

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DOSES DE FÓSFORO E DE POTÁSSIO NA PRODUÇÃO DA
ALFACE**

Alexsandra Sousa Nascimento da Silva

Engenheira Agrônoma

2013

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DOSES DE FÓSFORO E DE POTÁSSIO NA PRODUÇÃO DA
ALFACE**

Alexsandra Sousa Nascimento da Silva

Orientador: **Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Ciência do Solo).

2013

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

ALEXSANDRA SOUSA NASCIMENTO DA SILVA – nasceu em São Luís do Maranhão, no dia 09 de março de 1978. Filha de Paraci Silva Nascimento e Maria Celeste Sousa Nascimento, cursou o ensino fundamental na Escola D. Pedro II e o ensino médio técnico no Centro Federal de Educação Tecnológica do Maranhão (CEFET-MA), hoje Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia (IFMA), concluindo, em 1996, o Curso Técnico em Química. No ano seguinte, iniciou o curso de graduação em Agronomia, pela Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, obtendo o Título de Engenheira Agrônoma, no ano de 2002, com a defesa da monografia intitulada: “Determinação das características físico-químicas de composto obtido a partir da decomposição de restos orgânicos”. Em 2003, iniciou o mestrado em Agroecologia, também pela UEMA, obtendo o Título de Mestre em 2005, com a defesa da dissertação: “Biocontrole de murcha bacteriana em tomateiro por meio da incorporação de resíduos orgânicos ao solo”. No mesmo ano, obteve aprovação em concurso público para o cargo de Professora do Ensino, Médio, Técnico e Tecnológico” do IFMA- Campus Maracanã, onde ministra aulas das disciplinas: Agricultura Geral e Olericultura; e participa do grupo de pesquisa de: “Manejo e Conservação do Solo”. Em 2010, iniciou o doutorado em Agronomia (Ciência do Solo), pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, da UNESP – Campus Jaboticabal, em um programa de qualificação de docentes (DINTER:UNESP / UFMA / IFMA), cujo cumprimento dos créditos foi realizado no campus da UFMA de Chapadinha (Chapadinha – MA) e o estágio doutoral desenvolvido na UNESP, em Jaboticabal – SP.

*A minha família. Célula Mater
onde encontro a verdadeira
felicidade. Pessoas que me
tornam mais forte e grande.*

Dedico.

“SENHOR, darei graças de todo o meu coração, recitarei todas as tuas maravilhas. Estou alegre e exulto em ti, cantarei louvores ao teu nome, ó Altíssimo. Os que conhecem o teu nome, confiam em ti, porque tu, Senhor, não abandonas os que te procuram” (Sl. 09 1; 11; 18)

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus. Ele que é Pai, que é Filho e que é Espírito Santo. Por tantos dons que seu amor me concedeu, e agora, de modo especial, a conclusão desta Tese.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho, cujo valor humano é incontestável. O rei Salomão falou por meio de provérbios que quando não há aconselhamento, nossos planos fracassam... (Provérbios 15:22).

Aos meus pais, Eng^o Agr^o Paraci Silva Nascimento e D. Maria Celeste S. Nascimento, simplesmente por tudo: minha vida, o amor, o carinho, o cuidado, o suporte, os valores, a formação do meu caráter. Foram muitas as vezes que eles se anularam por mim. Para que eu concluísse meus projetos, eles foram os pais da minha filha. E agora que eu necessitei sair para o doutorado prontamente abriram seus braços, novamente para me ajudar em mais essa etapa. Essa tese é pouca para manifestar minha eterna gratidão e todo meu amor.

Às minhas irmãs, Vanessa Sousa e Liane Caroline Sousa. Por sempre acreditarem em mim. Pela torcida e pela amizade.

Aos meus amores, André Silva, Marina Silva e Maria Clara Silva. Foram eles que, durante esses três anos, entenderam que para que eu atendesse as minhas necessidades profissionais eu teria que tirar o espaço das suas: minha ausência, meu cansaço, adiamento de nossos projetos pessoais. A mudança de vida durante o estágio doutoral. Marina, sua, maturidade e compreensão no auge de seus cinco aninhos, foram a energia para que eu chegasse até aqui. Maria Clara, obrigada por superar o desconforto e o cansaço e permitir que a mamãe realizasse esse sonho.

À UNESP, UFMA e IFMA, pela oportunidade do doutorado.

À CAPES, pela concessão de bolsa e demais financiamentos da pesquisa.

Ao Laboratório de Solos da UEMA, pelo apoio nas análises de solo do experimento.

Aos Professores do DINTER, pela generosidade em dividir suas experiências conosco. Com certeza, saímos muito mais maduros e preparados deste doutorado após o aprendizado e convívio com eles.

A minha amiga Sandra Cruz, pela parceria, partilha e colaboração ao longo do doutorado. Ao Ubiraci Silva e aos meus primos João Pedro e Ubiraci Filho (*in memoriam*). Por suas companhias no período do estágio.

Aos colegas do DINTER pela companhia e colaboração; em especial, a Izumy Doihara, pela acolhida durante o cumprimento dos créditos; e a Cristiane, Jussara, Ana Zélia e Ismênia pela amizade e apoio.

À Coordenadora do DINTER, Prof^a. Dr^a. Alana das Chagas Ferreira Aguiar, pelos préstimos e apoio ao longo de todo doutorado.

Ao Prof. Dr. José Carlos Barbosa, pelo apoio nas análises estatísticas deste trabalho.

À Sidinéia de Aguiar Ferreira, pelo apoio na realização das análises foliares deste experimento.

Aos colegas de trabalho do IFMA, que participaram de modo fundamental deste processo: apoiando-me durante as aulas em Chapadinha e durante a execução do projeto da tese. Em especial, ao Sr. Edivaldo Nascimento da Silva, chefe da Horta do Campus Maracanã, ao Eng. Agro. Thiago Palhares Farias, ao Prof. Paulo Santos, a Prof^a. Kleydejane Lima de Lemos e a Prof^a. Antonia Nilda Alves Cruz.

Enfim, à todos que direta ou indiretamente participaram de mais essa conquista.

MUITO OBRIGADA !

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	ii
LISTA DE FIGURAS.....	iii
RESUMO.....	iv
SUMMARY.....	v
1 INTRODUÇÃO.....	6
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	8
2.1 Exigências nutricionais da alface.....	9
2.2 Potássio.....	11
2.3 Fósforo.....	14
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.1 Caracterização da área experimental.....	18
3.2 Delineamento experimental e tratamentos.....	20
3.3 Características avaliadas.....	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
4.1 Experimento 1: Fósforo.....	23
4.2 Experimento 2: Potássio.....	28
5 CONCLUSÃO.....	32
6 REFERÊNCIAS.....	33

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Informações climáticas no período experimental.....	17
Tabela 2. Valores médios das características químicas do solo do local do experimento, na camada de 0 – 20 cm.....	18
Tabela 3. Análise de variância, médias e estudo de regressão polinomial para teor de P no solo (PS), teor de P na folha (PF), massa fresca e (MFPA) massa seca da parte aérea (MSPA) e acúmulo de fósforo (P) em plantas de alfaces ‘Vera’ em função de doses de fósforo.....	22
Tabela 4. Análise de variância, médias e estudo de regressão polinomial para teor de K no solo (KS), teor de K na folha (KF), massa fresca e (MFPA) massa seca da parte aérea (MSPA) e acúmulo de K (K acumulado) em plantas de alfaces ‘Vera’ em função de doses de potássio.....	27

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Teor foliar de fósforo (PF) e teor de P no solo (PS) em função de doses de fósforo em alface 'Vera'.....	25
Figura 2. Matéria seca da parte aérea (Y_{MSPA}) e acúmulo de fósforo (Y_{AcP}) nas plantas de alface 'Vera' em função da dose de fósforo.....	27
Figura 3. Matéria fresca da parte aérea (Y_{MFPA}) e teor de potássio no solo (Y_{KS}) em função de doses de potássio.....	29
Figura 4. Matéria seca da parte aérea (Y_{MSPA}) e acúmulo de K (Y_{AcK}) na planta de alface 'Vera' em função da dose de potássio.....	31

DOSES DE FÓSFORO E DE POTÁSSIO NA PRODUÇÃO DA ALFACE

RESUMO – Dois experimentos foram realizados em São Luís – MA, no *campus* Maracanã, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão – IFMA, no período de setembro de 2011 a janeiro de 2012. O objetivo foi avaliar doses de fósforo (0, 50, 100, 200, 300 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e de potássio (0, 50, 100, 150, 200 e 150 kg ha⁻¹ K₂O) no crescimento e na produção da alface ‘Vera’, em solo com teores baixo e muito baixo de P e K, respectivamente. Cada experimento foi realizado em delineamento experimental de blocos casualizados, com seis tratamentos (doses de P ou de K) e quatro repetições. A colheita da alface ocorreu aos 45 dias após o transplante das mudas. O teor de P no solo e na folha apresentaram ajustes quadráticos e aumentaram com o fornecimento de P até 320 e 205 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente. A massa fresca (MFPA) e seca da parte aérea da alface e o acúmulo de P também ajustaram-se à equação polinomial de segundo grau. Máximas MFPA e MSPA foram obtidas com 283 e 292 kg ha⁻¹ de P₂O₅. O acúmulo de P pela alface na dose que maximizou a MFPA foi de 127 mg planta⁻¹, ou 8,8 kg ha⁻¹ de P, ou 20 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Quanto à adubação potássica, foram verificados efeitos significativos na massa fresca e seca da parte aérea, teor de K no solo e acúmulo de K na planta, os quais foram maximizados com as doses de 180, 153, 250 e 250 kg ha⁻¹ de K₂O. Não houve diferença significativa para o teor foliar de K nas doses de K₂O avaliadas. Em Argissolo Vermelho Amarelo distrocoeso, com baixa disponibilidade de fósforo e de potássio, a alface responde positivamente a adubação fosfatada e potássica, sendo necessários 283 e 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e de K₂O, respectivamente.

Palavras-chave: *Lactuca sativa*, nutrição mineral, crescimento.

