

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**A BIOFORTIFICAÇÃO DE FRUTOS DE BANANEIRAS COM
ZINCO VIA INJEÇÃO NO PSEUDOCAULE É MAIS EFETIVA
QUE A FORTIFICAÇÃO DOS FRUTOS**

Juan Esteban Mayorquín Guevara

Engenheiro Agrônomo

2020

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**A BIOFORTIFICAÇÃO DE FRUTOS DE BANANEIRAS COM
ZINCO VIA INJEÇÃO NO PSEUDOCAULE É MAIS EFETIVA
QUE A FORTIFICAÇÃO DOS FRUTOS**

Juan Esteban Mayorquín Guevara

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Henrique de Almeida Teixeira

Coorientadora: Profa. Dra. Mara Cristina Pessoa da Cruz

Coorientador: Dr. José Antônio Alberto da Silva

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

2020

M473b

Mayorquin-Guevara, Juan Esteban

A biofortificação de frutos de bananeiras com zinco via injeção no pseudocaule é mais efetiva que a fortificação dos frutos / Juan Esteban Mayorquin-Guevara. -- Jaboticabal, 2020
74 p. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Gustavo Henrique de Almeida Teixeira
Coorientadora: Mara Cristina Pessoa da Cruz

1. Pós-colheita. 2. *Musa spp.*. 3. Minerais. 4. Déficit de crescimento.

Certificado de aprovação



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: A BIOFORTIFICAÇÃO DE FRUTOS DE BANANEIRAS COM ZINCO VIA INJEÇÃO NO PSEUDOCALÉ É MAIS EFETIVA QUE A FORTIFICAÇÃO DOS FRUTOS

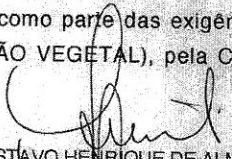
AUTOR: JUAN ESTEBAN MAYORQUIN GUEVARA

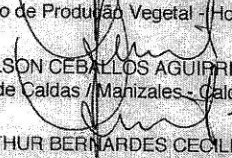
ORIENTADOR: GUSTAVO HENRIQUE DE ALMEIDA TEIXEIRA

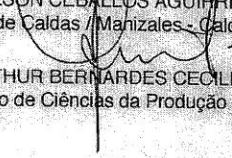
COORDINADORA: MARA CRISTINA PESSOA DA CRUZ

COORDINADOR: JOSÉ ANTONIO ALBERTO DA SILVA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. GUSTAVO HENRIQUE DE ALMEIDA TEIXEIRA
Departamento de Produção Vegetal - Horticultura / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. NELSON CEBALLOS AGUIRRE (VIDEOCONFERÊNCIA)
Universidad de Caldas / Manizales - Caldas/Colombia


Prof. Dr. ARTHUR BERNARDES CECÍLIO FILHO (VIDEOCONFERÊNCIA)
Departamento de Ciências da Produção Agrícola (Fitossanidade) / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 14 de agosto de 2020

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

JUAN ESTEBAN MAYORQUIN GUEVARA – Nasceu na cidade de Manizales, Província de Caldas, Colômbia. Filho da Sra. Lida Ines Guevara Arias e do Sr. Norberto Mayorquin Silva, iniciou o curso de Engenharia Agrônômica na Faculdade de Ciências Agropecuárias da Universidade de Caldas em Manizales, Província de Caldas, em junho de 2010. Durante a sua graduação participou do grupo de pesquisa da mesma instituição com foco em fruticultura e, em 2013, graças a seu bom desempenho acadêmico, o programa de internacionalização da Universidade de Caldas permitiu que realizasse um semestre acadêmico na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), Câmpus de Jaboticabal, SP. Em 2014, ganhou o concurso “UCaldas Empreende”, obtendo reconhecimento regional e no mesmo ano acrescentou ao seu curriculum conhecimentos na área de sistemas de produção de culturas, ao realizar a residência do seu programa. O trabalho de conclusão de curso intitulado “Guia practica para determinar estimativos de cosecha en *Passiflora edulis* f. *edulis* Sims”, sob a orientação do Dr. I.A Juan Carlos Aristizabal. Em abril de 2016, formou-se como Engenheiro Agrônomo e ingressou no mercado de trabalho prestando consultoria em fruticultura de exportação, trabalhando para diferentes empresas. Em junho de 2017, ingressou na Federação Nacional de Cafeteiros de Colômbia como consultor extensionista para 500 famílias de cafeicultores na região Oriental do Departamento de Caldas, terminou seu serviço em junho de 2018 para em seguida ingressar no Programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal) da UNESP-FCAV, Câmpus de Jaboticabal, sob a orientação do Prof. Dr. Gustavo Henrique de Almeida Teixeira obtendo o título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal) em agosto de 2020.

*“La vida no es lo que uno vivió,
sino lo que uno recuerda y cómo
la recuerda para contarla”*

Gabriel García Márquez

A meu filho Juan Vicente Mayorquín Cáceres, você é a força de meu futuro. A meus amados pais Norberto Mayorquin e Lida Ines Guevara pelo amor, força, honestidade e formação que fizeram de mim o homem que sou. À minha amada Estefania por sempre acreditar em mim, você me deu as forças para continuar. Este triunfo é para vocês.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Não tenho palavras para expressar o sentimento de gratidão que sinto com todos aqueles seres que fizeram deste caminho um momento mágico e inesquecível da minha vida, um momento de felicidade plena.

Desejo expressar minha gratidão principalmente a Deus que forneceu todas aquelas ferramentas para chegar até este momento.

A minha mãe Lida Ines Guevara Arias, sou a pessoa que sou por que você fez de mim o seu melhor resultado.

A meu pai Norberto Mayorquin Silva, por me ensinar a seguir sempre, inclusive nos momentos mais difíceis. Minha meta é ser um pai ideal como você é para mim.

A Estefania Cáceres, minha companheira de vida, por sempre crer em minhas capacidades inclusive acima de meus pensamentos, você foi minha companhia nos momentos mais difíceis e merece minha glória. Obrigado por fazer de minha vida um sonho feito realidade com o nascimento do nosso nenê.

Agradeço a minha família pelo apoio e por me ensinar que o núcleo familiar é a principal fonte da sociedade, vocês são minha força para cada instante da minha vida.

A minha pátria por fornecer todas aquelas características de tenacidade que tem que nasceu nos Andes cafeteiros.

A amada pátria Brasil, por me acolher como mais um filho e por dar tantas alegrias, estudos e família. Estarei eternamente agradecido.

A minha segunda *alma mater* a Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP, Câmpus de Jaboticabal por sempre ter as portas abertas para a visita de um estrangeiro.

Ao Prof. Dr Gustavo Henrique de Almeida Teixeira por fazer deste objetivo de vida uma parte do seu. Você sempre estará no coração da minha família. Obrigado por me acolher.

Ao Pepa Servidone, meu mestre, exemplo de pessoa, família e trabalhador, foi como um pai para mim no Brasil, você e sua família marcaram a nossa presença neste esplêndido país.

A Prof. Dra Mara Cristina Pessoa da Cruz que com sua paciência e amor pela docência foi essencial nos momentos que este trabalho mais precisava.

Ao Prof. Dr Rouverson Pereira da Silva Coordenador do Programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal) por acreditar em nossas capacidades como estudantes estrangeiros acrescentando nossa cultura e a do programa.

Aos trabalhadores do Ripado de fruticultura da UNESP – FCAV, em especial ao Ruliam pela sua disposição desde o primeiro instante.

Ao meu colega Alex Sanchez quem brindou apoio moral e colaborativo neste trabalho.

A meus companheiros de pós-graduação do grupo FrutUnesp da FCAV, Vanessa, Thiago, Pedro, Marielle e Maria.

As empresas que forneceram o material de trabalho, Bananas Magário e Fazenda Brejo Limpo, sua doação em tempo e esforço foi fundamental para obter os resultados.

E a todas aquelas pessoas que fizeram deste processo um momento pleno de felicidade, sempre ficarei com vocês no coração.

“A gratidão, como certas flores, não produz nas alturas e melhor reverdes no solo fértil dos humildes”

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

SUMÁRIO

RESUMO.....	ix
ABSTRACT	x
CAPÍTULO I – Considerações gerais.....	11
1.1 INTRODUÇÃO	11
1.2 REVISÃO DE LITERATURA.....	13
1.2.1 Aspectos botânicos e descrição da espécie	13
1.2.2 Importância econômica e nutricional.....	17
1.2.3 O elemento químico zinco (Zn).....	19
1.2.4 Zinco no solo.....	19
1.2.5 Zinco na planta	20
1.2.6 Zinco na nutrição humana	23
1.2.7 Métodos agronômicos de enriquecimento nutricional com Zn.	25
1.2.7.1 Transgenia.....	25
1.2.7.2 Fortificação	27
1.2.7.3 Biofortificação	29
1.3 REFERÊNCIAS	30
CAPÍTULO 2 - A biofortificação de frutos de bananeiras com zinco via injeção no pseudocaule é mais efetiva que a fortificação dos frutos	42
2.1 INTRODUÇÃO	43
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	44
2.2.1 Fortificação dos frutos de bananeira.....	44
2.2.1.1 Material vegetal	45
2.2.1.2 Instalação do experimento.....	45
2.2.1.3 Avaliações	45
2.2.1.4 Análise estatística.....	46
2.2.2 Biofortificação dos frutos de bananeira.....	46
2.2.2.1 Material vegetal	46
2.2.2.2. Condução da cultura.....	47
2.2.2.3. Instalação do experimento.....	47
2.2.2.4. Armazenamento pós-colheita	48

2.2.2.5. Avaliações	49
2.2.2.5.1. Teor de zinco nos frutos de bananeira	49
2.2.2.5.2. Determinações da qualidade dos frutos no período pós-colheita.....	49
2.2.2.6. Análise estatística.....	50
2.3. RESULTADOS.....	51
2.3.1. Fortificação dos frutos de bananeira.....	51
2.3.2. Biofortificação dos frutos de bananeira.....	51
2.3.2.1. Teor de zinco (Zn)	51
2.3.2.2. Armazenamento pós-colheita: qualidade dos frutos	51
2.4. DISCUSSÃO	54
2.4.1 Teor de Zinco.....	54
2.4.2. Armazenamento pós-colheita: qualidade dos frutos	56
2.5 CONCLUSÃO	57
2.6 REFERÊNCIAS.....	58
CAPITULO 3 – Considerações finais	70

A BIOFORTIFICAÇÃO DE FRUTOS DE BANANEIRAS COM ZINCO VIA INJEÇÃO NO PSEUDOCAULE É MAIS EFETIVA QUE A FORTIFICAÇÃO DOS FRUTOS

RESUMO – As dietas das populações dos países em desenvolvimento são constituídas principalmente por alimentos de origem vegetal, que são pobres em micronutrientes, e isto pode levar à incidência de deficiências nutricionais. A deficiência de zinco (Zn), entre outros nutrientes, está associada ao déficit de crescimento em crianças, destacadamente quando a Ingestão Diária Recomendada (*Recommended Dietary Allowance* - RDA) de Zn não é atingida. Nestes países a banana e o plátano são considerados alimentos básicos e de consumo massivo, porém com baixo teor de Zn. Desta forma, este trabalho teve por objetivo geral estudar métodos de fortificação e de biofortificação de frutos de bananeira visando atingir a RDA de Zn de 3,0 mg dia⁻¹ para crianças de 1 – 3 anos e, por objetivos específicos: *i.* comparar a eficácia das estratégias de enriquecimento de Zn via imersão dos frutos de bananeira e a injeção no pseudocaule e *ii.* verificar o efeito da aplicação do sulfato de zinco na vida útil pós-colheita e qualidade dos frutos. A metodologia de fortificação dos frutos por meio de imersão, não se mostrou eficaz em função da baixa infiltração do corante ácido azul 9, utilizado para prever a penetração das soluções de sulfato de zinco (ZnSO₄ + 7 H₂O). Por outro lado, foi possível biofortificar os frutos de bananeira por meio da injeção de soluções de sulfato de zinco no pseudocaule, triplicando o teor de Zn nos frutos em relação ao controle. O consumo de 81,9 ou 88,5 g de bananas desidratadas dos tratamentos que receberam 20 e 40 g L⁻¹ de sulfato de zinco, respectivamente, supriu 100% da RDA de Zn para crianças de 1 a 3 anos. Do mesmo modo, o consumo de três frutos biofortificados de banana *in natura* por dia destes tratamentos supriria esta RDA. A vida útil pós-colheita dos frutos biofortificados com sulfato de zinco não foi afetada por estes tratamentos, porém foi observado diminuição do teor dos ácidos orgânicos (AT) e aumento do ratio, o que pode melhorar o aspecto e a aceitabilidade dos frutos biofortificados, sem comprometer seu potencial nutricional.

Palavras-chave: Pós-colheita, *Musa* spp., minerais, déficit de crescimento.

BIOFORTIFICATION OF BANANA FRUIT BY MEANS OF ZINC INJECTION IN THE PSEUDOSTEM IS MORE EFFECTIVE THAN FRUIT FORTIFICATION

ABSTRACT – Population diet in developing countries consist mainly of plant-based foods, which are low in micronutrients and may lead to the incidence of nutritional deficiencies. The Zinc deficiency (Zn), among other nutrients, has been associated with growth deficit in children, especially when the Recommended Dietary Allowance (RDA) of Zn is not achieved. In these countries, bananas and plantains are considered staple foods for massive consumption, but with low Zn content. Therefore, the objective of this study was to study the method effectiveness of fortification and biofortification of banana fruits to achieve the RDA of Zn of (3.0 mg day⁻¹) in children at the age of 1 - 3 years and to *i.* To compare the efficacy of Zn enrichment strategies via immersion of banana fruits and injection in the pseudocaulis and *ii.* to verify the effect of zinc sulfate application on post-harvest life and fruit quality. The fortification method of the fruits by immersion was not effective due to the low infiltration of the acid blue 9, activity predicted the immersion in zinc sulfate solutions (ZnSO₄ + 7H₂O). On the other hand, it was possible to biofortify the banana tree fruits by injecting zinc sulfate solutions into the pseudostem, tripling the Zn content in the fruits about the control. The consumption of 81.9 or 88.5 g of dehydrated bananas from the treatments that received 20 and 40 g L⁻¹ of zinc sulfate, respectively, supplies 100% of the RDA of Zn for children from 1 to 3 years. Similarly, the consumption of three biofortified fruits per day of fresh banana from these treatments would supply the RDA. The post-harvest life of the zinc sulfate biofortified fruits was not affected by these treatments, but a decrease in organic acid (AT) content and an increase in the ratio was observed, which can improve the appearance and acceptability of the biofortified fruits without compromising their nutritional potential.

Keywords: Postharvest, *Musa* spp., minerals, growth deficit.

CAPÍTULO I – Considerações gerais

1.1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos principais produtores de frutas tropicais do mundo, com uma área colhida em 2009 de 2.923.139 hectares (ha) (IBGE, 2010), sendo o maior produtor de mamão (1.600.000 toneladas), o quarto de banana (6.593.110 toneladas) e o terceiro de goiaba (321.127 toneladas) (FAOSTAT, 2018).

Segundo a Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) de 2019, que avaliou a evolução do consumo de frutas nos lares brasileiros, tem-se que o consumo *per capita* de frutas em 2018 foi em média de 32,62 kg, o que representa o 5,2 % da despesa monetária e não monetária familiar (IBGE, 2019). Este consumo representou um aumento de 3,76 kg em relação à última pesquisa, onde foi observado um consumo de 28,86 kg por pessoa (IBGE, 2009). Apesar deste aumento, o consumo de frutas no país ainda ficou abaixo dos níveis recomendados pelo Ministério da Saúde e pela Organização Mundial da Saúde (WHO), que é de 400 g por pessoa por dia (WHO, 2015b). Dentre as frutas consumidas, a laranja e a banana continuaram a ser as mais preferidas, sendo seguidas pela maçã, mamão, abacaxi, pera, melão, melancia, goiaba, abacate, uva, manga e morango (IBGE, 2010).

Do ponto de vista nutricional, o consumo de frutas e hortaliças é fundamental para o suprimento de vitaminas e minerais, como também de açúcares solúveis e polissacarídeos. Além disso, outros polissacarídeos (celulose, hemicelulose e pectina) tem importância no suprimento das fibras dietéticas (Chitarra e Chitarra, 2005). Em relação aos minerais, elementos químicos, as frutas e hortaliças apresentam teor relativamente elevado, notadamente de cálcio (Ca), fósforo (P) e ferro (Fe), porém apresentam baixos teores de elementos como o cobre (Cu), magnésio (Mg), zinco (Zn) e o selênio (Se), que atuam como grupo prostético de várias enzimas e sua deficiência pode acarretar em alterações no metabolismo humano (Chitarra e Chitarra, 2005).

Como outros países em desenvolvimento, a população brasileira sofre com a deficiência de uma série de elementos químicos, em especial de micronutrientes, e

esta deficiência é considerada um dos fatores de risco mais determinantes do problema de déficit de crescimento em crianças, sendo, pelo seu impacto, o Zn, a vitamina A e o Fe os de maior importância nesse caso (Figueroa-Pedraza et al., 2011). Em relação ao Zn, além do déficit de crescimento, sua deficiência em seres humanos pode causar ainda diminuição da resposta imune, demora na cicatrização de feridas e falta de apetite (Miller, 2008). Devido à falta de informações relativa à população brasileira, pode-se citar como exemplo o México, onde 25% das crianças abaixo de 11 anos apresentaram níveis séricos de Zn abaixo de $10 \mu\text{mol L}^{-1}$ ($0,65 \text{ mg L}^{-1}$), Rosado (2003).

Para se reduzir o problema com a deficiência de nutrientes na alimentação, várias estratégias podem ser adotadas, com destaque para a fortificação de alimentos, que é a prática de se incrementar deliberadamente o teor de um micronutriente essencial, e.g. vitaminas e minerais em alimentos, de maneira a aumentar a qualidade nutricional dos mesmos e promover um benefício à saúde pública com mínimo risco à saúde (WHO, 2015a). Como vantagens desta prática pode-se citar alta cobertura populacional e baixo risco de toxicidade, por outro lado, as principais desvantagens se relacionam à distribuição e ao seu custo.

Desta forma, a biofortificação tem recentemente sido bastante fomentada. Esta prática consiste no processo pelo qual a qualidade nutricional dos alimentos de origem vegetal é melhorada por meio biológico, tais como o melhoramento convencional. A biofortificação difere da fortificação convencional, pois a biofortificação tem como objetivo o incremento do nível de nutrientes durante o desenvolvimento da planta e não durante o processamento do alimento. Assim, a biofortificação pode atingir populações onde as ações de suplementação e fortificação convencional são de difícil implementação e/ou são limitadas (WHO, 2015b).

