



CATÓLICA

FACULTY OF BIOTECHNOLOGY

PORTO

ESTUDO DE UMA FONTE ALTERNATIVA DE POTÁSSIO NA NUTRIÇÃO E
CRESCIMENTO DA ALFACE (*LACTUCA SATIVA*)

por

Filipa Pereira da Costa

Agosto, 2021



CATÓLICA

FACULTY OF BIOTECHNOLOGY

PORTO

ESTUDO DE UMA FONTE ALTERNATIVA DE POTÁSSIO NA NUTRIÇÃO E
CRESCIMENTO DA ALFACE (*LACTUCA SATIVA*)

Tese apresentada à Escola Superior de Biotecnologia da Universidade Católica
Portuguesa para obtenção do grau de Mestre em Biotecnologia e Inovação

por

Filipa Pereira da Costa

Supervisor (Nutrinova): Engenheiro José Melo

Orientadora (Universidade): Professora Doutora Marta Wilton Pereira Leite de
Vasconcelos

Agosto, 2021

RESUMO

A “Revolução Verde” dos anos 50 permitiu aumentar a produção de alimentos de origem vegetal, uma vez que o melhoramento genético das culturas, o desenvolvimento de herbicidas, pesticidas e fertilizantes, e os melhoramentos nas maquinarias agrícolas e sistemas de irrigação auxiliaram as práticas de cultivo. Todos estes desenvolvimentos permitiram o aumento das áreas agrícolas cultivadas e um aumento da produção. No entanto, estes desenvolvimentos não estiveram alinhados com os princípios de desenvolvimento sustentável. De forma a reduzir a dependência de fertilizantes químicos de K e, numa perspetiva de economia circular, de aproveitamento de resíduos que de outra forma seriam descartados, o presente trabalho pretendeu avaliar a aplicabilidade de um derivado da indústria da panificação como fertilizante orgânico (FO) alternativo, rico em K e testar a sua eficácia em culturas de alface (*Lactuca sativa* L.) cultivadas em hidroponia, comparando-o com o fertilizante potássico comercial (KNO_3). Para o estudo realizaram-se três experiências. Numa primeira experiência, a fonte de K foi suprimida, a fim de perceber o comportamento das plantas, face à inexistência de K; na experiência 2 a fonte de FO foi utilizada em 100% e por último, numa experiência 3, a fonte FO reduzida para 50%. Através dos resultados obtidos, concluímos que plantas suplementadas com 0% K apresentaram concentrações significativamente diferentes, de $\cong 53$ vezes inferiores de K, face ao controlo, e que plantas suplementadas com 100% FO apresentaram concentrações de $\cong 1.1$ vezes superiores relativas a plantas controlo, provando que a fonte de K, proveniente no FO, consegue estar disponível para absorção das plantas. Por último e reduzindo a fonte de K para 50%, a concentração de K foi de apenas $\cong 1.0$ vez inferior, relativamente ao controlo, levando-nos a concluir que fornecendo metade da dose de FO, o comportamento das plantas face ao nutriente K não é comprometido. Ao nível de peso seco (PS) foliar ambas as experiências apresentaram respetivamente valores de $\cong 1.8$, 1.0 e 1.3 vezes inferiores, face ao controlo. A experiência 3 demonstrou ter menor diferença face ao número médio de folhas e a experiência 2 menor diferença na % de N absorvida, relativamente a plantas controlo. Através deste trabalho, podemos assim concluir que a fonte alternativa de K, proveniente do fertilizante orgânico (FO) testada é uma fonte potencialmente interessante para uma exploração futura no desenvolvimento de novas formulações comerciais de fertilizantes para a alface.

Palavras-chave: Alface, economia circular, inovação, nutrientes, potássio.

ABSTRACT

The “Green Revolution” occurred during the 1950s has allowed an increasing production of food from plant origins, as it was accompanied by the improvement of genetic culture,; the development of herbicides, pesticides and fertilizers and the progress of agricultural machinery and irrigation systems, that have assisted cultivation practices. These advancements granted increasing agricultural areas and their production. Notwithstanding the progress, it has not evolved with the principals of sustainable growth. In order to reduce K chemical fertilizers dependency and, in a circular economy perspective of using waste that would otherwise be discarded, this study aimed to evaluate the applicability of an alternative K rich organic fertilizer (OF), yielded from the bakery industry, and to test its efficacy in hydroponic lettuce cultures (*Lactuca sativa L*), comparing it with the commercial potassium fertilizer (KNO_3).

For this study three, experiments have been made. In the first, K source has been suppressed, to understand plants’ behaviour facing K absence; in the second 100% OF was applied, and in the last the OF source was reduced to 50%.

Through the resulted obtained we conclude that, comparing to control, plants supplemented with 0% K showed a significant different concentration, $\cong 53$ times lower than K, and that plants supplemented with 100% OF showed a concentration of $\cong 1.1$ times superior, proving that a source of K, from OF, were available for the plant absorption.

Lastly, by reducing K source to 50%, and comparing it to the control, its concentration was $\cong 1.0$ times inferior, leading us to conclude that by giving half of the OF dose, the plants behaviour through K is not compromised.

Regarding the leaf dry weight (DW), both experiments showed that matching with control, values were, accordingly, $\cong 1.8$, 1.0 e 1.3 times inferior. The third experiment showed a smaller difference in the medium leaf number and the second lower % of absorbed N, compared with the control.

Through this work, we can conclude that an alternative K source, from organic fertilizer, may potentially be attractive for future exploration in the development of new commercial lettuce fertilizers.

Keywords: Lettuce, circular economy, innovation, nutrients, potassium.

AGRADECIMENTOS

As primeiras palavras deste documento são de sincero agradecimento à Universidade Católica Portuguesa no Porto, na pessoa da Professora Doutora Isabel Vasconcelos, diretora da Escola Superior de Biotecnologia (ESB), por proporcionar as condições necessárias à realização desta dissertação.

À Professora Doutora Marta Vasconcelos, o meu sincero agradecimento pela orientação e apoio durante o decorrer deste trabalho; todo o carinho e atenção dispensados durante esta etapa foram muito importantes.

Ao Engenheiro Melo, responsável por este projeto na Empresa Nutrinova, que me possibilitou a realização do mesmo, um sincero obrigado por esta oportunidade, pela iniciativa do projeto, pela paciência, apoio crítico, instrução, disponibilidade e por todo o contributo e conhecimento transmitidos na concretização deste trabalho.

Agradeço a todos os membros da Empresa Nutrinova, que de certa forma, contribuíram para o meu progresso.

A todos os Docentes do Mestrado de Biotecnologia e Inovação Alimentar, que contribuíram para o meu progresso académico e desenvolvimento, alargando os meus horizontes em relação aos vastos assuntos lecionados na Pós-Graduação.

Ao Luís, um agradecimento especial pela compreensão e ternura manifestados durante esta fase, pelas palavras doces e reconfortantes.

Expresso as minhas palavras de agradecimento aos meus Pais, por serem o pilar da minha vida. Não tenho palavras para agradecer todo o seu amor e dedicação. A eles um sincero OBRIGADO!

Por último, dedico esta monografia à memória do meu avô Vasco Martins da Costa.

ÍNDICE DE TEXTO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Potássio em nutrição vegetal	1
1.2	Potássio nos solos	4
1.3	Absorção de K pelas plantas.....	6
1.4	Importância dos fertilizantes na nutrição vegetal	9
1.5	Fertilizantes orgânicos	11
1.6	Alface.....	12
1.7	Hidroponia	14
2	OBJETIVOS	17
3	MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1	Material Vegetal e Condições de Crescimento.....	18
3.2	Soluções nutritivas.....	21
3.2.1	Caracterização do fertilizante orgânico (FO)	21
3.3	Solução Controle	22
3.4	Tratamentos	24
3.5	Análise do material vegetal	24
3.6	Parâmetros físico-químicos	25
3.7	Análise estatística	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
4.1	Caracterização do fertilizante orgânico (FO)	26
4.2	Avaliação do efeito da carência de K no crescimento da alface (Experiência 1).....	26
4.3	Avaliação do FO como fonte alternativa de K (Experiência 2)	27
4.4	Avaliação do FO a 50% como fonte alternativa de K (Experiência 3)	28

4.5	Evolução do pH das soluções nutritivas	28
4.6	Evolução da condutividade elétrica (CE) das soluções nutritivas	31
4.7	Peso fresco (PF) e peso seco (PS) da parte aérea (PA) e parte radicular (PR)	34
4.8	Acumulação de Nutrientes- Parte Aérea	39
4.9	Acumulação de Nutrientes- Parte Radicular	46
4.10	Número de folhas produzido	49
4.11	Altura, comprimento das raízes e clorofila	51
4.12	Clorofila e % de azoto (N).....	54
5	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	56
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
	ANEXOS.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Esquema simplificado do ciclo de K. Interação entre o solo e a planta (Gregory & Stephen, 2013).	5
Figura 1.2: Esquema simplificado do funcionamento dos mecanismos gerais HATS e LATS em células vegetais. No mecanismo HATS o fluxo termodinamicamente positivo do íon K^+ é conduzido pelo fluxo negativo do íon H^+ . O balanço de cargas é levado pelo bombeamento de dois íons H^+ para fora do citosol, através de uma H^+ -ATPase, presente na membrana plasmática. No mecanismo LATS, pelo contrário, a entrada do íon K^+ para o citosol é equilibrado com a saída do íon H^+ , através da membrana plasmática, acionado por uma H^+ -ATPase (Britto & Kronzucker, 2008).	9
Figura 1.3: Área (ha) das principais culturas hortícolas relativas ao ano de 2016, 2017 e 2018. Fonte: (INE, 2019).	14
Figura 3.1: Material vegetal utilizado nos diferentes ensaios hidropónicos realizados. Do lado esquerdo da figura encontra-se o material vegetal com o substrato a envolver a parte radicular da plântula e do lado direito o material vegetal depois da lavagem.	18
Figura 3.2: Cestos de rede de 55mm utilizados como suporte ao material vegetal nos ensaios hidropónicos realizados. Do lado direito da figura podemos observar o encaixe do cesto de rede nos tubos de hidroponia.	19
Figura 3.3: Sistema GroLab™ utilizado para a monitorização do crescimento hidropónico das plântulas, servindo como auxílio ao controlo das soluções nutritivas.	20
Figura 4.1: a) Plantas crescidas sem fonte de K (esquerda) e com 15,00 g/L de KNO_3 e 193 ppm de K de KNO_3 (direita) e b) Plantas crescidas com 15,00 g/L de KNO_3 e 193 ppm de K de KNO_3 (esquerda) e sem fonte de K (direita).	26
Figura 4.2: a) Plantas crescidas durante 12 (a) e 13 (b) dias com FO a 100% e solução controlo a 15,00 g/L de KNO_3 e 193 ppm de K de KNO_3	27
Figura 4.3: Plantas suplementadas com solução 50% FO (3 calhas da esquerda) e com solução controlo com KNO_3 (3 calhas à direita).	28
Figura 4.4: Registos de pH das soluções nutritivas controlo (KNO_3) e respetivos tratamentos 0% K ou 100% FO, relativos às experiências 1 (10 dias) 2.1 (12 dias) 2.2 (13 dias) e 3 (13 dias).	30

Figura 4.5: Registos de condutividade (mS/cm) das soluções nutritivas controlo (KNO ₃) e solução com 100% FO observados ao longo de 12 (experiência 2.1) e 13 (experiência 2.2) dias de ensaio.	32
Figura 4.6: Peso fresco (PS) (g) e peso seco (PS) (g) da parte foliar ou radicular referentes às 4 experiências realizadas (experiências 1, 2.1, 2.2 e 3), com plantas de alface cultivadas durante 10, 12, 10 e 13 dias respetivamente, com uma solução controlo, com KNO ₃ ou solução sem K, 100% FO ou 50% FO. Cada barra vertical representa o número médio de 8 réplicas biológicas e cada linha vertical representa o desvio padrão. Barras com (*) são estatisticamente diferentes a P<0,05.	35
Figura 4.7: Teor de macronutrientes ou micronutrientes referentes à experiência 1, em folhas de plantas de alface crescidas em hidroponia durante 10 dias com uma solução controlo (KNO ₃) ou solução sem K. Cada barra vertical representa a média de 7 réplicas biológicas e cada linha vertical representa o desvio padrão. Barras com (*) são estatisticamente diferentes para cada elemento a P<0,05.	40
Figura 4.8: Teor de macronutrientes ou micronutrientes referentes à experiência 2.1 (12 dias) e 2.2 (13 dias), em folhas de plantas de alface crescidas em hidroponia em solução controlo (KNO ₃) ou com 100% FO. Cada barra vertical representa a média de 8 réplicas biológicas e cada linha vertical representa o desvio padrão. Barras com (*) são estatisticamente diferentes da respetiva solução controlo a P<0,05.	42
Figura 4.9: Teor de macronutrientes ou micronutrientes referentes à experiência 3, em folhas de plantas de alface crescidas em hidroponia durante 10 dias com uma solução controlo ou solução teste. Cada barra vertical representa a média de 8 réplicas biológicas e cada linha vertical representa o desvio padrão. Barras com (*) são estatisticamente diferentes da respetiva solução controlo a P<0,05.	44
Figura 4.10: Teor de macronutrientes e micronutrientes referentes à experiência 2.2 (13 dias), em raízes de plantas crescidas em solução controlo (KNO ₃) ou em solução 100% FO e referentes à experiência 3 (10 dias), em raízes de plantas crescidas em solução controlo (KNO ₃) ou em solução 50% FO. Cada barra vertical representa a média de 8 réplicas biológicas e cada linha vertical representa o desvio padrão. Barras com (*) são estatisticamente diferentes a P<0,05.	48

-
- Figura 4.11:** Número médio de folhas referentes às 3 experiências realizadas, com plantas de alface cultivadas durante 10, 12, 10 e 13 dias respectivamente, com uma solução controle ou sem K, 100% FO ou 50% FO. Cada barra vertical representa o número médio de 8 réplicas biológicas e cada linha vertical representa o desvio padrão. Barras com (*) são estatisticamente diferentes do respectivo controle, a $P < 0,05$ 49
- Figura 4.12:** Altura das plantas (cm) e comprimento das raízes (cm), das plantas crescidas com 100% FO (experiência 2.2) e 50% FO (experiência 3), comparativamente às plantas controle, suplementadas com KNO_3 , cultivadas durante 10 e 13 dias respectivamente. Cada barra vertical representa o número médio de 8 réplicas biológicas e cada linha vertical representa o desvio padrão. Barras com (*) são estatisticamente a $P < 0,05$ 52
- Figura 4.13:** Média dos valores de clorofila em plantas crescidas em solução controle ou em solução com 100% FO (a) ou 50% FO (b), durante 10 e 13 dias respectivamente..... 54

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1: Superfície (ha) e produção (t) de alface em Portugal, relativa aos anos de 2016, 2017 e 2018. Fonte: (INE, 2019).....	13
Tabela 3.1: Comparação das soluções nutritivas da bibliografia. Os elementos estão expressos em partes por milhão (ppm).....	22
Tabela 3.2: Composição em ppm da solução controlo.....	23
Tabela 3.3: Reagentes e quantidades utilizadas na formulação da solução controlo (g/L).	23
Tabela 4.1: Peso fresco (PS) (g) e peso seco (PS) (g) da parte aérea (PA) ou radicular (PR) referentes às 4 experiências realizadas (experiência 1, 2.1, 2.2 e 3), com plantas de alface cultivadas durante 10, 12, 10 e 13 dias respetivamente, com uma solução controlo ou respetivo tratamento.	36
Tabela 4.2: Tabela resumo das três experiências, relativa à quantidade de K, Ca, Mg, Na, Zn, Mn, Fe e P em ppm acumulada pela parte foliar da alface controlo (KNO ₃) e alface crescida em solução nutritiva com 100% ou 50% FO em substituição do KNO ₃	45
Tabela 4.3: Resumo das duas experiências, relativa à concentração (ppm) de K, Ca, Mg, Na, Zn, Mn, Fe e P absorvida pela parte radicular de plantas de alface crescidas na solução controlo ou com 100% ou 50% FO como fonte de K.....	47
Tabela 4.4: Tabela resumo das três experiências, relativa ao número médio de folhas de plantas de alface / 5 réplicas biológicas, suplementadas com solução controlo e respetivo tratamento, relativos às experiências 1, 2.1, 2. 2 e 3.	50
Tabela 4.5: Altura média (cm) e comprimento das raízes (cm), das plantas crescidas com 100% FO (experiência 2.2) e 50% FO (experiência 3), durante 10 e 13 dias respetivamente, comparativamente às plantas controlo, suplementadas com KNO ₃	53
Tabela 4.6: Número médio de N (%), de 8 réplicas biológicas referentes à parte aérea das plantas, relativamente às 4 experiências realizadas (experiência 1, 2.1, 2.2 e 3).	55

ABREVIATURAS E SIMBOLOGIA

FAO- Food and Agriculture Organization;

K- Potássio;

NPK- Azoto, fósforo e potássio;

C- Carbono;

O- Oxigénio;

H- Hidrogénio;

Ppm- Partes por milhão;

%- Percentagem;

N- Azoto;

P- Fósforo;

Mg- Magnésio;

Ca- Cálcio;

S- Enxofre;

Cl- Cloro;

Cu- Cobre;

Fe- Ferro;

Zn- Zinco;

Mn- Manganês;

Mo- Molibdénio;

B- Boro;

Ni- Níquel;

Na- Sódio;

Co- Cobalto;

Se- Selénio;

I- Iodo;

Si- Silício;

Al- Alumínio;

K⁺- Catião potássio;

CTC- Capacidade de troca catiónica;

HATS- High affinity transport system;
LATS- Low affinity transport system;
ROS- reactive oxygen species;
CO₂- Dióxido de carbono;
O₂- Oxigênio;
MO- Matéria orgânica;
KNO₃- Nitrato de potássio;
PF- Peso fresco;
PS- Peso seco;
NaOH- Hidróxido de sódio;
C₈H₈O₇- Ácido cítrico;
CaNO₃- Nitrato de cálcio;
W- Watt- Unidade de potência do Sistema Internacional de Unidades (SI);
NH₄H₂PO₄- Fosfato monoamônico;
MgSO₄.7H₂O- Sulfato de magnésio hepta hidratado;
CuSO₄.5H₂O- Sulfato de cobre penta hidratado;
ZnSO₄.H₂O- Sulfato de zinco mono hidratado;
MnSO₄.H₂O- Sulfato de manganês mono hidratado;
HBO₃- Ácido bórico;
Na₂MoO₄.2H₂O- Molibdato de sódio di hidratado;
EDTA- Ácido etilenodiamino tetra-acético;
Fe₂O₃- Óxido de ferro;
FeSO₄- Sulfato de ferro;
ATP- Trifosfato adenosina;
ADP- Difosfato adenosina;
FO- Fertilizante orgânico;
IPC- OES- Inductively coupled plasma argon spectrometry;

1 INTRODUÇÃO

1.1 Potássio em nutrição vegetal

As plantas necessitam de catorze nutrientes minerais para o seu normal funcionamento e crescimento. Os nutrientes minerais dividem-se em macro e micronutrientes, de acordo com as quantidades necessárias para a nutrição das plantas. Estas quantidades estão relacionadas com os teores observados nos tecidos vegetais. Os macronutrientes, na sua maioria, estão presentes em concentrações entre 0,1-5,0 % ou 100-5000 ppm no tecido vegetal seco, enquanto os micronutrientes estão disponíveis em valores bastantes inferiores, na ordem de 0,025 % ou 250 ppm. De acordo com (Jones e Jacobsen, 2005), um elemento é classificado como essencial, se obedecer a determinados critérios: quando a planta não consegue completar o seu ciclo de vida sem a sua presença, se a sua função não puder ser substituída por outro elemento e ainda, se o elemento estiver diretamente envolvido no metabolismo da planta, no crescimento e reprodução da mesma. Para além dos catorze elementos minerais, existem três nutrientes essenciais: o carbono (C), o oxigénio (O) e o hidrogénio (H). Embora não lhes seja conferida uma especial importância, uma vez que se encontram geralmente disponíveis para a planta, através do ar e da água, representam 95% da massa vegetal. Nutrientes como o azoto (N), fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca) e enxofre (S) são classificados como macronutrientes, enquanto nutrientes como o cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), molibdénio (Mo), boro (B) e níquel (Ni) constituem os principais micronutrientes, encontrados nas plantas. Estes, ao contrário dos macronutrientes, são nutrientes que quando absorvidos em grande quantidade podem causar intoxicações às plantas (Brito, 2017)

Existem ainda outros elementos, como é o exemplo do sódio (Na), cobalto (Co), selénio (Se), iodo (I), silício (Si) e alumínio (Al), que, embora sejam encontrados na planta, não são considerados essenciais para o seu desenvolvimento. Contudo, podem, em muitos casos, reduzir efeitos de toxicidade provocados por outros elementos (Téllez e Merino, 2012).

O N é responsável pela síntese de diversos constituintes da planta através da ação de diferentes enzimas, estimulando o desenvolvimento vegetativo; o P é particularmente importante nos estágios iniciais do desenvolvimento das plantas, é necessário em grandes quantidades em células jovens, uma vez que ajuda o desenvolvimento das raízes, flores e frutos. No caso particular do K, este nutriente, absorvido na forma de catião K^+ , é o elemento mais abundante das células vegetais, podendo representar até 10% do peso seco da planta (Szczerba, Britto, e Kronzucker, 2009; White et al., 2010). Entre diversas funções, o K é responsável pela ativação de diversas reações enzimáticas, ativando aproximadamente 60 enzimas diferentes, envolvidas no crescimento das plantas (Armstrong e Griffin, 1998; Leigh e Jones, 1984; Pyo, Gierth, Schroeder, e Cho, 2010; Sardans e Peñuelas, 2015; Schachtman e Liu, 1999). Adicionalmente, desempenha um papel essencial na formação de amido e na produção e translocação de açúcares, para além de aumentar a capacidade das plantas de resistir a doenças, a diferenças de temperatura, ataque de insetos entre outras condições adversas (Wang *et al.*, 2013; Khalid e Shedeed, 2015; Tnau Agritech Portal, 2014).

O papel do K é também importante em diversos processos como a fotossíntese, a respiração e o transporte de água e de nutrientes. Sem a sua presença, estes processos ficariam comprometidos. A sua principal função é controlar a abertura e fecho dos estomas, evitando que existam perdas para o exterior das folhas. No processo de transpiração, o K confere uma importância particular, uma vez que é responsável pelo transporte de água para os estomas, provocando a sua acumulação (Genuncio, Gomes, Ferrari, Majerowicz, e Zonta, 2012; Taiz e Zeiger, 2002; Tiwari, Joshi, Vyas, e Billore, 2001; Yin et al., 2019). Como consequência dessa retenção, as células incham, tornando-se túrgidas e permitindo consequentemente a abertura e fecho dos poros estomáticos. Deste modo, a troca de gases para o interior e para o exterior da planta fica facilitada. Quando há carência de K, o processo de abertura e fecho dos estomas, torna-se mais lento, ficando a planta sujeita a *stress* hídrico (Armstrong e Griffin, 1998). Para além de todas estas funções, o K tem ainda um papel importante na síntese proteica, na produção de açúcares e amidos, no transporte e acumulação de hidratos de carbono e na divisão celular. Além disso, regula o fluxo da seiva, atua na manutenção do potencial transmembranar e na manutenção da coloração das folhas (Carrijo et al., 2000; Sardans e Peñuelas, 2015).

