



INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIÁS  
Câmpus Inhumas

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS  
CÂMPUS INHUMAS  
LICENCIATURA EM QUÍMICA

Cristiane Aparecida Lemes da Costa  
Leidimar Rezende Gomes

**ESPECIAÇÃO QUÍMICA DE FERRO EM ALFACE (*Lactuca sativa* L.)  
BIOFORTIFICADA: CULTIVO POR HIDPRONIA**

Inhumas  
2022

Cristiane Aparecida Lemes da Costa  
Leidimar Rezende Gomes

## **ESPECIAÇÃO QUÍMICA DE FERRO EM ALFACE (*Lactuca sativa* L.) BIOFORTIFICADA: CULTIVO POR HIDPRONIA**

Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso, apresentada ao IFG/Câmpus Inhumas, como parte dos pré-requisitos para obtenção do título de Licenciada em Química.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Elisangela Cardoso de Lima Borges

Coorientador: Prof. Dr. Fernando Pereira de Sá

Inhumas  
2022

### Dados Internacionais de Catalogação da Publicação (CIP)

Costa, Cristiane Aparecida Lemes da

C837      Especiação química de ferro em alface (*lactuca sativa* L.) biofortificada: cultivo por hidroponia [Manuscrito] / Cristiane Aparecida Lemes da Costa e Leidimar Rezende Gomes. -- Inhumas, 2022.

43 f. : il.

Orientadora: Dra. Elisangela Cardoso de Lima Borges

Trabalho de conclusão de curso Licenciatura em Química – IFG Câmpus Inhumas  
1. Hidroponia. 2. Ferro. 3. Alface. I. Gomes, Leidimar Rezende. II. Borges, Elisangela Cardoso de Lima (Orient.). III. Título.

CDD 630

Catalogação na Publicação:

Maria Aparecida Rodrigues de Souza – Bibliotecária-documentalista – CRB-  
1/149

## TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG. **Identificação da Produção Técnico Científica**

☐ Tese      ☐ Artigo Científico      ☐ Dissertação      ☐

Capítulo de Livro

☐ Monografia – Especialização      ☐ Livro

☒ TCC - Graduação      ☐ Trabalho Apresentado em Evento

☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: \_\_\_\_\_

Nome Completo do Autor: Cristiane Aparecida Lemes da Costa, Leidimar Rezende Gomes

Matrícula: 20121030020083, 20121030020180

Título do Trabalho: **Especiação química de ferro em alface (*lactuca sativa* L.) Biofortificada: cultivo por hidponia**

### Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial:      ☒ Não      ☐ Sim, justifique: \_\_\_\_\_

Informe a data que poderá ser disponibilizado no ReDi/IFG: \_\_/\_\_/\_\_

O documento está sujeito a registro de patente?      ☐ Sim      ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro?      ☒ Sim      ☐ Não

## DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

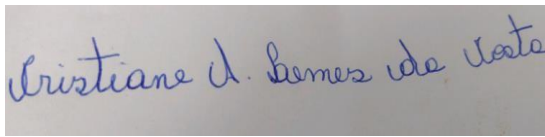
O/A referido/a autor/a declara que:

i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção

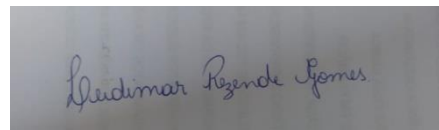
técnicocientífica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade; ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue; iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Local: Inhumas

Data 27/\_/04/\_2022.



Cristiane A. Gomes de Azeite



Leudimar Rezende Gomes



B. Lima Borges

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais



**INSTITUTO FEDERAL**  
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS  
CÂMPUS INHUMAS

**Cristiane Aparecida Lemes da Costa**

**Leidimar Rezende Gomes**

**ESPECIAÇÃO QUÍMICA DE FERRO EM ALFACE (*Lactuca sativa* L.)  
BIOFORTIFICADA:**

**CULTIVO POR HIDPRONIA**

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Dra. Elisangela Cardoso de Lima Borges**

(Orientadora) IFG-GO/Campus Inhumas

**Dr. Fernando Pereira de Sá**

(Co-orientador) IFG-GO/Campus Inhumas

**Dr. João Baptista Chieppe Junior**

Docente IFG-GO/Campus Inhumas

**Dra. Pabline Rafaella Mello Bueno de Almeida**

Docente IFG-GO/Campus Inhumas

---

Inhumas, 21 de março de 2022.

Documento assinado eletronicamente por:

- Elaine Alves de Faria Braga , COORDENADOR - FUC1 - INH-2CCSLQ , em 09/04/2022 10:05:44.
- Pabline Rafaella Mello Bueno de Almeida , PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 05/04/2022 15:38:06.
- Fernando Pereira de Sa , PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 31/03/2022 17:27:44.
- Joao Baptista Chieppe Junior , PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 31/03/2022 13:08:31.
- Elisangela Cardoso de Lima Borges , PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 31/03/2022 10:00:43.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 25/03/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 262817

Código de Autenticação: 709458a58f



---

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Av. Universitária, S/Nº, Vale das Goiabeiras, INHUMAS / GO, CEP 75402-556  
(62) 3514-9544 (ramal: 9544)

## **AGRADECIMENTOS**

### **Por Cris...agradeço**

Em primeiro lugar eu agradeço a Deus por me direcionar na faculdade, por me fortalecer todos os dias.

Agradeço pela minha família que me ajudaram sempre me aconselhando.

Agradeço à minha filha Alice.

Agradeço aos meus amigos que me ajudaram mesmo quando eu estava desanimada eles estavam ali juntos.

Agradeço a Profa. Elisangela além de ser minha orientadora, ela foi uma mãe, uma mulher guerreira e ao Prof. Fernando por sempre estar ao nosso lado.

Em especial, agradeço à minha amiga e companheira pelo projeto Leidimar Rezende que enfrentamos vários obstáculos.

Ao Campus IFG Inhumas por possibilitar fazer pesquisas.

## **AGRADECIMENTOS**

### **Por Leidimar....agradeço**

Primeiramente a Deus por me abençoar a cada dia nessa jornada da graduação, enfrentando os obstáculos e superando meus limites.

Ao meu esposo Ralffe, meus pais Vilson e Dinair, e minha motivação diária meu filho Raiyler. Aos meus familiares, minha sogra Maria pelo apoio, além dos amigos próximos que estiveram comigo me motivando.

À Cris Lemes minha amiga e companheira de TCC.

Aos professores do IFG e, em especial, a Profa. Elisangela Cardoso de Lima Borges (orientadora) carinhosamente chamada de mãe Elis, pelo incentivo, correções, e não deixar desistir e ao Prof. Fernando de Sá pelo apoio e motivação para dar continuidade a graduação.

Ao Instituto Federal de Ciência, Educação e Tecnologia de Goiás - Campus Inhumas, pelo apoio, espaço e liberdade de fazer pesquisa nos laboratórios e utilização de equipamentos. Ao Programa Institucional de Bolsa de Iniciação a Docência (PIBID) pela bolsa de Iniciação à Docência concedida, onde tive oportunidade de aprender muito, com as discussões em grupo, abordagem de temas do cotidiano dos alunos de escolas públicas.

“Se a educação sozinha não transforma a sociedade, sem ela tampouco a sociedade muda..”

Paulo Freire

## RESUMO

Realizou-se o enriquecimento de ferro em cultivares hidropônicos de alface (*Lactuca sativa*) e determinação de ferro através de métodos de especiação química. As mudas de alface provenientes de cultivo convencional foram replantadas em solução nutritiva comercial com adições de Ferro nas concentrações de 0,03 g/L (Controle); 0,042 g/L; 0,06 g/L e sem adição de Ferro (denominado Branco). O caminho metodológico realizado foi inteiramente casualizado com 14 tratamentos de 2 repetições, totalizando 7 unidades experimentais. A solução nutritiva e o crescimento da alface foram monitoradas num período de 65 dias em termos de pH, condutividade e oxigênio dissolvido. O estudo dos resultados da extração de ferro (folhas+raízes) foi realizado no laboratório. Primeiramente, as amostras foram secas em estufas com ventilação e, aplicou-se a metodologia sequencial com 5 extratores: Extrator A (cloreto de cálcio 1,0 mol/L); Extrator B (ácido acético 0,1 mol/L com acetato de amônio 5% m/v [pH=5,0]); Extrator C (ácido acético 0,5 mol/L); Extrator D (NaOH pH 12) e Extrator E (HCl 2,0 mol/L). A quantificação de ferro foi realizada pela técnica instrumental espectrofotométrica utilizando-se o método o-fenantrolina. O rendimento de ferro enriquecido foi baixo devido a falhas operacionais principalmente na solução nutritiva como falta do bombeamento da solução, concentração inadequada de alguns micro-macro nutrientes e dosagem de volume inadequada na sua reposição durante o cultivo além da grande exposição à radiação solar.

**Palavras-chaves:** Hidroponia; Enriquecimento; Ferro; Alface.

## SUMÁRIO

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG ..... | 4  |
| DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA.....                                             | 4  |
| 1 INTRODUÇÃO.....                                                                         | 13 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....                                                             | 14 |
| 2.1 Ferro na alimentação humana.....                                                      | 14 |
| 2.2 Biofortificação de Ferro na alimentação humana.....                                   | 16 |
| 2.3 Bio – disponibilidade e acessibilidade - de ferro para o organismo.....               | 16 |
| 2.4 Especificação Química de ferro nos alimentos.....                                     | 17 |
| 3 OBJETIVOS.....                                                                          | 21 |
| 3.1 OBJETIVO GERAL .....                                                                  | 21 |
| 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....                                                            | 21 |
| 4 METODOLOGIA .....                                                                       | 21 |
| 4.1 Materiais.....                                                                        | 21 |
| 4.2 Construção da estufa .....                                                            | 22 |
| 4.3 Limpeza das mudas de alface .....                                                     | 24 |
| 4.4 Preparo da Solução nutritiva .....                                                    | 24 |
| 4.4.1 Método de plantio.....                                                              | 25 |
| 4.4.2 Monitoramento da solução nutritiva .....                                            | 26 |
| 4.5 Preparo da alface para extração sequencial.....                                       | 28 |
| 4.5.1 Preparo da extração sequencial e total .....                                        | 28 |
| 4.5.2 Curva Analítica.....                                                                | 29 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                                                            | 29 |
| 5.1.1 Aspecto visual do crescimento .....                                                 | 29 |
| 5.1.2 Monitoramento da solução nutritiva .....                                            | 30 |
| 5.1.3 Coleta da Alface .....                                                              | 34 |
| 5.1.4 Reação de ferro com o-fenantrolina .....                                            | 36 |
| 5.1.5 Curva Analítica.....                                                                | 36 |
| 5.1.6 Ferro enriquecido na Alface .....                                                   | 38 |
| 6 CONCLUSÃO.....                                                                          | 42 |
| 7 DIVULGAÇÃO DO TRABALHO .....                                                            | 43 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                                          | 44 |

# 1 INTRODUÇÃO

A falta de ferro no organismo tanto em crianças, mulheres e gestantes causa anemias profundas, e tem o risco até de óbito (DA SILVA; COELHO, 2018). A anemia é uma das manifestações mais comuns de doenças, principalmente em países subdesenvolvidos, tendo resultado a redução do número de células vermelhas, ou da hemoglobina no sangue.