Como exemplo de alimentos biofortificados pode-se citar: arroz, feijão, batata doce e mandioca biofortificados com Fe; trigo, arroz, feijão, batata doce e milho biofortificado em Zn; batata doce, milho e mandioca biofortificados com pró-vitamina A; sorgo e mandioca biofortificados com aminoácidos e proteínas.

Em função da Resolução/CD/FNDE Nº 38, de 16 de julho de 2009, do Ministério da Educação, que em seu Artigo 15, inciso 4º recomenda que “os cardápios deverão oferecer, pelo menos, três porções de frutas e hortaliças por semana (200 g por aluno

por semana) nas refeições ofertadas” e também como o estado de São Paulo é o segundo maior produtor brasileiro de banana, 15,81 % do total da fruta colhida (Agrianual, 2015), sendo a oferta destes frutos constante ao longo do ano, a banana é um fruto com grandes possibilidades para fornecer alimentos biofortificados com Zn à população. Desta forma, este projeto teve por objetivo geral pesquisar a eficácia de métodos de fortificação e de biofortificação de frutos de bananeira visando atingir a RDA de Zn de 3,0 mg dia⁻¹ em crianças de 1 – 3 anos e, por objetivos específicos: *i.* comparar a eficácia das estratégias de enriquecimento de Zn via imersão dos frutos de bananeira e a injeção no pseudocaule, e *ii.* verificar o efeito da aplicação do sulfato de zinco na vida útil pós-colheita e qualidade dos frutos.

1.2 REVISÃO DE LITERATURA

1.2.1 Aspectos botânicos e descrição da espécie

Segundo a sistemática de classificação hierárquica, as bananeiras produtoras de frutos comestíveis são plantas da classe das Monocotiledôneas, ordem Scitamineales, família Musaceae, da qual fazem parte as subfamílias Heliconioideae, Strelitzioideae e Musoideae. Esta última inclui, além do gênero *Ensete*, o gênero *Musa*, constituído por quatro séries ou seções: *Australimusa*, *Callimusa*, *Rhodochlamys*, e *(Eu-)Musa* (Simmond, 1973). A seção *(Eu-)Musa* é a mais importante, uma vez que, além de ser formada pelo maior número de espécies do gênero, apresenta ampla distribuição geográfica e abrange as espécies comestíveis.

Seguindo a classificação proposta por Vavilov (1951) para os centros de origem das espécies cultivadas, as bananeiras são originárias do segundo grande centro de diversidade genética, o Indiano e do subcentro Indo-Malaio. As bananeiras foram originalmente dispersas através da Malásia e Índia, cujos primeiros relatos são de 600-500 a.C. Posteriormente, foram introduzidas na China (200 d.C.), na África pelos comerciantes indonésios via Madagascar (500 d.C.), no Mediterrâneo pelas conquistas de Mohammedan (650 d.C.), na Polinésia (1000 d.C.), introdução a partir

da África Ocidental nas Ilhas Canárias pelos Portugueses no século XV e no Novo Mundo (Santo Domingos) a partir das Ilhas Canárias (1516).

As bananeiras que produzem frutos comestíveis do gênero *Musa* são provenientes do processo de hibridação entre as espécies *Musa acuminata* e *Musa balbisiana*. Se utilizam as letras maiúsculas A e B para indicar os grupos genômicos, ou seja, o conjunto cromossômico proveniente da *M. acuminata* (A) e da *M. balbisiana* (B). Desta forma, as bananas comestíveis são derivadas tanto destas espécies originais quanto da combinação das duas. Assim, as cultivares existentes podem ser diploides (AA e AB), triploides (AAA, AAB, ABB) com algumas novas cultivares tetraploides obtidas pelo processo de melhoramento genético (AAAA, AAAB, AABB, ABBB). As espécies de bananeiras exploradas comercialmente visando a produção de frutos *in natura* são predominantemente do grupo AAA, onde se destaca as cultivares ‘Gros Michel’ e as do subgrupo Cavendish, como a ‘Williams’ e a ‘Nanica’. Todavia, as denominadas bananas-da-terra ou plátano são bananeiras que apresentam composição genômica AAB ou ABB e se destacam como produtoras de frutos para o consumo de seus frutos (Auliya et al., 2019)

Ao contrário de muitas espécies frutíferas, as bananeiras são plantas monocotiledôneas que possuem sistema radicular adventício, cujas raízes primárias têm sua origem da superfície cilíndrica do rizoma e as secundárias e terciárias das raízes primárias. O caule das bananeiras é subterrâneo, sendo denominado de rizoma e o conjunto das bainhas das folhas formam o pseudocaule (Silva et al., 2002a). A gema apical, situada na porção central do pseudocaule, é responsável pela formação das folhas e das gemas laterais (Silva et al., 2002a).

Segundo Paull e Duarte (2011), as flores são provenientes de uma inflorescência terminal que emerge através do pseudocaule e apresenta uma curvatura imediatamente depois de emergir. Estas estão encapsuladas em meio das brácteas, de características geralmente ovadas e avermelhadas, que apresentam flores femininas, masculinas e ocasionalmente hermafroditas na mesma inflorescência, porém as femininas emergem primeiro e as masculinas posteriormente na extremidade distal. De cada nó surgem entre 12 a 20 flores femininas, denominadas ‘mão’, e cada cacho podem apresentar de 5 a 15 mãos. O pedúnculo

continua a se alongar até aproximadamente 1,5 m de comprimento terminando na estrutura que contém as flores masculinas, que é comumente denominado de 'coração' (Paull e Duarte, 2011). O fruto das bananeiras é chamado de banana, sendo classificado como uma baga de ovário ínfero, de características carnosas, de desenvolvimento partenocárpico, ou seja, sem a produção de sementes (Silva et al., 2002a).

Em relação à ecofisiologia das bananeiras, estas apresentam interceptação da luz de características normais, captação de CO₂ e síntese de carboidratos para uso nas principais funções de crescimento e produção, desde que as folhas apresentem saturação de densidade do fluxo de fótons fotossintéticos. Desta forma, a produção primária, CO₂ fixado por unidade de área do solo, do dossel tende a aumentar quanto mais luz recebe (Jones, 1992), considerando a interceptação ideal da radiação solar de 2.000 horas por ano (Muhidin et al., 2019).

Em relação às características climáticas, a temperatura ideal para o crescimento das bananeiras é em média de 28 °C, sendo a faixa considerada como ótima para o crescimento desta espécie situada entre os 20 - 29 °C (Turner, 1994). Algumas cultivares, e.g. 'Maçã' e 'Prata-anã', apresentam tolerância a temperaturas mais baixas (Silva et al., 2004) porém abaixo dos valores denominados de limite inferior, ou seja, 13 °C, o crescimento é paralisado, afetando diretamente a fenologia reprodutiva da planta (Soto-Ballester, 2000). Quando exposta a temperaturas muito elevadas (38 - 40 °C), as bananeiras apresentam fechamento estomático e diminuição do crescimento. Quanto à temperatura do solo, valores inferiores a 12 °C por mais de 12 horas geram a dormência radicular, diminuindo o desenvolvimento da planta, esta faixa de temperatura também é responsável pelo desenvolvimento de distúrbios fisiológicos, como o "chilling", que afetam a fase reprodutiva das bananeiras e adequado desenvolvimento dos frutos (Li et al., 2016).

Por ser afetada pelas baixas temperaturas, as bananeiras devem ser cultivadas preferencialmente em regiões tropicais a altitudes de 0 a 300 m acima do nível do mar (Soto-Ballester, 2000). Segundo Moreira (2003), no estado de São Paulo foram observadas inferências da altitude no prolongamento do ciclo da cultura, sendo este de

8 a 10 meses com altitudes inferiores a 300 metros e de mais de 18 meses para altitudes acima de 900 metros nas cultivares 'Nanica' e 'Nanicão'.

O vento é considerado um dos principais fatores abióticos que tem repercussão na produtividade das bananeiras, pois podem causar danos às folhas, principalmente o fendilhamento ocasionando aumento da taxa respiratória da planta, afetando diretamente os processos fotossintéticos e, conseqüentemente, a produção e transporte de carboidratos até os frutos, diminuindo as concentrações de foto-assimilados disponíveis para o enchimento dos frutos (Parra et al., 2001). Deve-se evitar locais onde a velocidade dos ventos seja superior à 30 km h^{-1} , uma vez que podem levar aos danos mecânicos nas folhas ou até a quebra do pseudocaule quando em velocidades superiores à 50 km h^{-1} (Turner, 1994).

A umidade relativa (UR) também apresenta relevantes funções para a produção de folhas, o desenvolvimento ideal da inflorescência e uniformização da coloração da fruta, além de afetar a longevidade das plantas quando se situam acima dos 80 % (Murmu e Mishra, 2016). Da mesma forma, este parâmetro climático influencia o desenvolvimento das principais doenças das bananeiras, destacadamente do fungo *Mycosphaerella* spp., causador da Sigatoka Amarela (Torrado-Jaime e Castaño-Zapata, 2008).

A bananeira é bastante exigente em relação à umidade no solo, desenvolvendo-se melhor em locais com pluviosidade de 1.900 mm por ano, além disso, esta deve ser bem distribuída com valores mensais de 100 a 180 mm por mês. Em condições de estresse hídrico, menos de 40 mm por mês, é observado efeitos deletérios na produtividade e na qualidade dos frutos. Desta forma, é fundamental a utilização de aportes hídricos, especialmente na época da formação da inflorescência e fecundação das flores, visando a garantir melhores produções de frutos. As cultivares do subgrupo Cavendish podem ser consideradas como medianamente tolerantes ao estresse hídrico e as do grupo Prata e os plátanos mais tolerantes (Tripathi et al., 2019).

1.2.2 Importância econômica e nutricional

Segundo FAOSTAT (2018) as bananas e plátanos são cultivados em uma área cultivada de 5,7 milhões de hectares (ha), o que representa uma produção de 115,7 milhões de toneladas em todo o mundo. A produtividade média de frutos se encontra na faixa de 20,29 t ha⁻¹, e os países que representam os maiores índices de produção são os países asiáticos, com 30,8 milhões de toneladas, a Índia, com 11,3 milhões de toneladas, a China (7,2 milhões de toneladas) e o Brasil ocupa a quarta posição, com uma produção de 6,7 milhões de toneladas.

A banana é considerada a fruta mais popular em todo o mundo e segundo a WHO/FAO (2017b) a cadeia de produção desta cultura representou cerca de 5,3 bilhões de dólares, sendo o Equador, a Colômbia e as Filipinas os países que lideraram a comercialização internacional de bananas (WHO/FAO 2017b; Fioravanço, 2003).

Sendo um dos maiores produtores mundiais de frutas tropicais, em 2009 o apresentava uma área colhida de 2.923.139 hectares (ha) (IBGE, 2010). Exemplificando esta importância, o Brasil é o maior produtor de mamão (1.600.000 t), o terceiro de goiaba (321.127 t) e o quarto de banana (6.593.110 t) (FAOSTAT, 2014). No Brasil, a banana é cultivada em todas as regiões do país, desde a faixa litorânea até o interior, sendo uma das frutas mais preferidas da população brasileira, sendo seu consumo é superado apenas pela laranja (IBGE, 2010).

No Brasil a produção de banana é praticamente voltada para o suprimento da demanda do mercado interno. A região Nordeste é a líder em produção, responsável por 34,26 % do volume de produção total, aproximadamente 6,9 milhões de toneladas (2013), seguida pelo Sudeste (32,29 %), Sul (15,49 %), Norte (13,89 %) e Centro-Oeste (4,07 %). Em relação aos estados, destacam-se a Bahia (16,16 %), São Paulo (15,81 %), Minas Gerais (10,68 %), Santa Catarina (9,64 %) e Pará (8,5%) (Agrianual, 2020).

A banana compõe uma parcela considerável da base alimentar de populações de baixa renda, devido ao seu baixo custo de produção e seu potencial nutritivo. Além

disso, participa na fixação da mão-de-obra na zona rural. O alto valor nutricional é uma característica importantíssima desta fruta, da qual apenas uma banana supre aproximadamente 25 % da ingestão diária de vitamina C. Além dessa vitamina, a banana contém as vitaminas do grupo A e B, possui mais açúcares que a maçã, sendo também rica em potássio (K). Outras características positivas são os baixos níveis de sódio (Na) e a inexistência de colesterol. A composição bromatológica dos frutos de bananeiras podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1. Composição de 100 g de bananas cruas cultivares ‘Nanica’ e ‘Prata’ de acordo com a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO).

Componente	‘Nanica’	‘Prata’
Umidade (%)	71,9	73,8
Energia (kcal)	98	92
Proteína (g)	1,3	1,4
Lipídeos (g)	0,1	0,1
Colesterol (mg)	NA	NA
Carboidrato (g)	26	23,8
Fibra alimentar (g)	2,0	1,9
Cinzas (g)	0,8	0,8
Vitamina C (mg)	6	NA
Cálcio (mg)	8	3
Magnésio (mg)	26	28
Manganês (mg)	0,42	0,14
Fósforo (mg)	22	27
Potássio (mg)	358	376
Ferro (mg)	0,4	0,3
Sódio (mg)	Tr.	Tr.
Cobre (mg)	0,05	0,1
Zinco (mg)	0,1	0,2

Fonte: TACO (2011). NA = não disponível. Tr. traços.

Como outros países em desenvolvimento, a população brasileira sofre com deficiência de uma série de elementos químicos, em especial de micronutrientes, e esta deficiência é considerada um dos fatores de risco mais determinantes do problema de déficit de crescimento em crianças, sendo, pelo seu impacto, o Zn, a vitamina A e o Fe os de maior importância nesse caso (Figueroa-Pedraza et al., 2011). Em relação ao Zn, além do déficit de crescimento, sua deficiência em seres humanos

pode causar ainda diminuição da resposta imune, demora na cicatrização de feridas e falta de apetite (Miller, 2008). Devido à falta de informações relativa à população brasileira, pode-se citar como exemplo o México, onde 25 % das crianças abaixo de 11 anos apresentaram níveis séricos de Zn abaixo de $10 \mu\text{mol L}^{-1}$ ($0,65 \text{ mg L}^{-1}$), Rosado (2003).

1.2.3 O elemento químico zinco (Zn)

O zinco (Zn) está presente nos sistemas biológicos na forma de cátion bivalente (Zn^{2+}). Este elemento químico não muda sua valência sob várias condições e, desta forma, não participa de reações de óxido redução como seus irmãos elementos de transição, e.g. ferro (Fe) e cobre (Cu). O Zn é um ácido forte de Lewis e assim se liga à doadores de elétrons, tais como os que apresentam grupos sulfidrilas (-SH), sendo os grupos amino se ligam fortemente ao Zn^{2+} . Desta forma, grande parte do Zn presente nos sistemas biológicos estão ligados às proteínas (Cousins, 1999).

O Zn está envolvido em uma ampla série de funções metabólicas. Está presente em mais de 50 metalo-enzimas, incluindo a RNA polimerase, fosfatase alcalina e anidrase carbônica (Cousins, 1999). O Zn tem função antioxidante, possivelmente como um cofator da metalo-enzima Cu/Zn superóxido desmutase, e é importante na regulação da expressão gênica (Miller, 2008).

1.2.4 Zinco no solo

O zinco (Zn) pode ser considerado como abundante na superfície terrestre, com médias mundiais de 64 mg dm^{-3} (Kabata-Pendias, 2011). Zhang et al. (2020) catalogaram o Zn como o vigésimo terceiro elemento químico de maior abundância na crosta terrestre, respeitando as diferenças de origem ou intemperismo que atuam na formação dos solos, além do manejo cultural feito por períodos prolongados.

A mobilidade do Zn é considerada baixa, tanto pela lixiviação quanto pela volatilização limitadas deste elemento, consequentemente a solubilidade que

apresenta nas formas trocáveis no solo é limitada, característica esta influenciada pelo pH (Sadeghzadeh, 2013). Na nutrição vegetal é considerado como um micronutriente de características catiônicas, bivalente e essencial ao desenvolvimento vegetal (Epstein, 1975). O transporte do Zn até o sistema radicular ocorre pelo processo de difusão e a absorção se dá na forma de Zn^{2+} , eventualmente como quelato de zinco, de características ativas. Assim, a presença de matéria orgânica pode ser essencial na disponibilidade do Zn sob a forma de complexos orgânicos (Noulas et al., 2018; Malavolta, 1980).

Mesmo apresentando níveis altos de Zn, a adsorção gerada pelos solos é a causa principal da baixa disponibilidade deste elemento químico (Pérez-novo et al., 2011). Fatores como o pH influenciam diretamente a disponibilidade Malavolta et al. (1996) relataram que o aumento de uma unidade de pH pode diminuir a concentração do Zn em 30 vezes quando o potencial se situa na faixa de 5 a 7. Elementos como o alumínio (Al), o ferro (Fe) e o manganês (Mn), na forma de óxidos, favorecem a absorção de Zn uma vez que sua alocação gera direta ou indiretamente uma elevação do pH e, conseqüentemente, aumentos nos valores das cargas negativas, favorecendo a absorção do Zn (Consolini e Coutinho, 2004). Nesse sentido autores como Broadley et al. (2007) relataram, que técnicas de manejo do solo, tais como a calagem e a aplicação de adubos ricos em fósforo (P), podem diminuir a deficiência do Zn, mesmo observando um favorecimento da colonização das micorrizas do solo que tem capacidade significativa de absorção deste elemento (Marschner, 2012).

No tocante à bananicultura, os solos das principais das regiões produtoras de banana são pobres ou medianamente pobres em Zn disponível (Alloway, 2008). Além disso, características como a luminosidade, o teor de matéria orgânica e a textura do solo tem influência direta na disponibilidade deste elemento químico. Neste sentido, a simples presença do Zn no solo não é garantia de absorção pelas bananeiras.

1.2.5 Zinco na planta

O zinco (Zn) é considerado como um microelemento de características essenciais às plantas, pois é essencial para a atividade de muitas enzimas vegetais, porém o excesso deste elemento químico pode ser tóxico à maioria de culturas agrícolas (Broadley et al., 2012). Os valores médios para o crescimento e desenvolvimento das plantas é muito baixo, ou seja, valores entre 15 a 20 mg kg⁻¹ na matéria seca (Carmona, 2018), representando menos de 1.000 ppm do peso seco total do tecido. Contudo, mesmo as quantidades deste elemento sendo consideradas com baixas, o Zn é indispensável para o perfeito funcionamento da planta (Cakmak et al., 2017), pela sua participação no metabolismo celular e pelas funções que este elemento executa de maneira única na planta.