Os nutrientes encontram-se na planta dentro de uma determinada gama de valores, que é específica de cada nutriente. Quando os níveis de um determinado nutriente se encontram fora do intervalo correspondente, a saúde da planta fica comprometida, afetando em geral, o seu crescimento e desenvolvimento. Se por um lado, deficiência nutricional se caracteriza como a quantidade insuficiente de um dado nutriente ou pela sua total inexistência, por outro lado, a toxicidade, ocorre quando as quantidades máximas excedem os valores normais necessários para o correto desenvolvimento da planta (Ann McCauley, Jones, e Jacobsen, 2011). No caso específico do K a sua ausência começa a ser visível nas folhas mais velhas, uma vez que este nutriente é encaminhado das folhas mais antigas, para as mais jovens, comprometendo assim o desenvolvimento da planta, afetando diversas funções vitais, bioquímicas e fisiológicas (Luan et al., 2017; Tiwari et al., 2001).

Tal como acontece com K, quando existem deficiências de N, P ou Mg, as plantas tendem a movimentar os nutrientes das folhas mais antigas para as partes mais jovens através do floema (Grundon, 1987). De acordo com (Fageria, 2009), a deficiência de N e/ou de P é facilmente identificável através da mudança na coloração das folhas, no entanto, a deficiência de K não é imediatamente observável, caracterizando-se essencialmente pela mudança de coloração das extremidades das folhas. Uma das primeiras evidências de deficiência de K nas plantas é o crescimento lento da planta, não sendo em todos os casos, um sintoma facilmente identificado. Por outro lado, na maioria das plantas, as folhas mais envelhecidas são as primeiras a começar a manifestar sintomas. Em alguns casos, as plantas apresentam pequenas faixas sintomática ao longo das margens da folha, estendendo-se em direção à base (Ashfaq, Hussain, e Athar, 2015). A pigmentação das extremidades é identificada através da coloração acastanhada, tornando-se posteriormente zonas necrosadas (Emanuel Epstein e Bloom, 2005). Em termos celulares, as células das margens da folha, perdem a turgidez, conferindo-lhes um aspeto flácido, enrugado e enrolado. Em frutos como o tomate, a maturação é perturbada, comprometendo o seu amadurecimento. A estrutura de caules com deficiências em K, tende a ser mais fraca e com um aspeto mais delgado comparativamente a caules de plantas bem nutridas (Smith, Asher, e Clark, 1987; Taiz e Zeiger, 2002).

1.2 Potássio nos solos

Nos solos, a quantidade de K total varia cerca de 0,01 % até aproximadamente 4 %, embora os valores médios sejam de sensivelmente 1 %, de acordo com o tipo de solo. Os valores de K nos solos, podem ser influenciados, de acordo com cada cultura. Como exemplo, culturas de batatas podem variar entre 300 kg de K por hectare de matéria seca enquanto culturas de cereais entre 5-10 toneladas podem variar entre 200 a 300 kg de K por hectare (Gregory e Stephen, 2013). A forma como os nutrientes são encontrados no solo vai ditar a sua disponibilidade para as plantas e conseqüentemente a sua absorção, existindo assim três formas diferentes para serem encontrados no solo: (i) forma assimilável, (ii) forma permutável e (iii) forma dissolvida.

Na primeira (i), o nutriente, embora esteja presente, não está diretamente disponível, uma vez que faz parte da constituição das rochas existentes no solo. Para que a sua disponibilidade seja possível, estas rochas teriam que passar por um processo de meteorização. Na forma permutável (ii), os minerais encontram-se adsorvidos ao complexo de adsorção do solo. Uma vez que se encontram na forma de catiões ou aniões, estes ficam retidos numa superfície de complexos argilo-húmicos e são permutados em quantidades equivalentes de iões em solução (fase líquida), ou pertencentes a uma fase sólida em contacto com a primeira. Este fenómeno ocorre também entre catiões adsorvidos ao complexo de adsorção e à superfície das raízes, sendo este mecanismo conhecido como troca de contacto (Brito, 2017)

No caso específico do K, este elemento encontra-se em abundância na maioria dos solos, podendo encontrar-se de quatro formas distintas, tal como se pode observar na **Figura 1.1** 1) na forma de ião K^+ mineral, constituinte de rochas primárias e/ou secundárias, como explicado anteriormente; 2) na forma de ião K^+ não permutável; 3) em formato permutável e ainda 4) sob ião K^+ dissolvido na solução do solo (Korb, 2002).

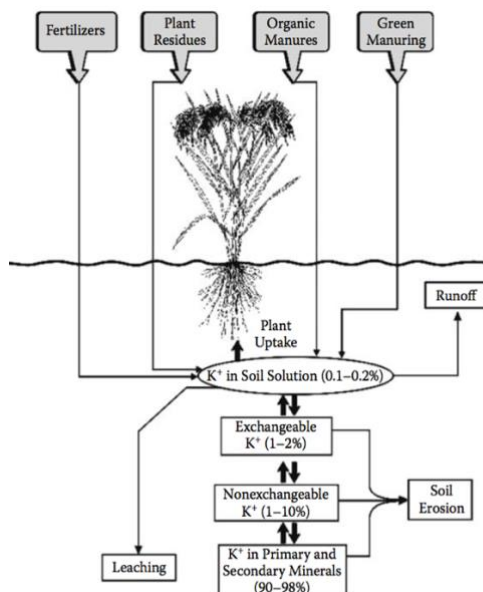


Figura 1.1: Esquema simplificado do ciclo de K. Interação entre o solo e a planta (Gregory e Stephen, 2013).

Através da **Figura 1.1**, conseguimos também perceber que a maior parcela de K presente nos minerais primários e secundários representa cerca de 90% a 98% de K total dos solos, não sendo esta a forma mais conveniente, uma vez que não se encontra imediatamente disponível. Enquanto 1% a 10% do K total dos solos se encontra na forma de K não permutável, apenas 1% a 2% do total de K dos solos se encontra permutável, isto é, adsorvido pelas cargas negativas presentes no solos, facilmente disponível para as plantas. Finalmente, o K em solução existe em concentrações bastantes mais baixas entre 0,1 a 0,2% do total de K nos solos.

O K é um mineral indispensável à vida das plantas, possuindo um papel múltiplo, influenciado por diversas interações entre a planta, o solo e as condições climáticas (Imbrea, Crista, e Street, 2014). A mineralogia do solo, a percentagem de argila presente no mesmo, o equilíbrio entre diferentes grupos de K, os ciclos de secagem do solo, o pH, a aplicação de fertilizantes, resíduos de plantas que se acumulam à superfície dos solos e a quantidade de MO, são fatores que condicionam a fixação ou a libertação de K para a solução do solo (Imbrea et al., 2014; Wang, Harrell, e Bell, 2004).

Para além de todos estes fatores, a disponibilidade do K no solo pode ser ainda condicionada por diversos outros agentes, nem sempre de fácil controlo. A erosão do material mineral, a lixiviação, a fixação e libertação de argilas, tal como a erosão e absorção por parte das plantas são processos que ocorrem muito lentamente, demorando décadas ou mesmo séculos a acontecer. Deste modo, o K constitui uma real importância para a nutrição vegetal, uma vez que é considerado um elemento finito nos solos (Korb, 2002). Um solo que possua como rocha-mãe uma rocha granítica, rica em silício e alumínio, será rico em K, uma vez que este elemento é um dos principais constituintes dessa rocha (Brito, 2017). Os minerais secundários, por outro lado, como é o caso dos argilas, são minerais que se identificam pelas suas cargas negativas, que retêm os minerais de carga positiva como é o caso dos minerais de K, Mg e Ca (Sampaio, 2006).

Os dois principais grupos de minerais secundários são os minerais 1:1 e 2:1, ambos com carga elétrica negativa. Estes minerais, juntamente com a MO do solo, estão intimamente ligados ao fenómeno designado por troca catiónica dos solos. Como os solos em geral apresentam carga elétrica negativa, retêm catiões essenciais à nutrição das plantas. De outro modo, a água das chuvas e das regas arrastaria estes nutrientes para fora do alcance das raízes. A capacidade de um solo de reter catiões (CTC- capacidade de troca catiónica) é um indicador extremamente importante ao nível da fertilidade química dos solos. Em suma, o K é um nutriente essencial para as plantas, presente no solo sob diferentes formas, e não há conhecimentos adversos na saúde humana e do meio ambiente quanto a níveis mais altos deste nutriente que aqueles que são comumente encontrados nos solos. No entanto, o contrário não se verifica e a falta deste nutriente nos solos leva a desequilíbrios no interior das plantas, afetando o rendimento das culturas.

1.3 Absorção de K pelas plantas

A capacidade que as plantas têm para absorver o K depende de diversos fatores como: o tipo de planta, a topologia do solo e as práticas de fertilização utilizadas, a quantidade de minerais argilosos presentes no solo e principalmente a capacidade de troca catiónica. Todos estes fatores condicionam a absorção de K pelas raízes.

No caso específico do K, a absorção pelas raízes pode ser explicada através de diversos mecanismos de absorção, envolvendo diversas famílias de proteínas da membrana celular (Sardans e Peñuelas, 2015). Enquanto nutrientes como P e K são fornecidos às plantas através de difusão, nutrientes como o Ca e o Mg estão disponíveis às plantas através do mecanismo de fluxo de massa.

A absorção de K pelas raízes é bifásica (White et al., 2010). Os estudos de Epstein destacam-se no que diz respeito aos mecanismos celulares de transporte de K em plantas, sendo ele o pioneiro quanto à identificação dos dois mecanismos de transporte de K (Britto e Kronzucker, 2008; E. Epstein, Rains, e Elzam, 1963; Sardans e Peñuelas, 2015). De acordo com (Britto e Kronzucker, 2008; Sardans e Peñuelas, 2015), existem dois sistemas de transporte de K identificados; 1) o sistema de alta afinidade (HATS- *high affinity transporte system*), mediado por canais de K^+ , através de transporte passivo e 2) o sistema de baixa afinidade (LATS- *low affinity transporte system*), mediado por co-transportadores, através de transporte ativo secundário. Em ambos os casos, o transporte é mediado através de uma bomba de prótons, localizada na membrana plasmática. O principal objetivo destes canais é equilibrar o potencial membranar e o gradiente de prótons, neutralizando a carga elétrica com a remoção ativa de prótons H^+ (Pettigrew, 2008). Deste modo, as membranas vegetais são relativamente permeáveis à passagem de K, uma vez que possuem canais seletivos ao longo da membrana (Barker e Pilbeam, 2007).

Existem mecanismos diferentes pelos quais os transportadores de HATS e LATS catalisam o ião K através da membrana plasmática. No HATS o ião K atravessa a membrana de acordo com uma estequiometria de K^+/H^+ de 1:1, através de um processo que requer gasto de energia (ATP). Quando existem concentrações inferiores a 1mM de K, no exterior da planta, os transportadores HATS são estimulados, sendo posteriormente ativadas cascatas sinaléticas, mediadas por espécies reativas de oxigênio (ROS- *reactive oxigen species*) e hormonas vegetais como o etileno e as auxinas, tal como se pode observar na **Figura 1.2** (Britto e Kronzucker, 2008; Costa, 2014). O LATS atua quando as concentrações externas ao citosol são superiores a 1mM. Nos canais de baixa afinidade, a diferença eletroquímica entre o meio externo e o citosol é de grande

importância, uma vez que K é encaminhado para a célula, quando o potencial eletroquímico no citosol é menor. Com a sua entrada, a carga positiva do íon, diminui a carga negativa do interior do citosol, permitindo que o equilíbrio seja atingido (Barker e Pilbeam, 2007). Depois deste alcançar o interior da planta, é transportado para os órgãos através do xilema. (Issue, Rubio, e Te, 2006).

Embora na maioria das células, as concentrações citoplasmáticas do íon K sejam bastante semelhantes, em torno de 100 mM, as concentrações externas ao citoplasma do íon e os valores de pH são consideravelmente variáveis (Leigh e Jones, 1984). Consequentemente os genomas vegetais contêm um elevado número de genes que codificam diferentes transportadores e canais para o íon K (Mitra, 2015). Alguns destes transportadores têm a capacidade específica de absorver K em concentrações muito baixas, para além de manterem as taxas em concentrações muito elevadas, através da membrana plasmática. Este tipo de transportador é crucial nas células epidérmicas e corticais das raízes, sendo a partir destas que se determina a capacidade da planta para se desenvolver em solos com baixas concentrações de K.

A transpiração é regulada através de células-guarda, tendo como principal função regular o tamanho dos poros estomáticos, de modo a controlarem a captação de dióxido de carbono (CO₂), para a realização da fotossíntese (Taiz e Zeiger, 2002). Deste modo, a abertura dos estomas e o aumento ou diminuição da área foliar são alterações que a planta sofre quando fica submetida a variações do potencial osmótico. Consequentemente, a taxa fotossintética fica comprometida, levando posteriormente à diminuição do crescimento das raízes, folhas e redução da produção de matéria seca da planta (Genuncio et al., 2012; Lazof e Cheeseman, 1988). A concentração de oxigénio (O₂) nas raízes é outro fator importante para que o metabolismo nas raízes seja mantido. Baixas concentrações de O₂, afetam a respiração das raízes, comprometendo a absorção de nutrientes e naturalmente o crescimento da planta (Genuncio et al., 2012).

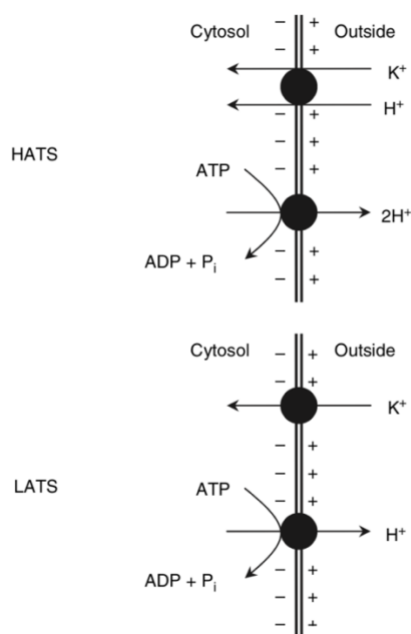


Figura 1.2: Esquema simplificado do funcionamento dos mecanismos gerais HATS e LATS em células vegetais. No mecanismo HATS o fluxo termodinamicamente positivo do íon K^+ é conduzido pelo fluxo negativo do íon H^+ . O balanço de cargas é levado pelo bombeamento de dois íons H^+ para fora do citosol, através de uma H^+ -ATPase, presente na membrana plasmática. No mecanismo LATS, pelo contrário, a entrada do íon K^+ para o citosol é equilibrado com a saída do íon H^+ , através da membrana plasmática, acionado por uma H^+ -ATPase (Britto e Kronzucker, 2008).

1.4 Importância dos fertilizantes na nutrição vegetal

A principal função da agricultura visa a produção de plantas em quantidades suficientes, de modo a satisfazer todas as necessidades humanas, uma vez que, as plantas são dos principais recursos alimentares para os seres humanos e animais (Job, 2002). Estima-se que o crescimento da população mundial continue a aumentar, passando de 6,7 bilhões de pessoas para 9,4 bilhões em 2050. Para atender a todas as necessidades alimentares das gerações futuras, é necessário que as práticas agrícolas que visam a produção de alimento, aumentem significativamente as suas produções, caso contrário, a quantidade e qualidade da produção agrícola ficará comprometida (Morariu, 2017; Sambo et al., 2019; Wang et al., 2013). Para um

desenvolvimento e crescimento correto das culturas, o solo necessita ser fértil, deverá ter a capacidade de fornecer às plantas todos os macro e micro nutrientes, de forma equilibrada, para que estas consigam crescer e desenvolver-se de forma saudável. Quando os solos não possuem essa capacidade, é necessário recorrer à sua fertilização. Segundo a portaria nº 166 de 2012, um fertilizante é “qualquer substância que se aplica ao solo e/ou à parte aérea da planta com o objetivo de melhorar a sua nutrição e obter maiores e/ou melhores produções”. Assim, de forma direta ou indireta, a nutrição das plantas é melhorada (DRAPC, 2002).

A “Revolução Verde” permitiu que em muitos países em desenvolvimento, culturas como o arroz (*Oryza sativa L.*), o trigo (*Triticum aestivum L.*) e o milho (*Zea mays L.*) se tornassem muito mais produtivas. Contudo, levou também a maiores necessidades de fertilização (Wang et al., 2013; Philip J. White, Broadley, e Gregory, 2012). A resistência das plantas a pragas e a patogênicos e o aumento do crescimento da rentabilidade dos cultivares foram características que se foram obtendo ao longo dos últimos anos. No entanto, a domesticação de plantas levou à criação de espécies incapazes de sobreviver na natureza de forma independente. De um modo geral, as plantas foram perdendo propriedades típicas, ficando a sua sobrevivência condicionada pelo homem, principalmente no que diz respeito ao uso de fertilizantes. Os períodos de dormência, um dos diversos mecanismos regulatórios envolvidos na germinação de sementes, é um exemplo que evidencia a falta de autonomia por parte das plantas, para sobreviverem, sem que a intervenção do homem seja necessária (Job, 2002). De acordo com a FAO- (Food and Agriculture Organization), nos últimos anos a utilização total de nutrientes minerais tem vindo a aumentar. O consumo de K como K_2O foi de 35 434 mil toneladas no ano de 2016, atingindo as 37 971 mil toneladas no ano de 2019, estimando-se atingir as 40 232 mil toneladas no ano de 2022 (FAO, 2019). Os fertilizantes, na sua maioria, são compostos por três elementos essenciais ao desenvolvimento das plantas: N, P e K e como tal, o uso de fertilizantes é um dos fatores mais importantes para o aumento do rendimento da produção das culturas (Yagoub et al., 2012; Yin et al., 2019). Embora exista uma baixa probabilidade quanto à escassez das reservas de K nos próximos anos, a sua acessibilidade será condicionada pelo custo elevado associado às energias necessárias para a sua produção, tal como ao valor aplicado à sua distribuição (Luan et al., 2017; White et al., 2010). O consumo não científico de nutrientes para a fertilização dos solos é uma prática cada vez mais usual. Os produtores, através das práticas

agrícolas convencionais, têm como objetivo a obtenção de culturas com rendimentos cada vez mais elevados, no entanto, são vários os problemas que se colocam quanto à fertilização dos solos com altas doses de nutrientes, existindo uma necessidade cada vez mais alargada de se desenvolverem práticas de cultivo que promovam a melhoria dos sistemas e a sustentabilidade dos solos. A degradação da qualidade da água, os problemas com a eutrofização dos ecossistemas marinhos, o desenvolvimento da poluição química, o excesso de nutrientes no solo são causas da sobre fertilização dos solos (Albornoz e Heinrich Lieth, 2015; Slamic e Jug, 2016; Vitousek et al., 2009). Todos estes problemas ambientais têm vindo a manifestar grandes preocupações a grande parte da população. Posto isto, a agricultura sustentável, podendo ser definida como a integração de diversas tecnologias agrícolas que visam a produção de alimentos de qualidade, mantendo ou aumentando a produtividade do solo e a produtividade agrícola, surge como alternativa aos problemas existentes. De modo a promover a qualidade de um solo, existem diversos indicadores a ter em conta como: a matéria orgânica (MO) presente, o teor de N total, a atividade microbiana e a taxa de nutrientes presentes, que nos indicam qual o seu estado (McCauley, Jones, e Jacobsen, 2004).

1.5 Fertilizantes orgânicos

Segundo a portaria nº 166 de 2012, os fertilizantes orgânicos são classificados como “matérias provenientes de resíduos de origem vegetal e/ou animal, utilizadas com o objetivo de melhorar a nutrição das plantas e consequentemente melhorar ao nível físico, químico e biológico dos solos”, podem ser identificados como: estrumes (dejetos animais), detritos de culturas, efluentes pecuários, resíduos sólidos urbanos, vermicompostos, algas, produtos resultantes da indústria (bagaços de uvas, azeitona, entre outros) (DRAPC, 2002). Os fertilizantes de origem natural ou orgânica, podem ser também identificados como biofertilizantes. A sua utilização, têm como vantagem promover o melhoramento das propriedades do solo e consequentemente o aumento da produtividade das culturas, podendo conferir uma maximização dos lucros. Outra das principais vantagens é a minimização de problemas ambientais, uma vez que a aplicação de FO tem uma influência importante na troca de carbono dos agro ecossistemas, uma vez que, a taxa de utilização de fertilizantes é melhorada (Sangeeth e Suseela, 2016; Yang, Xiao, e Xu, 2018). Embora não exista uma prática agrícola totalmente sustentável, existem práticas que procuram

a sustentabilidade, incluindo sistemas de lavoura reduzidos, rotação de culturas, adubos verdes e de produção orgânica (McCauley et al., 2004). Pesquisas que se concentram em estudar o efeito dos FO na respiração do solo, através da circulação de CO₂, têm demonstrado que, quando se combinam fertilizantes químicos com esterco a uma taxa de 300 kg/N/ha/ano, a taxa de emissões de CO₂, comparativamente ao controle, aumentam de 10.565 kg/C/ha/ano para 28.663 kg/C/ha/ano, em solos de arroz (Yang et al., 2018). Num outro estudo, (Salehi, Fallah, e Sourki, 2017), constataram que a aplicação de esterco de bovino, combinada com fertilizante químico, aumenta significativamente o fluxo de CO₂ no solo em 9%, comparativamente à aplicação de ureia solitária. Deste modo, a investigação em nutrição vegetal permite conhecer em detalhe os mecanismos responsáveis pela absorção, transporte e acumulação de nutrientes pelas plantas, incluindo de K, bem como desenvolver e testar novos fertilizantes que possam ser adequados ao desenvolvimento das diferentes culturas (Philip J. White et al., 2012).

1.6 Alface

A alface, de género (*Lactuca sativa L.*), pertencente à família *Asteracea*, é originária de climas temperados e quentes como a Europa, Ásia, América do Norte, África e Austrália. Na bibliografia, existem cerca de 100 espécies diferentes de *L. sativa*, sendo esta a espécie com mais relevância, no entanto, outras espécies como *L. serriola*, *L. virosa* e *L. saligna* estão também bem estudadas (Durazzo et al., 2014; Dziechciarková, Lebeda, Doležalová, e Astley, 2004). Atualmente a alface é consumida em todo o mundo e o seu consumo tem aumentado nas últimas décadas. O valor nutricional da alface é variável, no entanto, sabe-se que esta contém fitoquímicos que promovem a saúde dos seus consumidores, tendo na sua composição carotenoides e vitamina C (Mampholo, Maboko, Soundy, e Sivakumar, 2016). Vários estudos demonstram que este vegetal é rico em algumas classes de polifenóis e outros metabolitos secundários necessários na dieta humana, particularmente importantes na prevenção de cancro e de doenças cardiovasculares, contribuindo para a proteção contra o stress oxidativo e a regulação de processos celulares, como a inflamação (Heimler, Vignolini, Arfaioli, Isolani, e Romani, 2012) (Pepe et al., 2015) (Sofó et al., 2016) (Mampholo et al., 2016). Estudos demonstram que os compostos bioativos podem desempenhar atividade anti-inflamatória, reduzir o colesterol, e possuir atividade anti-diabética. A alface é ainda uma fonte de fibra e

ferro e tem um teor baixo em calorias, sódio e gordura (Kim, Moon, Tou, Mou, e Waterland, 2016). Deste modo, uma vez que esta hortaliça folhosa contribui através de um balanço positivo na dieta da população, deve ser um vegetal incluído na dieta.