DOSES OF PHOSPHORUS AND POTASSIUM UPON THE PRODUCTION OF LETTUCE

SUMMARY - Two experiments were carried out in São Luís – MA, at the Maracanã *campus* of the Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão – IFMA, from september 2011 to January 2012. The objective was to evaluate the influence of phosphorus (0, 50, 100, 200, 300 and 400 kg ha⁻¹ of P₂O₅) and potassium (0, 50, 100, 150, 200 and 150 kg ha⁻¹ K₂O) doses upon growth and yield of lettuce ‘Vera’, in Oxisoil containing very low levels of P and K, respectively. Each experiment was carried out in randomized blocks design with six treatments (P or K rates) and four replicates. Lettuce was harvested 45 days after seedlings were transplanted. The P content in soil and leaf showed quadratic adjustments and increased with P supply up to 320 and 205 kg ha⁻¹ P₂O₅, respectively. Fresh mass (FM) and dry mass (MS) of aerial part of lettuce and P accumulation also set up the second-degree polynomial equation. Highest MFPA and MSPA were obtained with 283 and 292 kg ha⁻¹ of P₂O₅. The P accumulation by lettuce at a dose that maximized FM was 127 mg plant⁻¹, or 8.8 kg ha⁻¹ of P, or 20 kg ha⁻¹ of P₂O₅. Potassium fertilization resulted in significant response in fresh and dry mass, K content in the soil and accumulation of K in the aerial part, which were maximized with doses of 180, 153, 250 and 250 kg ha⁻¹ de K₂O, respectively. In Ultisol, with low available phosphorus and potassium, lettuce responds positively to phosphorus and potassium fertilization, requiring 283 and 180 kg ha⁻¹ of P₂O₅ and K₂O, respectively.

Keywords: *Lactuca sativa*, mineral nutrition, growth.

1.INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma espécie olerícola originária da Ásia, cultivada mundialmente há vários anos. Seu consumo aumenta a cada dia, pois é uma hortaliça com destaque no fornecimento de fibras e vitaminas.

O surgimento de cultivares e o incremento nas tecnologias de produção empregadas fazem com que a espécie possa ser explorada ao longo do ano. No Brasil, a alface está sendo cultivada em 35.000 ha, gerando a produção de 354.820 toneladas da hortaliça. O cultivo é mais expressivo nas regiões Sul e Sudeste, onde se destacam os Estados de São Paulo (137.000 t), Paraná (53.972 t) e Minas gerais (17.756 t) (IBGE, 2012). A região Nordeste participa com 38.953 t, produzidas em 11.559 propriedades, das quais 1.414 no Estado do Maranhão, gerando 2.286 t provenientes, principalmente, de pequenas propriedades rurais, nas quais predomina a mão de obra familiar (IBGE, 2010).

Segundo o Instituto de Agronegócio do Maranhão – INAGRO (2006), a alface está entre as hortaliças folhosas de maior importância econômica no estado, com destaque para as produções dos municípios que formam a região metropolitana de São Luís e Imperatriz. Entretanto, esta hortaliça está entre aquelas que são importadas de outros estados, especialmente do Ceará.

Entre os muitos fatores a serem estudados no sistema de produção da alface tem-se a fertilização da cultura, pois afeta o seu crescimento, a sua produção e a sua qualidade. A alface é uma cultura altamente dependente de fertilizantes e a aplicação de doses corretas, com base nos teores dos elementos no solo, é de fundamental importância tanto para a viabilidade econômica do cultivo quanto na questão de poluição ou impacto ambiental.

Deve-se considerar ainda que a alface é uma hortaliça de ciclo curto o que possibilita a exploração de vários ciclos ao longo do ano, com consequente aumento da produção e da produtividade por hectare explorado. Porém, dada à fragilidade estrutural dos solos maranhenses, a forte influência climática, sobretudo das chuvas, sobre os atributos do solo e a carência de informações sobre recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes, própria para o estado, o que se tem observado é a grande evasão de divisas na aquisição de alface de produtores cearenses. Neste

último caso o problema é ainda maior, pois, como os produtores rurais maranhenses não dispõem de recomendação técnica de fertilização da cultura da alface com base em pesquisas desenvolvidas no próprio estado, costuma-se adotar o que é recomendado para outras regiões, onde as características ambientais são bastante diferentes das que nele predominam.

Neste contexto, a fim de se evitar os problemas citados e, principalmente, possibilitar o aumento de renda de produtores rurais locais, com consequente contribuição para o aquecimento da microeconomia de municípios maranhenses, há de se melhorar a tecnologia de produção de alface no Maranhão.

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar doses de fósforo e de potássio na produção de alface, nas condições edafoclimáticas de São Luís, Estado do Maranhão.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A adequada nutrição mineral da planta depende do bom funcionamento de vários fatores, com destaque para o solo, pois é dele que são obtidos os elementos essenciais ao crescimento e à produção das culturas (MALAVOLTA, 2006).

Ao se estudar a nutrição das plantas, uma análise pertinente, é a relação entre a dinâmica dos nutrientes e os ambientes nos quais estão presentes, o que é ainda mais importante em regiões tropicais. Isto porque a produção agrícola é o resultado de uma série de fatores com interdependência de bom desempenho entre si. Assim, se um dos fatores está limitado, todo o sistema de produção acaba sendo afetado.

Quando o solo não é capaz de fornecer os nutrientes em quantidades e proporções adequadas, procede-se a adição dos elementos químicos necessários ao desenvolvimento das plantas com suficiência para que exerçam seu potencial de produção. A adubação deve se basear nos resultados da análise química do solo, e tem por objetivo completar a quantidade exigida pela cultura e melhorar a eficiência das adubações. A dinâmica de absorção, do transporte e acúmulo dos nutrientes na planta, bem como as suas funções e os distúrbios que causam, quando em quantidades deficientes ou excessivas, são aspectos que influenciam a fertilização dos cultivos (PRADO, 2008).

A melhor maneira de se verificar a demanda nutricional de uma planta é estudando o seu desempenho em seu local de produção. Assim, os experimentos de campo apresentam grande importância para o aumento da eficiência das adubações com maior proveito do adubo aplicado e menor custo de produção (MALAVOLTA et al., 1997).

As hortaliças, por apresentarem ciclos de cultivo curtos, podem estar mais sujeitas a apresentarem desordens nutricionais, dada à velocidade de crescimento e ocorrência dos processos metabólicos, bem como, as altas taxas de extração e exportação de nutrientes por hectare (FILGUEIRA, 2000).

A alface é uma cultura cujas folhas constituem a parte utilizável e a maior parte da planta, logo a nutrição é fator determinante para a formação de um produto comercial com qualidade. O aumento da produtividade das plantas em solos ácidos,

normalmente, é alcançado com aplicações de fertilizantes e corretivos (FONSECA 2009). A produtividade e a qualidade da alface estão relacionadas com o clima e com os fatores de produção, com destaque para a disponibilidade hídrica e a adubação (VIDIGAL et al., 1995). De acordo com Trani et al. (1997), a recomendação de adubação, no plantio, para a alface é de 40 kg ha⁻¹ de N; 200 a 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 50 a 150 kg ha⁻¹ de K₂O. Em cobertura, a recomendação é de 60 a 90 kg ha⁻¹ de N, parcelados aos 10, 20 e 30 dias após o transplântio da alface.

Filgueira (2000) afirma que melhores resultados de produtividade estão associados a adubações com nitrogênio e fósforo. No que se refere à fertilização fosfatada, Faquin (1994) relata sua importância para o metabolismo enzimático da planta. Além disto, o nutriente interfere no crescimento da planta e, em algumas cultivares, a deficiência causa má formação da cabeça (MOTA et al., 2003).

Quanto ao potássio, sabe-se que é o elemento mais acumulado por esta cultura (SANCHEZ, 2007) e que exerce influência direta na formação da cabeça (KANO et al. 2010).

Lopes et al. (2005) também fazem referência à exigência da alface por boas condições físicas e químicas do solo, o que pode ser conseguido com o manejo adequado e com o uso de insumos que aumentem a disponibilidade do nutriente para a planta. Smith et al. (2011) acrescentam a importância do plantio da cultivar melhor recomendada à região, além dos fatores antes mencionados, como garantia do sucesso do cultivo.

2.1 Exigências nutricionais da alface

A espécie *Lactuca sativa* L. é a hortaliça folhosa de maior consumo no Brasil. O consumo ocorre, geralmente, na forma *in natura*, e tem intensificado nos últimos anos pelo aumento populacional e pela demanda por uma dieta alimentar mais saudável (VILLAS BÔAS et al., 2004).

De acordo com Tosta et al. (2009), dentre os vários grupos existentes no mercado brasileiro, destaca-se o cultivo da alface do grupo Crespa com uma participação percentual, em função da quantidade de engradados comercializados em torno de 61%.

Devido ao ciclo curto e a alta produtividade, que são características próprias desta cultura, é comum o uso intensivo de fertilizantes químicos e orgânicos nos campos de produção, às vezes, em doses excessivas como forma de garantir bons resultados. A adubação se torna um problema quando não se dispõe de uma recomendação própria para a região. Esta é a situação da maioria das produções do nordeste brasileiro, sendo pertinente ressaltar que doses excessivas de fertilizantes, não apenas encarecem os custos de produção, mas também comprometem o agroecossistema (PÔRTO, 2006).

Nos Estados Unidos, país com grande consumo e, portanto, grande exploração da cultura vários trabalhos vêm sendo desenvolvidos para o incremento e melhoria da produção, sobretudo no que se refere à adubação nitrogenada e fosfatada (JOHNSTONE, et al., 2005; HARTZ e JOHNSTONE, 2007). De acordo com Hochmuth et al. (2009), na produção de alface crespa, nos Estados Unidos da América, gastam-se, em média, três mil e quatrocentos dólares por hectare, dos quais 10% são gastos com a adubação da cultura. Tanto os altos custos de produção quanto a preocupação com o ambiente, no que diz respeito ao acúmulo de elementos no solo, têm justificado o desenvolvimento de pesquisas para maximizar a produção e a qualidade da cultura e minimizar os impactos negativos das superadubações.

No Brasil, o custo de produção da alface, estava em torno de R\$ 6.766,04 por hectare, para uma produtividade estimada em 15.000 kg ha⁻¹, em cultivo convencional (EMATER-DF, 2007). A análise econômica da produção de alface crespa revelou que o custo com adubação representa 35% dos custos fixos totais (BOARETTO, 2004), o mesmo trabalho aponta ainda o cultivo convencional, com plantio em campo aberto, como sendo o mais barato em relação aos outros sistemas. SILVA et al. (2008) informam custos de produção da alface crespa estimados em R\$ 696,37 (614,4 m²). Os custos com insumos representam 13,74% do total.

O atendimento às exigências nutricionais da alface é fator fundamental para a produção, tanto no que se refere à quantidade quanto à sua qualidade. A quantidade produzida é incrementada com a adubação. A qualidade, por sua vez, resulta de diversos fatores, além daqueles ligados ao atendimento das exigências nutricionais

da cultura, sendo a soma de todas as características combinadas que culminam em um produto aceitável comercialmente e desejável, já que o consumidor só adquire aquele que é sensorialmente mais atrativo (BERNARDI et al., 2005).

2.2 Potássio

O potássio, em geral, é encontrado com teores insuficientes em solos brasileiros (NACHTIGALL e VAN RAIJ, 2004) e, por outro lado, é o macronutriente mais acumulado pela alface (GRANGEIRO et al., 2006; ABREU, 2008).