Na planta o Zn apresenta-se parcialmente móvel (Malavolta, 1986) ou de baixa mobilidade (Favaro, 1992). Sua translocação vascular é principalmente via xilema, mesmo assim a insolubilização do Zn neste sistema vascular limita o movimento de forma acrópeta e ocorre inibição não competitiva pelo fósforo (Malavolta, 1997). É por isso que autores como Clarkson e Hanson (1980) definiram as dificuldades na translocação deste elemento às folhas, dada a pequena capacidade de ligação com quelatos aniônicos (sulfato de zinco) permanecendo nas folhas como íons livres, dificultando seu transporte via floema. Desta forma, carregadores orgânicos como ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA) aumentam a mobilidade do Zn (Malavolta et al., 1996), gerando uma absorção foliar ativa (Malavolta, 1997).

As principais funções do Zn no metabolismo vegetal das plantas se relacionam à ativação enzimática, estabilizando a estrutura proteica como cofator; nos ácidos nucleicos este elemento age nas enzimas e proteínas envolvidas na síntese e expressão do DNA (polimerase DNA e RNA) e fatores de transcrição que em conjunto controlam a expressão gênica (Taiz e Zaiger, 2017). Além disso, atua na síntese de proteínas celulares ao regular a síntese de RNA de transferência.

O Zn tem participação estrutural da enzima mais abundante na terra, a ribulose bifosfato carboxilase-oxigenase (Rubisco) (Taiz e Zaiger, 2017), influenciando diretamente na fixação de CO₂, além de ter influência na ativação do foto-sistema II e da enzima anidrase carbônica, que regula a hidratação de dióxido de carbono nas plantas (Paunov et al., 2018).

Além das enzimas anteriormente mencionadas, o Zn é componente de enzimas que mitigam fatores de estresse bióticos e abióticos como a enzima álcool desidrogenase, encarregada de dar continuidade ao metabolismo da glicose quando as plantas tem limitações de oxigênio, e a superóxido dismutase que modifica o ânion superóxido em oxigênio molecular e H₂O, protegendo as plantas dos danos provocados pelo estresse de patógenos e condições ambientais desfavoráveis (Paunov et al., 2018).

No crescimento vegetal, o Zn é essencial para a sínteses do triptofano, aminoácido precursor do ácido indol acético, a auxina predominante nas funções de multiplicação celular, aumento do tamanho celular, regulando assim o crescimento das plantas (Silva, 2002b ; Katsoulakou et al., 2009)

Como o Zn tem influência direta em mais de 1.000 proteínas e se relaciona com 9 % do proteoma dos organismos eucariontes (Rajput et al., 2018), a deficiência deste elemento tem influência direta no funcionamento normal das espécies vegetais. Desta forma, a deficiência de Zn leva à diminuição de tamanho, crescimento apical limitado e diminuição do comprimento dos nós, do mesmo modo a diminuição da área folhar (Noulas et al., 2018). Sendo o Zn elemento que tem relação direta com o funcionamento da clorofila, a deficiência deste elemento gera cloroses caracterizada nas bordas das folhas. Em relação aos órgãos reprodutivos, a deficiência de Zn afeta o crescimento do tubo polínico e o correto funcionamento dos gametófitos masculinos, diminuindo então a fecundação (Sinclair e Krämer, 2012).

Por outro lado, a toxidez causada pelo excesso de Zn na planta gera um desbalanço metabólico, dada a capacidade deste elemento em substituir e inibir o desempenho do Fe e Mg gerando a união proteica e enzimática não necessária causando danos ou morte celular. A sintomatologia apresentada tem características similares à exposição a um crescimento atrofiado e cloroses folhar. Além destas limitações próprias do excesso de Zn, o aumento deste elemento no solo condiciona a disponibilidade de elementos essenciais tais como P, Mg, Mn pela competição na absorção radicular (Marschner, 2012).

Para a bananeira, os teores folhares considerados ótimos se situam entre 20 - 50 ppm (IFA, 1992; Silva et al., 2002a) e como baixos na faixa de 6 a 17 ppm. Teixeira

et al. (1996) recomendaram 15 g de sulfato de zinco por família por ano para o pleno e correto desenvolvimento fenológico da cultura e Borges et al. (1987) relataram que com 10 g por família por ano é suficiente para o correto desenvolvimento das plantas.

1.2.6 Zinco na nutrição humana

O zinco (Zn), esquecido durante muitos anos como essencial para os sistemas biológicos, foi caracterizado como indispensável no reino fungi (*Aspergillus niger*) na metade do século XIX. Um século depois as primeiras referências mostraram a essencialidade deste elemento químico em seres humanos (Prasad et al., 1961). Atualmente são conhecidas mais de 300 enzimas que necessitam do Zn como cofator (Cousins et al., 2006; Prasad et al., 1985).

A recomendação diária de consumo ou *Recommended Dietary Allowance* (RDA) de Zn para crianças varia de acordo com a faixa etária, ou seja, de 2 mg dia⁻¹ para crianças de 0 – 6 meses e de 3 mg dia⁻¹ para crianças de 7 a 12 meses (Padovani et al., 2006). À medida que as pessoas crescem a recomendação de ingestão diária aumenta para 3 e 5 mg dia⁻¹ para crianças com 1 – 3 e 4 – 8 anos, respectivamente, chegando a 14 mg dia⁻¹ em mulheres lactantes com menos de 18 anos (Padovani et al., 2006).

O Zn encontra-se disponível principalmente em carnes vermelhas, leite, ostras e cereais, embora a biodisponibilidade das fontes vegetais seja mais baixa que as apresentadas pelos alimentos de origem animais, a absorção de Zn tem correlação favorável com o consumo de proteínas animais, além de suprirem as exigências deste elemento (Rosado, 2003). Após a sua absorção, o Zn é posteriormente transportado e armazenado rapidamente no fígado. Em seguida é transportado para a medula óssea, ossos, pele, rins e timo (Cousins et al., 2006). Em indivíduos adultos, 90 % está localizado nos ossos e na musculatura esquelética, cuja concentração varia de 1,5 a 2,5 g de Zn (Lyko, 2018).

A deficiência de zinco (Zn) é mais prevalente em países em desenvolvimento, com estimativas de que esta deficiência afete cerca de um terço da população

mundial. A falta de Zn é considerada um dos fatores de risco mais determinantes do problema de déficit de crescimento em crianças, pois este elemento químico está envolvido em uma ampla gama de funções metabólicas. Em crianças menores de 11 anos, a deficiência leve de Zn gera ainda o impedimento correto do funcionamento do sistema imunológico devido à diminuição da atividade de RNA polimerase (Lyko, 2018). Pode-se citar estudos realizados no México, onde 25 % das crianças abaixo de 11 anos apresentaram níveis séricos de Zn abaixo de $10 \mu\text{mol L}^{-1}$ ($0,65 \text{ mg L}^{-1}$), Rosado (2003). Além do déficit de crescimento, sua deficiência em seres humanos pode causar ainda diminuição da resposta imune, demora na cicatrização de feridas e falta de apetite (Miller, 2008).

Deficiência crônica de Zn pode ainda levar ao surgimento de dermatites ou diminuição nos níveis de testosterona levando ao desenvolvimento de hipogonadismo (Prasad et al., 2001; Wellingshausen, 2001). Da mesma forma, a carência de Zn afeta a regulação do apetite (Wang et al., 2018), além do correto funcionamento do sistema imunológico (Lambert et al., 2018). Em mulheres gestantes os déficits estão associados ao incremento da morbidade, problemas imunológicos (Lambert, 2018; Prasad, 1996), redução do crescimento fetal, parto prematuro e baixas reservas do elemento em crianças recém-nascidas. Desta forma, as populações com maior vulnerabilidade à deficiência de Zn são constituídas por mulheres gestantes, crianças e idosos, destacadamente de grupos sociais econômicos mais baixos e pelas populações cuja alimentação esteja baseado no consumo de produtos de origem vegetal (Lyko, 2018).

Associada à deficiência, dietas ricas em cálcio, valores superiores a 1 g dia^{-1} , podem inibir a absorção do Zn, principalmente na presença de fitatos (WHO/FAO, 2017a). A disponibilidade de Zn não é alterada pela presença de compostos fenólicos na dieta ou da vitamina C, ao caso contrário do Fe (Hurrell et al., 2003; Hurrell, 2018; Pla et al., 2020).

Por outro lado, a suplementação com Zn tem sido recomendada como tratamento terapêutico visando à diminuição da incidência de infecções, diminuindo a intensidade da sintomatologia dos resfriados em 50 % (Lin et al., 2018) e melhorando os aspectos da qualidade de vida de pacientes cirróticos. Da mesma forma, a suplementação com este elemento levou a diminuição de episódios de paludismo e

diminuição das consultas médicas pela complicação desta doença na Papua Nova Guiné (Shankar, 2000).

Apesar dos frutos de bananeira apresentarem baixo teor de Zn (0,1 mg 100 g⁻¹) (TACO, 2011), como este é o segundo fruto mais consumido no país (IBGE, 2010), o mesmo pode ser utilizado como alimento a ser biofortificado visando o aumento no consumo deste elemento químico. Desta forma, a biofortificação dos frutos de bananeira poderia aumentar o teor de Zn e melhorar a nutrição da população. Contudo, a absorção do Zn dos frutos *in natura* depende da quantidade e a relação fitato:zinc (WHO/FAO, 2017a), assim é fundamental o estudo de biodisponibilidade de Zn nos frutos biofortificados.

1.2.7 Métodos agronômicos de enriquecimento nutricional com Zn.

Existem diferentes metodologias que podem ser adotadas visando ao enriquecimento nutricional dos alimentos para aumentar os valores dos elementos químicos disponíveis aos seres humano, desde suplementos vitamínicos até o consumo específico de alimentos. Neste sentido, os alimentos quando utilizados de forma balanceada podem suprir as exigências nutricionais do organismo humano, porém, dependendo do agro-ecossistema onde estes são produzidos, pode haver deficiência de algum(ns) elemento(s) nos alimentos. Desta forma, a FAO (2002) cita diferentes metodologias testadas como estratégia para o aumento massivo de determinados elementos químicos visando suprir a demanda destes elementos pelas diferentes populações, tais como: Fe, iodo (I), Zn e Selênio (Se), entre outros. Dentre os métodos agronômicos mais utilizados, pode-se citar:

1.2.7.1 Transgenia

Segundo a Dias-Martins et al. (2018), a transgenia por ser considerada como uma evolução do melhoramento genético convencional, permitindo transferir

características de interesse agrônomo entre espécies diferentes, isolando genes específicos de um organismo e transferindo-os para outro, tornando o receptor do novo gene mais adaptado às características bióticas e abióticas ou ainda apresentando melhorias nas características nutricionais.

Em relação ao aspecto nutricional, estão sendo desenvolvidas cultivares de alface com teores mais altos de ácido fólico (Vitamina B9) (Nunes et al., 2009), nutriente importante para o desenvolvimento do tubo neural. Desta forma, a transgenia pode ser utilizada como estratégia de enriquecimento nutricional em alimentos de consumo massivo visando suprir as exigências das populações mais vulneráveis.

Na bananicultura a transgenia tem sido utilizada visando aumentar a resistência desta espécie a doenças, bem como para o enriquecimento nutricional das bananas com vitamina A, cujo teor é muito baixo nestes frutos (TACO, 2011). A carência deste nutriente é a principal causa de cegueira em crianças, estima-se que entre 250 a 500 mil crianças percam a visão todos os anos por causa da ausência de betacaroteno no organismo (Zhao et al., 2019). Dados da Organização Mundial da Saúde (WHO/FAO, 2017a) amostam que doenças decorrentes da falta desta vitamina são responsáveis pela morte de mais de dois milhões de pessoas anualmente.

Neste sentido, bananeiras transgênicas cujos frutos apresentam altos níveis de betacaroteno foram baseadas em metodologias utilizadas em culturas como o arroz no chamado “Golden Rice” (Morán, 2015), esta pesquisa teve início em 2005 na *The Queensland University of Technology* (QUT) procurando o precursor da vitamina A com o objetivo de obter uma cultivar de Cavendish enriquecida com esta vitamina; (Amah et al., 2019a; Morán, 2015; Paul et al., 2017). Paul et. al. (2017), relataram que as bananeiras do subgrupo Cavendish transgênicas atingiram níveis representativos de provitamina A, o que pode então combater a problemáticas de saúde pública de uma forma sustentável (Amah et al., 2019b; Ghag e Ganapathi, 2017; Pua et al., 2019).

Dentre as ferramentas de engenharia genética mais aplicados na obtenção de bananas transgênicas destacam-se: a introdução de DNA em protoplastos obtidos a partir de suspensões de células por meio de electroporação (Swennen, 1999); transformação de suspensões de células embriogênicas com a utilização de

micropartículas (Becker et al., 1999) e a incorporação de genes com *Agrobacterium tumefaciens* em tecidos de ápices caulinares (Perez-Hernandez et al., 1999), porém as duas últimas tem apresentado melhores resultados.

Os resultados mais representativos em bananeiras comerciais em relação ao enriquecimento com pró-vitamina A foram desenvolvidos pela *Fundación Hondureña de Investigación Agrícola* (FHIA), cujo programa de melhoramento biotecnológico de bananas e de plátanos resultaram em cultivares com teores quatro vezes maiores que as dos subgrupos tradicionais Cavendish. Da mesma forma, o desenvolvimento de híbridos base para futuras pesquisas tem apresentado teores 20 vezes superiores de provitamina A (FHIA, 2014).

1.2.7.2 Fortificação

A fortificação de alimentos é definida pela Organização Mundial da Saúde (OMS), como a prática de incrementar deliberadamente o teor de micronutrientes ou vitaminas, melhorando então a qualidade nutricional do alimento e proporcionando benefício para a saúde pública (WHO, 2015a). Como vantagens desta prática pode-se citar alta cobertura populacional e baixo risco de toxicidade, por outro lado, as principais desvantagens são o custo de distribuição e sua acessibilidade.

De acordo com a WHO/FAO (2017a) existem diferenças em relação as populações que precisam ser atendidas e os requerimentos das mesmas. Desta forma, existem diferentes tipos de fortificação de alimentos, ou seja: a fortificação localizada, cujo foco é suprir os requerimentos de subgrupos específicos como alimentos complementares para as crianças pós-lactantes; a fortificação orientada pelo mercado, cujo foco é a demanda por parte do consumidor, levando ao o fabricante a agregar um ou mais micronutrientes aos alimentos processados; e a fortificação massiva ou universal, cujo foco é adicionar micronutrientes em produtos que são consumidos comumente pela população em geral, tais como cereais, condimentos e leite.

As diferentes experiências do uso da fortificação com Zn têm sido, de modo geral, limitadas (WHO/FAO, 2017a). Pode-se citar a produção de formulações para lactantes (sulfato de zinco), cereais prontos e suplementos alimentares. Os cinco compostos permitidos para o enriquecimento com zinco são de acordo a *Food and Drug Administration* (FDA) são o sulfato de zinco, o cloreto de zinco, o gluconato de zinco, o óxido de zinco e o estearato de zinco (Boccio e Monteiro, 2004).

Muitos países têm adotado a fortificação com Zn. Na Indonésia há a obrigação de ser adicionar zinco aos macarrões. Nos Estados Unidos da América (EUA) vem sendo utilizado o óxido de zinco na fortificação de cereais matinais, assim como, na fortificação de pão na Turquia, que resultou no aumento do crescimento em crianças em idade escolar (Kilic, 1998).

Muitas estratégias têm sido estudadas e implementadas para enriquecer os alimentos com Zn de forma massiva. Pode-se citar a redução do teor de ácido fítico do alimento para aumentar a absorção do Zn, conseguindo assim incrementar os valores de biodisponibilidade (Holt e Brown, 2004). Davidsson et al. (1994) agregaram NaFeEDTA aos alimentos para melhorar a absorção de Zn, que aumentou de 20 % para 35 %. Desta forma, este composto vem sendo uma opção de fortificação nas farinhas de cereais, apesar de inibir a ação das leveduras (Podder et al., 2018). Trabalhos foram desenvolvidos visando a implementação da estratégia de imersão de beterrabas e batatas em soluções com teores de 0, 10, 20 e 30 mg mL⁻¹ Zn durante 12, 16, 20 e 24 horas, visando aumentar o teor de Zn nestes alimentos (Carmona, 2018).

Em relação à banana, não foram encontrados na nossa revisão bibliográfica trabalhos referentes a fortificação deste fruto. Todavia, a utilização da fortificação de qualquer alimento como processo único de fornecimento deve ser repensada, pois esta estratégia torna-se é de caráter preventivo para o combate aos déficits de micronutrientes, uma vez que geralmente garante apenas o aporte e uma pequena fração dos requerimentos diários. Assim, esta estratégia deve ser considerada como um método de médio e de longo prazo (Boccio e Monteiro, 2004).

1.2.7.3 Biofortificação

Em função da resistência ao consumo de alimentos transgênicos e a limitação da fortificação de determinados alimentos, a biofortificação tem recentemente sido bastante fomentada. Esta prática consiste no processo pelo qual a qualidade nutricional dos alimentos de origem vegetal é melhorada por meio biológico, tais como o melhoramento convencional. A biofortificação difere da fortificação convencional, pois a biofortificação tem como objetivo o incremento do nível de nutrientes durante o desenvolvimento da planta e não durante o processamento do alimento. Assim, a biofortificação pode atingir populações onde as ações de suplementação e fortificação convencional são de difícil implementação e/ou são limitadas (WHO, 2015b).

Como exemplo de alimentos biofortificados pode-se citar: arroz, feijão, batata doce e mandioca biofortificados com Fe; trigo, arroz, feijão, batata doce e milho biofortificado em Zn; batata doce, milho e mandioca biofortificados com pró-vitamina A; sorgo e mandioca biofortificados com aminoácidos e proteínas (WHO, 2015b). Com diferentes estratégias de êxito tais como enriquecimento nutricional via solo (Ligowe et al., 2020), enriquecimento nutricional aplicação foliar (Aziz et al., 2019), uso bacteriano (Trivedi et al., 2019), biossíntese gênica (De Lepeleire et al., 2018).

Estratégias de biofortificação vem sendo testadas em diferentes pesquisas internacionais, procurando o benefício das populações mais vulneráveis, a engenharia metabólica aporta uma grande relevância de aporte de carotenoides em diferentes culturas com variedades de estratégias, Zheng et al. (2020) relataram as principais culturas e os objetivos propostos de biofortificação para cada uma delas e.g. a superexpressão de DXS (Enfissi et al. 2005), *FIBRILLIN* (Simkin et al. 2007), *PSY1* (Fraser et al. 2007), *PDS* (McQuinn et al. 2018), *RNAi* of *SGR1* (Li et al. 2018) em tomates, *PSY* (Há et al. 2010) e *BCH-BKT* poliproteico (Han et al. 2019) em arroz, *CrtO* (Gerjets e Sandmann, 2006) e *RNAi* de *CCD4* (Cambell et al., 2010) em batata, *Psy1*, *Ctrl*, *Chy*, (Zhu et al., 2007) em milho, *CrtB*, *CrtI* (Wang, 2014) em trigo, *Psy1-CrtI* poliproteico (Che et al. 2016) em sorgo, *Psy1-CrtI* (Kim et al., 2012) em soja, *Psy* (Yao et al. 2018) em algodão, *CrtB* (Welsch et al. 2010) em mandioca e *CHY* silenciado em laranja (Pons et al. 2014). Com respeito à banana, Paul et al. (2017),

aplicaram a estratégia da super expressão do *PSY* para provocar mudanças fenotípicas em carotenoides gerando um aumento na acumulação de β -caroteno nos frutos obtendo resultados favoráveis.