Em Portugal, as alfaces mais cultivadas são as da espécie *Lactuca sativa L.* A alface é uma hortícola sem grandes exigências culturais, que se adapta com facilidade a climas adversos e a diferentes épocas do ano. Consegue adaptar-se a quase todos os tipos de solo, possuindo melhores resultados em solos que possuam MO, humidade e sejam providos também de boa drenagem (Brito, 2017).

As áreas de maior cultivo em Portugal são no Oeste, Lisboa, Porto e Póvoa de Varzim-Esposende, Aveiro, Leiria, Gândara e Algarve (Márcio, 2006). A superfície de área cultivada em hectares (ha) teve um ligeiro decréscimo, passando de 2 181 ha no ano de 2016 para 1 934 ha no ano de 2018; a nível da produção em toneladas no ano de 2016 atingiram-se cerca de 51 988 t, passando para 45 219 t no ano de 2018 (INE, 2019), **Tabela 1.1**. As principais culturas hortícolas plantadas em Portugal são: a couve-brócolo, a abóbora e a couve-repolho, os grelos, a alface, a cenoura e a ervilha **Figura 1.3**.

Tabela 1.1: Superfície (ha) e produção (t) de alface em Portugal, relativa aos anos de 2016, 2017 e 2018. Fonte: (INE, 2019).

Ano	Superfície (ha)			Produção (t)		
	2016	2017	2018	2016	2017	2018
Alface	2 181	2 284	1 934	51 988	56 345	45 219

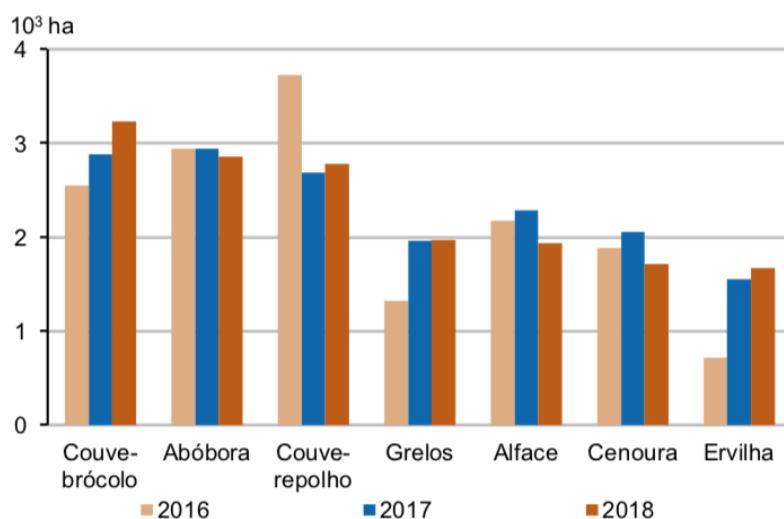


Figura 1.3: Área (ha) das principais culturas hortícolas relativas ao ano de 2016, 2017 e 2018. Fonte: (INE, 2019).

1.7 Hidroponia

Do latim, “hydro” significa água e “ponia” significa trabalho. Embora os usos práticos dos sistemas de cultivo hidropónicos tenham sido iniciados em meados do século XX, no ano de 1930, a ideia de culturas de água nasceu com Francis Bacon em 1627 (Asao, 2012). Este modo de cultivo considera-se uma vertente da hidroculutura e tal como o nome indica, utiliza a água como veículo de nutrientes para alimentar as plantas. As soluções nutritivas circulam através de um sistema de circuito fechado, nas quantidades adequadas e de acordo com cada cultura. Deste modo, as plantas não necessitam despendir energia na procura de nutrientes, economizando energia, que poderá ser armazenada e utilizada para outras funções, como o crescimento e/ou o desenvolvimento de flores e frutos (Barbosa et al., 2015). Existem outras vantagens no que diz respeito ao crescimento de culturas em hidroponia, nomeadamente, ao modo de manuseamento das culturas e ao controlo das condições de cultivo, tornando-se um método vantajoso, comparativamente a uma prática de cultivo convencional, uma vez que se torna mais prático e eficiente (Lazof e Cheeseman, 1988). A partir deste método, condições climáticas como a precipitação, a intensidade luminosa, o vento e a suplementação das culturas são fatores facilmente controlados (Genuncio et al., 2012). Além disso, a hidroponia evita o uso excessivo de fertilizantes, uma vez que as culturas crescem em ambientes controlados. A poupança de água é outra grande vantagem deste sistema, uma vez que as plantas recebem

apenas as quantidades necessárias ao seu crescimento, evitando perdas desnecessárias. Deste modo, o recurso a uma solução nutritiva limpa diminui ainda o risco de doenças transmitidas (Asao, 2012; Mampholo et al., 2016). O cultivo hidropônico é uma técnica utilizada com o objetivo de se obter o máximo de rentabilidade dos cultivares. Para que se consigam obter bons resultados na produção e rentabilidade das culturas é necessário ter em atenção diversos aspetos. (Murphy, Zhang, Nakamura, e Omaye, 2011), concluiu que a qualidade nutricional de frutas e de legumes pode ser influenciado pela luz e temperatura a que as plantas de alface estão sujeitas. A quantidade e a intensidade de luz na planta influencia não apenas a sua taxa fotossintética, como a produção de vitamina C, caratonóides, antocianinas e fenóis. Posto isto, uma alteração da temperatura influencia de forma direta o metabolismo da planta. Para além da luz, as soluções nutritivas utilizadas para os cultivos, a qualidade da água utilizada para a preparação das soluções, o pH, a humidade, a condutividade e oxigenação das soluções nutritivas, a disponibilidade dos nutrientes, entre diversos outros fatores, são aspetos que devem ser considerados (Lazof e Cheeseman, 1988; Tzortzakis, 2010).

Atualmente, cerca de 3,5% da área mundial cultivada é sob túneis e estufas para produção de vegetais e adota técnicas de agricultura sem solo, baseadas em soluções hidropónicas, como sistemas flutuantes, técnica de filme nutritivo (NFT) ou ainda aeroponia (Sambo et al., 2019). Para além das vantagens mencionadas, a solução hidropónica pode ser utilizada com eficiência em programas de biofortificação com oligoelementos, bem como no melhoramento da qualidade dos vegetais, aumentando o seu prazo de validade, de acordo com as necessidades do mercado e do consumidor (Carmine, Vachio, Somma, Cuciniello, e Caruso, 2017). No entanto e ainda assim, existem determinados pontos a serem melhorados neste modo de cultivo. O ajustamento das concentrações utilizadas de fertilizantes e/ou nutrientes nas soluções hidropónicas, de forma a minimizarem os teores de nitrato nos tecidos vegetais comestíveis, garantindo a segurança dos vegetais e ao mesmo tempo, a qualidade nutricional e os rendimentos das culturas são fatores ainda a ser melhorados (Falovo, Roupheal, Rea, Battistelli, e Colla, 2009; Putra e Yuliando, 2015).

Uma vez que a alface é sensível a condições climáticas adversas, é considerada uma das principais hortícolas cultivadas em hidroponia, uma vez que possui taxas de crescimento mais

rápidas (ciclos curtos de aproximadamente 56 a 60 dias) e rendimentos superiores, comparativamente à planta cultivada no solo (Barbosa et al., 2015; Lopes et al., 2011). Deste modo, existem cada vez mais formas de se cultivar esta hortícola, como sistemas que não utilizam o solo (hidroponia), sistemas de cultura em estufa e técnicas de agricultura orgânica (Durazzo et al., 2014). Mas tal como no solo, a solução hidropônica deve conter todos os nutrientes essenciais ao crescimento das plantas, incluindo o K. A fonte destes nutrientes minerais provém habitualmente de *stocks* químicos, que são preparados individualmente ou em conjunto até se atingirem as concentrações ideais para cada tipo de planta. Neste contexto, a utilização de subprodutos como fontes alternativas de K para o crescimento de plantas pode representar uma boa oportunidade. O grande objetivo deste trabalho consistiu em perceber de que modo a utilização de um subproduto rico em K, proveniente da indústria da panificação, poderá contribuir para o crescimento e desenvolvimento de plantas de alface crescidas em hidroponia. Neste trabalho, a alface foi usada como planta modelo, mas os resultados desta tese poderão ser extrapolados para outras culturas mediante validação.

2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste estudo foi determinar a aplicabilidade de um fertilizante orgânico (FO), subproduto da indústria da panificação, como fonte alternativa de K quando comparado com o nitrato de potássio (KNO_3), em culturas hidropônicas de alface.

Como objetivos específicos:

- Compreender o efeito do FO no pH e condutividade das soluções nutritivas;
- Compreender quais os efeitos da carência de K no crescimento e nutrição da alface;
- Determinar qual o efeito do FO em vários parâmetros de crescimento e nutrição das plantas, nomeadamente: altura; comprimento radicular; peso fresco (PF) e peso seco (PS); número total de folhas; teor relativo de clorofila; % de azoto total e quantificação de macronutrientes e micronutrientes em tecidos foliares e radiculares.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material Vegetal e Condições de Crescimento

Neste estudo a planta modelo utilizada foi a alface (*Lactuca sativa*). Esta foi adquirida nos viveiros Ambiplanta em Tondela como pés germinados com aproximadamente 15 dias de germinação. As plantas foram mantidas em alvéolos até serem transportadas para a Nutrinova a fim de serem colocadas em hidroponia. Antes da passagem das plantas para sistema hidropónico, procedeu-se à lavagem da terra envolvente às raízes das plantas, para que estas se encontrassem livres de resíduos **Figura 3.1**.



Figura 3.1: Material vegetal utilizado nos diferentes ensaios hidropónicos realizados. Do lado esquerdo da figura encontra-se o material vegetal com o substrato a envolver a parte radicular da plântula e do lado direito o material vegetal depois da lavagem.

As experiências foram realizadas nas instalações da Empresa Nutrinova, numa sala de hidroponia adequada para a sua realização. As alfaces foram cultivadas em tubos hidropónicos com dois metros de comprimento. Para cada ensaio, foram utilizados três tubos hidropónicos por tratamento. Os tubos foram colocados horizontalmente em cima de três cavaletes com diferentes alturas. Deste modo, a circulação das soluções nutritivas dentro dos tubos de hidroponia, ficou facilitada.

Cada conjunto de três tubos hidropónicos possuía um sistema de alimentação de água e um sistema de drenagem que encaminhava a solução nutritiva para um depósito de 50L. Cada

depósito continha uma bomba submersível de 25W/1200L/h, com a função de encaminhar a solução nutritiva para dentro do sistema de hidroponia através do sistema de alimentação de água. Cada tubo hidropónico continha quinze orifícios para cestos de rede de 55mm como se pode observar na **Figura 3.2**. Para os ensaios, foram utilizados apenas catorze orifícios por tubo, devido a fugas de água que existiam no local de ligação dos tubos de hidroponia, localizadas na zona média.



Figura 3.2: Cestos de rede de 55mm utilizados como suporte ao material vegetal nos ensaios hidropónicos realizados. Do lado direito da figura podemos observar o encaixe do cesto de rede nos tubos de hidroponia.

A sala de hidroponia foi isolada com placas de esferovite para que a temperatura dentro da mesma fosse mantida constante. Por outro lado, as placas serviam como barreira à luz natural do dia, uma vez que o período de noite das plantas era o período de luz diário. Para a iluminação, utilizaram-se oito lâmpadas fluorescentes compactas de 250W, de cor branca ideal para o crescimento e desenvolvimento vegetativo. O sistema de automação e controlo agrícola, utilizado para a experiência foi o sistema Open Grow™. Uma recente tecnologia, dedicada maioritariamente a produtores urbanos, criado e desenvolvido por uma equipa de jovens empreendedores da zona de Viseu. O principal objetivo deste sistema visa a criação de padrões de automação para qualquer crescimento agrícola que permite os usuários ajustarem determinados padrões às suas necessidades, potencializando as condições mais adequadas às suas culturas. O GroNode é a peça principal que constitui o sistema GroLab™, sendo responsável por controlar todo o sistema em simultâneo, o GroNode está equipado com um sistema LAN Ethernet que permite que exista conexão ao software GroLab™. É através da

frequência de rádio que o GroNod comunica com outros módulos, copulados ao sistema **Figura 3.3**. Para além de ter a responsabilidade de enviar toda a informação e instrução ao sistema, regista toda a informação, uma vez que possui uma memória própria.

Foi através deste sistema que se conseguiram controlar diversos parâmetros no decorrer dos ensaios realizados. Parâmetros como: períodos de luz, regas realizadas, temperatura da sala de hidroponia, temperatura dos tanques que continham as soluções nutritivas bem como pH e condutividade das soluções nutritivas foram controlados através do Sistema GroLab.



Figura 3.3: Sistema GroLab™ utilizado para a monitorização do crescimento hidropónico das plântulas, servindo como auxílio ao controlo das soluções nutritivas.

O controlo da temperatura (°C) na sala de hidroponia foi um dos fatores considerados, uma vez que variações bruscas de temperatura poderiam causar danos às plantas. A temperatura das soluções nutritivas variava de acordo com a temperatura da sala de hidroponia. A oxigenação das soluções nutritivas foi um dos parâmetros em ter em conta. Ao longo dos ensaios, as soluções nutritivas eram homogeneizadas diariamente no sentido de se obter máxima oxigenação, fornecendo às plantas um bom nível de absorção de nutrientes. Diariamente, tanto os valores de pH como os valores de condutividade das soluções nutritivas, foram controlados. As soluções nutritivas foram mantidas entre 5,5 e 6,5 visto ser, de acordo com a bibliografia, o intervalo de valores mais indicado para a absorção de nutrientes pela planta. Depois de se proceder à homogeneização das soluções nutritivas e de se obter o valor de pH para ambas as soluções, de acordo com o valor obtido, procedia-se, se necessário, ao acerto do mesmo, de acordo com a necessidade. Valores baixos de pH provocam a competição entre iões e valores elevados fornecem a diminuição dos aniões. Deste modo, quando os valores de pH se

encontravam abaixo de pH 5,5, era utilizado hidróxido de sódio (NaOH) 0,1M, por outro lado, caso os valores se encontrassem acima de pH 6,5, era utilizado ácido cítrico (C₆H₈O₇), para que a descida dos valores de pH se realizasse. Um outro fator, que condicionava os valores de condutividade das soluções nutritivas, era a concentração de iões em solução. Deste modo, todos os dias, a água das soluções nutritivas perdida por evaporação era repostada, no sentido de serem equilibrados os valores de condutividade elétrica, uma vez que os valores são influenciados quando a concentração da solução nutritiva é alterada. Os nutrientes que constituíam as soluções nutritivas em nenhum dos ensaios foram repostos em solução, uma vez que o tempo dos ensaios foi reduzido. O controlo de luzes, na sala de hidroponia, foi em todos os ensaios auxiliado pelo Software Open Grow, que permitiu a automatização dos ensaios. Tanto a luz artificial como o trabalho das bombas, responsáveis pelo encaminhamento das soluções nutritivas, foi realizado de forma eficaz e automática. A programação do sistema respeitou um período de luz artificial de 15 horas consecutivas, sendo este um período em que a luz se encontrava ligada das 18 horas e 30 minutos até às 09 horas e 30 minutos do dia seguinte. Neste período de tempo as bombas responsáveis por encaminhar as soluções nutritivas às plantas tinham um período de 15 minutos ligadas e 15 minutos desligadas e assim sucessivamente. Uma vez que as plantas, no período de dia, perdem mais água por transpiração, a circulação desta deve circular mais frequentemente. O período isento de luz artificial manteve em todos os ensaios 9 horas de escuridão, num período entre as 9 horas e 30 minutos e as 18 horas e 30 minutos do mesmo dia. Tal como aconteceu no período de luz artificial, as bombas responsáveis por encaminhar as soluções nutritivas às plantas foram programadas para que durante 15 minutos estivessem ligadas e nos 45 minutos seguintes estivessem desligadas.

3.2 Soluções nutritivas

3.2.1 Caracterização do fertilizante orgânico (FO)

O FO foi analisado através do método IPC-OES (Inductively Coupled Plasma Argon Spectrometry), para se averiguar qual a concentração de K e de outros nutrientes minerais, como pode ser observado no anexo I.

3.3 Solução Controlo

Neste trabalho, utilizou-se como solução controlo uma solução nutritiva que possui os macro e micro nutrientes necessários para o desenvolvimento adequado da alface. Para tal, realizou-se primeiramente uma pesquisa bibliográfica, comparando-se os valores de quatro fontes bibliográficas diferentes, que serviram de base para a definição da solução ideal **Tabela 3.1**.

Tabela 3.1: Comparação das soluções nutritivas da bibliografia. Os elementos estão expressos em partes por milhão (ppm).

Elemento	Hoagland & Arnon (1938)	Steiner (1984)	Cooper (1979)	Hewitt (1966)
Azoto (N)	210	168	218	168
Cálcio (Ca)	160	180	178	160
Potássio (K)	234	273	300	156
Fósforo (P)	31	31	60	41
Enxofre (S)	64	336	68	48
Magnésio (Mg)	34	48	50	36
Cobre (Cu)	0,02	0,02	0,1	0,064
Zinco (Zn)	0,05	0,11	0,1	0,065
Manganês (Mn)	0,5	0,62	2	0,54
Boro (B)	0,5	0,44	0,3	0,54
Molibdénio (Mo)	0,001	Não Considerado	0,2	0,04
Ferro (Fe)	2,5	3	12	2,8

Após esta análise, procedeu-se à formulação da solução controlo. As **Tabela 3.2** e **Tabela 3.3** mostram, respetivamente, a composição elementar e os reagentes utilizados na sua composição. A solução de Fe foi preparada individualmente, de forma a evitar precipitação. A fonte de Fe utilizada foi o Fe-EDTA, para ambas as soluções, uma vez que este permitiu manter a sua solubilidade em solução.

Tabela 3.2: Composição em ppm da solução controle.

Elemento	Solução Controle
N	216
Ca	183
K	193
P	40
S	52
Mg	39
Cu	0,04
Zn	0,20
Mn	0,50
B	0,10
Mo	0,06
Fe	0,83

Tabela 3.3: Reagentes e quantidades utilizadas na formulação da solução controle (g/L).

Fonte	Solução Controle
CaNO ₃	0,75
KNO ₃	0,50
NH ₄ H ₂ PO ₄	0,15
MgSO ₄ .7H ₂ O	0,40
CuSO ₄ .5H ₂ O	0,15
ZnSO ₄ .H ₂ O	0,50
MnSO ₄ .H ₂ O	1,50
HBO ₃	1,50
Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	0,15
Fe-EDTA	13,80

3.4 Tratamentos

A fim de estudar o efeito da carência de K no crescimento da alface, realizou-se um ensaio preliminar em que cresceram as plantas durante 10 dias com solução nutritiva completa ou com solução nutritiva na qual a fonte de K foi retirada (0% K, **Experiência 1**).

Posteriormente, com o objetivo de testar a eficácia do FO como fonte alternativa de K, realizaram-se dois ensaios em que cresceram as plantas durante 12 dias (**Experiência 2.1**) e 13 (**Experiência 2.2**) dias com solução nutritiva completa ou com solução nutritiva na qual a fonte de K foi substituída por um volume de FO que fornecesse igual quantidade de K (100% FO).

Numa terceira etapa, a fim de testar se o FO seria eficaz mesmo fornecendo metade do valor de K, realizou-se um terceiro ensaio em que cresceram as plantas durante 10 dias com solução nutritiva completa ou com solução nutritiva, na qual a fonte de K foi substituída por um volume de FO que fornecesse metade da quantidade de K (50% FO, **Experiência 3**);

Uma vez que o FO é também uma fonte rica de N, nos ensaios realizados, procurou-se manter a concentração final de N idêntica à solução controle. Para tal, os níveis de CaNO_3 foram ajustados nas soluções com FO.

Para cada experiência, foram utilizadas 42 alfaces suplementadas com uma solução controle e 42 alfaces suplementadas com uma solução teste. O número de réplicas biológicas das experiências foi de 8, em que cada um representou um conjunto de 5 plantas (réplicas biológicas).

3.5 Análise do material vegetal

Analisou-se o teor em P, K, Ca, Mg, Fe, Cu e Zn no material vegetal (folhas e raízes) das experiências 2.2. e 3. Para tal, o material vegetal foi incinerado a 550°C. As cinzas foram diluídas em ácido clorídrico 6M (ISO 6869). Para a análise do P, as amostras foram tratadas com molibdovanadato, de acordo com a norma (ISSO 6481), enquanto o K, Ca, Mg, Na, Mg,

Fe, Cu e Zn, foram determinados através do método de absorção atômica de chama de acordo com (ISSO 6869). O azoto foi analisado segundo o método de Dumas (ISSO 16623-1)

3.6 Parâmetros físico-químicos

Foi medido o peso fresco (PF) e peso seco (PS) foliar das alfaces colhidas em todas as experiências. Nas experiências 2.2 e 3 mediu-se também o PF e PS radicular, a altura e comprimento das raízes e o teor de clorofila através do método SPAD.

De modo a controlar as soluções nutritivas ao longo dos ensaios, foram também determinados os seguintes parâmetros físico-químicos: valores de pH e de condutividade (mS/cm).

3.7 Análise estatística

A análise estatística foi realizada através do software GraphPad. Os tratamentos foram realizados de acordo com o teste-t e o teste t corrigido.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização do fertilizante orgânico (FO)

A análise mineral do FO mostrou que este possuía aproximadamente 270 866 ppm de K. Este valor foi o valor de referência utilizado para a realização dos cálculos das soluções nutritivas teste. A composição completa do FO pode ser consultada no Anexo 1.

4.2 Avaliação do efeito da carência de K no crescimento da alface (Experiência 1)

A **Figura 4.1 a)** mostra o crescimento das plantas de alface crescidas em solução controle (com 15,00 g/L de KNO_3 e 193 ppm de K) ou sem fonte de K, no dia da recolha. Como se pode observar, as alfaces crescidas sem K apresentam um crescimento bastante reduzido, comparativamente às plantas suplementadas com a solução controle com 193 ppm de K. Para além da altura das plantas, podemos observar pela **Figura 4.1 b)** que o comprimento das folhas de alface em plantas sem fonte de K, parece ser também menor, comparativamente às plantas suplementadas com K.

