluxo contínuo de nutrientes no solo (SOUTO et al., 2015; PEIXOTO FILHO et al., 2013).

Todavia, esses resultados foram diferentes dos encontrados por Peixoto Filho et al. (2013) em um trabalho de produtividade de alface com doses de esterco de frango, bovino e ovino em cultivos sucessivos, em que o tratamento com doses de esterco de frango obteve resultados parecidos com os obtidos com o fertilizante mineral não havendo diferenças significativas entre o uso de adubação mineral e adubação orgânica.

Ao analisar os teores de matéria seca nos frutos de tomate, Rabelo (2015) não encontrou diferenças significativas entre os tratamentos com apenas adubação mineral e adubação mineral mais orgânica. O mesmo resultado ocorreu com os tratamentos do segundo ciclo da alface que não diferiram estatisticamente do tratamento T+F (adubo composto NPK) que apresentava apenas fertilização mineral.

5.2 CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NOS TECIDOS

5.2.1 Macronutrientes

No primeiro ciclo da alface pode-se observar que os teores de nitrogênio foram maiores no tratamento C2 (dose 2) e C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK) com valores variando entre 16,4 a 25,1 g kg⁻¹ (sem fertilização mineral) e 26,8 a 30,1 g kg⁻¹ (com fertilização mineral). Já no segundo ciclo os melhores tratamentos foram o M1 (dose 1) e C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK) variando de 11,1 a 14 g kg⁻¹ (sem) e 27,6 a 36,3 g kg⁻¹ (com fertilização mineral). Assim pode-se analisar que os tratamentos que não receberam aplicação de adubação mineral apresentaram uma queda em sua concentração para o segundo ciclo, porém os tratamentos com aplicação de adubação mineral registraram maiores valores no segundo ciclo em relação ao primeiro.

Esse comportamento já era de se esperar pois as plantas absorvem o nitrogênio de forma mais rápida nos tratamentos que possuem fertilização mineral

(LADEIRA, 2017). A cultura da alface responde bem ao nitrogênio, devido a sua composição (basicamente folhas), esse nutriente requer um manejo especial, pois é de fácil lixiviação além da cultura absorver maior quantidade no fim do seu ciclo (GOTO et al., 2001; GRANGEIRO et al., 2006).

Diferente do estudo realizado por Monteiro (2011) na cultura da alface com o uso de fertilizantes biológicos certificados (fosfato de Gafsa, Nutrimais e calcário), o tratamento com menor teor de nitrogênio não foi a testemunha (T) tanto com uso de fertilização mineral como sem o uso da fertilização mineral. Já em um trabalho sobre a chicória com uso de fertilizantes orgânicos e minerais não houve diferenças significativas nos teores de nitrogênio, diferindo dos resultados encontrados em que os tratamentos com uso de fertilização mineral foram maiores (ĆUSTIĆ et al., 2003; LADEIRA, 2017).

O fósforo registou a maior concentração no primeiro ciclo da alface em dois tratamentos que possuem em sua composição a leonardite que são o H1 (dose 1) e M1+F (dose 1 de M1 + adubo composto NPK), porém a testemunha também apresentou alto teor assim como o H1 (dose 1). No segundo ciclo da alface o melhor tratamento foi o que possui leonardite M1 (dose 1) e o C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK).

Ao contrário de um trabalho realizado por Araújo et al. (2011) que compararam a adubação orgânica e mineral sobre a cultura da alface em que o uso apenas de fertilizante orgânico aumentou os teores de fósforo em comparação com a aplicação de adubação mineral. Assim como no nitrogênio, os tratamentos sem adubação mineral apresentaram uma queda do primeiro (2,8 a 3,7 g kg⁻¹) ao segundo ciclo (1,9 a 3,0 g kg⁻¹). Registou-se também um efeito de acumulação, que pode ser explicado pelos fertilizantes minerais apresentarem fósforo em sua composição.

O potássio não apresentou diferenças significativas em nenhum dos tratamentos no primeiro ciclo, no segundo ciclo apenas os que receberam aplicação de fertilização mineral registraram diferenças significativas e o melhor tratamento foi o C1+F. Mesmo resultado encontrado por Bernardi et al. (2005) no estudo da alface cultivada em substratos com zeólitos, em que os teores de potássio não diferiram estatisticamente. O potássio foi o nutriente mais acumulado pela cultura da alface, tal como observado em outros estudos (FERNANDES *et al.*, 1981; GARCIA *et al.*, 1982; LOPES *et al.*, 2003; GRANGEIRO et al., 2006).

No primeiro ciclo o cálcio acumulou maiores teores nos tratamentos que continha em sua composição as leonardites: H1 (dose 1), M2 (dose 2) e M1+F (dose 1 de M1 + adubo composto NPK) e o tratamento C1+F (dose 1 de C1 + adubo composto NPK), os teores variaram de 2,8 a 3,7 g kg⁻¹, tanto com quanto sem aplicação de fertilização mineral. Já no segundo ciclo não houve diferenças significativas entre os tratamentos e a testemunha (T).

A principal função do cálcio na alface é preservar a integridade da parede celular e sua deficiência causa o surgimento de necrose nas extremidades das folhas. O cálcio não foi o nutriente de menor acúmulo, discordando das respostas encontradas por Lopes et al. (2003), o mesmo foi verificado por Grangeiro et al. (2006). O cálcio é absorvido pelas plantas na forma iônica, isto é, Ca⁺⁺, sendo seu comportamento semelhante ao comportamento do potássio (MONTEIRO, 2011).

O magnésio não registou diferenças significativas em relação a testemunha nos tratamentos do primeiro ciclo (sem fertilização mineral), e todos os tratamentos durante o segundo ciclo da alface. O melhor tratamento no segundo ciclo (com aplicação de fertilização mineral) ocorreu no C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK). Do ciclo 1 ao ciclo 2 das alfaces sem aplicação de adubação mineral houve uma queda na concentração de magnésio, isso deve ter ocorrido devido ao processo de senescência das folhas, devido ao seu tamanho, já que não receberam a adubação mineral ou devido ao teor de cálcio e nitrogênio (ALVARENGA, 1999).

5.2.2 Micronutrientes

O teor de boro no primeiro ciclo da alface alcançou o maior valor na testemunha (T) e para os tratamentos com uso de fertilização mineral não houve diferenças significativas. Já durante o segundo ciclo o melhor tratamento foi o que apresentou leonardite em sua composição que é o M1 (dose 1), e a testemunha (T) registou menor teor de boro, o mesmo aconteceu com os vasos de solo que receberam aplicação de fertilização mineral, em que o menor teor ocorreu no T+F (adubo composto NPK) e o melhor no C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK).

O alto teor de boro na testemunha (T) no primeiro ciclo pode ser explicado pelo fato desse nutriente já estar disponível no solo para absorção da planta, já nos outros tratamentos pode ser que o boro não tenha ficado totalmente disponível nesse

primeiro ciclo. No segundo ciclo pode-se observar que a maioria dos tratamentos alcançou valores superiores a testemunha (T) demonstrando que já ficou disponível para absorção das plantas de alface.

Os teores de boro considerados ideais nas folhas de alface variam de 20 a 60 mg kg⁻¹ (SANCHEZ et al., 1991). Dessa forma em todos os tratamentos incluindo a testemunha as quantidades foram adequadas. Pois se fossem valores menores a planta apresentaria deficiência, sintomas vistos geralmente em folhas jovens como ondulação nas bordas, engrossamento das folhas, aumento das asperezas e tonalidade prateada das folhas (YURI et al., 2016).

O ferro apresentou durante o primeiro ciclo teor mais alto no tratamento M2 (dose 2) que contém leonardite em sua composição. Com fertilização mineral não houve diferenças significativas entre os tratamentos. Já no segundo ciclo os melhores tratamentos foram o C1 (dose 1) e C1+F (dose 1 de C1 + adubo composto NPK) a testemunha apresentou menores concentrações de ferro.

Na maioria dos trabalhos atuais sobre a alface não se encontra especificamente qual foi a concentração dos micronutrientes nos tecidos da planta. Pois a maioria utiliza sistemas hidropônicos como tratamentos, ou fertilizantes que contenham cada micronutriente de forma separada. As concentrações adequadas segundo Sanchez et al. (1991) estão entre 80 a 200 mg kg⁻¹.

Dessa forma com exceção dos tratamentos C2+F H2+F e T+F (segundo ciclo) os demais apresentaram valores de ferro superiores aos encontrados na literatura, pois ultrapassaram 200 mg kg⁻¹. O mesmo ocorreu no trabalho de Garcia et al. (1982) sobre a concentração e acúmulo de micronutrientes no tecido das alfaces cultivares Brasil 48 e Clause's Aurélia com adubação 4-14-10, que apresentaram teores de ferro superiores aos relatados por Haeward et al. (1955). Dessa maneira estão na faixa considerada como plantas saudáveis (EYSTNGA et al., 1971; GARCIA et al., 1982).