Segundo Pedrosa; Aragão Neto, 2017 a Organização mundial da Saúde (OMS) define anemia nutricional como a condição na qual o conteúdo de hemoglobina do sangue está abaixo dos valores considerados normais para a idade, o sexo, o estado fisiológico e a altitude, sem considerar a causa da deficiência.

O ferro é um micronutriente essencial ao corpo humano. Os adultos contêm de 3 a 4 g de ferro, sendo que a maior parte está na hemoglobina, pigmento dos glóbulos vermelho. O restante está presente no fígado, como reserva, e em menor quantidade nos rins, baço e outros órgãos (ABREU *et al.*; 2017). Ele desempenha um papel muito importante no transporte de oxigênio e na respiração celular e pode ser encontrado em alimentos como cereais, hortaliças de folhas verdes, leguminosas, carne, fígado (MARTINS; BASÍLIO; SILVA, 2019).

Diversos estudos na literatura vêm apresentando o potencial do cultivo de plantas pelo sistema hidropônico. De acordo com o levantamento realizado para o período entre 2016 à 2021, aplicando o termo “sistema hidropônico” encontrou-se 2.980 referências no banco de dados Google Acadêmico, com destaque para o tomate e a alface. No banco de dados Scielo encontrou-se 50 referências com as mesmas hortaliças como destaque.

De acordo com a etimologia grega, o termo hidroponia (*hydro* = água e *ponos* = trabalho) quer dizer ‘trabalho com a água’, ou seja, emprega técnicas para cultivar plantas sem o uso do solo, de forma que os nutrientes minerais essenciais são fornecidos às plantas na forma de uma solução nutritiva (MARROCOS *et al.*, 2007).

Os nutrientes necessários para o desenvolvimento e produção da planta são fornecidos por meio da solução nutritiva ou água enriquecida, contendo vários nutrientes. A solução possui como elementos principais o nitrogênio, potássio, fósforo, magnésio e cálcio dissolvidos na forma de sais (CORNACHINI; COLETTI, 2011).

O conjunto de técnicas chamado hidropônica foi criado há muito tempo e, em 1930, William Frederick Gericke (n. 1882), professor e nutricionista vegetal da Universidade da

Califórnia, realizou os primeiros trabalhos hidropônicos visando o comércio, e desde então as técnicas foram se aprimorando assim como as diferentes soluções nutritivas em busca de alimentos enriquecidos (BEZERRA NETO; BARRETO, 2012).

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Ferro na alimentação humana**

Dentre os elementos essenciais ao organismo encontra-se o ferro, pois esta espécie química desempenha um papel ativo no metabolismo, como transporte de oxigênio e dióxido de carbono no sangue e destruição de peróxido de hidrogênio e síntese de DNA (TEIXEIRA, 2014).

O metabolismo do ferro é complexo porque este elemento está envolvido em muitos aspectos da vida, na função das hemácias, na atividade da mioglobina, como um componente ativo dos citocromos envolvidos no processo de respiração celular e geração de energia (TEIXEIRA, 2014), no crescimento celular atuando na síntese de ácidos nucleicos, síntese de neurotransmissores cerebrais, cofator em reações enzimáticas e outros processos metabólicos (LEMOS, *et al.*, 2012).

A quantidade de ferro estocado no organismo depende da idade, sexo da superfície corporal e também de situações onde se pode encontrar a escassez ou excesso de ferro. Crianças e mulheres possuem concentrações estocadas de ferro menores, quando comparadas aos homens conforme a Tabela 1 (LEMOS *et al.*, 2012).

**Tabela 1** – Recomendações dietéticas de ferro

| Ciclos de vida | UL | EAR | RDA / AI* |
|----------------|----|-----|-----------|
| Lactentes      |    |     |           |
| 0 - 6 meses    | 40 | ND  | 0,27*     |
| 7 - 12 meses   | 40 | 6,9 | 11        |
| Crianças       |    |     |           |
| 1 - 3 anos     | 40 | 3   | 7         |
| 4 - 8 anos     | 40 | 4,1 | 10        |
| Mulheres       |    |     |           |
| 9 - 13 anos    | 40 | 5,7 | 8         |
| 14 - 18 anos   | 45 | 7,9 | 15        |
| 19 - 30 anos   | 45 | 8,1 | 18        |
| 31 - 50 anos   | 45 | 8,1 | 18        |
| 51 - 70 anos   | 45 | 5   | 8         |
| >70 anos       | 45 | 5   | 8         |
| Gestantes      |    |     |           |
| < 18 anos      | 45 | 23  | 27        |
| 19 - 30 anos   | 45 | 22  | 27        |
| 31 - 50 anos   | 45 | 22  | 27        |
| Lactantes      |    |     |           |
| <18 anos       | 45 | 7   | 10        |
| 19 - 30 anos   | 45 | 6,5 | 9         |
| 31 - 50 anos   | 45 | 6,5 | 9         |
| Homens         |    |     |           |
| 9 - 13 anos    | 40 | 5,9 | 8         |
| 14 - 18 anos   | 45 | 7,7 | 11        |
| >19 anos       | 45 | 6   | 8         |

**EAR** Recomendação Média Estimada . **RDA/AI** Ingestão Dietética Recomendada. **UL** Limite Superior Tolerável de Ingestão.

**Fonte:** Bortolini1&Fisberg, 2010

Apesar disso o organismo humano conserva o ferro de forma muito eficiente, praticamente 90% dele é recuperado e reutilizado, sendo excretado principalmente pela bÍlis (LEMOS *et al.*, 2012).

As fontes alimentÍcias de ferro são bastante variadas desde carnes, cereais, atÍ as leguminosas como a alface (TABELA 2) permitindo “identificar a participação dos nutrientes na dieta e estimar a sua adequação frente aos padrões de referÍncia a fim de promover hábitos alimentares saudáveis” (DA SILVA *et al.*, 2019).

**Tabela 2** – Fonte de ferro em alimentos proteicos, folhosos e vegetais

| Alimentos                                    | Quantidade          | Ferro (mg)   |
|----------------------------------------------|---------------------|--------------|
| Carne de gado cozida(largato)                | 1 bife mÍdio        | 1,9          |
| Carne de gado cozida(contrafilÍ sem gordura) | 1 bife mÍdio        | 2,4          |
| Carne de gado cozida(patinho sem gordura)    | 1 bife mÍdio        | 3,0          |
| Frango cozido(coxa sem pele)                 | 2 unidades grandes  | 0,8          |
| Frango cozido (peito sem pele)               | 1 pedaço mÍdio      | 0,3          |
| Frango cozido (sobrecoca sem pele)           | 2 unidades pequenas | 1,2          |
| Agrião cru                                   | 100 g               | 3,1          |
| Alface (hidropônica)                         | 100 g               | 8,76 a 50,06 |
| Alface, roxa, crua                           | 100 g               | 2,5          |
| Caruru, cru                                  | 100 g               | 4,5          |
| Cebolinha, crua                              | 100 g               | 3,1          |
| Salsa, crua                                  | 100 g               | 3,2          |
| Taioba, crua                                 | 100 g               | 1,9          |

|                         |       |      |
|-------------------------|-------|------|
| Abobora, semente assada | 100 g | 14,9 |
| Tahine                  | 100 g | 9,0  |
| Gergelim, semente       | 100 g | 5,4  |
| Castanha do Brasil      | 100 g | 2,3  |

**Fonte:** Bortolini<sup>1</sup>&Fisberg, 2010; Lobo, 2015; Gonçalves *et al.*, 2016.

## 2.2 Biofortificação de Ferro na alimentação humana

A justificativa para uso da biofortificação em alimentos, desde o surgimento da técnica, se dá devido ao seu potencial no combate às deficiências por micronutrientes, que atingem grande parte da população mundial (GRACIANO, 2019).

Dessa maneira, a biofortificação consiste no enriquecimento nutricional dos alimentos durante a produção no campo, podendo ser realizada de duas formas: pelo melhoramento genético (convencional ou transgenia) ou pelo manejo da cultura (GRACIANO, 2019).

Rodrigues (2021) estudou a avaliação dos efeitos de bactérias benéficas (*Pseudomonas putida*) e doses de zinco (0, 10, 20 e 30 mg/dm<sup>3</sup>) sobre a produtividade na alface Vanda, visando a biofortificação agrônômica, ou seja, a biofortificação pelo manejo na cultura. Concluiu que a aplicação de Zn de 30 mg/dm<sup>3</sup> é recomendada para biofortificação da alface Vanda, representando 6% na recomendação de ingestão diária de Zn em uma porção de 50 g da alface biofortificadas.

## 2.3 Bio – disponibilidade e acessibilidade - de ferro para o organismo

O ferro tem habilidade em aceitar e doar elétrons que o torna imprescindível para diversas reações biológicas. No corpo humano pode ser encontrado em dois principais reservatórios, como ferro funcional, encontrado na hemoglobina, mioglobina e enzimas; e como ferro não funcional, armazenado no fígado, no baço e na medula óssea. Também sendo possível classificá-lo em ferro-heme e ferro não-heme.

