

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

**JÉSSICA RODRIGUES DALAZEN**

**ACÚMULO DE NUTRIENTES NOS FRUTOS E TEOR  
FOLIAR NA PIMENTA-DO-REINO**

**São Mateus, ES  
Fevereiro de 2019**

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

**ACÚMULO DE NUTRIENTES NOS FRUTOS E TEOR  
FOLIAR NA PIMENTA-DO-REINO**

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

Orientador: Prof. Dr. Fábio Luiz Partelli

**São Mateus, ES  
Fevereiro de 2019**

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

---

R696a Rodrigues Dalazen, Jéssica, 1993-  
Acúmulo de nutrientes nos frutos e teor foliar na pimenta do-reino / Jéssica Rodrigues Dalazen. - 2019.  
70 f. : il.

Orientador: Fábio Luiz Partelli.  
Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) -  
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do Espírito Santo.

1. Pimenta-do-reino. 2. Plantas - Nutrição. I. Partelli, Fábio Luiz. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Universitário Norte do Espírito Santo. III. Título

CDU: 63

---

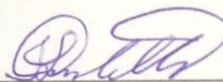
JÉSSICA RODRIGUES DALAZEN

**ACÚMULO DE NUTRIENTES NOS FRUTOS E TEOR FOLIAR NA  
PIMENTA DO REINO**

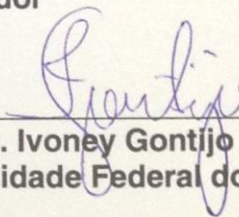
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agricultura Tropical.

Aprovada em 25 de fevereiro de 2019.

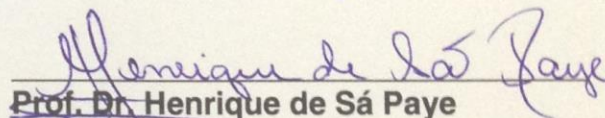
**COMISSÃO EXAMINADORA**



\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Fábio Luiz Partelli**  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Orientador



\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Ivoney Gontijo**  
Universidade Federal do Espírito Santo



\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Henrique de Sá Paye**  
INCAPER

A Deus, que sem Ele nada sou e nada posso fazer.  
A minha família e aos meus amigos.  
Dedico!

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, o autor e consumidor da minha fé, pela realização desse grande sonho, por me dar direção e forças para seguir com seus planos em minha vida.

Aos meus amados pais, Jandir Dalazen e Aparecida Sousa Rodrigues, por todos os ensinamentos, amor, carinho, compreensão e incentivo recebido durante toda minha formação, sem os quais não teria chegado até aqui.

Aos meus adorados irmãos, Janderson Rodrigues Dalazen, Izabella Vitória Rodrigues de Souza e Vitor Miguel Dalazen, pelo amor e carinho, e por estarem sempre ao meu lado me apoiando e incentivando.

A minha nona, Delvina Zatti Dalazen, por ser meu exemplo de força, fé e honestidade.

Aos meus amigos queridos e conterrâneos, Juan Ricardo Rocha e Andreia Lopes de Moraes, por terem se tonado minha família, aqui no Espírito Santo. Pelo carinho, companheirismo, por compartilhar comigo o apartamento, as rizadas, a angústia e essa vitória.

À Pietra de Souza Rodrigues e sua família, pela amizade e por me acolherem em sua família como sendo um deles.

Aos amigos do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical Alex Campanharo, Amanda Duim Ferreira, Ana Carolina Roos Pinheiro, Bruna Lara Alvarenga Barros, Ivne Franco Pires, Jaqueline Paris, Marcelo Soares Altoé e Renan Garcia Malikouski pela amizade e pelos bons momentos convividos durante o curso.

Aos amigos do Laboratório de Pesquisas Cafeeiras Danielly Dubberstein, Gleison Oliosí, Cleidson A. da Silva, Henrique Falqueto e Henzo Pezzin, pela amizade e pela ajuda na condução dos experimentos.

Ao Sr. Zenor Quinquim por ceder parte de suas lavouras para condução do experimento.

Ao meu orientador Dr. Fábio Luiz Partelli por acreditar sempre em meu potencial, me auxiliar e dar todas as direções na execução desta dissertação.

À Universidade Federal do Espírito Santo, em especial o Centro Universitário Norte do Espírito Santo, pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo, pela bolsa e financiamento do projeto.

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram com a realização desse sonho.

Muito Obrigada

## SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xi</b>
<b>INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>13</b>
<b>1. CAPÍTULOS.....</b>	<b>15</b>
<b>1.1. TEOR FOLIAR E ACÚMULO DE MACRONUTRIENTES EM CACHOS DE PIPER NIGRUM L. EM DOIS CICLOS REPRODUTIVOS.....</b>	<b>16</b>
Resumo.....	16
Abstract.....	17
Introdução.....	18
Material e métodos.....	19
Resultados e Discussão.....	22
<b>Conclusões .....</b>	<b>35</b>
<b>Referências .....</b>	<b>35</b>
<b>1.2. TEORES FOLIARES E ACÚMULO DE MICRONUTRIENTES EM CACHOS DE PIPER NIGRUM L. EM DOIS CICLOS REPRODUTIVOS .....</b>	<b>38</b>
Resumo.....	38
Abstract.....	39
Introdução.....	40
Material e métodos.....	41
Resultados e Discussão.....	44
Conclusão.....	53
Referência .....	54
<b>1.3. ACÚMULO DE NUTRIENTES POR FRUTOS E GRÃOS DE PIPER NIGRUM L. EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO .....</b>	<b>56</b>
Resumo.....	56
Abstract.....	57
Introdução.....	58
Material e Métodos.....	59
Resultados e discussão.....	61
<b>Conclusão .....</b>	<b>69</b>
<b>Referências .....</b>	<b>69</b>
<b>Referências Geral .....</b>	<b>71</b>



## RESUMO

DALAZEN, Jéssica Rodrigues; M.Sc.; Universidade Federal do Espírito Santo; Fevereiro de 2019; **Acúmulo de nutrientes nos frutos e teor foliar na pimenta-do-reino**; Orientador: Fábio Luiz Partelli.

A pimenta-do-reino é uma cultura exigente em nutrientes, especialmente durante a fase reprodutiva. Conhecer a teor foliar, bem como a curva de acúmulo de nutrientes nos cachos de pimenta-do-reino, auxilia na recomendação e ajuste do programa de adubação das lavouras, melhorando a sustentabilidade da atividade. Dessa forma, objetivou-se estabelecer curvas de absorção de nutrientes nos cachos de pimenta-do-reino ao longo do período reprodutivo, determinar a teor e acúmulo de nutrientes em diferentes partes dos cachos (grão, casca e pedúnculo/ fruto e pedúnculo) da pimenta-do-reino colhidas em dois estádios de maturação (coloração da casca verde/ coloração da casa vermelha), bem como a teor foliar ao longo do ano. Os experimentos foram realizados em lavoura comercial de *Piper nigrum* L., da variedade Bragantina, em São Mateus, Espírito Santo, Brasil. Os ensaios do primeiro experimento foram conduzidos seguindo delineamento estatístico inteiramente casualizado, em arranjo de parcela no tempo. Os tratamentos consistiram em distintas épocas de coletas. Para as análises dos cachos, foram realizadas um total 11 coletas no primeiro ciclo reprodutivo e 09 no segundo ciclo. Em cada avaliação coletou-se aleatoriamente nove cachos, formando amostras compostas a cada três, portanto três repetições. Para análise de teor no tecido foliar, foram realizadas um total de 20 amostragens ao longo do ano, cada amostra foi composta de 40 folhas recém-maduras com três repetições, por período amostrado. Os materiais de todos os ensaios foram secos e os teores dos macronutrientes e micronutrientes, foram obtidas em laboratório. Com base nos resultados do primeiro e segundo capítulo, nota-se que os macronutrientes mais abundantes nos cachos e folhas da pimenta-do-reino foram o N, K e Ca e, os micronutrientes foram o Fe, Mn e B. A teor foliar de nutrientes oscilou durante o ano. O acúmulo de massa seca no fruto de pimenta-do-reino foi similar em ambos os ciclos, ajustando-se ao modelo linear e quadrático. No terceiro capítulo, observou-se que os nutrientes mais acumulados no fruto da pimenta-do-reino, em ordem decrescente, foram N, K, Ca, Mg, P, S, Mn, Fe, B, Zn e Cu. Já no pedúnculo foram: K, N, Ca, Mg, P, S, B, Fe, Zn,

Mn e Cu. A ordem dos nutrientes acumulados no grão foi: N, Ca, K, P, S, Mg, Mn, B, Fe, Zn e Cu. Já na casca foi K, N, Ca, Mg, P, S, B, Fe, Zn, Mn e Cu. E no pedúnculo K, Ca, N, Mg, P, S, B, Fe, Zn, Mn e Cu.

Palavras-chave: *Piper nigrum* L., manejo nutricional, ciclos reprodutivos.

## ABSTRACT

DALAZEN, Jéssica Rodrigues; M.Sc.; Universidade Federal do Espírito Santo; February 2019; **Accumulation of nutrients in fruits and leaf content in black pepper**; Advisor: Fábio Luiz Partelli.

The Black pepper is a nutrient-demanding crop, especially during the reproductive stage. Knowing the foliar content, as well as the curve of nutrient accumulation in the peppercorns, helps in the recommendation and adjustment of the fertilization program of the crops, improving the sustainability of the activity. The objective of this study was to establish nutrient uptake curves in black pepper curls throughout the reproductive period, to determine the content and accumulation of nutrients in different parts of the curls (grain, bark and stalk / fruit and peduncle) of black pepper harvested at two maturation stages (green peel color / red house color), as well as foliar content throughout the year. The experiments were carried out in commercial crop of *Piper nigrum* L., of the variety Bragantina, in São Mateus, Espírito Santo, Brazil. The experiments of the first experiment were conducted following a completely randomized design, in plot arrangement in time. The treatments consisted of different sampling times. For the analysis of the clusters, a total of 11 collections were performed in the first reproductive cycle and 09 in the second cycle. In each evaluation, nine clusters were randomly collected, forming compound samples every three, thus three replications. For analysis of leaf tissue content, a total of 20 samplings were performed throughout the year, each sample was composed of 40 fresh leaves with three replicates, per sampled period. The materials of all the tests were dry and the macronutrients and micronutrients contents were obtained in the laboratory. Based on the results of the first and second chapters, it was observed that the most abundant macronutrients in the curls and leaves of the black pepper were N, K and Ca, and the micronutrients were Fe, Mn and B. At leaf content of nutrients fluctuated during the year. The accumulation of dry mass in the pepper fruit was similar in both cycles, adjusting to the linear and quadratic model. In the third chapter, it was observed that the nutrients most accumulated in the peppermint fruit were N, K, Ca, Mg, P, S, Mn, Fe, B, Zn and Cu. In the peduncle were: K, N, Ca, Mg, P, S, B, Fe, Zn, Mn and Cu. The order of nutrients accumulated in the grain was: N,

Ca, K, P, S, Mg, Mn, B, Fe, Zn and Cu. Already in the shell was K, N, Ca, Mg, P, S, B, Fe, Zn, Mn and Cu. E in the peduncle K, Ca, N, Mg, P, S, B, Fe, Zn, Mn and Cu.

**Key words:** *Piper nigrum* L., nutritional management, reproductive cycles.

## INTRODUÇÃO GERAL

O gênero *Piper* apresenta mais de 1.000 espécies, distribuídas pelas regiões tropicais e subtropicais do mundo. No entanto, a principal espécie explorada economicamente é a *Piper nigrum* L., (pimenta-do-reino) originária da Índia. Inicialmente era consumida na Ásia e, posteriormente, na Europa "a preço de ouro", principalmente pelos portugueses. Na atualidade, é amplamente conhecida pelo seu uso na culinária, por atribuir sabor e aroma aos alimentos, sendo um condimento indispensável no preparo de alimentos industrializados. Além do seu consumo como alimento, por possuir propriedades terapêuticas, atribuídas aos componentes bioativos abundantemente presentes em seus frutos, a pimenta-do-reino também é utilizada na indústria farmacêutica, para produção de drogas capazes de auxiliar no tratamento ou combate a doenças (BUTT et al., 2013; TASLEEM et al., 2014), sendo comercializada em mercados por todo o mundo.