A concentração de manganês para os tratamentos que não receberam adubação mineral durante o primeiro e o segundo ciclo da alface não registaram diferenças significativas. Os tratamentos T+F (adubo composto NPK), e as duas leonardites M1+F (dose 1 de M1 + adubo composto NPK) e M2+F (dose 2 de M2 + adubo composto NPK) obtiveram maiores concentrações durante o primeiro ciclo. No segundo ciclo o tratamento T+F (adubo composto NPK) manteve doses mais altas de manganês. Assim, o aumento da dose dos tratamentos não influenciou no resultado.

A quantidade de manganês mostrou-se adequada nos tratamentos variando de 44,1 a 94,0 mg kg⁻¹ com exceção do tratamento T+F (adubo composto NPK) que alcançou a concentração de 152,0 mg kg⁻¹. Isso demonstrou que as plantas estavam bem nutridas e que o solo apresentou esse micronutriente em níveis adequados para atender a necessidade da alface (SANDRI et al., 2006). Para Sanchez et al. (1991) a quantidade de manganês para as alfaces é de 25 a 130 mg kg⁻¹. As concentrações muito altas de cobre e zinco podem prejudicar a absorção de manganês pela planta (SANDRI et al., 2006).

O zinco apresentou diferenças significativas durante o primeiro ciclo da alface em que os tratamentos registaram valores de 140,7 mg kg⁻¹ na testemunha (T) e 129,2 mg kg⁻¹ na leonardite M1 (dose 1). O tratamento desse ciclo com fertilização mineral com maior concentração foi o T+F (adubo composto NPK) com 151,8 mg kg⁻¹. Esses valores são superiores as quantidades ideais propostas por Sanchez et al. (1991) que variam de 30 a 60 mg kg⁻¹.

Apesar dos tratamentos do segundo ciclo não apresentarem diferenças significativas entre eles, os teores dos tratamentos com aplicação de fertilização mineral foram os únicos que apresentaram valores dentro do proposto pelo Sanchez et al. (1991), já que os tratamentos sem aplicação de fertilização mineral apresentaram valores fora do ideal. O excesso de zinco pode causar pigmentação vermelha no pecíolo e nas nervuras das folhas de alface. Outra explicação pode ser a alta disponibilidade desse micronutriente em alguns tratamentos ou solo muito ácido.

Em um trabalho realizado por Borges et al. (2010) sobre o teor de micronutrientes em plantas de jambu com a adubação mineral e orgânica o tratamento que apresentou maiores teores de zinco foi o que continha a adubação mineral. O mesmo pode ser observado no presente estudo em que os tratamentos do primeiro ciclo que apresentaram adubação mineral foram superiores aos demais.

O cobre apresentou diferenças significativas apenas nos tratamentos do primeiro ciclo com aplicação de fertilização mineral sendo o maior teor de 26,3 mg kg⁻¹ e o menor 17,2 mg kg⁻¹. O segundo ciclo não apresentou diferenças significativas, embora apenas os tratamentos C2 (dose 2), leonardite H1 (dose 1) e testemunha mostraram valores dentro do proposto por Sanchez et al. (1991) que é de 5 a 10 mg kg⁻¹. Do primeiro ao segundo ciclo pode se observar que houve uma diminuição nos teores de cobre.

O mesmo resultado também foi observado por Borges et al. (2010) nas plantas de jambu em que os tratamentos com adubação orgânica registraram os teores ideais. O cobre faz parte da constituição de muitas enzimas e proteínas, porém o seu excesso deve ser evitado. Concentrações de cobre na vegetação, principalmente nas folhas, refletem a concentração de cobre no solo, sendo que teores muito elevados podem ser tóxicos para as plantas (GONÇALVES, 2016).

5.3 NUTRIENTES RECUPERADOS NOS TECIDOS

A recuperação dos nutrientes nos tecidos de alface indica qual foi o aproveitamento da planta em relação aos fertilizantes utilizados e as quantidades de nutrientes presente no solo. Dessa forma, no presente estudo foram avaliados os macronutrientes e micronutrientes recuperados nos tecidos vegetais.

O nitrogênio foi o primeiro macronutriente estudado e de acordo com os dados, já expressos na figura 7, apresentou o maior valor no ciclo 1 no tratamento C2 (dose 2). A testemunha (T) foi superior ao tratamento com leonardite H1 (dose 1) que alcançou o menor valor. Os demais tratamentos com aplicação de fertilização mineral apresentaram valores semelhantes entre si sendo superiores a $214 \text{ mg planta}^{-1}$.

No segundo ciclo pode-se perceber uma queda no valor de nitrogênio entre a testemunha e os tratamentos: C1 (dose 1), C2 (dose 2) e H1 (dose 1), embora estatisticamente não tenha apresentado diferenças. Os tratamentos do segundo ciclo que receberam aplicação de fertilizante mineral foram superiores ao primeiro ciclo da alface. Essas respostas podem ser explicadas pelo fato de os fertilizantes orgânicos apresentarem um efeito mais lento em relação à liberação dos nutrientes, assim o nitrogênio pode ser integralmente recuperado ou não durante o crescimento da planta (RODRIGUES, 1995; 2000; LADEIRA, 2017).

Para Arrobas et al. (2009), em seu trabalho sobre o efeito de fertilizantes minerais e orgânicos na produção de azevém, os fertilizantes minerais também alcançaram maiores valores de nitrogênio recuperado. Esses resultados podem estar associados as condições ambientais já que o primeiro ciclo foi cultivado durante uma estação mais fria e o segundo numa estação mais quente.

Os tratamentos que registraram maior recuperação de fósforo no ciclo 1 (sem fertilização mineral) foram os tratamentos com composto C1 (dose 1) e C2 (dose 2).

Já os tratamentos do ciclo 2 (sem fertilização mineral) que contêm leonardite em diferentes doses, apresentaram valores superiores em relação ao ciclo 1. Dessa forma, o ciclo 2 apresentou resultados superiores ao ciclo 1 quando aplicada fertilização mineral.

Esse resultado também foi observado por Ladeira (2017) em que a exportação de fósforo nas alfaces foi mais elevada nos vasos com aplicação de fertilizantes minerais. Todavia na cultura da couve houve um equilíbrio entre todos os tratamentos com uso de fertilizantes. Outra observação foi que a quantidade de fósforo recuperada pela alface apresentou valores mais baixos, em comparação com nitrogênio e potássio (COUTINHO et al., 1993; TISCHER, 2012).

A quantidade de fósforo recuperada também pode variar de acordo com a variedade de alface; algumas recuperam maiores quantidades outras recuperam menos. Dessa forma, Fernandes et al. (1981) encontraram para a cultivar Vitória de Santo Antão teores de 47 g planta^{-1} de fósforo, valor parecido com o tratamento que contém leonardite, o H1+F (dose 1 de H1 + adubo composto NPK), que alcançou $48,2 \text{ mg planta}^{-1}$.

O potássio assim como o fósforo no primeiro ciclo (sem fertilização mineral) apresentou maiores valores nos tratamentos C1 (dose 1) e C2 (dose 2). Todos os vasos de alface do segundo ciclo não apresentaram diferenças significativas, assim como os do ciclo 1 (com fertilização mineral). Com exceção do tratamento com leonardite H1 (dose 1) os vasos de alface sem fertilização mineral do ciclo 2 apresentaram uma queda quando comparadas ao ciclo 1. Já com aplicação de fertilização mineral o ciclo 2 apresentou valores superiores ao ciclo 1.

Em um trabalho de Silva (2013) sobre as doses de fósforo e potássio na produção de alface a quantidade de potássio recuperada foi de 96,83 a 346,20 mg planta^{-1} entre os tratamentos, aumentando a quantidade conforme o aumento da dose. Já no presente trabalho os resultados foram superiores variando de 203,0 a 746,2 mg planta^{-1} no ciclo 1 e de 228,0 a 1091,7 mg planta^{-1} no ciclo 2.

O macronutriente mais acumulado pela cultura da alface é o potássio, sendo que este influencia o tamanho da cabeça de alface (SANCHEZ, 2007; SILVA, 2013). Na folha os teores desse elemento deve ser entre 50 a 80 mg kg^{-1} (TRANI e RAIJ, 1997; SILVA, 2013). Porém se for em excesso o potássio pode comprometer a

absorção de magnésio, manganês, ferro, zinco e cálcio (SANTOS et al., 2010; SILVA, 2013).

O teor de cálcio recuperado obteve durante o primeiro ciclo valores mais elevados nos tratamentos C2 (dose 2) e M1+F (dose 1 de M1 + adubo composto NPK). Em todos os tratamentos do segundo ciclo não houve diferenças significativas. Os tratamentos com composto C1 e C2 também obterem queda do ciclo 2 em relação ao ciclo 1.