No caso da biofortificação de frutos de bananeira, alguns trabalhos foram desenvolvidos. Assis et al. (2020) relataram que a pulverização dos cachos de bananeira com cloreto de zinco (ZnCl_2) e sua combinação com o agente quelante (Anngro™) não se mostrou adequada, pois os teores de Zn nos frutos não foram elevados aos níveis pretendidos ($2 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$). Estes autores testaram ainda outra forma de biofortificação dos frutos de bananeira à semelhança do adotado por (Ancy e Kurien, 2000), ou seja, colocando um saco plástico contendo diferentes concentrações de sulfato de zinco (ZnSO_4) no engaço. Todavia, esta estratégia também não possibilitou o aumento do teor de Zn nos frutos para os 2 mg dia^{-1} requeridos por crianças.

Desta forma, em função da importância nutricional do Zn e da cultura da bananeira como provedora de alimento básico para os países em desenvolvimento, é necessário testar outras formas de se biofortificar estes frutos visando a obtenção de frutos cujos teores de Zn sejam nutricionalmente aceitáveis à nutrição de crianças.

1.3 REFERÊNCIAS

AGRIANUAL 2015. Anuário da agricultura brasileira (2014) Campinas: FNP Consultoria & Agroinformativos. p. 472.

AGRIANUAL 2020: anuário da agricultura brasileira (2019) São Paulo: FNP Agribusiness intelligence. P. 139 -152.

Amah D, Alamu E, Adesokan M, van Biljon A, Maziya-dixon B, Swennen R, Labuschagne M (2019a) Variability of carotenoids in a *Musa* germplasm collection and implications for provitamin A biofortification. **Food Chemistry: X** 100024. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2019.100024>

Amah D, van Biljon A, Brown A, Perkins-Veazie P, Swennen R, Labuschagne M (2019b). Recent advances in banana (*Musa* spp.) biofortification to alleviate vitamin A deficiency. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition** 59:(21): 3498–3510. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1495175>

Ancy TK, Kurien S (2000) Bunch stalk feeding of urea in banana *Musa* (AAB group) “Nendran”. **Scientia Horticulturae** 84(1–2): 205–212. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(99\)00110-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(99)00110-7)

Alloway, BJ (2 ed.) (2008) Zinc in soils and crop nutrition. Bruselas y París, **International Zinc Association/** International Fertilizer Industry Association.

Assis MWD, Leite GWP, Cunha Júnior LC, de Mello Prado R, Amorim, EP, dos Santos Neto JP, de Carvalho LC, de Almeida Teixeira GH (2020) Tentative zinc biofortification of banana fruit via bunch spray and bunch stalk feeding. **International Journal of Food Science & Technology** 0–1. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14547>

Auliya I, Hapsari L, Azrianingsih R (2019) Comparative study of leaf stomata profiles among different ploidy levels and genomic groups of bananas (*Musa* L.) Comparative study of leaf stomata profiles among different ploidy levels and genomic groups of bananas (*Musa* L.). **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science** 391:0–10. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/391/1/012037>

Aziz MZ, Yaseen M, Abbas T, Naveed M, Mustafa A, Hamid Y, Saeed Q, Xu M (2019) Foliar application of micronutrients enhances crop stand, yield and the biofortification essential for human health of different wheat cultivars. **Journal of Integrative Agriculture** 18(6):1369–1378. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)62095-7](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62095-7)

Becker D, Dudgale B, Smith M, Harding R,(1999) Genetic transformation of Cavendish banana (*Musa* spp. AAA) Group C.V. Grand Nain via microprojectile bombardment. In: **The International Symposium On The Molecular And Cellular Biology Of Banana**. New York. Boyce Thompson Institute for Plant Research Inc. p. 63-74.

Boccio J, Monteiro JB (2004) Fortificação de alimentos com ferro y zinc pros y contras desde un punto de vista alimenticio y nutricional. **Revista de Nutrição** 17(1):71–78. <https://doi.org/10.1590/s1415-52732004000100008>

Borges AL, Oliveira AMG, Souza LS (1987) Solos, nutrição e adubação. In: ALVES EJ (Eds) **A cultura da banana: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais**. Brasília: Embrapa, p. 197-260

Broadley MR, Broadley MR, White PJ, Hammond JP, Zelko I, Lux A (2007) *Zinc in plants*. **New Phytologist** 173: 677–702. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.01996.x>

Broadley M, Brown P, Cakmak I, Rengel Z, Zhao FJ (2012) Function of nutrients: micronutrients. in: Marschner P (ed.) **Marschner's mineral nutrition of higher plants** (3rd) Academic Press, London. p. 191-248

Campbell R, Ducreux LJ, Morris WL, Morris JA, Suttle JC, Ramsay G et al. (2010) The metabolic and developmental roles of carotenoid cleavage dioxygenase4 from potato, **Plant Physiology** 154 : 656–664.

Cakmak I, Guilherme LRG, Rashid A, Hora KH, Yazici A (2017). Iodine biofortification of wheat, rice and maize through fertilizer strategy. **Plant Soil** 418:319–335. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3295-9>

Carmona, VMV (2018) **Fortificação da batata e biofortificação agrônômica da beterraba com zinco**. 75 f. Tese (Doutorado Agronomia - Produção Vegetal) Unesp - Jaboticabal.

Che Y, Zhao Z-Y, Glassman K, Dolde D, Hu TX, Jones TJ, et al. (2016) Elevated vitamin E content improves all-trans β -carotene accumulation and stability in biofortified sorghum. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America** 113:11040–11045

Chitarra MIJF, Chitarra AB (2ed) (2005) **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: Editora UFLA,. 785p.

Clarkson DT, Hanson JB (1980) The mineral nutrition of higher plants. **Plant Physiology** 31:239–298. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.31.060180.001323>

Consolini F, Coutinho ELM (2004) Efeito da aplicação de Zn e do pH do solo na disponibilidade do micronutriente. **Acta Scientiarum Agronomy** 26(1): 7–12. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v26i1.1948>

Cousins RJ (7 ed.) (1999) Cinc. In: Ziegler EE, Filer LJ. **Conocimientos actuales sobre nutrición**.. Washington: International Life Sciences Institute, p 312-27.

Cousins RJ, Liuzzi JP, Lichten LA (2006) Mammalian zinc transport, trafficking, and signals. **Journal of Biological Chemistry** 281:24085-9

Davidsson L, Kastenmayer P, Hurrell RF (1994) Sodium iron EDTA [NaFe(III)EDTA] as a food fortificant: the effect on the absorption and retention of zinc and calcium in women. **American Journal of Clinical Nutrition**, 60:231–237.

De Lepeleire J, Strobbe S, Verstraete J, Blancquaert D, Ambach L, Visser RGF, Stove, C, Van Der Straeten D (2018) Folate Biofortification of Potato by Tuber-Specific Expression of Four Folate Biosynthesis Genes. **Molecular Plant**, 11(1):175–188. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2017.12.008>

Dias-Martins, AM, Pessanha KLF, Pacheco, S., Rodrigues JAS, Carvalho CWP (2018). Potential use of pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) in Brazil: Food security, processing, health benefits and nutritional products. **Food Research International**, 109, 175–186. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.023>

Enfissi EM, Fraser PD, Lois LM, Boronat A, Schuch W, Bramley PM (2005) Metabolic engineering of the mevalonate and non-mevalonate isopentenyl di-phosphate-forming pathways for the production of health-promoting isoprenoids in tomato. **Plant Biotechnology** 3: 17–27.

Epstein, E (1975) **Nutrição mineral das plantas** - Princípios e perspectivas. Tradução e notas de E. Malavolta. São Paulo, Livros Técnicos e Científicos. Ed. S.A. 341p.

FAO. (2002). **Nutrición humana en el mundo en desarrollo**. Minerales. *Nutricion humana en el mundo en desarrollo*, 99–204. <http://www.fao.org/docrep/006/w0073s/w0073s00.htm>

FAOSTAT (2018) **Data base:** Crops Productions, (2018). Disponível em:<<http://www.fao.org/faostat/en/#data/OA>>. Acesso em: 13 Novembro. 2018

FAOSTAT (2014) **Data base:** Crops Productions, (2018). Disponível em:<<http://www.fao.org/faostat/en/#data/OA>>. Acesso em: 7 Dezembro 2019

Fávaro, JRA (1992) **Crescimento e produção de *Coffea arabica* L. em resposta à nutrição foliar de zinco na presença de cloreto de potássio. 1992**. 91f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia vegetal), Universidade Federal de Viçosa.

FHIA, **Informe anual 2013-2014**.

Figueroa-Pedraza D, Rocha ACD, Queiroz EO, Sousa CP da C (2011). Estado nutricional relativo ao zinco de crianças que frequentam creches do estado da Paraíba Zinc nutritional status in children attending. **Revista de Nutrição**., 24(4):539–552. <https://doi.org/10.1590/S1415-52732011000400003>.

Fioravango JC (2003). Mercado Mundial Da Banana: produção , comércio e participação brasileira. **Informações Econômicas**, 33, 10.

Fraser PD, Enfissi EM, Halket JM, Truesdale MR, Yu D, Gerrish C, Bramley PM (2007) Manipulation of phytoene levels in tomato fruit: effects on isoprenoids, plastids, and intermediary metabolism, **Plant Cell** 19:132-143

Gerjets T, Sandmann G (2006) Ketocarotenoid formation in transgenic potato, **Journal of Experimental Biology**. 57 3639–3645

Ghag SB, Ganapathi TR (2017) Genetically modified bananas: To mitigate food security concerns. **Scientia Horticulturae**, 214:91–98. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.023>

Há SH, Liang YS, Jung H, Ahn MJ, Suh SC, Kweon SJ, et al. (2010), Application of two bicistronic systems involving 2A and IRES sequences to the biosynthesis of carotenoids in rice endosperm, **Plant Biotechnology Journal** 8 : 928–938

Han F, Cui H, Zhang B, Liu X, Yang L, Zhuang M, et al. (2019) Map-based cloning and characterization of BoCCD4, a gene responsible for white/yellow petal color in Boleracea, **BMC Genomics** 20: 242.

Holt C, Brown KH, eds (2004) International Zinc Nutrition Consultative Group (IZiNCG) Technical Document #1. Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control. **Food and Nutrition Bulletin** 25(Suppl 2):S94–S203.

Hurrell RF et al. (2003) Degradation of phytic acid in cereal porridges improves iron absorption by human subjects. **American Journal of Clinical Nutrition** 77:1213–1219

Hurrell RF (2018) **Efficacy and Safety of Iron Fortification**. Elsevier Inc. [10.1016/b978-0-12-802861-2.00020-1](https://doi.org/10.1016/b978-0-12-802861-2.00020-1)

IFA (1992) World Fertilizer Use Manual, **International Fertilizer Manufacturer's Association**. Paris, p 632.

IBGE (2010) **Produção Agrícola Municipal: culturas temporárias e permanentes**. IBGE: Rio de Janeiro. 89p.

IBGE (2010) **Pesquisa de orçamentos familiares : Análise do Consumo alimentar pessoal no Brasil**, IBGE: Rio de Janeiro. 150p.

IBGE (2019) **Pesquisa de orçamentos familiares : Análise do Consumo alimentar pessoal no Brasil primeiros resultados**, IBGE: Rio de Janeiro. 72p.

Jones HG (2nd) (1992) **Plants and microclimate**. Cambridge: University Press,.p. 428

Kabata-Pendias A (2011). **Trace elements in soils and plants**. New York: CRC Press, p 505.

Kim M-J, Kim JK, Kim HJ, Pak HJ, Lee J-H, Kim DH, et al. (2012) Genetic modification of the soybean to enhance the β -carotene content through seed- specific expression, **PLoS One** 7: e48287.

Kilic I et al. (2018) The effect of zinc-supplemented bread consumption on school children with asymptomatic zinc deficiency. **Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition** 26:167–171

Katsoulakou E, Papaefstathiou GS, Konidaris, KF, Pairas G, Raptopoulou C, Cordopatis P, Manessi-zoupa E (2009) Synthesis , structural study and topological analysis of Zn / Aib and Aib-based small peptide complexes (H-Aib-OH = α -aminoisobutyric acid). **Polyhedron** 28(15):3387–3399. <https://doi.org/10.1016/j.poly.2009.07.005>

Lambert SA, Jolma A, Campitelli LF, Das PK, Yin Y, Albu M, Chen X, Taipale J, Hughes TR, Weirauch MT (2018) The Human Transcription Factors. **Cell** 172(4), 650–665. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2018.01.029>

Li D, Limwachiranon, J, Li L, Du R, Luo Z (2016). Involvement of energy metabolism to chilling tolerance induced by hydrogen sulfide in cold-stored banana fruit. **Food Chemistry**, 208, 272–278. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.03.113>

Li X, Wang Y, Chen S, Tian H, Fu D, Zhu B, et al. (2018) Lycopene is enriched in tomato fruit by CRISPR/Cas9-mediated multiplex genome editing, **Frontiers in Plant Science**. 9:559

Ligowe, IS, Young SD, Ander EL, Kabambe V, Chilimba ADC, Bailey EH, Lark RM, Nalivata PC(2020). Selenium biofortification of crops on a Malawi Alfisol under conservation agriculture. **Geoderma**, 369:145-156 <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114315>

Lin PH, Sermersheim M, Li H, Lee PHU, Steinberg SM, Ma J (2018). Zinc in wound healing modulation. **Nutrients**, 10(1):1–20. <https://doi.org/10.3390/nu10010016>

Lyko F (2018) The DNA methyltransferase family: A versatile toolkit for epigenetic regulation. **Nature Reviews Genetics**, 19(2):81–92. <https://doi.org/10.1038/nrg.2017.80>

McQuinn RP, Wong B, Giovannoni JJ (2018) AtPDS overexpression in tomato: exposing unique patterns of carotenoid self-regulation and an alternative strategy for the enhancement of fruit carotenoid content, **Plant Biotechnology Journal** 16: 482–494

Malavolta E (1980) **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, Ceres. 251p.

Malavolta, E (1986) Nutrição Mineral e adubação do cafeeiro In: Rena AB, Malavolta E, Rocha M, Yamada T, (eds) **Cultura do cafeeiro e fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba, POTAFOS, p. 165-274

Malavolta E, Malavolta M, Lima Filho OF de, Nascimento Filho V, Cabral, CP (1996) Estudos sobre a nutrição mineral do cafeeiro 55. Absorção radicular de sais e quelatos de zinco marcados com zinco radioativo In: CONGRESO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, Aguas de Lindoia. Trabalhos apresentados... Rio de Janeiro : SDR/PROCAFE/EMBRAPA/DENAC/CATI, p 34-36

Malavolta E, Vitti GC, Oliveira AS (1997) Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. **Revista e atualidade**. Piracicaba: POTAFOS, p. 319.

Marschner P (3 ed) (2012) **Marschner's mineral nutrition of higher plants** . Elsevier, Academic Press, London

Miller DD (2008). Minerals. In: S, Damodaran KL, Parkin OR, **Food Chemistry**. Boca Raton - USA, 523-569 p.

Morán, JFA (2015). Plantains biofortified with Vitamin A. **Acta Horticulturae**, 1106: 15–18. <https://doi.org/10.17660/Acta Horticul.2015.1106.3>

Moreira RS (2003) O fim das Sigatokas. **Cultivas Hortalças e Frutas**, 17:12–14.

Muhidin M, Sadimantara GR, Leomo S, Yusuf DN, Rakian TC (2019) Characterizing the vegetative and fruit of local dwarf banana cavendish from SE Sulawesi. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, 260(1):0–5. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/260/1/012175>

Murmu, SB, Mishra HN (2016). Measurement and modelling the effect of temperature, relative humidity and storage duration on the transpiration rate of three banana cultivars. **Scientia Horticulturae**, 209:124–131. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.06.011>

Noulas C, Tziouvalekas M, Karyotis T (2018). Zinc in soils, water and food crops. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, 49:252–260. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.02.009>

Nunes ACS, Kalkmann DC, Aragão FJL (2009) Folate biofortification of lettuce by expression of a codon optimized chicken GTP cyclohydrolase I gene. **Transgenic Research**, 18: 661–667. <https://doi.org/10.1007/s11248-009-9256-1>

Padovani RM, Amaya-Farfán J, Colugnati FAB, Domene SMÁ (2006) Dietary reference intakes: Application of tables in nutritional studies. **Revista de Nutricao**, 19(6), 741–760. <https://doi.org/10.1590/S1415-52732006000600010>

Paul JY, Khanna H, Kleidon J, Hoang P, Geijskes J, Daniells J, Zaplin E, Rosenberg Y, James A, Mlalazi B, Deo P, Arinaitwe G, Namanya P, Becker D, Tindamanyire J, Tushemereirwe W, Harding R, Dale J (2017) Golden bananas in the field: elevated fruit pro-vitamin A from the expression of a single banana transgene. **Plant Biotechnology Journal** 15: 520–532. <https://doi.org/10.1111/pbi.12650>

Parra C, Lara L, Cayon G, Giraldo G (2001) Efecto del Granizo y el Viento sobre el Desarrollo y Calidad de los Frutos de Plátano Dominico hartón y FHIA-21. **Revista INFOMUSA** Vol 10 N° 2. p. 13 – 17

Paunov M, Koleva L, Vassilev A, Vangronsveld J, Goltsev V (2018) Effects of different metals on photosynthesis: Cadmium and zinc affect chlorophyll fluorescence in durum wheat. **International Journal of Molecular Sciences**, 19:42-49 <https://doi.org/10.3390/ijms19030787>

Perez-Hernandez J, Remy S, Galán-Sauco V, Swennen R, Sági L (1999) Chemotactic Movement and Attachment of *Agrobacterium tumefaciens* to Banana Cells and Tissues. **Journal Plant Physiology** 155:245–250. <https://doi.org/0176.1617/99/155/245>

Pérez-novo C, Bermúdez-couso A, López-periago E, Fernández-calviño D, Arias-estévez M (2011) Geoderma Zinc adsorption in acid soils In fluence of phosphate. **Geoderma** 162: 358–364. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.03.008>

Pla MFDE, Flores SK, Genevois CE (2020) Pumpkin tissue and other vegetable matrices with iron. **Food Science and Human Wellness**. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2020.02.005>

Podder R, Dellavalle DM, Tyler RT, Glahn RP, Tako E, Vandenberg A (2018) Relative bioavailability of iron in bangladeshi traditional meals prepared with iron-fortified Lentil Dal. **Nutrients**, 10:128-135. <https://doi.org/10.3390/nu10030354>

Pua TL, Tan TT, Jalaluddin NSM, Othman RY, Harikrishna JA (2019) Genetically engineered bananas—From laboratory to deployment. **Annals of Applied Biology**, 175:282–301. <https://doi.org/10.1111/aab.12538>

Paull RE, Duarte O (2nd) (2011) **Tropical Fruits** . CABI Head Office, Wallingford, England. 185- 220p

Prasad AS, Halsted JA, Nadimi M (1961) Syndrome of iron deficiency anemia, hepatosplenomegaly, hypogonadism, dwarfism and geophagia. **The American Journal of Medicine** 31:532-46.