Tisdale e Nelson (1985) classificam o potássio no solo, segundo um critério de disponibilidade para a planta em: potássio relativamente indisponível, lentamente disponível e prontamente disponível. Em solos tropicais a concentração de potássio disponível é baixa, sobretudo, quando expostos ao intemperismo, porque, nesta situação, o elemento dá lugar às argilas 1:1, que não o possuem em sua estrutura (PRADO, 2008).

Nachtingall e Vall (1991) e Werle et al. (2008) afirmam que a disponibilidade do elemento para a planta, bem como, a capacidade de seu suprimento pelo solo são dependentes da presença de minerais primários e secundários, da fertilização, da CTC e da ciclagem na agricultura.

Rosolem et al. (2006) afirmaram que a passagem do K da forma trocável para a não trocável ocorre de forma rápida, dependendo da sua concentração na solução do solo. Para Curi et al. (2004), o potássio trocável e o potássio na solução são as fontes imediatas do nutriente, isto considerando a nutrição de plantas. Essas formas podem suprir as plantas de modo indireto, repondo o K trocável ou sendo absorvido por algumas espécies (WERLE et al., 2008). Em solos com predomínio da caulinita e óxidos de ferro como os principais responsáveis pela CTC, esta forma representa o teor disponível do elemento (COSTA et al., 2009).

Segundo Prado (2008), o contato íon raiz ocorre pelo caminhar do K até as raízes pelo fenômeno da difusão, podendo este ser afetado por diversos fatores, tais como: umidade do solo, concentração do íon no solo e idade da planta. A absorção acontece na forma iônica (K^+) com a passagem do substrato para uma parte qualquer da célula. Uma vez presente na planta (células do tecido radicular) o

K permanece na forma iônica, fato que facilita o seu transporte e redistribuição, por isso, considerado um dos nutrientes mais móveis na planta (MALAVOLTA, 2005; PRADO, 2008).

Na planta, ele é altamente móvel, podendo ser facilmente redistribuído (PRADO, 2008). Quanto à sua participação no metabolismo, possui grande importância como ativador enzimático, regulador da abertura e fechamento dos estômatos, resistência dos vegetais às geadas, regulador do turgor celular e é, ainda, responsável pela qualidade do produto comercial (MALAVOLTA et al., 1997; SANCHEZ, 2007).

Os teores adequados deste macronutriente na folha diagnóstica deverão estar, segundo Trani e Raij (1997), entre 50 a 80 g kg⁻¹.

Os sintomas de deficiência são característicos para o nutriente e podem ser considerados como o fim de uma sequência de eventos que começa a nível molecular e evolui até o tecido. Algumas espécies são mais sensíveis que outras a deficiência, seja por que são mais exigentes, seja por terem menor capacidade de absorver o nutriente. Os sintomas de deficiência em K se manifestam primeiramente nas folhas mais velhas, que apresentam margens e pontas cloróticas, evoluindo para uma coloração marrom, seguida de necrose do tecido (MALAVOLTA et al., 2006).

Em estudo para avaliação nutricional da alface, cultivada em solução nutritiva com supressão de macronutrientes, Almeida et al. (2011) obtiveram como resultados para os sintomas da deficiência do K, decréscimo no crescimento. Verificaram para alfaces em solução nutritiva completa e em deficiência de K, valores de 1.313,53 e 102,33 mm, para área foliar; 26 e 15, para número de folhas; 7,17 e 0,10 g planta⁻¹, para massa seca da parte aérea; 1,2 e 0,10 g planta⁻¹, para massa seca de raízes e 8,19 e 0,15 g planta⁻¹, para a massa da planta inteira.

Em outro trabalho, cujo objetivo foi o de caracterizar sintomas de deficiência de macronutrientes na alface, em cultivo sem solo; Silva et al. (2011) observaram reduções drásticas nos valores da massa fresca quando omitiram da solução nutritiva: N, P, K e Mg, concluindo que estes são os nutrientes que mais afetam o crescimento da cultura. Quanto aos sintomas de deficiência, Silva et al. (2011) verificaram que a omissão de potássio causou o aparecimento de manchas amarelo-claras nas margens das folhas velhas e posteriormente nas nervuras, que

evoluíram para manchas marrons. Foi observado ainda, o encarquilhamento das folhas jovens.

Em excesso, o potássio pode comprometer a absorção de outros nutrientes como: magnésio, manganês, ferro, zinco e cálcio (SANTOS et al., 2010). Os quatro primeiros estão ligados a funções enzimáticas na planta (TAIZ e ZEIGER, 2004), já o cálcio apresenta função estrutural, como constituinte da parede celular, assim de fundamental importância ao crescimento adequado da cultura (PRADO, 2008). Em estudo para avaliação do uso da manipueira como fonte de potássio estes autores observaram redução significativa na área foliar da alface, atribuindo a este resultado o efeito deletério do excesso de K sobre a absorção de outros nutrientes.

Silva et al. (2001) afirmam que a alta salinidade de alguns fertilizantes, principalmente o cloreto de potássio, podem comprometer o crescimento e absorção da solução nutritiva do solo, por diminuir o potencial osmótico próximo a rizosfera dificultando o caminhamento dos íons até as raízes.

O fornecimento de potássio para um crescimento adequado da alface varia de 120 a 180 kg ha⁻¹, somando-se as adubações de plantio e cobertura, e considerando-se um solo com baixos níveis dos nutrientes (TRANI e RAIJ, 1997). Com base em Fontes (1999), são necessários 120 kg ha⁻¹ para atender as necessidades da cultura.

Avaliando adubação potássica (150, 300 e 450 kg ha⁻¹) em alface, Tosta et al. (2009) observaram influência significativa sobre a massa da planta, número de folhas e produtividade. A máxima massa da cabeça foi de 926,6 g, com 300 kg ha⁻¹ de K₂O. O número de folhas foi máximo com 336 kg ha⁻¹, enquanto a produtividade, 56,6 t ha⁻¹, com 300 kg ha⁻¹.

As altas taxas de fertilização potássica nos solos estão de acordo com a grande exigência das culturas a este nutriente. E a quantidade aplicada é geralmente diferente de país para país, refletindo a natureza dos solos cultivados (LICINA e MARKOVIC, 2002). Sabe-se que os solos brasileiros são bastante intemperizados e explicada pela sua própria mineralogia, com baixa capacidade de fornecer nutrientes nas frações de areia e silte (CURI et al., 2005). Nestes, o potássio não trocável assume um papel de importância porque se torna a reserva de

disponibilidade do nutriente para as plantas quando as formas trocáveis decrescem ou se esgotam (WERLE et al., 2008).

Em solos com baixa capacidade de retenção de cátions, as adubações potássicas devem ser recomendadas com parcimônia, a fim de se evitar prejuízos na disponibilidade de alguns micronutrientes metálicos (MOURA, 2004), bem como, o aumento no consumo dos fertilizantes que são fonte deste nutriente. Carmo et al. (2010) afirmaram que a maior quantidade do elemento que é perdida no solo é devida à precipitação elevada e à retirada da cobertura vegetal. Uma vez estando o solo exposto a precipitação pluviométrica elevada, sofre intenso deslocamento de bases trocáveis (K, Ca e Mg), tendo como consequência a redução da CTC e aumento da acidez, limitando-os para a prática agrícola. A substituição da vegetação natural pelas culturas introduzidas, precedida ou não do uso da queima, é uma situação bastante comum nos campos agrícolas do Maranhão, o que além, de aumentar as perdas de nutrientes, como já abordado, eleva os riscos de erosão do solo e exportação pelas culturas.

Para Nachtigall e Raij (2004), a diagnose do K existente no solo é uma importante ferramenta para a prescrição da quantidade de adubo que melhor atende a necessidade da cultura mediante as influências do ambiente no qual se encontra inserida.

2.3 Fósforo

Nos solos tropicais a concentração de fósforo é baixa, assim como também é baixa a sua disponibilidade, devido seu alto potencial de fixação.

O fósforo é o décimo segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, porém, é o segundo que mais limita a produtividade nos solos tropicais (GATIBONI, 2003). Isto acontece devido a grande capacidade que o elemento possui de formar compostos estáveis com os colóides do solo, sob fortes ligações, ou ainda, pela capacidade de ser adsorvido por óxidos de ferro e alumínio, e filossilicatos de camada 1:1, materiais estes que são comuns em solos intemperizados (TIECHER, 2011). Existem diversas formas de fósforo no solo, porém, àquela em que o

elemento é realmente absorvido pelas plantas é relativamente pequena (MALAVOLTA et al., 1997).

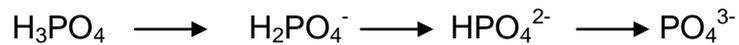
Em ambientes naturais com baixa disponibilidade de P, a forma orgânica constitui uma fração importante do P total (sobretudo o P lábil), existindo um equilíbrio entre a mineralização do P orgânico contido nos resíduos vegetais e a absorção do fosfato pelas plantas e/ou pelos microrganismos do solo. Tiecher (2011) apresenta a importante contribuição dos processos biogeoquímicos na liberação do fósforo. Segundo o autor, estes processos podem determinar a distribuição do P no solo, a longo prazo, lembrando que a maioria do P disponível às plantas é derivado da matéria orgânica do solo. Mesmo assim, em solos tropicais altamente intemperizados, a biociclagem do elemento é insuficiente para atender a demanda das culturas comerciais (TIECHER, 2011).

Moura (2004) apresenta a constituição do solo de São Luís (MA) como sendo formado por arenitos finos argilosos ou muito argilosos ricos em argilas do grupo das caulinitas, podendo estar intercaladas por folhelhos. Sob forte influência do intemperismo, a desagregação dos sedimentos deram origem aos solos que predominam naquela região: Argissolos, Latossolos e Plintossolos, com suas características peculiares no que se refere à química, a física e a biologia destes solos. É válido ressaltar que devido a fragilidade da estrutura das camadas superficiais associadas ao elevado regime de chuvas e a carência de adoção de práticas de conservação, os indicadores físicos do solo ganham tanta importância quanto os químicos, no que se refere à disponibilidade do fósforo. Em experimento realizado para avaliação da disponibilidade de água e aeração em solos do Maranhão, Moura et al. (1992) concluíram o que foi anteriormente apresentado, ou seja, os indicadores físicos são mais limitantes que os químicos para a fertilidade do solo estudado e, portanto, para as culturas plantadas nos mesmos.

A baixa disponibilidade de fósforo nos solos tropicais têm provocado ao longo dos anos um aumento considerável na adição de fertilizantes fosfatados, não apenas, para suprir a exigência das culturas, mas também para compensar as quantidades que se tornam indisponíveis pelos sítios de adsorção. Os motivos citados são a explicação para as grandes doses observadas das fontes de fósforo

utilizadas nas fertilizações. O resultado é o acúmulo inevitável do elemento à proporção que os cultivos vão sendo desenvolvidos.