Os valores encontrados no experimento foram de 10,5 a 29,4 mg plantas⁻¹ no primeiro ciclo e de 17,1 a 55,9 mg plantas⁻¹ no segundo ciclo. Sendo superiores ao encontrado por Fonseca (2013) em que avaliou o desempenho de alface e rúcula em função das doses de composto fermentado, em que alface apresentou teores de 14,3 e 11,6 mg planta⁻¹ nas sucessões de alface-rúcula, já a rúcula apresentou 6,20 e 6,38 mg planta⁻¹.

Para os teores de magnésio os melhores tratamentos do ciclo 1 (sem aplicação de fertilizante mineral) foram C1 (dose 1), C2 (dose 2) e o tratamento com leonardite M2 (dose 2), vasos com fertilização apresentaram valores semelhantes entre si não diferindo da testemunha (T). Os tratamentos do ciclo 2 independentemente da aplicação ou não de fertilização mineral não apresentaram diferenças estatísticas.

No estudo de Vidigal et al. (1995) as doses de composto orgânico não influenciaram o teor de magnésio, não apresentando diferenças significativas entre os tratamentos que utilizaram. Porém essa conclusão não se aplica ao ciclo 1 desse estudo pois houve aumento no teor de magnésio conforme a dose dobrou, além dos tratamentos apresentarem diferenças estatísticas entre si. Já Lobo (2015) verificou que o maior teor de magnésio ocorreu na fertilização química, embora os compostos orgânicos tenham apresentado também bons resultados (MOTTA, 2016).

Estudos sobre os micronutrientes: boro, ferro, manganês, zinco e cobre, relacionados a cultura da alface, são escassos. Porém, são elementos essenciais para a planta, pois sua falta altera o ciclo da alface (MALAVOLTA, 2006; RESENDE et al., 2010), sendo a seguinte ordem decrescente dos micronutrientes recuperados pelas plantas: ferro, manganês, zinco, boro e cobre (KANO et al., 2011).

Os teores de boro recuperado no tecido vegetal da alface apresentaram melhores resultados nos tratamentos com aplicação de fertilização mineral no ciclo 2,

porém os resultados registaram valores semelhantes entre si. Do primeiro ao segundo ciclo também é possível verificar um aumento nos teores de boro. Mesmo não ocorrendo diferenças entre os tratamentos do ciclo 2, com aplicação mineral o composto C2+F obteve o valor mais alto (dose 2 de C2 + adubo composto NPK) de boro. Em um trabalho realizado por Pietrosk et al. (2015) sobre as doses de boro em solo cultivado com alface, o acúmulo de boro na planta no tratamento com dose de 3 dm^{-3} foi parecido com os valores encontrados nesse estudo.

O ferro obteve maior quantidade recuperada entre os micronutrientes durante o primeiro ciclo e segundo ciclo (sem fertilização mineral) no composto C1 (dose 1). Tratamentos com fertilização mineral no primeiro ciclo não apresentaram diferenças significativas, já no segundo ciclo o melhor tratamento foi o composto C1+F (dose 1 de C1 + adubo composto NPK). Nos tratamentos sem fertilização mineral do primeiro ao segundo ciclo houve um aumento no teor de ferro, porém nos tratamentos com aplicação de fertilização mineral houve uma queda para o segundo ciclo.

Isso deve ter ocorrido devido aos já explicados processo de mineralização, já que os materiais orgânicos possuem diferença dos minerais, à temperatura, já que o segundo ciclo foi cultivado na estação mais quente, à composição dos fertilizantes e à taxa de disponibilidade para as plantas. Valores encontrados nos tratamento C1+F (dose 1 de C1 + adubo composto NPK) nos ciclo 1 e 2 e a leonardite M1+F (dose 1 de M1 + adubo composto NPK) foram superiores aos 4,12 mg planta^{-1} encontradas por Kano et al. (2011) no trabalho de acúmulo de nutrientes pela alface destinada à produção de sementes.

Para o manganês assim como no boro, a quantidade recuperada registrou aumento do ciclo 1 para o 2 em todos os tratamentos. Os melhores tratamentos (sem aplicação de fertilizante mineral) do ciclo 1 foi o composto C1 (dose 1) e C2 (dose 2), e no ciclo 2 não ocorreram diferenças significativas. Tratamentos com fertilização mineral alcançaram melhores resultados na leonardite M2+F (dose 2 de M2 + adubo composto NPK) nos dois ciclos da alface. Os vasos com fertilização mineral no segundo ciclo registaram os maiores valores.

Como observado por Furtado (2001) houve aumento no teor de manganês recuperado na alface americana conforme o aumento das doses de nitrogênio. Isso também foi verificado nesse trabalho em que os tratamentos que continham maior

quantidade de nitrogênio, no caso, que receberam adubação mineral apresentaram maiores teores de manganês.

O zinco teve um comportamento similar ao ferro em que apresentou queda nos teores do primeiro ao segundo ciclo. Todos os tratamentos do segundo ciclo não diferiram estatisticamente da testemunha (T) tanto com quanto sem aplicação de fertilização mineral. No primeiro ciclo os tratamentos com composto C2 (dose 2) e T+F (adubo composto NPK) alcançaram valores mais altos. O tratamento com leonardite H1 (dose 1) obteve a menor concentração entre todos os tratamentos, sendo inferior a testemunha (T).

A quantidade de zinco recuperada na alface por Kano et al. (2011) no estudo do acúmulo de nutrientes pela alface destinada à produção de sementes foi de 0,002329 mg planta⁻¹. Valores menores ao encontrado no estudo em que o menor valor ocorreu no tratamento com leonardite H1 (dose 1) com 0,18 mg planta⁻¹. Outra conclusão no estudo de Kano et al. (2011) foi que conforme a planta chegava ao florescimento a necessidade de zinco aumentava, chegando aos 50% do total de zinco acumulado aos 69 dias.

O cobre nos tratamentos sem aplicação de fertilização mineral alcançou o valor mais elevado de 0,13 mg planta⁻¹ no composto C2 (dose 2), enquanto os tratamentos do segundo ciclo não apresentaram diferenças significativas. Entre os tratamentos com fertilização mineral não houve diferenças estatísticas. Pode-se observar que houve um equilíbrio entre a quantidade de cobre no primeiro e segundo ciclo.

Dessa forma, as alfaces submetidas a fertilização mineral recuperaram mais cobre. Estudos de Kano et al. (2011) encontraram teores mais baixos de cobre, cerca de 618 µg/planta ao fim do ciclo de 112 dias. Isso pode ser explicado porque a alface para semente necessita de teores mais altos de cobre, cerca de 53 % no seu período de floração, enquanto o presente estudo não teve por finalidade a formação de sementes.

5.4 SOLOS

A quantidade de carbono orgânico presente nos solos dos vasos de alface após o segundo ciclo nos tratamentos sem aplicação mineral não diferiram

estatisticamente da testemunha (T), sendo os resultados encontrados próximos a 15 g kg⁻¹. O único tratamento com fertilização mineral que apresentou resultado superior aos demais foi o C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK) com 17,3 g kg⁻¹, sendo que o condicionador H1+F (dose 1 de H1 + adubo composto NPK) e o T+F (adubo composto NPK) registaram os valores mais baixos. Dessa forma, os tratamentos com melhores resultados foram os tratamentos com fertilização orgânica, embora o tratamento C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK) tenha alcançado maior valor.

Esses resultados foram semelhantes ao estudo realizado por Marchi et al. (2008) sobre o efeito da adubação orgânica sobre as frações de carbono de solos cultivados com alface americana. Nesse estudo percebe-se que em relação à adubação mineral a utilização de adubo orgânico aumenta o carbono orgânico na fração ácido húmico em relação à fração ácido fúlvico. Quando são comparados os sistemas de produção orgânicos com fertilização mineral ou sem fertilização, a adubação orgânica aumenta a quantidade de carbono orgânico e nitrogênio total no solo, sendo uma maneira de conservar a fertilidade do solo (LEITE et al., 2013; MARTINS et al., 2017).

Para o pH, tanto em água quanto com cloreto de potássio, os valores mais próximos da neutralidade foram observados no tratamento composto C2 (dose 2), com exceção do composto C1 (dose 1) que em água não diferiu do composto C2 (dose 2). Na fertilização mineral tanto com água quanto com KCl o tratamento com composto C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK) ficou próximo de pH 7. As testemunhas (T) alcançaram menores valores, ou seja, os solos apresentaram-se mais ácidos.

