

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL**

LUCIENE LAURETT

**CULTIVO HIDROPÔNICO DE ALFACE E RÚCULA
COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE FERRO
VISANDO A BIOFORTIFICAÇÃO**

**SÃO MATEUS, ES
2015**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL**

**CULTIVO HIDROPÔNICO DE ALFACE E RÚCULA
COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE FERRO
VISANDO A BIOFORTIFICAÇÃO**

LUCIENE LAURETT

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, para a obtenção do título de mestre em Agricultura Tropical.

Orientador: Prof. Dr. Adriano Alves Fernandes

**SÃO MATEUS, ES
2015**

CULTIVO HIDROPÔNICO DE ALFACE E RÚCULA COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE FERRO VISANDO A BIOFORTIFICAÇÃO

LUCIENE LAURETT

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, para a obtenção do título de mestre em Agricultura Tropical.

Aprovada em: 30 de Julho de 2015.

Prof. Dr Antelmo Ralph Falqueto
Universidade Federal do Espírito Santo
Co-orientador

Prof. Dr Edilson Romais Schimdt
Universidade Federal do Espírito Santo
Co-orientador

Prof. Dr Adriano Alves Fernandes
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Prof. Dr Fabiano Ricardo Brunele Caliman
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Espírito Santo
Membro externo

Aos meus pais Paulo Carlos Laurett e Tereza Gehring Laurett. Acompanhando vocês no trabalho cotidiano na agricultura, aprendi a amar e respeitar a terra. Valorizando a cada dia a arte que é cultivar a terra; levando-me a escolher minha profissão.

Aos meus irmãos por todo o carinho e incentivo, a todos os amigos, em especial Alexandre Barcelos que acreditou em mim e me incentivou no meu ingresso no mestrado.

DEDICO

*“Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo para todo propósito debaixo do céu;
Há tempo de nascer e tempo de morrer;
Tempo de plantar e tempo de arrancar o que se plantou;
Tempo de matar e tempo de curar; tempo de derribar e tempo de edificar;
Tempo de chorar e tempo de rir;
Tempo de prantear e tempo de saltar de alegria;
Tempo de espalhar pedras e tempo de ajuntar pedras;
Tempo de abraçar e tempo de afastar-se de abraçar;
Tempo de buscar e tempo de perder;
Tempo de guardar e tempo de deitar fora;
Tempo de rasgar e tempo de coser;
Tempo de estar calado e tempo de falar;
Tempo de amar e tempo de aborrecer;
Tempo de guerra e tempo de paz. ”*

Livro de Eclesiástes, cap. 3. 1- 8.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela oportunidade de viver esse momento e permitir a realização de mais um sonho, por estar ao meu lado me protegendo, me guiando, me guardando, por ter me concedido saúde, disposição, perseverança, otimismo e por me conceder a sabedoria para concluir mais essa etapa.

À Universidade Federal do Espírito Santo, ao Programa de Pós-graduação em Agricultura Tropical.

Ao Prof. Dr. Adriano Alves Fernandes meu orientador, que mais que me orientou na vida acadêmica, me instruiu como pesquisadora, e me ajudou a evoluir como pessoa. Obrigada por sua dedicação, generosidade, amizade e orientação.

A minha família que me apoiou incondicionalmente, me dando força acreditando na conquista desse objetivo. Obrigada mãe querida, fonte de inspiração. Obrigada pai! Ny, obrigada por me ligar todos os dias no primeiro mês e me fazer companhia. Obrigada Lú e Tiago, pelo apoio e incentivo. Duia, Lita, Ane, Sasá, obrigada por todo o carinho. Na ausência do convívio cotidiano aprendi a ser mais grata pelo amor que recebi e recebo. A toda família Laurett e Ghering, meu muito obrigado!

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Agricultura Tropical pelo apoio e conhecimento passado através de suas disciplinas. Obrigada Antelmo Ralph Falqueto, Edney Leandro da Vitória, Edilson Romais Schmidt, Fábio Ribeiro Pires, Fábio Partelli.

Aos professores da Faculdade da Região Serrana (FARESE), em especial Prof. Carlos, Wagner, Josiane e Altino que me incentivaram na busca de meu aperfeiçoamento intelectual e no ingresso no mestrado.

Aos colegas do mestrado Mônica, Ivanildo, Fabricio, Joel, Adriano, Cássio, Lucas, Luciano, Paulo, Paula, Marina, Lynniker, Gleison, Eduardo, Esequiel, Amanda, Ana, André, Bruna, Daniel, Dany, Deanjelis, Helder, Ivani, Jean, Juliani, Marcelo, Jackson, Pablo. Especialmente aos integrantes do grupo de estudo de estatística, meu muito obrigado.

Aos PPGATOS Humberto, Monica, Alessandra, Gécica e Adriana, obrigada por todos os momentos que compartilhamos, as conversas, as rizadas, passeios, momentos de estudo, pelo apoio e abraço nos momentos difíceis.

Aos meus amigos, que me apoiaram desde a graduação, Jéssica Rocon, Igor Jean Schaeffelen e Júlio Venturini

Aos alunos de iniciação científica, Camila, Iago, Marcos Vinicius e Maria Luiza que me auxiliaram durante a execução dos experimentos.

Aos mestrandos Jadson e Lourdes e a doutoranda Verônica pelos esclarecimentos na parte de fisiologia vegetal.

Aos colegas, Franklin, Daniel, Hygor, Marcell, Quenia, Brunella, Sabrina, Larissa. Obrigada pelo carinho e amizade.

A todos da escola de jiu-jitsu da equipe GFTeam de São Mateus, muito obrigada.

À todos os funcionários da Fazenda Experimental, Fabricio, Gleydson, Renan, Alex, e aos demais funcionários que sempre colaboraram para realização de todos os experimentos.

Aos técnicos dos laboratórios, Francisco, Joel e Jeferson.

Ao Prof. Luiz Fernando Duboc da Silva, do programa de Pós Graduação em Biodiversidade Tropical pelo empréstimo de equipamento.

À CAPES (Coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior) pela concessão da bolsa de estudos.

Ao amigo Luiz Augusto Formigoni obrigado pela amizade, paciência, pelos momentos de descontração que fizeram com que a caminhada fosse mais leve.

Muito obrigada!

BIOGRAFIA

Luciene Laurett, filha de Paulo Carlos Laurett e Tereza Ghering Laurett, nasceu em 12 de agosto de 1988, no município de Santa Maria de Jetibá, ES.

Em 2013 graduou-se como Tecnóloga em Silvicultura pelo Instituto de Ensino Superior da Região Serrana, em Santa Maria de Jetibá /ES.

Em Julho de 2013 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical em nível de Mestrado, na Universidade Federal do Espírito Santo, submetendo-se à defesa de dissertação em 30 julho de 2015.

SUMÁRIO

RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	X
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	04
2.1. Hidroponia.....	04
2.2. Ferro.....	05
2.3. Alface.....	07
2.4. Rúcula.....	08
2.5. Biofortificação.....	09
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
5. CONCLUSÕES.....	39
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40

RESUMO

LAURETT, Luciene; M.Sc; Universidade Federal do Espírito Santo; Jul 2015; Cultivo hidropônico de alface e rúcula com diferentes concentrações de ferro visando a biofortificação. Orientador: Adriano Alves Fernandes. Co-orientador: Antelmo Ralph Falqueto, Edilson Romais Schmildt.

A alface e a rúcula são comumente consumidas na forma de salada, suprindo o organismo com vitaminas e sais minerais. O ferro é um desses minerais importantes para a saúde humana e sua deficiência provoca a anemia. A anemia por deficiência de ferro constitui-se em uma carência nutricional de grande magnitude, considerada um problema de saúde pública tanto em países em desenvolvimento quanto em países desenvolvidos. O objetivo da pesquisa foi verificar a biofortificação com ferro e o efeito sobre as características biométricas e fisiológicas das culturas da alface e rúcula em hidroponia. Foram instalados dois experimentos, um para cada cultura. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com cinco tratamentos e seis repetições. Os tratamentos foram representados por concentrações crescentes de Fe: 45 (testemunha), 90; 135; 180; 225 $\mu\text{mol.L}^{-1}$. Aos 27 e 30 dias após o transplante para rúcula e alface, respectivamente, foram avaliadas: massa de matéria fresca da parte aérea, número de folhas, área foliar, matéria fresca da raiz, volume da raiz, matéria seca da parte aérea, matéria seca da raiz, teor de nutrientes, índice de clorofila e fluorescência da clorofila *a*. A produção da matéria fresca da parte aérea da alface e da rúcula diminuiu consideravelmente com o aumento da concentração de ferro, sendo observadas reduções de 97,63 e 68,18%, respectivamente. O teor de Fe nos tecidos foi significativo apenas para o sistema radicular da rúcula, porém foi observado um maior aumento da concentração de ferro no sistema radicular de ambas as culturas em comparação à concentração da parte aérea. Para o sistema radicular da rúcula foi observado um aumento de 68,22 vezes no teor de Fe em comparação à concentração da parte aérea. O índice de clorofila *a* na alface apresentou diferença significativa na maior concentração de ferro. A análise de fluorescência da clorofila *a* realizada aos 14 e 27 DAT na alface e rúcula, respectivamente, não apresentou diferença significativa entre os tratamentos. O índice de clorofila *a*, clorofila *b* e o índice de clorofila total na rúcula não apresentou diferença significativa. Para a produção da alface Vitória de Santo Antão e da rúcula Rococó em sistema hidropônico recomenda-se o uso da

concentração de $45 \mu\text{mol.L}^{-1}$ de Fe.

Palavras-chave: Nutrição mineral, anemia ferropriva, hortaliça.

ABSTRACT

LAURETT, Luciene; M. Sc; Federal University of Espírito Santo; Jul 2015; Hydroponic lettuce and arugula with different iron concentrations aimed at biofortification. Advisor: Adriano Alves Fernandes. Co-Advisor: Antelmo Ralph Falqueto, Edilson Romais Schmidt.

Lettuce and arugula are commonly consumed in the form of salad, supplying the body with vitamins and minerals. Iron is one of these important minerals for human health and its deficiency causes anemia. Anemia due to iron deficiency is on a nutritional deficiency of great magnitude, considered a public health problem both in developing countries as in developed countries. The objective of the research was to determine biofortification with iron and the effect on the biometric and physiological characteristics of lettuce and arugula in hydroponic cultures. Two experiments, one for each culture were installed. The experimental design was a randomized block, with five treatments and six replications. The treatments consisted of increasing concentrations of Fe 45 (control), 90; 135; 180; 225 $\mu\text{mol.L}^{-1}$. At 27 and 30 days after transplanting to rocket and lettuce, respectively, the shoot fresh weight, number of leaves, leaf area, root fresh weight, root volume, shoot dry matter, root dry matter, nutrient concentration, chlorophyll content and fluorescence were evaluated. The production of the shoot fresh matter of lettuce and arugula decreased significantly with increasing iron concentration, decreases were observed in 97,63 and 68,18%, respectively. The Fe content in tissues was significant only for the arugula root system, but it was observed a greater increase of the iron concentration in the root system of both cultures compared to the shoot concentration. For the arugula root system was observed 68,22 times increase in Fe content compared to the shoot concentration. The lettuce chlorophyll *a* content was significant difference in the highest concentration of iron. The analysis of fluorescence of chlorophyll *a* held to 14 and 27 DAT in lettuce and arugula, respectively, showed no significant difference between treatments. The chlorophyll *a* index, chlorophyll *b* and total chlorophyll content in arugula, showed no significant difference. For lettuce production Vitoria de Santo Antao and Rococo arugula hydroponically recommends the use of the concentration of 45 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ of Fe.

Keywords: Mineral nutrition, iron deficiency anemia, greenery.

1. INTRODUÇÃO

Os consumidores estão cada vez mais atentos na busca por hábitos alimentares mais saudáveis. O consumo das hortaliças folhosas alface e rúcula atende bem a essas necessidades, visto que seu consumo contribui na boa manutenção do organismo humano por oferecer vitaminas e minerais. Os vegetais são indicados por médicos e nutricionistas como parte imprescindível para uma alimentação saudável, pois contém vitaminas, sais minerais e fibras alimentares (FERRO et al., 2012).

A alface (*Lactuca sativa* L.) é a hortaliça mais produzida na hidroponia. Em sua composição pode-se encontrar vitaminas A, B1, B2 e C, além de sais de cálcio e ferro (SOUSA et al., 2007). Segundo dados da Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo (CEAGESP), cada paulistano consome quase dois quilos de alface por ano, o que representa 40% dos seus gastos totais com hortaliça (CEAGESP, 2015).

A rúcula (*Eruca sativa*) possui folhas de sabor picante, sendo rica em vitamina C e A, potássio, enxofre, ferro e cálcio (BORGES et al., 2014). A rúcula é uma hortaliça de menor expressão no mercado. Entretanto vem conquistando seu espaço gradativamente, desde o final da década de 90. Sendo consumida como salada crua ou de outras formas, como em pizzas. O aumento na quantidade comercializada de rúcula e a sua cotação são indicadores de que o seu cultivo é uma atividade rentável (PURQUERIO, 2005).

No último ano observou-se um interesse crescente pelo consumo de rúcula no Estado do Espírito Santo. Em 2014, foram ofertadas cerca de 115,43 toneladas pelas unidades Centrais de Abastecimento do Espírito Santo (CEASA). Em relação a 2013, observou-se um aumento de oferta de 78,07% (CEASA, 2015).

A rúcula e a alface apresentam ciclo vegetativo parecidos, obtendo-se plantas comerciais trinta dias após o transplante. Produzidas ao longo do ano, sua oferta é constante para o mercado consumidor. Comparadas às outras hortaliças possuem preço relativamente baixo levando-se em conta as vantagens que o consumo propicia ao organismo humano.

Uma alimentação desequilibrada, pobre em vitaminas e minerais pode causar vários danos à saúde humana. Uma em cada três pessoas no mundo é afetada pela deficiência de vitamina A, ferro ou iodo. Manifestações clínicas dessas carências,

como morte materna e infantil, resposta imunológica diminuída, cegueira, retardo mental e anemia, afetam mais de meio bilhão da população mundial. Esses efeitos devastadores são somente parte do problema. Dados divulgados em 2007 já relatavam que dois bilhões de pessoas residentes em áreas de baixo nível socioeconômico, tanto na área urbana quanto na rural, eram deficientes marginais em micronutrientes, impossibilitados de alcançar seu potencial de desenvolvimento físico e mental (BRASIL, MS 2007).

Os micronutrientes, assim como são necessários ao organismo humano, desenvolvem papel importante no metabolismo dos vegetais. Em relação ao metabolismo do Fe na planta, este elemento tem como principal função a formação de complexos, ativação de enzimas atuando como grupo prostético e participação em sistemas redox; atua também na biossíntese da clorofila. Quando em deficiência as folhas tornam-se cloróticas e às vezes de cor branca; em casos mais avançados pode ocorrer amarelecimento total seguido de necrose nos bordos do limbo e consequente desfolha total das plantas (MARTINEZ & CLEMENTE 2011). Como consequência são observados danos à produção e, conseqüentemente, menor retorno financeiro ao produtor.

No organismo humano o ferro é importante nos processos de crescimento e desenvolvimento, principalmente no período da infância e durante a gestação; contribui para a saúde mantendo em equilíbrio as funções do organismo; ajuda no aumento da capacidade física e mental e, conseqüentemente, da aprendizagem e da capacidade produtiva (BRASIL, MS 2007). Quando em deficiência provoca a anemia, consequência mais grave da deficiência de ferro.