Prasad AS (1985) Clinical and biochemical manifestations of zinc deficiency in human subjects. **Journal of the American College of Nutrition** 4:65-72

Prasad AS (1996) Zinc deficiency in women, infants and children. **Journal of the American College of Nutrition** 2:13-20

Prasad AS (2001) Recognition of Zinc-Deficiency Síndrome. **Nutrition** 17:67-69 p.,.

Pons E, Alquézar B, Rodríguez A, Martorell P, Genovés S, Ramón D, et al. (2014) Metabolic engineering of β -carotene in orange fruit increases its in vivo anti-oxidant properties, **Plant Biotechnology Journal** 12 : 17–27

Rajput VD, Minkina TM, Behal A, Sushkova SN, Mandzhieva S, Singh R, Gorovtsov A, Tsitsuashvili VS, Purvis WO, Ghazaryan KA, Movsesyan HS (2018) Effects of zinc-oxide nanoparticles on soil, plants, animals and soil organisms: A review. **Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management** 9:76–84. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2017.12.006>

Rosado JL (2003) Nutrient Composition for Fortified Complementary Foods Zinc and Copper : Proposed Fortification Levels and Recommended Zinc Compounds. **Nutrient Composition for Fortified Complementary Foods**, 133:2985–2989. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/jn/133.9.2985S>

Sadeghzadeh BA (2013) Review of zinc nutrition and plant breeding. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition** 13:905-927 <<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162013005000072>>

Shankar AH et al. (2000) The influence of zinc supplementation on morbidity due to Plasmodium falciparum: a randomized trial in preschool children in Papua New Guinea. **American Journal of Tropical Medicine and Hygiene** 62:663–669

Simmond NW (2da.ed.) (1973). **Los plátanos**. Traducción de Esteban Riambau. Barcelona-España. BULME, p. 247

Simkin AJ, Gaffé J, Alcaraz JP, Carde JP, Bramley PM, Fraser PD, Kuntz M (2007) Influence on plastid ultrastructure and pigment content in to- mato fruit, **Phytochemistry** 68:1545–1556

Silva SO et al., (2002a) Bananeira. In: Bruckner CH (Org) **Melhoramento de fruteiras tropicais**. Viçosa: UFV, p. 101-157

Silva, CRR e (2002b) **Avaliação de mudas enviveiradas de bananeira cv. Prata anã (AAB) obtidas in vitro, com aplicação de boro e zinco via substrato**. 87 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – UFL, Lavras

Silva SO, Alves EJ, Andrade Neto TM, Lichtemberg LA, Ferreira F R (2004) Avaliação de clones de bananeira do subgrupo Cavendish (*Musa acuminata*, AAA) em cruz das almas - BA. **Ciência e agrotecnologia**, 28:1247–1258. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542004000600005>.

Soto-Ballester M (2 Ed) (2000). **Bananos: cultivo y comercialización**. San José: Imprenta Lil, 1 CD- ROM

Sinclair SA, Krämer U (2012) The zinc homeostasis network of land plants, **Biochimica et Biophysica Acta**, 1823:1553-1567

Swennen R (1999) Cuellos de botella en la generación y mantenimiento de las suspensiones celulares morfogénicas de banano y la regeneración de las plantas vía embriogénesis somática a partir de ellas. **InfoMusa** 8(2): 3 – 7

TACO (4th ed) (2011) **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos, revisada e ampliada**. Campinas: UNICAMP

Taiz L, Zeiger, E (6.ed) (2017) **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed. 858p

Teixeira LAJ, Spironello A, Quaggio JA, Furlani PR (1996) Banana. In: Raij H, Cantarella JA, Quaggio AMC, Furlani (Eds) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo (Boletim Técnico. 100) p. 131-133.

Torrado-Jaime M, Castaño-Zapata J (2008) Incidence and severity of black (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) and yellow (*Mycosphaerella musicola* Leach et Mulder) sigatokas of plantain according to the phenological stages Incidencia y severidad of sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensi*) **Agronomia Colombiana**, 26:435–442.

Tripathi L, Ntui VO, Tripathi JN (2019) Application of genetic modification and genome editing for developing climate-smart banana. **Food and Energy Security**, 8:1–16. <https://doi.org/10.1002/fes3.168>

Trivedi G, Patel P, Saraf M (2019) Synergistic effect of endophytic selenobacteria on biofortification and growth of Glycine max under drought stress. **South African Journal of Botany**, 000:1–9. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.10.001>

Turner DW (1994) Bananas and plantains. In: Schaffer B, Andersen PC (Eds) **Handbook of Environmental Physiology of Fruit Crops**. Vol. II, Subtropical and Tropical Crops. CRC Press, Boca Raton, Florida, p. 37–64.

Vavilov N (1951) **The origin variation immunity and breeding of cultured plants**. New York. 366p.

Wang C, Zeng J, Li Y, Hu W, Chen L, Miao Y, et al. (2014) Enrichment of provitamin A content in wheat (*Triticum aestivum* L.) by introduction of the bacterial carotenoid biosynthetic genes CrtB and CrtI, **Journal of Experimental Biology**. 65: 2545–2556

Wang J, Um P, Dickerman BA, Liu J (2018) Zinc, magnesium, selenium and depression: A review of the evidence, potential mechanisms and implications. **Nutrients** 10: 1–19. <https://doi.org/10.3390/nu10050584>

Wellinghausen N (2001) Immunobiology of gestational zinc deficiency. **British Journal of Nutrition** 85:S81-S86

Welsch R, Arango J, Bär C, Salazar B, Al-Babili S, Beltrán J, et al. (2010) Provitamin A accumulation in cassava (*Manihot esculenta*) roots driven by a single nucleotide polymorphism in a phytoene synthase gene. **Plant Cell** 22:3348–3356

WHO (2015a) **Biofortification of staple crops**. <http://www.who.int/elena/titles/biofortification/en/2018>. (access 18 July 2019).

WHO (2015b) **Promoting fruit and vegetable consumption around the world**. <http://www.who.int/dietphysicalactivity/fruit/en/>. (access 15 July 2019)

WHO/FAO (2017a) **Global Data base on Child Growth and Malnutrition: Joint child malnutrition estimates - Levels and trends**. Disponível em: <<http://apps.who.int/gho/data/node.wrapper.nutrition-2016?lang=en>>. Acesso em: 15 mai. 2017.

WHO/FAO (2017b) **Guías para la fortificación de alimentos con micronutrientes**. Switzerland: WHO/FAO.

Yao D, Wang Y, Li Q, Ouyang X, Li Y, Wang C, et al. (2018) Specific upregulation of a cotton phytoene synthase gene produces golden cottonseeds with enhanced provitamin A, **Scientific Reports** 8:1348

Zhang G, Liu Y, Zhu Y, Wang Z, Hu Z, Zhang L, Li M, Chen H (2020) Zinc isotopic composition of the lower continental crust estimated from lower crustal xenoliths and granulite terrains. **Geochimica et Cosmochimica**, 276:92–108. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2020.02.030>

Zhao Y, Feng K, Liu R, Pan J, Zhang L, Lu X (2019) Vitamins and mineral supplements for retinitis pigmentosa. **Journal of Ophthalmology**, 2019:8524607-11. <https://doi.org/10.1155/2019/8524607>

Zheng X, Guliano G, Al-Babili S (2020) Carotenoid biofortification in crop plants: citius, altius, fortius. **Biochimica et Biophysica Acta - Molecular and Cell Biology of Lipids**, February, 158664. <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2020.158664>

Zhu C, Naqvi S, Gomez-galera S, Pelacho AM, Capell T, Christou P (2007) Transgenic strategies for the nutritional enhancement of plants. **Trends in Plant Science** 12(12), 548–555. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2007.09.007>

CAPÍTULO 2 - A biofortificação de frutos de bananeiras com zinco via injeção no pseudocaule é mais efetiva que a fortificação dos frutos¹

RESUMO – As dietas das populações dos países em desenvolvimento são constituídas principalmente por alimentos de origem vegetal, que são pobres em micronutrientes, o que pode levar à incidência de deficiências nutricionais. A deficiência de zinco (Zn), entre outros nutrientes, está associada ao déficit de crescimento em crianças, destacadamente quando a *Recommended Dietary Allowance (RDA)* de Zn não é atingida. Nestes países a banana e o plátano são considerados alimentos básicos e de consumo massivo, porém com baixo teor de Zn, com este trabalho foi objetivo geral pesquisar a eficácia da fortificação e da biofortificação de frutos de bananeira visando atingir a *RDA* de Zn de 3,0 mg dia⁻¹ em crianças de 1 – 3 anos e, por objetivos específicos: *i.* comparar a eficácia das estratégias de enriquecimento de Zn via imersão dos frutos de bananeira e injeção no pseudocaule e *ii.* verificar o efeito da aplicação do sulfato de zinco na vida útil pós-colheita e qualidade dos frutos. A fortificação dos frutos por meio de imersão, não se mostrou eficaz em função da baixa infiltração do corante ácido azul 9, atividade previa a imersão em soluções de sulfato de zinco (ZnSO₄ + 7H₂O). Por outro lado, foi possível biofortificar os frutos de bananeira por meio da injeção de soluções de sulfato de zinco no pseudocaule, triplicando o teor de Zn nos frutos em relação ao controle. O consumo de 81,9 ou 88,5 g de bananas desidratadas dos tratamentos que receberam 20 e 40 g.L⁻¹ de sulfato de zinco, respectivamente, supre 100% da *RDA* de Zn para crianças de 1 a 3 anos. Do mesmo modo, o consumo de três frutos biofortificados por dia de banana *in natura* destes tratamentos supriria a *RDA*. A vida útil pós-colheita dos frutos biofortificados com sulfato de zinco não foi afetada por estes tratamentos, porém foi observado diminuição do teor dos ácidos orgânicos (AT) e aumento do ratio, o que pode melhorar o aspecto e a aceitabilidade dos frutos biofortificados, sem comprometer seu potencial nutricional.

Palavras-chave: Armazenamento, Imersão, *Musa* AAA, Translocação vascular.

¹ Este capítulo corresponde ao artigo científico submetido à revista *Scientia Horticulturae* e encontra-se em avaliação para publicação.

2.1 INTRODUÇÃO

O consumo de frutas e hortaliças é fundamental para o suprimento de vitaminas e de elementos químicos considerados nutrientes. Além disso, os polissacarídeos presentes nestes alimentos são importantes fontes de fibras dietéticas (Chitarra e Chitarra, 2005). As frutas e hortaliças apresentam teores relativamente elevados, notadamente de cálcio (Ca), fósforo (P) e potássio (K) porém apresentam baixas concentrações de micronutrientes (Zhu et al., 2007). Nesse sentido, como grande parte dos nutrientes consumidos pelos seres humanos é proveniente de fontes vegetais, a falta de micronutrientes pode levar a deficiências nutricionais (Díaz-Gómez et al., 2017).

Assis et al. (2020) relataram que a população brasileira, assim como a de outros países em desenvolvimento, apresenta problemas de deficiência de micronutrientes. Estas deficiências afetam principalmente as crianças, que podem apresentar problema de déficit de crescimento devido à falta de zinco (Zn), vitamina A e de ferro (Fe) na dieta (Figuerola Pedraza et al., 2011). Quanto à deficiência de Zn, está também afeta o sistema imunológico, a cicatrização de feridas e causa a falta de apetite, além do déficit de crescimento (Miller, 2008). A *Recommended Dietary Allowances* (RDA) de Zn para crianças varia de acordo com a faixa etária, ou seja, de 2 mg dia⁻¹ para crianças de 0 – 6 meses e de 3 mg dia⁻¹ para crianças de 7 a 12 meses (Padovani et al., 2006). À medida que a idade aumenta, a recomendação de ingestão diária também aumenta para 3 e 5 mg dia⁻¹ para crianças com 1 – 3 e 4 – 8 anos, respectivamente, chegando a 14 mg dia⁻¹ em mulheres lactantes com menos de 18 anos (Padovani et al., 2006).

Para reduzir o problema com a deficiência de nutrientes na alimentação, várias estratégias podem ser adotadas, com destaque para a fortificação de alimentos, que é a prática de incrementar deliberadamente o teor de. Vitaminas e nutrientes, por exemplo, para aumentar a sua qualidade nutricional e promover benefício, com mínimo risco à saúde das pessoas (WHO, 2015).

A biofortificação difere da fortificação convencional, pois a biofortificação tem como objetivo aumento do teor de nutrientes durante o desenvolvimento da planta, da qual resulta ganho da qualidade nutricional por meios biológicos, tais como o melhoramento convencional, e não durante o processamento do alimento. Assim, a biofortificação pode atingir populações onde as ações de suplementação e fortificação convencional são de difícil implementação e/ou são limitadas (WHO, 2015). Portanto, a biofortificação vem sendo utilizada para aumentar o teor de ferro (Fe) em arroz, feijão, batata-doce e mandioca; de Zn em trigo, arroz, feijão, batata-doce e milho (Bouis et al., 2011; Bouis e Welch, 2010); de provitamina A em batata-doce, milho, mandioca e arroz (Saltzman et al., 2013), entre outros exemplos.

Dentre as espécies vegetais mais consumidas nos países em desenvolvimento, podem-se citar a banana e o plátano, sendo estes considerados alimentos básicos em muitos países da América do Sul e da África (Churchill, 2011). As bananas apresentam apenas 0,17 mg 100g⁻¹ de Zn, sendo consideradas fonte pobre deste elemento químico (TACO, 2011; TBCA, 2019), e seu consumo não permite atingir a RDA de Zn de 3 mg dia⁻¹ para crianças de 1 – 3 anos (Padovani et al., 2006). Todavia, devido a importância do consumo deste fruto em países em desenvolvimento, existem grandes possibilidades para fornecer bananas biofortificadas com Zn à estas populações. O objetivo geral pesquisar a eficácia da fortificação e da biofortificação de frutos de bananeira visando atingir a RDA de Zn de 3,0 mg dia⁻¹ em crianças de 1 – 3 anos e, por objetivos específicos: *i.* comparar a eficácia das estratégias de enriquecimento de Zn via imersão dos frutos de bananeira e injeção no pseudocaule e *ii.* verificar o efeito da aplicação do sulfato de zinco na vida útil pós-colheita e qualidade dos frutos.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Fortificação dos frutos de bananeira

2.2.1.1 Material vegetal

Foram utilizadas duas cultivares de bananeiras, a 'Nanica' e a 'Prata', pois a primeira é a mais cultivada e consumida no Estado de São Paulo (Agrianual, 2020) e a segunda representa 60 % da produção brasileira (Coltro e Karaski, 2019) os frutos destas cultivares foram colhidos na maturidade fisiológica e não foram submetidos ao processo de climatização.

2.2.1.2 Instalação do experimento

Antes de testar a fortificação dos frutos de bananeiras por meio da imersão dos frutos em soluções contendo zinco, foi realizado experimento imergindo os frutos das cultivares 'Nanica' e 'Prata' em solução contendo 10 g L⁻¹ (m/v) do corante ácido azul 9 (Chem-Impex International Inc., Wood Dale, EUA) com formula molecular C₃₇H₃₄N₂Na₂O₉S₃. Para isso testou-se a infiltração desta solução em quatro tempos de imersão (15, 30, 45 e 60 minutos) e em duas temperaturas (20°C e 38°C). Portanto o experimento foi instalado de acordo com o delineamento inteiramente casualizados (DIC) em esquema fatorial 2 (cultivares) x 2 (temperaturas) x 4 (tempos de imersão) com seis repetições, de dois frutos, totalizando 192 amostras.

2.2.1.3 Avaliações

Visando avaliar a internalização da solução contendo o corante ácido azul 9, que corresponderia à solução de zinco, foi determinada a área corada por esta solução na polpa dos frutos de bananeira. Um dia após a aplicação dos tratamentos, os frutos foram cortados ao meio, longitudinalmente, e colocados em um escâner (Hewlett-Packard, HP 300, USA), sendo obtida a imagem de cada fruto (Figura 1S). Estas imagens foram impressas, os dois lados das imagens dos frutos foram cortados manualmente, as áreas representativas das polpas foram pesadas em balança analítica (Sartorius, modelo Cubis, Alemanha). Similarmente, a área corada na imagem da polpa foi cortada manualmente e as áreas representativas da internalização da solução do corante ácido azul 9 foram pesadas em balança analítica.

Para calcular a porcentagem de polpa corada com a solução do corante ácido azul 9 foi utilizada a fórmula descrita por Gonçalves et al. (2000) :

$$\text{Área corada} = (m \times 100) / M$$

Em que: m = massa da polpa corada e M = massa total da polpa.

2.2.1.4 Análise estatística

Os dados relativos à área corada da polpa foram submetidos à análise de variância (ANOVA) utilizando sistema computacional AgroEstat (Barbosa e Maldonado-Júnior, 2015) para médias comparadas por meio do teste de Tukey a $P < 0,05$.

2.2.2 Biofortificação dos frutos de bananeira

2.2.2.1 Material vegetal

Para este experimento foi testada a biofortificação por meio da injeção de zinco no pseudocaule da bananeira. O experimento foi conduzido na Fazenda Brejo Limpo, localizada no município de Colina – SP (20° 48' 0,39" Sul e 48° 37' 54,86" Oeste e altitude 594 m.a.n.m.). O clima onde está localizado a propriedade é caracterizado como mesotérmico de inverno seco (Cwa), solo tipo Latossolo Vermelho álico A moderado de textura argilosa, relevo suave ondulado (Vianna et al., 2020). Nesta propriedade é realizada a produção comercial de bananeiras do grupo Cavendish, cultivar 'Grand Naine' e a área utilizada para a instalação do experimento foi plantada em agosto de 2017, com uso de mudas micro-propagadas, portanto com dois anos de cultivo, espaçadas de 2 x 4 m.