Os adubos orgânicos exercem efeito sobre o poder tampão do solo, pois quando ocorrem mudanças bruscas no meio o pH é mantido, além de favorecer a troca de cátions, complexar e solubilizar alguns metais tóxicos às plantas e ter influência na temperatura do solo (LEITE et al., 2013; MARTINS et al., 2017). Outros efeitos dos adubos orgânicos são a diminuição dos efeitos tóxicos do alumínio e aumento da atividade microbiana no solo, além de favorecer o enraizamento das plantas (COSTA, 1994; MARTINS et al., 2017).

Em um estudo de Marchi (2006) sobre a influência da adubação orgânica e de doses de material húmico sobre a produção de alface americana e teores de carbono no solo, o autor verificou que o pH em água do composto foi de 7,6, de esterco de aves de 8,9, sendo valores maiores do que os encontrados nesse estudo em que o

condicionador (leonardite) registou valores de 6,7 a 6,6 (sem fertilização mineral) e de 6,0 a 5,8 com aplicação de fertilização mineral. A alface americana não tem um bom desenvolvimento em pH menor que 5,5 (YURI et al., 2002; MARCHI, 2006). Assim, todos os resultados encontrados de pH em água foram superiores a 5,5.

Quanto ao fósforo presente no solo após o segundo ciclo de cultivo, houve aumento em relação a antes do cultivo. Dessa forma observa-se que todos os tratamentos tiveram valores superiores a 123,1 mg P₂O₅ kg⁻¹, alcançando o teor de 298,5 mg P₂O₅ kg⁻¹ no composto C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK). Nos tratamentos sem fertilização mineral o maior teor ocorreu no composto C2 (dose 2). As leonardites H1 (dose 1), H2 (dose 2), M1 (dose 1) e M2 (dose 2) apresentaram os valores mais baixos.

Já Marchi et al. (2008) encontraram em seus estudos do efeito da adubação orgânica sobre as frações de carbono de solos cultivados com alface americana, os teores de 4,24 mg P₂O₅ kg⁻¹ no composto, 25,75 mg P₂O₅ kg⁻¹ no esterco de aves e 34,44 mg P₂O₅ kg⁻¹ nos condicionadores. Diferentemente desse trabalho os condicionadores (tratamentos com leonardite) não alcançaram valores maiores que os tratamentos com composto orgânico. O fósforo encontra-se no solo sobre as formas inorgânica e orgânica, sendo vários fatores que contribuem para a manutenção da disponibilidade de fósforo para as plantas, sendo a principal a adubação fosfatada (TIECHER et al., 2012; GATIBONI et al., 2013; LEITE, 2015; SILVA, 2018).

Como verificado no carbono orgânico, no pH em água e KCl e no P₂O₅, a quantidade de potássio presente nos vasos apresentou maior valor nos tratamentos C2 (dose 2) e C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK) com 507,7 e 586,3 mg K₂O kg⁻¹. Verificou-se um aumento de potássio com o tempo, que antes do cultivo da alface era 194 mg K₂O kg⁻¹.

No estudo de Marchi et al. (2008) foram registados teores de potássio de 6,81 mg K₂O kg⁻¹ no composto, 22,98 mg kg⁻¹ no esterco de aves e 37,22 mg kg⁻¹ nos condicionadores de solo. Assim como para o fósforo os resultados diferiram, já que os tratamentos com composto alcançaram maiores valores.

Os teores de cálcio no solo original foram de 11,63 cmol₊ kg⁻¹, sendo os maiores teores de cálcio observados no tratamento com composto C2 (dose 2) com 13,1 cmol₊ kg⁻¹ e todos os tratamentos apresentaram diferenças significativas em relação a testemunha (T).

Diferentemente do trabalho de Covalski (2018), sobre a influência da aplicação de biochar e zeólitos na dinâmica do azoto no sistema solo-planta com alface e azevém, a presença de cálcio no solo (antes do primeiro cultivo) permitiu diferenças significativas entre os tratamentos com fertilização orgânica. Todavia na presença de fertilização mineral não houve diferenças significativas. Isso ocorreu devido à composição química de cada tratamento utilizado nos experimentos serem diferentes e cada um reagir de uma forma específica no solo.

O magnésio apresentou um comportamento similar ao cálcio, em que houve diferenças significativas apenas nos tratamentos sem fertilização mineral. Sendo assim o composto C2 (dose 2) apresentou maior concentração de magnésio com $4,5 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$. Todos os tratamentos foram superiores a testemunha (T), com $4,2 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$, porém os tratamentos com fertilização mineral apresentaram valores semelhantes entre si.

O teor de magnésio no solo original foi de $4,24 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$. Na testemunha (T) não houve diferenças relevantes para esse valor. Já no trabalho de Covalski (2018) o melhor tratamento alcançou $4,80 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$, valor superior ao melhor tratamento C2 (dose 2). Covalski (2018) explicou o valor alto pelo motivo do solo original ser rico em magnésio, sendo que essa explicação pode ser aplicada ao presente trabalho.

Em relação ao potássio o teor no solo original foi de $0,45 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$. Os tratamentos com leonardite apresentaram teores mais baixos, principalmente com a aplicação de fertilização mineral (valores entre $0,32$ a $0,38 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$). O maior valor observa-se no composto C2 (dose 2) e C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK). Tratamentos sem fertilização mineral apresentaram teores mais altos que os tratamentos com fertilização mineral.

Todos os tratamentos apresentaram diferenças significativas e valores superiores aos teores encontrados por Covalski (2018) em que o tratamento solo+zeólitas+uréia apresentou $0,26 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$. Apesar do autor não encontrar diferenças significativas, o que difere do trabalho apresentado, os valores não são muito divergentes.

A quantidade de sódio acumulada no solo após o cultivo do segundo ciclo da alface, registou maiores valores no composto C2 (dose 2) com $2,02 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$ e C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK) com $1,97 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$. Ao comparar o valor anterior do sódio presente no solo que foi de $1,58 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$ percebe-se que a

testemunha (T) e os demais tratamentos com condicionadores apresentaram uma redução no teor de sódio, com exceção ao tratamento H1+F (dose 1 de H1 + adubo composto NPK) que registou $1,78 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$.

Dessa forma os valores de sódio apresentaram valores muito parecidos, tanto com quanto sem fertilização mineral. Sendo superiores aos valores encontrados no trabalho de Covalski (2018) em que o tratamento com solo+zeólitas+uréia+biochar alcançou $0,31 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$ sendo que no solo original o teor foi $0,25 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$.

Para a acidez de troca Covalski (2018) não verificou diferenças significativas entre os tratamentos, embora explique o fato que o baixo pH do solo pode ter sido o motivo, além da quantidade de alumínio no solo ser reduzida. Esse resultado concorda do que foi encontrado no presente trabalho em que não houve diferenças significativas em nenhum dos tratamentos estudados.

Na CTCe o composto C2 (dose 2) e o C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK) alcançaram os maiores teores com $21,2$ e $21,0 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$. Já a testemunha (T) apesar de registrar o menor teor de CTCe com $18,20 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$, ainda foi superior à quantidade encontrado no solo original com $17,90 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$. Parte da CTCe tem relação com o valor do pH do solo (OLIVEIRA et al., 2014), o que foi confirmado pelo fato dos mesmos tratamentos que possuem pH mais alto, possuírem CTCe mais alta.

A CTCe apresenta características preservadas a curto prazo, podendo alterar apenas a proporção relativa dos cátions que ocupam a CTCe, em condições a campo. Dessa forma, o aumento da CTCe visualizado no experimento pode estar relacionado à menor perda da matéria orgânica por mineralização, pois o experimento foi conduzido em condições controladas (OLIVEIRA et al., 2014).

Nos tratamentos sem fertilização mineral o teor de boro foi superior no composto C2 (dose 2). A testemunha (T) obteve valores mais altos que os condicionadores H2 (dose 2) e M2 (dose 2) e esses tratamentos mantiveram o teor de boro abaixo do que já estava presente no solo original que foi de $0,30 \text{ mg kg}^{-1}$. Na fertilização mineral o melhor tratamento foi o C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK), seguido do C1+F (dose 1 de C1 + adubo composto NPK) e os demais tratamentos variaram de $0,30$ a $0,43 \text{ mg kg}^{-1}$.

O boro no trabalho de Covalski (2018) apresentou os teores mais altos no tratamento de solo + ureia com $0,51 \text{ mg kg}^{-1}$ seguido da testemunha (com solo). Esses

valores são menores do que o registrado nesse estudo em que o tratamento C2 (dose 2) alcançou o teor de 1,16 mg kg⁻¹.

A quantidade de ferro não apresentou diferenças significativas em relação a testemunha nos tratamentos sem fertilização mineral. Os tratamentos com fertilização mineral foram superiores em relação aos tratamentos sem fertilização, sendo o composto C2+F (dose 2 de C2 + adubo composto NPK) o mais alto com 205,4 mg kg⁻¹. As Leonardites apresentaram teores entre 187,4 a 200,6 mg kg⁻¹. A quantidade no solo original foi de 85,54 mg kg⁻¹, dessa forma todos os tratamentos tiveram um acúmulo de ferro após o segundo cultivo.