A anemia é um problema de saúde pública e se agrava ainda mais em regiões com predomínio de população carente. No intuito de minimizar a carência nutricional já se tem disponíveis alimentos biofortificados como biscoitos, farinhas de trigo, fubá.

No Brasil, a Embrapa coordena a Rede de Biofortificação (Rede BioFORT). A partir de repetidos cruzamentos entre plantas da mesma espécie, novas cultivares são originadas até se chegar a uma com elevada quantidade de micronutrientes podendo então integrar o grupo de cultivares que irão servir de forma eficiente no combate a deficiência alimentar, por ser enriquecida nutricionalmente (EMBRAPA, 2014).

Apesar de muitos trabalhos serem desenvolvidos para se identificar alimentos com potencial real de biofortificação, para a cultura da alface e da rúcula as

informações ainda são escassas. Assim, além de todas as vantagens que essas hortaliças trazem a saúde, os estudos de biofortificação tornam-se importantes em virtude do aumento do consumo de rúcula e do consumo habitual da alface.

Portanto, objetivou-se verificar a biofortificação com ferro e o efeito sobre as características biométricas e fisiológicas das culturas da alface e rúcula em hidroponia.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. HIDROPONIA

A hidroponia é um sistema de cultivo vegetal em solução nutritiva. O termo hidroponia vem do grego da junção das palavras *hidro* = água + *ponus* = trabalho. Os primeiros trabalhos com cultivo em água datam de 1600 com Jan Van Helmont. Os alemães Sachs (1860) e Knop (1861) foram os primeiros a cultivar plantas em meio líquido de semente a semente (MARTINEZ & CLEMENTE, 2011).

Em 1925, houve um aumento no interesse pelo cultivo hidropônico comercial. A partir de 1930 foi aos poucos diminuindo devido à venda de equipamentos inapropriados ao cultivo (MARTINEZ & CLEMENTE, 2011).

No cultivo hidropônico é dispensável o uso do solo. Os nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas são fornecidos via solução nutritiva, atendendo às exigências nutricionais de cada planta. Em cultivos comerciais emprega-se a técnica do fluxo laminar de nutrientes (NFT) para aplicação da solução. As plantas são inseridas no canal de cultivo por onde circula a solução nutritiva.

Vantagens da hidroponia: proporciona uma melhor programação da produção, maior rendimento por área (podendo inclusive aproveitar o espaço vertical), melhor qualidade dos frutos/folhas, mais facilidade em execução dos tratos culturais, ciclos mais curtos em decorrência de melhor controle ambiental, eliminação de perda de nutrientes por lixiviação, escorrimento, volatilização e, por conseguinte, o uso mais racional dos fertilizantes (MARTINEZ & CLEMENTE, 2011).

Para que se possa obter todas as vantagens e o máximo potencial produtivo é importante se ater a alguns fatores que devem ser controlados no sistema hidropônico.

Segundo Faquin e Furlani (1999), muitos cultivos em hidroponia não obtêm sucesso, pois carecem de conhecimento das técnicas de manejo nutricional, técnicas estas nem sempre dominadas pelo produtor.

O pH da solução nutritiva é um dos fatores que merecem atenção constante. O acompanhamento do pH da solução deve ser realizado frequentemente com o auxílio de um peagâmetro portátil,. O pH deve ser mantido na faixa de 5,5 a 6,5. Em valores acima de 7,0 geralmente ocorre a precipitação de micronutrientes catiônicos

na solução, induzindo deficiências nas plantas (FAQUIN & FURLANI 1999).

Segundo Silva & Melo (2015), o pH da solução nutritiva é tão importante quanto a condutividade elétrica, pois as plantas não conseguem sobreviver com valores abaixo de 3,5 por não conseguirem absorver alguns nutrientes abaixo dessa faixa.

O monitoramento da condutividade elétrica (CE) é importante para avaliar a quantidade de nutrientes que há na solução (quantidade de íons). Quanto mais íons na solução, maior será a condutividade elétrica, e vice-versa. As medidas ideais da solução ficam na faixa de 1,5 a 3,5 miliSiemens/cm, que corresponde a 1.000 à 1.500 ppm de concentração total de íons na solução. Para se medir a condutividade usa-se o condutímetro (SILVA & MELO 2015).

Outro fator a se observar na solução é a oxigenação. Sua importância está relacionada a respiração das raízes. Quando a solução nutritiva apresenta baixos níveis de oxigênio, ocorre a morte dos meristemas radiculares, diminuindo a absorção de água e nutrientes (FAQUIN & FURLANI, 1999). A oxigenação pode acontecer durante a circulação e retorno da solução ao reservatório, caso não seja suficiente pode ser ejetado ar comprimido no reservatório (SANTOS, 2010).

Em experimentação pode ser realizada a aeração injetando-se ar comprimido na solução nutritiva. Quanto mais bolhas de ar, melhor a oxigenação da solução. A quantidade de O_2 dissolvido depende particularmente da temperatura da solução e esta é dependente da temperatura do ar da casa de vegetação e da radiação incidente (MARTINEZ & CLEMENTE, 2011).

2.2. FERRO

O ferro é o quarto elemento mais abundante do planeta terra. Compõe 30% da crosta terrestre e constitui 80% do seu núcleo (CÔNSOLO, 2015).

Esse metal é um elemento essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas (BOYER et al., 1988). É absorvido preferencialmente como Fe^{2+} comparando-se com o Fe^{3+} . Seu transporte no xilema se dá como Fe-quelato. Tem como principal função formação de complexos, ativação de enzimas e atua como grupo prostético participando em sistemas redox. Atua também na biossíntese da clorofila (MARTINEZ & CLEMENTE, 2011).

Em relação ao metabolismo do Fe na planta, deve se levar em conta que este elemento apresenta baixa mobilidade nos tecidos vegetais. Essa mobilidade é afetada negativamente por vários fatores, como elevado conteúdo de P, deficiência de K, quantidade elevada de Mn e baixa intensidade luminosa (DECHEN & NACHTIGALL, 2006; MARTINEZ & CLEMENTE, 2011).

Teores foliares entre 50 e 100 mg.kg⁻¹ são considerados adequados ao desenvolvimento das plantas (DECHEN & NACHTIGALL, 2006; MARTINEZ & CLEMENTE, 2011). A concentração pode variar de 10 a 1.500 mg.Kg⁻¹ de matéria seca, dependendo da parte da planta e espécie (DECHEN & NACHTIGALL, 2006).

O ferro é constituinte da clorofila e, em casos de deficiência as folhas tornam-se cloróticas e às vezes de cor branca; em casos mais avançados pode ocorrer amarelecimento total seguido de necrose nos bordos do limbo e consequente desfolha total das plantas (MARTINEZ & CLEMENTE, 2011). Os sintomas de deficiência apresentam-se primeiramente em folhas jovens por ser pouco móvel na planta.

Os sintomas de toxicidade de ferro diferem largamente com a idade da planta, estado de nutrição e a cultivar (FOY et al.,1978). Porém, raros são os caso de toxidade em plantas ocasionados pelo ferro.

O ferro é elemento importante não somente para plantas, mas também para os seres humanos. É responsável pelo armazenamento e transporte de oxigênio, reações de liberação de energia de cadeia de transporte de elétrons, cofator de algumas reações enzimáticas e outras reações metabólicas essenciais (COOK et al., 1992).

A deficiência de ferro é considerada a carência nutricional mais prevalente em todo o mundo, afetando principalmente lactentes, pré-escolares, adolescentes e gestantes (VANNUCHI et al., 1992) ocasionando a anemia.

A anemia por deficiência de ferro é a anemia carencial, constituindo-se em uma carência nutricional de grande magnitude e considerada um problema de saúde pública tanto em países em desenvolvimento quanto em países desenvolvidos (SILVA, 2007).

2.3. ALFACE

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma planta dicotiledônea anual, pertence à família Asteraceae, da subfamília Cichorioideae e do gênero *Lactuca* (FILGUEIRA, 2008).

Apresenta caule pequeno, não ramificado, ao qual se prendem as folhas, que apresenta ampla variabilidade quanto a sua forma, textura, coloração das folhas, caracterizando-se em diferentes tipos comerciais (CARVALHO FILHO et al., 2009).

O sistema radicular é muito ramificado e superficial, explorando principalmente os primeiros 25 cm do solo quando a cultura é transplantada em campo. Na fase reprodutiva, emite uma haste com flores amarelas agrupadas em cacho, e produz em maior quantidade uma substância leitosa e amarga denominada lactoaria (látex) (FILGUEIRA, 2008).

As cultivares de alface disponíveis no mercado brasileiro de sementes podem ser agrupadas em cinco tipos morfológicos principais, com base na formação de cabeça e tipo de folhas: Repolhuda Lisa: apresenta folhas lisas, delicadas e macias, com nervuras pouco salientes, com aspecto oleoso. Repolhuda Crespa ou Americana: folhas crespas, consistentes e crocantes, cabeça grande e bem compacta. Solta Lisa: folhas lisas e soltas, relativamente delicadas, sem formação de cabeça compacta. Solta Crespa: folhas grandes e crespas, textura macia, mas consistente, sem formação de cabeça; pode ter coloração verde ou roxa (EMBRAPA, 2009).

A tolerância ao calor é uma das principais características que deve ser analisada para a escolha da cultivar para o plantio. Segundo Carvalho Filho et al., (2009), temperaturas acima de 20°C normalmente levam ao pendoamento precoce das plantas, tornando a alface imprópria para consumo, pois há uma maior produção de látex que causa um sabor amargo às folhas.

De acordo com a classificação da EMBRAPA (2009), as cultivares de alface do grupo Repolhuda Lisa ('Elisa', 'Glória' e 'Piracicaba 65'), grupo Crespa Repolhuda ou Americana ('Crespa Repolhuda', 'Gloriosa'), grupo Crespa Solta ('Vera'), grupo Solta Lisa ('Vitória de Santo Antão'), são cultivares consideradas como tropicalizadas, com resistência ao pendoamento precoce, sendo indicadas para cultivo em regiões quentes localizadas entre as latitudes 0⁰ e 23⁰.

A cultura da alface se desenvolve bem em condições de clima ameno, tendo-

se ótima produção nas épocas mais frias do ano, quando o consumo de salada é menor (OLIVEIRA et al., 2004).

A alface é uma hortaliça de grande importância dentro do mercado nacional. Cultivada ao longo do ano, geralmente é produzida próximo aos mercados consumidores devido a sua alta perecibilidade. A produção anual brasileira de alface em 2013 foi de 525.602 toneladas, correspondendo a 11% da produção de hortaliças no país (HORTIBRASIL, 2013). Segundo dados da CEAGESP (2015), cada paulistano consome quase dois quilos de alface por ano, o que representa 40% dos seus gastos totais com hortaliça (CEAGESP, 2015).

Cultivada em todo o território nacional, desde pequenos cultivos caseiros até grandes áreas, a cultura possui também alto índice tecnológico de produção, sendo cultivada em larga escala no sistema hidropônico. Neste sistema é possível se fazer uma programação do cultivo e ter a produção ao longo do ano.

Em ambiente protegido é possível proporcionar melhores condições climáticas para o adequado desenvolvimento da alface, tendo eficiência na produção também no período do verão. No modelo tradicional de cultivo a céu aberto, a produção é mais arriscada, pois a cultura fica exposta às altas temperaturas e chuvas, provocando queda na produção e redução na qualidade do produto e, conseqüentemente, menor retorno financeiro ao agricultor.

Segundo Medeiros et al. (2007), a ampla adaptação às condições climáticas, a possibilidade de cultivo ao longo do ano, o baixo custo de produção, a baixa suscetibilidade a pragas e doenças e a comercialização segura fazem com que a alface seja a principal hortaliça escolhida pelos pequenos produtores. Esses fatores lhe conferem importância econômica e social, sendo expressivo fator de agregação de venda ao agricultor.

2.4. RÚCULA

A rúcula é uma hortaliça folhosa pertencente à família Brassicaceae. Seu nome provém do italiano "ruccola", tendo como centro de origem a região do Mediterrâneo e Ásia Ocidental. O ciclo e o manejo se assemelham ao cultivo da alface e do coentro (SOUZA, 2014).

Dentre as espécies existentes de rúcula, apenas três são de consumo

humano: *Eruca Sativa* Miller, *Diplotaxis tenuifolia* e *Diplotaxis muralis*, sendo a *Eruca Sativa* a mais consumida no Brasil (FILGUEIRA, 2008).

Planta herbácea de porte baixo apresenta acelerado crescimento vegetativo e ciclo curto. As folhas são relativamente densas e recortadas, de coloração verde e com nervuras verde-claras (MORALES & JANICK, 2002).

É uma das principais hortaliças folhosas produzidas no Brasil no sistema hidropônico, com alto valor nutricional, boa produtividade por área e boa aceitação pelo mercado consumidor devido às suas características organolépticas intrínsecas (AMORIM et., 2007).

O aumento na popularidade da rúcula é devido ao sabor picante de suas folhas, servida como salada e principalmente no acompanhamento de carnes em churrascarias, pizzas, petiscos e grande variedade de pratos (MATSUZAKI, 2013).

No estado do Espírito Santo houve um aumento de 78,07% na comercialização da rúcula no ano de 2014 em relação a 2013. O preço médio na CEASA em 2014 foi de R\$ 2,74 o kg (CEASA ES, 2015).

Além do seu uso na culinária, a rúcula vem se destacando no cenário mundial por possuir propriedades fitoterápicas e nutricionais. Sua composição química é rica em vitaminas, sais minerais e fibras, além da presença de cálcio, compostos sulfurados, enxofre, ferro, fibras, fósforo e potássio (MAIA, 2006). Entre todas as hortaliças, é avaliada como a mais rica em ferro (CARVALHO, 1988).

Segundo Reghin et al., (2005) dentre as propriedades fitoterapêuticas têm-se: digestiva, diurética, estimulante, laxativa e anti-inflamatória, além de ser fonte de vitamina C e ferro. Auxilia no tratamento de doenças pulmonares, falta de apetite, gases intestinais, anemias, auxilia no processo de desintoxicação do organismo, ajuda também o tratamento de triglicerídeos, devido a presença de ômega 3, ácido graxo que tem a capacidade de desobstruir as artérias (FILGUEIRA, 2000), e prevenção a alguns cânceres (BJÖRKMAN et al., 2011).

2.5. BIOFORTIFICAÇÃO

A técnica da biofortificação consiste no aumento da concentração de um

determinado elemento mineral em culturas agrícolas, a qual pode ser realizada através da introdução do elemento mineral na adubação ou por melhoramento genético.

As plantas biofortificadas além de contribuírem para uma alimentação mais rica em micronutrientes contribuem também para a nutrição da própria planta. Os altos níveis de ferro, zinco e pró-vitamina A em sementes geram uma expectativa de produtividade maior (EMBRAPA, 2014).

Estudos com alface biofortificada estão sendo realizado em uma parceria da Embrapa Recursos Genética e Biotecnologia com a Embrapa Hortaliças. O objetivo é aumentar o nível de folato, ou vitamina B9 para a prevenção e tratamento da depressão (EMBRAPA, 2013).

A biofortificação via nutrição mineral foi estuda por Boldrin (2011), na cultura do arroz com aplicações de selênio via foliar e solo. O mesmo autor observou que a aplicação de selênio, tanto via foliar quanto via solo, promoveu aumentos nos seus teores nos grãos do arroz, sendo pela via solo mais efetiva.

Estudo com diferentes cultivares de alface foi realizado por Ramos et al. (2011) com o objetivo de avaliar o efeito da aplicação de selenato e selenito na biofortificação com Se, bem como verificar a influência dessas formas de Se nos teores de macro e micronutrientes, em cinco cultivares de alface.