Atualmente a produção da pimenta-do-reino está concentrada principalmente em países asiáticos. De acordo com dados do IPC (2018), o Vietnã destaca-se como o maior produtor mundial dessa especiaria, com aproximadamente 40% da produção no ano de 2016, seguido pela Indonésia, Índia e Brasil.

Historicamente, o Brasil é reconhecido como o primeiro país do hemisfério ocidental a produzir pimenta-do-reino em escala comercial. Sua chegada ao Brasil ocorreu no Século XVII, pelo Estado da Bahia, sendo levada, em seguida, para os Estados da Paraíba, do Maranhão e do Pará (DIAS, 2006). Sua exploração econômica, porém, somente veio a ocorrer a partir do ano de 1933, quando imigrantes japoneses, que se destinavam ao Estado do Pará, trouxeram algumas mudas da cultivar Cingapura (Kuching) e as implantaram em Tomé-Açu (DIAS, 2006).

Nos dias de hoje a pipericultura brasileira possui grande importância econômica e social. O montante movimentado durante a safra de 2016 alcançou valores da ordem de 346 milhões de dólares (IPC, 2018). Em geral, no Brasil, a maioria das áreas de plantio com a pimenteira-do-reino são áreas de pequenos produtores, como forma a diversificar a produção agrícola. Socialmente o cultivo da pimenteira-do-reino é reconhecido por requerer elevada taxa de mão de obra, implicando em maior distribuição de renda, promovendo elevação na qualidade de vida no campo e redução no êxodo rural (Partelli, 2009).

Segundo dados do Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – LSPA, divulgados pelo IBGE (2018), a produção nacional em 2017 foi de 75 mil toneladas, sendo os principais estados produtores de pimenta-do-reino: Pará, maior produtor até 2016; e o Espírito Santo, que em 2017 assumiu a liderança, tornando-se pela primeira vez o maior produtor do Brasil. Julga-se que esse fato está diretamente relacionado com a produtividade obtida pelo Espírito Santo na safra de 2017, de 3.874 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto a média nacional, no mesmo período, foi de 2.784 kg ha<sup>-1</sup>. Estes números são reflexos do maior aparato tecnológico empregado nas lavouras capixabas, onde aproximadamente 80% da área plantada com esta cultura, dispõem de sistema de irrigação e são adubadas e manejadas adequadamente (Partelli, 2009).

A forte alta nos preços da pimenta-do-reino no período de 2010 a 2014, levou ao crescimento abundante do cultivo da cultura no Brasil, com destaque para a região Norte do Espírito Santo (IPC, 2018; IBGE, 2017). No entanto, apesar do grande crescimento da área plantada, existem poucas pesquisas abordando o manejo nutricional, a fim de obter o entendimento dos teores e acúmulos dos nutrientes pela pimenteira-do-reino, com a finalidade de estabelecer práticas de manejo sustentáveis.

## **1. CAPÍTULOS**

## 1.1. TEOR FOLIAR E ACÚMULO DE MACRONUTRIENTES EM CACHOS DE *PIPER NIGRUM* L. EM DOIS CICLOS REPRODUTIVOS

### Resumo

A planta de pimenta-do-reino é exigente em nutrientes, especialmente durante a fase reprodutiva, contudo há poucos estudos sobre a demanda de nutrientes por esta espécie. Dessa forma, objetivou-se determinar o acúmulo de macronutrientes nos cachos de pimenta-do-reino ao longo de dois ciclos e a teor foliar em um ciclo anual, possibilitando entender as demandas nutricionais da espécie. O experimento foi realizado em lavoura comercial de *Piper nigrum* L., da variedade Bragantina, em São Mateus, Espírito Santo, Brasil. Os ensaios foram conduzidos seguindo delineamento estatístico inteiramente casualizado (DIC), em arranjo de parcela no tempo. Os tratamentos consistiram em distintas épocas de amostragens. Para as análises dos cachos, foram realizadas um total 11 amostragens no primeiro ciclo reprodutivo e 09 no segundo ciclo. Em cada avaliação amostrou-se aleatoriamente nove cachos, formando amostras compostas a cada três, portanto três repetições. Para análise de teor no tecido foliar, foram realizadas um total de 20 amostragens ao longo do ano, cada amostra foi composta de 40 folhas recém maduras com três repetições, por período amostrado. Os materiais foram secos e os teores de N, P, K, Ca, Mg e S, foram obtidas em laboratório. O N, K e Ca foram os macronutrientes mais encontrados nos frutos e folhas da pimenta-do-reino. A teor foliar de nutrientes, oxilaram durante o ano. O acúmulo de massa seca no fruto de pimenta-do-reino foi similar em ambos os ciclos, ajustando-se ao modelo linear e quadrático. O acúmulo e a teor do nutriente seguiram a tendência do comportamento da massa seca.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Piper nigrum* L., massa seca, acúmulo de nutrientes, teor de nutrientes.



**Abstract**

The black pepper plant is demanding on nutrients, especially during the reproductive phase, however there are few studies on the nutrient demand for this species. The objective of this study was to determine the accumulation of macronutrients in the black pepper curls over two cycles and the foliar content in an annual cycle, making it possible to understand the nutritional demands of the species. The experiment was carried out in commercial crop of *Piper nigrum* L., of the variety Bragantina, in São Mateus, Espírito Santo, Brazil. The tests were conducted in a completely randomized design (DIC), in a time plot arrangement. The treatments consisted of different sampling times. For the analysis of the bunches, a total of 11 samplings were performed in the first reproductive cycle and 09 in the second cycle. At each evaluation nine clusters were randomly sampled, forming compound samples every three, thus three replicates. For leaf tissue content analysis, a total of 20 samplings were performed throughout the year, each sample was composed of 40 freshly mature leaves with three replicates per sampling period. The materials were dried and the contents of N, P, K, Ca, Mg and S were obtained in the laboratory. N, K, and Ca were the most commonly found macronutrients in the fruits and leaves of black pepper. At nutrient leaf content, they oxidized during the year. The accumulation of dry mass in the pepper fruit was similar in both cycles, adjusting to the linear and quadratic model. The accumulation and nutrient content followed the trend of dry mass behavior.

**Key words:** *Piper nigrum* L., dry matter, accumulation of nutrients, nutrient concentration.

## Introdução

A pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.) é uma planta perene, de origem indiana, pertencente à família Piperaceae. É um condimento utilizado mundialmente para dar sabor e aroma aos alimentos, tendo também propriedades terapêuticas. Propriedades essas, atribuídas principalmente à piperina, componente bioativo, que exibe diversas atividades farmacológicas, tais como, anticancerígeno, analgésico, anti-inflamatório, antioxidante, antibacteriano, anti-asmático, entre outros (ABUKAWSAR et al., 2018; BUTT et al., 2013; REHMAN et al., 2015; TASLEEM et al., 2014; WANG et al., 2014).

Essa piperácea é amplamente cultivada em muitas regiões tropicais como Índia, Indonésia, Vietnã, Brasil e China. De acordo com dados divulgados pelo International Pepper Community (2018), a produção mundial de pimenta-do-reino em 2017 foi de 488,5 mil toneladas. O Brasil destaca-se como um dos maiores produtores dessa especiaria, atualmente assume a quarta posição no mercado mundial (IPC, 2018). No ano de 2017, a produção brasileira foi superior a 78 mil toneladas (IBGE, 2018), das quais cerca de 47% da produção foi proveniente do estado do Espírito Santo, tornando-se o maior produtor seguido pelo Pará (IBGE, 2018). Segundo Partelli (2009), o maior rendimento da pipericultura do Espírito Santo, se dá em função ao maior aparato tecnológico empregado nas lavouras, onde aproximadamente 80% da área plantada com esta cultura, dispõe de irrigação, o que elucida os resultados superiores da produtividade.

Atualmente a maioria das lavouras de pimenta-do-reino recebem adubações aplicadas com base em médias, não levando em consideração os períodos de maior demanda nutricional da cultura, visando melhor aproveitamento dos insumos. Segundo Lima et al. (2010) e Partelli et al. (2014), o desconhecimento desses fatores pode proporcionar maiores gastos com uso excessivo de fertilizantes, danos ambientais, e menor eficiência na produção da cultura, deixando a atividade menos lucrativa.

A pimenta-do-reino é uma cultura exigente em nutrientes, especialmente durante a fase reprodutiva. Tais fatos foram evidenciados por Veloso; Carvalho (1999), os quais concluíram que a demanda por macronutrientes da espécie, em área de cultivo, na Região Amazônica obedecem a seguinte ordem decrescente:  $N > K > Ca > Mg > P$ . As quantidades de macronutrientes extraídos e acumuladas em plantas de *P. nigrum* variam de acordo com cada elemento absorvido, idade da

planta, cultivar (VELOSO et al., 2000) e órgãos e tecidos das plantas (VELOSO; CARVALHO, 1999). Já a demanda de macronutrientes pelo fruto ocorre ao longo do período reprodutivo, podendo ser influenciada pelas condições de manejo, como observados em *Coffea canephora* (COVRE et al., 2018a; DUBBERSTEIN et al., 2016) e genótipo (PARTELLI et al., 2014), fato que ainda não é conhecido para fruto da pimenta-do-reino.

Conhecer a teor foliar, bem como a curva de acúmulo de nutrientes em cachos de pimenta-do-reino, auxilia na recomendação e ajuste do programa de adubação das lavouras, melhorando a sustentabilidade da atividade. Dessa forma, objetivou-se com esse trabalho determinar as curvas de acúmulo de macronutrientes nos cachos de pimenta-do-reino ao longo de dois ciclos e a teor foliar em um ciclo anual, possibilitando entender à demanda nutricional da espécie.