Resultados semelhantes foram observados por Pereira (2016) em que as alfaves em todos os tratamentos alcançaram alto teor de ferro acima de 12 mg kg⁻¹. O ferro registou maior teor no tratamento do composto orgânico + biochar com 179,61 mg kg⁻¹, valores menores que o melhor tratamento do presente estudo que foi de 205,4 mg kg⁻¹. Porém a associação de composto orgânico com um condicionador, assim como na associação do composto orgânico com fertilizante mineral, foi superior aos demais tratamentos.

Para o zinco a quantidade presente no solo antes dos cultivos era de 3,52 mg kg⁻¹, sendo posteriormente a quantidade mais baixa de 5,4 mg kg⁻¹ no tratamento com condicionador H2 (dose 2) e a mais alta de 6,4 mg kg⁻¹ no composto C2 (dose 2). Apesar dos vasos que receberam fertilização mineral não apresentarem diferenças significativas entre os tratamentos, eles foram superiores ao sem fertilização mineral. Todos os tratamentos após o segundo ciclo da alface alcançaram um aumento no teor de zinco.

O zinco em altas concentrações no solo pode provocar sintomas de toxicidade em algumas culturas. Porém seus efeitos são reduzidos em solos com pH acima de 6,0 e em solos com textura arenosa e elevado teor de matéria orgânica (SANDRI et al, 2006), como é o caso do solo do presente estudo, em que o pH é superior a 6,0. As concentrações que podem provocar problemas ao cultivo da alface são superiores a 450 mg kg⁻¹ (FERREIRA; CRUZ, 1991; KABATS-PENDIAS, 2011, PEREIRA, 2016).

O cobre apresentou valores semelhantes à testemunha (T) nos tratamentos sem fertilização mineral. Já nos tratamentos com fertilização mineral o melhor foi o condicionador H1+F (dose 1 de H1 + adubo composto NPK) com 86,2 mg kg⁻¹. Todos

os tratamentos registaram valores mais elevados que a quantidade presente no solo original dos vasos.

Nos micronutrientes, as concentrações que podem provocar problemas ao cultivo da alface para o cobre é 210 mg kg^{-1} (FERREIRA; CRUZ, 1991; KABATSPENDIAS, 2011, PEREIRA, 2016). Nenhum dos tratamentos foi superior a esse valor. No estudo de Covalski (2018) os teores de ferro variaram de 71 a $109,18 \text{ mg kg}^{-1}$, portanto esses valores foram superiores aos encontrados nesse estudo. Já no trabalho de Pereira (2016) todos os tratamentos registaram baixos teores de cobre de $6,94$ a $8,29 \text{ mg kg}^{-1}$.

O manganês quase dobrou a quantidade após o segundo cultivo da alface, pois de $115,68 \text{ mg kg}^{-1}$ alcançou valores superiores a 228 mg kg^{-1} , embora nenhum tratamento tenha diferenças significativas entre si. Pereira et al. (2016) em seus estudos sobre efeitos da adubação orgânica e mineral associadas ao biochar sobre os parâmetros do solo e produtividade da alface, após o segundo ciclo da alface o teor de manganês foi de $57,32 \text{ mg kg}^{-1}$ sem adubação, $71,49 \text{ mg kg}^{-1}$ na adubação mineral e $123,26 \text{ mg kg}^{-1}$ no composto orgânico. Dessa forma os resultados encontrados foram superiores ao desse autor. O manganês acima de $5,0 \text{ mg kg}^{-1}$ é considerado alto assim como observado em outros estudos (RAIJ et al., 1997, PEREIRA et al., 2016).

6. CONCLUSÕES

Através dos resultados pode-se observar que a época do ano em que a alface foi cultivada influenciou a disponibilidade de nutrientes, pelo processo de mineralização, embora os tratamentos associados a fertilização mineral tenham produzido maior quantidade de matéria seca. Assim, os tratamentos com fertilização mineral do segundo ciclo foram os que produziram mais biomassa, em particular o tratamento M2+F (dose de 0,36 g + 5 g de adubo composto NPK).

A concentração de nitrogênio nos tecidos no segundo ciclo de cultivo foi maior com aplicação de fertilização mineral no composto C2+F (71,4 g/vaso + 5 g de adubo NPK). A concentração de fósforo foi mais elevada no primeiro ciclo sem fertilização mineral no condicionador H1 (1,74 g/vaso). No potássio não houve diferenças significativas, embora no primeiro ciclo os valores tenham sido mais altos em relação ao segundo ciclo. O cálcio não apresentou diferenças significativas no segundo ciclo da alface. No primeiro ciclo a concentração de cálcio foi mais elevada, sobretudo nos condicionadores H1 (1,74 g/vaso) M2 (0,36 g/vaso) e M1+F (0,18 g/vaso + 5 g de adubo NPK) e no composto C1+F (35,7 g/vaso + 5 g de adubo NPK). Já o magnésio registou maior concentração no primeiro ciclo, sobretudo com aplicação de fertilização mineral.

Quanto à concentração de micronutrientes nos tecidos, os teores de boro e ferro foram superiores nos tratamentos sem fertilização mineral do segundo ciclo. Já as concentrações de cobre e zinco foram mais elevadas durante o primeiro ciclo de cultivo da alface, sobretudo com aplicação de fertilização mineral. No segundo ciclo de cultivo com fertilização mineral registou-se o maior teor de manganês.

Na quantidade de macronutrientes recuperados nos tecidos, os tratamentos com fertilização mineral durante o segundo ciclo, apresentaram os valores mais altos de nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio e cálcio e não diferiram estatisticamente entre si. Já no primeiro ciclo, os tratamentos com aplicação de fertilização minerais que alcançaram resultados mais elevados foram o condicionador M2+F (0,36 g/vaso + 5 g de adubo NPK) e o M1+F (0,18 g/vaso + 5 g de adubo NPK).

Já para a quantidade de micronutrientes recuperada nos tecidos, no segundo ciclo da alface com fertilização mineral alcançaram-se os maiores valores de boro, manganês e cobre. O ferro e o zinco também apresentaram maiores resultados com

aplicação de fertilização mineral, sobretudo durante o primeiro ciclo. As plantas que receberam adubação mineral como complemento registraram valores mais elevados de micronutrientes recuperados.

Os resultados da análise de solo para o carbono orgânico, pH em água e KCl, P_2O_5 e K_2O apresentaram teores mais elevados nos tratamentos com composto C2 (71,4 g) sem fertilização mineral e nos tratamentos com fertilização mineral C2+F (71,4 g/vaso + 5 g de adubo NPK). Tratamentos com condicionadores com fertilização mineral apresentaram valores de pH mais baixos em relação aos demais tratamentos. O fósforo apresentou valores mais baixos nos condicionadores sem aplicação de fertilização mineral e o potássio apresentou os menores valores nos tratamentos com condicionadores.

Apenas o teor de potássio no solo foi maior nos tratamentos sem fertilização mineral. Os tratamentos com condicionadores registraram uma diminuição em relação à quantidade do solo original. Os condicionadores também apresentaram uma diminuição no teor de sódio em relação ao solo original. Para acidez de troca não houve diferenças significativas entre tratamentos. Tratamentos com fertilização mineral registraram valores superiores aos demais na concentração de cálcio, magnésio, sódio e CTCe.

Nos teores de boro no solo apenas os condicionadores H2 e M2 obtiveram valores abaixo da quantidade no solo original. Em geral, ferro, zinco, cobre e manganês dobraram a quantidade em relação ao solo original durante o período experimental.

REFERÊNCIAS

AGROCONSULTORES e COBA. – Carta dos solos, carta do uso actual da terra e carta da aptidão da terra do nordeste de Portugal. Lisboa: UTAD. 1991.

ALEF, K. e NANNIPIERI, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry** (No. 631.46 M592ma). Academic Press. 1995.

ALMEIDA, T.B.F. *et al.* Avaliação nutricional da alface cultivada em soluções nutritivas suprimidas de macronutrientes. **Revista Biotemas**, v. 24, n. 2, p. 27-36, jun., 2011.

ALVARENGA, M.A.R. **Crescimento, teor e acúmulo de nutrientes em alface americana (*Lactuca sativa* L.) sob doses de nitrogênio aplicadas no solo e de níveis de cálcio aplicados via foliar**. 1999. Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de Doutor, Lavras, 1999.

ANDRADE, E.M.G.; SILVA, H.S.; SILVA, N.S.; JÚNIOR, J.R.S.; FURTADO, G.S. Adubação organomineral em hortaliças folhosas, frutos e raízes. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, João Pessoa, v.7, n. 3, p. 07-11, jul.-set, 2012.