Na solução do solo o P está na forma de H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} . De acordo com Moura (1994), as plantas absorvem o nutriente na forma de H_2PO_4^- que, dependendo do pH do meio e na medida do seu tamanho pode produzir três associações:



Acontecem muitas reações entre o solo e o adubo fosfatado que é adicionado a ele, e a maior parte do fósforo absorvido pelas plantas vem destas reações (MOURA, 1994).

A faixa de requerimento de fósforo ótima para o crescimento das culturas é a variação entre 1 a 5 g kg⁻¹ na matéria seca (FAQUIN, 2005). A alface exige em média 4,4 kg ha⁻¹ deste nutriente (MALAVOLTA, 1975) e Trani e Raij (1997) apresentam a faixa de teores adequados de P nas folhas para a produção de alface entre 4 a 7 g kg⁻¹.

Para solos com baixos teores deste nutriente, Trani et al. (1997) e Fontes (1999), recomendam a adubação com 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Uma das condições para que a planta otimize a absorção de fósforo em níveis adequados é que a reserva do ânion no solo seja mantida constante. Assim, de acordo com Barreto e Fernandes (2002), a localização do adubo fosfatado em relação às raízes das plantas é fator determinante para otimizar a absorção, quanto menores as distâncias entre o fosfato e as raízes melhor a eficiência desse tipo de fertilização. Também considerando aumentar a eficiência do uso dos adubos fosfatados sabe-se que o uso do material na forma granular é a que predomina. A granulação, além de facilitar a distribuição do adubo na área, promove a melhoria no seu contato com o cubo de solo e reduz as possibilidades de insolubilização do material (MARTINHÃO et al. 2004).

A alface além de ser uma cultura bastante exigente em fósforo é também pouco tolerante a acidez do solo, especialmente na fase final do seu ciclo (TRANI et al., 1997; LANA et al., 2004). Logo, o conhecimento das condições de acidez do solo, que favorecem a solubilização dos fosfatos e disponibilizam P, é também

interessante para aumentar a produtividades das culturas em solos intemperizados e ácidos.

Em síntese, a eficiência das adubações fosfatadas requer o conhecimento da dinâmica do fósforo e de suas interações com o solo, bem como a determinação do teor disponível do elemento, objetivando diagnosticar as deficiências nutricionais das plantas e, conseqüentemente, indicar as práticas necessárias para corrigi-las (MOREIRA et al., 1997).

O contato íon raiz acontece por difusão. Dentro da planta o fósforo se move na forma em que é absorvido (H_2PO_4^-), acumulando-se bastante na planta adulta, em órgãos como sementes e frutos. E a redistribuição acontece na forma orgânica com a alta mobilidade do nutriente sendo representada pela grande concentração da forma orgânica que é encontrada no floema (PRADO, 2008).

Na planta o fósforo apresenta função estrutural e está ligado a processos metabólicos importantes, tais como, transferência e armazenamento de energia, podendo afetar vários outros como a síntese de proteínas e de ácido nucléico (MOTA et al., 2003; MALAVOLTA, 2006).

Sua deficiência na planta de alface é, normalmente, observada pela coloração com tonalidades avermelhadas a púrpuras ou verde-opacas nas folhas velhas, e ainda, redução no crescimento e má formação da cabeça (KATAYAMA, 1993).

Almeida et al. (2011) observaram que plantas de alface que não receberam fósforo na solução nutritiva apresentaram redução na altura, na área foliar e no número de folhas, com conseqüente redução na matéria seca (parte aérea e raízes) e na produção. Silva et al. (2011) observaram que plantas de alface que não receberam o nutriente na adubação apresentaram amarelecimento das bordas de folhas velhas, evoluindo para necrose com aspectos de queimadura, a partir do 15º dia após a aplicação do tratamento.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi realizado no período de 3 de setembro de 2011 a 4 de janeiro de 2012, no *Campus Maracanã – IFMA - São Luis*, situado a 2°36'35,94" de Latitude Sul, 44°15'52,02" Longitude Oeste, e altitude de 34 metros.

O clima da região, segundo a classificação de Thornthwaite, é do tipo B1 WA, caracterizado como Úmido, com moderada deficiência de água no inverno, entre os meses de junho a setembro (LABGEO/UEMA, 2002). A temperatura média anual é de 27°C, com precipitação pluvial média anual de 2000 mm. No período experimental, as temperaturas mínimas e máximas e de precipitação pluvial foram as apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Temperaturas média, mínimas e máximas, e precipitação pluvial do período experimental.

Mês	Tmax. (°C)	Tmin. (°C)	Tmed. (°C)	Precipitação pluvial (mm)
Julho	31,30	23,98	27,23	100
Agosto	31,64	24,18	27,92	-
Setembro	32,72	24,41	28,59	-
Outubro	32,32	24,77	28,49	84
Novembro	32,43	25,19	28,76	67
Dezembro	32,58	25,42	28,83	50
Janeiro	31,84	24,95	28,21	174
Média	32,29	25,08	28,57	375

O solo da área, classificado segundo os critérios da EMBRAPA (2006), é um Argissolo Vermelho Amarelo Distrocoeso. De acordo com a análise granulométrica, o solo apresentava 6%, 8%, 44% e 42% de argila, silte, areia grossa e areia fina, respectivamente.

Previamente ao preparo do solo e instalação do experimento, amostra do solo da camada de 0 a 20 cm foi analisada quanto à fertilidade do solo. As características químicas na fase de pré-instalação do experimento estão representados na tabela 2.

TABELA 2. Valores médios das características químicas do solo do local do experimento, na camada de 0 – 20 cm.

pH	MO g dm ⁻³	P mg dm ⁻³	K -----	Ca	Mg mmol _c dm ⁻³ -----	H+Al	CTC	V %
4,8	14	14	0,3	3	4	24	31,7	24

pH (CaCl₂); P (resina); Capacidade de troca de cátions (CTC); Matéria orgânica (MO); Saturação por Bases (V).

Com base nos resultados da análise de solo e recomendação de Trani et al. (1997), foi realizada calagem, utilizando-se calcário com PRNT de 98% (32% de CaO e 15% de MgO), 30 dias de antecedência, para elevar a saturação por bases do solo a 80%. Em seguida foi realizada aração e gradagem para incorporação do corretivo. Após o período de reação, foram preparados os canteiros com auxílio de rotoencanteiradora.

Nos dois experimentos foram realizadas as fertilizações de acordo com a recomendação de Trani et al. (1997), exceto para o nutriente cujas doses constituíram os tratamentos. O solo dos canteiros recebeu, três dias antes do transplante das mudas, 60 t ha⁻¹ de esterco bovino curtido e 40 kg ha⁻¹ de N, na forma de uréia. No experimento em que foi avaliado o K, foram também aplicados 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e K conforme as doses indicadas nos tratamentos. No experimento em que se avaliaram doses de P, foram aplicados 150 kg ha⁻¹ de K₂O e P de acordo com os tratamentos. As fontes de P e K foram superfosfato triplo e cloreto de potássio. Em cobertura, foram aplicados 90 kg ha⁻¹ de N (ureia), parcelado aos 10, 20 e 30 dias após o transplante (DAT). Semanalmente, as plantas foram pulverizadas com nitrato de cálcio, com 2,5 g L⁻¹ e 400 L ha⁻¹ de calda.

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

Cada experimento foi instalado em delineamento de blocos casualizados, com seis tratamentos (0, 50, 100, 200, 300 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ ou 0, 50, 100, 150, 200

e 250 kg ha⁻¹ de K₂O), e com quatro repetições. As parcelas tiveram 3,0 m de comprimento por 1,0 m de largura, em canteiros, contendo quatro linhas de alface, espaçadas em 0,25 x 0,25 m, totalizando 48 plantas. Foram consideradas como área útil da parcela, para coleta dos dados, as oito plantas centrais das duas linhas centrais da parcela.

A irrigação do experimento foi o sistema localizado, do tipo tubogotejador, sendo um tubo gotejador para cada duas linhas de plantas, e os gotejadores espaçados em 0,30 x 0,30 m.

Foi utilizada a cv. Vera, do grupo Crespa, escolhida por sua boa aceitação no mercado local, e pelos bons resultados obtidos em testes de avaliação de cultivares na região.

As mudas foram produzidas no viveiro do Setor de Agricultura I do IFMA, campus Maracanã, em São Luís, -, em bandejas de polipropileno com 128 células, preenchidas com o substrato comercial Plantmax HA[®]. A semeadura foi realizada colocando-se duas sementes peletizadas por célula. Após a semeadura, as bandejas foram cobertas com uma fina camada do próprio substrato. Aproximadamente sete dias após a emergência das plântulas, foi realizado o desbaste, deixando-se uma planta por célula. O suprimento de água no período de viveiro foi efetuado duas vezes ao dia. O transplante foi realizado quando as mudas apresentaram quatro folhas completas, 21 dias após a semeadura.

Quanto ao controle das invasoras durante o experimento foram adotadas as recomendações técnicas para a cultura da alface, sendo este realizado semanalmente, pelo método manual (RESENDE et al., 2007). Não foi constatada a ocorrência de problemas fitossanitários ao longo do cultivo, portanto, não foram aplicados agrotóxicos.

O experimento foi encerrado aos 45 dias após o transplante (época de colheita comum para a cultura em São Luís, MA), quando se realizaram as colheitas das alfaces de todos os tratamentos, e momento em que as plantas dos tratamentos com as maiores doses de P e de K apresentaram o padrão comercial.

3.3 Características avaliadas

Após a colheita foram avaliadas as seguintes características:

- a) Teor foliar de P e de K: para cada experimento (P e K), quando as plantas atingiram, aproximadamente, dois terços do ciclo estimado, foi realizada a amostragem de folhas recém desenvolvidas, segundo a recomendação de Trani e Raij (1997), para avaliação do estado nutricional. A coleta foi realizada logo no início do dia entre as seis e sete horas da manhã. Após coletadas, as folhas foram levadas ao Laboratório e lavadas com água corrente e em água deionizada. Após a remoção do excesso de água com papel toalha, as amostras foram colocadas em sacos de papel, identificadas e levadas para secagem em estufa com circulação forçada de ar, a 65°C, até atingirem massa constante. Em seguida, cada amostra foi moída no moinho tipo Wiley. O preparo do extrato para leitura do teor de P e K foi realizado conforme Bataglia et al. (1983).
- b) Massa fresca da parte aérea (MFPA): realizou-se o corte do caule rente a superfície do solo. As folhas mortas e senescentes foram descartadas e a massa determinada com o auxílio de uma balança com sensibilidade de 0,01 g.
- c) Massa seca da parte aérea (MSPA): a parte aérea das plantas avaliadas foi seca em estufa com circulação forçada, a 65°C, até quando se atingiu a massa constante. Após a secagem e pesagem em balança eletrônica de precisão com duas casas decimais (0,01g), determinou-se a MSPA.
- d) Teor de P ou de K no solo: após o término dos experimentos, foram coletadas amostras de solo de cada parcela, na camada de 0 a 20 cm, para determinação dos teores de P e de K disponível nos experimentos de P e K, respectivamente. Previamente a amostragem, foi realizada a homogeneização do leito da parcela e em seguida coletadas oito amostras simples para compor uma amostra composta por parcela. As amostras foram peneiradas e colocadas para secar a sombra. Em seguida foram levadas para o laboratório de Solos, da UEMA, para determinação do teor de cada nutriente segundo a metodologia descrita por Raij (2001).
- e) Acúmulo de P e K (mg planta^{-1}): obtido pelo produto entre o teor de P na MSPA e a quantidades acumuladas de MSPA.