A escolha de culturas agrícolas que são comumente consumidas pela população, possibilita maior sucesso nos programas de biofortificação. Em virtude do aumento considerável do consumo de rúcula e do consumo habitual da alface e todas as vantagens que essas hortaliças trazem a saúde, estas se apresentam com enorme potencial para estudos com a biofortificação com o Fe visando diminuir a deficiência desse elemento na população mundial.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram realizados no período do outono, entre 09/04/2015 a 29/05/2015, em estufa agrícola localizada na área experimental do Centro Universitário Norte do Espírito Santo da Universidade Federal do Espírito Santo – CEUNES – UFES, em São Mateus, Espírito Santo. Apresentando latitude de 18°40'32''S, longitude de 80 39°51'39''W e altitude de 37,7m acima do mar. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é seco sub-úmido, com temperaturas variando de (25° a 30° no verão) e (19° a 21° no inverno) e precipitação média anual de 1400 e 1500 mm.

Os experimentos foram instalados simultaneamente no dia 29 de abril de 2015, sendo o tempo de condução diferente entre os experimentos. Experimento 1 - Alface, conduzido até os 30 dias após o transplântio (DAT). Experimento 2 - Rúcula, conduzido até os 27 DAT.

As mudas de alface (*Lactuca sativa*) cultivar Vitória de Santo Antão (manteiga), e rúcula (*Eruca sativa*) cultivar rococó, foram produzidas sob ambiente protegido, em bandeja de poliestireno expandido de 128 células, preenchidas com substrato agrícola comercial Bioplant[®], foram semeadas três sementes por célula e seis dias após a emergência foi realizado o desbaste deixando-se apenas uma planta por célula.

Até a emergência completa foram irrigadas uma vez ao dia com água destilada; após foram irrigadas com solução nutritiva a 1 força iônica (FERNANDES et al., 2002) (Tabela 1). A irrigação foi realizada adicionando-se um volume de solução suficiente para saturar o substrato. Transcorridos 20 dias após a semeadura as plantas foram selecionadas, as raízes foram lavadas em água corrente e transplantadas para vasos plásticos com capacidade para 10 litros de solução nutritiva (FERNANDES et al., 2002) (Tabela 1). Os vasos utilizados foram pintados com tinta alumínio para eliminar a entrada de luz e evitar o aquecimento da solução. Os recipientes foram arranjados de modo que se obtivesse espaçamento de 0,22 m entre plantas.

Tabela 1- Fonte de nutrientes para compor a solução nutritiva de crescimento vegetativo destinada ao cultivo hidropônico da alface, adaptado de Fernandes et al., 2002.

Solução de crescimento vegetativo	
Fontes	g.1000 L ⁻¹
(NH ₄) ₂ HPO ₄ (*)	133,00
(NH ₄) ₂ SO ₄ (*)	144,00
MgSO ₄ (*)	625,00
Ca(NO ₃) ₂ (**)	941,00
KNO ₃ (*)	100,00
KCl (*)	475,00
MnSO ₄ (**)	7,06
H ₃ BO ₃ (**)	2,92
ZnSO ₄ (**)	0,43
Na ₂ MoO ₄ (**)	0,06
CuCl ₂ (**)	0,12

(*) Produto comercial

(**) Produto PA

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com cinco tratamentos e seis repetições. Os tratamentos foram representados por concentrações crescentes de Fe: 45 (testemunha), 90; 135; 180; 225 µmol.L⁻¹.

Para a cultura da alface, cada parcela foi constituída por um vaso contendo uma planta. Para a rúcula, cada parcela foi constituída por um vaso contendo três plantas.

Para sustentar as plantas foram utilizadas tampas confeccionadas de placas de isopor. Cada tampa possuía orifícios para o encaixe das espumas as quais serviram de suporte e proteção para as plantas. Um dos orifícios foi utilizado para passar a mangueira de oxigenação. A oxigenação da solução nutritiva foi feita por compressor de ar regulado com timer, ficando 15 minutos ligado por hora.

O pH da solução foi monitorado e ajustado à faixa de 5,5 a 6,5 utilizando-se HCl ou NaOH. Para reposição dos nutrientes, com base na redução da condutividade elétrica, admitiu-se até 20% de depleção. Durante o experimento, a evapotranspiração de cada vaso foi monitorada e a reposição de água foi realizada admitindo-se uma redução máxima em torno de 20% do volume inicial do vaso.

Com a obtenção de plantas comerciais de alface aos 30 dias após o

transplante (DAT), foram realizadas avaliações agronômicas e fisiológicas. As características agronômicas avaliadas foram: diâmetro da cabeça (DCAB), número de folhas (NF), comprimento do caule (CCA), volume de raiz (VR), massa da matéria fresca da parte aérea (MFP), massa da matéria fresca das raízes (MFR), massa da matéria seca da parte aérea (MSPA), massa da matéria seca das raízes (MSR).

Aos 27 DAT foram realizadas avaliações agronômicas e fisiológicas da rúcula. As características agronômicas avaliadas foram: altura da planta (A), número de folhas (NF), massa da matéria fresca da parte aérea (MFPA), massa da matéria fresca das raízes (MFR), volume de raiz (VR), massa da matéria seca da parte aérea (MSPA), massa da matéria seca das raízes (MSR).

A altura das plantas foi determinada com auxílio de uma régua, a partir do nível da tampa até a extremidade das folhas mais altas, expressa em centímetros.

Para a determinação da massa das variáveis avaliadas, foi utilizada uma balança analítica com três casas decimais. O volume da raiz foi calculado através do método da proveta, pela diferença entre o volume inicial e o final, após colocação das raízes.

As plantas foram separadas em parte aérea e raízes e secas em estufa de circulação forçada de ar a 70°C até massa constante. Em seguida, foi pesado o material e triturado em moinho de facas para que se procedessem as análises químicas minerais.

Os elementos foram analisados após mineralização pela digestão nítricoperclórica. O P foi dosado colorimetricamente pelo método de redução do fosfomolibdato pela vitamina C, de acordo com Braga & Defelipo (1974); o K, por fotometria de emissão de chama; o Ca, Mg, Fe, Mn, Zn e Cu, por espectrofotometria de absorção atômica de acordo com Blanchar et al. (1965).

Foram realizadas as seguintes análises fisiológicas: área foliar; fluorescência da clorofila *a* e clorofila. A área foliar foi determinada com um medidor de área LICOR LI 3100.

A fluorescência da clorofila *a* foi medida utilizando-se um fluorômetro portátil (Handy-PEA, Hanstech, King's Lynn, Norkfolk, UK), os parâmetros analisados foram: F0, Fm, Fv/Fm. Foram realizadas duas medições, a primeira medição foi realizada aos 14 dias após transplântio (DAT), a segunda foi realizada aos 27 DAT. As medições foram realizadas no período da manhã (entre 8 e 9 h) em folhas jovens, saudáveis e totalmente expandidas, previamente adaptadas ao escuro por um período

suficiente para a oxidação completa do sistema fotossintético de transporte de elétrons.

O índice de clorofila foi medido aos 14 DAT utilizando-se utilizando-se um clorofilômetro marca ClorofiLOG® modelo CFL 1030, operado conforme as instruções do fabricante (FALKER, 2008).

Os dados foram submetidos à análise de variância e os efeitos dos tratamentos das avaliações agronômicas e fisiológicas foram comparados pelo teste Dunnet a 5% significância. A avaliação nutricional foi realizada pela análise de regressão. Utilizou-se para as avaliações o programa Genes (CRUZ, 2013).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Experimento 1- Alface

Avaliando as características agronômicas da alface observou-se um decréscimo de todas as características com o aumento da concentração de Fe. (Tabelas 2).

A matéria fresca da parte aérea da alface foi influenciada negativamente pelo o aumento da concentração de Fe. Na concentração de $225 \mu\text{mol.L}^{-1}$ observou-se valores de 6,91g, apresentando redução de 97,63% (Tabela 2). A matéria fresca para o tratamento controle apresentou 291,74 g. Patekoski et al. (2010) trabalhando com alface em hidroponia obteve o valor de 182,8 g por planta. O ferro é um elemento essencial para que a planta complete o seu ciclo de vida, mas seu excesso é prejudicial ao crescimento e desenvolvimento vegetal, em excesso pode provocar toxidez diminuindo a produção. Na figura 1 pode se observar a diferença no crescimento da parte aérea da alface em função das diferentes concentrações de Fe.

Para o número de folhas e área foliar a alface apresentou por planta, na concentração controle, 43,5 folhas e $6177,53 \text{ cm}^2$ respectivamente. Houve uma redução na maior concentração de Fe de 66,66% e 96,42%, respectivamente, para essas variáveis (Tabela 2).

As médias de número de folhas obtidas nas concentrações de 45, 90 e $180 \mu\text{mol.L}^{-1}$ de ferro estão acima das médias observadas por Queiroz et al., (2014) em seu trabalho com diferentes cultivares de alface e épocas de plantio, para o período do verão. Estes autores obtiveram médias de 17,15 folhas por planta. O elevado número de folhas pode ser justificado nesse trabalho pelo sistema de plantio, visto que em sistemas hidropônicos, os nutrientes ficam disponíveis para a planta em quantidade suficiente durante todo o ciclo, podendo a planta expressar seu máximo vigor vegetativo.

O resultado obtido de redução do NF com o aumento da concentração Fe corrobora com os resultados de Jucoski (2011), que trabalhando com a toxicidade de Fe em pitanga, observou também menor número de folhas com o aumento da

concentração de Fe.

Os tratamentos que atingiram menor área foliar foram os que obtiveram menor acúmulo de fitomassa, conforme se observa na Tabela 2. A área foliar, principalmente em culturas folhosas, é fundamental para a produção de fotoassimilados e posteriormente distribuição e acúmulo de fitomassa (CARON et al., 2004). Adamski, (2011), observou declínio da área foliar com o aumento da concentração de Fe em plantas de batata doce, corroborando com os resultados obtidos.

Tabela 2 – Média das características agronômicas da cultura da alface cultivada em hidroponia com diferentes concentrações de ferro

Características agronômicas	Tratamentos ($\mu\text{mol.L}^{-1}$)				
	45 (testemunha)	90	135	180	225
MFPA (g)	291,74	136,52*	111,28*	8,02*	6,91*
NF	43,50	32,50*	28,17*	16,80*	14,50*
AF (cm^2)	6177,53	3135,1*	2482,64	416,68	221,27*
DCAB (cm)	39,92	30,92*	25,08*	9,70*	9,50*
ACA (cm)	6,72	3,75*	2,78*	1,40*	1,23*
MFR (g)	35,99	17,14*	16,55*	1,62*	1,46*
VR (cm^3)	74,33	35,33*	28,00*	3,60*	2,50*
MSPA (g)	13,93	7,62*	5,73*	1,66*	0,77*
MSR (g)	1,40	0,86 ^{ns}	0,69*	0,22*	0,22*

Matéria fresca da parte aérea (MFPA-g), número de folhas (NF), área Foliar (AF- cm^2), diâmetro da cabeça (DCAB - cm), altura do caule (ACA- cm), matéria fresca da raiz (MFR- g), volume da raiz (VR - cm^3), matéria seca da parte aérea (MSPA - g), matéria seca da raiz (MSR - g). ^{ns} Não significativo; * valor significativo em relação à testemunha a 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.



Figura 1. Diferença no crescimento da parte aérea da alface cultivada em hidroponia com diferentes concentrações de ferro. Da esquerda para a direita os tratamentos com as concentrações crescentes de Fe: 45 (controle), 90, 135, 180, 225 $\mu\text{mol.L}^{-1}$. São Mateus, CEUNES/UFES, 2015.

As plantas de alface submetidas à concentração de 225 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de ferro apresentaram sintomas de toxidez. Nas folhas mais velhas foram verificadas pontuações bronzeadas, que se iniciavam na ponta da folha e com o passar dos dias foi se alastrando até a base levando a abscisão foliar (Figura 2). Resultados semelhantes de intoxicação foram observados em folhas de *Ipomoea pés-caprae* por Carli (2008), em folhas de pitanga por Jucoski (2011), e em ervilha por Suh *et al.*, (2002). Segundo Fairhurst *et al.*, (2007), a presença desses sintomas é ocasionada pela toxidez direta do Fe. O bronzeamento geralmente aparece nas folhas mais velhas que têm maiores taxas de transpiração. Em caso de toxidez severa a folha inteira apresenta uma coloração marrom roxo. Os sintomas de toxidez são ocasionados provavelmente pela formação de agentes oxidantes nos espaços intercelulares que reagem com os componentes da parede celular e das membranas plasmáticas (PELL *et al.*, 1994).

Para a variável diâmetro de cabeça da alface observou-se valores de 39,92 a 9,50 cm (Tabela 2). Os valores observados nas concentrações 45, 90 e 135 μmol de Fe estão dentro do que é preconizado para a comercialização, sendo em média o tamanho de 20 cm o ideal. As concentrações de 180 e 225 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ de Fe produziram um DCAB menor que o padrão de comercialização.

O tamanho da cabeça é extremamente importante para o processamento industrial, visto que quanto menor o tamanho da cabeça, menor o rendimento dos operadores. Para o produtor, quanto maior o tamanho da cabeça melhor, pois a remuneração neste caso se dá em função da massa fresca da cabeça (RESENDE *et al.*, 2008).



Figura 2. Sintomas de toxidez nas folhas de alface cultivada em hidroponia com diferentes concentrações de ferro. Da esquerda para a direita, tratamento controle ($45 \mu\text{mol.L}^{-1}$) e, a maior concentração de Fe ($225 \mu\text{mol.L}^{-1}$).

Na tabela 2, os valores observados para a altura do caule da alface foram 6,72 cm para a testemunha e 1,23 cm para a maior concentração de Fe. A altura do caule da alface é um importante indicador da maior ou menor resistência do genótipo ao florescimento prematuro apresentando elevada correlação genotípica com a matéria fresca de folhas. É avaliado como um dos fatores que mais afeta o comportamento diferencial de cultivares de alface nas épocas mais quentes (LÉDO et al., 2009).

Durante o experimento conduzido no período do outono, as temperaturas mínimas ficaram entre 17,0 e 21,9°C e máximas entre 24,0 e 31,6°C. Não foi observado alongamento em nenhuma planta que pudesse evidenciar pendoamento e emissão de hastes florais.

Em temperaturas elevadas, o caule pode se tornar o dreno principal dos nutrientes para um possível pendoamento das plantas. Quando isso ocorre, uma menor fração da fitomassa é destinada para as folhas, o que pode explicar até a maior precocidade no ponto de colheita e, por conseguinte a menor área foliar (PRELA-PANTANO et al., 2015).

A matéria fresca da raiz e seu volume foram influenciados negativamente pelo aumento da concentração de Fe (Tabelas 2). Foi observada redução de MFR de 95,94% e VR 96,63% na maior concentração de Fe comparada à testemunha.

Apoiando as informações obtidas nesse trabalho, Campos (2014), relata que na produção do café conilon, as altas concentrações de Fe promoveram diminuição no crescimento e na emissão de raízes laterais. Jucoski (2011), trabalhando com a

toxicidade de Fe em pitanga observou que à medida que foi aumentada a concentração de Fe o alongamento radicular e o comprimento da raiz primária diminuíram.

As diferenças ocasionadas pelos tratamentos no sistema radicular podem ser observadas na figura 3. Além da redução no desenvolvimento das raízes, foi observado nas plantas submetidas a maior concentração de Fe ($225 \mu\text{mol.L}^{-1}$), coloração escurecida comparada as raízes da planta testemunha. Resultados semelhantes foram observados por Howeler (1973) em plantas de arroz. O escurecimento das raízes segundo Silva (2009) é um indicativo da deposição de óxido de Fe nas raízes.