ANDRADE, M.M.M.; STAMFORD, N.P.; SOUSA, C.A.; SILVEIRA, A.C.G.A.; FREITAS, A.D.S.; SANTOS, C.E.R.S. Fertilização mineral e biofertilizante rochas com *Bradyrhizobium* e fungos micorrízicos arbusculares em caupi. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.4, n.3, p.289-292, jul.-set., 2009.

ARAÚJO, B.F.O. **Fitomassa da cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) sob a aplicação de fertilizantes minerais e substância húmica**. 2010. 24 f. Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo, Universidade Federal de Alagoas, Unidade Acadêmica Centro de Ciências Agrárias, Rio Largo, 2010.

ARAÚJO, J.B.S.; CARVALHO, G.J.; MORAIS, R.J.G.A.R, CUNHA, R.L. Composto orgânico e biofertilizante supermagro na formação de cafeeiros. **Coffee Science**, Lavras, v. 3, n. 2, p. 115-123, jul.-dez. 2008.

ARAÚJO, W.F.; SOUSA, K.T.S.; VIANA, T.V.A.; AZEVEDO, B.M.; BARROS, M.M.; MARCOLINO, E. Resposta da alface a adubação nitrogenada. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 5, n. 1, p. 12-17, jan. -abr., 2011.

ARROBAS, M.; TOMÁS, P. e RODRIGUES, M.A. **Efeito de fertilizantes minerais e orgânicos na produção de Azevém (*Lolium multiflorum* L.): produção de matéria seca e azoto aparentemente recuperado**. 2009. Disponível em: <https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/3012/1/Org%20a2nicos%20azev%20m.pdf>. Acesso em 24 set. 2020.

ARROBAS, M. e RODRIGUES, M.Â. **Capítulo 7: Fertilização**. Amendoeira: Estado de Produção. *In: Frutos Secos: da Produção a Comercialização*. Bragança: CNCFS, 2017. p. 232-274.

BALDOTTO, L.E.B.; BALDOTTO, M.A.; GIRO, V.B.; CANELLAS, L.P.; OLIVARES, F.L.; SMITH, R.B. Desempenho do abacaxizeiro 'Vitória' em resposta à aplicação de ácidos húmicos durante a aclimação. **Revista Brasileira de Ciências do Solo-SCIELO**, Viçosa- MG, v. 33, n. 4, jul.-ago. 2009.

BALDOTTO, M.A e BALDOTTO, L.E.B. Ácidos húmicos. **Revista Ceres- SCIELO**, Viçosa-MG, v. 61, nov.-dec. 2014.

BEZERRA, M.S. **O potencial dos agrominerais alternativos na região Nordeste do Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. p. 48, (Série Rochas e Minerais Industriais, 15). ISBN 978-85-61121-68-6.

BERNARDI, A.C.C; BERNARDI, M.R.V; WERNECK, C.G.; HAIM, P.G.; MONTE, M.B. Produção, aparência e teores de nitrogênio, fósforo e potássio em alface cultivada em substrato com zeólitos. **Horticultura Brasileira**. v.23, n. 4. Brasília oct.-dec.2005.

BORCIONI, E.; MÓGOR, Á.F.; PINTO, F. Aplicação de ácido fúlvico em mudas influenciando o crescimento radicular e produtividade de alface americana. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 47, n. 3, p. 509-515, jul.-set. 2016.

BORGES, L.S.; GUERRERO, A.C.; GOTO, R.; LIMA, G.P.P. Produtividade e acúmulo de nutrientes em plantas de jambu, sob adubação orgânica e mineral. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 1, p. 83-94, jan.-fev. 2013.

BORGES, LS; GUERRERO, A.C.; GOTO, R.; LIMA, G.P.P. Teor de micronutrientes em plantas de jambu, com adubação orgânica e mineral. **Horticultura Brasileira**, 28: S3831-S3837. v. 28, n. 2, jul. 2010.

BREMNER, J. M. **Nitrogen-Total**. In D. I. et al SPARKS (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 3—Chemical Methods* (1st ed., pp. 1085–1121). Madison, EUA: Sssa Book. 1996.

CARVALHO, M.C.S.; NASCENTE, A.S. Calcário, gesso e efeito residual de fertilizantes na produção de biomassa e ciclagem de nutrientes de milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n.4, out.-dez. 2014.

CAVALCANTE, Í. H. L.; ROCHA, L.F.; JÚNIOR, G.B.S.; AMARAL, F.H.C.; NETO FALCÃO, R.; NÓBREGA, J.C.A. Fertilizantes orgânicos para o cultivo da melancia em Bom Jesus-PI. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Pernambuco, v. 5, n. 4, p. 518-524, out. 2010.

CESSA, R.M.A.; VITORINO, A.C.T.; CELI, L.; NOVELINO, J.O.; BARBERIS, E. Adsorção de fósforo em frações argila na presença de ácido fúlvico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa- MG, v. 34, n. 5, set.-out. 2010.

CHAVES, A.L.R. Boletim Técnico Aspectos Fitossanitários da Cultura da Alface. **Instituto Biológico**. São Paulo, n. 29, p. 126, jul. 2017.

CHICONATO, D.A.; SIMONI, F.; GALBIATTI, J.A.; FRANCO, C.F.; CAMELO, A.D. Resposta da alface à aplicação de biofertilizante sob dois níveis de irrigação. **Bioscience Journal**, Uberlândia, mar. 2013.

CIPOLETA, N.S. **Potencial de resíduos orgânicos na atenuação de contaminação por cobre de solo e água**. 2017. 75 f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia e Desenvolvimento Rural) – Centro de Ciências Agrárias- Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2017.

COELHO, M. R.; SANTOS, H.G.; BREFIN, M.L.M.; PÉREZ, D.V. Solos: Tipos, suas funções no ambiente, como se formam e sua relação com o crescimento das plantas. In: MOREIRA, F. M. S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R.; STÜMER, S. L. (Ed.). **O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal**. Lavras: UFLA, 2013. cap. 3, p. 45-62.

COVALSKI, C.A. de. **Influência da aplicação de Biochar e Zeólitos na dinâmica do azoto no sistema solo-planta**. 2018. Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Tecnologia Ambiental no âmbito da dupla diplomação com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Bragança, 2018.

DANTAS, A.M. **Materiais orgânicos e produção de alface americana**. 2011. 38 f. Monografia apresentada como parte das exigências do curso de Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília-UnB, Brasília, 2011.

DIAS, V.P. e FERNANDES, E. **Fertilizantes: uma visão global sintética**. BNDES Setorial, n. 24, p. 97-138, set. 2006.

ESPINDOLA, C.R. Revista do Instituto Geológico. **Material de origem do solo**, São Paulo, v.38, n.1, p. 59-70, 2017.

FERNANDES, R. Fertilização orgânica – algumas considerações. **Vida Rural**, 1830:30-31. set. 2017

FERNANDES, P.D.; OLIVEIRA, G.D. de; HAAG, H.P. **Nutrição mineral de hortaliças: absorção de macronutrientes pela cultura da alface**. In: HAAG, H.P.; MINAMI, K. (Ed.). Nutrição mineral em hortaliças. p. 143-151. Campinas, SP, 1981.

FERREIRA, R.D.S. **Eficácia de um composto de resíduos de cunicultura com palha na produtividade e qualidade da alface**. 2017. 82 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Biológica) – Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Viana do Castelo, 2017.

FONSECA, J.O.G. **Desempenho Agronômico de Alface e Rúcula em Função de Doses de Composto Fermentado em Condições de Cultivo Protegido, sob Manejo Orgânico em Nova Friburgo, RJ.** 2013. Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Agricultura Orgânica, no Programa de Pós-Graduação em Agricultura Orgânica. Seropédica, 2013.

FREITAS, G.A. Produção de mudas de alface em função de diferentes combinações de substratos. **Revista Ciência Agronômica-SCIELO**, Fortaleza, v. 4, n. 1, jan.-mar., 2013.

FURTADO SC. 2001. **Nitrogênio e fósforo na produtividade e nutrição mineral de alface americana cultivada em sucessão ao feijão após o pousio da área.** Lavras: UFLA. 78p. (Tese mestrado).

GARCIA, L.L.C; HAAG, H.P.; MINAMI, K.; SARRUGE, J.R. Nutrição mineral de hortaliças XL. **Concentração e acúmulo de micronutrientes em alface (*Lactuca sativa L.*) Cv. Brasil 48 e Clause´s Aurélia.** Anais da E.S.A “Luiz de Queiroz”. 1982.