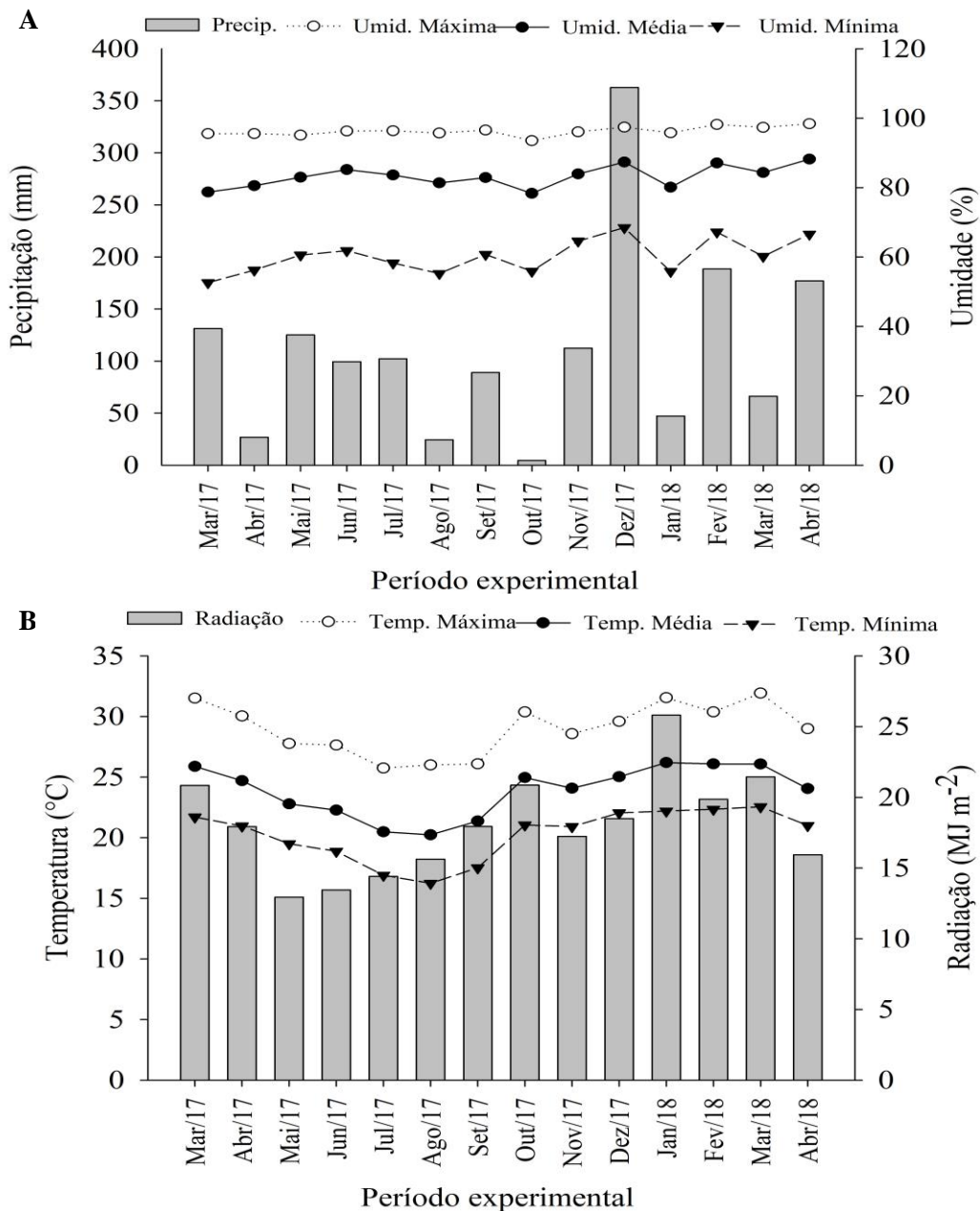
## Material e métodos

O experimento foi realizado durante dois ciclos reprodutivos da pimenta-do-reino, em 2017 e 2018, em uma lavoura comercial, no município de São Mateus, Espírito Santo (18°46'48.4"S, 39°52'31.5"W e altitude 23 m). O clima da região, conforme classificação de Köppen é Aw, tropical com estação seca no inverno e verão chuvoso (ALVARES et al., 2013).

Foram utilizadas plantas de *P. nigrum*, da variedade Bragantina, por ser a mais plantada na região, com aproximadamente três anos de idade, cultivadas a pleno sol, no espaçamento de 3,5 x 1,8 m, em solo caracterizado como Latossolo Amarelo distrocoeso (EMBRAPA, 2014), com relevo suave ondulado, cujas características químicas e granulométricas: pH água = 5,05; P (mg dm<sup>-3</sup>) = 52; K (mg dm<sup>-3</sup>) = 95; S (mg dm<sup>-3</sup>) = 8; Ca<sup>2+</sup> (cmolc dm<sup>-3</sup>) = 4; Mg<sup>2+</sup> (cmolc dm<sup>-3</sup>) = 0,35; Al<sup>3+</sup> (cmolc dm<sup>-3</sup>) = 0,5; H+Al (cmolc dm<sup>-3</sup>) = 5,9; MO (dag dm<sup>-3</sup>) = 2,2; SB (cmolc dm<sup>-3</sup>) = 4,62; CTC efetiva (cmolc dm<sup>-3</sup>) = 5,12; CTC pH7,0 (cmolc dm<sup>-3</sup>) = 13,87; V% = 46,03; Areia (g kg<sup>-1</sup>) = 679,5; Silte (g kg<sup>-1</sup>) = 60,5; e Argila (g kg<sup>-1</sup>) = 260.

Os tratos culturais da lavoura consistiram no controle de plantas daninhas com herbicidas, calagem, adubação de cobertura, poda e irrigação por gotejamento. A lavoura recebeu aproximadamente 400 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N, 80 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 320 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, distribuídos ao longo de cada ano.

Os valores da temperatura máxima, média e mínima do ar, radiação solar global, precipitação pluviométrica e umidade relativa do ar (Figura 1), foram obtidos na estação meteorológica da fazenda experimental do Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES-UFES), localizada a 15 km da área experimental, sendo apresentado os meses e anos que foram realizadas as coletas na lavoura.



**Figura 1.** Precipitação total e valores médios das umidades máxima, média e mínima (A), temperatura máxima, média e mínima, radiação (B) registrada na estação meteorológica de São Mateus-ES, no período de março de 2017 a abril de 2018.

Os tratamentos consistiram em distintas épocas de coletas, durante dois ciclos. Os ensaios foram conduzidos seguindo delineamento estatístico inteiramente casualizado (DIC), em arranjo de parcela no tempo. Para as análises dos cachos, foram realizadas onze coletas no primeiro ciclo reprodutivo e nove no segundo ciclo. A diferença entre a quantidade de tratamento empregadas nos dois ciclos se deu em função do segundo ciclo ter sido mais curto que o primeiro (42 dias) que o primeiro. Em cada avaliação sorteou-se nove cachos, os quais foram e coletados, sendo que a cada três cachos formou-se uma amostra composta, portanto três repetições por período amostrado.

A primeira marcação de frutos ocorreu no dia 17/04/2017, aproximadamente 28 dias após o lançamento das inflorescências, na qual foram marcadas 200 inflorescências em 10 plantas. No mesmo dia iniciaram-se as coletas dos cachos, a partir daí as coletas foram realizadas em intervalos de aproximadamente 21 dias, até a maturação completa dos frutos, encerrando-se dia 13/11/2017 (238 dias após lançamento das inflorescências). A segunda marcação foi realizada da mesma forma, no entanto com início em 13/11/2017 e o término no dia 30/04/2018 (196 dias após lançamento das inflorescências). A última coleta dos cachos, em ambos os períodos, foi realizada no mesmo estágio de maturação dos frutos, momento em que os frutos apresentavam-se totalmente granados, no entanto, com a coloração da casca ainda verde.

Para análise de teor no tecido foliar, foi realizado um total de 20 coletadas ao longo do ano, cada amostra se compôs de 40 folhas recém-maduras com 03 repetições, por período amostrado. As folhas coletadas localizavam-se no terço médio superior das plantas. As avaliações se estenderam por um ano, a fim de verificar o comportamento do teor foliar dos nutrientes em um ciclo anual.

Os materiais vegetais coletados foram secos em estufa de ventilação forçada a 70 °C, até atingir massa constante, posteriormente, pesados em balança de precisão (0,001g). Os teores de N, P, K, Ca, Mg e S nos cachos e folhas, foram obtidas em laboratório, conforme metodologia descrita por TEIXEIRA et al (2017). Para obtenção do acúmulo de nutrientes levou-se em consideração a teor de nutrientes e massa seca ao longo do ano.

As médias da teor de nutrientes nas folhas e cachos e acúmulo de nutrientes nos cachos foram submetidas à análise de variância ( $p \leq 0,05$ ), com auxílio do programa estatístico Sisvar 5.6 (FERREIRA, 2011). Posteriormente foi realizada

análise de regressão para o acúmulo de nutrientes nos cachos. Os gráficos foram confeccionados a partir das médias e do erro-padrão da média, com o auxílio do programa SigmaPlot versão 11.0.

## Resultados e Discussão

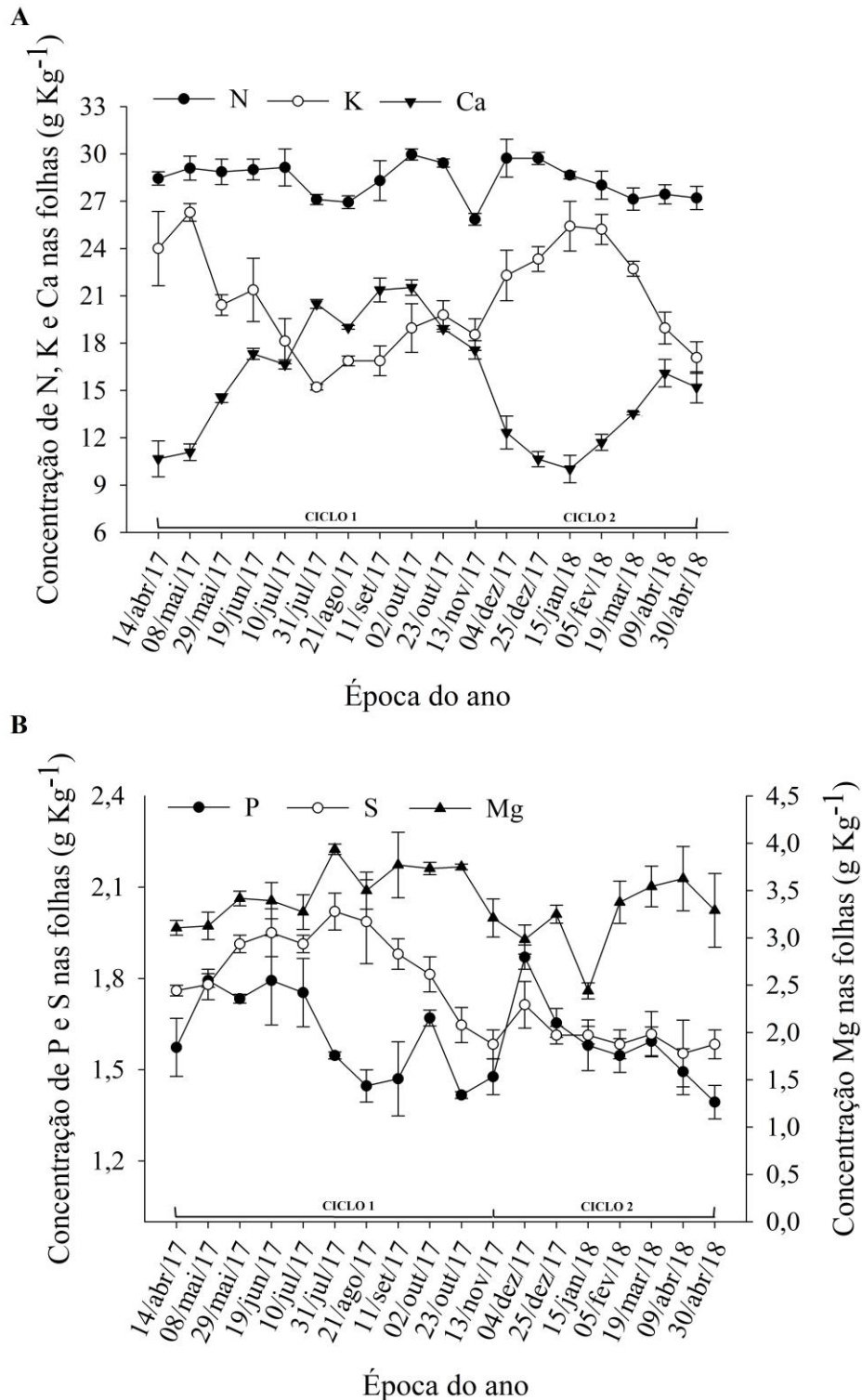
Os resultados obtidos na análise de variância evidenciaram que houve diferenças significativas entre os teores dos macronutrientes nas folhas no período de um ano e nos cachos ao longo dos dois ciclos estudadas, ao nível de 1% e 5% de probabilidade (Tabela 1).

**Tabela 1.** Resumo da análise de variância (ANOVA) para teor de macronutrientes em folhas e cachos de pimenta-do-reino ao longo do período avaliado.