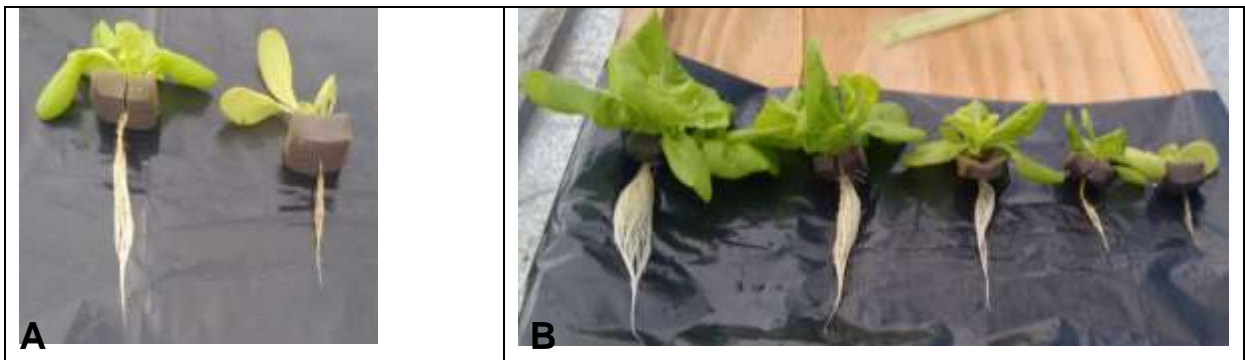


Figura 3. Sistema radicular da alface cultivada em hidroponia com diferentes concentrações de ferro. A - 7 DAT, comparação entre o tratamento na concentração de 45 e $225 \mu\text{mol.L}^{-1}$ de Fe. B - 12 DAT, da esquerda para a direita os tratamentos com as concentrações crescentes de Fe 45 (controle), 90, 135, 180, $225 \mu\text{mol.L}^{-1}$. São Mateus, CEUNES/UFES, 2015.

A produção de matéria seca da parte aérea e matéria seca da raiz da alface apresentou redução de 94,47% e 84,29% respectivamente, na maior concentração de Fe, comparada à testemunha (Tabela 2).

Os efeitos negativos do aumento da concentração de Fe sobre a matéria seca da parte aérea também foi observada em outras cultivares. Camargo & Freitas (1985) observaram em plantas de trigo; Audebert & Sahrawat (2000) e Schimdt (2009), observaram no efeito da toxidez do ferro sobre o crescimento e desenvolvimento do arroz que ocasionou reduções na massa seca; Jucoski (2011) em plantas de pitanga; Adamski (2011) em plantas de batata-doce.

Os decréscimos observados com o aumento da concentração de Fe na produção da matéria seca das raízes corroboram com os resultados obtidos por Campos (2014), estudando o efeito da toxicidade do Fe em plantas de café conilon;

Adamski (2011) verificou efeito similar em plantas de batata-doce submetidas às maiores concentrações de ferro.

Considerando a análise nutricional das folhas da alface foi observada diferença significativa a 5% de probabilidade para as concentrações de fósforo, cobre, manganês e zinco (Figura 4).

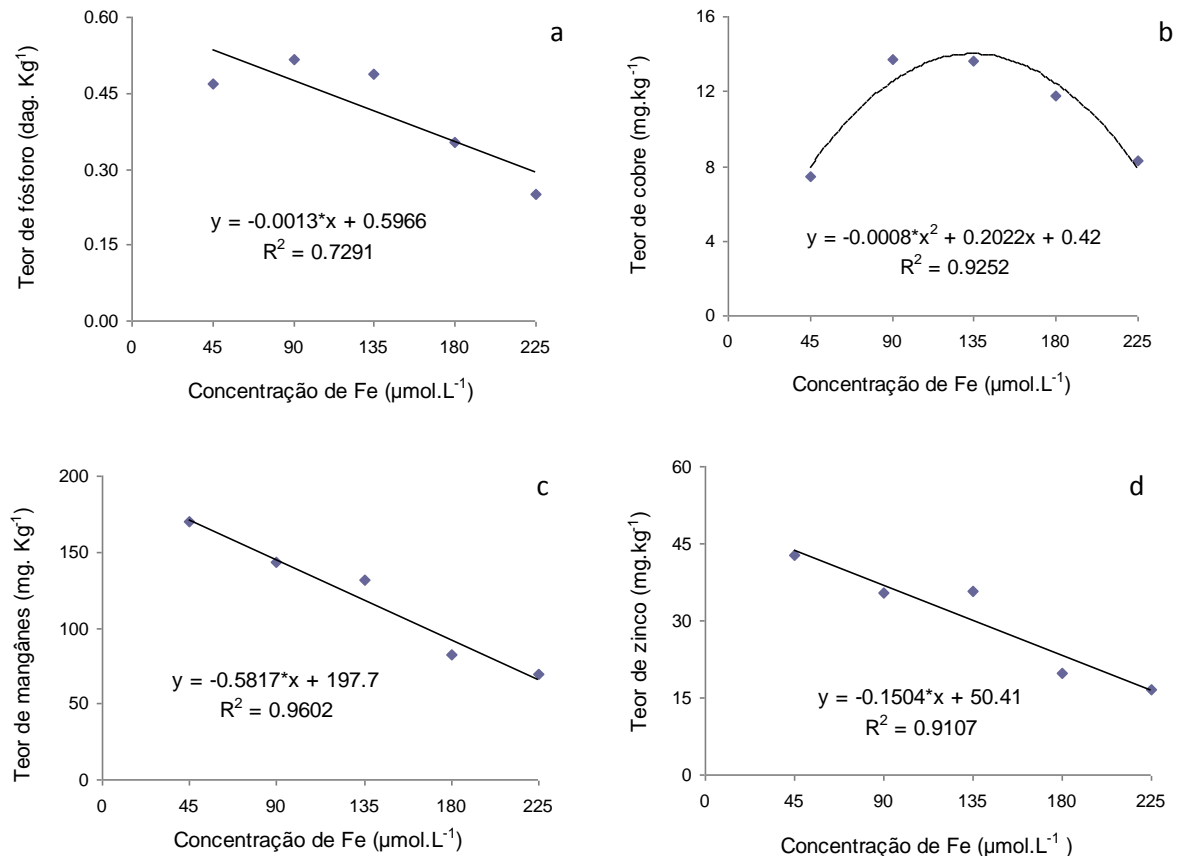


Figura 4. Teor de fósforo (a), cobre (b), manganês (c) e zinco (d) em folhas de alface cultivada em hidroponia com crescentes concentrações de ferro. *significativo a 5% de probabilidade

O teor de fósforo, presente na parte área da alface, diminuiu com o aumento da concentração de Fe na solução nutritiva (Figura 4a). Este resultado corrobora com os dados obtidos por Campos (2014), trabalhando com café conilon; Adamski (2011), estudando as respostas morfofisiológicas da batata doce em função da concentração de Fe; Silveira et al., (2007) trabalhando com a influencia do ferro sobre a cultura do arroz. Os quais observaram o mesmo efeito, com o aumento da concentração de ferro o teor acumulado de fosforo é reduzido.

Segundo Howeler (1973), concentrações elevadas de ferro podem gerar uma

limitação na translocação do fósforo do apoplasto para o simplasto. Além disso, o fósforo e alguns outros nutrientes são co-regulados pelo Ferro (ZHENG et al. 2009).

O teor de cobre acumulado na parte aérea da alface apresentou um ponto de máximo na concentração de $126,38 \mu\text{mol.L}^{-1}$ de ferro (Figura 4b).

Diferentes resultados dos observados nesse trabalho foram verificados por outros autores. Adamski (2011), não observou diferença significativa no teor de cobre acumulado em folhas velhas e novas de batata-doce submetida às crescentes concentrações de Fe. Campos (2014) também não encontrou diferença significativa no acúmulo desse nutriente em plantas de café conilon submetida às crescentes concentrações de Fe.

Em função dos tratamentos, pode-se observar que o teor de manganês decresceu linearmente à medida que a concentração de ferro foi aumentada na solução nutritiva (Figura 4c).

A redução do manganês no tecido foliar das plantas com as maiores concentrações de ferro pode indicar a provável influência da barreira de óxido de ferro na absorção desse nutriente. Segundo Baser & Somani (1982), o Ferro e o manganês competem pelo mesmo sítio de ligação fisiológico, o que pode ter inibido a absorção e a translocação do manganês para a parte aérea. Resultados semelhantes foram observados na cultura da batata (*Solanum tuberosum*) por Chatterjee et al., (2006); e por Adamski (2011) em folhas de batata-doce (*Ipomoea batatas*). A redução do manganês observada por Adamski (2011) nas folhas velhas de batata-doce submetida a maior concentração de Fe teve o teor acumulado do nutriente reduzido em 79,11% comparado à testemunha.

O teor de zinco acumulado no tecido foliar da alface decresceu linearmente com o aumento da concentração de Fe na solução (Figura 4d). Resultado semelhante também foi observado por Adamski (2011) em folhas de batata-doce. O autor observou redução de 21,10% na maior concentração de Fe ($9,0 \text{ mmol.L}^{-1}$) comparada a concentração controle ($0,45 \text{ mmol.L}^{-1}$). Jucoski (2011), Howeler (1973) também observaram menor acúmulo de zinco com o aumento da concentração de ferro.

Segundo Snowden & Wheeler, (1995), o excesso de Fe pode influenciar na absorção de outros nutrientes e causar desordem nutricional. De maneira geral nesse trabalho foi observado que com o aumento da concentração de ferro na solução nutritiva o teor acumulado de fósforo, cobre, manganês e zinco se alteram.

O acúmulo do teor dos nutrientes: potássio, cálcio, magnésio e ferro, no tecido foliar da alface não apresentou diferença significativa em função dos tratamentos. Corroborando com os dados observados nesse trabalho, Campos (2014) trabalhando com café conilon submetido à concentração de ferro também não verificou diferença significativa no acúmulo dos nutrientes potássio, cálcio e magnésio.

Resultado diferente foi obtido por Jucoski (2011), que observou aumento do teor de ferro nas folhas, raízes e caule em plantas de pitanga com o aumento da concentração de ferro.

Para a análise nutricional do sistema radicular da alface não foi observada diferença significativa entre os tratamentos. No entanto, observou-se um aumento na concentração de Fe no sistema radicular em relação a parte aérea.

O índice de clorofila *a* na alface não diferiu estatisticamente nas concentrações de 90, 135, 180 $\mu\text{mol L}^{-1}$ Fe comparada ao tratamento controle. Na maior concentração de Fe (225 $\mu\text{mol.L}^{-1}$), o índice de clorofila *a* foi influenciado negativamente pelo Fe na solução (Figura 5). O índice de clorofila *a* apresentou-se mais sensível com o aumento da concentração de ferro na solução apresentando redução de 30,06% na maior concentração de ferro comparada à testemunha.

O índice de clorofila *b* diferiu estatisticamente nas concentrações de 90 e 135 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ Fe comparado à testemunha. Nas concentrações de 180 e 225 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ Fe, apesar de não significativo, observa-se uma redução de 22,77 e 28,68% no índice de clorofila *b*, respectivamente (Figura 5).

Estes dados corroboram com os encontrados por Carli (2008) trabalhando com *Ipomoea pes-caprae*, que observou redução de 67,3% no índice de clorofila *a* e 64% no índice de clorofila *b* na maior concentração de ferro. A redução da clorofila também foi verificada em plantas de pitanga (*Eugenia uniflora*) expostas a maiores concentrações de Fe (NEVES, 2004).

A diminuição dos pigmentos cloroplastídicos tem sido associada a danos oxidativos causados pelo acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ROS) induzido por níveis tóxicos de Fe nos tecidos foliares (VANSUYT et al., 1997).

A redução de clorofilas pode ter como consequência redução na produtividade da planta, uma vez que as clorofilas estão diretamente envolvidas na captação de energia para a fotossíntese (CARLI, 2008).

O índice de clorofila total na alface não apresentou diferença significativa

entre os tratamentos (Figura 5).

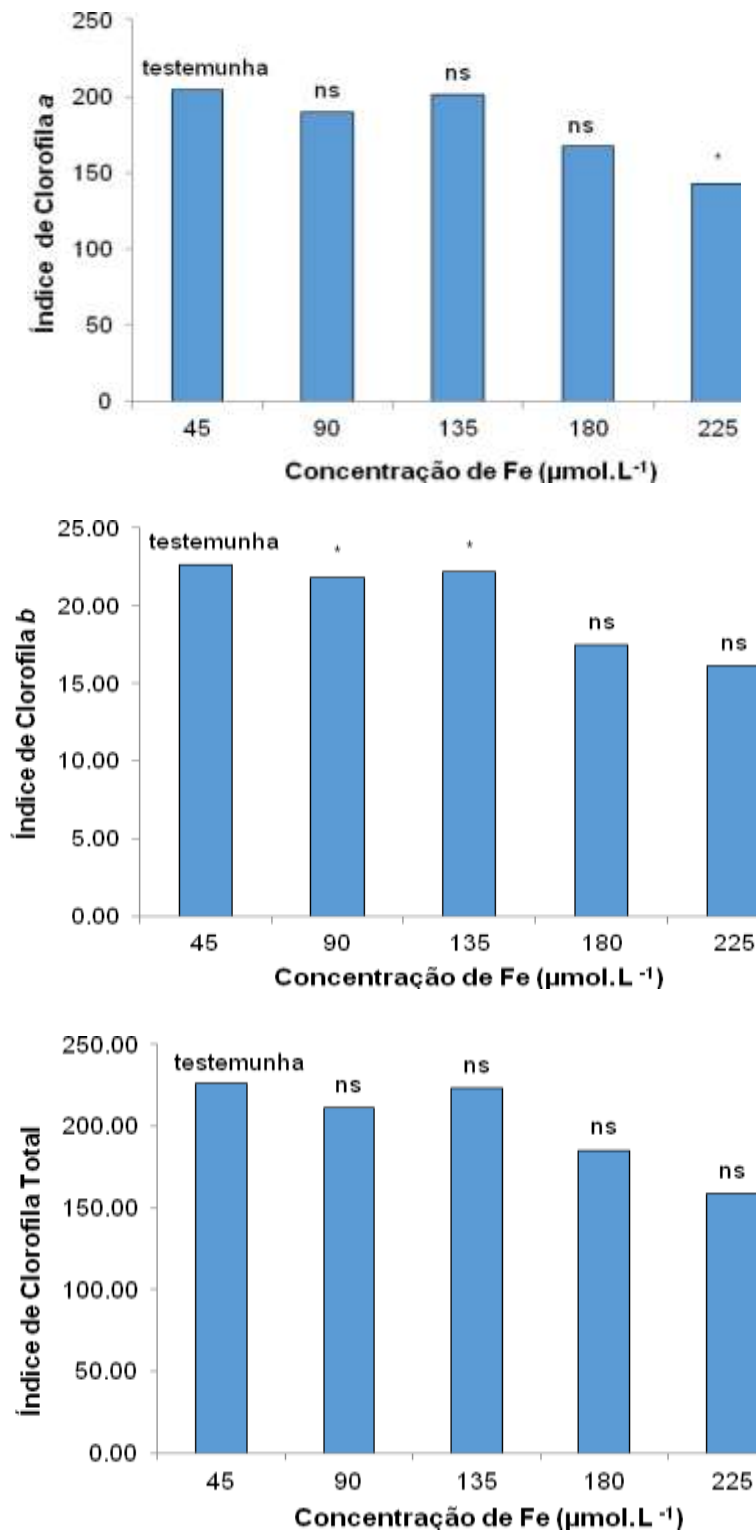


Figura 5. Efeito das diferentes concentrações de Fe sobre o índice de clorofila a, clorofila b e clorofila total em alface cultivada em hidroponia com diferentes concentrações de ferro. ^{ns} não significativo; *valor significativo em relação à testemunha a 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

A análise de fluorescência da clorofila *a* realizada aos 14 e 27 DAT não apresentou diferença significativa entre os tratamentos para as variáveis: fluorescência inicial (F0), fluorescência máxima (Fm) e eficiência quântica máxima do FSII (Fv/Fm) (Figuras 6 e 7).