GONÇALVES, T de O. **Caracterização físico-química, teor de nitrato e metais em alface (*Lactuca sativa L.*) do tipo crespa e americana cultivadas em sistema hidropônico e convencional.** 2016. Trabalho de Conclusão do Curso de Bacharelado em Engenharia de Alimentos, no Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de Mato Grosso – Campus Cuiabá - Bela Vista, 2016.

GONZÁLEZ, M.; JIMÉNEZ, L.; YÁNEZ, W.; PARDUCCI, P. Uso potencial de leonardita no cultivo de rosas em casa de vegetação. **Agronomia da Costa Rica**, San Pedro de Montes de Oca, v.42, n.1, jan.-jun. 2018.

GRANGEIRO, L.C.; COSTA, K.R.; MEDEIROS, M.A.; SALVIANO, A.M.; NEGREIROS, M.Z.; NETO, F.B.; OLIVEIRA, S.L. Acúmulo de nutrientes por três cultivares de alface cultivadas em condições do Semiárido. **Horticultura Brasileira**. v. 24, n. 2, Brasília, abr. 2006. Bras.

HARWARD, M.E.; JACKSON, W.A.; LOOT, W.L.; MASON, D.D. Effects of Al, Fe e Mn upon the growth and composition of lettuce. **Proceedings American Society Horticultural Science** 66: 261-266. 1955.

HENZ, G.P. e SUINAGA, F. Tipos de alface cultivados no Brasil. **Comunicado técnico 75**. Brasília, p. 7, nov. 2009.

IPMA (Instituto de Meteorologia- I.P.). O clima- **Normais climatológicas**- Fichas climatológicas 1971-2000. Portugal, 2020. Disponível em: <https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1971-2000/#575>. Acesso em 30 mar. 2020.

JONES JR, J. B. **Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis** (1st ed.). London, New York, Washington Dc: Crc Press Llc. 2001.

KANO, C.; CARDOSO, A.I.I.; VILLAS BÔAS, R.L. 2011. Acúmulo de nutrientes pela alface destinada à produção de sementes. **Horticultura Brasileira** 29: 70-77. v. 29, n. 1, jan. -mar. 2011.

KEREN, R. **Boron**. In **methods of soil analysis**, Part 3. Chemical Methods. Madinson: SSSA. 1996.

LADEIRA, L.C. **Valor agronômico de fertilizantes enriquecidos com microrganismos fixadores de azoto**. 2017. Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Agricultura Tropical, Bragança, 2017.

LAKANEN, E. e ERVIO, R. **A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils**. Acta Agr. Fenn (123), p. 223-232. 1971.

LEPSCH, I.F. **Formação e conservação dos solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

LOBO, T.F; FRANZOLIN MOTTA, A.B; GRASSI FILHO, H.; ALVES, P. **Produção e nutrição da alface através do aproveitamento de resíduos orgânicos pelo processo da compostagem**. I Congresso Paulista de Extensão Rural, Agudos. 2015.

LOPES MC; FREIER M; MATTE JD; GÄRTNER M; FRANZENER G; CASIMIRO ELN; SEVIGNANI A. 2003. Acúmulo de nutrientes de alface em cultivo hidropônico no inverno. **Horticultura Brasileira**. 21: 211-215.

LÜDTKE, A.C. **Matéria orgânica e produção de alface e cebolinha em argissolo vermelho com aplicação de fertilizantes alternativos**, Porto Alegre: 2014.

LUZ, A.L.F. **Fertilizantes, coberturas e condicionadores de solo no controle da cercosporiose do cafeeiro**. 2017. 55 f. Dissertação (Mestrado de concentração em Epidemiologia) - Programa de Pós- Graduação em Agronomia/ Fitopatologia- Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

LUZ, J.M.Q.; OLIVEIRA, G.; QUEIROZ, A.A.; CARREON, R. Aplicação foliar de fertilizantes organominerais em cultura de alface. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v .28 n.3, jul.-set. 2010.

MARCHI, E.C.S. **Influência da Adubação orgânica e de doses de material húmico sobre a produção de alface americana e teores de carbono no solo**, Lavras: 2006. Disponível em:

http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/3106/1/TESE_Influ%C3%A2ncia%20da%20aduba%C3%A7%C3%A3o%20org%C3%A2nica%20e%20de%20doses%20de%20material%20h%C3%BAmico%20sobre%20a%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20alface%20americana%20e%20teores%20de%20carbono%20no%20solo.pdf. Acesso em: 18 nov. 2019.

MARCHI, E.C.S.; ALVARENGA, M.A.R.; MARCHI, G.; SILVA, C.A.; SOUZA FILHO, J.L. Efeito da adubação orgânica sobre as frações de carbono de solos cultivados com alface americana. **Ciência Agrotec.**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1760-1766, nov. 2008.

MARCHI, E.C.S.; MARCHI, G.; SILVA, C.A.; DIAS, B.O.; ALVARENGA, M.A.R. Lettuce growth characteristics as affected by fertilizers, liming, and a soil conditioner. **Journal of Horticulture and Forestry**, mar. 2015.

MARTINS, F.B.; SPÓSITO, T.H.N.; PINTO, L.E.V.; ALVES, A.M.; BAVARESCO, L.G.; SOLDÁ, R.B.; ROOSLI, F.S.; MELLO, P.R.; TEIXEIRA, W.F. Produtividade da alface americana com diferentes composições de adubação química e orgânica em função do teor de nitrogênio. **Colloquium Agrariae**. v. 13, n. Especial, p. 155-160. jul.-dez, 2017.

MONTEIRO, J.M.R. **Influência do fosfato de Gafsa, da correção orgânica e da reação do solo, na produtividade da alface e da couve repolho no Modo de Produção Biológico**. 2011. Dissertação de Mestrado em Agricultura Biológica em Escola Superior Agrária de Ponte de Lima, Instituto Politécnico de Viana do Castelo. Ponte de Lima, 2011.

MOTTA, A.B.F. **Produção e nutrição mineral de alface sob adubação mineral, orgânica e biodinâmica**. 2016. Dissertação apresentada à Pro-reitoria de pesquisa e Pós-graduação da Universidade do Sagrado Coração, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental, Bauru, 2016.

NELSON, D.W. e SOMMERS, L.E. 1996. **Carbono total, carbono orgânico e matéria orgânica**. Em Métodos de análise do solo. Parte 3. Métodos Químicos-SSSA. Série de livros nº 5.

OLIVEIRA, C.P.; ALVAREZ, R.C.F.; LIMA, S.F.; CONTARDI, L.M. Produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar com o uso de condicionador de solo e bioestimulantes. **Revista Agrarian**, Dourados, v.6, n.21, 2013.

OLIVEIRA, E.Q.; SOUZA, R.J.; CRUZ, M. do C.M.; MARQUES, V.B.; FRANÇA, A.C. Produtividade de alface e rúcula, em sistema consorciado, sob adubação orgânica e mineral. **Horticultura Brasileira- SCIELO**, Brasília, v.28, n.1, jan.-mar. 2010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-05362010000100007&script=sci_arttext. Acesso em: 04 jan. 2020.

OLIVEIRA, Z.M. **Rizobactérias promotoras de crescimento vegetal isoladas de cana-de-açúcar sob fertilização orgânica e/ou convencional**. 2009. 165 f. Dissertação (Doutorado em Microbiologia) - Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

OLIVEIRA, L.B.; ACCIOLY, A.M.A.; SANTOS, C.L.R; FLORES, R.A.; BARBOSA, F.S. Características químicas do solo e produção de biomassa de alface adubada com compostos orgânicos. **Revista brasileira de engenharia agrícola ambiental**, v. 18, n. 2, Campina Grande, fev. 2014.

ORTIZ, A.A.A.; DIZAS, R.A.N. **Obtención de abono enriquecido a partir de roca fosfórica y leonardita mediante procesos piro metalúrgicos y químicos**. 2010. 66 f. Trabalho de graduação apresentado como requisito parcial para obter o título de Engenheiro Químico, Universidade Industrial de Santander, Facultad de Ingenierias Fisicoquimicas, Escuela de Ingenieria Quimica, Bucaramanga, 2010.

PEIXOTO FILHO, J.U.; FREIRE, M.B.G Dos S.; FREIRE, F.J.; MIRANDA, M.F.A.; PESSOA, L.G.M. e Karina M. KAMIMURA, K.M. Produtividade de alface com doses de esterco de frango, bovino e ovino em cultivos sucessivos. **Revista brasileira de engenharia agrícola ambiental**, v.17, n.4, Campina Grande abr. 2013.

PEREIRA, D.C.; NETO, A.W.; NÓBREGA, L.H.P. Adubação Orgânica e algumas aplicações agrícolas. **Revista Varia Scientia Agrárias**, v. 3, n.2, jul. 2013.