Foi realizada análise de variância pelo teste F e análise de regressão polinomial para avaliar os efeitos das doses de fósforo ou de potássio. Foi escolhida para a interpretação dos dados a equação significativa e com maior coeficiente de determinação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento 1: fósforo

O teor de P no solo foi afetado significativamente pelas doses de P (Tabela 3) e o modelo quadrático ajustou-se às médias observadas. O máximo teor de P no solo, 60 mg dm⁻³ de P, foi obtido com 320 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 1).

Tabela 3. Análise de variância, médias e estudo de regressão polinomial para teor de P no solo (PS), teor de P na folha (PF), massa fresca e (MFPA) massa seca da parte aérea (MSPA) e acúmulo de fósforo (P) em plantas de alfaces 'Vera' em função de doses de fósforo.

Fonte de variação	PS (mg dm ⁻³)	PF (g kg ⁻¹)	MFPA (g planta ⁻¹)	MSPA (g planta ⁻¹)	P (mg planta ⁻¹)
Valores de F					
Tratamentos	10,59**	6,30**	40,23**	56,26**	34,84**
Dose de P					
(kg ha⁻¹ de P₂O₅)					
			Médias		
0	21	4,5	102,00	2,89	15,43
50	40	4,5	433,75	8,69	66,99
100	45	6,0	565,50	11,24	106,45
200	57	6,7	824,25	15,17	117,36
300	55	5,5	774,25	15,74	113,38
400	61	4,5	770,25	15,13	102,89
Regressão					
1º grau	41,11**	0,32 ^{NS}	137,08**	206,40**	116,71**
2º grau	8,23*	25,50**	56,79**	70,76**	103,75**
3º grau	2,90 ^{NS}	0,01 ^{NS}	5,04*	4,18 ^{NS}	17,55**
C.V.(%)	19,45	14,52	15,10	11,67	13,08

** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo a 5% de probabilidade.

Observou-se pequeno aumento no teor de P no solo, de 14 para 21 mg dm⁻³ de P, no tratamento sem adição de P no plantio, fato que pode ser devido a dois fatores: o P proveniente da adubação orgânica e à correção do pH do solo (LANA et al., 2004; SOUZA et al., 2006). Com as doses de 50, 100, 200, 300 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅, o teor de P disponível no solo aumentou 2,9; 3,2; 4,1; 3,9 e 4,4 vezes em relação ao teor de P no solo antes da fertilização. Os resultados corroboram os obtidos por Coutinho et al. (2008), sendo a fertilização fosfatada um dos principais

fatores para o incremento da disponibilidade de P no solo. Contudo, o incremento da disponibilidade de P também pode ter sido favorecida pelo manejo dado à cultura, neste caso especificamente referindo-se à calagem e adubação orgânica. Souza et al. (2006) observaram que a adição de esterco bovino e de calcário incrementou os valores de P remanescente e do índice tampão de P, e reduziu a capacidade máxima de adsorção do nutriente. Grupos funcionais carboxílicos e fenólicos presentes na matéria orgânica são responsáveis pelo bloqueio dos sítios de carga positiva dos óxidos de Fe e Al, reduzindo a adsorção do P (HUE, 1991; JONES, 1998; GUPPY et al., 2005). A elevação do pH do solo pela calagem, aumentando a concentração e atividade dos íons OH^- em solução, promove a precipitação do Al, o que reduz a formação de compostos de baixa solubilidade destes elementos (P-Al) (SOUZA et al., 2006).

O teor de P foliar foi influenciado significativamente pelas doses de P_2O_5 e o modelo que melhor explicou as médias observadas foi a equação quadrática. Contudo, verificou-se que o teor foliar de P não apresentou correspondente incremento observado para o teor de P no solo (Figura 1). Segundo a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (2004), uma planta de alface bem nutrida apresenta valores considerados adequados na faixa de 4,0 a 7,0 g kg^{-1} de fósforo. Contudo, esses valores são indicações muito gerais, pois a interação planta-ambiente poderá influenciar os teores aumentando-os ou diminuindo-os.

O menor teor (4,5 g kg^{-1}) foi observado em plantas não fertilizadas com fósforo. Com fornecimento de P, o teor de P foliar aumentou até a dose de 205 kg ha^{-1} de P_2O_5 , e foi de 6,4 g kg^{-1} . Doses maiores proporcionaram reduções no teor de P foliar, sendo que com 400 kg ha^{-1} de P_2O_5 foi constatado teor de 4,4 g kg^{-1} , muito próximo ao verificado sem adubação com P (Figura 1). Todos os teores foliares de P, independente da dose de P aplicada, situaram-se na faixa de teores adequados para a alface, que segundo Trani e Raji (1997) é de 4 a 7 g kg^{-1} , não tendo sido constatado sintoma visual de deficiência em P no tratamento sem aplicação de P.

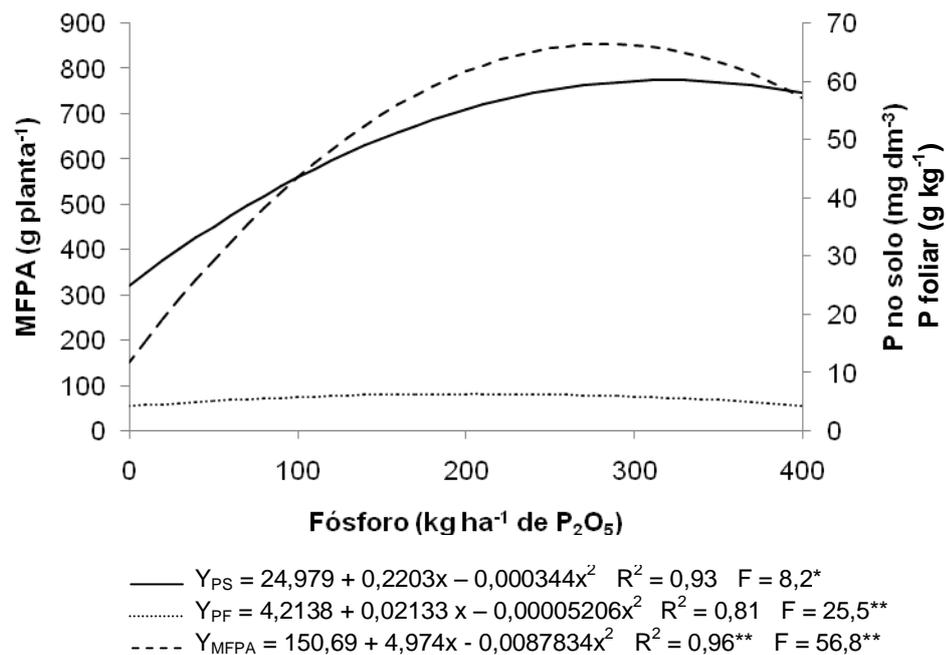


Figura 1. Matéria fresca da parte aérea (MFPA), teor foliar de fósforo (PF) e teor de P no solo (PS) em função de doses de fósforo em alfaca 'Vera'.

Coutinho et al. (2008), em Latossolo Vermelho Amarelo com baixo teor de P, obtiveram teores entre 2 (sem fertilização com P) a 7 g kg⁻¹ de P, para três cultivares de alfaca, e inclusive constataram sintoma visual de carência no nutriente na dose zero. Mógor e Câmara (2009), avaliando o efeito da cobertura do solo com palhada, sobre os teores foliares de P e K, verificaram que a alfaca 'Verônica' apresentou teor médio de 4,0 g kg⁻¹ de P, em plantas cultivadas em solo com teor médio de P e adubadas com 1500 kg ha⁻¹ de termofosfato. Silva Junior e Soprano (1997) citam teores entre 3,0 e 5,6 g kg⁻¹, como adequados ao bom desenvolvimento da alfaca, variando de acordo com grupo ou a cultivar. Bonela (2010) avaliou a resposta de cultivares de alfaca a doses de P, em solo com alto teor de P, e encontrou que a cv. Amanda, do grupo Crespa, apresentou, para as doses de 0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente, 3,9; 4,5; 4,7; 3,6 g kg⁻¹ de P foliar.

As matérias fresca (MFPA) e seca (MSPA) da alfaca também foram influenciadas significativamente pelas doses de P (Tabela 1) e o modelo que melhor se ajustou as médias foi o quadrático (Figura 2).

As máximas MFPA (855 g planta⁻¹) e MSPA (16,5 g planta⁻¹) de alface 'Vera' foram obtidas com 283 e 292 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente (Figuras 1 e 2). De acordo com Raij (1991), quantidades adequadas de P no solo influenciam favoravelmente a produção das culturas, uma vez que o P estimula o desenvolvimento radicular e amplia as oportunidades de absorção de nutrientes pelo vegetal. As doses para maximizar MFPA e MSPA foram muito inferiores às obtidas por McPharlin e Robertson (1997), Mota et al. (2003) e Coutinho et al. (2008), que observaram máximas produtividades da alface com altas doses de fósforo, acima de 600 kg ha⁻¹ de P₂O₅. A divergência dos resultados obtidos e os reportados pelos autores pode ser devido aos inúmeros fatores do ambiente, principalmente do solo, como mineralogia, teor de óxidos de Fe e Al, pH, matéria orgânica e teor de P disponível (HUE, 1991; JONES, 1998; ANGHINONI e BISSANI, 2004; GUPPY et al., 2005; HOPKINS e ELLSWORTH, 2005; SOUZA et al., 2006) em interação com a cultivar de alface. Também, a dose de 283 kg ha⁻¹ de P₂O₅, que proporcionou máxima MFPA da alface 'Vera', é muito inferior à dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ recomendada por Trani et al. (1997), para alface, quando o teor de P no solo é baixo.

A MSPA obtida neste trabalho foi semelhante à obtida por Costa et al. (2007), em Jaboticabal, SP, com a alface crespa 'Vera', com 16,61 g planta⁻¹, e inferior à obtida por Bonela (2010), também em Jaboticabal, em Latossolo com alto teor do nutriente, que verificou MSPA de 21,5 g planta⁻¹, com 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅, para a cultivar 'Amanda', do grupo crespa. Porém, superou as encontradas em alfases 'Verônica', adubadas com 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, no semi-árido nordestino, cuja média foi de 6,4 g planta⁻¹ (GRANGEIRO et al., 2006). Utilizando a dose de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, Oliveira et al. (2010), obtiveram 2,1 g planta⁻¹ para a MSPA da alface. Com fertilização de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ foi obtida MSPA média de 9,4 g planta⁻¹ em plantas de alface 'Vera' (FERREIRA et al., 2009).