A espécie ferro-heme é encontrado na hemoglobina, mioglobina e algumas enzimas. O heme é sintetizado em todas as células nucleadas, sendo que a maior quantidade é produzida pelo tecido eritroide. Já o ferro não-heme é aquele que é proveniente predominantemente dos alimentos de origem vegetal, em alguns alimentos de origem animal e nas enzimas não - heme (RODRIGUES, 2018; GROTO, 2010)

Para a caracterização das propriedades nutricionais dos alimentos, muitas vezes negligencia-se o fato de que nem toda a quantidade de um determinado nutriente presente em

um alimento é liberado para uma possível absorção no intestino humano. Para se entender o motivo de tal fato é necessário a introdução dos conceitos de biodisponibilidade e bioacessibilidade (TEIXEIRA 2014).

Biodisponibilidade refere-se a fração de um nutriente em um dado alimento que é disponível para ser usado nas funções fisiológicas ou para ser estocado: Isto é, somente certas quantidades de todos os nutrientes de um alimento serão usados efetivamente pelo organismo em processos metabólicos (TEIXEIRA 2014).

Bioacessibilidade refere-se a quantidade de um determinado nutriente presente em um alimento que é liberada no trato gastrointestinal durante a digestão. Nem todo o conteúdo deste nutriente presente no alimento é liberado durante a digestão, sendo que o conteúdo liberado é considerado a fração bioacessível para a absorção pelo organismo (TEIXEIRA 2014).

De acordo com Lemos *et al.* (2012) em sua revisão sistemática a respeito da biofortificação de ferro em alimentos, a eficácia da suplementação de ferro em alimentos fortificados é uma medida preventiva que pode proporcionar o conhecimento adequado sobre os benefícios do uso de alimentos fortificados aos profissionais da área da saúde e da população geral, para que seja incorporado na alimentação da população brasileira como alternativo alimentar a saúde.

Mesmo que haja um indicador da quantidade do mineral ferro para consumo diário pelos seres humanos, isto não pode ser um fator significativo para o aumento de consumo por suplementos vitamínicos e minerais. Por isso, há a necessidade de criação de um programa acessível com alimentos fortificados destinado, principalmente, à classes sociais mais afetadas por uma qualidade nutricional diária.

## **2.4 Especificação Química de ferro nos alimentos**

A quantidade de ferro que a planta e que o corpo humano absorvem pode ser obtida através de uma análise de especificação química, que consiste em um estudo sobre a quantificação das diferentes espécies químicas de um elemento químico que compõe a amostra (JARDIM; KONIG; PEARSON, 1983).

As raízes das plantas absorvem Fe da solução do solo mais prontamente como íons  $\text{Fe}^{2+}$  (ferroso), mas também, em alguns casos, como íons  $\text{Fe}^{3+}$  (férico). A natureza química do Fe permite que ele desempenhe papel essencial em reações de oxidação e redução, respiração, fotossíntese e reações enzimáticas. Por exemplo, o Fe é um importante componente de enzimas usadas por bactérias fixadoras de nitrogênio.

A concentração de Fe nos tecidos foliares varia entre as espécies de plantas, mas geralmente situa-se entre 50 ppm e 250 ppm (base em peso seco). Se a concentração de Fe for menor do que 50 ppm, geralmente há sinais de deficiência (FIGURA 1), ao passo que efeitos tóxicos podem ser observados quando a concentração excede 500 ppm (FIGURA 2).

**Figura 1** – Deficiência de Ferro em plantas



Deficiência de ferro em soja (esquerda), sorgo (no meio) e trigo (direita).

Fonte: IPNI, 2022

**Figura 2** – Sintomas de toxidez de Fe em plantas jovens de *Eugenia uniflora* L., 45 dias após tratamento com diferentes concentrações de FeEDTA



Fonte: Jucoski et al., 2016.

Segundo Andrade, Alves e Takase (2005):

*Para especiação em amostras sólidas, inicialmente deve ser aplicado um método de extração, que pode ser seletivo ou seqüencial. Um elemento pode estar presente em um sólido sob a forma de espécies adsorvidas na superfície, como precipitados, em sítios de troca iônica nas superfícies das partículas, como co-precipitados, ocluídos ou como compostos de coordenação. Quando a extração seqüencial é aplicada, está baseada na progressão de extratores fracos, como a água, até um extrator forte, como um ácido concentrado.*

*Os primeiros extratores geralmente são aqueles com propriedades de troca iônica, deslocando íons de sítios iônicos específicos, sendo representados por soluções iônicas, como o cloreto de magnésio e de cálcio e nitrato de sódio.*

*Ao resíduo separado deste primeiro extrator são utilizados extratores com propriedades de dissolução de carbonatos, já que metais ligados a carbonatos são sensíveis à variação de pH. Estes são representados por solução tampão de ácido acético/acetato de amônia pH 5,0. Os extratores com propriedades de redução ácida continuam o processo de extração (no mesmo resíduo filtrado) e promovem a dissolução de oxi-hidratos de ferro e manganês, tendo como exemplo a solução diluída de ácido acético.*

*Por fim, dois últimos extratores são utilizados: primeiro aqueles que enfraquecem a ligação do metal com compostos orgânicos e sulfetos, representados por soluções ácidas de peróxido de hidrogênio, soluções de hidróxido de sódio pH 12,0, pois permitem a degradação da matéria orgânica, por hidrólise ou oxidação, facilitando a liberação dos metais; e segundo são utilizados extratores que promovem a dissolução dos silicatos e minerais, representados por ácidos fortes, como HCl 2,0 mol/L.*

## 3 OBJETIVOS

### 3.1 OBJETIVO GERAL

Realizar adições de ferro no cultivo de alface hidropônica para produzir um alimento, comum às mesas brasileiras, com maior teor de ferro.

### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir uma estufa do sistema de plantio hidropônico para o cultivo de alface crespa em local adequado no IFG- Campus Inhumas utilizando medições condizentes com o experimento; □ Realizar cálculos estequiométricos para preparar as soluções nutritivas;
- Diferenciar a solução nutritiva-mãe, ou seja, com todos os nutrientes exceto o ferro, das soluções fortificadas, ou seja, soluções nutritivas-mãe com adição de ferro;
- Registrar diariamente as análises de pH, condutividade e oxigênio dissolvido das soluções de cultivo da alface como também aspectos físicos do desenvolvimento da alface (cor, tamanho da raiz e folha, doenças aparentes);
- Realizar a extração sequencial de ferro por aplicação da metodologia de Andrade, Alves e Takase (2005) para especiação;



- Executar análises estatísticas dos parâmetros físicos e químicos estudados; □ Divulgar os resultados.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Materiais

#### □ Reagentes para a solução nutritiva

Nitrato de Cálcio  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  HIDROPONIC solúvel em água  
[Embalagem nº 1, contém 750 g/1000 L de N (15,5%), Ca (18,5%), CaO (25,5%)]

Fertilizante Mineral Misto HIDROPONIC solúvel em água  
[Embalagem nº 2, contém 517 g/1000 L de N (12%);  $\text{K}_2\text{O}$  (45%), S (1,2%)]

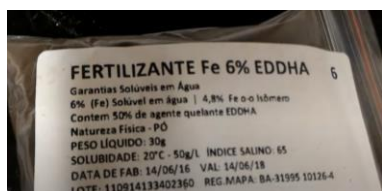
Fosfato Monoamônico HIDROPONIC solúvel em água

[Embalagem nº 3, contém 150 g/1000 L de N (12%),  $P_2O_5$  (61%)]

Sulfato de Magnésio Heptahidratado HIDROPONIC solúvel em água [Embalagem nº 4, contém 450 g/1000 L de Mg (9%), S (11%)]



Micro Light HIDROPONIC solúvel em água [Embalagem nº 5, contém 10 g/1000 L de Boro (4,10%); Cu-EDTA (4,09%); Mn-EDTA (4,09%); Mo (0,916%), Ni (0,814 %), Zn-EDTA (1,60%)]



Fe- EDTA HIDROPONIC solúvel em água [Embalagem nº 6, contém 30 g/1000 L de Ferro (6%), Fe o-o isômero (4,8%), EDDHA (50%)]



#### □ Equipamento para monitoramento da solução nutritiva

Medidor multiparâmetros (sonda de oxigênio dissolvido, sonda de condutividade/salinidade, eletrodo de pH, termômetro) para análise da solução nutritiva (marca AKROM, modelo kr8405).

## 4.2 Construção da estufa

A construção da estufa foi feita com canos de PVC  $\frac{3}{4}$ , Emendas de cano  $\frac{3}{4}$ , cola, abraçadeiras de nylon, e tela sombrite nas laterais (FIGURA 1). A montagem consistiu em uma estrutura

sob a forma de casa nas dimensões de 2,0 m x 1,0 m x 1,40 m com espaço suficiente para a armazenagem das mudas.

**Figura 1.** Estrutura da estufa



(a) Armação com tubos PVC



(b) Tela de sombrite nas laterais

Fonte: Própria autora

Os materiais para construção da estufa foram adquiridos com recursos do PROAPP Edital 06/2014. A cobertura do teto não foi realizada devido à demora na compra do material (lona transparente 150 micra).

O plantio foi realizado no dia 13 de julho de 2015 por volta das 18 horas. O cultivo perdurou até o dia 01 de setembro de 2015 por volta das 17 horas, com duração total de 36 dias. A estufa estava localizada em frente ao Laboratório de Energia e Meio Ambiente e os cultivares hidropônicos armazenados em garrafa PET e mantido sobre a grama. A luz solar incidia diretamente nas mudas da parte superior da estufa por não haver cobertura de teto mas, nas laterais a luz era reduzida pela tela mosquiteiro preta que havia em volta.

Segundo dados meteorológicos da estação de Anápolis (WEATHER SPARK, 2015), situada a 67,8 km de Inhumas, a temperatura do ar no período de plantio variou entre 29 – 33°C, com poucas nuvens, sem ocorrência de chuva, clima seco e ventos em média de 10 km/h.

### 4.3 Limpeza das mudas de alface

A espécie de alface escolhida foi a *Lactuca Sativa*, popularmente conhecida como alface crespa e foram adquiridas com um sítio local, armazenadas em bandeja de isopor feita para plantio em solo (FIGURA 2).

**Figura 2** - Limpeza das mudas de alface crespa



Fonte: Própria autora

Ao adquiri-las, alfaces foram retiradas da bandeja e realizada a limpeza de suas raízes com água para que não tivesse nenhum resíduo de terra de adubação.

### 4.4 Preparo da Solução nutritiva

Em um frasco de 5 litros preparou-se a solução nutritiva fazendo-se o ajuste somente para 4 litros com água destilada.