2.2.2.2. Condução da cultura

Todos os tratos culturais das bananeiras foram realizados conforme manejo adotado na Fazenda Brejo Limpo. No momento da instalação do bananal foi feita análise de solo e correção por meio da aplicação de calcário e gesso Teixeira et al. (1996). As adubações foram realizadas via fertirrigação com uso de nitrato de cálcio, ureia, sulfato de amônia, cloreto de potássio, nitrato de potássio, monofosfato de amônio e os micronutrientes zinco, boro, manganês e cobre. Usando o sistema de irrigação da cultura, por gotejamento, com gotejadores a cada 0,7 m. O controle da Sigatoka Amarela (*Mycosphaerella musicola*) foi feita com aplicações de fungicidas e as pragas, principalmente trips (*Chaetanaphothrips* spp.) e moleque da bananeira (*Cosmopolites sordidus*) com aplicação de inseticidas recomendados para a cultura. As plantas invasoras foram controladas com uso de herbicidas em pré e pós emergência. Em relação aos demais tratos culturais, foram realizadas remoção dos rebentos laterais, do coração e da última penca conforme o recomendado por Paull e Duarte, (2011).

2.2.2.3. Instalação do experimento

A estratégia adotada visando à biofortificação dos frutos de bananeira com zinco foi a injeção de soluções de sulfato de zinco ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) no pseudocaule das bananeiras. Porém, para avaliar a translocação desta solução do ponto onde foi feita a injeção até os frutos localizados nos cachos, anteriormente à instalação do experimento foram injetadas soluções contendo 10 g L^{-1} (m/v) do corante ácido azul 9 em diferentes posições do pseudocaule e a translocação foi avaliada, sendo estabelecida a distância de 30 cm abaixo da inserção dos cachos como a mais eficaz (Figura 2S).

Com a confirmação da translocação do corante (Figura 2S), 15 dias antes da colheita dos frutos, foram selecionadas 24 bananeiras, nas quais foram aplicadas soluções de $\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}$ via injeção no pseudocaule, conforme os tratamentos: *i.* controle, sem aplicação de Zn, água Milli-RO® (n=6 plantas). *ii.* $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ na dose

de 10,83 g L⁻¹ ou 1 % do sal (n=6 plantas). *iii.* ZnSO₄+7H₂O na dose de 21,66 g L⁻¹ ou 2 % do sal (n=6 plantas). e *iv.* ZnSO₄+7H₂O a 43,32 g L⁻¹ ou 4 % do sal (n=6 plantas). As injeções foram realizadas a 30 cm abaixo da inserção dos cachos por meio de uma agulha medindo 9 cm, visando atingir o eixo central das bananeiras, e foram aplicados 500 mL das diferentes soluções de sulfato de zinco em cada planta (Figura 3S), conforme o tratamento. O tempo estimado para cada injeção foi de aproximadamente 5 minutos.

Depois de 15 dias da aplicação das soluções os cachos foram colhidos e transportados até a casa de embalagem, onde foram despencados e separados em três partes, ou seja, *i.* penca superior (próxima ao engaço), *ii.* penca mediana e *iii.* penca inferior (última penca). Estas foram subdivididas em três partes, colocadas em caixas plásticas e climatizadas em câmaras frias à 15 ± 1°C, com umidade relativa próxima aos 90 %, e aplicações de 15 mL m⁻³ de etileno a cada 12 horas, com ciclo total de 48 horas (procedimento adotado pelo produtor). Assim, para a avaliação do teor de zinco nos frutos biofortificados, o experimento foi instalado de acordo com delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 4 (doses de zinco) x 3 (posições no cacho) com 6 repetições de dois frutos, totalizando 72 amostras.

2.2.2.4. Armazenamento pós-colheita

Como a biofortificação dos frutos de bananeira com as soluções de sulfato de zinco poderia afetar a qualidade e a vida útil pós-colheita dos frutos, estes foram armazenados a temperatura ambiente, 24 ± 2°C, com umidade relativa (UR) próxima a 72 % por 4 dias. Para isso, uma penca da porção mediana de cada cacho colhido foi armazenada nas condições anteriormente descritas. O experimento relativo à pós-colheita dos frutos foi instalado de acordo com delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 4 (doses de zinco) x 3 (período de avaliação – 0, 2 e 4 dias) com 6 repetições de dois frutos, totalizando 72 amostras.

2.2.2.5. Avaliações

2.2.2.5.1. Teor de zinco nos frutos de bananeira

Os frutos de bananeira dos diferentes tratamentos foram manualmente processados com garfos e pratos plásticos, visando evitar a contaminação da polpa com elementos químicos, destacadamente com zinco. Em seguida as amostras foram colocadas em recipientes plásticos previamente deixados por 24 horas em solução contendo 200 mL L⁻¹ (v/v) de ácido nítrico (HNO₃), enxaguados com água Milli-RO® e secos ao ar. As amostras foram armazenadas a -18 °C ± 2°C até a determinação do teor de zinco. Anteriormente a esta determinação, a polpa dos frutos foi submetida à secagem em estufa de circulação de ar forçada (Luca 82/250. Lucadema. Brasil) à 65°C por 56 horas, até peso constante, sendo determinada a umidade e a matéria-seca (MS) segundo o descrito pela AOAC, (1997). A polpa desidratada foi moída usando almofariz e pistilo de porcelana, lavados por imersão durante 24 horas em solução contendo 200 mL L⁻¹ (v/v) de ácido nítrico (HNO₃), enxaguados com água Milli-RO® e secos ao ar.

Para a determinação do teor de zinco (Zn) na polpa dos frutos de bananeira, foram pesados 250 mg da polpa seca moída, os quais foram incinerados em mufla (Quimis, Q318M21, Brasil) a 500°C por quatro horas (Carmo et al. 2000). A dissolução das cinzas foi feita com 25 mL da solução de ácido nítrico (HNO₃) a 0,1 mol L⁻¹, e a determinação do teor de Zn foi feita utilizando espectrofotômetro de absorção atômica (Varian, modelo AA50B, EUA). Os resultados do teor de Zn nos frutos foram expressos em mg 100g⁻¹ com base no teor de matéria-seca (MS) e matéria-fresca (MF).

2.2.2.5.2. Determinações da qualidade dos frutos no período pós-colheita

Inicialmente (dia 0) e a cada dois dias, até o quarto dia, os frutos de bananeira foram avaliados quanto:

Coloração: Determinada utilizando reflectômetro Minolta (CR-400, Minolta

Corp., Japão) na superfície da epiderme do fruto , que expressa esta medida segundo o sistema proposto pela “Commission Internationale de L'Eclairage” (CIE) em L^* , a^* , b^* e posteriormente foram calculados os valores de cromaticidade e de ângulo hue segundo a metodologia descrita por (McGuire, 1992).

Perda de massa fresca (PMF): Determinada por meio de passagem em balança analítica (Cubos, Sartorius, Alemanha) com precisão de 0,0001 g, e a porcentagem de perda de massa fresca foi calculada em relação à massa inicial dos frutos (Teixeira et al., 2007).

Firmeza: Após a retirada da epiderme dos frutos, a firmeza foi estipulada utilizando penetrômetro do tipo “Effegi Fruit Tester” (Bishop FT 327, Alfonsine, Itália) com ponteira de 8 mm. Os resultados foram expressos em Newton (N).

Teor de Sólidos Solúveis (SS): Estabelecidos utilizando refratômetro digital (Alpha, Atago Co, Japão), sendo expressos em porcentagem (%), (AOAC, 1997), proc. 932.12.

Acidez titulável (AT): Determinada pesando 10 g de polpa, os quais foram misturados 50 mL de água destilada e titulados com solução de NaOH 0,01 mol L⁻¹ usando fenolftaleína (10 g L⁻¹) como indicador, seguindo a metodologia 942-15 da AOAC, (1997).

Relação (SS/AT): O ratio (SS/AT) determinado pela razão entre os teores de sólidos solúveis (SS) e acidez titulável (AT), conforme proposto em AOAC, (1997).

Potencial Hidrogeniônico (pH): o pH da polpa foi determinado com auxílio de potenciômetro (Orion 3 Star, Thermo Scientific, EUA), inserindo o eletrodo diretamente na polpa homogeneizada (AOAC, 1997), proc. 945-27.

Ácido ascórbico: Determinado pesando-se 5 g de polpa, os quais foram misturados com 25 mL de solução de ácido oxálico a 5 g L⁻¹. Em seguida, a mistura foi filtrada e o volume aferido para 25 mL usando ácido oxálico (5 g L⁻¹). Desta solução, 10 mL foram transferidos para Erlenmeyer e titulados com 2,6 diclorofenol indo fenol (DFI) a 0,2 g L⁻¹ (m/v), conforme o descrito por Strohecker and Henning, (1967). Os resultados foram expressos em mg 100g⁻¹. As amostras analisadas foram determinadas a partir do material utilizado para estipular o teor de zinco.

2.2.2.6. Análise estatística

Os dados relativos ao teor de zinco nos frutos tanto na matéria-fresca como matéria-seca foram submetidos análise de regressão, esta variável junto com as demais medidas de qualidade dos frutos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), utilizando sistema computacional AgroEstat, (Barbosa e Maldonado Júnior, 2015) e as médias comparadas por meio do teste de Tukey a $P < 0,05$.

2.3. RESULTADOS

2.3.1. Fortificação dos frutos de bananeira

Foi observada interação significativa ($P < 0,05$) para os fatores cultivar, temperaturas e tempos de infiltração (Tabela 1). Todavia, a maior porcentagem de penetração do corante na polpa foi de apenas 0,66 % em frutos de bananeira 'Nanica' aquecidas a 38°C e imersas por 60 minutos (Figura 4S). As baixas penetrações do corante ácido azul 9 na polpa, ou seja, médias gerais de 0,09 % e 0,08 % para os frutos das cultivares 'Nanica' e 'Prata', respectivamente, evidenciam a ineficiência da imersão dos frutos como método de fortificação.

2.3.2. Biofortificação dos frutos de bananeira

2.3.2.1. Teor de zinco (Zn)

O teor de cinzas, possível indicador do teor de elementos químicos em alimentos, não foi afetado pelas injeções de sulfato de zinco no pseudocaule das bananeiras ($P > 0,05$), bem como, pela posição das pencas (Tabela 2). Por outro lado, em relação ao teor de Zn na matéria-seca (MS), foi observado efeito significativo ($P < 0,01$) para as doses de sulfato de zinco, não havendo efeito da posição das pencas nos cachos (Tabela 2). A biofortificação dos frutos por meio de injeções nos

pseudocauls com soluções contendo 20 e 40 g L⁻¹ de sulfato de zinco resultou no aumento do teor de Zn na matéria-seca, de 1,01 – 1,33 mg 100 g⁻¹ observados nos tratamentos controle e 10 g L⁻¹ sulfato de zinco para 3,66 e 3,39 mg 100 g⁻¹, respectivamente (Tabela 2). Resultado acima do valor de 3,0 mg 100 g⁻¹, necessários para atingir a ingestão diária recomendada (RDA) de Zn para crianças.

Os teores de Zn também aumentaram na polpa fresca, na matéria-fresca (MF), sendo um reflexo dos teores observados na MS (Tabela 2). As injeções nos pseudocauls das bananeiras com soluções contendo 20 e 40 g L⁻¹ de sulfato de zinco triplicaram os teores de Zn na MF, ou seja, os frutos controle apresentaram teores de Zn de 0,21 mg 100 g⁻¹ enquanto que os destes tratamentos atingiram 0,66 e 0,68 mg 100 g⁻¹, respectivamente (Tabela 2). Similarmente à MS, a posição das pencas nos cachos não teve efeito sobre o teor de Zn ($P > 0,05$). Em relação à RDA de 3,0 mg 100 g⁻¹, os teores máximos de Zn observados na MF foram três vezes inferiores àquele valor.

Em relação às doses de sulfato de zinco injetadas nos pseudocauls, as análises de regressão foram significativas ($P < 0,05$) para as equações de primeiro grau, tanto para o teor de Zn com base na MS ($y = -0,0175 + 0,9471x$; $R^2 = 0,80$; $F = 75,288$; $P < 0,0001$) quanto para MF ($y = 0,0205 + 0,1761x$; $R^2 = 0,87$; $F = 91,775$; $P < 0,0001$), indicando que o valor máximo de Zn na polpa não foi atingido.

2.3.2.2. Armazenamento pós-colheita: qualidade dos frutos

Durante o armazenamento dos frutos no ambiente ($24 \pm 2^\circ\text{C}$; 72% UR) foi observado aumento significativo da perda de massa fresca (PMF) pelos frutos que atingiu 10,23 % no quarto dia de armazenamento, porém sem que as injeções com sulfato de zinco tivessem efeito nesta variável (Tabela 3).

Similarmente, as injeções não afetaram a luminosidade (L^*), cromaticidade e ângulo hue ($^\circ h$) dos frutos, importantes medidas de coloração (Tabela 3). Por outro lado, durante o armazenamento foi observada diminuição significativa ($P < 0,01$) para os valores destas variáveis (Tabela 3). As reduções nos valores de L^* e cromaticidade

indicam o escurecimento dos frutos de bananeira durante o armazenamento e as mudanças no °h evidenciam que os frutos, inicialmente amarelados (°h = 99,88), se tornaram mais alaranjados (°h = 64,32).

Quanto as medidas físico-químicas, apenas os teores de sólidos solúveis (SS) não foram afetados pela biofortificação dos frutos por meio de injeções de sulfato de zinco no pseudocaule, tendo sido observado interações significativas ($P < 0,01$) entre as doses de sulfato de zinco e período de armazenamento para a acidez titulável (AT), ratio (SS/AT) e pH (Figura 2). Todavia, os teores de SS aumentaram significativamente ($P < 0,01$) durante o armazenamento, passando de 17,04% para 20,59 % no quarto dia (Tabela 3).

Em relação à AT, as bananas biofortificadas por meio de injeções de sulfato de zinco no pseudocaule, independentemente da dose, apresentaram menores teores de AT no quarto dia de armazenamento em relação ao controle (Figura 1c). Este comportamento afetou o ratio (SS/AT), ou seja, os frutos biofortificados com 20 e 40 g L⁻¹ de ZnSO₄ + 7H₂O apresentaram maior relação SS/AT, que os frutos controle e os tratados com 10 g L⁻¹ de ZnSO₄ + 7H₂O (Figura 1a). Quanto ao pH, os frutos biofortificados com a dose de 40 g L⁻¹ de ZnSO₄ + 7H₂O apresentaram valor de pH inicial menor do que o observado nos demais tratamentos. Porém, durante o armazenamento, estas diferenças desapareceram e os valores de pH aumentaram, à semelhança do que ocorre na pós-colheita de bananas (Figura 1b). O efeito da biofortificação por meio de injeções de ZnSO₄ + 7H₂O no pseudocaule na firmeza dos frutos foi menos pronunciado, tendo sido observado redução mais acentuada durante o armazenamento nos frutos controle até o segundo dia em relação aos frutos biofortificados com 40 g L⁻¹ de ZnSO₄ + 7H₂O, porém no último dia de armazenamentos não foram mais observadas diferenças entre os tratamentos (Figura 1d).

No tocante ao teor de ácido ascórbico, não foi observado efeito significativo para nenhum dos fatores analisados (Tabela 2). Assim, não houve modificação em relação a vitamina C, tanto para os fatores simples como para a interação destes fatores.

2.4. DISCUSSÃO

2.4.1 Teor de Zinco

Em função da baixa infiltração do corante (Tabela 1) pode-se inferir que haveria uma baixa infiltração também de soluções contendo zinco, o que inviabilizaria este método de fortificação em frutos de bananeira

A penetração de soluções de compostos orgânicos e inorgânicos em frutos é geralmente muito baixa, conforme relatado por outros autores (Balaguera-López et al., 2014; del Valle et al., 1998; Luna Guevara et al., 2015; Martinez et al., 2007). Por outro lado, Carmona, (2018) relatou que foi possível a fortificação de tubérculos de batata por meio da imersão em soluções contendo sulfato de zinco (10 mg mL^{-1}) por períodos maiores do que 12 horas. Resultados semelhantes foram obtidos com a fortificação com ferro (Fe) (Noda et al., 2018).

Embora, não tenha sido possível a fortificação dos frutos de bananeira com Zn, em função da baixa infiltração do corante, na metodologia adotada os tempos de imersão não superaram os 60 minutos. Por outro lado, Carmona (2018) e Noda et al. (2018), utilizaram 12 horas de imersão e obtiveram respostas significativas. Todavia, nestas condições de anaerobiose os frutos de bananeira poderiam fermentar, comprometendo a sua qualidade. Ainda, longos períodos de imersão podem favorecer a contaminação por microrganismos, além de serem antieconômicos.

Por outro lado, a biofortificação dos frutos de bananeira empregando a injeção no pseudocaule foi efetiva como estratégia de enriquecimento de Zn. Se consideramos os teores de Zn com base na MS (Tabela 2), as soluções contendo 20 e 40 g L^{-1} de $\text{ZnSO}_4 + 7\text{H}_2\text{O}$ apresentaram um aporte maior do que os 3 mg dia^{-1} . Se for considerada a RDA de Zn de 3 mg dia^{-1} para crianças de 1 a 3 anos (Padovani et al., 2006), o consumo de 81,9 ou 88,5 g de bananas desidratadas dos tratamentos 20 e 40 g L^{-1} de $\text{ZnSO}_4 + 7\text{H}_2\text{O}$, respectivamente, supririam 100 % desta exigência.

Considerando que a RDA de Zn de mulheres e homens adultos é maior do que a de crianças (White e Broadley, 2011), o consumo de 100 g de bananas desidratadas

representaria 46 e 33 % dos requerimentos deste elemento químico, respetivamente. Segundo Zuleta et al. (2012), o uso de farinha de banana é uma possibilidade efetiva para suprir os níveis de Zn requeridos pelas diferentes populações, pois é obtido a partir de uma matéria prima bastante econômica. Nessa perspectiva, a incorporação de farinha de banana biofortificada poderia ser utilizada para o preparo de pães, bolos etc., visando o suprimento de Zn.