Os valores encontrados aos 14 DAT de F0 variaram de 355 a 458,83, os valores de Fm encontrados foram 1686,83 a 2148,83 e de Fv/Fm encontrados foram 0,63 a 0,76 (Figura 6). Aos 27 DAT a F0 variou de 357,8 a 394,5; para Fm os valores encontrados foram 2298 a 2823,33 e de Fv/Fm os valores foram de 0,77 a 0,79 (Figura 7).

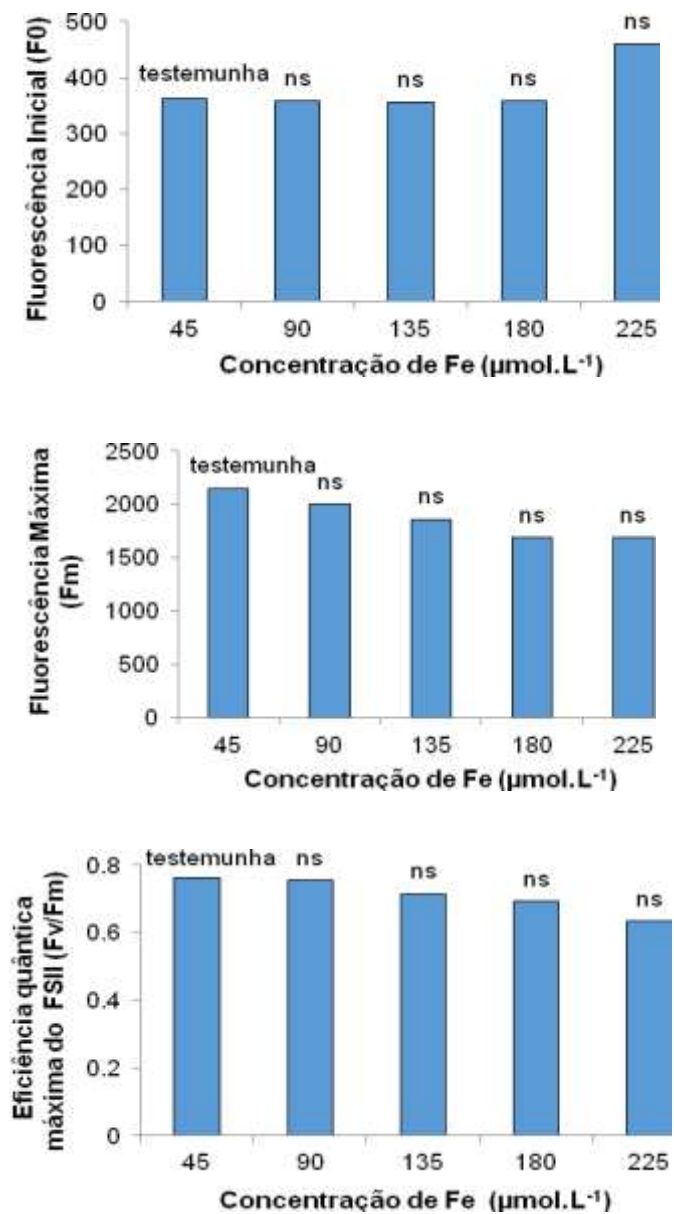


Figura 6. Efeito das diferentes concentrações de Fe sobre Fluorescência inicial (F0), Fluorescência máxima (Fm) e Eficiência quântica máxima do FSII (Fv/Fm) em folhas de alface cultivadas em hidroponia aos 14 DAT. ^{NS} Não significativo; * valor significativo em relação à testemunha a 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

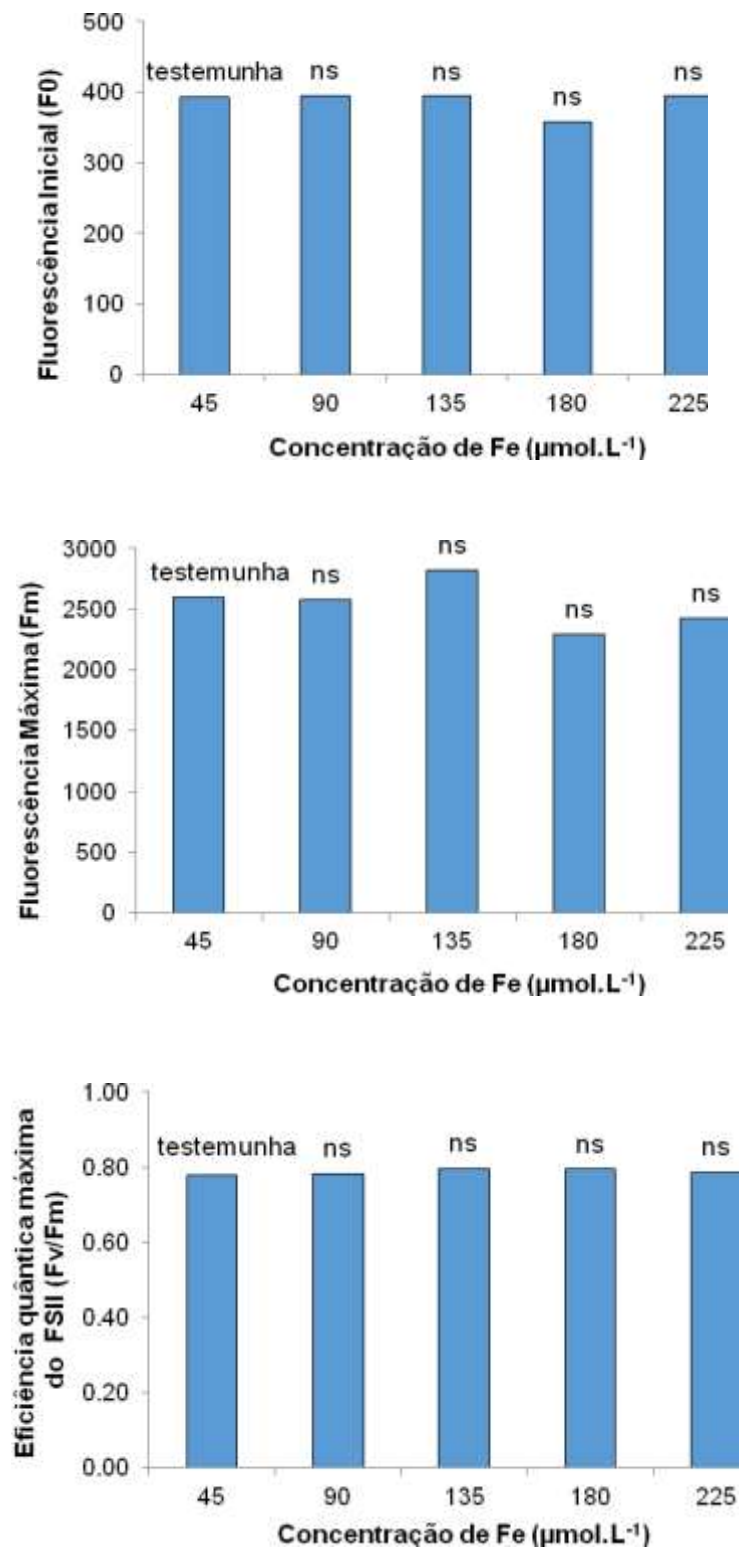


Figura 7. Efeito das diferentes concentrações de Fe sobre Fluorescência inicial (F₀), Fluorescência máxima (F_m) e Eficiência quântica máxima do FSII (F_v/F_m) em folhas de alface cultivadas em hidroponia aos 27 DAT. ^{NS} Não significativo; * valor significativo em relação à testemunha a 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

Aos 14 DAT na maior concentração de Fe foram verificados na alface valores de fluorescência inicial (F0) superiores aos observados na concentração controle. Segundo Carli (2008), um aumento significativo da fluorescência inicial (F0) pode se indicar danos no complexo antena ou no centro de reação do FSII. Os resultados de Fv/Fm, obtidos nesse trabalho que indicam estresse e, portanto dano ao FSII, corroboram com a suposição de Carli (2008).

O valor de Fm diminuiu na maior concentração de Fe comparada à concentração controle em ambas as medições: 14 e 27 DAT. A alface apresentou na maior concentração de Fe aos 14 DAT redução de Fm da ordem de 21,50%, e aos 27 DAT 6,51%, comparada a concentração controle.

Adamski et al. (2011), verificaram pequeno aumento de F0 e um maior aumento de Fm em plantas de batata doce submetidas a altas concentrações de Fe.

A eficiência quântica máxima do FSII (Fv/Fm) apresentou valores que variaram de 0,63 a 0,76 aos 14 DAT (Figura 7) e 0,75 a 0,80 aos 27 DAT.

Plantas com valores de Fv/Fm inferiores a 0,75 indicam situação de estresse e, portanto, redução do potencial fotossintético da planta, quando as plantas estão em condições não estressantes, com o aparelho fotossintético intacto, seus valores variam entre 0,75 e 0,85 (MAXWELL & JOHNSON, 2000).

Considerando a faixa de Fv/Fm sugerida por Maxwell & Johnson (2000), foi observada na avaliação aos 14 DAT possível estado de estresse e, portanto dano ao FSII nas plantas submetidas as concentrações de Fe de 135; 180 e 225 $\mu\text{mol.L}^{-1}$, as quais apresentaram o valor de Fv/Fm de 0,71; 0,69 e 0,63. Aos 27 DAT, em todos os tratamentos os valores encontrados ficaram entre 0,77 a 0,79.

Mesmo com as altas concentrações de Fe, pela ultima medição pode se verificar que a alface não ficou fora da faixa considerada adequada por Maxwell & Johnson (2000).

Experimento 2- Rúcula

Avaliando as características agronômicas da rúcula observou-se um decréscimo de todas as características com o aumento da concentração de Fe. (Tabela 3).

A matéria fresca da parte aérea da rúcula foi influenciada negativamente pelo o aumento da concentração de Fe. Na concentração de 225 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ observou-se valores de 16,17g . Em relação à testemunha foi observada redução de 68,18%

(Tabela 3). A matéria fresca para o tratamento controle apresentou 50,82 g. Tondo et al., (2013) trabalhando com extrato de folhas de pinhão manso, observaram para a cultura da rúcula no tratamento controle um valor de 45 g de matéria fresca por planta. O ferro é um elemento essencial para que a planta complete o seu ciclo de vida, mas seu excesso é prejudicial ao crescimento e desenvolvimento vegetal, em excesso pode provocar toxidez diminuindo a produção.

Na Figura 8 pode se observar a diferença na parte aérea da rúcula em função das diferentes concentrações de Fe.

Tabela 3 – Média das características agronômicas da cultura da rúcula cultivada em hidroponia com diferentes concentrações de ferro

Características agronômicas	Tratamentos ($\mu\text{mol.L}^{-1}$)				
	45 (testemunha)	90	135	180	225
MFPA (g)	50,82	38,68 ^{ns}	36,36*	23,16*	16,17*
NF	21,36	19,11 ^{ns}	18,92 ^{ns}	14,47*	13,25*
AF (cm ²)	2034,55	1704,56 ^{ns}	1700,21 ^{ns}	1153,28*	766,07*
ALT (cm)	19,56	16,91 ^{ns}	16,44 ^{ns}	15,41*	11,83*
MFR (g)	24,59	16,07*	14,99*	12,73*	7,04*
VR (cm ³)	42,67	28,00*	26,33*	22,00*	12,33*
MSPA (g)	3,77	3,35 ^{ns}	3,25 ^{ns}	2,15*	1,65*
MSR (g)	0,60	0,46 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,30*	0,19*

Matéria fresca da parte aérea (MFPA-g), número de folhas (NF), área Foliar (AF- cm²), matéria fresca da raiz (MFR- g), volume da raiz (VR - cm³), matéria seca da parte aérea (MSPA - g), matéria seca da raiz (MSR – g). ^{ns} Não significativo; * valor significativo em relação à testemunha a 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.



Figura 8. Diferença na parte aérea da rúcula cultivada em hidroponia com diferentes concentrações de ferro. Da esquerda para a direita os tratamentos com as concentrações crescentes de Fe. 45 (controle), 90, 135, 180 e 225 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ de Fe. São Mateus, CEUNES/UFES, 2015.

Para o número de folhas e área foliar da rúcula observou-se diferença significativa em relação a testemunha para os tratamentos de 180 e 225 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ de Fe. Essas características apresentaram redução de 36,97% e 62,35% na concentração de 225 de Fe respectivamente, comparadas aos valores da testemunha (Tabela 3).

A área foliar, principalmente em culturas folhosas, é fundamental para a produção de fotoassimilados e posteriormente distribuição e acúmulo de fitomassa (CARON et al., 2004). Assim, os tratamentos que atingiram maior área foliar foram os que obtiveram maior acúmulo de fitomassa, conforme se observa na tabela 3.

A redução do NF com o aumento da concentração Fe obtidos nesse trabalho corrobora com os resultados de Jucoski (2011), que trabalhando com a toxicidade de Fe em pitanga, observou menor número de folhas com o aumento da concentração de Fe. Adamski, (2011), observou declínio da área foliar com o aumento da concentração de Fe em plantas de batata doce, corroborando com os resultados obtidos nesse trabalho na redução da área foliar com o aumento das concentrações de Fe.

As plantas de rúcula submetidas à concentração de 225 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de ferro apresentaram sintomas de toxidez. Nas folhas mais velhas foram verificadas pontuações bronzeadas, que se iniciavam na ponta da folha e com o passar dos dias foi se alastrando até a base levando a abscisão foliar (Figura 9).

Resultados semelhantes de intoxicação foram observados em folhas de

Ipomoea pés-caprae por Carli (2008), em folhas de pitanga por Jucoski (2011), e em ervilha por Suh *et al.*, (2002).

Segundo Fairhurst *et al.*, (2007), a presença desses sintomas é ocasionada pela toxidez direta do Fe. O bronzeamento geralmente aparece nas folhas mais velhas que têm maiores taxas de transpiração. Em caso de toxidez severa a folha inteira apresenta uma coloração marrom roxo.

Os sintomas de toxidez são ocasionados provavelmente pela formação de agentes oxidantes nos espaços intercelulares que reagem com os componentes da parede celular e das membranas plasmáticas (PELL *et al.*, 1994).