Embalagem 1: Nitrato de Cálcio - pesou-se cerca de 3,0 g, dissolveu-se em 500 mL de água destilada morna a 40 °C. Após a completa solubilização, transferiu todo este conteúdo para o frasco de 5 L (pesou-se 2,9868 g – ideal na precisão).

Embalagem 2: Fertilizante Mineral Misto - pesou-se cerca de 2,0 g, dissolveu-se em 500 mL de água destilada temperatura ambiente. Após a completa solubilização, transferiu todo este conteúdo para o frasco de 5 L (pesou-se 2,0648 g – ideal na precisão).

Embalagem 3: Fosfato Monoamônico – pesou-se cerca de 0,6 g, transferiu todo este conteúdo sólido para o frasco de 5 L (pesou-se 0,5868 g – ideal na precisão).

Embalagem 4: Sulfato de Magnésio Heptahidratado – pesou –se 1,8 g, transferiu todo este conteúdo sólido para o frasco de 5 L (pesou-se 1,03 g, este valor ficou 43% abaixo do ideal).

Embalagem 5: Micros Light – pesou-se cerca de 0,04 g, transferiu todo este conteúdo sólido para o frasco de 5 L (pesou-se 0,0206 g este valor ficou 49% abaixo do ideal).

Embalagem 6: Fe- EDTA – pesou-se diferentes massas para realizar o estudo de enriquecimento. Transferiu-se cada conteúdo sólido para frascos distintos e, em seguida realizou-se a diluição final para 4 litros, sendo depois separado 2 L para cada duplicata A e B.

1. Branco da amostra - sem adicionar Fe-EDTA
2. Recomendado para hidroponia - Controle = 0,1200 g Fe-EDTA (0,03 g/l)
3. Fortificação 1 (F1) = 0,1680 g Fe-EDTA (0,042 g/l)
4. Fortificação 2 (F2) = 0,2400 g Fe-EDTA (0,06 g/l)

#### 4.4.1 Método de plantio

Em garrafas PET de 2 L fez-se dois furos centrais e longitudinais; o primeiro para o cultivo da alface e o segundo para as medições analíticas (FIGURA 3).

**Figura 3** - Indicação do posicionamento da alface e das medições analítica na garrafa PET



Fonte: Própria

A raiz da alface foi enrolada em algodão para proteger a muda do atrito com o corte feito na garrafa PET e para sua melhor fixação. Em cada garrafa PET adicionou-se 2 L de solução nutritiva com Fe conforme os tratamentos experimentais, (FIGURA 4).

**Figura 4** - Distribuição e identificação da fortificação de ferro na alface



Fonte: Própria

A cada semana houve o ajuste para 2 litros das soluções nutritivas sendo possível assim observar a coloração das soluções e ser feito o controle dos parâmetros de pH, oxigênio, condutividade. Não houve bombeamento da solução nutritiva e nem de ar (a compra dos materiais não foram aprovados).

#### 4.4.2 Monitoramento da solução nutritiva

Durante o período de crescimento das alfaces que durou 65 dias, iniciado no dia 13 de julho de 2015 até 15 de setembro de 2015 (QUADRO 1), executou-se o monitoramento do pH, condutividade (mV/cm) e oxigênio dissolvido (g/L) das soluções nutritivas e, também anotação quanto ao aspecto visual das folhas de alface, no período vespertino, por volta das 15:00 h, não fazendo-o nos finais de semana.

**Quadro 1** – Datas dos monitoramentos

| Semana | Data      | Dia |
|--------|-----------|-----|
| 2a     | 13/jul/15 | 1   |
|        | 14/jul/15 |     |
|        | 15/jul/15 |     |

| Semana  | Data      | Dia |
|---------|-----------|-----|
| sábado  | 15/ago/15 | 34  |
| domingo | 16/ago/15 |     |
| 2a      | 17/ago/15 |     |

|         |           |    |
|---------|-----------|----|
|         | 16/jul/15 | 4  |
|         | 17/jul/15 |    |
| sábado  | 18/jul/15 |    |
| domingo | 19/jul/15 |    |
| 2a      | 20/jul/15 | 8  |
|         | 21/jul/15 |    |
|         | 22/jul/15 |    |
|         | 23/jul/15 |    |
|         | 24/jul/15 | 12 |
| sábado  | 25/jul/15 |    |
| domingo | 26/jul/15 |    |
| 2a      | 27/jul/15 |    |
|         | 28/jul/15 | 16 |
|         | 29/jul/15 |    |
|         | 30/jul/15 |    |
|         | 31/jul/15 | 19 |
| sábado  | 01/ago/15 |    |
| domingo | 02/ago/15 |    |
| 2a      | 03/ago/15 |    |
|         | 04/ago/15 | 23 |
|         | 05/ago/15 |    |
|         | 06/ago/15 |    |
|         | 07/ago/15 |    |
| sábado  | 08/ago/15 |    |
| domingo | 09/ago/15 |    |
| 2a      | 10/ago/15 | 29 |
|         | 11/ago/15 |    |
|         | 12/ago/15 |    |
|         | 13/ago/15 |    |
|         | 14/ago/15 |    |

|         |           |    |
|---------|-----------|----|
|         | 18/ago/15 |    |
|         | 19/ago/15 | 38 |
|         | 20/ago/15 |    |
|         | 21/ago/15 |    |
| sábado  | 22/ago/15 |    |
| domingo | 23/ago/15 |    |
| 2a      | 24/ago/15 | 43 |
|         | 25/ago/15 |    |
|         | 26/ago/15 |    |
|         | 27/ago/15 |    |
|         | 28/ago/15 | 47 |
| sábado  | 29/ago/15 |    |
| domingo | 30/ago/15 |    |
| 2a      | 31/ago/15 |    |
|         | 01/set/15 | 51 |
|         | 02/set/15 |    |
|         | 03/set/15 |    |
|         | 04/set/15 |    |
| sábado  | 05/set/15 |    |
| domingo | 06/set/15 |    |
| 2a      | 07/set/15 | 57 |
|         | 08/set/15 |    |
|         | 09/set/15 |    |
|         | 10/set/15 |    |
|         | 11/set/15 | 61 |
| sábado  | 12/set/15 |    |
| domingo | 13/set/15 |    |
| 2a      | 14/set/15 |    |
| 3a      | 15/set/15 | 65 |

Fonte: Própria autora

#### 4.5 Preparo da alface para extração sequencial

No laboratório de alimentos do campus após a colheita foram separadas folhas e talos das alfaces porém, ambas as amostras foram secas em estufa com ventilação forçada por 48 h. à 50 °C (FIGURA 5). Após esse período, as amostras foram moídas e armazenadas em dessecador.

**Figura 5** - Estufa com as amostras frescas prontas para começar a secagem.



Fonte: Própria

##### 4.5.1 Preparo da extração sequencial e total

A extração de ferro se deu por metodologias de extração sequencial (ANDRADE; ALVES; TAKASE, 2005) para amostras de solo. Cerca de 1,6 g de amostra seca (folha + tronco + raiz) foram suspensas em um volume de 25 mL de cada extrator sequencial ficando em contato durante 1 hora com agitação rotacional constante, depois foram deixadas em repouso para decantação e posterior filtração (filtro 102 micra). O filtrado foi separado para análise imediata de ferro e o resíduo foi submetido ao próximo extrator. A sequência de extrações segue abaixo e não pode ser alterada:

- Extrator 1 - propriedades de troca de iônica: solução de cloreto de cálcio 1,0 mol/L; ➤ Extrator 2 - propriedades de dissolução de carbonatos: solução de ácido acético 0,1 mol/L com acetato de amônio 5% m/v [pH=5,0];
- Extrator 3 – propriedades de redução ácida: solução de ácido acético 0,5 mol/L;
- Extrator 4 - propriedades de enfraquecimento da ligação metálica com compostos orgânicos e sulfetos: solução de NaOH pH 12;
- Extrator 5 – propriedades de dissolução dos silicatos e minerais: solução de HCl 2,0 mol/L.

A determinação de ferro de cada extrator foi realizada por espectrofotometria na região do visível (BEL, monofeixe, caminho óptico 1 cm, cubeta quartzo, comprimento de onda 511 nm) utilizando a metodologia 1,10-fenatrolina conforme Teixeira *et al.* (2006): transferiu-se para um balão volumétrico de 25 mL uma alíquota de 10 mL da solução de amostra e acrescentou-se 1 mL da solução de ácido ascórbico 1% m/v (Vetec, P.A. ACS). Adiciona-se então, 4 mL da solução de 1,10-fenantrolina 0,25% m/v (Neon, P.A. ACS, monohidratada) e 5 mL da solução tampão acetato pH 4,5 (Dinâmica). Completou-se o volume com água destilada, agitou-se, aguarda-se 10 minutos e mediu-se a absorbância do complexo em 511 nm.

Todos os reagentes foram previamente secos antes de aferir a massa necessária.

#### **4.5.2 Curva Analítica**

A verificação da sensibilidade instrumental foi realizada por meio de curva analítica preparada com 7 soluções de trabalho com concentrações crescentes de ferro: 0; 1,0; 5,0; 8,0; 50,0; 500,0 e 800,0 µg/L.

Primeiramente, secou-se o sal de ferro,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (Química Moderna, teor: 99,0 - 101%), à 110 °C por 30 min., para preparar uma solução estoque 1,0 g/L. Em um balão volumétrico de 25 mL adicionou-se 0,025 g do sal seco mais 0,5 mL de ácido sulfúrico concentrado (Exodo P.A., 98%). Ajustou-se o volume e reservou-se para o preparo das soluções de trabalho da curva analítica em o-fenantrolina.

A determinação de ferro pelo método o-fenantrolina seguiu a proporção dos reagentes descritas para as amostras de alface: balão volumétrico de 25 mL; alíquota de solução padrão de ferro; 1 mL da solução de ácido ascórbico; 4 mL da solução de 1,10-fenantrolina; 5 mL da solução tampão acetato, completou-se o volume com água, agitou-se, aguarda-se 10 min. e mediu-se a absorbância do complexo em 511 nm. Utilizou-se um branco do reagente, preparado da mesma forma que as soluções padrões sem a adição do analito.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1.1 Aspecto visual do crescimento**

Percebe-se na foto da Figura 6 (a) que as mudas de alface estão na fase inicial do cultivo, apresentavam bom aspecto, boa aceitação da solução nutritiva, o que favoreceu o bom crescimento durante as primeiras três semanas do cultivo. Já na foto da Figura 6 (b) última

semana experimental foi possível observar que os pés de alface tiveram baixo desenvolvimento no seu crescimento, diminuição de folhas, o que provavelmente foi ocasionado pelas altas temperaturas, incidência direta de raios UV, chuva e insetos devido a falta de cobertura da estufa.