Ao se avaliar o teor de Zn nas bananas *in natura*, matéria-fresca (MF), observam-se teores menores do que de 3 mg dia⁻¹, mesmo com a injeção das soluções contendo 20 e 40 g L⁻¹ de ZnSO₄ + 7H₂O (Tabela 2). Contudo, os frutos destes tratamentos apresentaram o triplo da concentração de Zn em relação ao controle. Novamente, foi possível biofortificar os frutos de bananeira por meio da injeção no pseudocaule, porém para atingir a RDA de Zn para crianças de 1 a 3 anos (3 mg dia⁻¹), seria necessário o consumo diário de 454,5 e 441,2 g de banana *in natura* dos frutos biofortificados com 20 e 40 g L⁻¹ de ZnSO₄ + 7H₂O, respectivamente. Estas quantidades são menores do que as bananas não biofortificadas (tratamento controle, 952,38 g) e dos 1.250 g, descritos por Englberger et al. (2003). Segundo Silva et al. (2004), os frutos da cultivar 'Grand Naine' tem em média 150 g, assim o consumo de três frutos biofortificados por dia supriria a RDA de crianças, o que contribuiria para a redução do déficit de crescimento (Rosado, 2003; Thavarajah et al., 2009; White e Broadley, 2011).

A estratégia da injeção de soluções contendo Zn no pseudocaule de bananeiras se mostrou uma alternativa viável para a biofortificação destes frutos, pois as soluções foram injetadas diretamente no sistema vascular da planta (xilema), sendo estas translocadas até os cachos e conseqüentemente aos frutos. O movimento basipeto do Zn do pseudocaule até os frutos foi confirmado pela aplicação do corante ácido azul 9 (Figura 2S), similarmente ao relatado por (Dordas et al., 2001).

Quando aplicado via solo, 82 % do Zn absorvido acumula no rizoma e no pseudocaule (Gomes et al., 1988; Lahav, 1995; Rodrigues et al., 2010). Este elemento é considerado parcialmente móvel (Malavolta, 1986) ou de baixa mobilidade (Favaro, 1992). Dada a sua baixa mobilidade no floema, para Clarkson e Hanson, (1980) os frutos são o quarto órgãos da planta em relação à concentração de Zn. Estas

observações podem estar relacionada ao insucesso de Assis et al. (2020) em biofortificar frutos de bananeira por meio da pulverização dos cachos com ZnCl e com o quelante Angro® e a colocação de sacos plásticos contendo sulfato de zinco no engaço, à semelhança do relatado por Ancy e Kurien, (2000).

2.4.2. Armazenamento pós-colheita: qualidade dos frutos

Com a preocupação de que as injeções de sulfato de zinco no pseudocaule pudessem afetar a qualidade e a vida útil pós-colheita, os frutos foram armazenados sob condições de ambiente até seu completo amadurecimento. Todavia, não foi observado efeito significativo dos tratamentos na vida útil pós-colheita e os frutos amadureceram normalmente (Tabela 3).

Em relação as medidas de qualidade, as injeções de sulfato de zinco no pseudocaule afetaram o metabolismo de ácidos orgânicos (AT), o que consequentemente modificou o pH e o ratio (Figura 1). No último dia de armazenamento foi observado que os frutos biofortificados com sulfato de zinco apresentaram AT significativamente menor que os frutos controle, o que levou a um maior ratio, pois os SS não apresentarem diferença significativa entre os tratamentos (Figura 1). Os maiores valores de ratio observados nos frutos tratados com 20 e 40 g L⁻¹ de ZnSO₄ + 7H₂O, poderia favorecer a qualidade sensorial dos frutos biofortificados, pois o “flavor” está relacionado à esta variável, sendo estes frutos considerados mais doces (Chitarra e Chitarra, 2005).

Assis et al. (2020) também relataram que a biofortificação com Zn afetou o metabolismo dos ácidos orgânicos. Estes autores sugeriram que o Zn pode formar quelato com o malato no citoplasma, e em seguida ser transportado para o vacúolo, onde pode ser armazenado e complexado na forma de diferentes compostos, à semelhança do que ocorre em plantas tolerantes a altas concentrações deste elemento (Mathys, 1977). Desta forma, o Zn translocado do pseudocaule para os frutos pode ter se ligado ao malato e/ou ao citrato, ácidos orgânicos fundamentais

para o funcionamento normal do ciclo dos ácidos tricarboxílicos (TCA), levando às diminuições nos teores de AT nos frutos tratados com sulfato de zinco (Figura 1).

Kumar e Kumar, (1988) também relataram reduções nos teores de AT e de ácido ascórbico em frutos de mangueira pulverizados com sulfato de zinco. Apesar da redução de AT, não foram observadas alterações nos teores de ácido ascórbico (Tabela 2). Nesse sentido, a biofortificação dos frutos de bananeira com sulfato de zinco não afetou as concentrações de ascorbato e manteve os aspectos nutricionais deste fruto, pois a vitamina C é essencial aos seres humanos e, apesar dos frutos de bananeira não serem fonte importante desta vitamina, sua redução poderia impactar no seu suprimento às populações mais carentes.

2.5 CONCLUSÃO

A estratégia de fortificação dos frutos por meio de imersão, não se mostrou eficaz em função da baixa infiltração do corante ácido azul 9 que foi utilizada para prever a imersão de soluções de sulfato de zinco. Por outro lado, foi possível biofortificar os frutos de bananeira por meio da injeção de soluções de $\text{ZnSO}_4 + 7\text{H}_2\text{O}$ no pseudocaule triplicando o teor de Zn nos frutos.

O consumo de 81,9 ou 88,5 g de bananas desidratadas tratadas com 20 e 40 g L^{-1} de $\text{ZnSO}_4 + 7\text{H}_2\text{O}$, respectivamente, supre 100 % da RDA de Zn para crianças de 3 a 5 anos (3 mg dia^{-1}). Da mesma forma, o consumo de 454,5 e 441,2 g de banana *in natura* tratadas com as mesmas soluções suprem a RDA, o que representa o consumo de três frutos biofortificados por dia.

A vida útil pós-colheita dos frutos biofortificados com sulfato de zinco de zinco não foi afetada pela aplicação das soluções, porém a qualidade dos frutos apresentou modificações, destacadamente pela diminuição do teor dos ácidos orgânicos (AT) e aumento do ratio, o que poderia melhorar o aspecto e a aceitabilidade dos frutos biofortificados devido ao aumento do “flavor”.

A estratégia de injetar soluções contendo sulfato de zinco repetida em aplicações periódicas, poderá promover um maior incremento do teor de Zn nos frutos e será testada futuramente.

2.6 REFERÊNCIAS

Agrianual2020: anuário da agricultura brasileira., 2019. 25 ed. São Paulo: IEGFNP Agribusiness intelligence. 139 -152p.

AOAC., (1997). *Official methods of analysis*, 16th ed. Gaithersburg: AOAC International.

Ancy, T.K., Kurien, S., 2000. Bunch stalk feeding of urea in banana Musa (AAB group) "Nendran." *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 84, 205–212. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(99\)00110-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(99)00110-7)

Assis, M.W.D., Leite, G.W.P., Cunha Júnior, L.C., de Mello Prado, R., Amorim, E.P., dos Santos Neto, J.P., de Carvalho, L.C., de Almeida Teixeira, G.H., 2020. Tentative zinc biofortification of banana fruit via bunch spray and bunch stalk feeding. *Int. J. Food Sci. Technol.* 0–1. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14547>

Balaguera-López, H.E., Herrera, A., Ramírez, D.A., Almanza-Merchan, P.J., 2014. The Duration of Immersion in CaCl₂ and Refrigeration Modify Some Physical Characteristics of Lulo (*Solanum quitoense* Lam .) fruit during the Postharvest Stage. *Acta Hortic.* 1016, 147–150. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1016.20>

Bouis, H.E., Hotz, C., McClafferty, B., Meenakshi, J. V, Pfeiffer, W.H., 2011. Biofortification : A new tool to reduce micronutrient malnutrition 32, 31–40.

Bouis, H.E., Welch, R.M., 2010. Biofortification — A Sustainable Agricultural Strategy for Reducing Micronutrient Malnutrition in the Global South. *Crop Sci.* 50, 20–32. <https://doi.org/10.2135/cropsci2009.09.0531>

Carmo, C.A.F. de S., Araújo, W.S., Bernard, A.C. de C., Saldanha, M.F.C.S., 2000. Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos. Circular Técnica n° 6, Rio de Janeiro.

Carmona, V.M.V., 2018. Fortificação da batata e biofortificação agrônômica da beterraba com zinco. UNESP - FCAV, Jaboticabal - Brasil.

Chitarra, M. I. F.; Chitarra, A. B., 2005. Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e

manuseio. 2. ed. rev. e ampl. Lavras: UFLA.

Churchill, A.C.L., 2011. *Mycosphaerella fijiensis*, the black leaf streak pathogen of banana: Progress towards understanding pathogen biology and detection, disease development, Pathogen profile *Mycosphaerella fijiensis*, the black leaf streak pathogen of banana: progress tow. *Mol. plant Pathol.* 12, 307–328. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2010.00672.x>

Clarkson, D.T., Hanson, J.B., 1980. The mineral nutrition of higher plants. *Plant. Physiol.* 31, 239–298. <https://doi.org/https://doi.org/10.1146/annurev.pp.31.060180.001323>

Coltro, L., Karaski, T.U., 2019. Environmental indicators of banana production in Brazil: Cavendish and Prata varieties. *J. Clean. Prod.* 207, 363–378. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.258>

del Valle, J.M., Aránguiz, V., Leon, H., 1998. Effects of blanching and calcium infiltration on PPO activity, texture, microstructure and kinetics of osmotic dehydration of apple tissue. *Food Res. Int.* 31, 557–569. [https://doi.org/10.1016/s0963-9969\(99\)00029-0](https://doi.org/10.1016/s0963-9969(99)00029-0)

Díaz-Gómez, J., Twyman, R.M., Zhu, C., Farré, G., Serrano, J.C., Portero-Otin, M., Muñoz, P., Sandmann, G., Capell, T., Christou, P., 2017. Biofortification of crops with nutrients: factors affecting utilization and storage. *Curr. Opin. Biotechnol.* 44, 115–123. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2016.12.002>

Dordas, C.; Sah, R.; Brow, P.H.; Zeng, Q.; Hu, H., 2001. Remobilização de micronutrientes e elementos tóxicos em plantas superiores. In: FERREIRA, M.E.; Cruz, M.C.P.; Raij, B. van.; Abreu, C.A. (Ed.). *Micronutrientes e elementos tóxicos na Agricultura*. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, p.43-85.

Englberger, L., Aalbersberg, W., Ravi, P., Bonnin, E., Marks, G.C., Fitzgerald, M.H., Elymore, J., 2003. Further analyses on Micronesian banana, taro, breadfruit and other foods for provitamin A carotenoids and minerals. *J. Food Compos. Anal.* 16, 219–236. [https://doi.org/10.1016/S0889-1575\(02\)00171-0](https://doi.org/10.1016/S0889-1575(02)00171-0)

Fávaro, J.R.A., 1992. Crescimento e produção de *Coffea arabica* L. em resposta à nutrição foliar de zinco na presença de cloreto de potássio. 91f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia vegetal) – Curso de Pós-graduação em Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Viçosa.

Figuerola Pedraza, D., Rocha, A.C.D., Queiroz, E.O., Sousa, C.P. da C., 2011. Estado nutricional relativo ao zinco de crianças que frequentam creches do estado da Paraíba Zinc nutritional status in children attending. *Rev. Nutr.* 24, 539–552. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S1415-52732011000400003>.

Gomes, J. A.; Haag, H. P.; Nóbrega, A. C., 1988. Acumulação de matéria seca e micronutrientes pela planta-matriz da bananeira cv. Prata (Musa AAB, subgrupo Prata) em diferentes estádios de desenvolvimento. *Anais da Esalq*, Piracicaba, v. 45, part 1, p. 341-357.

Gonçalves, N.B., de Carvalho, V.D., Gonçalves, J.R.A., 2000. Efeito do cloreto de cálcio e do tratamento hidrotérmico na atividade enzimática e no teor de fenólicos do abacaxi. *Pesq. agropec. bras.* 35, 2075–2081. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000001000020>.

Kumar, O.V., Kumar, G., 1988. Effect of pre-harvest foliar sprays of zinc on post-harvest changes in the quality of mango cv Dashehari. *Acta Horticulturae*, **231**, 763-770.

Lahav, E. 1995. Banana nutrition. In: GOWEN, S. (Ed.). *Banana and plantains*. London: Chapman & Hall. p. 258-316.

Luna Guevara, M.L., Guevara, J.J.L., Espinosa, H.R., Leyva, L., Díaz, C.B., 2015. Eficiencia de la desinfección con aceites esenciales y ultrasonido sobre *Escherichia coli* inoculada en frutos de tomate y el impacto sobre la actividad antioxidante. *Rev. Argent. Microbiol.* 47, 251–255. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2015.04.004>

Malavolta, E., 1986. Nutrição Mineral e adubação do cafeeiro In: Rena, A.B; Malavolta, E; Rocha, M.; Yamada, T; (eds). *Cultura do cafeeiro e fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba. POTAFOS. p 165-274

Martinez, V.Y., Nieto, A.B., Castro, M.A., Salvatori, D., Alzamora, S.M., 2007. Viscoelastic characteristics of Granny Smith apple during glucose osmotic dehydration. *J. Food Eng.* 83, 394–403. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.03.025>

Mathys, W., 1977. The role of malate, oxalate and mustard oil glucosides in the evolution of zinc-resistance in herbage plants. *Physiologia Plantarum*, **40**, 130-136

McGuire, R.G., 1992. Reporting of Objective Color Measurements. *HortScience* 27, 1254–1255. <https://doi.org/10.21273/hortsci.27.12.1254>

Miller, D.D., 2008. Minerals. In: *Food Chemistry* (Edited by S., Damodaran, K.L., Parkin, O.R., Finemma). Pp. 523-569. Boca Raton, USA: CRC Press.

Noda, T., Chie, M., Ishiguro, K., 2018. Preparation of iron-fortified potato starch and its properties. *J. Food Sci. Technol.* 55, 1360–1365. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3048-7>

Paull, R.E., Duarte, O., 2011. Tropical Fruits, 2 nd. ed. CABI Head Office, Wallingford, England. 185-220p

Rodrigues, Maria Geralda Vilela, Pacheco, Dilermando Dourado, Natale, William, Silva, José Tadeu Alves da, & Dias, Mário Sérgio Carvalho., 2010. Distribuição da biomassa e minerais em "família" de bananeira 'prata-anã' adubada com zinco via broto desbastado. Revista Brasileira de Fruticultura, 32(2), 599-611. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452010000200034>

Rosado, J.L., 2003. Nutrient Composition for Fortified Complementary Foods Zinc and Copper: Proposed Fortification Levels and Recommended Zinc Compounds. Nutr. Compos. Fortif. Complement. Foods 133, 2985–2989. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/jn/133.9.2985S>

Saltzman, A., Birol, E., Bouis, H.E., Boy, E., Moura, F.F. De, Islam, Y., Pfeiffer, W.H., 2013. Biofortification: Progress toward a more nourishing future. Glob. Food Sec. 2, 9–17. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2012.12.003>

Silva, S.O., Alves, E.J., Andrade Neto, T.M., Lichtemberg, L.A., Ferreira, F.R., 2004. Avaliação de clones de bananeira do subgrupo Cavendish (Musa acuminata, AAA) em cruz das almas - BA. Ciênc. agrotec. 28, 1247–1258. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S1413-70542004000600005>

Strohecker, R.L., Henning, H.M., 1967. Analisis de vitaminas: metodos comprobados. Paz Montalvo, Madrid.

Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TBCA)., 2019 Universidade de São Paulo (USP). Food Research Center (FoRC). Versão 7.0. São Paulo, 2019. [22 Fevereiro 2020]. Disponível em: <http://www.fcf.usp.br/tbca>

TACO., 2011. *Tabela Brasileira de Composição de Alimentos, revisada e ampliada*, 4th ed. Campinas: UNICAMP.

Teixeira, G.H.A., Durigan, F., Alves, R.E., Hare, T.J.O., 2007. Use of modified atmosphere to extend shelf life of fresh-cut carambola (Averrhoa carambola L . cv . Fwang Tung) 44, 80–85. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.11.007>

Teixeira, L.A.J., Spironello, A., Quaggio, J.A. & Furlani, P.R., 1996. Banana. In: *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo* (Edited by B., van., Raij, H., Cantarella, J.A., Quaggio, A.M.C., Furlani). Pp. 131-133. Campinas: Instituto Agrônômico (Boletim Técnico. 100).

Thavarajah, D., Thavarajah, P., Sarker, A., Vandenberg, A., 2009. Lentils (Lens

culinaris medikus subspecies culinaris): A whole food for increased iron and zinc intake. J. Agric. Food Chem. 57, 5413–5419. <https://doi.org/10.1021/jf900786e>

Vianna, M. dos S., Silveira, D., Nassif, P., Carvalho, S., Ricardo, F., 2020. Modelling the trash blanket effect on sugarcane growth and water use. Comput. Electron. Agric. 172, 105361. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105361>

White, P.J., Broadley, M.R., 2011. Physiological limits to zinc biofortification of edible crops. Front. Plant Sci. 2, 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2011.00080>

WHO. 2015. *Promoting fruit and vegetable consumption around the world*. <http://www.who.int/dietphysicalactivity/fruit/en/>. (access 22 January 2015).

Zhu, C., Naqvi, S., Gomez-galera, S., Pelacho, A.M., Capell, T., Christou, P., 2007. Transgenic strategies for the nutritional enhancement of plants. Trends Plant. Sci 12, 548–555. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2007.09.007>

Zuleta, Á., Binaghi, M.J., Greco, C.B., Cristina Aguirre, Casa, L.D. la, Tadini, C., Ferrer, P.A.R. de, 2012. Diseño de panes funcionales a base de harinas no tradicionales. Design of functional breads based on non-traditional flours. Rev Chil Nutr 39, 58–64. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182012000300009>

Tabelas

Tabela 1. Infiltração da solução de corante ácido azul 9 (10 g L^{-1}) em bananas ‘Nanica’ e ‘Prata’ submetidas a diferentes temperaturas e tempos de imersão.

Efeitos principais	Infiltração
	(%)
Cultivar (A)	
Nanica	0,09
Prata	0,08
<i>P</i> (0,05)	0,0874
Temperatura (B)	
Sem aquecimento	0,10
Aquecido a 38°C	0,07
<i>P</i> (0,05)	0,4306
Tempo imersão (C)	
15 min.	0,08
30 min.	0,06
45 min.	0,07
60 min.	0,13
<i>P</i> (0,05)	0,1559
Interações	
A x B	0,2465 ^{NS}
A x C	0,0009 ^{**}
B x C	0,0277 [*]
A x B x C	0,0083 ^{**}
CV (%)	48,95

(*), (**) e NS denotam significância a 5%, 1% de probabilidade e não significativo pelo teste Tukey, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra dentro de cada coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey.

Tabela 2. Efeitos simples e interações das principais características na determinação do teor de zinco na polpa de banana 'Grand Naine' com base na matéria-seca (MS) e matéria-fresca (MF).