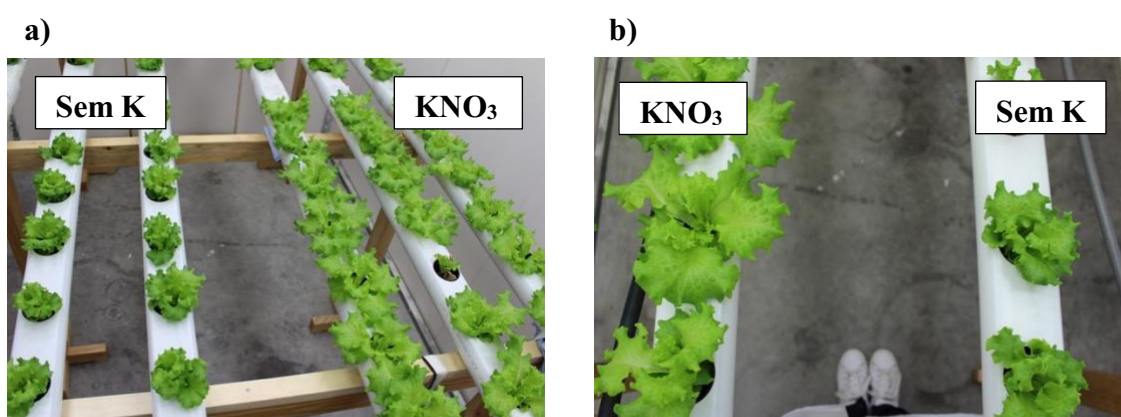


Figura 4.1: a) Plantas crescidas sem fonte de K (esquerda) e com 15,00 g/L de KNO_3 e 193 ppm de K de KNO_3 (direita) e b) Plantas crescidas com 15,00 g/L de KNO_3 e 193 ppm de K de KNO_3 (esquerda) e sem fonte de K (direita).

4.3 Avaliação do FO como fonte alternativa de K (Experiência 2)

De acordo com uma análise realizada num laboratório externo, o FO possuía uma solubilidade em água de aproximadamente 99,5%, no entanto, o facto de o FO ser solúvel em água não garantia a sua disponibilidade para as plantas. Deste modo, a segunda experiência permitiu estudar a absorção do FO e compará-lo com a absorção de uma fonte inorgânica de K já conhecida, KNO_3 . A **Figura 4.2** mostra o aspeto das plantas crescidas durante 12 e 13 dias com FO a 100% ou com 193 ppm de KNO_3 . Pode observar-se que as plantas crescidas com FO apresentam crescimento semelhante em relação ao controlo, não se conseguindo distinguir visualmente, quais das plantas são suplementadas com FO ou com KNO_3 . Relativamente à cor das folhas, também não foram encontradas diferenças significativas.

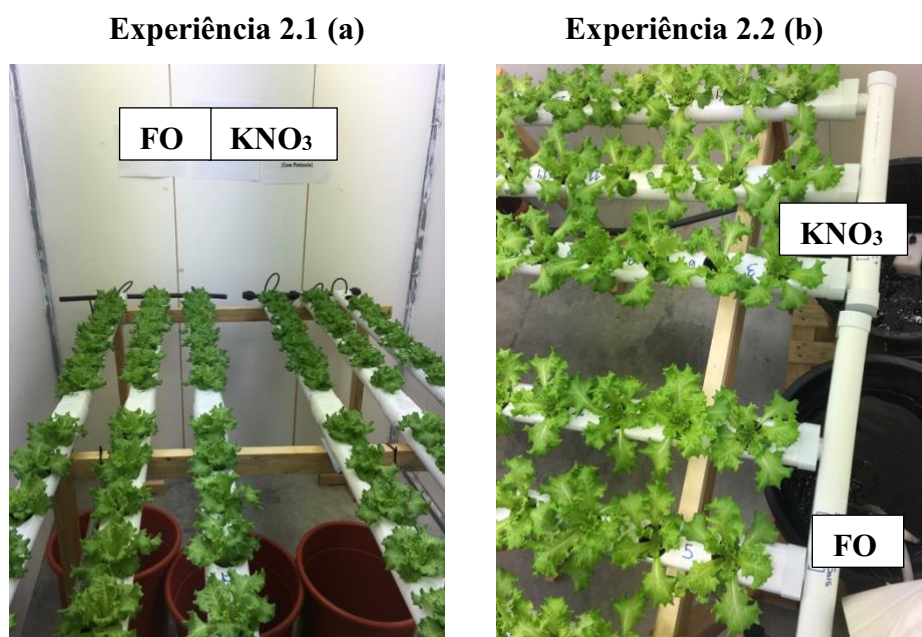


Figura 4.2: a) Plantas crescidas durante 12 (a) e 13 (b) dias com FO a 100% e solução controlo a 15,00 g/L de KNO_3 e 193 ppm de K de KNO_3 .

Relativamente à experiência 2.2, embora as plantas entre si não tenham tido grandes diferenças visualmente observáveis, como a planta utilizada apresentava diferenças fenotípicas, durante o seu desenvolvimento, também se foram notando diferenças a nível do crescimento das folhas. Como podemos observar a **Figura 4.2 b)**, no dia de recolha, as plantas apresentavam, comparativamente à experiência 2.2 folhas mais compridas o que tornava a planta com um

aspecto menos denso comparativamente à experiência 2.1. A nível da coloração das folhas, durante esta experiência, as plantas apresentaram uma coloração de verde menos intenso, comparativamente à experiência 2.1.

4.4 Avaliação do FO a 50% como fonte alternativa de K (Experiência 3)

Na experiência 3, a fim de testar se o FO seria eficaz, mesmo fornecendo metade do valor de K, realizou-se uma terceira experiência, fizeram-se crescer as plantas durante 10 dias com solução nutritiva na qual a fonte de K foi substituída por um volume de FO com metade da quantidade de K (50% FO). Nesta experiência, tal como analisado na experiência 2, foram quantificados todos os parâmetros acima mencionados. Visualmente, no dia de recolha, como podemos observar na **Figura 4.3**, as plantas suplementadas com 50% FO não apresentaram grandes diferenças quer a nível de coloração quer a nível de crescimento, comparativamente com o controlo (KNO_3).

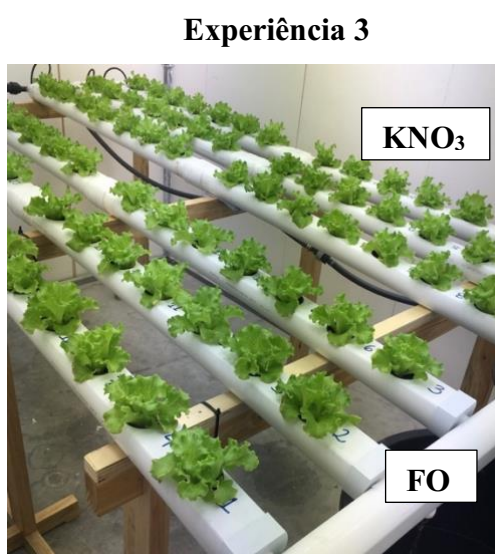


Figura 4.3: Plantas suplementadas com solução 50% FO (3 calhas da esquerda) e com solução controlo com KNO_3 (3 calhas à direita).

4.5 Evolução do pH das soluções nutritivas

Na **experiência 1**, a evolução do pH das duas soluções nutritivas, manteve-se constante ao longo dos dias, à exceção da solução controlo que no último dia de monitorização decresceu

de valores de pH 5,00 para 4,00. Os valores de pH, conforme podemos observar na **Figura 4.4**, variaram aproximadamente entre 4,00 e 5,50. No dia 3 a solução controlo teve também um ligeiro decréscimo, atingindo valores de pH de aproximadamente 4,50. Relativamente à **experiência 2.1**, de acordo com a **Figura 4.4**, conforme se pode observar, a solução 100% FO iniciou o dia 1 com um valor superior, com pH 6,00 em relação ao controlo com valores de pH de aproximadamente 5,00. No dia 3, ambas as soluções sofreram um decréscimo dos valores para 4,80 aproximadamente. A partir desse dia, a solução 100% FO manteve-se constante, compreendendo valores dentre os 4,80-5,00, ao contrário da solução controlo que variou os seus valores entre os 5,00-6,00. Na **experiência 2.2**, a variação de pH não manteve o mesmo comportamento, tendo a gama de valores de pH atingido valores mais alargados, compreendendo um intervalo de valores de aproximadamente 4,00-7,00. No dia 1, tal como se verificou na solução 2.1, a solução 100% FO iniciou com um pH superior ao controlo de pH 5,50 aproximadamente, tendo o pH da solução controlo apresentado valores de aproximadamente 4,50. No dia 3, ambas as soluções aumentaram os seus valores, sendo o aumento da solução controlo mais acentuado, alcançando valores de pH de aproximadamente 7,00. A solução 100% FO alcançou valores de pH de aproximadamente 6,00, tal como se pode observar na **Figura 4.4**. A partir do dia 3, ambas as soluções sofreram decréscimo dos seus valores, embora desta vez, se tenha notado uma maior variação dos valores na solução 100% FO. No dia 6, a solução 100% FO atingiu valores de aproximadamente 4,00, enquanto a solução controlo rondou valores de pH 6,00. No dia 9, a solução controlo continuou com decréscimo de valores, atingindo valores de aproximadamente 5,00, enquanto a solução 100% FO aumentou o seu valor de pH, atingindo valores de aproximadamente 7,00. Esta experiência, em relação à experiência 2.1, caracterizou-se por ter uma maior variação dos valores de pH da solução 100% FO. Na **experiência 3**, ambas as soluções iniciaram o dia 1 com valores de pH aproximados de 4,00, tendo sofrido um aumento no dia 3 para 6,00. No dia 6, ambas as soluções decrescem o seu valor atingindo valores de aproximadamente 5,00, tendo no último dia da experiência acabado com valores aproximados de 4,00, tal como iniciaram a experiência. Esta experiência, comparativamente às restantes, foi a única em que os valores de pH ao longo da experiência se mantiveram idênticos.

No que diz respeito ao controlo das soluções nutritivas, existem diversos equilíbrios químicos a ter em conta quando se preparam soluções nutritivas usando sais ou *stocks* líquidos

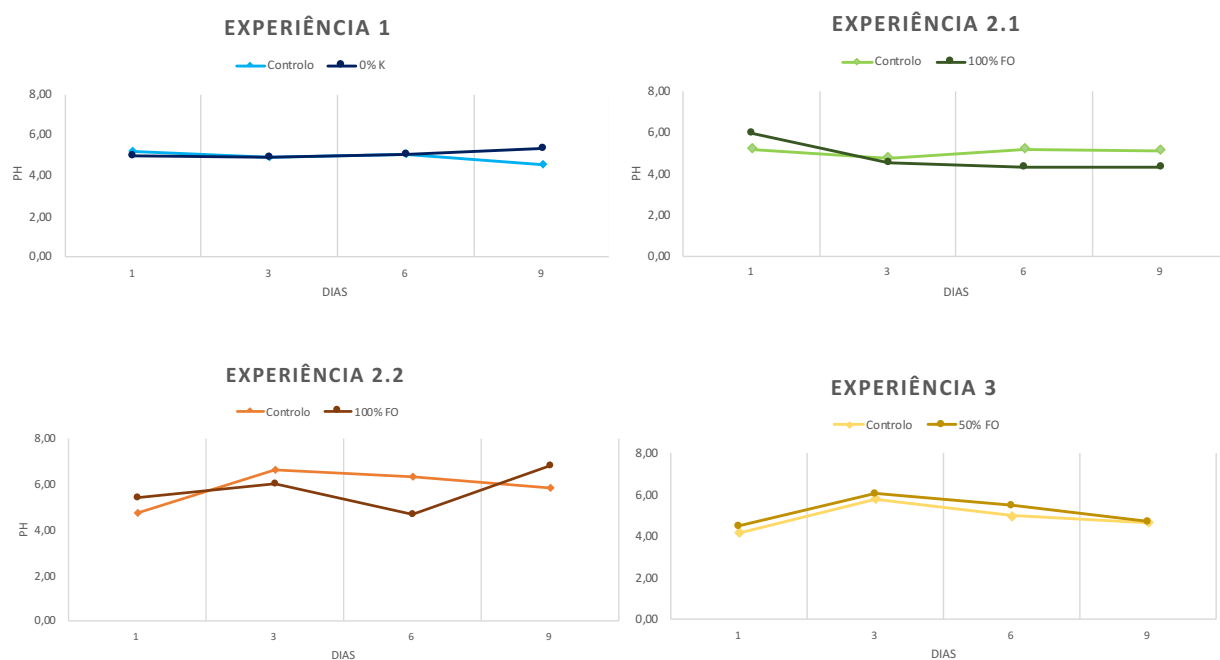


Figura 4.4: Registos de pH das soluções nutritivas controlo (KNO_3) e respetivos tratamentos 0% K ou 100% FO, relativos às experiências 1 (10 dias) 2.1 (12 dias) 2.2 (13 dias) e 3 (13 dias).

concentrados, especialmente equilíbrios de solubilização / precipitação, dos quais os mais importantes, se destacam a precipitação, a co-precipitação e a complexação. Para que estes fenómenos sejam evitados, a temperatura das soluções nutritivas, o pH e a força iónica são fatores cruciais que devem ser cuidadosamente equilibrados e monitorizados continuamente (Sambo et al., 2019). Neste sentido, valores de pH acima de 7 e valores positivos de força redox, podem causar a precipitação de nutrientes com o Fe, o Zn, o Cu, o Ni, o Mn em óxidos insolúveis. Por outro lado, os mesmos elementos, em pH ácido e valores de força redox negativos, podem precipitar como sulfetos insolúveis, quando o sulfato é reduzido em sulfeto (Takeno, 2005). Em altos valores de pH e alto CO_2 dissolvido em solução, macronutrientes como o Ca e o Mg podem precipitar sob a forma de carbonatos. Sabe-se também que a disponibilidade de fosfato pode ser reduzida quando o pH atinge valores superiores a 7. A sua precipitação, principalmente em hidrogénio fosfatos é um processo que pode levar ao esgotamento de P da solução nutritiva, reduzindo a solubilidade de nutrientes como o Ca, o Mg,

o Fe e o Mn. Comprometendo a solubilidade de Ca, outros nutrientes, com o S, ficam também comprometidos (Lee, Rahman, Azam, Kim, e Kwon, 2017). A adição de nutrientes em forma de sais às soluções nutritivas, promovem o controle e ajudam a garantir a solução tamponada, podendo acidificar caso a fonte de N seja NO_3 , ou ainda alcalinizar o meio nutritivo, caso a fonte de N seja NH_4^+ . A saturação de um determinado nutriente em solução pode ser alcançada caso a evaporação da água do sistema de hidroponia não seja controlada, devido às altas temperaturas do meio, ou ainda, devido à evaporação provocada pela transpiração das plantas. No entanto, num estudo recente, realizado por (Tomasi et al., 2014) verificou-se que as perdas de água por 20% ou mais não influenciam significativamente o equilíbrio da precipitação.

A co-precipitação está intimamente ligada com a precipitação, deste modo, durante a precipitação da solução, a co-precipitação reduz a solubilidade de determinados nutrientes, aprisionando elementos, (normalmente metais vestigiais), envolvendo-os através de uma estrutura insolúvel, que normalmente não contém esse mesmo elemento na sua constituição. Quando espécies insolúveis como os hidróxidos de Fe, carbonatos de Ca ou fosfatos de Ca são formados, a co-precipitação reduz fortemente a solubilidade de nutrientes adicionados à solução em concentrações vestigiais como é o exemplo do Cu, do Zn, do Mn e do Ni (Sambo et al., 2019). Outro processo a ter em especial atenção é a complexação, onde através de um composto metálico é ligado um composto químico por uma ou mais moléculas ou aniões neutros (ligantes), de natureza orgânica ou não orgânica. Deste modo, existe uma diminuição da concentração de iões livres em solução, alterando a biodisponibilidade dos nutrientes presentes em solução (Rijck e Schrevens, 1998). No entanto, ligantes orgânicos como é o exemplo do EDTA, DTPA, EDDHA, do citrato, entre outros, podem aumentar a estabilidade de certos elementos na solução, especialmente de nutrientes como o Fe, o Cu, e o Zn (Lucena, 2003).

4.6 Evolução da condutividade elétrica (CE) das soluções nutritivas

Na **experiência 1**, os valores de condutividade de ambas as soluções nutritivas mantiveram-se constantes ao longo da experiência, tendo compreendido um intervalo de valores de condutividade entre 1,50-2,00 mS/cm, conforme podemos observar na **Figura 4.5**. Ambas as soluções nutritivas iniciaram com valores de aproximadamente 1,50 mS/cm, tendo ambas as

soluções aumentado os seus valores no dia 3. A solução 0% K, durante toda a experiência manteve valores de condutividade ligeiramente inferiores, comparativamente ao controlo, no entanto, ambas as soluções se comportaram da mesma forma. No dia 6, voltam a aproximar-se do valor que iniciaram a experiência, tendo no último dia, atingido ambas o valor de condutividade 1,50 mS/cm. Na **experiência 2.1** os valores de condutividade da solução 100% FO mantiveram-se abaixo dos valores do controlo, tendo ao longo da experiência, mantido valores de aproximadamente 1,80 mS/cm, à exceção do último dia da experiência, que alcançou valores aproximados de 1,50 mS/cm, conforme pode ser observado na **Figura 4.5**. Na solução controlo, a realidade foi semelhante, ao longo da experiência os valores mantiveram valores de

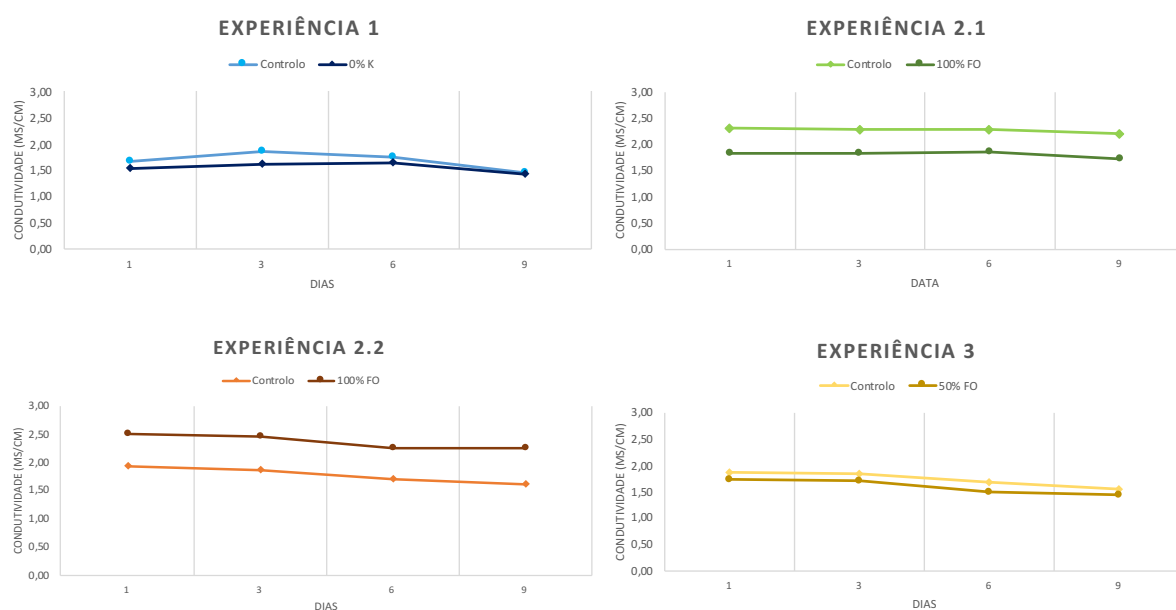


Figura 4.5: Registos de condutividade (mS/cm) das soluções nutritivas controlo (KNO_3) e solução com 100% FO observados ao longo de 12 (experiência 2.1) e 13 (experiência 2.2) dias de ensaio.

aproximadamente 1,80 mS/cm, tendo no dia 9, o último dia da experiência, atingido valores aproximados de 1,50 mS/cm. Na **experiência 2.2**, tal como na variação do pH, a situação não se mostrou ser semelhante. Os valores da solução 100% FO, nesta experiência, foram superiores relativamente ao controlo, compreendendo valores entre 2,30-2,50 mS/cm, aproximadamente, já no que diz respeito aos valores do respetivo controlo, a solução variou entre 1,50-2,00

mS/cm. Ao longo da experiência, a solução controlo foi decrescendo os seus valores atingindo no dia 9 um valor de aproximadamente 1,50 mS/cm, enquanto a solução 100% FO foi reduzindo o seu valor até ao dia 6, atingindo um valor de condutividade de aproximadamente 2,30 mS/cm, tendo no último dia da experiência aumentado este valor para aproximadamente 2,50 mS/cm. Por último, na **experiência 3**, a variação de pH da solução 50% FO não foi muito variável, compreendendo valores entre os 1,50 e os 2,00 mS/cm. Durante toda a experiência, a solução 50% FO manteve sempre as mesmas variações, comparativamente à solução controlo, embora encontrando-se sempre ligeiramente inferior, tal como se pode observar na **Figura 4.5**. No dia 1 a solução 50% FO iniciou a experiência com uma condutividade de aproximadamente 1,70 mS/cm e a solução controlo com aproximadamente 1,80 mS/cm, estes valores foram mantidos até ao dia 3 da experiência, tendo no dia 6 sofrido ambos os valores, um ligeiro decréscimo para aproximadamente 1,50 mS/cm e 1,60 mS/cm, respetivamente. No dia 9 e último dia da experiência, a solução 50% FO manteve o valor de condutividade e a solução controlo continuou com um ligeiro decréscimo, atingindo aproximadamente o mesmo valor de condutividade que a solução controlo.

De acordo com (Lee et al., 2017) a condutividade elétrica (CE) da solução é proporcional às concentrações totais de iões dissolvidos em solução, não podendo ser usada diretamente para determinar as concentrações individuais de cada ião. Deste modo, o controlo de nutrientes baseado somente na CE para o cultivo de plantas, pode não ser o método mais adequado para controlar as quantidades necessárias de nutrientes que cada cultivar necessita.

Num estudo em que se pretendeu avaliar a variação da condutividade elétrica face à absorção de água e de nutrientes, em plantas de alface cultivadas em hidroponia, foram avaliadas condutividades elétricas de aproximadamente 1,46, 2,46 e 4,21 mS/cm. Através deste estudo, constatou-se que o diâmetro, a altura da cabeça e o peso seco da raiz não foram influenciados pelas diferenças de condutividade elétrica, no entanto, os maiores pesos fresco e seco, relativos à parte da cabeça, foram conseguidos quando se obteve uma condutividade elétrica de aproximadamente 2,46 mS/cm (Didone, Sesso, Costa, Cañizares, e Goto, 2001). Também (Luna et al., 2013), no seu estudo com *Lactuca sativa* L., constatou que ao submeter diferentes proporções de macronutrientes, fazendo variar as concentrações de NO_3^- , K^+ , Ca_2^+ e NH^+ e as

condutividades elétricas (1,40, 1,90 e 2,40 mS/cm), mantendo o valor de pH (aproximadamente 6,55), se reduzia a atividade de enzimas oxidativas e se aumentava conseqüentemente o prazo de validade das alfaces mais jovens, bem como o conteúdo mineral das folhas.