**Figura 6** – Fotografia do cultivar de alface (a)  
Primeiras semanas



(b) Última semana

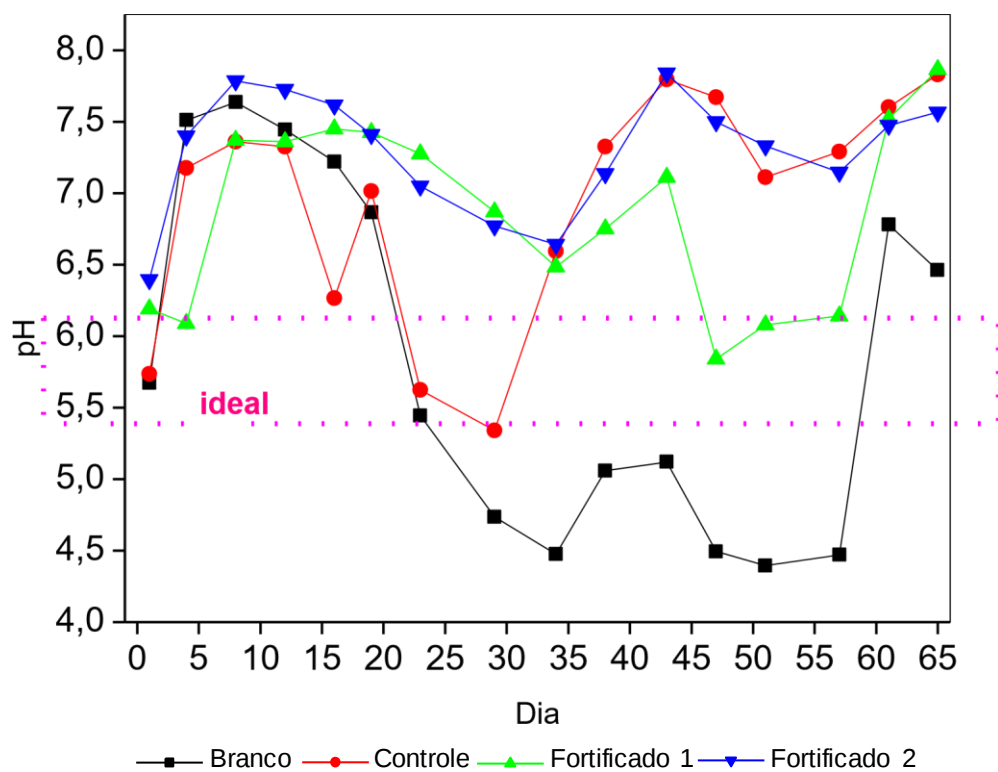


Fonte: Própria autora

### 5.1.2 Monitoramento da solução nutritiva

O monitoramento do pH (FIGURA 7), condutividade (mS/cm) (FIGURA 8), e oxigênio dissolvido (mg/L) (FIGURA 9), nas soluções nutritiva das amostras fortificadas e controle para alface correspondeu até o 36º dia de seu crescimento no plantio hidropônico.

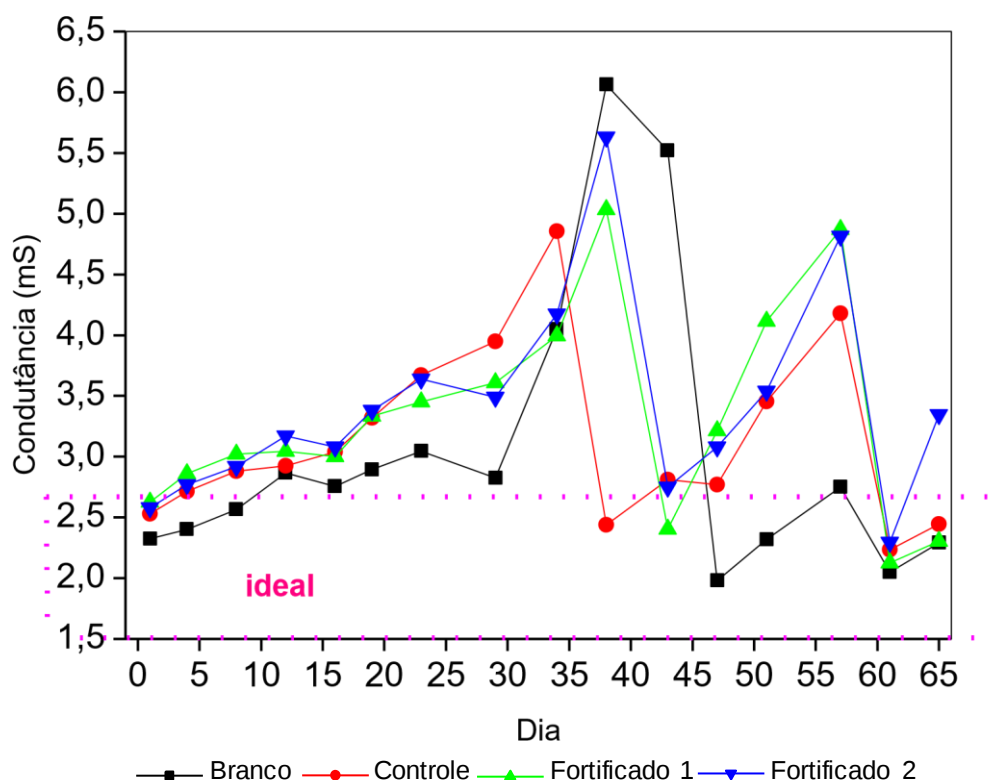
**Figura 7** - Gráfico do monitoramento químico de pH na solução nutritiva



Fonte: própria autora

Marrocos *et al.* (2007) e Carmello (1996) afirmam que o valor mais adequado de pH para o desenvolvimento das espécies de alface está entre 6,0 e 6,5. Neste trabalho a variação de pH foi de 4,6 a 8,4.

**Figura 8** - Gráfico do monitoramento químico da condutividade iônica na solução nutritiva



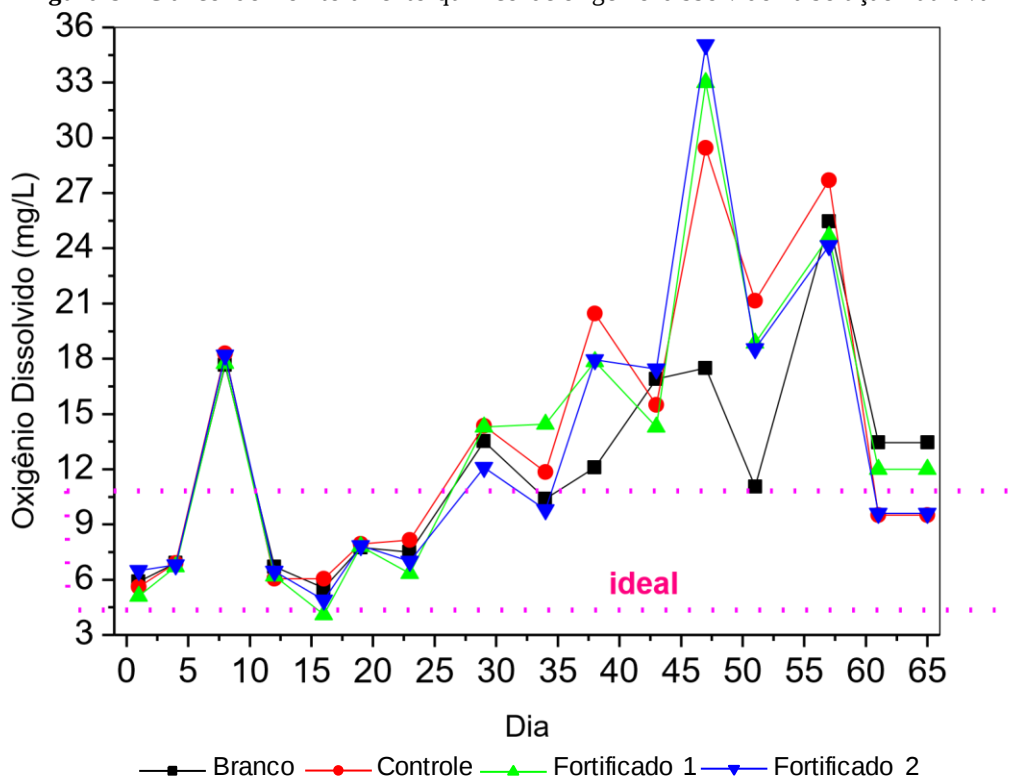
Fonte: própria autora

Segundo Barbieri *et al.* (2010) as maiores produtividades de alface ocorrem com a condutividade elétrica variando entre 0,75 e 1,5 mS/cm para condições de temperatura tropical; neste trabalho a condutividade se encontrava entre 1,98 a 29,45 mS/cm.

Barbieri *et al.* (2010) diz que se a condutividade igualar ou ficar menor a 0,5 mS/cm a produção da parte aérea da alface é reduzida em até 52%, quanto ao aumento na condutividade para 2,0 mS/cm provoca a redução da produção da parte aérea em 36%. Assim, tanto a diluição excessiva quanto o aumento da salinidade promovem redução da produção de fitomassa.

Junior (2008) em sua pesquisa detectou que durante a absorção de nutrientes pelas plantas de alface cultivadas hidroponicamente, ocorre uma diminuição de todos os elementos da solução nutritiva, refletindo, portanto na condutividade elétrica. Existe muita controvérsia com relação ao melhor valor de condutividade elétrica a ser adotado para o cultivo da alface em hidroponia. Acredita-se também que esses valores devem variar de acordo com a cultivar adotada, bem como com as condições climáticas.