Fonte de variação	MASSA SECA	TEOR NAS FOLHAS					
	(g kg <sup>-1</sup> )	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Enxofre
		Valor Quadrado Médio					
Épocas de coletas	-	4,046*	0,061**	33,42**	44,95**	0,366*	0,077**
CV (%)	-	5,06	8,87	11,73	8,16	11,80	7,34
		TEOR NOS CACHOS					
Ciclo 1	8,891**	52,226**	0,486**	18,607**	19,914**	1,277**	0,184**
Ciclo 2	4,691**	46,520**	1,107**	70,892**	30,168**	1,191**	0,014**
CV <sub>1</sub> (%)	13,39	5,60	9,46	8,16	11,92	7,71	10,36
CV <sub>2</sub> (%)	26,81	4,55	5,39	7,40	11,67	8,34	9,46

\*, \*\* significativo ao nível de 1%, 5%, respectivamente.

Ao longo do período de avaliação foi observado a variação dos teores de N, P, K, Ca, Mg e S nas folhas. Comparado às demais (Figura 2), os teores de N, P e S exibiram menor variação. O Mg por sua vez apresentou desempenho instável, com oscilações nos teores durante o ano. O K e o Ca apresentaram comportamento opostos, enquanto o Ca apresentou picos de menores teores nos meses de abril a julho de 2017 e de outubro a abril de 2018, período este, compreendidos como a fase produtiva da pimenta-do-reino, o K, nos mesmos períodos, apresentou os teores mais elevados. Tendência igualmente observada em estudo com pimenta-longa, por VIÉGAS et al. (2013), que constataram um aumento no teor foliar de cálcio com a omissão de potássio.



**Figura 2.** Teores de N, K, Ca (A), P, Mg e S (B) em folhas de pimenta-do-reino ao longo de um ano.

O Ca como é imóvel no floema e, portanto, depende do Ca que vem pelo xilema, o Mg segue a corrente transpiratória da planta. Assim, o Mg tende a ir mais em direção às folhas que os frutos, portanto espera-se encontrar mais Ca nas folhas (principalmente as mais velhas) que nos frutos. Enquanto que o K por não fazer

parte de nenhuma estrutura orgânica da planta, o mesmo tem uma mobilidade muito grande, justificando seu comportamento inverso ao Ca (TAIZ; ZEIGER, 2013).

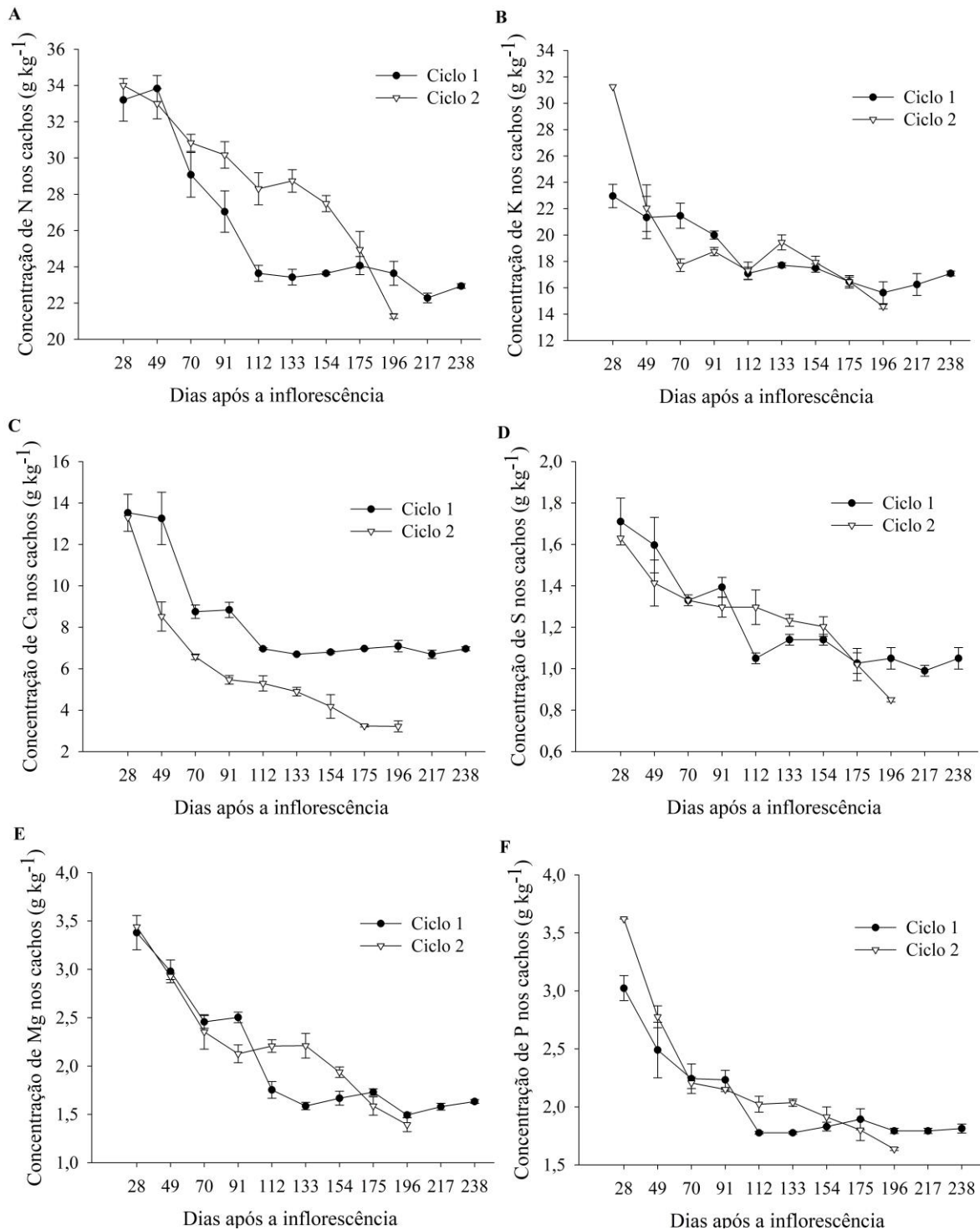
De acordo com a tabela de referência foliar para pimenta-do-reino, os teores ideais de N, P, K, Ca, Mg e S no período de florescimento são de 28; 1,4; 20; 10; 3 e 2 respectivamente (PREZOTTI et al, 2007). Com isso, julgou-se que os valores dos macronutrientes encontrado nas folhas, durante o período de florescimento, estão dentro da normalidade em ambos os ciclos, exceto para N e S que apresentaram teores inferiores a recomendada no segundo ciclo e Ca com elevados teores também no segundo ciclo (figura 2). Esses resultados corroboram com os encontrados por Veloso et al. (2000) realizado com a cultivar Guajarina, aos 29 meses de idade, na região Amazônica, e inferiores aos apresentados no mesmo trabalho pela cultivar Bragantina.

Os teores dos nutrientes durante o ciclo das plantas não possuem uniformidade, varia de acordo com a demanda nutricional nos diferentes estádios fisiológicos da planta (BRAGANÇA et al., 2007), a exportação para os frutos são responsáveis por boa parte dessa variação, pois se tornam os drenos preferenciais de nutrientes durante a fase reprodutiva (AMARAL; RENA; AMARAL, 2006; DUBBERSTEIN et al., 2016). Durante a fase reprodutiva da pimenta-do-reino, observa-se que os frutos passam por diferentes estádios fenológicos, com início marcado pelo lançamento das inflorescências, em sequência ocorre o desenvolvimento dos cachos, seguido pelo crescimento ou expansão, granação até a atingir a maturação completa.

Nos cachos, o N, K e Ca, foram os macronutrientes que apresentaram maior teor em ambos os ciclos, seguidos posteriormente pelo Mg, P e S. Veloso e Carvalho (1999) confirmaram que altos teores de N, K e Ca são exportadas para frutos de pimenta-do-reino e que a demanda de exportação dos macronutrientes para os frutos são N, K, Ca, Mg e P, corroborando com os dados obtidos nesse trabalho, com o S em último lugar.

Os maiores teores de N nos cachos foram encontrados nas primeiras coletas, com teores de 33 e 34 g kg<sup>-1</sup>, atingindo ao final do experimento valores próximos a 22 e 23 g kg<sup>-1</sup> (figura 3 A), sendo estes últimos valores semelhantes ao encontrado por Veloso; Carvalho (1999), de 22,8 g kg<sup>-1</sup>, na cultivar Guajarina, aos 28 meses de idade, na região Amazônica.





**Figura 3.** Teores de N (A), P (B), K (C), Ca (D), Mg (E) e S (F) em cacho nos pimenta-do-reino ao longo de dois ciclo reprodutivo.

Os cachos da pimenta-do-reino são a parte da planta que mais acumula nitrogênio (CHIN ANN, 2012; VELOSO; CARVALHO, 1999). Veloso et al. (2000), observaram uma resposta positiva à aplicação de nitrogênio com a produção de cachos de pimenta-do-reino em diferentes cultivares. Essa grande quantidade de

nitrogênio encontradas no fruto possivelmente está ligada ao seu importante papel como constituinte de aminoácidos e esta presente em muitos compostos não proteicos, como enzimas, pigmentos fotossintéticos, metabólitos secundários, poliaminas e vitaminas (PANDEY, 2015), dessa forma, o fornecimento desequilibrado deste nutriente pode limitar o potencial produtivo da cultura.

Nesse estudo, os menores teores de K nos frutos, obtidas nas últimas coletas, com valores de 15 e 16 g kg<sup>-1</sup>, valores correspondentes ao primeiro e segundo ciclo (Figura 3 B), superiores aos encontradas por Veloso; Carvalho, (1999) (12,5 g kg<sup>-1</sup>). A alta teor de K nos frutos da pimenta-do-reino foi confirmada por (CHIN ANN, 2012; VELOSO et al., 2000; VELOSO; CARVALHO, 1999).

O potássio desempenha importante papel na formação dos frutos e é frequentemente descrito como um elemento de qualidade para a produção agrícola. Está envolvido no transporte de fotoassimilados no floema (PANDEY, 2015), o que explica o fato de ser um dos nutrientes mais encontrados nos frutos. Em anonáceas, esse elemento é exigido durante a fase de formação de frutos de maneira significativa para a síntese de carboidratos e outros compostos (SÃO JOSÉ et al., 2014). Na frutificação a demanda está relacionada com o teor de outros nutrientes na planta, principalmente o N (SRINIVASAN, 2007), a oferta de K deve atender a demanda máxima de planta, realizada antes da expansão dos frutos (CHIN ANN, 2012).

O cálcio foi terceiro elemento mais concentrado nos cachos de pimenta-do-reino desde as primeiras coletas, após o N e K. Contudo, os teores de Ca apresentaram-se inferiores, quando relacionado aos dois primeiros nutrientes (Figura C). Veloso; Carvalho, (1999), encontraram teores de 7,8 g kg<sup>-1</sup> de cálcio em frutos de pimenta-do-reino, aos 28 meses de idade, enquanto nesse trabalho, os teores mais levados de Ca foram de 14 g kg<sup>-1</sup> na fase inflorescência, a partir da segunda coleta, do primeiro ciclo, houve uma queda continua dos teores até aos 105 dias após a inflorescência, se estabilizado em aproximadamente 8 g kg<sup>-1</sup>, no segundo ciclo essa queda foi mais acentuada atingindo menores valores ao final das coletas, 189 dias após a inflorescência, correspondente a 3 g kg<sup>-1</sup>.

O cálcio é um nutriente com importante atuação na fisiologia de diversas espécies de plantas, com relevante desempenhando em funções ligadas à composição estrutural de macromoléculas, principalmente nas paredes celulares e nas membranas celulares (PANDEY, 2015), indispensável para o bom crescimento

dos frutos logo após a fecundação e até sua maturidade fisiológica (SÃO JOSÉ et al., 2014). Muitos estudos atestam a relevância desse elemento sobre os frutos de diversas culturas, desde a formação até a maturidade fisiológica e efeitos sobre a qualidade (AULAR; NATALE, 2013; GOMES JÚNIOR et al., 2018; NATALE; PRADO; MÔRO, 2005).