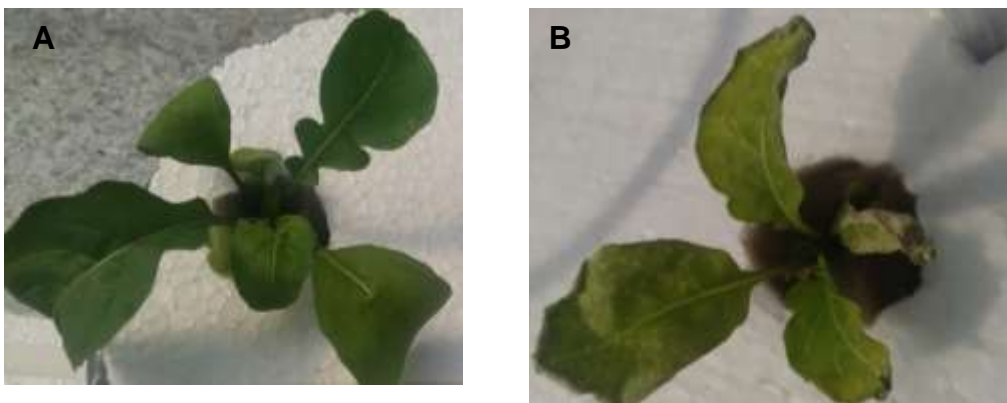


Figura 9. Sintomas de toxidez nas folhas de rúcula cultivada em hidroponia com diferentes concentrações de Ferro. (A) Concentração controle 45 $\mu\text{mol.L}^{-1}$. (B).tratamento com a maior concentração de Fe, 225 $\mu\text{mol.L}^{-1}$.

Considerando a altura da planta de rúcula, observou-se diferença estatística em relação à testemunha para os tratamentos 180 e 225 $\mu\text{mol.L}^{-1}$. A maior concentração de Fe em solução nutritiva reduziu em 39,52% a altura da rúcula.

Para a matéria fresca da raiz e seu volume foram observadas diferenças estatísticas para todos os tratamentos em relação à testemunha. Considerando o tratamento extremo de 225 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ de Fe observa-se redução do crescimento de 71,37 e 71,10%, respectivamente para matéria fresca da raiz e seu volume (Tabelas 3).

Campos (2014) apresenta que ocorreu diminuição no crescimento e na emissão de raízes laterais na produção do café conilon cultivado com altas concentrações de Fe. Jucoski (2011), trabalhando com a toxicidade de Fe em pitanga observou que à medida que foi aumentada a concentração de Fe o alongamento radicular e o comprimento da raiz primária diminuíram.

Além da redução no desenvolvimento das raízes, foi observado nas plantas

submetidas a maior concentração de Fe ($225 \mu\text{mol.L}^{-1}$), coloração escurecida comparada as raízes da planta testemunha. Resultados semelhantes foram observados por Howeler (1973) em plantas de arroz. O escurecimento das raízes segundo Silva (2009) é um indicativo da deposição de óxido de Fe nas raízes.

Para as variáveis matéria seca da parte aérea e matéria seca da raiz, a rúcula apresentou diferença significativa nas concentrações de 180 e $225 \mu\text{mol.L}^{-1}$ de Fe comparada a testemunha. Na maior concentração de ferro houve redução respectiva das variáveis em 56,23% e 68,33% comparadas à testemunha (Tabela 3).

Os efeitos negativos do aumento da concentração de Fe sobre a matéria seca da parte aérea também foi observada em outras espécies. Camargo & Freitas (1985) observaram em plantas de trigo; Audebert & Sahrawat (2000) e Schimdt (2009), observaram redução na massa seca de arroz como efeito da toxidez do ferro; Jucoski (2011) em plantas de pitanga; Adamski (2011) em plantas de batata-doce.

Os decréscimos observados com o aumento da concentração de Fe na produção da matéria seca das raízes corroboram com os resultados obtidos por Campos (2014), estudando o efeito da concentração do Fe em plantas de café conilon; Adamski (2011) verificou efeito similar em plantas de batata-doce submetidas às maiores concentrações de ferro.

Para a análise nutricional foi observada diferença significativa apenas para o manganês. Observa-se que o teor do manganês no tecido foliar da rúcula decresce linearmente à medida que a concentração de ferro aumenta na solução nutritiva (Figura 10).

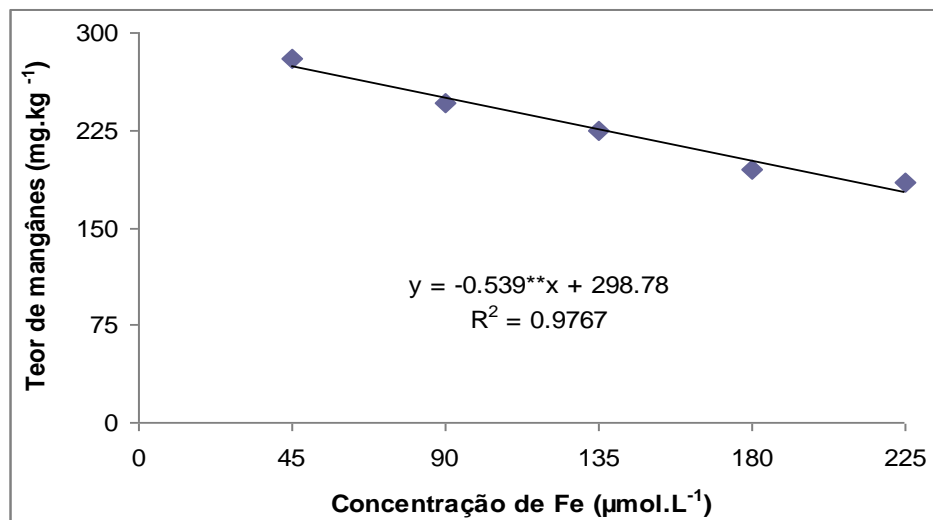


Figura 10. Teor de manganês em folhas de rúcula cultivada em hidroponia com crescentes concentrações de ferro. ** significativo a 1% de probabilidade

A redução do manganês com as maiores concentrações de ferro pode indicar a provável influência da barreira de óxido de ferro na absorção desse nutriente. Segundo Baser & Somani (1982) o ferro e o manganês competem pelo mesmo sítio de ligação fisiológico, o que pode ter inibido a absorção e a translocação do Mn para a parte aérea. Resultados semelhantes foram encontrados para *Solanum tuberosum* por Chatterjee et al. (2006); e por Adamski (2011) em folhas de batata-doce.

A redução do manganês observada por Adamski (2011) nas folhas velhas de batata-doce submetida a maior concentração de Fe teve o teor acumulado do nutriente reduzido em 79,11% comparado à testemunha.

Pela análise mineral do tecido radicular da rúcula foi observado que os teores de magnésio, ferro e zinco apresentaram diferença significativa em função dos tratamentos (Figura 11). Os nutrientes fósforo, potássio, cálcio, cobre e manganês não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos.

O teor de magnésio decresceu linearmente à medida que aumentou a concentração de ferro na solução. (Figura 11).

Nas raízes de rúcula o teor de ferro acumulado apresentou aumento linear. À medida que aumentou a concentração de ferro na solução, as plantas apresentaram maior acúmulo do nutriente nas raízes (Figura 11).

O teor de Fe acumulado nas raízes foi consideravelmente maior que no tecido foliar, cerca de 40 vezes mais. Isso é atribuído ao fato do ferro ser pouco móvel na planta, ficando acumulado no sistema radicular e dessa maneira não sendo translocado para a parte aérea. De acordo com Malavolta et al. (1989) a capacidade que a raiz possui para absorver íons é limitada. Em geral, quando a concentração interna de um íon aumenta, a taxa de absorção declina e vice versa (FAQUIN, 2005). A reduzida translocação do ferro das raízes para a parte aérea, tem sido indicada como mecanismo de defesa ao estresse causado por toxidez por Fe (STEIN et al., 2008).

O teor de zinco acumulado no tecido radicular da rúcula foi representado por uma equação de segundo grau, alcançando a máxima concentração de 131,14 mg.kg⁻¹ com 119,25 µmol.L⁻¹ de Fe (Figura 11).

Adamski (2011) observou redução do teor acumulado de zinco com o aumento da concentração de Fe para folhas de batata-doce. A redução foi de

21,10% na maior concentração de Fe ($9,0 \text{ mmolL}^{-1}$) comparada a concentração controle ($0,45 \text{ mmolL}^{-1}$). Jucoski (2011) trabalhando com pitanga observou o menor acúmulo de zinco nas folhas, caules e raízes de pitanga; Howeler (1973) trabalhando com arroz.

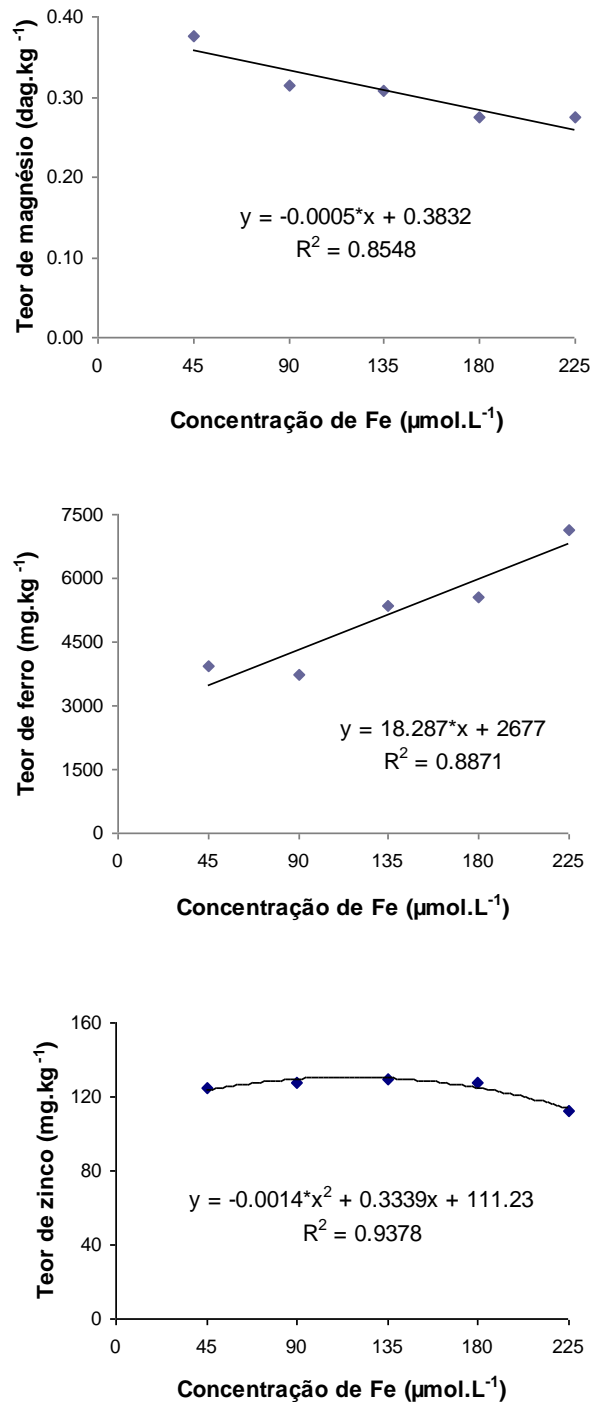


Figura 11. Teor de magnésio, ferro e zinco em raízes de rúcula cultivada em hidroponia com crescentes concentrações de ferro. * significativo a 5% de probabilidade.

O índice de clorofila *a*, clorofila *b* e o índice de clorofila total, não apresentaram diferença significativa em função do aumento da concentração de Fe adicionadas a solução (Figura 12).

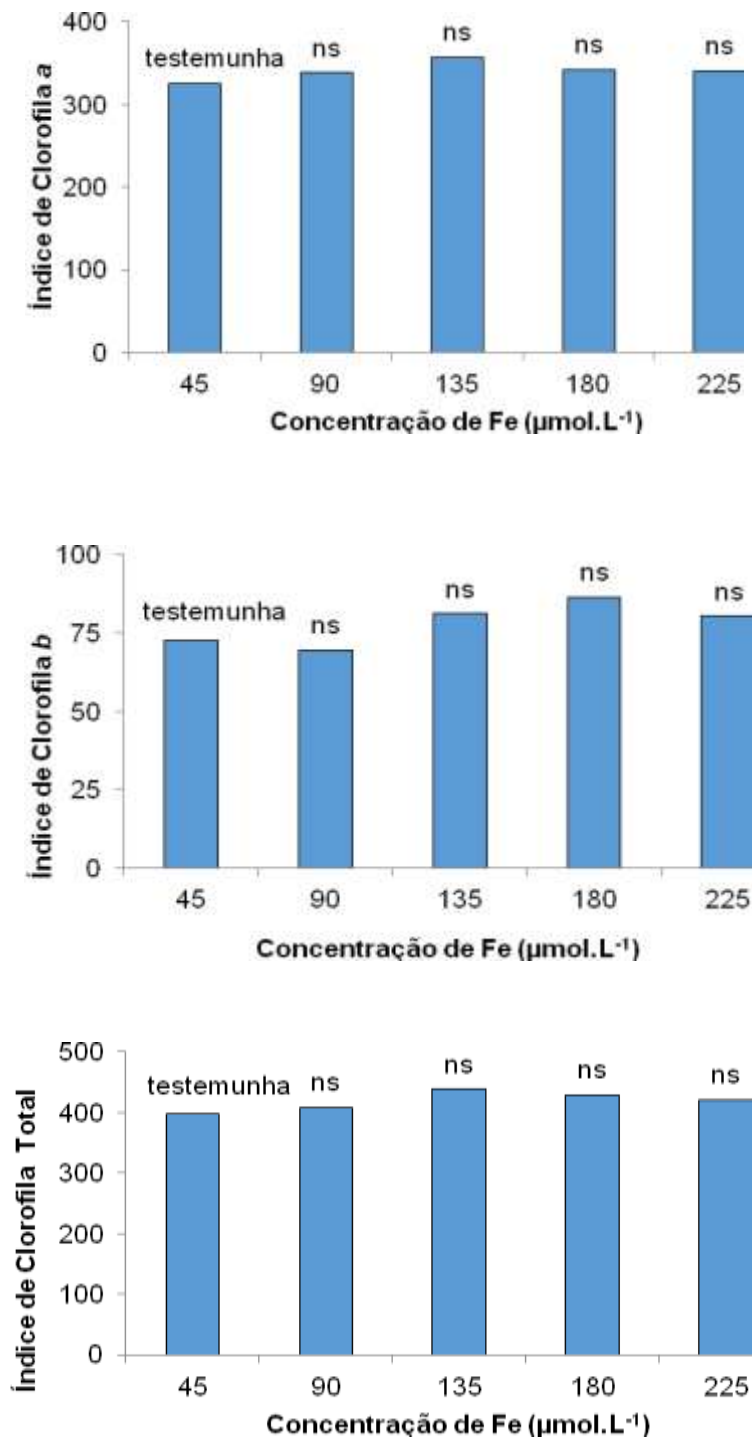


Figura 12. Efeito das diferentes concentrações de Fe sobre o índice de clorofila *a*, clorofila *b* e clorofila total na rúcula cultivada em hidroponia com diferentes concentrações de ferro. ^{ns} não significativo; *valor significativo em relação à testemunha a 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

O ferro que entra na célula deve ser separado para as futuras utilizações no funcionamento celular e para impedir que se acumule em excesso, causando toxidez a planta. O cloroplasto armazena a maior quantidade de Fe nas células dos vegetais, acumulando cerca de 80% a 90% do ferro celular (MARSCHNER, 1995). As moléculas de clorofila são suscetíveis a ERO's e podem ser afetadas como consequência do estresse oxidativo induzido por ferro (VANSUYT et al. 1997).

Segundo Ding et al. (2007) os metais podem modificar os processos funcionais das plantas causando, entre outras consequências, a degradação da clorofila.

Os índices de clorofila observados no presente trabalho não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. Esses resultados estão de acordo com os observados por Campos (2014), o qual não observou diferença para esses parâmetros trabalhando com plantas de café conilon submetidas a altas concentrações de ferro.