PEREIRA, D.C. **Efeitos de adubação orgânica e mineral associadas ao biochar sobre os parâmetros do solo e produtividade da alface**. 2016. 68 f. Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Engenharia Agrícola, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, área de concentração de Recursos hídricos e saneamento ambiental, Cascavel, 2016.

PETTER, F.A.; ANDRADE, F.R.; JUNIOR, B.H.M.; GONÇALVES, L.G.V.; SOUZA, T.R.S. Biochar como condicionador de substrato para a produção de mudas de eucalipto. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 4, p. 44-51, out-dez., 2012.

PIETROSKI, M.; TEIXEIRA, S.O.; CARDOSO, M.A.; CLAUDINO, W.V.; DOMINGUES, T.R.; CAIONE, G. **Doses de boro em solo cultivado com alface**. XXXV Congresso Brasileiro de Ciências do Solo. Natal, 2015. Disponível em: <https://www.eventossilos.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/2428.pdf>. Acesso em 25 set. 2020.

QUILUMBANGO, D.A.F. **Respuesta de la palma aceitera (*Elaeis guineensis jacq.*) a la aplicación de sustancias húmicas de leonardita y un bioestimulante**. 2015. 90 f. Tesis de grado previa a la obtención del título de ingeniero agrónomo, Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas, Quito, 2015.

RABELO, K.C.C. **Fertilizantes organomineral e mineral: aspectos fitotécnicos na cultura do tomate industrial**. 2015. 70 F. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração: Solo e Água, Goiânia, 2015.

RONQUIM, C.C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 8**, Campinas, n.1, p. 26, 2010.

RESENDE, G.M.; ALVARENGA, M.A.R.; YURI, J., SOUZA, R.J. Doses de nitrogênio e molibdênio no rendimento e teor de micronutrientes em alface americana. **Horticultura Brasileira**. v. 28, n. 3, Brasília jul.-set. 2010.

ROSSI, C.Q.; PEREIRA, M.S.; GIACOMO, S.G.; BETTA, M.; POLIDORO, J.C. **Frações húmicas da matéria orgânica do solo cultivado com soja sobre palhada de braquiária e sorgo**, Campinas, n. 3, 2011.

SAITO, B. e SECKLER, M.M. Extração alcalina de substâncias húmicas da turfa aplicada à produção de fertilizantes minerais-orgânicos. **Revista Brasileira de Engenharia Química- SCIELO**, São Paulo, v. 31, n.3, set. 2014.

SALAS, L.L.P. **Influencia de la fertilización de ácidos húmicos (leonardita) sobre los rendimientos del pepinillo híbrido (stonewall f-1) lamas – san martín**. 2017. 85 f. Tesis para optar el título profesional de ingeniero agrónomo, Universidad Nacional de San Martín- Tarapoto, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela profesional de Agronomía, Tarapoto, 2017.

SALVADOR, J.T.; CARVALHO, T.C.; LUCCHES, L.A.C. Relações cálcio e magnésio presentes no solo e teores foliares de macronutrientes. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias Ambient.**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 27-32, jan./mar. 2011.

SANCHEZ, C.A.; SNYDER, G.H.; BURDINE, H.W. DRIS evaluation of nutritional status of crisphead lettuce. **Hort Science**, Alexandria, n.26, n.3, p.274-6, 1991.

SANDRI, D.; MATSURA, E.E.; TESTEZLAF, R. Teores de nutrientes na alface irrigada com água residuária aplicada por sistemas de irrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.45-57, jan.-abr, 2006.

SANTOS, A.P.R. **Características Agronômicas e Qualidade da Alface (*Lactuca sativa* L.) sob fertilização orgânica e mineral**. 2016. F. 14. Dissertação (Doutorado em Agronomia) - Universidade de Brasília Faculdade de Agronomia e Medicina veterinária Programa de pós-graduação em Agronomia, Brasília, 2016.

SANTOS, J.Q. Agricultura biológica e fertilização. **Revista de Ciências Agrárias- SCIELO**, Lisboa, v.35, n.1, jun. 2012. Disponível em:

SARMIENTO, D.C. **Efecto de la leonardita sobre la eficiencia del nitrógeno en el cultivo de arroz (*oryza sativa* L.)**. 2014. 77 f. Tesis de grado previa a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo, Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Agrarias, Ecuador, 2014.

SEVERINO, L.S.; FERREIRA, G.B.; MORAES, C.R.A.; GONDIM, I.M.S.; CARDOSO, G.D.; VIRIATO, J.R.; BELTRÃO, N.E.M. Produtividade e crescimento da mamoneira em resposta à adubação orgânica e mineral. Notas científicas. **Pesquisa agropecuária brasileira- SCIELO**, Brasília, v.41, n.5, mai. 2006.

SILVA, A.S.N. **Doses de fósforo e potássio na produção de alface**. 2013. Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Ciência do Solo), Jaboticabal, 2013.

SILVA, D.L. **Efeito da aplicação de condicionadores do solo na biodisponibilidade de metais pesados**. 2018. 93 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) - Escola Superior Agrária de Bragança, Bragança, 2018.

SILVA, R.S. **Liberção de fósforo de fertilizantes mineral e organomineral e sua influência na fase inicial da cultura do milho**. 2018. Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Dourados, 2018.

SILVEIRA, M.L.; FERRACCIÚ, L.R.; CHANG, A. Condicionadores químicos de solo e retenção e distribuição de cádmio, zinco e cobre em latossolo tratados com biossólidos. **Revista Brasileira de Ciência dos Solos**, n. 32, p. 1087-1098, 2008.

SIMÕES, A.C. **Qualidade da muda e produtividade de alface orgânica com diferentes condicionadores de substrato**. 2014. 42 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia- Concentração em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

TEIXEIRA, W.G.; KERN, D.C.; MADARI, B.E.; LIMA, H.N.; WOODS, W. **As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária- Embrapa Ocidental, 2009. p. 421, 1 ed. ISBN 978-85-89111-06-5.

THOMAZINI, A.; VENANCIO, L.P.; FREITAS, A.R.; MARTINS, L.D.; LOPES, J.C. Influência do condicionador de solo fertium® na germinação e no desenvolvimento de plântulas de *helianthus annuus* l. **Revista Verde**, Mossoró, v. 6, n,2, abr.-jun. 2011, p. 238 – 242, 2011.

TIRITAN, C.S; SANTOS, D.H.; FOLONI, J.S.S.; ALVES JÚNIOR, R. Adubação fosfatada mineral e organomineral no desenvolvimento do milho. **Colloquium Agrariae**, v. 6, n.1, jan.-jun. 2010, p. 08-14, 2011.

TISCHER, J.C. e NETO, M.S. Avaliação da deficiência de macronutrientes em alface crespa. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, São Paulo, v. 16, n. 2, 2012.

REEUWIJK, V. 2002. **Procedimentos para análise do solo**. Artigo Técnico 9. O ISRIC. Fao, fao. (PerkinElmer Pinaacle 900T).

VELIZ, J.D.C. **Aplicación de soluciones nutritivas inyectadas y en drench más la adición de leonardita en el cultivo de plátano (*musa aab.*) en el cantón el triunfo**. 2018. 82 f. Tesi de graduación para obtención del título de Ingeniero Agrónomo, Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Agrarias, Guayaquil, 2018.

VEZZANI, F.M e MIELNICZUK, J. **O Solo como Sistema**. 1 ed. Curitiba: Edição dos autores, 2011. p. 104. ISBN 978-85-908740-0-3.

VIDIGAL, S. M.; RIBEIRO, A. C.; CASALI, V. W. D.; FONTES, L. E. F. Resposta da alface (*Lactuca sativa* L.) ao efeito residual da adubação orgânica: I. Ensaio de campo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 42, n. 239, p. 80-88, 1995.

WALINGA, I., VAN VARK, W., HOUBA, V.J.G., VAN DER LEE, J.J. **Soil and Plant Analysis**. Part 7 Plant analysis procedures. Landbouwniversiteit Wageningen. 1997.

WEATHERSPARK. **Condições meteorológicas médias de Bragança Portugal**. 2020. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/33562/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Bragan%C3%A7a-Portugal-durante-o-ano#Sections-BestTime>. Acesso em: 17 out. 2020.

YURI, J.E.; MOTE, J.H.; RESENDE, G.M.; SOUZA, R.J. **Nutrição e adubação da cultura da alface**. In: PRADO, R.M.; CECÍLIO FILHO, A.B. (edit.). Nutrição e adubação de hortaliças. Jaboticabal: FCAV/CAPEL, 2016. p. 559-577.

ZANDONADI, D.B.; SANTOS, M.P.; MEDICI, L.O; SILVA, J. Ação da matéria orgânica e suas frações sobre a fisiologia de hortaliças. **Horticultura Brasileira-SCIELO**, Vitória da Conquista, v .32, n. 1, jan.-mar. 2014.