**Figura 9** - Gráfico do monitoramento químico de oxigênio dissolvido na solução nutritiva



Fonte: própria autora

A falta de bombeamento das soluções nutritivas também acarretou menor crescimento do cultivar de alface. Marrocos *et al.* (2007) afirma que a aeração contínua é fundamental, pelo que haja visto que, a ausência de um fluxo de ar na solução nutritiva provocará o crescimento de algas e mudanças drásticas no equilíbrio do meio. Desta forma ocorrerá frequentemente uma alta concentração de nutrientes na solução, em função da alta taxa de evapotranspiração, alterando também o pH e aumentando consideravelmente a temperatura da solução nutritiva, dificultando a absorção de nutrientes, e consequentemente prejudicando o desenvolvimento das plantas.

Ao analisar as curvas de pH, condutividade e oxigênio, em cada gráfico observou-se grandes variações no desvio padrão. As seguintes hipóteses que possam justificar esses resultados nas medidas podem ser: má calibração dos eletrodos, uso incorreto do medidor na medição, ou seja, medida de pH sem mergulhar a ponte salina, sensor de condutividade sem mergulhar abaixo dos dois orifícios rente aos eletrodos de platina e baixo nível do eletrólito no eletrodo de pH, falta da solução eletrolítica nos eletrodos e pH e oxigênio.

### 5.1.3 Coleta da Alface

As medidas físicas como o diâmetro e a umidade da alface foram realizadas nas maiores folhas, caule e raízes de cada experimento ao final do 36º dias de cultivo (FIGURA 10).

**Figura 10** - Seleção da maior folha de alface por plantio hidropônico



Fonte: Própria autora

A precisão das medidas foi estabelecida pelo poder de decisão do coeficiente de variação na qual analisa a dispersão das medidas em termos relativos. Quanto menor for o valor do coeficiente de variação, mais homogêneos serão os dados, ou seja, menor será a dispersão em torno da média. De uma forma geral (FLORES, 2014):

- $CV \leq 15\%$  → baixa dispersão: dados homogêneos (cor preta)
- $15\% \leq CV \leq 30\%$  → média dispersão (cor vermelha)
- $CV \geq 30\%$  → alta dispersão: dados heterogêneos (cor azul)

Nas tabelas abaixo tem-se a análise estatística descritiva para comprimento e largura das folhas (TABELA 3.1) na Tabela 3.2 para massa fresca e seca, umidade das folhas+raízes.

**Tabela 3.1** - Variação da quantidade por cultivar e dimensão das folhas de alface fortificadas com Fe-EDTA

|                                         | Controle | F1       | F2       | Branco   |
|-----------------------------------------|----------|----------|----------|----------|
|                                         | 120 mg   | 168 mg   | 240 mg   | 0 mg     |
| <b>número de folhas</b>                 |          |          |          |          |
| <b>Média</b>                            | 11,5     | 17,0     | 15,5     | 10,0     |
| <b>DP</b>                               | 1,5      | 4,0      | 0,5      | 2,0      |
| <b>CV, %</b>                            | 13,0     | 23,5     | 3,2      | 20,0     |
| <b>altura (h) e comprimento (c), cm</b> |          |          |          |          |
|                                         | <i>h</i> | <i>c</i> | <i>h</i> | <i>c</i> |
| <b>Média</b>                            | 26       | 15       | 30       | 16       |
| <b>CV, %</b>                            | 3,8      | 17,2     | 0,0      | 3,2      |



DP: desvio padrão da média; CV: coeficiente de variação; h: altura; c: comprimento

Fonte: Própria autora

**Tabela 3.2** - Variação das massas (folha + raiz) e umidade nas folhas de alface fortificadas com Fe-EDTA

|                        | Controle | F1     | F2     | Branco |
|------------------------|----------|--------|--------|--------|
|                        | 120 mg   | 168 mg | 240 mg | 0 mg   |
| <b>massa fresca, g</b> |          |        |        |        |
| <b>Média</b>           | 24,5     | 9,90   | 7,30   | 19,7   |
| <b>CV, %</b>           | 31,7     | 12,6   | 5,3    | 17,8   |
| <b>massa seca, g</b>   |          |        |        |        |
| <b>Média</b>           | 3,85     | 5,13   | 5,33   | 3,43   |
| <b>CV</b>              | 32,6     | 5,3    | 6,8    | 34,7   |
| <b>umidade, %</b>      |          |        |        |        |
| <b>Média</b>           | 84,3     | 47,7   | 26,5   | 83,1   |
| <b>CV, %</b>           | 0,2      | 8,1    | 33,4   | 3,7    |



DP: desvio padrão da média; CV: coeficiente de variação

Fonte: Própria autora

Observa-se que, de um modo geral, houve grande dispersão das medidas em torno da média. Essa variabilidade entre cada duplicata se deve, principalmente, a três fatores: ao preparo incorreto da solução nutritiva com o agente de fortificação (Fe-EDTA), à falta de cobertura para proteção dos raios UV no cultivar e falta de aeração.

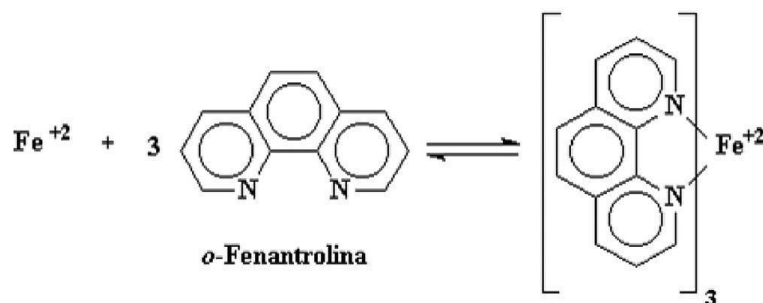
Guimarães (2018) encontrou o número de folhas para o cultivo hidropônico de alface crespa em torno de 30 unidades e, esse aumento se deve ao efeito salino na solução nutritiva, que com o aumento da salinidade a partir de 3,6 mS/cm foi observado o decréscimo no

número de folhas. Isso explica um dos motivos da não brotação de mais folhas no cultivar realizado neste projeto que atingiu a condutividade de até 29,45 mS/cm.

#### 5.1.4 Reação de ferro com o-fenantrolina

Teixeira *et al.* (2006) estudou a reação de ferro em o-fenantrolina e concluiu que há uma influência da ordem de adição de reagentes sobre a formação dos complexos do Fe(II) e verificou que melhores sinais de absorvância são obtidos quando os reagentes são adicionados na seguinte ordem: solução padrão ou amostra, redutor, reagente cromogênico e solução tampão. Além disso, como os complexos de ferro formados com a 1,10-fenantrolina são com Fe(II), utilizou-se ácido ascórbico como agente redutor sendo que a quantidade de ácido ascórbico não influencia de maneira significativa os sinais de absorvância.

**Figura 11** – Equação química do íon Fe(II) com o-fenantrolina



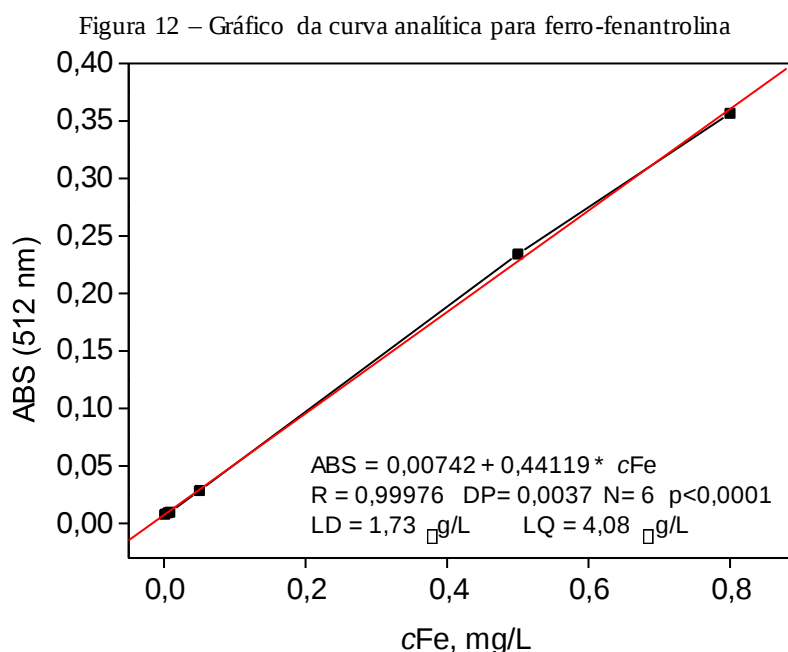
Fonte: Breitzkreitz *et al.*, 2013.

A adição de ácido sulfúrico – ácido forte – na solução estoque de sulfato ferroso serve para reprimir a hidrólise do ferro (GIORDANI DA COSTA *et al.*, 2015), ou seja, manter ferro como íon ferro (II) e não como íons hidroxilados de difícil interação para complexação com a o-fenantrolina. Teixeira *et al.* (2006) e Giodani da Costa *et al.* (2015) mostram que as variações espectrofotométricas, resultantes na utilização do método da orto-fentrolina para quantificação de ferro, são insignificantes quando se altera o potencial hidrogeniônico e/ou a força iônica das amostras.

#### 5.1.5 Curva Analítica

Para definição da faixa de trabalho a ser utilizada foi necessária a observação do limite de restrição do analito presente na legislação. Essa concentração deve encontrar-se no meio da faixa de trabalho, onde a curva analítica apresenta a menor incerteza para a

determinação da concentração. Os níveis de concentração da curva analítica foram igualmente espaçados e preparados com três repetições genuínas, ou seja, cada repetição foi preparada independentemente a partir de soluções estoque diferentes (THOMPSON *et al*, 2002).



Fonte: Própria autora

Através da curva analítica final, após sua avaliação e exclusão de possíveis valores externos, foram determinados os limites de detecção (LD) e o limite de quantificação (LQ). O método utilizado baseou-se na curva preparada no seu intervalo de confiança (MILLER & MILLER, 1993). O limite de detecção (LD) e o limite de quantificação (LQ) foram determinados de acordo com Barros (2012), utilizando as Equações 1-4:

$$S_{LD} = S_{Branco} + 3\sigma_{Branco} \quad (\text{EQUAÇÃO 1})$$

$$LD = \frac{S_{LD}}{k} \quad (\text{EQUAÇÃO 2})$$

Onde:  $S_{LD}$  é o sinal analítico médio do limite de detecção;  $S_{branco}$  é o sinal analítico do branco;  $\sigma_{Branco}$  é o desvio do branco;  $k$  é o coeficiente angular da curva analítica.

$$S_{LQ} = S_{Branco} + 10\sigma_{Branco} \quad (\text{EQUAÇÃO 3})$$

$$LQ = \frac{S_{LQ}}{k} \quad (\text{EQUAÇÃO 4})$$

Onde:  $S_{LQ}$  é o sinal analítico médio do limite de quantificação;  $S_{branco}$  é o sinal analítico do branco;  $\sigma_{branco}$  é o desvio do branco;  $k$  é o coeficiente angular da curva analítica.