A análise de fluorescência da clorofila *a* realizada aos 14 e aos 27 DAT na cultura da rúcula não apresentou diferença significativa entre os tratamentos para as variáveis: fluorescência inicial (F_0), fluorescência máxima (F_m) e eficiência quântica máxima do FSII (F_v/F_m), (Figura 13 e 14).

A fluorescência inicial (F_0) expressa inversamente o potencial máximo do uso da energia de excitação no processo fotoquímico (LAZAR, 1999), a redução F_0 indica que o sistema de absorção de luz do FS-II está atuando de forma mais eficiente, aumentado assim, a capacidade de transferência da energia de excitação dos pigmentos antena para os centros de reação. Os valores de F_0 observados nesse estudo aos 14 DAT variaram de 477,33 a 633,83 (Figura 13), aos 27 DAT os valores observados de F_0 variaram de 467,33 a 511,16 (Figura 14).

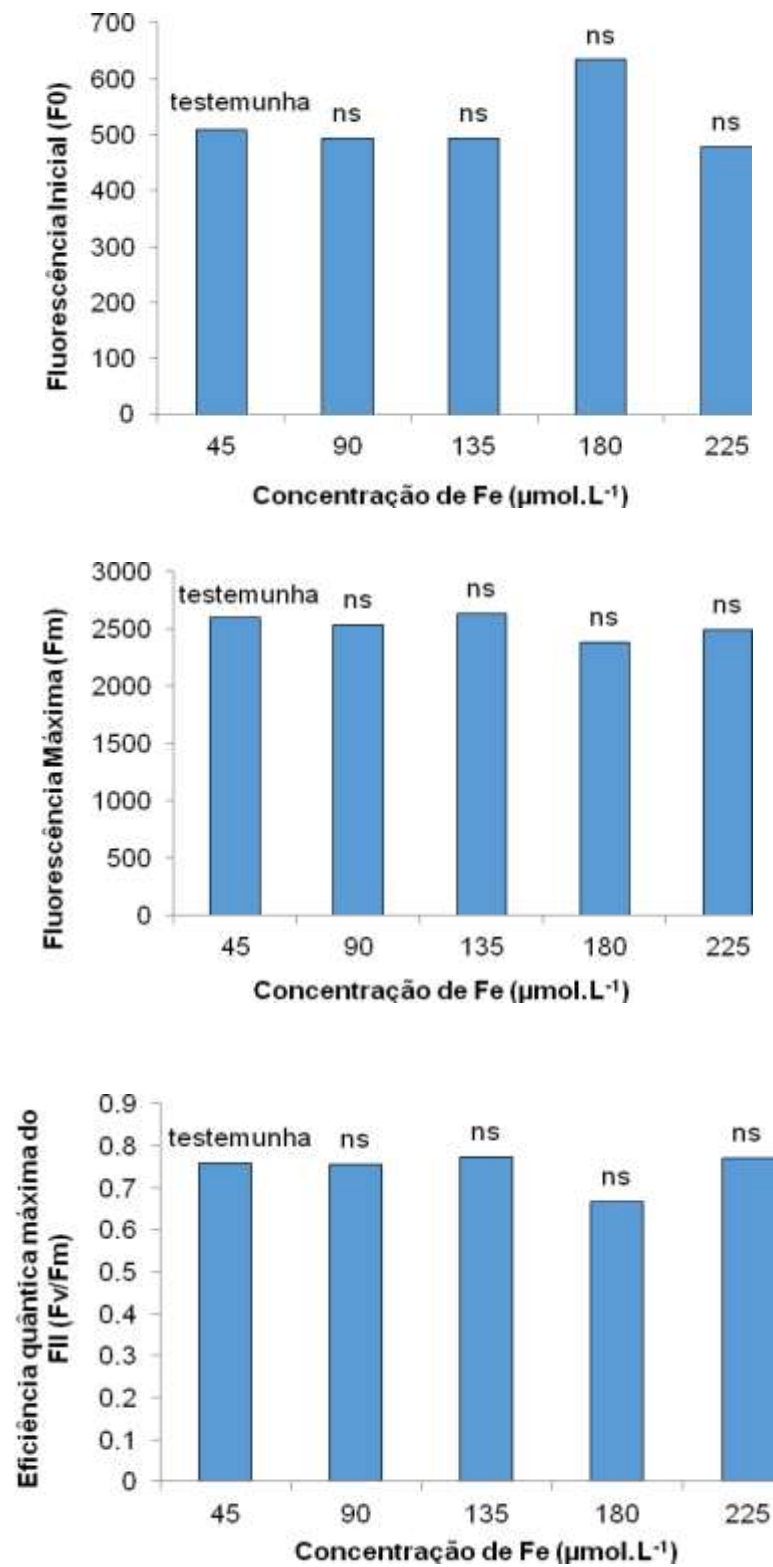


Figura 13. Efeito das diferentes concentrações de Fe sobre Fluorescência inicial (F₀), Fluorescência máxima (F_m) e Eficiência quântica máxima do FSII (F_v/F_m) em folhas de rúcula cultivadas em hidroponia aos 14 DAT. ^{NS} Não significativo; * valor significativo em relação à testemunha a 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

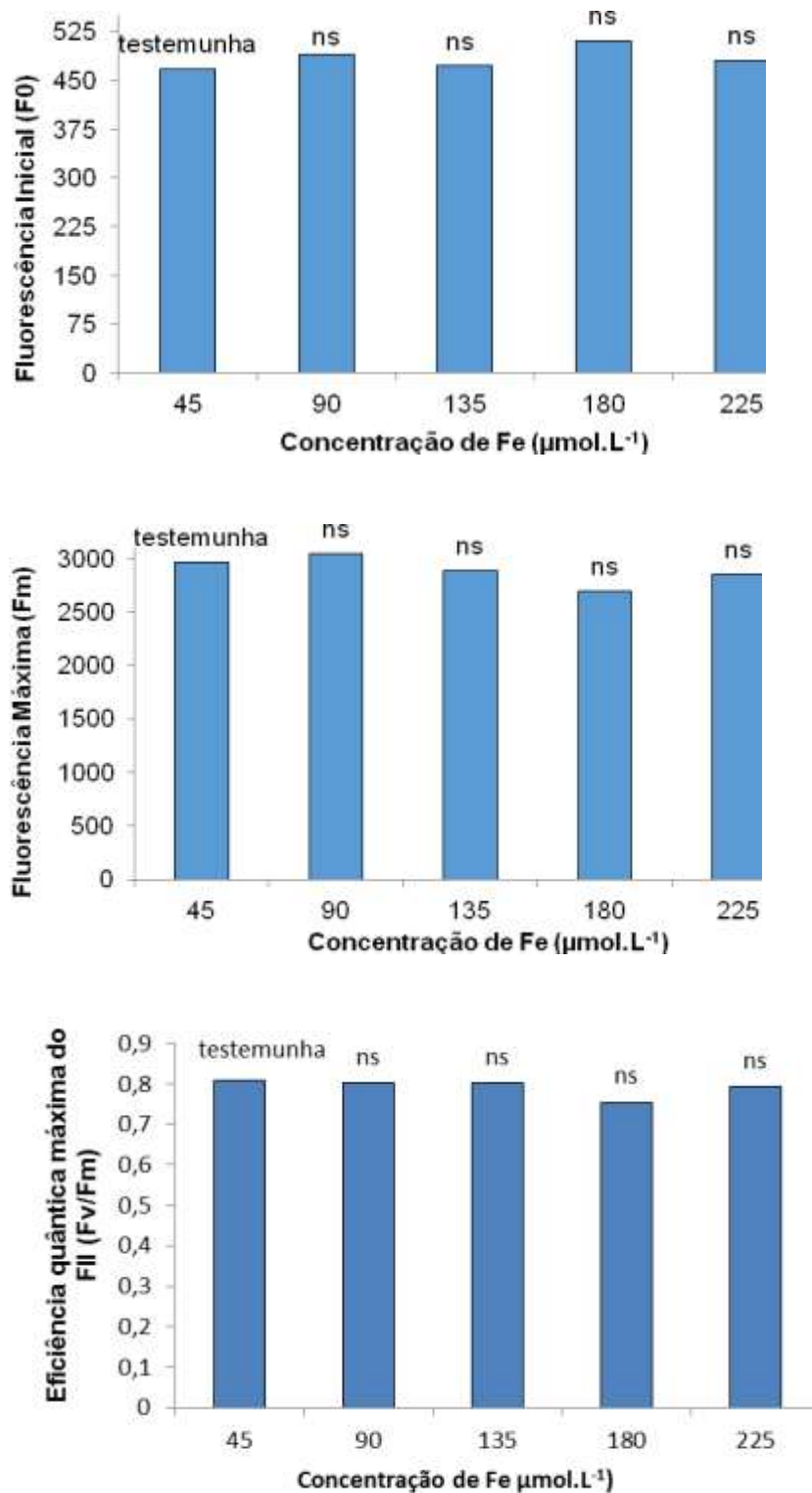


Figura 14. Efeito das diferentes concentrações de Fe sobre Fluorescência inicial (F₀), Fluorescência máxima (F_m) e Eficiência quântica máxima do FSII (F_v/F_m) em folhas de rúcula cultivadas em hidroponia aos 27 DAT. ^{NS} Não significativo; * valor significativo em relação à testemunha a 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

Os valores da fluorescência máxima (Fm) encontrados aos 14 DAT foram 2385,5 a 2633,33 (Figura 15) e aos 27 DAT os valores de Fm variaram de 2695,16 a 3038,16 (Figura 14).

Com relação à eficiência quântica máxima do FSII (Fv/Fm) os valores encontrados aos 14 DAT foram: 0,66 a 0,77 (Figura 13) e aos 27 DAT os valores encontrados de 0,75 a 0,80 (Figura 14).

Plantas com valores de Fv/Fm inferiores a 0,75 indicam situação de estresse e, portanto, redução do potencial fotossintético da planta. Quando as plantas estão em condições não estressantes, seus valores se encontram entre 0,75 e 0,85; (MAXWELL & JOHNSON, 2000).

O valor de Fv/Fm observado aos 14 DAT na concentração de 180 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ Fe, apresentou o valor de 0,66. Indicando estresse e, portanto dano ao FSII. Nas demais concentrações os valores verificados estavam todos dentro da faixa, apresentando valores de 0,75 a 0,77; não apresentando sinal de estresse. Na avaliação aos 27 DAT em todos os tratamentos os valores encontravam-se dentro da faixa indicada por Maxwell & Johnson, (2000) não indicando situação de estresse nem dano ao FSII.

Resultado diferente foi observado por Carli (2008), trabalhando com *Ipomoea pes-caprae*, o qual verificou redução de Fv/Fm com o aumento da concentração de Fe. Mesmo com as altas concentrações de Fe, pode se verificar que a rúcula ficou dentro da faixa considerada adequada por Maxwell & Johnson (2000).

5. CONCLUSÕES

A produção da matéria fresca da parte aérea da alface e da rúcula diminuiu consideravelmente com o aumento da concentração de ferro. Comparando o tratamento com concentração de $225 \mu\text{mol.L}^{-1}$ de Fe com a testemunha ($45 \mu\text{mol.L}^{-1}$ de Fe), observa-se reduções de 97,63 e 68,18% para matéria fresca da parte aérea da alface e da rúcula, respectivamente.

Para a produção da alface Vitória de Santo Antão e da rúcula Rococó em sistema hidropônico recomenda-se o uso da concentração de $45 (\mu\text{mol.L}^{-1})$ de Fe.

Não houve maior acúmulo de ferro no tecido foliar da alface Vitória de Santo Antão e da rúcula Rococó com o aumento da concentração de Fe.

O teor de Fe nos tecidos foi significativo apenas para o sistema radicular da rúcula, porém foi observado um maior aumento da concentração de ferro no sistema radicular de ambas as culturas em comparação à concentração da parte aérea. Para o sistema radicular da rúcula no tratamento com concentração de $225 \mu\text{mol.L}^{-1}$ de Fe foi observado um aumento de 68,22 vezes no teor de Fe em comparação à concentração da parte aérea.

Os teores acumulados dos nutrientes P, Mn e Zn no tecido foliar da alface Vitória de Santo Antão decresceram com o aumento da concentração de ferro indicando que altas concentrações de Fe influenciam na desordem de outros nutrientes.

O teor do manganês no tecido foliar da rúcula decresceu linearmente com o aumento da concentração de ferro na solução nutritiva.

O índice de clorofila *a* na alface apresentou diferença significativa na maior concentração de ferro.

A análise da fluorescência da clorofila *a* realizada aos 14 e 27 DAT na alface e rúcula não apresentou diferença significativa entre os tratamentos.

O índice de clorofila *a*, clorofila *b* e o índice de clorofila total na rúcula, não apresentou diferença significativa em função do aumento da concentração de Fe adicionado à solução nutritiva.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMSKI, J.M. **Respostas morfofisiológicas de *Ipomoea batatas* L. em função da concentração de ferro**. 2011. 62f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) - Instituto de Biologia. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2011.

ADAMSKI, J. M.; PETERS, J. A.; DANIELOSKI, R.; BACARIN, M. A. Excess iron-induced changes in the photosynthetic characteristics of sweet potato. **Journal of Plant Physiology**, v. 168, p. 2056-2062, 2011.

ADAMSKI, J.M.; DANIELOSKI, R.; DEUNER, S.; BRAGA, E.J.B.; CASTRO L.A.S.; PETERS, J.A. Responses to excess iron in sweet potato: impacts on growth, enzyme activities, mineral concentrations, and anatomy. **Acta Physiologiae Plantarum**. DOI 10.1007/s11738-012-0981-3. 2012.

ALENCAR, T. A.; TAVARES, A. T.; CHAVES, P. P. N.; FERREIRA, T. A.; NASCIMENTO, I. R. Efeito de intervalos de aplicação de urina bovina na produção de alface em cultivo protegido. **Revista Verde**. Mossoró, v.7, n.3, p. 53-67, 2012.

AMORIM, H.C.; HENZ, G.P.; MATTOS, L.M. Identificação dos tipos de rúcula comercializados no varejo do Distrito Federal. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento da Embrapa Hortaliças**, Brasília, v. 34, p. 1-13, 2007.

AUDEBERT, A., SAHRAWAT, K.L. Mechanisms for iron toxicity tolerance in lowland rice. **Journal of Plant Nutrition** v.23, p.1877-1885. 2000.

BASER, B.L., SOMANI, L.L. Effect of soil application of manganese on dry matter yield and uptake of manganese and iron by maize. **Am. Edafol. Agrobiol.** v. 41, p. 2211 – 2220. 1982.

BECKER, M.; ASCH, F. Iron toxicity in rice – conditions and management concepts. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, 168: 558-573, 2005.

BOLDRIN, P. F. **Biofortificação agronômica com selênio em arroz**. 2011. 63 f. Dissertação (mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2011.

BOLHÀR-NORDENKAMPF, H. R., LONG, S. P., BAKER, N. R., ÖQUIST, G., SCHREIBER, U., LECHNER, E. G. Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. **Functional Ecology**, v. 3, p. 497 - 514. 1989.

BORGES, C.T.; DEUNER, C.; RIGO, G.A.; OLIVEIRA, S.; MORAES, D.M. O estresse salino afeta a qualidade fisiológica de sementes de rúcula ? **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer. v.10, n.19; p.1049-1057. 2014.

BOYER, R.F.; CLARK, H.M.; LA ROCHE, A.P. Reduction and release of ferritin iron by plants phenolics. **Journal of Inorganic Biochemistry**, v. 32, p. 171- 181, 1988.