Num outro estudo realizado no Sri Lanka, que pretendeu estudar a produção de alface por hidroponia, otimizando a condutividade elétrica, sob condições de estufa, compararam-se plantas suplementadas com 0,5 e 1,0 g/L de solução de Albert vs 2,0 g/L, e fazendo variar a condutividade elétrica, respetivamente entre 1,4, 2,0 e 3,0 mS/cm, observou-se que o aumento da condutividade elétrica fez variar não só o peso fresco, como o peso seco das plantas, que decresceu significativamente. A formação e área foliar, bem como a altura do caule, embora não tenham apresentado valores significativamente diferentes, foram superiores em plantas crescidas com condutividade elétrica de 1,4 mS/cm. No que diz respeito à absorção de nutrientes, a captação de N, P, K e Ca aumentou significativamente, com o aumento da condutividade elétrica. Deste modo, a relação inversa que existe entre o crescimento e rendimento das plantas com as taxas de absorção de nutrientes revela que as plantas como forma de defesa à toxicidade, causam desequilíbrios na captação dos mesmos, causando absorção excessiva de determinados nutrientes (Samarakoon, Weerasinghe, e Weerakkody, 2006).

4.7 Peso fresco (PF) e peso seco (PS) da parte aérea (PA) e parte radicular (PR)

Na **experiência 1**, podemos verificar que, de acordo com a **Figura 4.6** e **Tabela 4.1**, relativamente ao PF tanto a PA como a PR das plantas crescidas com 0% K, provaram ser estatisticamente diferentes com ($P < 0,05$). O PF e PS relativo à PA do respetivo tratamento, apresentaram valores mais baixos, comparativamente às outras experiências, apresentando pesos médios de aproximadamente 21,349g e 1,258g, respetivamente. Relativamente à PR, plantas crescidas com 0% K apresentaram PF e PS de aproximadamente 6,859g e 0,459, respetivamente. Comparativamente às restantes experiências, a solução controlo apresentou plantas com pesos mais baixos, relativamente à PA, como é o caso do PF e PS com valores médios compreendidos entre 40,547g e 2,220, respetivamente. Esta primeira experiência foi de

todas a que se obteve maiores diferenças entre os PF e PS de plantas suplementadas com solução controle relativamente ao respetivo tratamento.

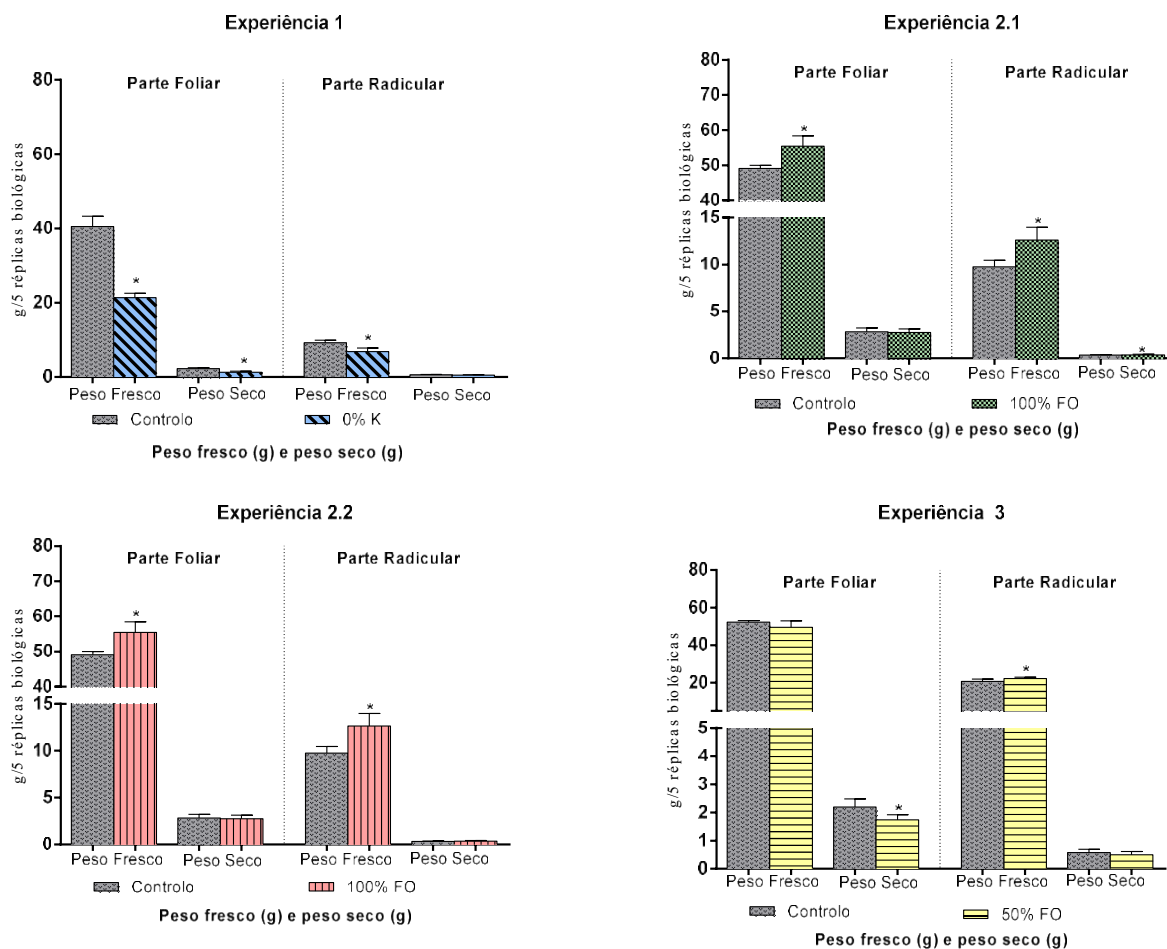


Figura 4.6: Peso fresco (PS) (g) e peso seco (PS) (g) da parte foliar ou radicular referentes às 4 experiências realizadas (experiências 1, 2.1, 2.2 e 3), com plantas de alface cultivadas durante 10, 12, 10 e 13 dias respetivamente, com uma solução controle, com KNO₃ ou solução sem K, 100% FO ou 50% FO. Cada barra vertical representa o número médio de 8 réplicas biológicas e cada linha vertical representa o desvio padrão. Barras com (*) são estatisticamente diferentes a P<0,05.

Tabela 4.1: Peso fresco (PS) (g) e peso seco (PS) (g) da parte aérea (PA) ou radicular (PR) referentes às 4 experiências realizadas (experiência 1, 2.1, 2.2 e 3), com plantas de alface cultivadas durante 10, 12, 10 e 13 dias respetivamente, com uma solução controlo ou respetivo tratamento.

Parte	Peso	Experiência 1		Experiência 2.1		Experiência 2.2		Experiência 3	
		Controlo	0% K	Controlo	100% FO	Controlo	100% FO	Controlo	50% FO
Foliar	PF	40,53	21,35	43,68	37,93	49,14	55,42	52,22	49,51
	PS	2,22	1,26	2,31	2,52	2,85	2,76	2,20	1,74
Radicular	PF	9,22	6,86	9,42	3,95	8,65	12,62	20,70	22,32
	PS	0,54	0,46	0,45	0,40	0,29	0,37	0,57	0,50

Na **experiência 2.1**, o PF da PA e da PR, das plantas crescidas com 100% FO, provaram ser estatisticamente diferentes, com ($P < 0,05$), comparativamente ao controlo, com valores de aproximadamente 37,933g e 3,945g, respetivamente. Os PS tanto da PA como a PR, compreenderam valores de aproximadamente 2,516g e 0,400g, respetivamente. Nesta experiência, raízes de plantas suplementadas com 100% FO apresentaram PF mais baixos, comparativamente às outras experiências, com valor de aproximadamente 3,945g. A **experiência 2.2** provou ser semelhante à anterior. Tal como na experiência 2.1, a PF da PA e PR, de plantas suplementadas com 100% FO, provaram ser estatisticamente diferentes, com ($P < 0,05$), comparativamente ao controlo, com valores de aproximadamente 55,423g e 12,622g, respetivamente. Nesta experiência, relativamente à PA, plantas suplementadas com 100% FO, apresentaram PF mais altos, comparativamente às restantes experiências, com valor de aproximadamente 55,423g. O mesmo se verifica com o PS de plantas suplementadas com 100% FO e respetivo controlo, sendo estes valores mais altos, comparativamente às restantes experiências, com valores de aproximadamente 2,848g e 2,763g, respetivamente. Resumidamente, tanto a experiência 2.1 como a 2.2, provaram ter pesos mais elevados, quando suplementadas com 100% FO, comparativamente a plantas controlo com fertilizante químico KNO_3 .

Na **experiência 3**, plantas suplementadas com 50% FO, relativamente ao PF da PA, mostraram ser semelhantes ao respetivo controlo, compreendendo valores de aproximadamente 49,512g, enquanto o respetivo controlo, valores de aproximadamente 52,220, sendo este valor controlo

o valor mais alto de todas as experiências, relativamente ao PF da PA. Os valores de PS, relativos à PA de plantas crescidas com 50% FO, provaram ser estatisticamente diferentes com ($P < 0,05$), relativamente ao controlo, compreendendo um valor de aproximadamente 1,741g. Relativamente à PR, o PF do tratamento 50% FO provou ser estatisticamente diferentes com ($P < 0,05$), relativamente ao controlo, com valor de aproximadamente 22,319g, este foi o valor de PF relativo à PR mais alto, comparativamente aos restantes tratamentos. No que diz respeito o PS da PR, o tratamento assemelhou-se ao respetivo controlo, compreendendo valores de aproximadamente 0,496g e 0,573g, respetivamente.

Investigadores como (Talukder, Asaduzzaman, Ueno, e Al, 2016) provaram conseguir reduzir o teor de K a (-87%). Comparativamente ao valor de K normal (490mg/100g de PF de alface), conseguiram reduzir o teor de K para 100mg/100g de PF de alface, não comprometendo os restantes nutrientes, com exceção do Na, do N e do NO_3 . O teor de Na foi significativamente maior em plantas de alface com redução de K, comparativamente a plantas de alface suplementadas com o teor de K normal (Yoshida, Sakuma, e Kumagai, 2014). Também (Talukder et al., 2016), no seu estudo, referenciou que níveis baixos de K em solução nutritiva podem limitar a assimilação deste nutriente e conduzir a um crescimento precoce das plantas, comprometendo o desenvolvimento de flores e de frutos. Inibindo este nutriente, a matéria seca nos frutos e nas raízes é reduzida, ficando a sua qualidade diretamente afetada, como se pode observar na experiência 1, que tanto o PF como o PS da PA e PR ficou comprometida, quando suprimida a fonte de K. Num outro estudo em que se pretendeu perceber o comportamento de plantas de algodão, em dois campos, com maior e menor fertilidade, testaram-se diferentes doses de fertilizantes, de N (0 e 240 Kg N/ha) e de K (0 e 150 Kg/ha). Concluiu-se que a fertilização de K é bastante importante para manter o crescimento e o alto rendimento das culturas. Além disso, concluiu-se ainda que as plantas utilizadas em ambos os campos, utilizaram aproximadamente as mesmas quantidades de N e de P para aproximadamente 100 kg de fio de algodão. O mesmo não se verificou com o nutriente K. O campo de maior fertilidade provou utilizar mais 20,6% de K para produzir aproximadamente 100kg de fio. Embora o aumento da produtividade seja influenciado pelas fertilizações e as suas combinações, a densidade da planta é um fator muito importante para o seu rendimento. O número de cápsulas das plantas de algodão, assim como o peso da planta, são dois fatores influenciados pelas combinações de fertilizantes (Dong, Kong,

Li, Tang, e Zhang, 2010). Estudos demonstram que a suplementação do fertilizante K regula hormonas endógenas e melhora a qualidade e resistência das fibras de algodão, sendo o K um dos principais nutrientes onde o crescimento, desenvolvimento e rendimento das fibras são afetados. Quando existe uma deficiência de K, tanto a fotossíntese como a produção de biomassa, rendimento e qualidade das fibras tornam-se condicionados (Chen et al., 2017).

Num outro estudo de privação de macronutrientes em duas cultivares de alface (*Lactuca sativa* L. var. capitata) verde Salanova e vermelho Salanova (vermelho Salanova), crescidas num sistema fechado sem solo, testaram-se três soluções nutritivas, uma de força total, uma de meia força e outra de um quarto de força. A solução nutritiva de força total foi constituída por: 9.0 mM N-NO₃⁻, 2.0 mM S, 1.0 mM P, 4.0mM K, 4.0mM Ca, 1.0mM Mg, 1.0mM NH₄⁺, 15μM Fe, 9μM Mn, 0.3μM Cu, 1.6μM Zn, 20μM B, e 0.3μM Mo, enquanto a solução de meia força possuía 50% das concentrações de macronutrientes e a solução de um quarto de força, 25% dos macro acima referidos. Os micronutrientes foram mantidos em igual concentração para todas as soluções. Os resultados demonstraram que a diminuição de macronutrientes para 50% causa uma redução na biomassa fresca de ambos os genótipos, de aproximadamente 14% comparativamente ao controlo, embora, por outro lado, tenha melhorado outras características como o aumento do ácido ascórbico em 266%, ácidos fenólicos em 162%, antacianinas em 381%, violaxantina e neoxantina em 25%, 8% em luteína e 7% em caroteno, comparativamente ao tratamento controlo. A maior biomassa fresca foi registada em vermelho Salanova, nutrido pela solução nutritiva de força total, seguido pela solução nutritiva de meia força, para o mesmo genótipo. A solução com um quarto de força foi a mais prejudicial, uma vez que diminuiu a biomassa da cultivar vermelha em 37,9% e 24,0% na cultivar verde. Independentemente da solução nutritiva aplicada, a cultivar Salanova vermelha exibiu maior área foliar e biomassa seca da parte aérea. Todos os parâmetros de crescimento apresentaram uma redução significativa quando a concentração da solução nutritiva foi reduzida. (El-Nakhel et al., 2019). Estes resultados levam-nos a concluir que a variação do genótipo influencia o comportamento das plantas, face à solução nutritiva utilizada.

Num estudo recente, realizado por (Monsees et al., 2019), pretendeu-se avaliar o comportamento de Salanova (*Lactuca sativa* L.), face a duas soluções nutritivas, uma sem

adição de fertilizantes, usando somente a água como fonte em nutrientes minerais e outra, usando o aproveitamento de águas de sistemas de aquicultura para a produção de peixes,

combinados com um sistema de hidroponia para a produção de plantas sem solo. As soluções nutritivas foram ajustadas para uma condutividade elétrica de 2,2 mS/cm e a solução nutritiva ideal para o crescimento da alface continha (200 mg N/L, 62 mg P/L, 150 mg K/L, 210 mg Ca/L, 50 mg Mg/L, 70 mg S/L, 2,5 mg Fe/L, 0,62 mg Mn/L, 0,03 mg Mo/L, 0,09 mg Zn/L, 0,50 mg Cu/L e 0,44 mg B/L). A solução controle, bem como a água de peixe, foram analisadas por (ICP-OES), e realizados posteriores ajustes minerais, conforme a solução nutritiva a cima mencionada. Através dos resultados, conseguimos perceber que as variações dos parâmetros de qualidade da alface não foram significativamente diferentes, à exceção do conteúdo mineral das folhas de alface. Verificou-se ainda que o uso de água de peixes de aquicultura economizou aproximadamente 63% de fertilizantes minerais e substituiu totalmente a água doce necessária para a produção de solução nutritiva, sendo este sistema, uma potencial solução para a redução de aproximadamente 72% por ano, as emissões de gases de efeito de estufa de um local onde a produção de alface seja feita anualmente.

4.8 Acumulação de Nutrientes- Parte Aérea

Na **experiência 1** em plantas suplementadas com o tratamento 0% K os macronutrientes K, Ca, Mg, Na e P e os micronutrientes Zn e Mn, presentes na parte foliar das plantas, apresentaram ser significativamente diferentes ao respetivo controle, tal como se pode observar na **Figura 4.7**. Este quadro leva-nos a concluir, de um modo geral, que plantas suplementadas com solução nutritiva sem K tiveram presente em solução os mesmos nutrientes, que plantas suplementadas com solução controle, uma vez que, todos os nutrientes analisados, à exceção do K, mantiveram igual ou maior concentração em plantas suplementadas com solução sem K.

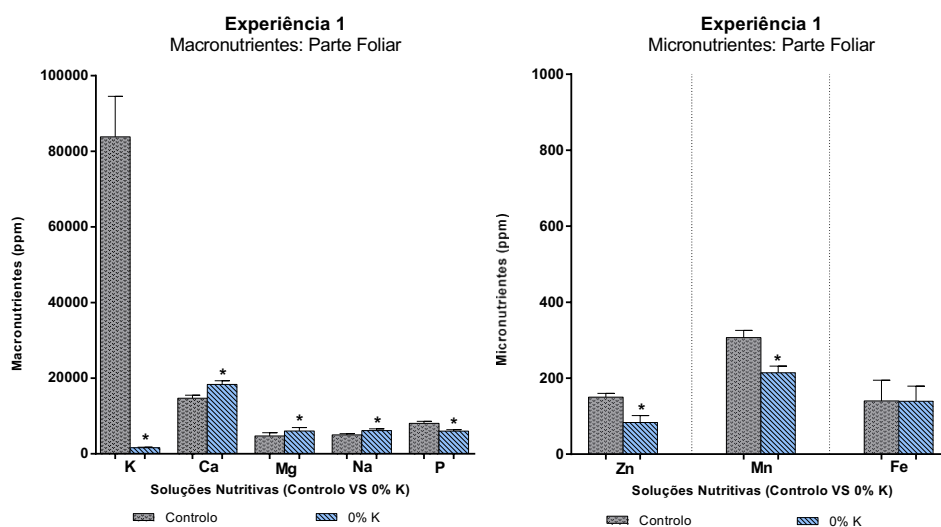


Figura 4.7: Teor de macronutrientes ou micronutrientes referentes à experiência 1, em folhas de plantas de alface crescidas em hidroponia durante 10 dias com uma solução controle (KNO_3) ou solução sem K. Cada barra vertical representa a média de 7 réplicas biológicas e cada linha vertical representa o desvio padrão. Barras com (*) são estatisticamente diferentes para cada elemento a $P < 0,05$.

Relativamente ao nutriente K, plantas suplementadas com solução controle apresentaram valores de aproximadamente 186,2 mg de K/5 réplica biológica e plantas crescidas sem K, valores de aproximadamente 2,0 mg de K/5 réplica biológica, concentração esta que poderá ser vestigial ou de reserva, uma vez que as plantas utilizadas para a experiência foram germinadas em estufa com todos os elementos essenciais ao seu crescimento, inclusive o nutriente K.

Experiências em vasos, com substratos com ausência de K, mostraram que plantas não crescem sem este nutriente. Quando as reservas deste mineral se esgotam nas raízes, as plantas acabam por morrer (Barker e Pilbeam, 2007). De acordo com (Pyo et al., 2010), relativamente ao peso seco das plantas, o teor de K pode variar entre os 0,8% a 8%, sendo a concentração no citosol mantida entre 80 e 200 mM.

Relativamente à **experiência 2.1**, esta provou que, de acordo com análise da PA das plantas de alface, à exceção do nutriente K, os macro e micronutrientes provaram ser significativamente

diferentes estatisticamente com ($P < 0,05$), tal como se pode observar na **Figura 4.8**. Isto leva-nos a concluir que a biodisponibilidade dos nutrientes em solução, quando é adicionado o FO, continua a ser a mesma ou até mesmo superior como é o caso do Ca, o Mg, o Na, o P, o Zn, o Mn e o Fe. Relativamente à disponibilidade e absorção no nutriente K, podemos observar que plantas suplementadas com 100% FO provaram ser estatisticamente semelhantes quando comparadas com plantas controlo contendo KNO_3 em solução. Plantas controlo apresentaram aproximadamente 76 640 ppm K, enquanto plantas suplementadas com 100% FO apresentaram valores de aproximadamente 72 561 ppm tal como pode ser observado na **Tabela 4.2**. Nesta experiência, a diferença de K absorvido, comparando as duas soluções nutritivas foi de 4 179 ppm.

Na **experiência 2.2**, os nutrientes Ca, Na Zn e Mn provaram ser significativamente diferentes estatisticamente com ($P < 0,05$), enquanto que os nutrientes Mg, P e Fe não provaram ser estatisticamente diferentes, como se pode observar na **Figura 4.8**. Podemos verificar também que a concentração do nutriente K em plantas suplementadas 100% FO apresentaram valores superiores de K, comparativamente a plantas controlo. Enquanto que plantas suplementadas com solução controlo apresentaram valores superiores de Ca, P e Zn.

Estudos têm demonstrado que para a fertilização de culturas e a agricultura de subsistência têm despendido a utilização de fertilizantes inorgânicos, uma vez que contribuem para a intoxicação de alimentos, como para a degradação alimentar (Masarirambi, Hlawe, Oseni, e Sibiya, 2010), deste modo, é cada vez mais relevante o estudo da biodisponibilidade de nutrientes em diferentes cultivares.

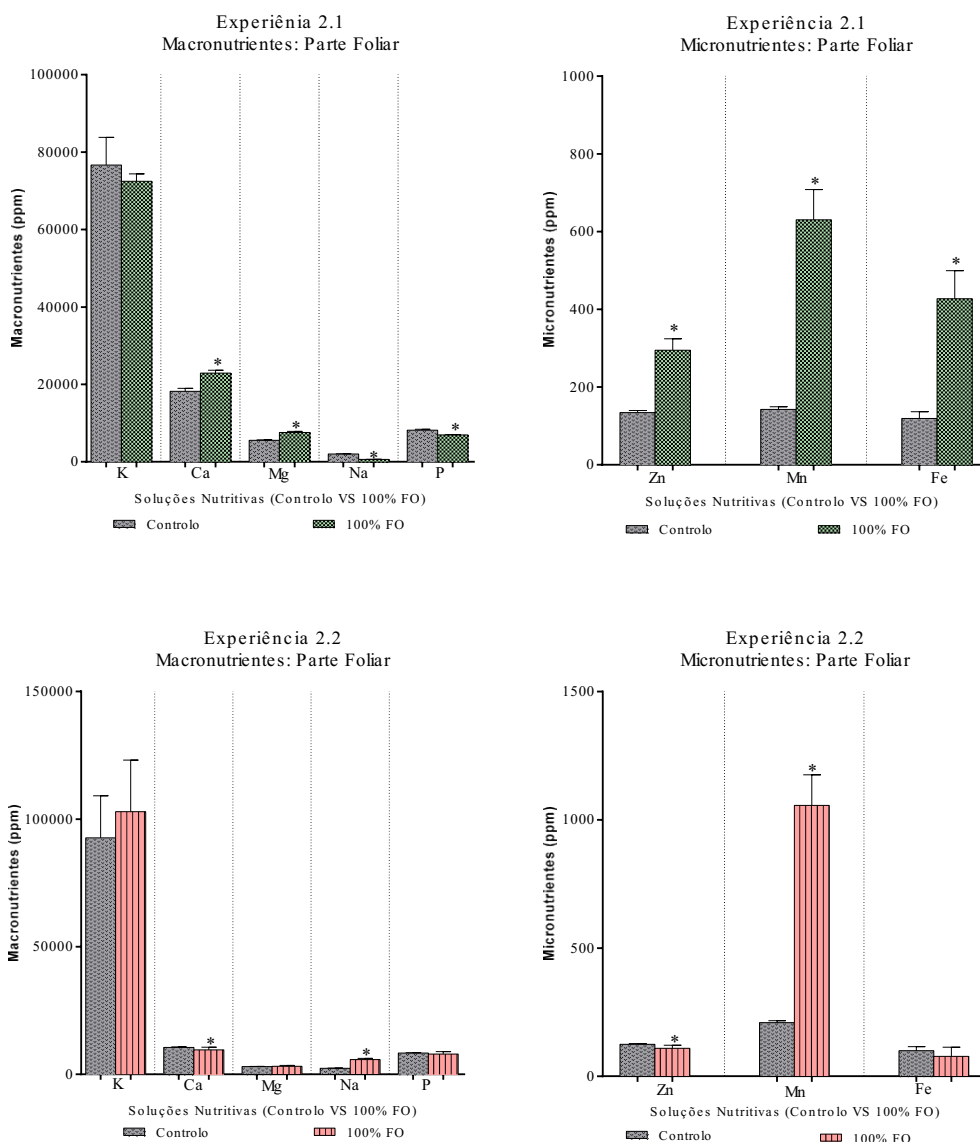


Figura 4.8: Teor de macronutrientes ou micronutrientes referentes à experiência 2.1 (12 dias) e 2.2 (13 dias), em folhas de plantas de alface crescidas em hidroponia em solução controle (KNO_3) ou com 100% FO. Cada barra vertical representa a média de 8 réplicas biológicas e cada linha vertical representa o desvio padrão. Barras com (*) são estatisticamente diferentes da respectiva solução controle a $P < 0,05$.