Os teores de fósforo nos cachos apresentaram-se baixos, quando comparados aos outros nutrientes (N, K e Ca), com valores de 1,6 e 1,8 g kg<sup>-1</sup> ao final das avaliações, quando os frutos atingiram ponto de colheita. Corroborando com Veloso; Carvalho (1999), em que, de modo geral, os teores encontraram-se baixos, em todas as partes da planta, havendo maiores teor nos frutos, de 2,18 g kg<sup>-1</sup> (Figura 3 D).

Segundo Chin Ann (2012), o fornecimento adequado P pode estimular e aumentar a produção de pimenta-do-reino. Como verificado por Veloso et al. (2000), em estudo na Região Amazônica, a produção de grãos da cultivar Guajarina respondeu positivamente à aplicação de fósforo. Esse elemento é essencial para as plantas, vital para o crescimento das culturas, envolvido em várias funções-chave da planta, incluindo transferência de energia, fotossíntese e transformação de açúcar e amido (BAGHOUR et al., 2001). Grandes quantidades de P são armazenadas nas sementes como ácido fítico, atuando no desenvolvimento do embrião, germinação de sementes e crescimento de plântulas (PANDEY, 2015).

De acordo com Veloso; Carvalho (1999), o magnésio, assim como o fosforo, são necessários em pequenas quantidades nos frutos da pimenta-do-reino, corroborando com os resultados encontrados no presente trabalho. Os os autores relatam ainda que, os teores de Mg presentes nos frutos foram de 1,9 g kg<sup>-1</sup>, próximos aos obtidos nesse estudo, de aproximadamente 1,5 g kg<sup>-1</sup>, nas últimas coletas, em ambas os ciclos (Figura 3 E).

O magnésio é um elemento essencial para o funcionamento ideal do metabolismo das plantas, é o elemento que ativa mais enzimas, está ligado ao metabolismo energético, fundamental no nos processos de fotossíntese e respiração (PANDEY, 2015). Segundo Chin Ann, (2012) plantas de pimenta-do-reino retiraram do solo apenas 35,4 kg ha<sup>-1</sup> de magnésio por ano, no entanto, apenas de 20% desse total são utilizadas pelas folhas e cachos da planta.

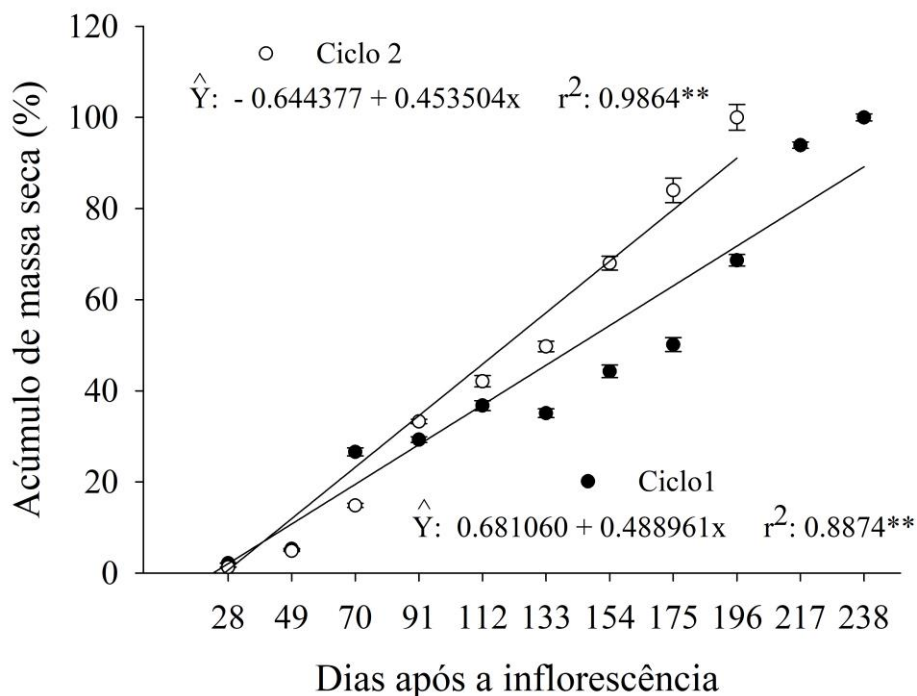
O comportamento do enxofre nos cachos foi decrescente, semelhante aos demais nutrientes, apresentando os teores elevados nas primeiras coletas e as

inferiores ao final do período de avaliação, em ambas os ciclos, com uma variação relativamente baixa entre os pontos de máxima e mínima, de aproximadamente 0,7 g kg<sup>-1</sup> em cada ciclo (figura 3 F). Diferindo do resultado encontrado por Dubberstein et al. (2016), em que o comportamento dos teores ao longo do período avaliado sofreu oscilações acentuadas. No entanto, não se encontra na literatura informações sobre exportação desse nutriente por frutos de *P. nigrum*.

Apesar desse elemento ser requerido em menor quantidade pelos frutos, assim como o P e o Mg, ele possui funções específicas e indispensáveis, atuando como constituinte de aminoácidos, como a cisteína e metionina, e como ativador de enzimas respiração (PANDEY, 2015), de acordo ainda com esse autor, a necessidade de enxofre para o bom desenvolvimento das plantas é igualmente baixa, variando de 1 a 5 g kg<sup>-1</sup> na matéria seca.

Para todos os macronutrientes, observou-se comportamento similar em ambas os ciclos, onde os mesmos apresentaram maiores teores na primeira coleta, fase compreendida como a inflorescência, seguido de uma crescente queda, com taxas menos expressivas ao final do ciclo nas fases granação e maturação dos frutos (Figura 3).

Esse comportamento pode ser justificado com base no acúmulo de massa seca, calculado levando em consideração a massa seca dos cachos e o número de cachos coletados. O acúmulo da massa seca foi crescente ao longo de ambas os ciclos (Figura 4), com os índices mais baixos na primeira coleta, nesse período os frutos ainda encontram-se pequeno em tamanho e com inexpressivo acúmulo de massa seca, contribuindo assim com a “maior” teor dos elementos (PARTELLI et al., 2014), e os mais elevados na última, segundo Laviola et al., (2006) os estágios expansão, granação e maturação são caracterizados pela expansão celular, aumento de tamanho e acúmulo de substâncias de reserva no fruto. Dessa forma a teor dos nutrientes nos cachos varia em função do aumento da massa seca, ou seja, a quantidade de nutrientes dilui-se com o aumento do acúmulo de massa seca.



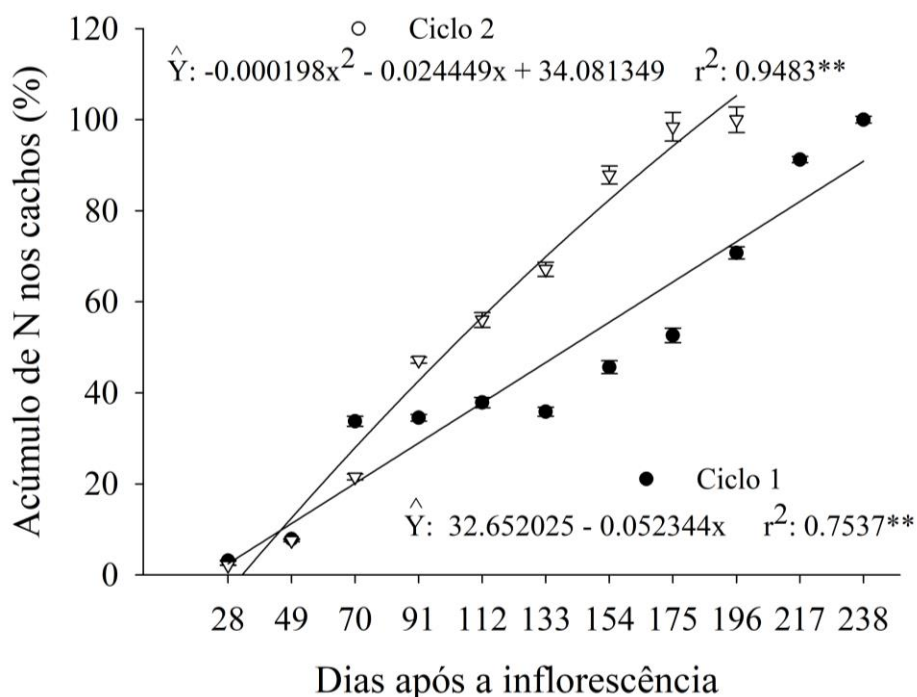
**Figura 4.** Acúmulo de massa seca nos frutos (%) de pimenta-do-reino durante dois ciclos reprodutivos.

As curvas de acumulação plotadas nas figuras 5, 6, 7, 8, 9 e 10 permitem estimar a quantidade de nutrientes extraídos pelas partes reprodutivas das plantas (cachos), durante cada fase do seu desenvolvimento, a partir de 28 dias após a inflorescência. Para todos os nutrientes analisados, o modelo de regressão linear e quadrática foram ajustados, com significância de 1% pela análise de variância da regressão e alto coeficiente de determinação (Figuras 5, 6, 7, 8, 9 e 10), apresentando taxas de acúmulo reduzidas na fase inicial compreendida pelo florescimento, seguidas com ganhos na fase de expansão e atingindo as taxas mais altas ao final do ciclo de frutificação, semelhantes nos dois ciclos avaliadas e se relacionaram diretamente com o acúmulo da massa seca.

Em outras culturas, tais como o *Coffea canephora*, o acúmulo de macronutrientes nos frutos teve comportamento sigmoidal (COVRE et al., 2016; DUBBERSTEIN et al., 2016; PARTELLI et al., 2014), diferindo do encontrado nesse trabalho. Acredita-se que essa resposta se deu em função ao momento de realização da última coleta dos cachos, realizada quando os frutos estavam totalmente granados, fase em que os frutos já atingiram o ponto ideal de colheita, no entanto, as cascas apresentam a coloração verde. Espera-se que após esse momento a tendência do acúmulo seja de estabilização, devido às transformações

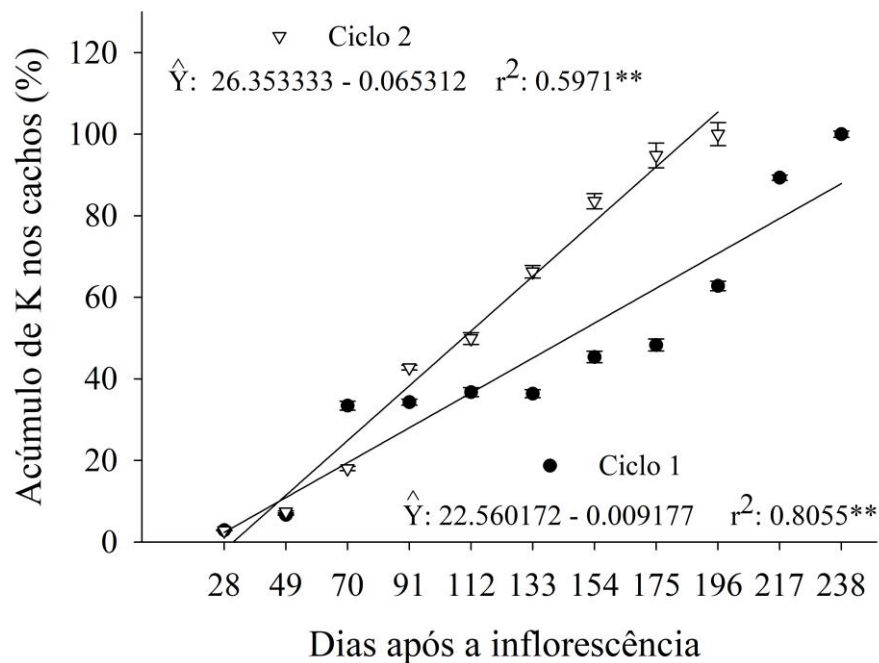
que ocorrem com o amadurecimento dos frutos entre eles a degradação de compostos.