BJÖRKMAN, M.; KLINGEN, I.; BIRCH, A. N. E.; BONES, A. M.; BRUCE, T. J. A.; JOHANSEN, T. J.; MEADOW, R.; MOLMANN, J.; SELJASEN, R.; SMART, L. E.; STEWART, D. Phytochemicals of Brassicaceae in plant protection and human health – Influences of climate, environment and agronomic practice. **Phytochemistry**, v. 72, p. 538- 556, 2011.

BLANCHARD, R.W.; REHM, G.; CALDWELL, A.C. Sulfur in plant material by digestion with nitric and perchloric acid. **Proceedings-Soil Science Society of America**, v. 29, n. 1, p. 71-72, 1965.

BRAGA, J.M.; DEFELIPO, B. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e plantas, **Revista Ceres**. v. 21, n. 113, p. 73-85, 1974.

BRASIL. Ministério da Saúde. Unicef. Cadernos de Atenção Básica: Carências de Micronutrientes / Ministério da Saúde, Unicef; Bethsáida de Abreu Soares Schmitz. - Brasília: Ministério da Saúde, 2007. 60 p. - Série A. **Normas e Manuais Técnicos**.

CAMARGO, C.E.O.; FREITAS, J.G. Tolerância de cultivares de trigo a diferentes níveis de ferro em solução nutritiva. **Bragantia**, Campinas, v.44, n.1, p. 65-75. 1985.

CAMPOS, L.M. **Respostas de café conilon à concentração de ferro. 2014. 46 f.** Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, ES. 2014.

CARMO JUNIOR, R. R. **Produção de alface (*Lactuca sativa* L.) em cultivo hidropônico utilizando atmosfera modificada no interior de casa de vegetação.** 2002. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campina. SP, 2000.

CARLI, V.G. **Avaliações fisiológicas, bioquímicas e histoquímica de *ipomoea pes-caprae* cultivada em diferentes concentrações de ferro.** 2008. 48 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade Federal de Viçosa, MG, 2008.

CARON, B.O.; SANRO FELISBERTO POMMER, S.F.; SCHMIDT,D.; MANFRON. P.A.; MEDEIROS, S.L.P. Crescimento da alface em diferentes substratos. **Ciências Agroveterinárias**, v.3, n.2, p. 97-104, 2004.

CARVALHO, B.A. **Conheça melhor as hortaliças.** Campo Grande: EMPAER, 1988. 71 p.

CARVALHO FILHO, J.L.S.; GOMES, L.A.A.; MALUF, W.R. Tolerância ao florescimento precoce e características comerciais de progênies F₄ de alface do cruzamento Regina 71 x Salinas 88. **Acta Scientiarum. Agronomy**. v.31, n.1, p. 37-41. 2009.

CEASA, Central de Abastecimento do Espírito Santo. **Filtro preço médio do produto. Série histórica dos últimos cinco anos.** Acesso em 20 de maio de 2015. Disponível em: <http://www.ceasa.es.gov.br/default.asp>.

CHATTERJEE, C.; GOPAL, R.; DUBE, B. K. Impact of iron stress on biomass, yield, metabolism and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.). **Scientia Horticulturae**, v.108, p.1 – 6. 2006.

COOK, J.D.; BAYNES, R.D.; SKIKNE, B.S. Iron deficiency and the measurement of iron status. **Nutrition Research Reviews**, v. 5, p. 189-202, 1992.

CÔNSOLO, F.C. **Avaliação das concentrações de magnésio, zinco, cobre, ferro, manganês, alumínio, cromo, cádmio, níquel, cobalto e molibdênio nas hortaliças tuberosas comercializadas e consumidas em Mato Grosso do sul.** 2015. 126 f. Tese (Doutorado em Saúde e Desenvolvimento na Região Centro-Oeste) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. 2015.

CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.

DECHEN, A.R.; NACHTIGAL, G.R.; Micronutrientes . In: **Nutrição mineral de plantas.** Sociedade brasileira de ciência do solo. Viçosa, 2006. Cap. 327- 354.

DING, B., SHI, G., XU, Y., HU, J., XU, Q. Physiological responses of *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb leaves to cadmium stress. **Environmental Pollution**, v.147, p.800-803. 2007.

EMBRAPA. **Plantas biofortificadas têm alta produtividade e fornecem alimentos enriquecidos.** 2014. Acessado em: 30 de maio de 2015. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2246805/plantas-biofortificadas-tem-alta-produtividade-e-fornecem-alimentos-enriquecidos>>.

EMBRAPA. **Pesquisa prevê tratamento da depressão com consumo de alface biofortificadas.** 2013. Acessado em: 30 de maio de 2015. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/hortaliças/busca-de-noticias/-/noticia/1503603/pesquisa-preve-tratamento-da-depressao-com-consumo-de-alface-biofortificada>>

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Tipos de alface cultivados no Brasil. **Comunicado Técnico.** p.7. ISSN 1414-9850, Brasília, DF. 2009.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; WRIGHT, R.J. Iron nutrition of plants: na overview on the chemistry and physiology of its deficiency and toxicity. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 25 p. 553-570. 1990.

FAIRHURST, T. H.; Witt,c., R.J. Buresh, r.j.; Dobermann,a.. **Rice: A practical guide to nutrient management.** (2 ed.) International Rice Research Institute – IRRI. ISBN 978-981-05-7949-4. p.146. 2007.

FALKER AUTOMAÇÃO AGRÍCOLA Ltda. **Manual do medidor eletrônico de teor clorofila (ClorofiLOG/CFL 1030)**. Falker Automação Agrícola. 2008. 33p.

FAQUIN, V.; FURLANI, P. R. Cultivo de hortaliças de folhas em hidroponia em ambiente protegido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n. 200/201, p. 99-104. 1999.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA / FAEPE. p. 186. 2005 .

FERNANDES, A.A.; MARTINEZ, H.E.P.; PEREIRA, P.R.G.; FONSECA, M.C.M. Produtividade, acúmulo de nitrato e estado nutricional de cultivares de alface, em hidroponia, em função de fontes de nutrientes. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 2, p. 195-200, 2002.

FERRO, J.J.B.; COSTA-CRUZ, J.M.C.; BARCELOS, I.S.C. Avaliação parasitológica de alfaces (*lactuca sativa*) comercializadas no município de Tangará da Serra, Mato Grosso, Brasil. **Revista de patologia Tropical**, v. 41. p. 47-54. 2012.

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. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa. UFV. 2008. 421 p.

FOY, C.D.; CHANEY, R.L.; WHITE, M.C. The physiology of metal toxicity in plants. **Annual Review Plant Physiology**, Palo Alto, v. 29, p. 511-566. 1978.

GUIMARÃES, M.A.; MANDELLI, M.S.; SILVA, D.J.H.; GUIMARÃES, A.R. Concentração de ferro em folhas de diferentes genótipos de alface. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n.2, p. 2998-3005. 2011.

HORTIBRASIL. **Alface em números**. 2013. Disponível em: http://hortibrasil.org.br/jnw/index.php?option=com_content&view=article&id=1131:alface-em-numeros&catid=64:frutas-e-hortalicas-frescas&Itemid=82. Acesso em: 25 de janeiro de 2015.

HOWELER, R.H. Iron-induced orange disease of rice in relation to physicochemical changes in a flooded oxisol. *Soil Science Society of America*, v.37, p. 898-903. 1973.

JUCOSKI, G.O. **Toxicidade de ferro e metabolismo antioxidativo em *Eugenia uniflora* L.** 2011. 77 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2011.

KANNO, C.; CARDOSO, A. I. I.; HIGUTI, A. R. O.; VILLAS BOAS, R.L. Doses de potássio na produção e qualidade de sementes de alface. **Horticultura Brasileira**, v.24, n.3, p. 356-359. 2006.

KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. International Plant Nutrition Institute. **Encarte Técnico**. Informações agrônômicas, n.118. p. 24. 2007.

LÉDO, F. J. S.; CASALI, V. W. D.; CRUZ, C. D.; LÉDO, C. A. S. Capacidade de combinação em cultivares de alface com base em características agrônômicas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 25, n. 4. p. 831-839, 2009.

MAIA, A.F.C.A.; MEDEIROS, D.C.; FILHO, J.L. Adubação Orgânica em diferentes substratos na produção de mudas de rúcula. **Revista Verde**, v. 2, n. 2, p. 89-95. 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba, POTAFÓS, p. 201. 1989.

MARTINEZ, H.P.; CLEMENTE, J.M. **O Uso do Cultivo Hidropônico de Plantas em Pesquisa**. 1ª Ed. Viçosa: UFV, 2011. 76 p.

MATSUZAKI, R. T. **Quelatos de ferro afetam o crescimento e a produção de rúcula cultivada em sistema hidropônico**. Dissertação apresentada a Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. P.66. 2013

MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence: a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, p. 659-668, 2000.

MEDEIROS, D. C.; LIMA, B. A. B.; BARBOSA, M. R.; ANJOS, R. S. B.; BORGES, R. D.; CAVALCANTE NETO, J. G.; MARQUES, L. F. Produção de mudas de alface com biofertilizantes e substratos. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 3, p. 433-436, jul./set. 2007.

MORALES, M.; JANICK, J. **Arugula: a promising specialty leaf vegetable**. Reprinted from: Trends in new crops and new uses. 2002. Disponível em: <https://www.hort.purdue.edu/newcrop/ncnu02/v5-418.html>. Acesso em: 05 março. 2015.

NEVES, N.R. **Respostas fisiológicas e antioxidativas em plantas de Eugenia uniflora L. submetidas ao excesso de ferro e chuva ácida**. 2004. 37 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2004.

OLIVEIRA, A.C.B.; SEDIYAMA, M.A.N.; PEDROSA, M.W.; GARCIA, N.C.P.; GARCIA, S.L.R. Divergência genética e descarte de variáveis em alface cultivada sob sistema hidropônico. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 26, n. 2, p. 211-217. 2004.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Anemia nutricionales**, Genebra, 1972. 456 p.

OHSE, S. **Rendimento, composição centesimal e teores de nitrato e vitamina C em alface sob hidroponia**. 1999. 103p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) -

Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba. 1999.

PATEKOSKI, K.S. PIRES-ZOTTARELLI, C.M.L. Patogenicidade de *Pythium aphanidermatum* a alface cultivada em hidroponia e seu biocontrole com *Trichoderma*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.8, p.805-810. 2010.

PELL, E.J.; ECKART, N.A.; GLICK, R.E. Biochemical and molecular basis for impairment of photosynthesis potential. **Photosynthesis Research**, 39: 453-462. 1994.

PRELA-PANTANO, A.; SOARES NOVO, M.C.S.; TRANI, P.E. Desempenho de cultivares de alface na região de Americana, SP. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 1, p. 92-104. 2015.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. **Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo – 5ª aproximação**. Vitória: SEEA/INCAPER/ CEDAGRO, p. 305. 2007.

PURQUERIO, L.F.V. **Crescimento, produção, e qualidade de rúcula (*Eruca sativa* Miller) em função do nitrogênio e da densidade de plantio**. 2005. 119 f. Tese (Doutorado em Agronomia/ Horticultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

QUEIROZ, J.P.S.; COSTA, A.J.M.; NEVES, L.G.; SEABRA JUNIOR, S.; MARCO BARELLI, M.A.A. Estabilidade fenotípica de alfaces em diferentes épocas e ambientes de cultivo. **Revista Ciência Agrônômica**, vol.45 n.2, p. 276-283. 2014.

RAMOS, S.J., FAQUIN, V., ALMEIDA, H.J., ÁVILA, F.W., GUILHERME, L.R.G, BASTOS, C.E.A., ÁVILA, P.A. Selenato e selenito na produção, nutrição mineral e biofortificação com selênio em cultivares de alface. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.35, p.1347-1355. 2011

REGHIN, M.Y.; OTTO, R.F.; OLINIK, J.R.; JACOBY, C.F.S. Efeito do espaçamento e do número de mudas por cova na produção de rúcula nas estações de outono e inverno. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 05, p. 953-959, 2005.

RESENDE, G.M; YURI, J.E; SOUZA, R.J. Épocas de plantio e doses de zinco em alface tipo americana. **Horticultura Brasileira**, 26: 510-514. 2008.

SANTOS, J.D. **Utilização da vinhaça como componente de solução nutritiva para hidroponia**. 2010. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, 2010.

SEAGESP. **ALFACE**. Disponível em: <<http://www.ceagesp.gov.br/produtos/produtos/alface>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

SILVA, A.I.S. **Morfoanatomia e composição mineral de raízes de duas espécies de restinga submetidas ao excesso de ferro**. 2009. 57 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

SILVA, A.P.; MELO, B. **Hidroponia**. 2015. Acessado em: 20 de maio de 2015. Disponível em: < <http://www.fruticultura.iciag.ufu.br/hidropo.htm>>.

SILVA, M.C. Anemia por deficiência de ferro na adolescência. **Adolescência e Saúde**, v. 4, n. 01, p. 19-22. 2007.

SILVEIRA, V.C., OLIVEIRA, A.P., SPEROTTO, R.A., ESPINDOLA, L.S., AMARAL, L., DIAS, J.F., CUNHA, J.B., FETT J.P. Influence of iron on mineral status of two rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.12., p 127-139. 2007.

SNOWDEN, R.; WHEELER, B.D. Chemical changes in selected wetland plant species with increasing Fe supply, with specific reference to root precipitates and Fe tolerance. **New Phytologist**, v.131, p.503-520.1995.

SOUSA, C.S; BONETTI, A.M.; GOULART, FILHO, L.R.; MACHADO, J.R.A.; LONDE, L.N.; BAFFI, M.A.; RAMOS, R.G.; VIEIRA, C.U.; KERR, W.E. Divergência genética entre genótipos de alface por meio de marcadores AFLP. **Bragantia**. v. 66, p.11-16. 2007.

SOUZA, E. G. F. **Produtividade e rentabilidade de rúcula adubada com espécie espontânea, em duas épocas de cultivo**. 2014. 61 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal Rural de Pernambuco. . Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada, PE, 2014.

STEIN, R.R.J.; DUARTE, G.L.; SPOHR, M.G.; LOPES, S.I.G.; FETT, J.P. Distinct physiological responses subjected to iron toxicity under field conditions. **Annals of Applied Biology**. 154: 269-277, 2008.

SUH, H.J.; KIM, C.S.; LEE, J.Y.; JUNG, J. Photodynamic effect of iron excess on photosystem II function in pea plants. **Photochemistry and Photobiology**, v.75, p. 513-518. 2002.

TONDO, W.L.; GURGACZ, F.; SANTOS, R.F. cultivo da rúcula com influência do extrato de folhas de pinhão manso. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v.7, n.2, p.112-117. 2013.

TROLLDENIER, G. Mineral nutrition and reduction processes in the rhizosphere of rice. **Plant Soil** , v. 47, p. 193-202, 1977.

VANNUCHI, H.; FREITAS, M.L.S.; SZARFARC, S.C. Prevalência de anemias nutricionais no Brasil. **Cadernos de Nutrição**. p. 7-26. 1992.

VANSUYT, G.; LOPES, F.; INZÉ, D.; BRIAT, J. F.; FOURCROY, P. Iron triggers a rapid induction of ascorbate peroxidase gene expression in *Brassica napus*. **FEBS Letters**, 410: 195-200, 1997.

ZHENG, L.; HUANG, F.; NARSAI, R.; WU, J. GIRAUD, E.; HE, F.; CHENG, L.; WANG, F.; WU, P.; WHELAN, J.; SHOU, H. Physiological and transcriptome analysis

of iron and phosphorus interaction in rice seedlings. **Plant Physiology**, v.151, 262-274. 2009.

YAMAGUCHI, M. **World vegetables: principles, production, and nutritive value**. Davis: University of California, 1978. 226 p.