Efeitos de toxicidade podem acontecer, uma vez que soluções concentradas de nutrientes levam ao consumo excessivo de nutrientes por parte da planta, no entanto, existem evidências de efeitos positivos de altas concentrações de nutrientes em solução nutritiva (Kang e Iersel, 2004),

que provaram que o aumento da concentração da solução de Hoagland a 200% fez com que plantas florescessem em média 8 dias mais cedo, aumentando o seu peso seco total e área foliar. Da mesma forma, de acordo com (Fanasca et al., 2006), níveis elevados de K^+ na solução nutritiva (14,2 meq L⁻¹ vs 3,4 meq L⁻¹) aumentaram a matéria seca dos frutos, o teor de sólidos solúveis totais e a concentração de licopeno do tomate.

De acordo com (Slamic e Jug, 2016), a informação sobre a resposta da alface ao excesso de suplementação de nutrientes é escassa, lidando principalmente com mudanças aos elementos fósforo (P), azoto (N) ou fertilizantes orgânicos.

Comparativamente à **experiência 3**, de acordo com a **Figura 4.9**, os nutrientes Na, P, Zn, Mn e o Fe apresentaram ser significativamente diferentes estatisticamente com ($P < 0,05$). Ao contrário dos nutrientes K, Ca e Mg que apresentaram valores bastante semelhantes entre eles. Os micronutrientes analisados nesta experiência, em plantas suplementadas controle, apresentaram valores consideravelmente superiores a plantas suplementadas com 50% FO. Conseguimos também verificar relativamente ao nutriente K que plantas suplementadas com 50% FO, onde a concentração do nutriente K reduziu para metade da sua concentração original, teve um comportamento semelhante a plantas suplementadas com a concentração total de K. Nesta experiência a diferença de K absorvido por plantas controle ou 50% FO foi de 3 713 ppm, diferença bastante inferior comparativamente à experiência 2.2, de 10 193 ppm. A concentração de micronutrientes de plantas 50% FO apresentaram valores significativamente diferentes, estatisticamente com ($P < 0,05$), comparativamente a plantas controle.

Observando o comportamento das plantas face às diferentes experiências, podemos concluir que reduzindo para metade o valor da concentração do nutriente K, a acumulação de minerais à exceção do K na experiência 1, não sofreram grandes alterações.

Alguns estudos em alfaces sugerem ser possível reduzir-se a concentração de solução nutritiva a níveis tão baixos quanto 10% da força iónica original das soluções usadas em hidroponia, sem que ocorram perdas de produtividade das culturas. Além disso, demonstram ser possível

reduzir-se o uso de fertilizantes pela metade, uma vez que não são encontradas diferenças significativas no conteúdo mineral das folhas e no comprimento das raízes (Slamic e Jug, 2016).

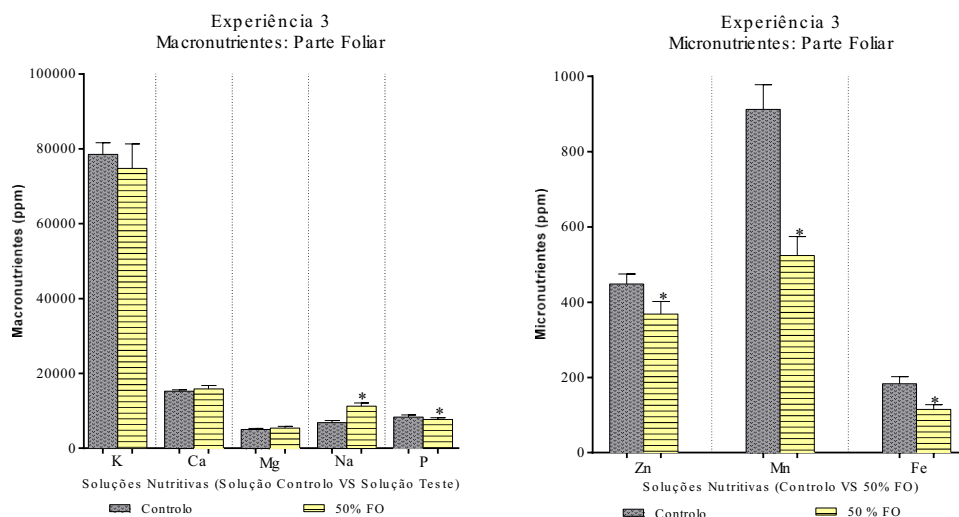


Figura 4.9: Teor de macronutrientes ou micronutrientes referentes à experiência 3, em folhas de plantas de alface crescidas em hidroponia durante 10 dias com uma solução controle ou solução teste. Cada barra vertical representa a média de 8 réplicas biológicas e cada linha vertical representa o desvio padrão. Barras com (*) são estatisticamente diferentes da respectiva solução controle a $P < 0,05$.

Foi também reportado que a concentração da solução nutritiva pode ser reduzida em 50% sem que exista qualquer perda de biomassa ou qualidade. De acordo com (Sididiqi, Kronzucker, Britto, e Glass, 1998), quando existe redução nas concentrações de macronutrientes para 50%, em culturas de tomate, não existe nenhum efeito adverso no crescimento, produção e qualidade de frutos. No entanto, espera-se que em situações particulares, concentrações muito baixas de determinados elementos não sejam necessárias para suprimir as necessidades mínimas de certos nutrientes.

(Ali e Taalab, 2008), na sua experiência, constataram que em cultura de cebola, quando aplicado fertilizante químico sulfato de K à cultura, esta obteve plantas mais altas, com maior número de folhas, maior peso fresco e seco, e ainda rendimentos superiores de bolbos por unidade de área, comparativamente à aplicação de um feldspato como fonte natural de K. Os valores de N, P, K e Zn, também mostraram ser mais elevados, em plantas com fertilizante registrados como minerais mais elevados, quando existiu uma aplicação de fertilizante misto (sulfato de K +

feldspato como fonte de K). Podemos observar estas constatações a nível do Zn, na experiência 2.1 e a nível do K na experiência 2.2, quando é adicionado o FO.

Tabela 4.2: Tabela resumo das três experiências, relativa à quantidade de K, Ca, Mg, Na, Zn, Mn, Fe e P em ppm acumulada pela parte foliar da alface controlo (KNO₃) e alface crescida em solução nutritiva com 100% ou 50% FO em substituição do KNO₃.

Tratamentos				
Mineral	0% K (Exp. 1)	100% FO (Exp. 2.1)	100% FO (Experiê 2.2)	50% FO (Exp. 3)
K	1 592	72 461	102 846	74 791
Ca	18 334	22 931	9 588	15 869
Mg	6 025	7 581	3 164	5 413
Na	6 099	614	5 748	11 238
Zn	83	294	109	368
Mn	214	630	1 056	523
P	6 011	6 951	7 875	7 664
Fe	139	427	99	114
Controlo (KNO₃)				
K	83 852	76 640	92 653	78 504
Ca	14 734	18 228	10 530	15 261
Mg	4 734	5 561	2 970	5 011
Na	4 995	2 037	2 350	6 812
Zn	150	134	125	448
Mn	306	142	209	911
P	8 008	8 200	8 314	8 333
Fe	140	119	77	183

Também (X. Chen, Harrell, Cox, e Davis, 2018) em na sua experiência, estudou o efeito de diferentes taxas de fertilizantes de K em plantas de soja. Testaram-se seis doses diferente (0;

33,6 ; 67,3 ; 100,9 ; 134,5 e 168,1 kg / ha como K₂O), no desenvolvimento da casca da soja, semente de soja, peso e qualidade nutricional das sementes de soja. Os resultados sugerem que o N presente nas folhas não é afetado pela aplicação de fertilizante potássico em diferentes doses e que as taxas mais altas de fertilizante potássico, para além de melhorarem o peso das sementes, podem também facilitar o desenvolvimento da praga da soja.

4.9 Acumulação de Nutrientes- Parte Radicular

Nas **experiências 2.2 e 3**, realizaram-se análises à parte radicular das plantas de alface. De acordo com a **Figura 4.10**, podemos observar que, dos macronutrientes analisados, o Na foi o único macronutriente que demonstrou ser estatisticamente diferente ($P < 0,05$), em ambas as experiências, relativamente ao controlo (KNO₃). Na **experiência 2.2**, em plantas suplementadas com 100% FO, o P provou ser significativamente diferente comparativamente ao controlo, com valores superiores em plantas suplementadas com 100% FO. Dos micronutrientes, o Zn e o Fe, foram os dois micronutrientes que se conseguiram detetar em análise, sendo o Zn, significativamente diferente estatisticamente na **experiência 3**, com valores inferiores em plantas suplementadas com 100% FO, relativamente a plantas controlo.

De acordo com a **Tabela 4.3**, podemos verificar que, enquanto a na experiência 2.2, a quantidade de K nas raízes das plantas de alface controlo foi de aproximadamente 55 990 ppm, na experiência 3 foi de 50 305 ppm. Embora a solução nutritiva tenha sido idêntica, o K absorvido foi ligeiramente superior na experiência 2.2. Relativamente às plantas crescidas com 100% de FO, na experiência 2.2, estas apresentaram valores de aproximadamente 63 626 ppm nas raízes, enquanto na experiência 3, com metade da suplementação de K, as raízes acumularam 55 093 ppm de K. De acordo com (Albornoz e Heinrich Lieth, 2015), existe pouca informação sobre a resposta da alface (*Lactuca sativa* L.) a diferentes concentrações de nutrientes na zona da radicular, no entanto, estima-se que altas concentrações de nutrientes fornecidos à zona radicular da planta, diminuem o rendimento das cultivares, uma vez que existe uma diminuição da fotossíntese e conseqüentemente da área foliar da planta.

Estudos demonstram que fertilizantes orgânicos, como dejetos de galinha e de bovino, mostraram afetar a produtividade, o crescimento e a qualidade nutricional de plantas de alface (Masarirambi et al., 2010). Neste estudo, os resultados de fertilizantes inorgânicos apresentaram valores mais baixos quando comparados com o FO, sugerindo que o uso de FO para o cultivo de plantas de alface, apresenta resultados positivos.

Tabela 4.3: Resumo das duas experiências, relativa à concentração (ppm) de K, Ca, Mg, Na, Zn, Mn, Fe e P absorvida pela parte radicular de plantas de alface crescidas na solução controle ou com 100% ou 50% FO como fonte de K.

Solução	Experiência 2.2		Experiência 3	
Mineral	Controlo KNO₃	FO 100%	Controlo KNO₃	FO 50%
K	54 990	63 626	50 305	55 093
Ca	8 052	7 702	10 366	10 916
Mg	1 987	2 042	3 068	2 821
Na	3 639	7 929	4 995	7 899
Zn	0,017	0,019	281	230
Mn	-	-	-	-
Fe	1 926	1 721	1 784	1 651
P	1 595	2 269	7 450	10 334

Por outro lado, um estudo realizado por (Asaduzzaman et al., 2018), mostrou que em plantas de melão, crescidas em hidroponia, onde a quantidade de K foi reduzida para 50, 75, 100 e 125% de KNO₃ necessário, verificou-se que, em plantas de melão suplementadas com 50% de KNO₃, eram produzidos frutos com aproximadamente 53% menos de K, comparativamente ao controle. No mesmo estudo, também se verificou que a inibição da fonte de K em quatro cultivares de melão diferentes, uma a duas semanas antes da colheita, não apresentava diferenças significativas no teor de K, dos frutos das diferentes cultivares. Além disso, a fonte de fertilizante de K como KNO₃ e K₂SO₄ e sua restrição, uma a duas semanas antes da colheita, também foi estudada. Os resultados sugerem que na fase de maturação dos frutos, a fonte de K

ou a sua restrição, não influencia o teor de rendimento de K, uma vez que este nutriente pode ser transportado das folhas para os frutos.

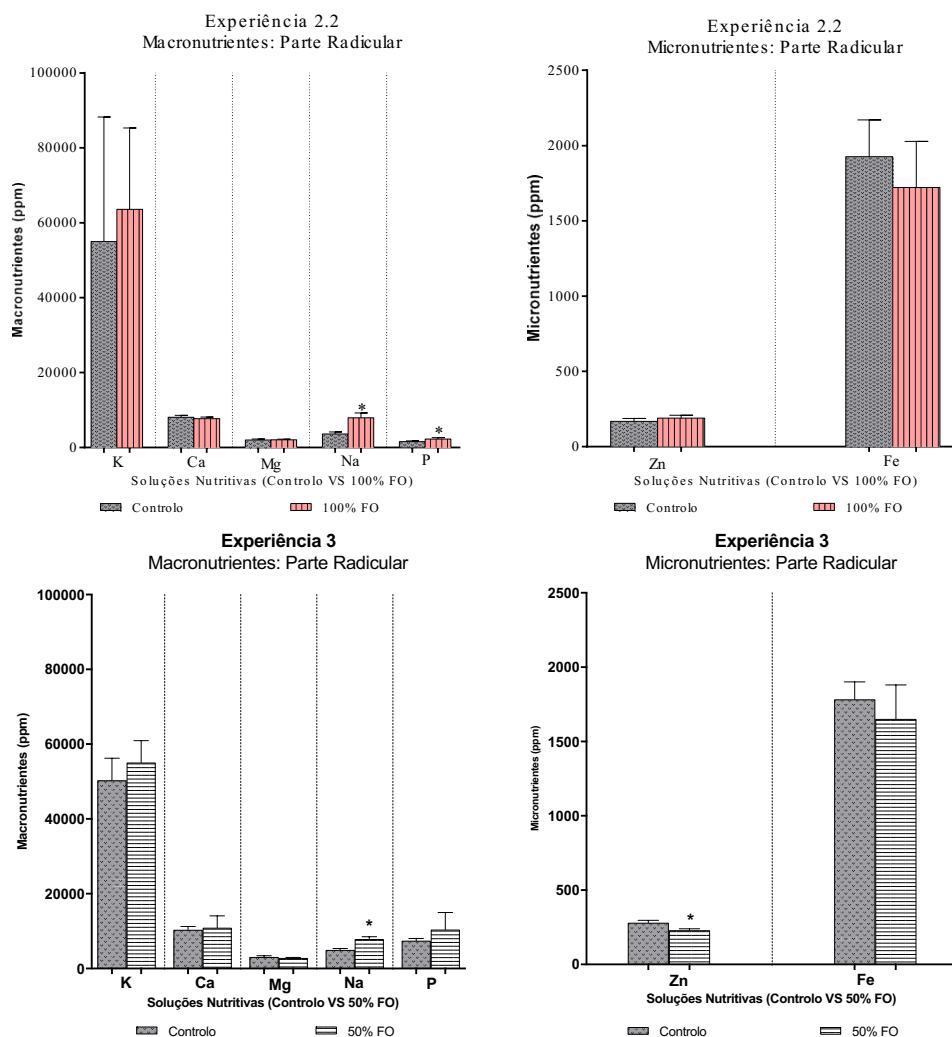


Figura 4.10: Teor de macronutrientes e micronutrientes referentes à experiência 2.2 (13 dias), em raízes de plantas crescidas em solução controlo (KNO_3) ou em solução 100% FO e referentes à experiência 3 (10 dias), em raízes de plantas crescidas em solução controlo (KNO_3) ou em solução 50% FO. Cada barra vertical representa a média de 8 réplicas biológicas e cada linha vertical representa o desvio padrão. Barras com (*) são estatisticamente diferentes a $P < 0,05$.

4.10 Número de folhas produzido

Nos diferentes ensaios realizados, as plantas controlo apresentaram uma média de valores compreendidos entre 60 a 80 folhas/5 réplicas biológicas, tal como podemos observar na **Figura 4.11**. Relativamente à solução controlo, as plantas que apresentaram o menor número de folhas foram as plantas da **experiência 1**, apresentando aproximadamente $60 \pm 4,17$ folhas/5 réplicas biológicas. De acordo com a **Figura 4.11** e **Tabela 4.4**, verificamos que das experiências realizadas, a que apresentou melhores valores no número de folhas foi a experiência 3, com aproximadamente $74 \pm 1,22$ folhas/5 réplicas biológicas, enquanto a **experiência 2.1** e a **experiência 2.2** apresentaram respetivamente $69 \pm 1,32$ e $73 \pm 2,00$ folhas/5 réplicas biológicas.

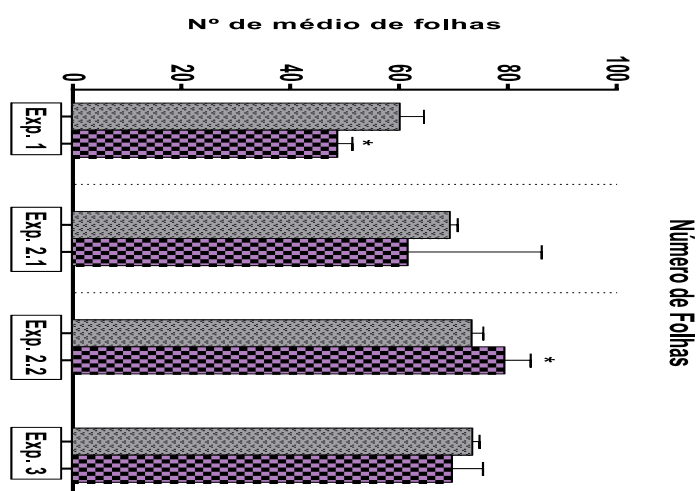


Figura 4.11: Número médio de folhas referentes às 3 experiências realizadas, com plantas de alface cultivadas durante 10, 12, 10 e 13 dias respetivamente, com uma solução controlo ou sem K, 100% FO ou 50% FO. Cada barra vertical representa o número médio de 8 réplicas biológicas e cada linha vertical representa o desvio padrão. Barras com (*) são estatisticamente diferentes do respetivo controlo, a $P < 0,05$.

Tabela 4.4: Tabela resumo das três experiências, relativa ao número médio de folhas de plantas de alface / 5 réplicas biológicas, suplementadas com solução controle e respectivo tratamento, relativos às experiências 1, 2.1, 2.2 e 3.

Solução	Experiência 1 (Sem K)	Experiência 2.2 (100% FO)	Experiência 2.2 (100% FO)	Experiência 3 (50% FO)
Controlo	60 ± 4,17	69 ± 1,32	73 ± 2,00	74 ± 1,22
Tratamento	49 ± 2,60	62 ± 23,01	79 ± 4,55	70 ± 5,31
Diferença	11	7	6	4

Relativamente às plantas tratadas com FO, as únicas experiências que demonstraram ser significativamente diferentes com $P < 0,05$, quando comparadas com os respectivos controlos, foram as experiências 1 e 2.2, apresentando valores de aproximadamente $49 \pm 2,60$ e $79 \pm 4,55$ folhas/5 réplicas biológicas. A **experiência 2.1** e a **experiência 3** apresentaram valores de aproximadamente $62 \pm 23,01$ e $70 \pm 5,31$ folhas/5 réplicas biológicas (**Figura 4.11** e **Tabela 4.4**). De todas as experiências realizadas, na experiência 3 plantas suplementadas com controlo demonstraram ter uma diferença menor comparativamente a plantas suplementadas com 50% FO. Pelo contrário, a experiência 1 apresentou maior diferença quanto ao número médio de folhas produzido, apresentando aproximadamente uma diferença de 11 folhas/5 réplicas biológicas. Estes resultados levam-nos a concluir que plantas suplementadas com solução sem K (experiência 1) são plantas que em média apresentaram menos folhas, comparativamente a plantas em que a fonte de K não é suprimida.

De acordo com (Pettigrew, 2008), podemos confirmar essa constatação, uma vez que a deficiência de K pode levar a uma redução do número e do tamanho das folhas. Este aspeto é explicado devido ao crescimento da planta ficar comprometido com a falta deste nutriente. Uma vez que a taxa fotossintética fica comprometida, existe uma redução da taxa fotossintética por unidade de foliar, levando conseqüentemente à redução da quantidade de material vegetal.

Na resposta da produtividade da cebola à aplicação de K em diferentes formas e concentrações, também (Ali e Taalab, 2008), observaram que a aplicação de K, utilizando sulfato de K, levou

a plantas mais altas, comparativamente a plantas suplementadas com feldspato, fertilizante proveniente de uma fonte natural. Fatores como PF e PS, altura da planta, nº de folhas, rendimento, dimensão e peso médio dos bolbos foram superiores em plantas suplementadas com o fertilizante químico.

Num outro estudo em que se pretendeu avaliar o crescimento, caraterizar a deficiência dos macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S, bem como, caraterizar a composição mineral de plantas de graviola, realizaram-se 7 tratamentos com 4 repetições, durante aproximadamente 75 dias. (Batista et al., 2003), constatou que a deficiência de K, se caraterizou por uma redução das folhas mais novas da planta, ficando as folhas mais antigas com um aspeto envelhecido no ápice, estendendo-se em direção à parte central da folha, com uma cor inicialmente amarelada e posteriormente acastanhada. Nesta experiência também foi observado que o tamanho das folhas jovens foi afetado, tornando-as mais pequenas comparativamente a uma planta crescida com todos os elementos essenciais. Neste estudo, a queda precoce das folhas foi outro dado observado, concluiu-se ainda que a omissão dos macronutrientes, para além de provocar diminuição do crescimento das plantas, a produção de matéria seca, face ao tratamento completo, fica comprometido.

4.11 Altura, comprimento das raízes e clorofila

De acordo com a **Figura 4.12**, podemos observar que a altura das plantas controlo suplementadas com 100% FO (**experiência 2.2**) obtiveram valores de aproximadamente 6,51 cm \pm 0,32, enquanto o respetivo tratamento provou ser significativamente diferente estatisticamente com média de valores inferiores de aproximadamente 5,86 cm \pm 0,44, **Tabela 4.5**. Relativamente à fertilização com 50% FO, relativo à **experiência 3**, verificamos o mesmo, plantas controlo provaram ter valores médios ligeiramente superiores, de aproximadamente 7,21 cm \pm 0,26 de altura, comparativamente ao respetivo tratamento, com valores médios de aproximadamente 6,35 cm \pm 0,26, sendo estes valores, mais uma vez, significativamente diferentes estatisticamente.