O nitrogênio destaca-se como o nutriente mais acumulado nos dois ciclos estudados, sendo que no segundo ciclo, apresentou-se em maior quantidade. O comportamento do acúmulo ao longo do tempo foi crescente, seguindo a tendência do acúmulo de massa seca, tendo alcançado o máximo ao final da última amostragem, aos 238 e 196 dias após a inflorescência, do primeiro e segundo respectivamente, período em que os cachos de pimenta-do-reino acumularam 115,11 e 83,23 g kg<sup>-1</sup>, esses valores correspondem a 100% de N acumulado (Figura 5).



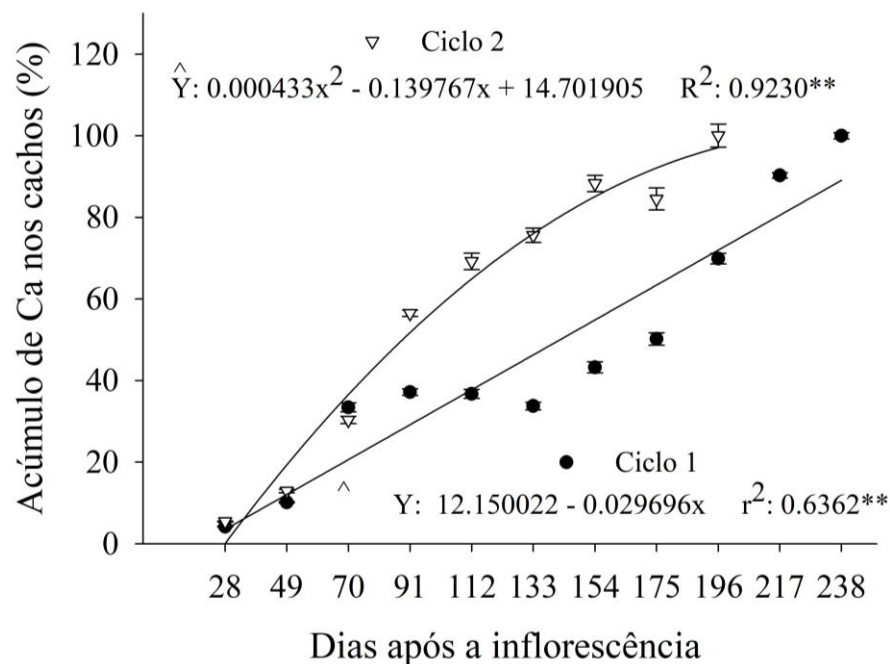
**Figura 5.** Acúmulo de nitrogênio em cachos de pimenta-do-reino, durante dois ciclos reprodutivos. As barras representam o erro padrão.

O potássio foi o segundo nutriente mais acumulado pelos cachos. E assim como o N, a demanda deste nutriente nos cachos foi crescente, atingindo o máximo acumulado desse elemento na última coleta, aos 228 e 189 dias após a inflorescência, com teores de 85,75 e 57,5 g kg<sup>-1</sup> com um maior incremento observado no primeiro ciclo (Figura 6).



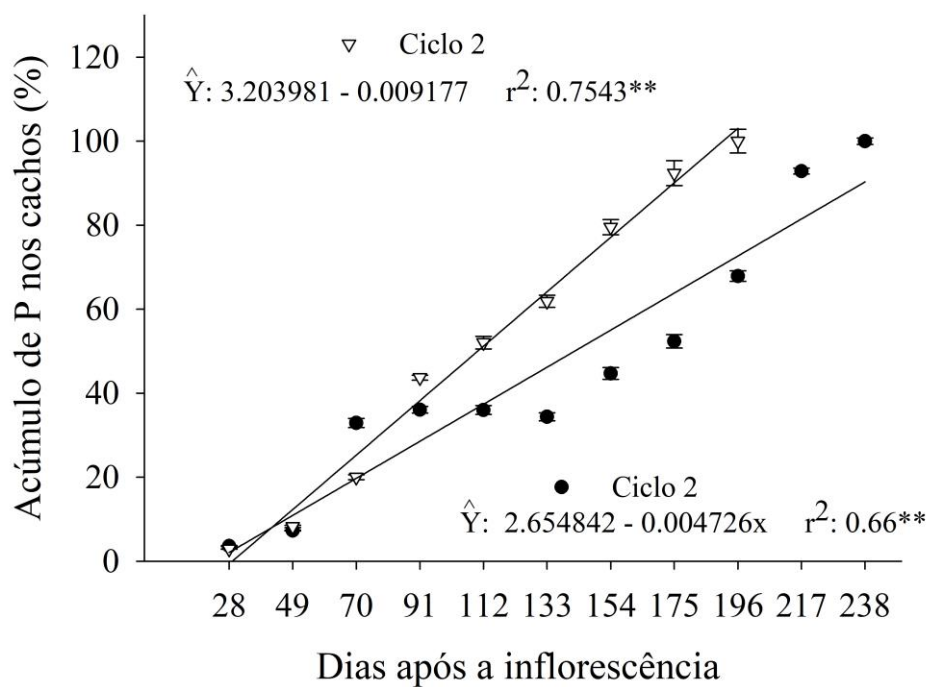
**Figura 6.** Acúmulo de potássio em cachos de pimenta-do-reino, durante dois ciclos reprodutivos. As barras representam o erro padrão.

O cálcio seguiu como o terceiro nutriente mais abundantes nos cachos de pimenta-do-reino, assim como o nitrogênio e o potássio, atingiu seu acúmulo máximo (100%) na última coleta, aos 238 e 196 dias após a inflorescência, com 34,96 e 12,59 g kg<sup>-1</sup>, seguindo igualmente a tendência do N e K, com acúmulo superior no primeiro ciclo (Figura 7).



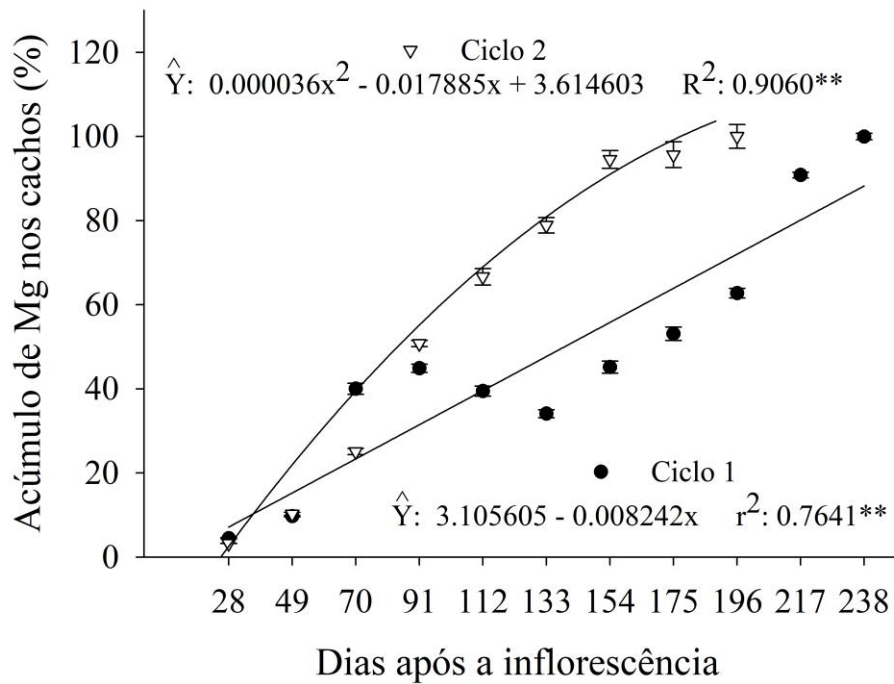
**Figura 7.** Acúmulo de cálcio em cachos de pimenta-do-reino, durante dois ciclos reprodutivos. As barras representam o erro padrão.

O fósforo, magnésio e enxofre foram os nutrientes acumulados em menor quantidade pelo cachos. As menores taxas de acúmulo foram observadas nas primeiras amostragens (28 dias após a inflorescência), seguido de um comportamento crescente até atingir ao final do período de avaliação, 238 e 196 dias após a inflorescência, 100 % do total acumulado, correspondidos por 9,10 g no ciclo 1 e 6,40 g no ciclo 2 de P; 8,20 g no ciclo 1 e 5,45 g no ciclo 2 de Mg; e 5,27 g no ciclo 1 e 3,32 g no ciclo 2 de S. Sendo o S, o elemento acumulado em menor quantidade (Figura 8 9 e 10).

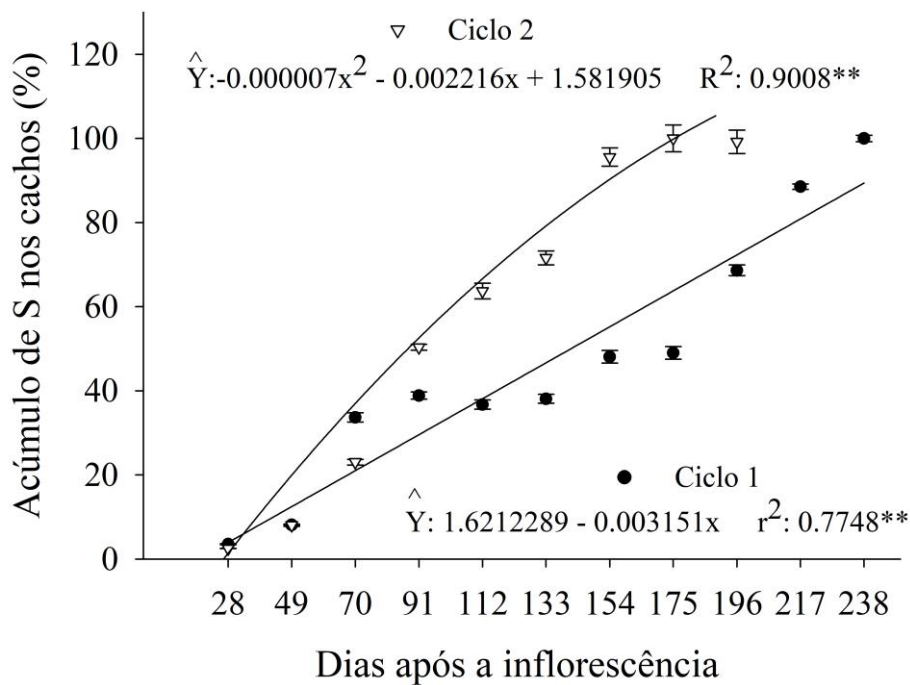


**Figura 8.** Acúmulo de fósforo em cachos de pimenta-do-reino, durante dois ciclos reprodutivos. As barras representam o erro padrão.





**Figura 9.** Acúmulo de magnésio em cachos de pimenta-do-reino. Durante dois ciclos reprodutivos. As barras representam o erro padrão.



**Figura 10.** Acúmulo de enxofre em cachos de pimenta-do-reino, durante dois ciclos reprodutivos. As barras representam o erro padrão.

Através da realização desse estudo, pode-se observar que a cultura da pimenta-do-reino possui mais de um ciclo por ano e que cada uma, possui período de frutificação distinto. Nesse trabalho o primeiro ciclo compreendeu-se entre os

meses de abril à outubro de 2017 (238 dias), já a segunda foi de novembro de 2017 à abril de 2018 (196 dias). Nota-se que o segundo ciclo teve um adiantamento da colheita de 42 dias em relação à primeira. Vale ressaltar que em ambas os ciclos, a última amostragem dos cachos de pimenta-do-reino foi realizada no mesmo ponto de maturação. Acredita-se que esse acontecimento pode ser reflexo das oscilações das variáveis climáticas ao longo do ano.