Efeitos principais	Umidade g kg ⁻¹	Matéria-seca g kg ⁻¹	Zinco - MS mg 100 g ⁻¹ MS	Zinco - MF mg 100 g ⁻¹ MF	Cinzas g kg ⁻¹	A.A (*) mg 100g ⁻¹
Concentração (A)						
Controle	787.2 ab	212.7 a	1.01 b	0.21 b	7.7	4.92
10 g L ⁻¹ ZnSO ₄	783.4 b	216.5 a	1.33 b	0.28 b	7.7	4.75
20 g L ⁻¹ ZnSO ₄	793.2 ab	206.7 ab	3.66 a	0.66 a	7.8	4.82
40 g L ⁻¹ ZnSO ₄	797.9 a	202.0 b	3.39 a	0.68 a	7.7	5.02
<i>P</i> (0.05)	0.0035**	0.0029*	<0.001**	<0.001**	0.8202	0.8808
Posição (B)						
Superior (1)	787.9	212.1	2.16	0.42	7.8	4.79
Média (2)	792.0	208.6	2.13	0.43	7.7	4.76
Inferior (3)	791.3	207.9	2.76	0.53	7.6	5.08
<i>P</i> (0.05)	0.4602	0.4686	0.3286	0.4498	0.1655	0.5165
Interação						
A x B	NS	NS	NS	NS	NS	NS
<i>P</i> (0.05)	0.8765	0.8699	0.6809	0.8959	0.0661	0.3555
CV (%)	4.62	0.77	75.07	50.07	20.31	22.14

(*), (**) e NS denotam significância a 5%, 1% de probabilidade e não significativo pelo teste Tukey, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra dentro de cada coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey.

Tabela 3. Perda de massa fresca (PMF - %), coloração (luminosidade, cromaticidade e ângulo Hue) e teor de sólidos solúveis de frutos de banana 'Grand Naine' tratados com doses de sulfato de zinco injetados no pseudocaule das bananeiras durante o período pós-colheita.

Efeitos principais	PMF %	Luminosidade	Cromaticidade	Ângulo hue	SS %
Concentração (A)					
Controle	4.23	48.87	32.67	80.56	20.61
10 g L ⁻¹ ZnSO ₄	5.48	50.68	34.27	83.32	20.46
20 g L ⁻¹ ZnSO ₄	4.46	50.12	30.99	71.91	19.65
40 g L ⁻¹ ZnSO ₄	4.80	47.93	31.11	79.10	19.04
P (0.05)	0.0747	0.3858	0.5215	0.4113	0.0542
Armazenamento (B)					
0 dia (1)	0.00 c	60.49 a	39.63 a	92.74 a	17.042 c
2 dia (2)	4.01 b	51.19 b	35.04 b	79.10 ab	22.200 a
4 dia (3)	10.22a	36.52 c	22.11 c	64.32 b	20.591 b
P (0.05)	<0.001**	<0.001**	<0.001**	<0.001**	<0.001**
Interação					
A x B	NS	NS	NS	NS	NS
P (0.05)	0.3073	0.4827	0.1872	0.6822	0.9113
CV (%)	21.25	2.29	20.64	18.58	18.51

(*), (**) e NS denotam significância a 5%, 1% de probabilidade e não significativo pelo teste Tukey, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra dentro de cada coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey.

Figuras

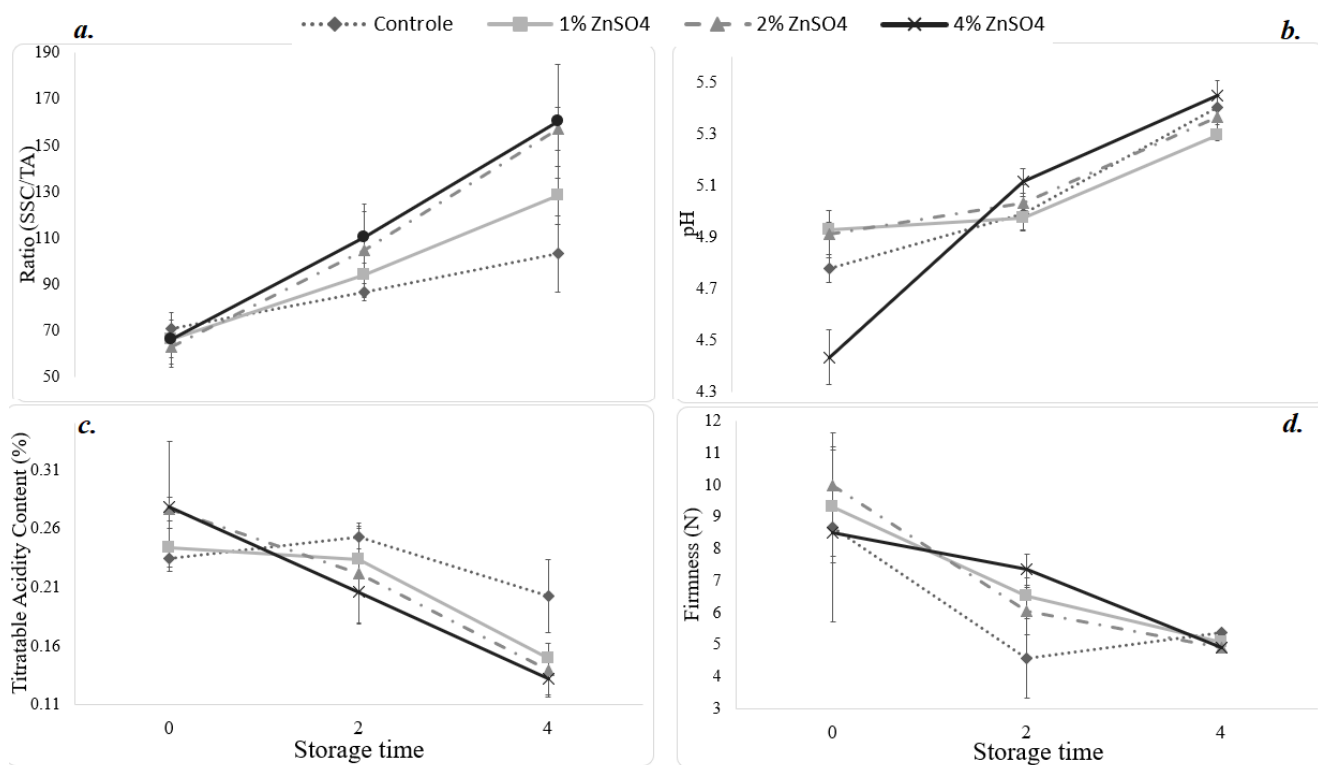


Figura 1. Modificações durante o período pós-colheita da (a) relação (SSC/AT), (b) potencial hidrogeniônico (pH), (c) teores de acidez titulável (AT) e (d) firmeza (N) de frutos de banana 'Grand Naine' tratados com doses de sulfato de zinco injetadas no pseudocaule das bananeiras.

Material suplementar

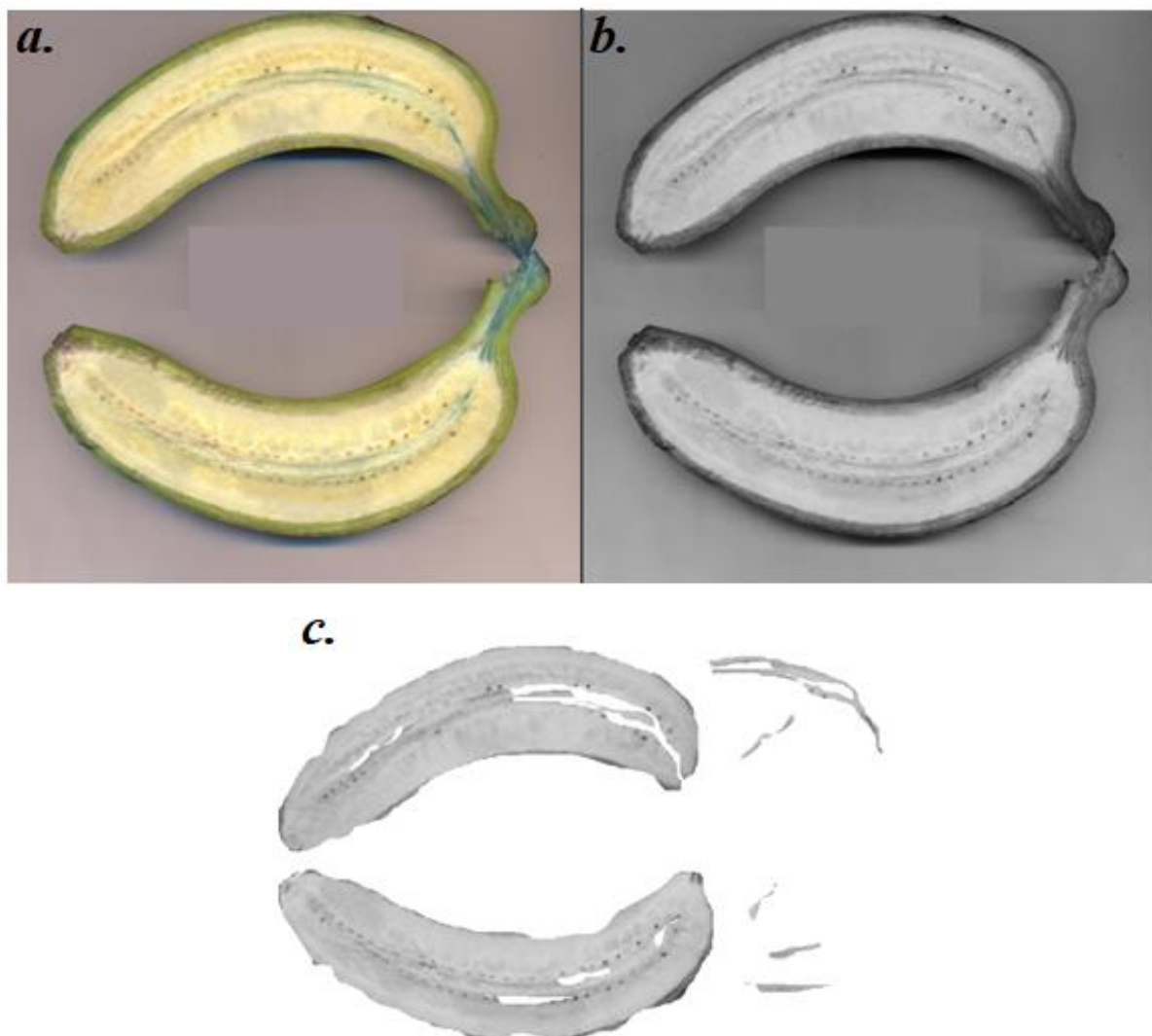


Figura 1S. Imagem escaneada do corte longitudinal de frutos de bananeira 'Nanica' utilizados para a avaliação da porcentagem de infiltração do corante ácido blue 9 a 10 g.L^{-1} na polpa dos frutos (*a*). Imagem impressa em preto e branco (*b*) e recorte das áreas coradas e não coradas (*c*).

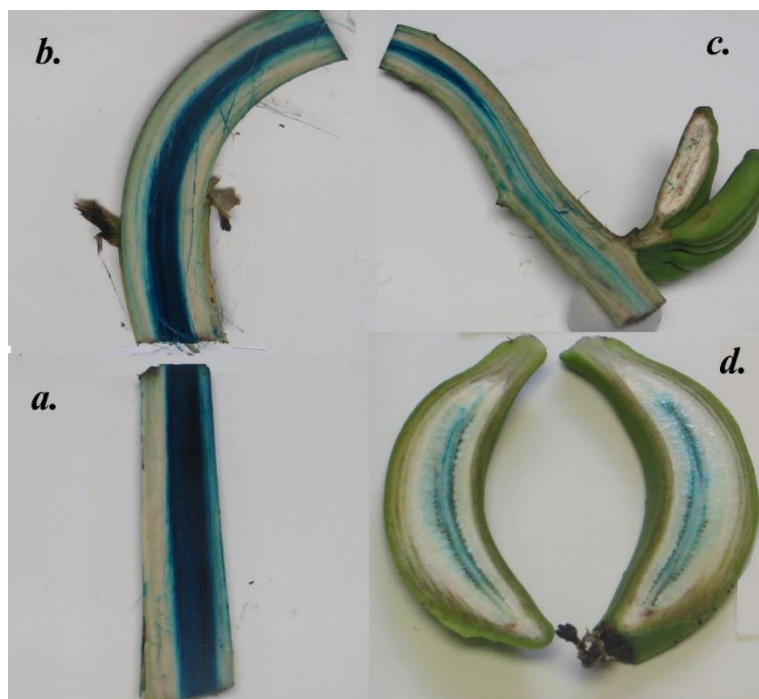


Figura 2S. Translocação acrópeta do corante ácido azul 9 a 10 g.L^{-1} no engaço (a e b), na primeira penca do cacho (c) e nos frutos (d) quando este foi injetado no pseudocaule de bananeiras 30 cm abaixo da inserção do engaço.



Figura 3S. Aplicador desenvolvido (a) visando a injeção das soluções contendo sulfato de zinco ($\text{ZnSO}_4 + 7\text{H}_2\text{O}$) no pseudocaule das bananeiras (b).

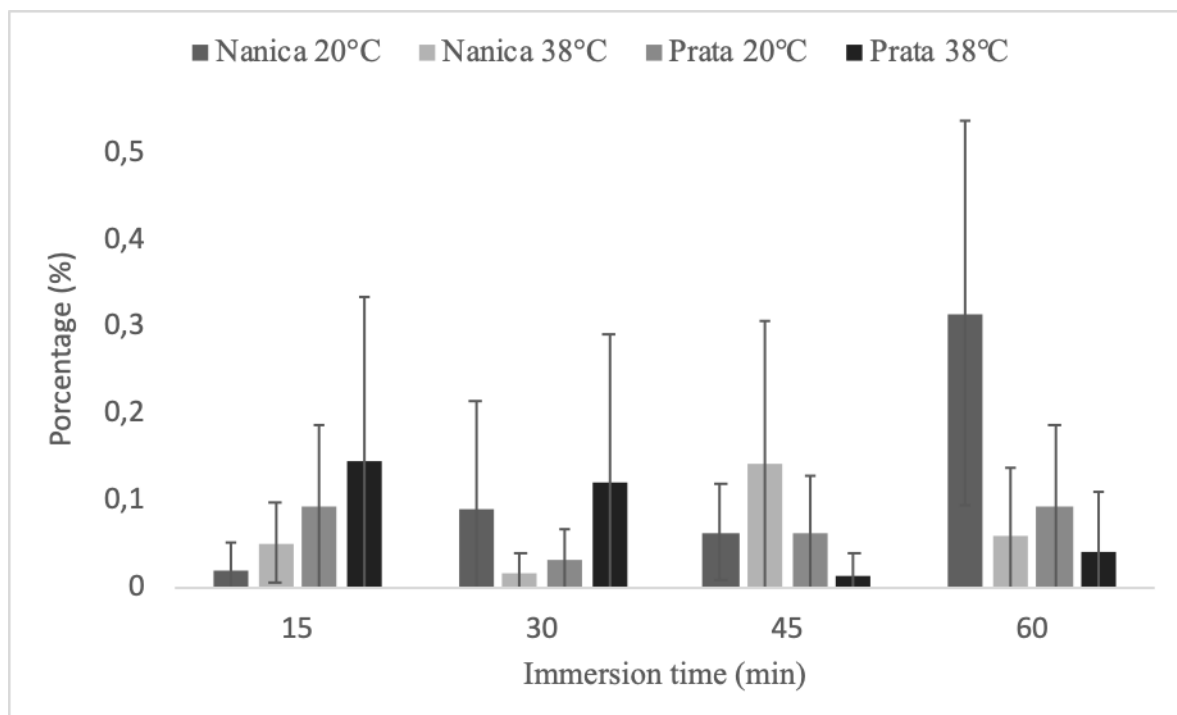


Figura 4S. Desdobramento da interação significativa ($P < 0,05$) entre os fatores cultivar x temperaturas x tempo de imersão quanto à porcentagem de infiltração do corante ácido azul 9 na polpa de bananas 'Nanica' e 'Prata'. As barras representam os desvios padrão ($n=6$).

CAPÍTULO 3 – Considerações finais

A biofortificação com sulfato de zinco via injeção no pseudocaule mostrou-se viável para acrescentar os teores de Zn em populações vulneráveis de países em desenvolvimento que apresentam em sua dieta um consumo massivo de banana e/ou plátanos. Além disso, o consumo destas frutas pode ser dar tanto na forma *in natura* como na forma de produtos desidratados, o que aumenta a possibilidade de se fornecer Zn a estas populações.

É importante considerar para trabalhos futuros a avaliação da bioacessibilidade do Zn nos frutos biofortificados, haja visto que as soluções foram aplicadas 15 dias antes da colheita e o composto químico pode ou não apresentar todas as características de interação com a matriz alimentar, o que pode torná-lo mais disponível para o organismo humano.

Como relação à translocação vascular de compostos aplicados utilizando a estratégia de injeção no pseudocaule, os resultados foram positivos tanto nos testes visuais como na avaliação do teor de Zn nos frutos. Desta forma, esta estratégia torna-se atrativa para futuras pesquisas visando suprir problemas na alimentação humana, como por exemplo a carência de vitamina A, onde esta metodologia poderia ser avaliada a injeção de soluções contendo provitamina A substituindo as técnicas transgênicas atuais.

É importante ressaltar que os tratamentos aplicados tiveram resultados estatisticamente significativos, porém os resultados expressos com base na matéria fresca não atingiram a RDA de 3 mg dia⁻¹, objetivo principal deste trabalho. Assim, surge a possibilidade de se avaliar, em pesquisas futuras, a comparação do uso destas soluções aumentando a frequência de aplicação durante o ciclo produtivo do bananal e da quantidade a ser aplicada.

A infiltração obtida com os tratamentos de imersão no corante ácido azul 9 comprovou o baixo porcentagem de penetração, concluindo então a ineficiência da

fortificação. No entanto, deve-se testar a imersão em soluções contendo Zn, pois as interações podem ser distintas, apesar de não acreditarmos haver diferença nos mecanismos de internalização das soluções. Além disso, a imersão prolongada dos frutos pode resultar na infecção dos frutos por microrganismos nos tanques de lavagem, prática comum na produção comercial de bananas.

Os tratamentos aplicados não apresentaram modificações significativas nas características pós-colheita dos frutos, porém o metabolismo dos ácidos orgânicos possivelmente foi modificado, o que necessita ser melhor estudado, pois assim seria possível confirmar como o Zn é metabolizado ao penetrar nos frutos e verificar seu efeito nos teores de ácidos orgânicos, incluindo a vitamina C, nutriente essencial aos seres humanos e para as populações vulneráveis.