Para se obter 90% das máximas MFPA (Figura 1) e MSPA (Figura 2) foram necessários cerca de 185 kg ha⁻¹ de P₂O₅, portanto, aproximadamente 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ a menos. Sem aplicação de P foram obtidas as menores MFPA e MSPA, 150 e 3,7 g, respectivamente (Figuras 1 e 2); equivalentes a 17,5 e 22,4% dos máximos de MFPA e MSPA, respectivamente. Segundo Coutinho et al. (2008), a

alface não é uma planta adaptável aos solos com baixa disponibilidade de nutrientes na camada arável.

De acordo com as equações polinomiais para MFPA, teor foliar de P e teor de P no solo (Figura 1), para a produção de 90 a 100% da MFPA, os teores de P no solo e na folha foram de 55 a 60 mg dm⁻³ e de 6,1 a 6,4 g kg⁻¹, respectivamente, enquanto para a produção entre 70 e 90% da máxima MFPA, os teores de P no solo situaram-se entre 45 e 55 mg dm⁻³ e os de P foliar ficaram entre 6,0 a 6,4 g kg⁻¹. Teores de P no solo inferiores a 45 mg dm⁻³ e com menos de 6 g kg⁻¹ proporcionaram menos de 70% da máxima MFPA.

Na colheita, foi observado ajuste de equação polinomial de segundo grau para acúmulo de P pela planta (Figura 2).

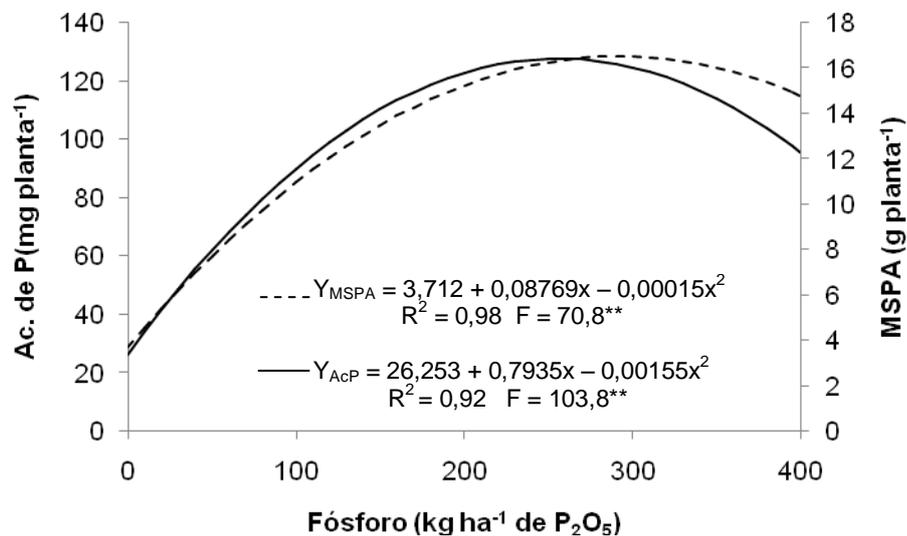


Figura 2. Matéria seca da parte aérea (Y_{MSPA}) e acúmulo de fósforo (Y_{AcP}) nas plantas de alface 'Vera' em função da dose de fósforo.

Na dose que proporcionou 100 e 90% da máxima MFPA da alface, o acúmulo de P foi de 127 e 120 mg por planta. Essa quantidade é semelhante à obtida por Grangeiro et al. (2006), 110 mg planta⁻¹ de alface.

Considerando-se 6250 m² de área de canteiros, efetivamente cultivada com alface, plantada em espaçamento de 0,3 x 0,3m, o acúmulo de 127 mg por planta corresponde à exportação de 8,8 kg ha⁻¹ de P por 69.444 plantas em 1 ha, ou 20 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

4.2 Experimento 2: potássio

O teor de K no solo foi influenciado pelo aumento das doses de K (Tabela 4) e houve ajuste de equação linear às médias observadas (Figura 3).

Embora os teores de K no solo aumentaram proporcionalmente com o incremento na quantidade aplicada do nutriente, elevando o teor para 1,45 mmol_c dm⁻³ com a maior dose aplicada (Tabela 2), cerca de cinco vezes maior do que o teor antes da fertilização, todos os teores observados ao final do experimento situaram-se na faixa considerada de teores baixos para hortaliças, segundo Raij et al. (1997).

Tabela 4. Análise de variância, médias e estudo de regressão polinomial para teor de K no solo (KS), teor de K na folha (KF), massa fresca e (MFPA) massa seca da parte aérea (MSPA) e acúmulo de K (K acumulado) em plantas de alfaces 'Vera' em função de doses de potássio.

Fonte de variação	K no solo (mmol _c dm ⁻³)	K na folha (g kg ⁻¹)	MFPA (g planta ⁻¹)	MSPA (g planta ⁻¹)	K acumulado (mg planta ⁻¹)
Valores de F					
Tratamentos	5,51**	1,22 ^{NS}	8,11**	7,24**	5,51**
kg ha⁻¹ de K₂O			Médias		
0	0,75	16,04	57,80	3,70	96,83
50	0,70	24,42	113,00	7,10	237,94
100	0,70	22,37	134,30	7,27	257,36
150	1,02	18,67	162,30	8,90	375,62
200	1,22	26,65	162,50	7,50	300,76
250	1,45	21,85	150,80	6,85	346,20
Regressão					
1º grau	24,14**	1,21 ^{NS}	25,55**	11,96**	9,01**
2º grau	0,70 ^{NS}	0,65 ^{NS}	11,28**	20,57**	3,74 ^{NS}
3º grau	0,98 ^{NS}	0,36 ^{NS}	0,61 ^{NS}	0,59 ^{NS}	1,97 ^{NS}
C.V.(%)	27,40	32,06	20,72	18,55	27,60

** significativo a 1% de probabilidade; ^{NS} não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Bonela (2010), em solo com alto teor de K no solo, também encontrou ajuste linear para as médias de K no solo em função do aumento no fornecimento do nutriente. Também ao final do experimento, o Bonela (2010) observou que, para cada aumento de 50 kg ha⁻¹ de K₂O, no intervalo de zero a 100 kg ha⁻¹ de K₂O,

houve incremento de $0,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K, enquanto no presente trabalho houve incremento de $0,14 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K, no solo, no intervalo de zero a 250 kg ha^{-1} de K_2O (Figura 3).

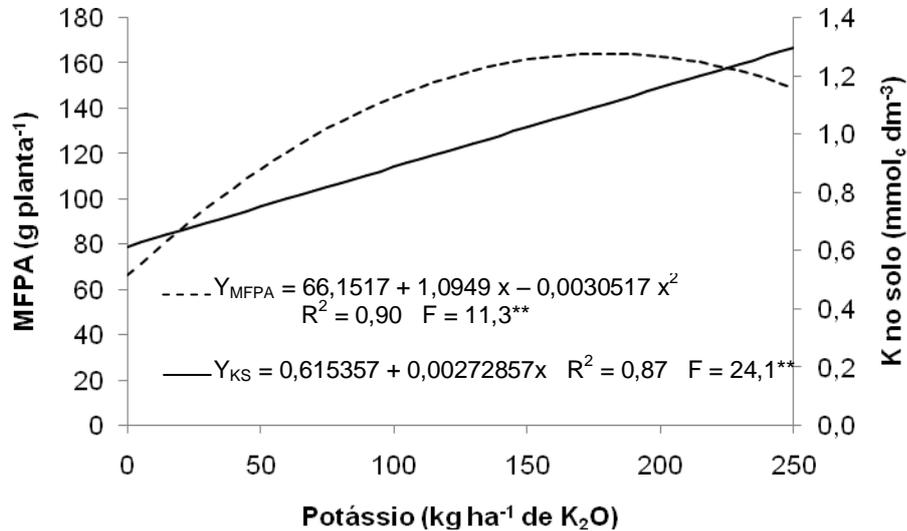


Figura 3. Matéria fresca da parte aérea (Y_{MFPA}) e teor de potássio no solo (Y_{KS}) em função de doses de potássio.

O pequeno incremento no teor de K no solo, mediante as doses de até 250 kg ha^{-1} de K_2O , pode ser explicado pela alta demanda do nutriente pela alface, sendo este o elemento acumulado em maior quantidade, conforme observaram Agapito et al. (1997), Beninni (2002) e Grangeiro et al. (2006). Bonela (2010) observou que mesmo no solo com alto teor de K ($3,4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e fertilizado com doses de até 100 kg ha^{-1} de K_2O , após a colheita da alface, os teores de K no solo foram menores do que o teor inicial.

Quanto ao teor foliar de K, este não foi influenciado significativamente pelo aumento no fornecimento de K (Tabela 2). Também, não foi constatado ajuste significativo de equação polinomial para as médias observadas. O teor médio foi de $21,7 \text{ g kg}^{-1}$, aquém do adequado para alface, que segundo Trani e Raij (1997) deve estar entre 50 e 80 g kg^{-1} . Entretanto, mesmo apresentando teores de K abaixo do considerado ideal, não foram observados sintomas visuais da carência do nutriente nas plantas. Bonela (2010), avaliando doses de K em cultivares de alface dos grupos crespa, lisa e americana, em Latossolo com alto teor de K, não observou

efeito de dose no teor foliar de K. O autor, entretanto, verificou teores foliares mais altos, de 63,2, 64,9 e 79,6 g kg⁻¹ de K foliar para alfaces dos grupos crespa, lisa e americana, respectivamente. Por outro lado, Furtado (2001) e Yuri et al. (2004) encontraram teores mais baixos do que Bonela (2010) e um pouco mais próximos aos observados no presente trabalho, 29,8 g kg⁻¹ e 31,2 g kg⁻¹, respectivamente.

Para massa fresca (MFPA) e seca (MSPA) da parte aérea da alface, houve efeito significativo das doses de K. As médias de MFPA e MSPA ajustaram-se a equação polinomial quadrática (Tabela 2, Figuras 3 e 4).

As doses que maximizaram a MFPA (164 g planta⁻¹) (Figura 3) e a MSPA (8,42 g planta⁻¹) (Figura 4) foram 180 e 153 kg ha⁻¹ de K₂O. Sem adubação potássica, as MFPA e MSPA foram equivalentes a 40 e 47%, respectivamente, das máximas obtidas. Portanto, o resultado obtido está de acordo com Raij (2011), o qual explica que a resposta à adubação potássica pelas culturas é especialmente acentuada em solos arenosos e de baixa fertilidade. Resultados positivos da adubação potássica em alface também foram constatados por Madeira et al. (2000), Mota et al. (2003), Resende et al. (2005) e Koetz et al. (2006), quando nos solos o teor de K era baixo ou médio.