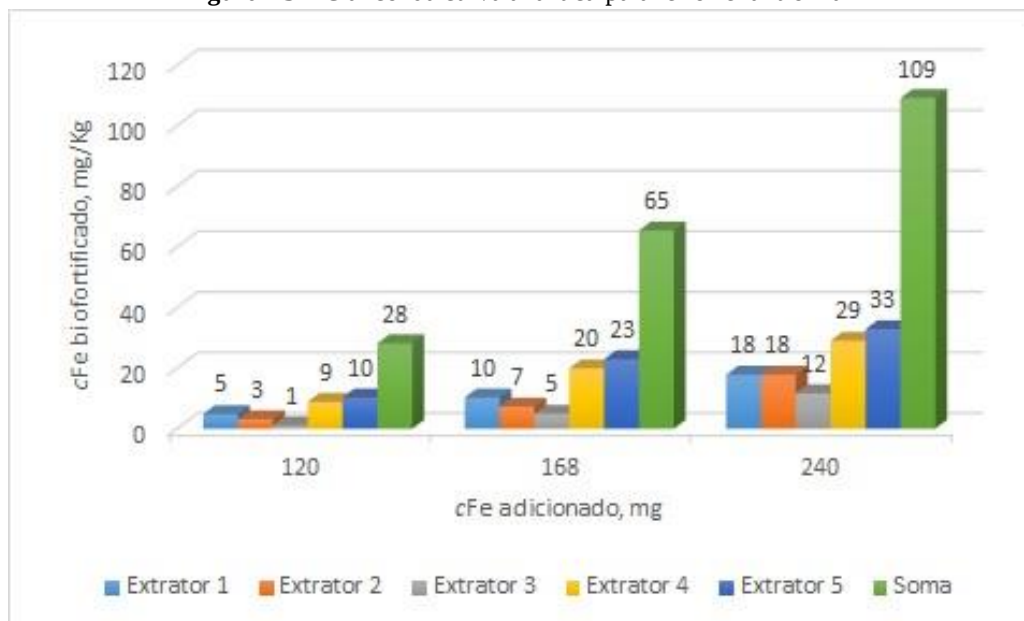
Manoel (2011) em sua pesquisa considera que o limite de detecção refere-se à menor concentração do analito que pode ser detectada, de modo visual ou de modo mecânico por métodos utilizando os parâmetro da curva analítica, e o limite de quantificação é definido como a menor concentração do analito que pode ser quantificada na amostra com exatidão e precisão aceitáveis, sob as condições experimentais adotadas, sendo expressa da mesma forma que o limite de detecção.

### 5.1.6 Ferro enriquecido na Alface

Todas as leituras de ferro nas amostras de alface para cada tipo de extrator foram precisas, com o coeficiente de variação entre 0,0 a 0,27% e, aceitáveis estando acima do limite do quantificação.

A folha da alface crespa possui cerca de 4 mg/kg de ferro (TACO, 2017) e, com a biofortificação de 168 e 240 mg a razão entre a adição de ferro e o valor de referência foi de aumento para 16,3 e 27,3 vezes, respectivamente, em relação ao controle como pode ser observado pela soma de ferro extraído (□ extratores) na Figura 13.

**Figura 13** – Gráfico da curva analítica para ferro-fenantrolina



Fonte: Própria autora

Numa análise para qual forma o ferro se encontra ligado aos componentes químicos da alface observa-se, primeiramente, uma homogeneidade quanto essas formas de interação do

ferro para os três estudos de adição de ferro, ou seja, as maiores concentrações de ferro por massa de alface encontram-se distribuídas na seguinte ordem:

Extrator 5 > Extrator 4 > Extrator 1 > Extrator 2 > Extrator 3

Como já era esperado, o uso de Extrator 5 – HCl 2,0 mol/L, um ácido forte - promoveu a dissolução dos silicatos e minerais, por isso, há uma maior concentração de ferro. O Extrator 4 – solução de NaOH pH 12 – enfraqueceu a ligação do ferro com compostos orgânicos e sulfetos, permitindo a degradação da matéria orgânica, por hidrólise ou oxidação, facilitando a liberação deste elemento químico.

Os primeiros extratores geralmente são aqueles com propriedades de troca iônica, deslocando íons de sítios iônicos específicos, sendo representados por soluções iônicas (1,0 mol/L), como o cloreto de magnésio e de cálcio e nitrato de sódio (Extrator 1). Após o extrator 1, são utilizados extratores com propriedades de dissolução de carbonatos, já que metais ligados a carbonatos são sensíveis à variação de pH. Estes são representados por solução tampão de ácido acético/acetato de amônia pH 5 (Extrator 2).

Os extratores com propriedades de redução ácida continuam o processo de extração, após extração a 2, e promovem a dissolução de oxi-hidratos de ferro e manganês, tendo como exemplo a solução 0,5 mol/L de ácido acético (extrator 3).

De acordo com Andrade, Alves e Takase (2005) cada substância química utilizada na para a extração de ferro foi adicionada sequencialmente, no mesmo resíduo inicial, de tal modo a remover o ferro, primeiramente a partir de compostos com ligações mais fracas até atingir as fortes interações de rede nos silicatos. Assim sendo,

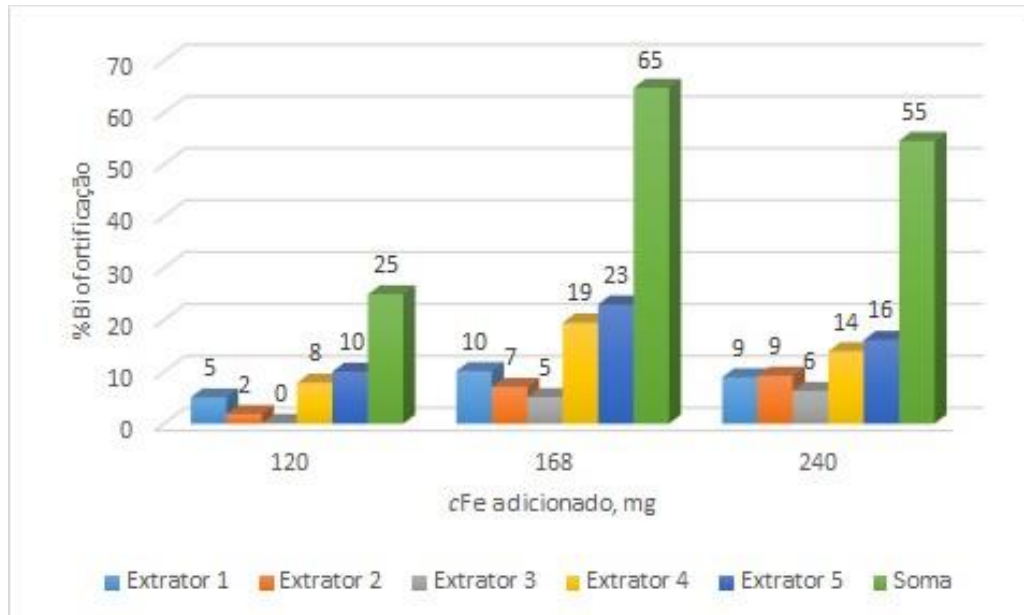
- Extrator 1 - possui propriedades de troca de iônica entre os compostos oxi-hidratos
- Extrator 2 – possui propriedades de dissolução de carbonatos
- Extrator 3 – possui propriedades de redução ácida com extração de ferro a partir de sítios iônicos
- Extrator 4 - possui propriedades de enfraquecimento da ligação metálica com compostos orgânicos e sulfetos
- Extrator 5 – possui propriedades de dissolução dos silicatos e minerais

Desse modo, ao buscar em TACO (2017) a composição química da alface, pode-se inferir que o ferro se encontra ligado a compostos orgânicos e que pode ter sido extraído com os seguintes extratores classificados abaixo:

- Extratores 5; 3 e 2 carboidratos CHO
- Extratores 5;4 e 3 compostos por Tiamina  $C_{12}H_{17}N_4OS$ , Proteínas CHONPS, Lipídeos CHONPS, Niacina  $C_6H_5NO_2$
- Extratores 5; 3 e 1 Fibra alimentar, Vitamina C -  $C_{17}H_{20}NO_6$ , Piridoxina  $C_8H_{11}NO_3$ , Colesterol  $C_{27}H_{46}O$ , retinol  $C_{20}H_{30}O$ .

A partir da diferença entre o branco e o ferro adicionado nas soluções nutritivas das amostras de alface determinou-se a taxa de recuperação de ferro adicionado ou percentual de biofortificação e, que pode ser observada no gráfico da Figura 14, sendo que no eixo X os valores 120; 168 e 240 correspondem à massa de ferro adicionado nas soluções nutritivas de acordo com o recomendado para cultivo hidropônico e as duas demais massas a adições chamada de biofortificação, respectivamente.

**Figura 14** – Histogramas para a taxa de ferro recuperado na análise dos extratores (%Biofortificação)



**Fonte:** Própria autora

Na Figura14 as frações de sítios iônicos (extrator 3) e carbonatos (extrator 2) corresponderam às espécies químicas que mais se ligaram ao ferro com o aumento da massa adicionada numa proporção de cerca de 75% a 100% as demais frações ficaram em torno de 49%, ou seja, espécies mais lábeis e mais biodisponíveis para efeitos de adsorção.

A biofortificação de ferro foi conseguida pelo cultivo hidropônico mas com uma taxa de recuperação baixa e, isso pode ser devido às más condições operacionais do cultivo como a falta de oxigenação da solução nutritiva e falhas nas técnicas de monitoramento.

## 6 CONCLUSÃO

A biofortificação de ferro apresentou pequena assimilação pela alface crespa e um mau desenvolvimento radicular e foliar.