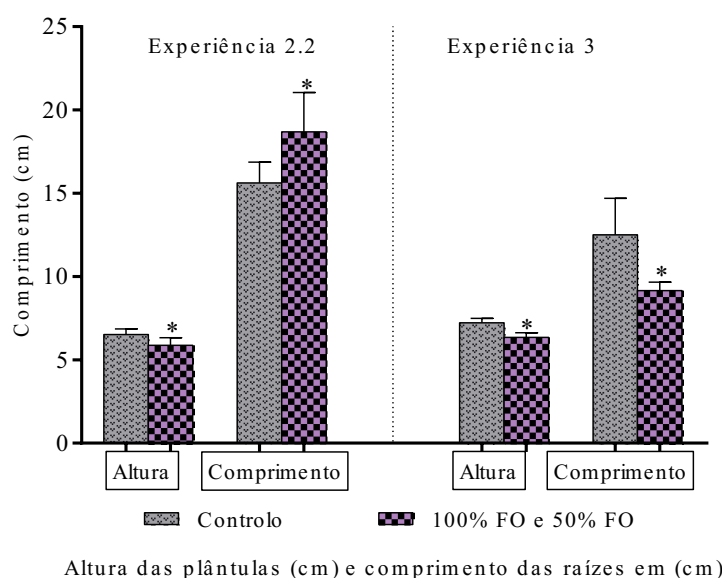


Figura 4.12: Altura das plantas (cm) e comprimento das raízes (cm), das plantas crescidas com 100% FO (experiência 2.2) e 50% FO (experiência 3), comparativamente às plantas controle, suplementadas com KNO_3 , cultivadas durante 10 e 13 dias respetivamente. Cada barra vertical representa o número médio de 8 réplicas biológicas e cada linha vertical representa o desvio padrão. Barras com (*) são estatisticamente a $P < 0,05$.

Podemos assim concluir que as plantas suplementadas com FO a 100% (Experiência 2.2) e 50% (Experiência 3) produzem plantas com alturas significativamente menores relativamente às plantas controle.

Por outro lado, o comprimento das raízes foi significativamente superior com 100% FO do que controle, com KNO_3 , embora significativamente inferior quando apenas se forneceu 50% da dose de FO. Na experiência 2.2, plantas suplementadas com solução controle apresentaram uma média de valores de aproximadamente $15,63 \text{ cm} \pm 1,17$ de comprimento e um valor médio de aproximadamente $18,69 \text{ cm} \pm 2,22$ relativamente ao tratamento. O mesmo não foi verificado na experiência 3, plantas suplementadas com solução controle obtiveram valores médios de aproximadamente $12,50 \text{ cm} \pm 2,06$, enquanto o respetivo tratamento obteve valores ligeiramente inferiores, com uma média de valores de aproximadamente $9,15 \text{ cm} \pm 0,49$.

Num estudo recente, (Liu, Sung, Chen, e Lai, 2014) verificou a aplicação de fertilizantes orgânicos, inorgânicos e líquidos, ricos em N, aplicados a plantas de alface, em igual quantidade de fertilizante (200 Kg/N/ha). O comportamento observado nas plantas, quando aplicado o fertilizante orgânico, apresentava folhas significativamente mais largas e longas, maior nº de brotos e menores concentrações de nitrato, comparativamente a plantas suplementadas com fertilizante químico.

Num outro estudo de crescimento de alfaces suplementadas com carvão de casca de arroz com 28,7% de carbono, verificou-se um aumento da biomassa final, radicular, altura das plantas e nº de folhas comparativamente a tratamentos sem biocarvão (Carter, Shackley, Sohi, Suy, & Haeefe, 2013). (Pettigrew, 2008) afirma ainda que a largura das folhas de alface está fortemente relacionada com o rendimento da cultura, não sendo o comprimento da folha um indicador sensível do crescimento da alface. Além disso, quando existe uma carência do nutriente K, (Pettigrew, 2008) afirma ainda que a redução do número de folhas e o seu tamanho fica comprometido, comprometendo consequentemente a taxa fotossintética da planta, uma vez que a área foliar fica reduzida, a quantidade de assimilados fotossintéticos reduz consequentemente, afetando o rendimento tanto ao nível da produção como ao nível da qualidade do produto.

Tabela 4.5: Altura média (cm) e comprimento das raízes (cm), das plantas crescidas com 100% FO (experiência 2.2) e 50% FO (experiência 3), durante 10 e 13 dias respetivamente, comparativamente às plantas controlo, suplementadas com KNO₃.

	100 % FO		50% FO	
	Altura (cm)	Raízes (cm)	Altura (cm)	Raízes (cm)
Controlo	6,51 ± 0,32	15,63 ± 1,17	7,21 ± 0,26	12,50 ± 2,06
Tratamento	5,86 ± 0,44	18,69 ± 2,22	6,35 ± 0,26	9,15 ± 0,49

4.12 Clorofila e % de azoto (N)

Como se pode observar na **Figura 4.13** e **Tabela 4.6**, relativamente à **experiência 2.2**, ambas as soluções controlo e 100% FO, no dia 1, apresentaram um valor médio de clorofila de aproximadamente $24,05 \pm 1,35$ e $24,81 \pm 0,83$ respetivamente. No dia 4, ambas as plantas diminuíram o valor de clorofila, apresentando valores de aproximadamente $23,68 \pm 1,82$ e $22,61 \pm 2,14$. Neste quarto dia de experiência, plantas suplementadas com 100% FO tiveram um decréscimo maior do valor de clorofila, quando comparado com o respetivo controlo. No oitavo e último dia de experiência, ambas as plantas aumentaram o teor de clorofila para $25,38 \pm 0,91$ em plantas controlo e $25,06 \pm 0,77$ em plantas com 100% FO.

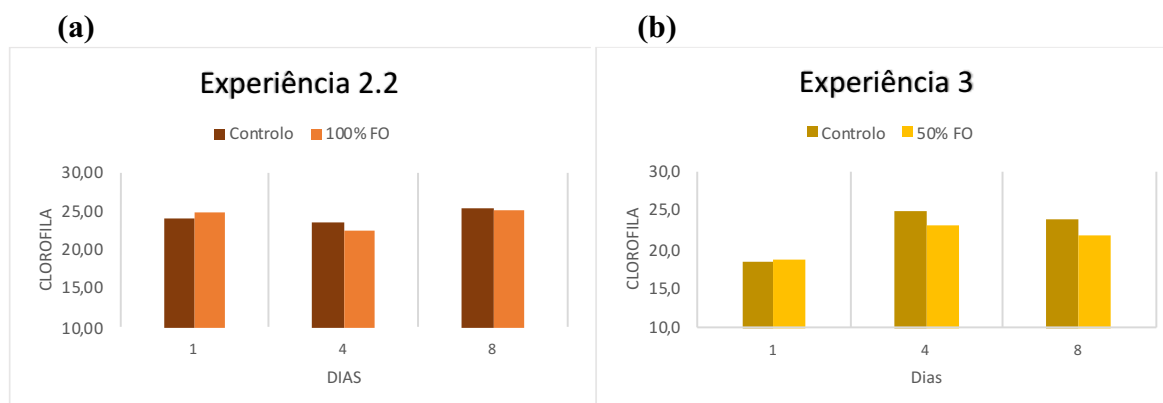


Figura 4.13: Média dos valores de clorofila em plantas crescidas em solução controlo ou em solução com 100% FO (a) ou 50% FO (b), durante 10 e 13 dias respetivamente.

Relativamente à **experiência 3**, o comportamento das plantas ao longo da experiência mostrou ser ligeiramente diferente, embora ambas as plantas suplementadas com as soluções nutritivas obtiveram valores semelhantes de clorofila, para plantas controlo e plantas suplementadas com 50% FO. Tal como na experiência anterior, ambas as plantas iniciaram o dia 1 com valores muito semelhantes de clorofila, com valores de aproximadamente $18,51 \pm 0,97$ e $18,80 \pm 1,24$, suplementadas com solução controlo e solução 50% FO respetivamente. Embora estes valores se tenham aproximado um do outro, comparativamente à experiência 2.2, os valores mostraram ser inferiores no primeiro dia da experiência. No quarto dia, ambos os valores aumentaram para

24,76±0,94 e 23,02±1,59, respectivamente, não se verificando o mesmo comportamento no dia 8 da experiência. No dia 8 existiu um decréscimo dos valores da solução controle para 23,82±1,75 e da solução de 50% FO de para 21,92±2,11.

De acordo com a **Tabela 4.6**, podemos observar que as % de N em plantas controle não apresentaram valores muito diferentes do respetivo tratamento. Em ambas as experiências, as plantas controle apresentaram médias de valores ligeiramente superiores, que o respetivo tratamento, com exceção da experiência 3. As soluções controle das **experiências 1, 2.1 e 2.2** apresentaram valores de N de aproximadamente 5,82%±0,12, 5,61%±0,11 e 5,56%±0,09, respectivamente. Relativamente ao tratamento, a % de N foi de 5,08%±0,16, 5,23%±0,16 e 5,53%±0,04, respectivamente. Na **experiência 3** a solução controle apresentou valores de N de aproximadamente 4,96%±0,44 e 5,77%±2,73 ao respetivo tratamento.

Tabela 4.6: Número médio de N (%), de 8 réplicas biológicas referentes à parte aérea das plantas, relativamente às 4 experiências realizadas (experiência 1, 2.1, 2.2 e 3).

	N (%)			
	Experiência 1	Experiência 2.1	Experiência 2.2	Experiência 3
Controlo	5,82±0,12	5,61±0,11	5,56±0,09	4,96±0,44
Tratamento	5,08±0,16	5,23±0,16	5,53±0,04	5,77±2,73

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Uma vez que se estima que a população mundial em 2050 excederá os 9 bilhões de pessoas, é cada vez mais importante melhorar o rendimento, qualidade e quantidade das culturas. Para isso, a fertilização adequada e o uso eficiente de K, aliado a outras práticas de cultivo conscientes e combinado com a utilização de outros nutrientes, pode ser uma das soluções para a redução da escassez de alimento.

O presente trabalho pretendeu analisar o potencial de um subproduto da indústria panificadora, como fonte alternativa de K. Com a primeira experiência pudemos concluir que, em plantas crescidas sem fonte adicional de K, se obtém menores PF e PS total, confirmando assim que o nutriente K é essencial ao crescimento e rendimento das culturas. Pudemos também concluir que plantas suplementadas com 100% ou 50% de FO obtiveram uma altura inferior relativamente às plantas tratadas com fertilizante comercial (KNO_3). Isto sugere que plantas suplementadas com o FO, independentemente da sua concentração, levam ao crescimento de plantas com menos altura comparativamente a plantas suplementadas com KNO_3 .

Quando observamos os dados ao nível de peso seco (PS) foliar as experiências 1, 2.2 e 3 apresentaram respetivamente valores de $\cong 1.8$, 1.0 e 1.3 vezes inferiores, comparativamente ao peso das plantas controlo, com exceção da experiência 2.1, onde plantas suplementadas com 100% FO apresentaram valores superiores de $\cong 1.1$, relativo ao controlo. De acordo com os dados analisados, as únicas experiências que apresentaram valores significativamente diferentes estatisticamente foram as experiências 1 e 3. Relativamente ao nível de PS radicular, as experiências 1, 2.1 e 3 apresentaram respetivamente valores de $\cong 1.2$, 1.1 e 1.1 vezes inferiores às plantas controlo, sendo as plantas suplementadas com 100% FO, relativas à experiência 2.2 as únicas que apresentaram valores de $\cong 1.3$ vezes superiores relativamente às plantas controlo. Em termos estatísticos, a única experiência que demonstrou ser significativamente diferente foi a experiência 2.1.

No que diz respeito à acumulação de nutrientes minerais na parte aérea (PA), todos os nutrientes foram mantidos nas mesmas concentrações, ao longo das experiências, à exceção do nutriente K. Quando observamos os dados, concluímos que a experiência que apresentou maiores níveis de K ao nível do controlo e tratamento foi a experiência 2.2, com um valor de aproximadamente 92 653 ppm e 102 846 ppm, respetivamente. Comparando estes dois valores, podemos concluir que o FO nas mesmas dosagens fornece mais quantidade do nutriente K às plantas que o fertilizante químico KNO_3 . Na experiência 1, plantas suplementadas com 0% K apresentaram concentrações de $\cong 53$ vezes inferiores do nutriente K, relativas ao controlo, esta diferença provou ser significativa diferente estatisticamente. Para além deste nutriente, os nutrientes Ca, Mg e Na apresentaram valores respetivos de $\cong 1.2$, 1.3 e 1.2 vezes superiores relativamente ao controlo, provando assim serem também diferentes estatisticamente. Em plantas suplementadas com 0% K, os nutrientes como o Zn, Mn e P, embora também diferentes estatisticamente, apresentaram valores respetivos de $\cong 1.8$, 1.4 e 1.3 vezes inferiores relativo a plantas controlo.

Na experiência 2.1, plantas suplementadas com 100% FO apresentaram concentrações de K bastante semelhantes ao respetivo controlo, provando que a fonte de K, proveniente no FO, consegue estar disponível para absorção das plantas, no entanto, plantas suplementadas com FO apresentaram concentrações de 1.0 vezes inferiores, relativas ao controlo. Nesta experiência, todos os nutrientes analisados à exceção de K provaram ser significativamente diferentes estatisticamente, tendo os nutrientes Ca, Mg, Zn, Mn e Fe apresentado concentrações, respetivas de $\cong 1.2$, 1.3, 2.1, 4.4 e 3.5 vezes mais elevadas, Por sua vez, os nutrientes Na e P apresentaram concentrações respetivamente de $\cong 3.3$ e 1.2 vezes inferiores. Na experiência 2.2, embora a suplementação tenha sido a mesma, o mesmo não foi verificado. O nutriente K, em plantas suplementadas com 100% FO, apresentou valores de 1.1 vezes superior, assim como os nutrientes Na e Mn que apresentaram valores de $\cong 2.4$ e 5.0 vezes superiores, provando ser significativamente diferentes estatisticamente. Pelo contrário, o nutriente Zn mostrou ser 1.1 vezes inferior ao respetivo controlo. Na experiência 3, embora a suplementação das plantas tenha apenas contemplado 50% da dose de K recomendada, o comportamento das plantas face à absorção de K não se mostrou muito afetado, uma vez que, plantas nutridas com 50% FO apresentaram apenas valores de $\cong 1.0$ vez inferiores, relativas ao controlo. Isto leva-nos a concluir que fornecendo metade da dose de FO, o comportamento das plantas face ao nutriente

K não é comprometido. Relativamente aos restantes nutrientes, Na, Zn, Mn, P e Fe, provaram ser diferentes estatisticamente, no entanto, o Na foi o nutriente que provou ser $\cong 1.6$ vezes superior, tendo os restantes nutrientes apresentado valores respetivos de $\cong 1.2$, 1.7, 1.0 e 1.6 vezes inferiores.

Resumidamente, ao nível dos macronutrientes, relativamente ao tratamento, o valor mais alto de Ca foi verificado na experiência 2.1 (100%FO), o de Na na experiência 3 (50% FO), o de Zn na experiência 3 e o de P na experiência 2.2 (100% FO), enquanto que, ao nível dos micronutrientes, o valor mais alto de Zn foi verificado na experiência 3, o de Mn na experiência 2.2 (100% FO) e o de Fe na experiência 2.1 (100% FO).

Relativamente à parte radicular, os valores não se mostraram semelhantes. O tratamento com 100% FO, relativo à experiência 2.2 apresentou a maior concentração de K, com um valor de $\cong 63\ 626$ ppm, enquanto que no tratamento com 50% FO o valor foi reduzido para $\cong 55\ 093$ ppm. Ainda assim, embora a % de K na suplementação da experiência 3, tenha sido reduzida para metade, o valor de K encontrado na parte radicular não apresentou ser duas vezes menor, comparativamente à suplementação com 100% FO. A experiência 2.2, bem como a experiência 3, suplementadas respetivamente com 100% FO e 50% FO, apresentaram concentrações de K de $\cong 1.2$ e 1.1 vezes superiores ao respetivo controlo. Relativamente aos restantes nutrientes, na experiência 2.1, os únicos que mostraram ser significativamente diferentes estatisticamente foram os nutrientes Na e P, que apresentaram valores respetivos de $\cong 2.1$ e 1.4 vezes superiores, enquanto na experiência 3 o Zn, foi o único nutriente que mostrou ser $\cong 1.2$ vezes inferiores, ao respetivo controlo.

Ao nível do número de folhas, as plantas das experiências 1, 2.1, 2.2 e 3 apresentaram uma diferença de número médio respetiva de $\cong 11$, 7, 6 e 4 folhas por 5 réplicas biológicas, comparativamente ao controlo, no entanto a experiência que provou ser significativamente diferente estatisticamente, foi a experiência 1 e a experiência 2.2. Enquanto plantas suplementadas com 0% K, na experiência 1 apresentaram valores médios inferiores, relativos ao controlo, plantas suplementadas com 100% FO, relativas à experiência 2.2, apresentaram número médio de folhas superiores ao controlo. Este dado leva-nos a concluir que, para além

do nutriente K ser essencial ao crescimento e desenvolvimento das folhas, uma vez que o número das folhas foi influenciado pela restrição de K, o K presente no FO cumpre o seu papel ao ser disponibilizado para as plantas. Quanto à altura média das plantas e comprimento das raízes, em ambas as experiências as alturas das plantas suplementadas com o respetivo tratamento foram significativamente diferentes às plantas suplementada com a solução controlo, levando a concluir que plantas suplementadas com o FO, independentemente da sua concentração, produzem plantas com aproximadamente a mesma altura. No que diz respeito ao crescimento das raízes, o tratamento com 100% FO levou a raízes significativamente mais longas, comparativamente a plantas controlo. Contudo, quando se reduziu a quantidade de FO para 50%, as raízes foram significativamente menores. Como tal, podemos concluir que para se obterem raízes mais longas, não se poderá reduzir a % de FO nessa grandeza.

Finalmente, uma vez que o FO é também uma fonte de N, decidiu-se analisar o teor em N total. Em ambas as experiências foi verificado que a % de N, nos tratamentos não apresentaram valores muito diferentes do respetivo controlo, sendo também os valores de experiência para experiência muito semelhantes, tendo as experiências 1, 2.1, 2.2 e 3 contado com uma diferença respetiva de $\cong 0.74$, 0.38, 0.30 e 0.81%. No entanto, ambas as experiências contaram com valores médios de N mais elevados em plantas controlo, à exceção das plantas da experiência 3, suplementadas com 50% FO.

Para além disso, o facto de a planta utilizada na experiência 2.2 não ter sido genotipicamente igual às outras experiências, pode levar-nos a concluir que o seu estágio de crescimento e desenvolvimento seja diferente, uma vez que, através de características fenotípicas, conseguiu-se identificar algumas diferenças das plantas no dia da plantação.

Em suma, plantas suplementadas com o FO, rico em K, apresentaram crescimento semelhante, comparativamente a plantas de alface suplementadas com o fertilizante inorgânico, KNO_3 , levando-nos a concluir que para além do FO conter K numa forma solúvel disponível às plantas, a fonte alternativa de K, torna-se potencialmente interessante para uma exploração futura no desenvolvimento de novas formulações comerciais de fertilizantes de K para alface, e possivelmente outras culturas.

Por fim, é possível concluir que as alterações provocadas pela escassez de K abrem portas a novos estudos, abrangentes a novas culturas e também a novas cultivares de alface, em diferentes sistemas de cultura. Os conhecimentos obtidos neste estudo resultantes do efeito das diferentes variáveis estudadas poderão ser parcialmente extrapolados para outras culturas, tendo em conta o sistema de cultivo e as características de cada espécie. De acordo com a pesquisa bibliográfica realizada, e com vista em trabalhos futuros, seria interessante delinear um ensaio semelhante ao que foi realizado em hidroponia, mas em solo, testando a influência do FO relativamente a todos os parâmetros físico-químicos avaliados. Também seria interessante aliar ao ensaio, uma prática de análise sensorial, levando a cabo uma prova de alface fresca, para aferir se a suplementação em K altera o sabor organoléptico do vegetal. Deste modo e de maneira a ser possível serem relacionados conceitos de nutrição vegetal, animal e humana, sugiro que existam mais pesquisas no sentido de perceber como o excesso ou a escassez do nutriente K na nutrição vegetal, pode acarretar problemas quer ao nível da nutrição animal quer humana. Poderiam ainda ser testados os mecanismos moleculares de K na resistência ao stress de diferentes culturas, de modo a compreenderem-se quais as relações existentes entre K e outros nutrientes, em situações de stress biótico e abiótico, a fim de desenvolver a nutrição adequada e a quantidade de nutrientes específica para cada cultura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albornoz, F., & Heinrich Lieth, J. (2015). Over fertilization limits lettuce productivity because of osmotic stress. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 75(3), 284–290. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392015000400003>
- Ali, H., & Taalab, A. S. (2008). Effect of Natural And / or Chemical Potassium Fertilizers on Growth , Bulbs Yield and Some Physical and Chemical Constituents of Onion (*Allium cepa* L .). *Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 4(3), 228–237.
- Armstrong, D. L., & Griffin, K. P. (1998). *Better Crops With Plant Food. Potash & Phosphate Institute (PPI)* (Vol. 82).
- Asaduzzaman, M., Talukder, M. R., Tanaka, H., Ueno, M., Kawaguchi, M., Yano, S., ... Asao, T. (2018). Production of low-potassium content melon through hydroponic nutrient management using perlite substrate. *Frontiers in Plant Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01382>
- Asao, T. (2012). *Hydroponics- A Standart Methodology for Plant Biological Researches*. (T. Smiljanic, Ed.) (First edit). Janeza Trdine, Croatia: Teodora Smiljanic.
- Ashfaq, A., Hussain, N., & Athar, M. (2015). Role of potassium fertilizers in plant growth, crop yield and quality fiber production of cotton - an overview, 5, 27–35.
- Barbosa, G. L., Almeida Gadelha, F. D., Kublik, N., Proctor, A., Reichelm, L., Weissinger, E., ... Halden, R. U. (2015). Comparison of land, water, and energy requirements of lettuce grown using hydroponic vs. Conventional agricultural methods. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(6), 6879–6891. <https://doi.org/10.3390/ijerph120606879>
- Barker, A. V., & Pilbeam, D. J. (2007). *Handbook of Plant Nutrition, Calcium*. (T. and Francis, Ed.). Tokyo.
- Batista, M., Viégas, I., Frazão, D., Thomaz, M., & Silva, R. (2003). Effect of macronutrient omission in growth, symptoms of nutritional deficiency and mineral composition in soursop plants (*Annona muricata*), 315–318.
- Brito, L. M. (2017). *Compostagem, Fertilização do Solo e Substratos*. (E. T. Espanha, Ed.). Publindustria.
- Britto, D. T., & Kronzucker, H. J. (2008). Cellular mechanisms of potassium transport in plants.