A MFPA obtida no presente experimento é considerada comercial, pois tem massa superior a 100 g planta⁻¹ (KANO et al., 2012b). Entretanto, a MFPA foi inferior à obtida por Tosta et al. (2009), que também observaram ajuste quadrático da massa da alface 'Julia' às doses de K, com máxima massa de 693 g planta⁻¹, obtida com 293 kg ha⁻¹ de K₂O, e por Bonela (2010), que obteve média de 312 g planta⁻¹ da cv. Amanda, também do grupo crespa, porém em solo contendo alto teor de K.

A massa seca de parte aérea (MSPA) da cv. Vera foi inferior às obtidas para cultivares de alface crespa por Costa et al. (2007), 16 g planta⁻¹ para 'Vera', 16 g planta⁻¹ para 'Amanda' e 16,20 g planta⁻¹ por Tosta et al. (2009).

Na colheita, foi observado que houve efeito significativo das doses de K sobre o acúmulo de K pela alface 'Vera' (Tabela 2), e houve ajuste significativo de equação linear, ou seja, quanto maior a dose, maior a quantidade acumulada de K na planta (Figura 4).

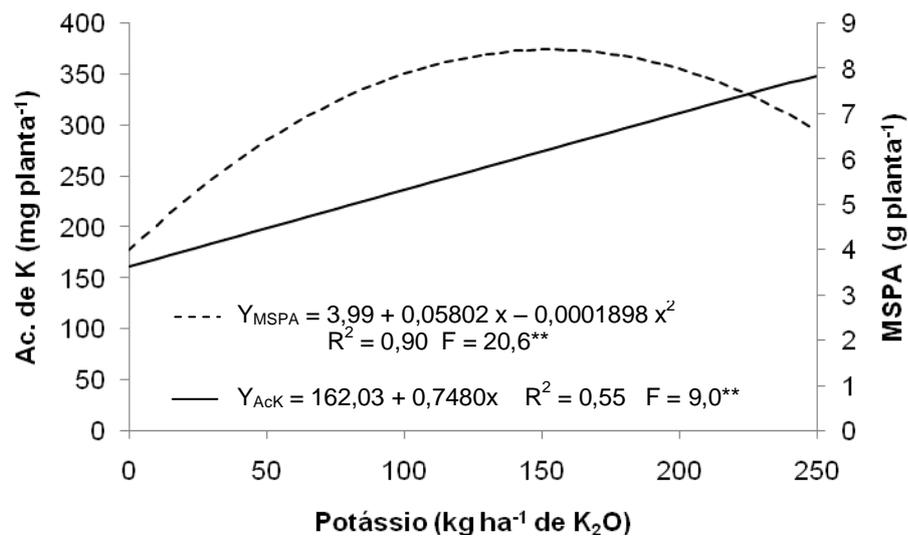


Figura 4. Matéria seca da parte aérea (Y_{MSPA}) e acúmulo de K (Y_{Ack}) na planta de alfaca 'Vera' em função da dose de potássio.

Na dose de 180 kg ha⁻¹ de K₂O, que maximizou a MFPA, a alfaca acumulou 268 mg de K, que equivale a 28,3 kg ha⁻¹ de K (68,2 kg ha⁻¹ de K₂O), considerando a população de 105.600 plantas por hectare. Kano et al. (2012) encontraram 527 mg por planta de alfaca.

5 CONCLUSÃO

Em Argissolo Vermelho Amarelo distrocoeso, com baixa disponibilidade de fósforo, a alface responde positivamente a adubação fosfatada, sendo necessários $283 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ para maximizar a produtividade comercial.

Em Argissolo Vermelho Amarelo distrocoeso, com baixa disponibilidade de potássio, o aumento na dose de potássio proporcionou incremento na massa fresca de alface, com a máxima obtida com 180 kg ha^{-1} de K_2O .

6 REFERÊNCIAS

ABREU, I. M. O. de. **Produtividade e qualidade microbiológica de alface sob diferentes fontes de adubos orgânicos**. Brasília, Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Brasília. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 81p., 2008.

AGAPITO PJA; CONTRERAS NU; PINZON H; LAVERDE PH. Nutrient absorption in four lettuce, *Lactuca sativa* L., source materials. **Agronomia Colombiana**. V. 14, p. 28-36, 1997.

ANGHINONI, I.; BISSANI, C. A. Correção da acidez do solo e materiais utilizados. In: BISSANI, C A; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.J.; CAMARGO, F.A.deO.C. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Gênese, cap.12, p.153-165, 2004.

ALMEIDA, T. B. F. de; PRADO, R. M.; CORREIA, M. A. R.; PUGA, A. P.; BARBOSA, J. C. Avaliação nutricional de alface cultivada em soluções nutritivas suprimidas de macronutrientes. **Revista Biotemas**, vol. 24, n. 02, jul., 2011.

BARRETO A. C.; FERNANDES, M. F. Produtividade e absorção de fósforo por plantas de milho em função de doses e modos de aplicação de adubo fosfatado em solo do tabuleiro costeiro, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Brasília, v. 26, 151-156p., 2002.

BATAGLIA, O.C. et al. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico, Campinas, 1983.41p. (Boletim Técnico, 78).

BENINNI, E. R. Y.; TAKAHASHI, H. W.; NEVES, C. S. V. J. Concentração e acúmulo de macronutrientes em alface cultivadas em sistema hidropônico e convencional. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 3, p. 273-282, jul./set. 2005.

BERNARDI, A. C. C.; BERNARDI, M. R. V.; WERNECK, C. G.; HAIM, P. G.; MONTE, A. B. M. Avaliação quantitativa e qualitativa de alface cultivada em sistema zeopônico. **Circular Técnica 23**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, p. 1-11, 2004.

BOARETTO, L. C. **Viabilidade econômica da produção de alface, em quatro sistemas tecnológicos: campo coberto, túnel baixo, estufa e hidropônico**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, 93p., 2004.

BONELA, G. D. **Adubação fosfatada e potássica para alface em Latossolo com teores altos de p e k disponíveis**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Campus Jaboticabal, 69p., 2010.

CARMO, S. B. do; FERNANDES, A. R.; NOTONHA, N. C.; SAMPAIO, F. A. R. Características químicas de um Argissolo sob diferentes usos em Ji-Paraná / RO. **Amazonian Journal**, v. 53, n. 02, p. 143-149, jul/dez, 2010.

COSTA, J. P. V. da; BARROS, N. F. de; BASTOS, A. L.; ALBUQUERQUE, A. W. de. Fluxo difusivo de potássio em solos sob diferentes níveis de umidade e de compactação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.1, p.56–62, 2009.

COSTA, C. C.; CECÍLIO FILHO, A. B.; REZENDE, B. L. A.; BARBOSA, J. C.; GRANGEIRO, L. C. Viabilidade agrônômica do consórcio de alface e rúcula, em duas épocas de cultivo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 1, jan-mar, p. 34-40, 2007.

COUTINHO, E. L. M.; CARVALHO, F. P. de.; FRANCO, H. C. J.; ORIOLI JÚNIOR, V.; COUTINHO NETO, A. M.; UETA, F. Z. Adubação fosfatada em cultivares de alface cultivada em solos deficientes. **Nucleus**, v.05, n.02, out., p. 279-288, 2008.

CURI, N.; KAMPF, N.; MARQUES, J. J. Mineralogia e formas de potássio em solos brasileiros. IN: YAMADA, T. & ROBERTS, T. L. **Potássio na agricultura brasileira**,

Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fósforo, p. 71-86, 2004.

EMATER-DF. **Administração rural: custos de produção: alface cultivo orgânico e tradicional.** Disponível em: <<http://www.emater.df.gov.br/>>. Acesso em: 02 ago. 2012.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 306p., 2006.

FAQUIN, V.; ANDRADE, A. T. **Nutrição mineral e diagnose do estado nutricional de hortaliças.** Lavras: UFLA/FAEPE, 88p. 2004.

FAQUIM, V. **Nutrição mineral de plantas.** Lavras: FAEPE. 1994, 227 p.

FERREIRA, R. L. F.; SOUZA, R. J.; C. J. G. de.; ARAÚJO NETO, S. E. de.; YURI, J. E. Avaliação de cultivares de alface adubadas com Silifétil. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 2, abr/jun, p. 5-10, 2009.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças.** Viçosa: UFV, 2000. 402 p.

FILGUEIRA, F.A.R. **Asteráceas** – alface e outras hortaliças herbáceas. In: FILGUEIRA, F.A.R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa: UFV, p. 289-295, 2003.

FONSECA, J. R. O. **Cultivos consorciados entre alface, cenoura, manjeriço e melissa.** Dissertação (Mestrado em Ciências Agrária, área de concentração em Agroecologia) – Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, 151p., 2009.

FONTES, P. C. R. Alface. IN: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.) **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª Aproximação**, Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais – CFSEMG, 177p., 1999.

FURTADO, S. C. **Nitrogênio e fósforo na produtividade e nutrição mineral de alface americana cultivada em sucessão ao feijão após o pousio da área**. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras: UFLA. 78p, 2001.

GATIBONI, L. C. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas**. Tese (Doutorado em Agronomia – Biodinâmica dos Solos) – Universidade Federal de Santa Maria, p. 247, 2003.

GRANJEIRO, L. C.; COSTA, K. R.; MEDEIROS, M. A.; SALVIANO. A. M.; NEGREIROS, M. Z.; BEZERRA NETO, F. OLIVEIRA, S. L. Acúmulo de nutrientes por três cultivares de alface cultivadas em condições do Semi-Árido. **Horticultura Brasileira**. Brasília, v. 24, N. 2, 190-194p., 2006.

GUPPY, C. N.; MENZIES, N. W.; MOODY, P. W.; BLAMEY, F. P. C. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review. **Australian Journal of Soil Research**. Melbourne, v. 43, p. 189-202, 2005.

HARTZ, T. K.; JOHNSTONE, P. R. Establishing Lettuce Leaf Nutrient Optimum Ranges Through DRIS Analysis. **Hortscience**. Califórnia, v. 42, n. 1, p.143–146, 2007.

HOCHMUTH, G.; HANLON, E.; NAGATA, R.; SNYDER, G.; SHUENEMAN, T. Fertilization Recommendations for Crisphead Lettuce Grown on Organic Soils in Florida, **Horticultural Sciences Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences**, Flórida: University of Florida, 2009. Disponível em: <http://edis.ifas.ufl.edu>. Acesso em: 01 jul. 2012.