Segundo Kandiannan et al, (2011), a quantidade de horas de sol acima da média durante o início até o final do ciclo reprodutivo da pimenta-do-reino é prejudicial, para o rendimento da cultura, no entanto, o aumento ao final do ciclo é benéfico, pois ajuda a promover o desenvolvimento e a maturidade. No primeiro ciclo, o final do ciclo reprodutivo coincidiu com o mês de outubro, período do ano caracterizado pela primavera, quando os dias começam a ficarem mais longos. Já o segundo ciclo, que se iniciou em novembro, no final da primavera, passou por todos os dias do verão, caracterizada como a estação do ano em que ao sol nasce mais cedo e se põem mais tarde, com mais horas por dia, desse modo, acredita-se que esse acontecimento possa ter influência sobre o ciclo da cultura.

Observa-se na figura 1 que os valores da temperatura máxima, média e mínima (em °C) entre os meses de abril a agosto de 2017 apresentaram uma tendência decrescente, atingindo os menores valores em julho e agosto, seguido por uma recuperação nos meses de setembro e outubro de 2017. Já entre os meses de novembro de 2017 e abril de 2018, os valores das temperaturas se mantiveram estáveis com poucas variações, sendo que nos meses de fevereiro e março, correspondentes ao mesmo período de coleta dos meses de julho e agosto de 2017, foram registradas as maiores temperaturas, com uma diferença de 6 °C tanto nas temperaturas máxima, média e mínima.

De acordo com Sivaraman et al. (1999), a cultura tolera uma faixa de temperatura de 10 a 40 °C, entretanto, a temperatura ótima compreende-se entre 23 - 32° C com uma média de 28 °C. Estudos revelaram que as variáveis climáticas, temperatura máxima e temperatura mínima, em Kerala na Índia, possuem efeito significativo sobre a produção da pimenta-do-reino (KANDIANNAN et al., 2011). Segundo (KRISHNAMURTHY et al., 2011) as temperaturas, máxima e mínima, podem influenciar a produção mais do que a precipitação, em lavouras irrigadas.

Também em Kerala, um estudo mostrou que a maioria das variedades de pimenta-do-reino apresentou uma leve redução no acúmulo de área foliar, altura de

planta e taxa fotossintética a dois graus acima da temperatura ambiente, indicando que as mudanças climáticas, por menor que seja, influencia no comportamento da cultura (KANDIANNAN et al., 2011).

## Conclusões

As curvas de acúmulo dos macronutrientes, se comportam de forma linear e quadrática. Com menor teor na fase da inflorescência, seguindo por constante acréscimo até o final das coletas, onde atingiu o ponto máximo de acúmulo.

Os teores mais elevadas dos macronutrientes, nos cachos, ocorreram na primeira coleta, compreendida pela fase da inflorescência, com taxas menos expressivas dos nutrientes ao final do ciclo de formação dos frutos.

O N, K e Ca foram os macronutrientes mais acumulados nos cachos da pimenta-do-reino, seguidos pelo P, Mg e S.

A teor foliar de nutrientes, varia ao longo do ano.

## Referências

1. ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
2. AMARAL, J. A. T. DO; RENA, A. B.; AMARAL, J. F. T. DO. Crescimento vegetativo sazonal do cafeeiro e sua relação com fotoperíodo, frutificação, resistência estomática e fotossíntese. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 3, p. 377–384, 2006.
3. AULAR, J.; NATALE, W. Nutrição mineral e qualidade do fruto de algumas frutíferas tropicais: goiabeira, mangueira, bananeira e mamoeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 4, p. 1214–1231, 2013.
4. BAGHOUR, M. et al. Metabolism and efficiency of phosphorus utilization during senescence in pepper plants: response to nitrogenous and potassium fertilization. **Journal of Plant Nutrition**, v. 24, n. 11, p. 1731–1743, 2001.
5. BRAGANÇA, S. M. et al. Acúmulo de B, Cu, Fe, Mn e Zn pelo cafeeiro conilon. **Ceres**, v. 54, n. 314, p. 398–404, 2007.
6. BUTT, M. S. et al. Black Pepper and Health Claims: A Comprehensive Treatise. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 53, n. 9, p. 875–886, 2013.
7. CHIN ANN, Y. Determination of Nutrient Uptake Characteristic of Black Pepper (*Piper nigrum* L.). **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 2, p. 1091–1099, 2012.
8. COVRE, A. M. et al. Nutrient accumulation in bean and fruit from irrigated and non-irrigated *Coffea canephora* cv. Conilon. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 28, n. 6, p. 402–409, 2016.

9. COVRE, A. M.; PARTELLI, F. L.; BONOMO, R. Impacts of water availability on macronutrients in fruit and leaves of conilon coffee. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 9, p. 1025–1037, 2018.
10. DUBBERSTEIN, D. et al. Concentration and accumulation of macronutrients in leaf of coffee berries in the Amazon, Brazil. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 5, p. 701–710, 2016.
11. EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 4ª ed. Brasília: EMBRAPA, 2014.
12. FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039–1042, 2011.
13. GOMES JÚNIOR, G. A. et al. Extração e exportação de nutrientes em frutos de gravioleira. **Revista Ciência Agrícola**, v. 16, n. 2, p. 80–84, 2018.
14. IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **LSPA - Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil**. Rio de Janeiro, 2017.
15. IPC - INTERNATIONAL PEPPER COMMUNITY. **Pepper statistical yearbook 2016**. 2017.
16. KANDIANNAN, K. et al. Modeling the association of weather and black pepper yield. **Indian Journal of Horticulture**, v. 68, n. 1, p. 96–102, 2011.
17. KRISHNAMURTHY, K. S. et al. Trends in climate and productivity and relationship between climatic variables and productivity in black pepper (*Piper nigrum*). **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 81, n. 8, p. 729–733, 2011.
18. LAVIOLA, B. G. et al. Dinâmica de N e K em folhas, flores e frutos de cafeeiro arábico em três níveis de adubação. **Bioscience Journal**, v. 22, n. 3, p. 33–47, 2006.
19. LIMA, J. S. DE S. et al. Análise espacial de atributos químicos do solo e da produção da cultura pimenta-do-reino (*piper nigrum* L.). **Idesia (Arica)**, v. 28, n. 2, p. 31–39, 2010.
20. NATALE, W.; PRADO, R. DE M.; MÔRO, F. V. Alterações anatômicas induzidas pelo cálcio na parede celular de frutos de goiabeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 12, p. 1239–1242, 2005.
21. PANDEY, R. **Mineral Nutrition of Plants**. New Delhi: Plant Diversity, Organization, Function and Improvement, 2015.
22. PARTELLI, F. L. Nutrition of black pepper (*Piper nigrum* L.) - a Brazilian experience. **Journal of Spices and Aromatic Crops**, v. 18, n. 2, p. 73–83, 2009.
23. PARTELLI, F. L. et al. Dry matter and macronutrient accumulation in fruits of Conilon coffee with different ripening cycles. **Revista Brasileira de Ciência do**

- Solo**, v. 38, n. 1, p. 214–222, 2014.
24. PREZOTTI, LUIZ CARLOS; GOMES JOSÉ ANTONIO; DADALTO, GILMAR GUSMÃO; OLIVEIRA, J. A. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo - 5º aproximação**. SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007.
  25. REHMAN, A. et al. Potential of black pepper as a functional food for treatment of airways disorders. **Journal of Functional Foods**, v. 19, p. 126–140, 2015.
  26. SÃO JOSÉ, A. R. et al. Marcha de absorção de nutrientes em anonáceas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. spe1, p. 176–183, 2014.
  27. SIVARAMAN, K. et al. Agronomy of black pepper (*Piper nigrum* L.) - a review. **Journal of Spices and Aromatic Crops**, v. 8, n. 1, p. 1–18, 1999.
  28. SRINIVASAN, K. Black Pepper and its Pungent Principle-Piperine: A Review of Diverse Physiological Effects. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 47, n. 8, p. 735–748, 2007.
  29. TASLEEM, F. et al. Analgesic and anti-inflammatory activities of *Piper nigrum* L. **Asian Pacific Journal of Tropical Medicine**, v. 7, p. S461–S468, 2014.
  30. TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. 3ª ed. Brasília: EMBRAPA SOLOS, 2017.
  31. VELOSO, C. A. C. et al. Resposta de cultivares de pimenta-do-reino aos nutrientes NPK em um Latossolo Amarelo da Amazônia Oriental. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 2, p. 343–347, 2000.
  32. VELOSO, C. A. C.; CARVALHO, E. J. M. Absorção e extração de alguns nutrientes pela cultivar “guajarina” de pimenta-do-reino. **Scientia Agricola**, v. 56, n. 2, p. 443–447, 1999.
  33. VIÉGAS, I. DE J. M. et al. Composição mineral e sintomas visuais de deficiências de nutrientes em plantas de pimenta-longa. **Acta Amazonica**, v. 43, n. 1, p. 43–50, 2013.
  34. VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, Magnésio e Enxofre. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: [s.n.]. p. 299–326.
  35. WANG, Y.-H. et al. Anticancer Principles from Medicinal Piper (胡椒 Hú Jiāo) Plants. **Journal of Traditional and Complementary Medicine**, v. 4, n. 1, p. 8–16, 2014.

## 1.2. TEORES FOLIARES E ACÚMULO DE MICRONUTRIENTES EM CACHOS DE *PIPER NIGRUM* L. EM DOIS CICLOS REPRODUTIVOS

### Resumo

O conhecimento da dinâmica de micronutrientes em folhas e cachos da pimenta-do-reino tem como principal função auxiliar o diagnóstico das necessidades nutricionais da planta, facilitando o manejo da adubação. Dessa forma, objetivou-se determinar o acúmulo de micronutrientes nos cachos de pimenta-do-reino ao longo de dois ciclos e o teor foliar em um ciclo anual, possibilitando entender as demandas nutricionais da espécie. O experimento foi realizado em lavoura comercial de *Piper nigrum* L., da variedade Bragantina, em São Mateus, Espírito Santo, Brasil. Os ensaios foram conduzidos seguindo delineamento estatístico inteiramente casualizado, em arranjo de parcela no tempo. Os tratamentos consistiram em distintas épocas de coletas. Para as análises dos cachos, foram realizadas um total 11 coletas no primeiro ciclo reprodutivo e nove no segundo ciclo. Em cada avaliação coletou-se aleatoriamente nove cachos, formando amostras compostas a cada três, portanto três repetições. Para análise de teor no tecido foliar foram realizadas um total de 20 coletas ao longo do ano, cada amostra foi composta de 40 folhas recém-formadas, com três repetições por período amostrado. Os materiais foram secos e os teores de Fe, Zn, Cu, Mn e B, foram obtidas em laboratório. As curvas de acúmulo dos micronutrientes se comportaram de forma linear e quadrática, atingindo o ponto máximo de acúmulo no momento da colheita. O Fe, Mn e B foram os macronutrientes mais encontrados nos frutos e folhas da pimenta-do-reino. O teor foliar de nutrientes oscilou durante o ano.