- Physiologia Plantarum*, 133(4), 637–650. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2008.01067.x>
- Carmine, A., Vachio, L., Somma, S., Cuciniello, A., & Caruso, G. (2017). Effects of cultural cycle and nutrient solution electrical conductivity on plant growth, yield and fruit quality of «Friariello» pepper grown in hydroponics. *Horticultural Science*, 44(2), 91–98. <https://doi.org/10.17221/172/2015-HORTSCI>
- Carrizo, O. A., Makishima, N., Reis, N. V. B. dos, Souza, A. F., Lopes, C. A., & Boas, G. L. V. (2000). Princípios de hidroponia. *Embrapa Hortaliças - Circular Técnica (INFOTECA-E)*, 22, 27. Obtido de <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/769981>
- Carter, S., Shackley, S., Sohi, S., Suy, T., & Haefele, S. (2013). The impact of biochar application on soil properties and plant growth of pot grown lettuce (*Lactuca sativa*) and cabbage (*Brassica chinensis*). *Agronomy*, 3(2), 404–418. <https://doi.org/10.3390/agronomy3020404>
- Chen, B., Chai, Z., Sheng, J., Zhang, W., & Jiang, P. (2017). Effects of potassium fertilizer on the physiological mechanisms of cotton fiber quality. *Pakistan Journal of Botany*, 49(3), 935–944.
- Chen, X., Harrell, D., Cox, A., & Davis, J. A. (2018). Effects of potassium fertilizer rates on soybean looper (Lepidoptera: Noctuidae) development. *Journal of Economic Entomology*, 111(4), 1745–1750. <https://doi.org/10.1093/jee/toy159>
- Costa, R. (2014). Nutrição Mineral em Plantas Vasculares, 1–138.
- Didone, E., Sesso, T., Costa, P., Cañizares, K., & Goto, R. (2001). Electrical conductivity of nutrient solution and hidroponic crisp head lettuce yield. *Scientia Agricola*, pp. 595–597. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162001000300023>
- Dong, H., Kong, X., Li, W., Tang, W., & Zhang, D. (2010). Effects of plant density and nitrogen and potassium fertilization on cotton yield and uptake of major nutrients in two fields with varying fertility. *Field Crops Research*, 119(1), 106–113. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.06.019>
- Durazzo, A., Azzini, E., Lazzé, M. C., Raguzzini, A., Pizzala, R., Maiani, G., ... Maiani, G. (2014). Antioxidants in Italian head lettuce (*lactuca sativa* var. capitata.) Grown in organic and conventional systems under greenhouse conditions. *Journal of Food Biochemistry*, 38(1), 56–61. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12025>

- Dziechciarková, M., Lebeda, A., Doležalová, I., & Astley, D. (2004). Characterization of *Lactuca* spp. germplasm by protein and molecular markers - A review. *Plant, Soil and Environment*, 50(2), 47–58.
- El-Nakhel, C., Pannico, A., Kyriacou, M. C., Giordano, M., De Pascale, S., & Roupshael, Y. (2019). Macronutrient deprivation eustress elicits differential secondary metabolites in red and green-pigmented butterhead lettuce grown in a closed soilless system. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(15), 6962–6972. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9985>
- Epstein, E., Rains, D. W., & Elzam, O. E. (1963). Resolution of dual mechanisms of potassium absorption by barley roots. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 49(5), 684–692. <https://doi.org/10.1073/pnas.49.5.684>
- Epstein, Emanuel, & Bloom, A. (2005). *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. Second edition, Sinauer Associates. Sunderland.* (Sinauer, Ed.) (Second edi).
- Fageria, N. K. (2009). *The use of nutrients in crop plants.* (T. & F. Group, Ed.).
- Falovo, C., Roupshael, Y., Rea, E., Battistelli, A., & Colla, G. (2009). Nutrient solution concentration and growing season affect yield and quality of *Lactuca sativa* L. var. acephala in floating raft culture. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(10), 1682–1689. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3641>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2019). World fertilizer trends and outlook to 2022, 40.
- Genuncio, G. da C., Gomes, M., Ferrari, A. C., Majerowicz, N., & Zonta, E. (2012). Hydroponic lettuce production in different concentrations and flow rates of nutrient solution. *Horticultura Brasileira*, 30(3), 526–530. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362012000300028>
- Gregory, P., & Stephen, N. (2013). *Soil condition and plant growth.* (Willey-Blackwell, Ed.). Kent, UK: John Wiley & Sons.
- Grundon, N. (1987). *Nutritional disorders of grain sorghum.* Australian Centre for International Agricultural Research, University of Queensland.
- Heimler, D., Vignolini, P., Arfaioli, P., Isolani, L., & Romani, A. (2012). Conventional, organic and biodynamic farming: Differences in polyphenol content and antioxidant activity of Batavia lettuce. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(3), 551–556. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4605>
-

- Imbrea, F., Crista, F., & Street, C. A. (2014). Potassium in Soil – Plant – Human System. *Journal of Agriculture Science*, 46(3), 47–53.
- INE. (2019). *Estatísticas Agrícolas 2018*. (I. P. Instituto Nacional de Estatística, Ed.) (2019.^a ed.). Lisboa.
- Issue, S. S., Rubio, F., & Te, E. (2006). High-affinity potassium and sodium transport systems in plants. *Journal of Experimental Botany*, 57(5), 1149–1160. <https://doi.org/10.1093/jxb/erj068>
- Job, D. (2002). Plant biotechnology in agriculture. *Biochimie*, 84(11), 1105–1110. [https://doi.org/10.1016/S0300-9084\(02\)00013-5](https://doi.org/10.1016/S0300-9084(02)00013-5)
- Jones, C., & Jacobsen, J. (2005). Plant nutrition and soil fertility. *Nutrient Management*, (2).
- Kang, J., & Iersel, M. W. Van. (2004). Affects shoot: root ratio, leaf area ratio, and growth of subirrigated Salvia (*Salvia splendens*). *Shoot*, 39(1), 49–54.
- Khalid, K. A., & Shedeed, M. R. (2015). Effect of NPK and foliar nutrition on growth, yield and chemical constituents in *Nigella sativa* L. *Khalid and Shedeed*, 6(6), 1709–1714.
- Kim, M. J., Moon, Y., Tou, J. C., Mou, B., & Waterland, N. L. (2016). Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 49, 19–34. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.03.004>
- Korb, N. (2002). Potassium cycling, testing, and fertilizer recommendations, (5).
- Lazof, D., & Cheeseman, J. M. (1988). Sodium and potassium compartmentation and transport in the roots of intact lettuce plants, 1279–1284.
- Lee, J. Y., Rahman, A., Azam, H., Kim, H. S., & Kwon, M. J. (2017). Characterizing nutrient uptake kinetics for efficient crop production during *Solanum lycopersicum* var. Cerasiforme Alef. Growth in a closed indoor hydroponic system. *PLoS ONE*, 12(5), 1–21. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0177041>
- Leigh, R. A., & Jones, R. . (1984). A hypothesis relating critical potassium concentrations for growth to the distribution and functions of this ion in the plant cell. *New Phytologist*, 97(1), 13.
- Liu, C. W., Sung, Y., Chen, B. C., & Lai, H. Y. (2014). Effects of nitrogen fertilizers on the growth and nitrate content of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(4), 4427–4440. <https://doi.org/10.3390/ijerph110404427>

- Lopes, C. C., Tsuruda, J. H., Ianckiewicz, A., Ken, F., Onodera, Y., Rodini, I., ... Takahashi, H. W. (2011). Influence of the harvesting time in the level of nitrate in hydroponic lettuce. *Ciências Agrárias, Londrina*, 32, 63–68.
- Luan, M., Tang, R. J., Tang, Y., Tian, W., Hou, C., Zhao, F., ... Luan, S. (2017). Transport and homeostasis of potassium and phosphate: limiting factors for sustainable crop production. *Journal of Experimental Botany*, 68(12), 3091–3105. <https://doi.org/10.1093/jxb/erw444>
- Lucena, J. J. (2003). Fe chelates for remediation of Fe chlorosis in strategy I plants. *Journal of Plant Nutrition*, 26(10–11), 1969–1984. <https://doi.org/10.1081/PLN-120024257>
- Luna, M. C., Martínez-Sánchez, A., Selma, M. V., Tudela, J. A., Baixauli, C., & Gil, M. I. (2013). Influence of nutrient solutions in an open-field soilless system on the quality characteristics and shelf life of fresh-cut red and green lettuces (*Lactuca sativa* L.) in different seasons. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(2), 415–421. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5777>
- Mampholo, B. M., Maboko, M. M., Soundy, P., & Sivakumar, D. (2016). Phytochemicals and overall quality of leafy lettuce (*Lactuca sativa* L.) varieties grown in closed hydroponic system: lettuce phytochemical quality. *Journal of Food Quality*, 39(6), 805–815. <https://doi.org/10.1111/jfq.12234>
- Masarirambi, M., Hlawe, M., Oseni, O., & Sibiya, T. (2010). Effects of organic fertilizers on growth, yield, quality and sensory evaluation of red lettuce (*Lactuca sativa* L.) ‘Veneza Roxa’. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 1(6), 1319–1324. <https://doi.org/10.5251/abjna.2010.1.6.1319.1324>
- McCauley, A., Jones, C., & Jacobsen, J. (2004). Sustainable Agriculture. Em *Nutrient Management Module No. 15*.
- McCauley, Ann, Jones, C., & Jacobsen, J. (2011). Plant Nutrient Functions and Deficiency and Toxicity Symptoms. *Nutrient Management Module*, 9(9), 1–16.
- Mitra, G. N. (2015). *Regulation of nutrient uptake by Plants: a biochemical and molecular approach*. Spring. Bhubaneswar, Odisha, India. <https://doi.org/10.1007/978-81-322-2334-4>
- Monsees, H., Suhl, J., Paul, M., Kloas, W., Dannehl, D., & Würtz, S. (2019). Lettuce (*Lactuca sativa*, variety Salanova) production in decoupled aquaponic systems: same yield and similar quality as in conventional hydroponic systems but drastically reduced greenhouse

- gas emissions by saving inorganic fertilizer. *PLoS ONE*, *14*(6), 1–23. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218368>
- Morariu, A. (2017). The influence of diferent fertilizers on the chemical composition of carrots. *Research Journal of Agricultural Science*, *49*(4), 328–335.
- Murphy, M. T., Zhang, F., Nakamura, Y. K., & Omaye, S. T. (2011). Comparison between hydroponically and conventionally and organically grown lettuces for taste, odor, visual quality and texture: a pilot study. *Food and Nutrition Sciences*, *02*(02), 124–127. <https://doi.org/10.4236/fns.2011.22017>
- Pepe, G., Sommella, E., Manfra, M., De Nisco, M., Tenore, G. C., Scopa, A., ... Campiglia, P. (2015). Evaluation of anti-inflammatory activity and fast UHPLC-DAD-IT-TOF profiling of polyphenolic compounds extracted from green lettuce (*Lactuca sativa* L.; Var. Maravilla de Verano). *Food Chemistry*, *167*, 153–161. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.105>
- Pettigrew, W. T. (2008). Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. *Physiologia Plantarum*, *133*(4), 670–681. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2008.01073.x>
- Putra, P. A., & Yuliando, H. (2015). Soilless culture system to support water use efficiency and product quality: a review. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, *3*, 283–288. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.01.054>
- Pyo, Y. J., Gierth, M., Schroeder, J. I., & Cho, M. H. (2010). High-affinity K⁺ transport in Arabidopsis: AtHAK5 and AKT1 are vital for seedling establishment and postgermination growth under low-potassium conditions. *Plant Physiology*, *153*(2), 863–875. <https://doi.org/10.1104/pp.110.154369>
- Rijk, G., & Schrevens, E. (1998). Elemental bioavailability in nutrient solutions in relation to complexation reactions. *Journal of Plant Nutrition*, *21*(5), 849–859. <https://doi.org/10.1080/01904169809365448>
- Salehi, A., Fallah, S., & Sourki, A. (2017). Organic and inorganic fertilizer effect on soil CO₂ flux, microbial biomass, and growth of *Nigella sativa* L. *International Agrophysics*, *31*(1), 103–116. <https://doi.org/10.1515/intag-2016-0032>
- Samarakoon, U. C., Weerasinghe, P. A., & Weerakkody, W. A. . (2006). Effect of electrical conductivity [EC] of the nutrient solution on nutrient uptake, growth and yield of leaf
-

- lettuce (*Lactuca sativa* L.) in stationary culture. *Tropical Agricultural Research*, pp. 13–21. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Sambo, P., Nicoletto, C., Giro, A., Pii, Y., Valentinuzzi, F., Mimmo, T., ... Cesco, S. (2019). Hydroponic solutions for soilless production systems: issues and opportunities in a smart agriculture perspective. *Frontiers in Plant Science*, 10(July). <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00923>
- Sampaio, E. (2006). *Mineralogia Do Solo*. Universidade de Évora.
- Sangeeth, K. P., & Suseela, B. R. (2016). Integrated plant nutrient system - With special emphasis on mineral nutrition and biofertilizers for Black pepper and cardamom - a review. *Critical Reviews in Microbiology*, 42(3), 439–453. <https://doi.org/10.3109/1040841X.2014.958433>
- Sardans, J., & Peñuelas, J. (2015). Potassium: A neglected nutrient in global change. *Global Ecology and Biogeography*, 24(3), 261–275. <https://doi.org/10.1111/geb.12259>
- Schachtman, D., & Liu, W. (1999). Molecular pieces to the puzzle of the interaction between potassium and sodium uptake in plants. *Trends in Plant Science*, 4(7), 281–287. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(99\)01428-4](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(99)01428-4)
- Sididiqi, Kronzucker, Britto, & Glass. (1998). Growth of a tomato crop at reduced nutrient concentrations as a strategy to limit eutrophication. *Journal of Plant Nutrition*, 1879–1895.
- Slamic, B., & Jug, T. (2016). Lettuce growth in extreme conditions. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 28(6), 398–401. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2016-04-340>
- Smith, G. S., Asher, C. J., & Clark, C. J. (1987). Kiwifruit nutrition: diagnosis of nutritional disorders (p. 64). New Zealand.
- Sofo, A., Lundegårdh, B., Mårtensson, A., Manfra, M., Pepe, G., Sommella, E., ... Scopa, A. (2016). Different agronomic and fertilization systems affect polyphenolic profile, antioxidant capacity and mineral composition of lettuce. *Scientia Horticulturae*, 204, 106–115. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.04.003>
- Szczerba, M. W., Britto, D. T., & Kronzucker, H. J. (2009). K⁺ transport in plants : physiology and molecular biology. *Journal of Plant Physiology*, 166, 447–466. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2008.12.009>
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2002). *Plant Physiology*. 3rd edn. Sinauer Associates, Inc. Publishers, Sunderland, MA, USA. (Third edit, Vol. 3). <https://doi.org/10.1093/aob/mcg079>
-

- Takeno, N. (2005). Atlas of Eh-pH diagrams: Intercomparison of thermodynamic databases. *National Institute of Advanced Industrial Science and Technology Tokyo*, (419), 285.
- Talukder, M., Asaduzzaman, M., Ueno, M., & Al, E. (2016). Low potassium content vegetables research for chronic kidney disease patients in Japan. *Open Journal*, 2(1), 1–8. <https://doi.org/10.17140/NPOJ-2-111>
- Téllez, L., & Merino, F. (2012). *Nutrient solutions for hydroponic systems. Hydroponics - A Standard Methodology for Plant Biological Researches*. <https://doi.org/10.5772/37578>
- Tiwari, S. P., Joshi, O. P., Vyas, A. K., & Billore, S. D. (2001). Potassium nutrition in yield and quality improvement of Soybean, pp. 307–320.
- Tomasi, N., Mimmo, T., Terzano, R., Alfeld, M., Janssens, K., Zanin, L., ... Cesco, S. (2014). Nutrient accumulation in leaves of Fe-deficient cucumber plants treated with natural Fe complexes. *Biology and Fertility of Soils*, 50(6), 973–982. <https://doi.org/10.1007/s00374-014-0919-6>
- Tzortzakis, N. G. (2010). Potassium and calcium enrichment alleviate salinity-induced stress in hydroponically grown endives. *Horticultural Science*, 37(4), 155–162.
- Vitousek, P. M., Naylor, R., Crews, T., David, M. B., Drinkwater, L. E., Holland, E., ... Zhang, F. S. (2009). Nutrient imbalances in agricultural development. *Science*, 324(5934), 1519–1520. <https://doi.org/10.1126/science.1170261>
- Wang, J. J., Harrell, D. L., & Bell, P. F. (2004). Potassium buffering characteristics of three soils low in exchangeable potassium. *Soil Science Society of America Journal*, 68(2), 654. <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.6540>
- Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q., & Guo, S. (2013). The critical role of potassium in plant stress response. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(4), 7370–7390. <https://doi.org/10.3390/ijms14047370>
- White, P. J., Hammond, J. P., King, G. J., Bowen, H. C., Hayden, R. M., Meacham, M. C., ... Broadley, M. R. (2010). Genetic analysis of potassium use efficiency in Brassica oleracea. *Annals of Botany*, 105(7), 1199–1210. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp253>
- White, Philip J., Broadley, M. R., & Gregory, P. J. (2012). Managing the nutrition of plants and people. *Applied and Environmental Soil Science*, 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/104826>
- Yagoub, S. O., Ahmed, W. M. A., & Mariod, A. A. (2012). Effect of urea, NPK and compost

- on growth and yield of Soybean (*Glycine max L.*), in semi-arid region of Sudan. *ISRN Agronomy*, 2012, 1–6. <https://doi.org/10.5402/2012/678124>
- Yang, S., Xiao, Y., & Xu, J. (2018). Organic fertilizer application increases the soil respiration and net ecosystem carbon dioxide absorption of paddy fields under water-saving irrigation. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(10), 9958–9968. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1285-y>
- Yin, Z. chao, Guo, W. yun, Liang, J., Xiao, H. yu, Hao, X. yu, Hou, A. fu, ... Yin, F. xiang. (2019). Effects of multiple N, P, and K fertilizer combinations on adzuki bean (*Vigna angularis*) yield in a semi-arid region of northeastern China. *Scientific Reports*, 9(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-55997-9>
- Yoshida, T., Sakuma, K., & Kumagai, H. (2014). Nutritional and taste characteristics of low-potassium lettuce developed for patients with chronic kidney diseases. *Hong Kong Journal of Nephrology*, 16(2), 42–45. <https://doi.org/10.1016/j.hkjn.2014.09.002>

Webgrafia:

- Estufas Paulo Márcio. 2006. O mercado da alface em Portugal. Consultado a 9/12/2019 em: <https://www.estufaspaulomarcio.com/o-mercado-da-alface-em-portugal/>
- DRAPC, 2002. O que são fertilizantes e para que servem. Consultado a 21/09/2019 em: http://www.drapc.min-agricultura.pt/base/documentos/agricultura_natureza.htm

ANEXOS

Anexo 1: Análise do fertilizante natural, pelo método de ICP-MS, realizado no laboratório Plantec da Escola Superior de Biotecnologia da Universidade Católica do Porto.

Elemento	Concentração (ppm)
Potássio (K)	270 866
Cálcio (Ca)	2 219
Fósforo (P)	690
Enxofre (S)	-
Magnésio (Mg)	175
Cobre (Cu)	-
Zinco (Zn)	25
Manganês (Mn)	4
Boro (B)	-
Molibdénio (Mo)	-
Ferro (Fe)	181

Anexo 2: Tabela resumo da análise visual da coloração e tamanho/crescimento das plantas, suplementadas com solução com fonte de KNO_3 e sem fonte de K, observados ao longo da Experiência 1 com registos no dia 1, 4, 8 e último dia.

	Experiência 1			
	KNO_3		0% K	
Dia da Observação	Coloração	Tamanho	Coloração	Tamanho
Dia 1	Verdes claras	Pequenas	Verdes claras	Pequenas
Dia 4	Verdes	Começaram a mostrar diferenças no crescimento	Verdes	Pequenas sem grandes diferenças
Dia 8	Verdes	Maiores	Verdes	Maiores
Último dia	Verdes claras	Grandes	Verdes escuras	Mais altas embora que menos densas comparativamente à Solução Controlo

Anexo 3: Tabela resumo da análise visual da coloração e tamanho/crescimento das plantas, suplementadas com fonte de KNO_3 e com fonte de 100% FO, observados ao longo da Experiência 2.1 com registos no dia 1, 4, 8 e último dia.

	Experiência 2.1			
	KNO_3		100% FO	
Dia da Observação	Coloração	Tamanho	Coloração	Tamanho
Dia 1	Verdes claras	Pequenas	Verdes claras	Pequenas
Dia 4	Verdes	Em crescimento	Verdes	Pequenas sem grandes diferenças
Dia 8	Verdes	Grande diferença na altura.	Verdes	Maiores
Último dia	Verdes mais escuro quando comparadas com alfaces suplementadas com Solução Teste.	Ligeiramente mais baixas e mais pequenas quando comparadas com alfaces suplementadas com Solução Teste.	Verdes mais claras quando comparadas com alfaces suplementadas com Solução Controlo.	Mais altas embora comparativamente às alfaces suplementadas com Solução Controlo

Anexo 4: Tabela resumo da análise visual da coloração e tamanho/crescimento das plantas, suplementadas com fonte de KNO₃ e com fonte de 100% FO, observados ao longo da Experiência 2.2 com registos no dia 1, 4, 8 e último dia.

Dia da Observação	Experiência 2.2			
	Controlo		100% FO	
	Coloração	Tamanho	Coloração	Tamanho
Dia 1	Verdes claras	Muito pequenas, mais pequenas em relação às alfaces utilizadas nas experiências já realizadas.	Verdes claras	Pequenas
Dia 4	Verdes	Começaram a mostrar algumas diferenças no crescimento.	Verdes	Pequenas sem grandes diferenças.
Dia 8	Verdes mais escuras	Grande diferença de fenótipo em relação às experiências anteriormente realizadas.	Verdes mais escuras	Grande diferença de fenótipo em relação às experiências anteriormente realizadas.
Último dia	Verdes escuras	1 e/ou 2 folhas mais altas em relação a outras que apresentaram pouco crescimento.	Verdes escuras	1 e/ou 2 folhas mais altas em relação a outras que apresentaram pouco crescimento.

Anexo 5: Tabela resumo da análise visual da coloração e tamanho/crescimento das plantas, suplementadas com fonte de KNO_3 e com fonte de 50% FO, observados ao longo da Experiência 3 com registos no dia 1, 4, 8 e último dia.

Dia da Observação	Experiência 3			
	Controlo		50% FO	
	Coloração	Tamanho	Coloração	Tamanho
Dia 1	Verde claras	Pequenas	Verdes claras	Pequenas
Dia 4	Verde	Poucas diferenças no crescimento.	Verde	Poucas diferenças no crescimento.
Dia 8	Verdes mais escuras	Grandes diferenças no crescimento.	Verde mais escuras	Maiores relativamente à última observação.
Último dia	Verdes escuras	Grande e mais altas, comparativamente às plantas suplementadas com Solução Teste.	Verdes escuras	Grande embora mais baixas, comparativamente às plantas suplementadas com Solução Controlo.