HOPKINS, B.; ELLSWORTH. Phosphorus availability with alkaline/calcareous soil. **Western Nutrient Management Conference**. Salt Lake City, Vol. 6, 2005.

HUE, N.V. Effects of organic acids/anions on phosphorus sorption and phytoavailability in soils with different mineralogies. **Soil Science**, v.152, p.463-471, 1991.

IBGE. Censo Agropecuário: Brasil, 1996. Disponível:<
<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp>> . Acesso em: 11 Ago. 2012.

INSTITUTO DE AGRONEGÓCIO DO MARANHÃO – INAGRO. **Diagnóstico da produção e consumo de hortifrutigranjeiros da Ilha de São Luís**. São Luís, 2006.

JOHNSTONE, P.R.; HARTZ, T.K.; CAHN, M. D.; JOHNSTONE. M.R. Lettuce response to phosphorus fertilization in high phosphorus soils. **HortScience**, v. 40, p.1499–1503, 2005.

JONES, D.L. Organic acids in rhizosphere – a critical review. **Plant and Soil**, v. 205, p. 25-44, 1998.

KANO, C.; CARDOSO, Ail.; VILAS BOAS, R. S. Influência de doses de potássio nos teores de macronutrientes em plantas e sementes de alface. **Horticultura Brasileira**. Brasília, 28, n. 3, jul/set., 287-291p., 2010.

KATAYAMA, M. Nutrição e adubação de alface, chicória e almeirão. In: FERREIRA, M.E.; CASTELLANE, P.D.; CRUZ, M.C.P. **Nutrição e adubação de hortaliças**. Piracicaba: Potafos, p. 141-148, 1993.

KOETZ, M.; COELHO, G.; CARVALHO, J. A.; SOUZA, R. J.; SILVA, R. A. Produção do meloeiro em ambiente protegido irrigado com diferentes lâminas de água. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 4, p. 500-506, 2006.

LABGEO / UEMA. **Atlas do Maranhão. (2 edição)**. São Luís: GEPLAN, 38p., 2002.

LANA, R. M. Q.; ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LUZ, J. M. Q.; S. J. C. da. **Produção da alface em função do uso de diferentes fontes de fósforo em solo de Cerrado. Horticultura Brasileira**. Brasília, v. 22, n. 3, jul-set, p. 525-528, 2004.

LEHR, J. R. Phosphate raw materials and fertilizer, part I - a look ahead. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATE, E.J. **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1980. p.81-120.

LICINA, V.; MARKOVIC, N. Effect of potassium fertilization on its available and fixed content in vineyard soil. **Journal of Agricultural Sciences**. Belgrad, vol. 47, n 01, p. 37-44, 2002.

LOPES, J. C.; RIBEIRO, L. G.; ARAÚJO, M. G.; BERALDO, M. R. B. S. Produção de alface com doses de lodo de esgoto. **Horticultura Brasileira**. Brasília, v. 23, n. 1, jan./mar., 143-147p., 2005.

McBRIDE, M.B. **Environmental chemistry of soils**. New York, Oxford University Press, 1994. 406p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, p. 638, 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. rev. atual. Piracicaba: POTAFOS, 319p, 1997.

MALAVOLTA, C.; HAAG, H. P.; MELO, F. A. F. **Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas**. São Paulo: Pioneira, 752p, 1975.

MARTINHÃO, D.; SOUZA, G. de; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do cerrado. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Anais do Simpósio sobre Fósforo na agricultura brasileira**, Piracicaba: POTAFÓS, p. 155-200, 2004.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; VIRGENS FILHO, A. C.; SILVEIRA, R. L. V. A.; ABREU, J. B. R. Avaliação da disponibilidade do fósforo no solo por métodos

isotópico, químicos e biológico. **Scientia Agricola**. Piracicana, vol. 54 n. 1-2, Jan./Aug., 1997.

MÓRGOR, A. F.; CÂMARA, F. L. A. Teores de fósforo, potássio e produção de alface orgânica em diferentes coberturas do solo. **Bioscience Journal**. Uberlândia, v. 25, n. 3, mai-jun, p. 112-118, 2009.

MOTA, J. H.; YURI, J. E.; RESENDE, G. M. de.; OLIVEIRA, C. M. de.; SOUZA, R. J. de.; FREITAS, S. A. C.; RODRIGUES JÚNIOR, J. C. Produção de alface americana em função da aplicação de doses e fontes de fósforo. **Horticultura Brasileira**. Brasília, v. 21, n. 4, out./dez., p. 620-622, 2003.

MOTA, J. H.; SOUZA, R. J. de.; SILVA, E. C. da.; CARVALHO, J. G. de.; YURI, J. E. Efeito do cloreto de potássio via fertirrigação na produção de alface-americana em cultivo protegido. **Ciência Agrônômica**, Lavras. vol, 25. n, 03.p. 542-549, 2001.

MOURA, E. G. de. Agroambientes de transição avaliados numa perspectiva da agricultura familiar. IN: MOURA, E. G (Org.). **Agroambientes de transição entre o trópico úmido e o semi-árido do Brasil**. São Luís: UEMA, P. 15-51, 2004.

MOURA, E. G.; VIEIRA, S. R.; CARVALHO, A. M. Avaliação da capacidade de aeração e de água disponível dos solos de duas transeções na baixada ocidental maranhense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. vol. 16, n. 01, p. 7-18, 1992.

MOURA, M. C. C. L. Influência de duas fontes de nitrogênio e fósforo, submetidas a três relações Ca/MG, na produção e qualidade do melão (*Cucumis melo* L.) cv. Eldorado 300. 55f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Campus Botucatu, 1994.

NACHTIGALL, G. R.; VAHL, L. C. Capacidade de suprimento de potássio dos solos da região do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, p. 37-42, 1991.

NACHTIGAL, G. R.; VAN RAIJ, B. Análise e interpretação do potássio no solo. IN: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, p. 93-118, 2004.

OLIVEIRA, E. Q.; SOUZA, R. J.; CRUZ, M. C. M.; MARQUES, V. B.; FRANÇA, A. C. Produtividade de alface e rúcula, em sistema consorciado, sob adubação orgânica e mineral. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 1, jan-mar, p. 36-40, 2010.

PÔRTO, M. L. Produção, estado nutricional e acúmulo de nitrato em plantas de alface submetidas à adubação nitrogenada orgânica. Areia: Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba, 65p., 2006.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 408 p.

RAIJ, B. Van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Potafós, 1991. 343p.

RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285p

RESENDE, F. V.; SAMINÊZ, T. C. O.; SOUZA, R. B. de.; VIDIGAL, M. C.; CLEMENTE, F. M. V. Cultivo de alface em sistema orgânico de produção. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Circular Técnica n. 56**. Brasília, Nov., 2007.

ROSOLEM, C.A.; SANTOS, F.P.; FOLONI, J.S.S.; CALONEGO, J.C. Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milho e chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, vol. 41, p. 1033-1040, 2006.

SANCHEZ, S. V. Avaliação de cultivares de alface crespa produzidas em hidroponia tipo NFT em dois ambientes protegidos em Ribeirão Preto (SP). São Paulo. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual Paulista Campus Jaboticabal, 63p., 2007.

SANTOS, M. H. V. dos.; ARAÚJO, A. C. de.; SANTOS, D. M. R. dos.; LIMA, N. S.; LIMA, C. L. C.; SANTIAGO, A. D. Uso da manipueira como fonte de potássio na cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) cultivada em casa de vegetação. **Acta Scientiarum**. Maringá, vol. 32, n. 04, p. 729-733, 2010.

SILVA, M. L. P. da; RODRIGUES, M. S.; BIANCO, M. S.; CECÍLIO FILHO, A. B.; GAION, L. A. Caracterização de sintomas visuais de deficiências de macronutrientes em alface. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 02 (Suplemento - CD ROM), julho 2011.

SILVA, G. S. da; REZENDE, B. L. A.; CECÍLIO FILHO, A. B.; BARROS JÚNIOR, A. P.; MARTINS, M. I. E. G.; PORTO, D. R. Q. Viabilidade econômica do cultivo de alface crespa em monocultura e em consórcio com pepino. **Ciência Agrotecnológica**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1516-1523, set./out., 2008.

SILVA, M. A. G. da; BOARETTO, A. E.; FERNANDES, H. G.; SCIVITTARO, W. B. Efeito do cloreto potássio na salinidade de um solo cultivado com pimentão, *Capsicum annuum* L., em ambiente protegido. **Acta Scientiarum**. Maringá, vol. 23, n. 05, p. 1085-1089, 2001.

SMITH, R.; CAHN, M.; DAUGOVISH, O.; KOIKE, S.; NATVICK, E.; SMITH, H.; SUBBARAO K.; TAKELE, E.; TURINI, T. Leaf lettuce production in California. **UC Vegetable Research & Information Center**, California: University of California Agriculture and Natural Resources Communications Services, 2011. Disponível em: <http://anrcatalog.ucdavis.edu> , acesso em: 12 de junho de 2012.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIENCIA DO SOLO. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10 ed. Porto Alegre, 2004.

SOUZA, R. F. de; FAQUIN, V.; TORRES, P. R. F.; BALIZA, D. P. Calagem e adubação orgânica: influência na adsorção de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 975-983, 2006.

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

TIECHER, T. **Dinâmica do fósforo em solo muito argiloso sob diferentes preparos de solo e culturas de inverno**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo – Processos Químicos e Ciclagem de Elementos). Universidade Federal de Santa Maria, p. 80, 2011.

TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, D.J. **Soil fertility and fertilizers**. 4 ed. New York: Macmillan Publishing Company, 1985. 754 p.

TOSTA, M. SILVA da; BORGES, F. S. P.; REIS, L. L.; TOSTA, J. S. da; M. V.; TOSTA, P. A. F. Avaliação de quatro variedades de alface para cultivo de outono em Cassilândia – MS. **Agropecuária Científica no Semi-árido**. Patos, v. 05, p. 30-35, 2009.

TRANI, P.E.; PASSOS, F.A.; AZEVEDO FILHO, J.A. Alface, almeirão, chicória, escarola, rúcula e agrião d água. In: RAIJ, B.V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: IAC. 1997. p.168. (Boletim Técnico, 100).

TRANI, P.E.; RAIJ, B. **Hortalças**. In: RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC. 1997. p.157-163 (Boletim Técnico, 100).

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

VILLAS BÔAS, R.L.; PASSOS, J.C.; FERNANDES, M.; BÜLL, L.T.; CEZAR, V.R.S.; GOTO, R. Efeito de doses e tipos de compostos orgânicos na produção de alface em dois solos sob ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 1, p. 28-34, jan/mar., 2004.

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 32, p. 2297-2305, 2008.

YURI, J.E.; SOUZA, R.J.; RESENDE, G.M.; MOTA, J.H. Comportamento de cultivares de alface americana em Santo Antônio do Amparo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, n.4, p. 870-874, out./dez. 2005.