O principal fator observado pelos resultados está na pouca absorção de água e toxidez por nutrientes. Embora rica em macro e micronutriente a planta absorve mais água que nutrientes, de modo que o preparo da solução para o início do cultivo e manutenção do volume durante o cultivo, apresentou uma crescente salinização do meio de cultivo acarretando a diminuição de absorção da água e sua contaminação.

Observou-se também uma grande variação do desvio padrão obtido nos resultados de pH, condutividade e oxigênio dissolvido prejudicando o monitoramento e as decisões sobre o preparo da solução nutritiva durante as reposição de volume.

Um novo cultivo seria ideal para a concretização dos estudos teóricos numa nova abordagem metodológica de monitoramento, cuidados com a solução nutritiva e uso de equipamentos.

## **7 DIVULGAÇÃO DO TRABALHO**

BORGES, E. C. L.; GOMES, L. R.; COSTA, C. A. L. EXTRAÇÃO SEQUENCIAL DE FERRO EM ALFACE (LACTUCA SATIVA L.). In: 55º Congresso Brasileiro de Química: recursos renováveis, inovação e tecnologia, 2015, Goiânia. 55º Congresso Brasileiro de Química. Rio de Janeiro: ABQ, 2015.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, M. E. C. S. **Complexos ferro-peptídeos de soro de leite: obtenção, caracterização e avaliação do efeito pró-oxidante do ferro e de sua biodisponibilidade por modelo de cultura de células CACO-2.** Campinas: SP, 2017.
- ANDRADE, E. C. B.; ALVES, S. P.; TAKASE, I. **Extração sequencial de cobre, ferro e zinco em ervas medicinais.** *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, v. 25, n. 4, 844-848p.2005.
- ANDRADE, E. C. B.; ALVES, S. P.; TAKASE, I. **Extração sequencial de cobre, ferro e zinco em ervas medicinais.** *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, v. 25, n. 4, Dec. 2005. Disponível em <<http://goo.gl/ifTUv>>. Acesso em janeiro 2022.
- BARROS, A.I. **Métodos alternativos para a determinação de sódio, potássio, cálcio e magnésio em biodiesel.** Instituto Federal de Ciências Exatas e da Terra. Dissertação de mestrado, p60, Cuiabá/2012.
- BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. **As Técnicas de Hidroponia.** *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica.* Recife: v. 8 e 9, p 107-137, 2011/2012.
- BREITKREITZ, M. C.; SOUZA, A. M.; POPPI, R. J. **Experimento didático de quimiometria para planejamento de experimentos: avaliação das condições experimentais na determinação espectrofotométrica de ferro II com o-fenantrolina. Um tutorial, parte III.** *Química Nova*, v. 37, n. 3, p. 564-573, 2014.
- CORNACHINI, R. S.; COLETTI, A. R.; CARDIM, D. **Produção hidropônica de duas espécies (lactuca sativa) em duas concentrações de solução nutritiva.** *Omnia Exatas.* v.4, n.1, 7-13p, 2011.
- DA SILVA, C. L. A.; FERREIRA, M. C. P.; PIRES, P. C. C.; RIBEIRO, R. T. **Frequência de consumo de alimentos fonte de ferro entre crianças de 6 a 59 meses atendidas pela Estratégia de Saúde da Família.** *HU Revista*, v. 45, n. 4, p. 389-395, 2019.
- DA SILVA, C. S.; COELHO, V. A. O. **Gestação Em Pacientes Portadoras de Anemia Falciforme.** *Revista de Patologia do Tocantins*, v. 5, n. 4, p. 64-69, 2018.
- FLORES, J. F.. **Análise ergonômica de produto: percepção do usuário do posto de trabalho em ônibus rodoviários.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2014.
- GIORDANI DA COSTA, S.I.; CECHIN, J.M.; RODRIGUES SANTANA, F.; ALMEIDA, N.; RUBIAS, T.; BASTIAN, L.F.; ANTUNES MARTIN, C. **Efeito do ph e da força iônica sobre a quantificação de ferro complexado com orto-fenantrolina.** In: 55º Congresso Brasileiro de Química: recursos renováveis, inovação e tecnologia, 2015, Goiânia. 55º Congresso Brasileiro de Química. Rio de Janeiro: ABQ, 2015.
- Gonçalves T.O, De Paula C.L.B, Serafim PHA, Coringa E.A.O. **Teor de Metais em Alface (Lactuca Sativa L.) do Tipo Crespa e americana cultivadas em sistema hidropônico e convencional.** In:Livro de Resumos do XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos; 24 –27 agosto; Gramado, Rio Grande do Sul.2016.

GRACIANO, P. D.. **Biofortificação agrônômica com zinco em cultivares de alface crespa.** Orientadora: Renata Castoldi. 2019.44 f. Dissertação,(mestrado), Mestrado- Curso de Agronomia. - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

GROTTO, H. Z. W. **Fisiologia e metabolismo do ferro.** *Revista Brasileira de Hematologia e Hemoterapia* [online]. 2010, v. 32, suppl 2 [Acessado 28 Janeiro 2022] , pp. 08-17. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1516-84842010005000050>>. Epub 14 Maio 2010

IPNI - *International Plant Nutrition Institute*. Ferro. **Nutri-Fatos** - Informação agrônômica sobre nutrientes para as plantas. Ref. #12 #17022. Disponível em: [https://www.npct.com.br/publication/nutrifacts-brasil.nsf/book/NUTRIFACTS-BRASIL12/\\$FILE/NutriFacts-BRASIL-12.pdf](https://www.npct.com.br/publication/nutrifacts-brasil.nsf/book/NUTRIFACTS-BRASIL12/$FILE/NutriFacts-BRASIL-12.pdf). Acesso em 20 abr. 2022.

JUNIOR, C. H; REZENDE, R.; FREITAS, P. S. L. de; GONÇALVES A. C. A.; FRIZZONE, J. A. **Influência da Condutividade Elétrica, Concentração Iônica e Vazão de Soluções Nutritivas na Produção de Alface Hidropônica.** *Ciência e Agrotecnologia*, v. 32, p. 11421147, 2008.

JARDIM, W. F.; KONIG, A.; PEARSON, H. W. **Toxidez de cobre em micro-organismos: a necessidade da especiação química.** *Química Nova*, 138 – 140 p. 1983.

JUCOSKI, G. O.; CAMBRAIA, J.; RIBEIRO, C.; OLIVEIRA, J. A. Excesso de ferro sobre o crescimento e a composição mineral em *Eugenia uniflora* L. *Revista Ciência Agronômica*, v. 47, n. 4, p. 720-728, out-dez, 2016

LOBO, F. **Proteínas e dieta vegana.** Blog Dr. Frederico Lobo. Goiânia, 09 jun. 2015. Disponível em <<http://www.ecologiamedica.net/2015/06/proteinas-e-dieta-vegana.html>>. Acesso em 14 de janeiro 2022.

MANOEL, R. V. G. **Desenvolvimento de métodos para determinação de cátions inorgânicos em leites, nitrito e nitrato em alface e histamina em peixes utilizando eletroforese capilar.** Orientador : Gustavo Amdeu Micke. 88 P. Dissertação de Mestrado Programa de Pós Graduação em Ecologia, Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

MARIA DALVA SILVA FONSECA. **Extração sequencial de Fe e Zn em amostras de rapadura. Início: 2011.** Iniciação científica (Graduando em Licenciatura Em Química) - Universidade Federal do Piauí, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

MARROCOS, N. R. M.; MENDONÇA, I. F. de; BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P.; ARRUDA JÚNIOR, S. J. de. **Crescimento de alface em função do pH da solução nutritiva.** Recife: UFRPE, 2007.

MARTINEZ, A. P. C.; MARTINEZ1, P. C. C.; SOUZA, M. C.; CANNIATTI BRAZACA, S. G. **Alterações químicas em grãos de soja com germinação.** *Ciência Tecnologia de Alimentos*. Campinas, v.31, n. 1, 23-30p, 2011.

MARTINS, B. T.; BASÍLIO, M. C.; SILVA, M. A. **Nutrição aplicada e alimentação saudável.** Editora Senac: São Paulo, 2019.

MILLER, J. C. LACKUM, K.V. BABB, K. MCALISTER, J.D. STEVENSON, B. **Temporal**

**Analysis of *Borrelia burgdorferi* Erp Protein Expression throughout the Mammal-Tick Infectious Cycle.** *Infection and immunity*, v. 71, n. 12, p. 6943-6952, 2003

.PEDROSA, A. M. da S.; ARAGÃO NETO, A. C. **Importância do conhecimento da anemia falciforme para o cirurgião dentista.** Recife: FACIPE, 2017.

RODRIGUES, C.. **Biofortificação agrônômica de alface com zinco e bactérias promotoras de crescimento de plantas.** Orientador: Luis Felipe Villani Purquerio. 57 fls . Dissertação ( Mestrado)- Curso de Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, Instituto Agrônomo de Pós Graduação, Campinas, 2021.

RODRIGUES, A. R. **Especiação química de ferro em tomates utilizando um analisador automático FBA imagens digitais.** Orientador: Ricardor Alexandre Cavalcanti de Lima. 2018. 85 fls. Dissertação ( Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade da Paraíba, 2018.

SANCHEZ, S. V. **Avaliação de cultivares de alface crespa produzidas em hidroponia tipo NFT em dois ambientes protegidos em Ribeirão Preto (SP).** Jaboticabal, , 63 f. : il, 2007.

SZARFARC, S. C. **Densidade do ferro biodisponível em uma dieta habitual no Estado de São Paulo.** *Rev. Saúde públ.*, S. Paulo, 17:290-6, 1983.

TEIXEIRA, L. S. G. *et al.* **Determinação espectrofotométrica simultânea de cobre e ferro em álcool etílico combustível com reagentes derivados da ferroína.** *Quím. Nova*, São Paulo, v. 29, n. 4, Julho 2006. Disponível em: <<http://goo.gl/qsvNo>>. Acesso em: Fevereiro de 2022. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100404220060004400020>.

TEIXEIRA, M. B. **Avaliação do ferro em alimentos.** Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Dissertação de mestrado, P84, Ribeirão Preto, 2014.

THOMPSON, M.; ELLISON, S. L. R.; WOOD, R. **Harmonized guide-lines for a singlelaboratory validation of methods of analysis.** *Pure Applied Chemistry*, v.74, p. 835-855, 2002.