**Palavras-chave:** Pimenta-do-reino, composição mineral, manejo nutricional.

**Abstract**

The knowledge of micronutrient dynamics in leaves and bunches of black pepper has as main function to assist in the diagnosis of nutritional needs of the plant, facilitating the management of fertilization. The objective of this study was to determine the accumulation of micronutrients in the peppercorns over two harvests and the leaf concentration in an annual cycle, making it possible to understand the nutritional demands of the species. The experiment was carried out in commercial crop of *Piper nigrum* L., of the variety Bragantina, in São Mateus, Espírito Santo, Brazil. The tests were conducted following a completely randomized design, in plot arrangement in time. The treatments consisted of different sampling times. For the analysis of the clusters, a total of 11 collections were performed in the first reproductive cycle and nine in the second cycle. In each evaluation, nine clusters were randomly collected, forming compound samples every three, thus three replications. For analysis of concentration in the leaf tissue a total of 20 collections were carried out throughout the year, each sample was composed of 40 young leaves with three replicates, per sampled period. The materials were dried and the concentrations of Fe, Zn, Cu, Mn and B were obtained in the laboratory. The micronutrient accumulation curves behave linearly and quadratically, reaching the maximum accumulation point at the time of harvest. Fe, Mn and B were the most common macronutrients found in fruits and leaves of black pepper. The leaf concentration of nutrients, oxidized during the year.

**Keywords:** Black pepper, mineral composition, nutritional management.

## Introdução

As plantas e seus produtos desempenham um papel importante no bem-estar animal e humano, satisfazendo várias necessidades essenciais, podendo tanto ser utilizada na alimentação quanto na produção de medicamentos (BHAT et al., 2010).

A pimenta-do-reino, também conhecida como pimenta-preta, é uma das especiarias mais populares do mundo. Pertence ao gênero *Piper*, o qual, contém mais de 1000 espécies. Várias espécies do gênero *Piper* são conhecidas por possuírem propriedades medicinais e aromáticas (ABUKAWSAR et al., 2018).

Atualmente, tem-se observado um maior interesse pelos consumidores em encontrar produtos vegetais, tais como, ervas e especiarias, que além de possuir propriedades culinárias e medicinais também contenham micronutrientes essenciais a saúde (BHAT et al., 2010). Os elementos essenciais presentes na pimenta-preta, além de influenciar o sabor na preparação dos alimentos, fornecem nutrientes importantes que o organismo não consegue sintetizar.

Os micronutrientes são requeridos em pequenas quantidades pelas culturas. Apesar de seus baixos teores dentro dos tecidos e dos órgãos das plantas, possuem grande relevância para o crescimento, desenvolvimento e conseqüentemente, na determinação da produtividade e da qualidade da cultura colhida (LAVIOLA et al., 2007). Uma vez que, agem como constituintes das paredes celulares (B), das membranas celulares (B, Zn), como constituintes de enzimas (Fe, Mn, Cu, Ni), como ativadores de enzimas (Mn, Zn) e na fotossíntese (Fe, Cu, Mn, Cl) (KIRKBY; RÖMHELD, 2007). Bem como, conferindo resistência contra estresses bióticos e abióticos, incluindo pragas e doenças (Tomaz et al. 2011).

Conhecer a teor foliar, bem como a curva de acúmulo de nutrientes em cachos de pimenta-do-reino, auxilia na recomendação e ajuste do programa de adubação das lavouras, melhorando a sustentabilidade da atividade. Dessa forma, objetivou-se com esse trabalho determinar as curvas de acúmulo de micronutrientes nos cachos de pimenta-do-reino ao longo de dois ciclos e a teor foliar em um ciclo anual.



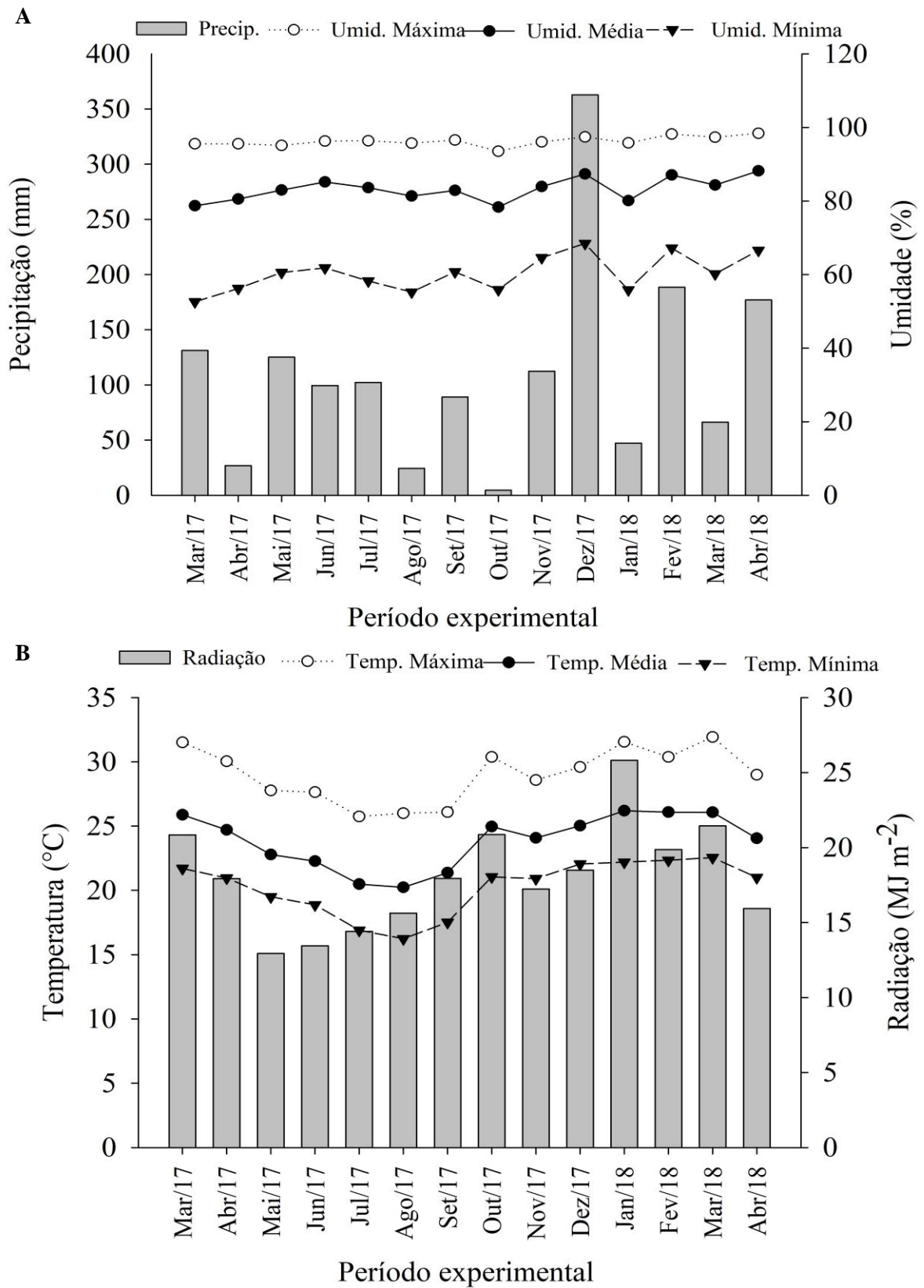
## Material e métodos

O experimento foi realizado durante dois ciclos reprodutivos da pimenta-do-reino, em 2017 e 2018, em uma lavoura comercial, no município de São Mateus, Espírito Santo (18°46'48.4"S, 39°52'31.5"W e altitude 23 m). O clima da região, conforme classificação de Köppen, é Aw, tropical com estação seca no inverno e verão chuvoso (ALVARES et al., 2013).

Foram utilizadas plantas de *P. nigrum*, da variedade Bragantina, por ser a mais plantada na região, com aproximadamente três anos de idade, cultivadas a pleno sol, no espaçamento de 3,5 x 1,8 m, em solo caracterizado como Latossolo Amarelo distrocoeso (EMBRAPA, 2014), com relevo suave ondulado, cujas características químicas e granulométricas: pH água = 5,05; P (mg dm<sup>-3</sup>) = 52; K (mg dm<sup>-3</sup>) = 95; S (mg dm<sup>-3</sup>) = 8; Ca<sup>2+</sup> (cmolc dm<sup>-3</sup>) = 4; Mg<sup>2+</sup> (cmolc dm<sup>-3</sup>) = 0,35; Al<sup>3+</sup> (cmolc dm<sup>-3</sup>) = 0,5; H+Al (cmolc dm<sup>-3</sup>) = 5,9; MO (dag dm<sup>-3</sup>) = 2,2; SB (cmolc dm<sup>-3</sup>) = 4,62; CTC efetiva (cmolc dm<sup>-3</sup>) = 5,12; CTC pH7,0 (cmolc dm<sup>-3</sup>) = 13,87; V% = 46,03; Areia (g kg<sup>-1</sup>) = 679,5; Silte (g kg<sup>-1</sup>) = 60,5; e Argila (g kg<sup>-1</sup>) = 260.

Os tratos culturais da lavoura consistiram no controle de plantas daninhas com herbicidas, calagem, adubação de cobertura, poda e irrigação por gotejamento.

Os valores da temperatura máxima, média e mínima do ar, radiação solar global, precipitação pluviométrica e umidade relativa do ar (Figura 1), foram obtidos na estação meteorológica da fazenda experimental do Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES-UFES), localizada a 15 km da área experimental, sendo apresentado os meses e anos que foram realizadas as coletas na lavoura.



Os tratamentos consistiram em distintas épocas de coletas, durante dois ciclos. Os ensaios foram conduzidos seguindo delineamento estatístico inteiramente casualizado (DIC), em arranjo de parcela no tempo. Para as análises dos cachos, foram realizadas onze coletas no primeiro ciclo reprodutivo e nove no segundo ciclo. A diferença entre a quantidade de tratamento empregadas nos dois ciclos se deu em função do segundo ciclo ter sido mais curto que o primeiro (42 dias) que o primeiro. Em cada avaliação sorteou-se nove cachos, os quais foram e coletados, sendo que a cada três cachos formou-se uma amostra composta, portanto três repetições por período amostrado.

A primeira marcação de frutos ocorreu no dia 17/04/2017, aproximadamente 28 dias após o lançamento das inflorescências, na qual foram marcadas 200 inflorescências em 10 plantas. No mesmo dia iniciaram-se as coletas dos cachos, a partir daí as coletas foram realizadas em intervalos de aproximadamente 21 dias, até a maturação completa dos frutos, encerrando-se dia 13/11/2017 (238 dias após lançamento das inflorescências). A segunda marcação foi realizada da mesma forma, no entanto com início em 13/11/2017 e o término no dia 30/04/2018 (196 dias após lançamento das inflorescências). A última coleta dos cachos, em ambos os períodos, foi realizada no mesmo estágio de maturação dos frutos, momento em que os frutos apresentavam-se totalmente granados, no entanto, com a coloração da casca ainda verde.

Para análise de teor no tecido foliar, foi realizado um total de 20 coletadas ao longo do ano, cada amostra se compôs de 40 folhas recém-maduras com 03 repetições, por período amostrado. As folhas coletadas localizavam-se no terço médio superior das plantas. As avaliações se estenderam por um ano, a fim de verificar o comportamento do teor foliar dos nutrientes em um ciclo anual.

Os materiais vegetais coletados foram secos em estufa de ventilação forçada a 70 °C, até atingir massa constante, posteriormente, pesados em balança de precisão (0,001g). Os teores de Fe, Zn, Cu, Mn, e B nos cachos/espigas e folhas, foram obtidas em laboratório, conforme metodologia descrita por Teixeira et al. (2017). Para obtenção do acúmulo de nutrientes levou-se em consideração a teor de nutrientes e massa seca ao longo do ano.

As médias dos teores dos nutrientes nas folhas e cachos e o acúmulo de nutrientes nos cachos foram submetidas à análise de variância ( $p \leq 0,05$ ), com auxílio do programa estatístico Sisvar 5.6 (FERREIRA, 2011). Foi realizada a análise de

regressão para o acúmulo de nutrientes nos cachos. Os gráficos foram confeccionados a partir das médias e do erro-padrão da média, com o auxílio do programa SigmaPlot versão 11.0.

## Resultados e Discussão

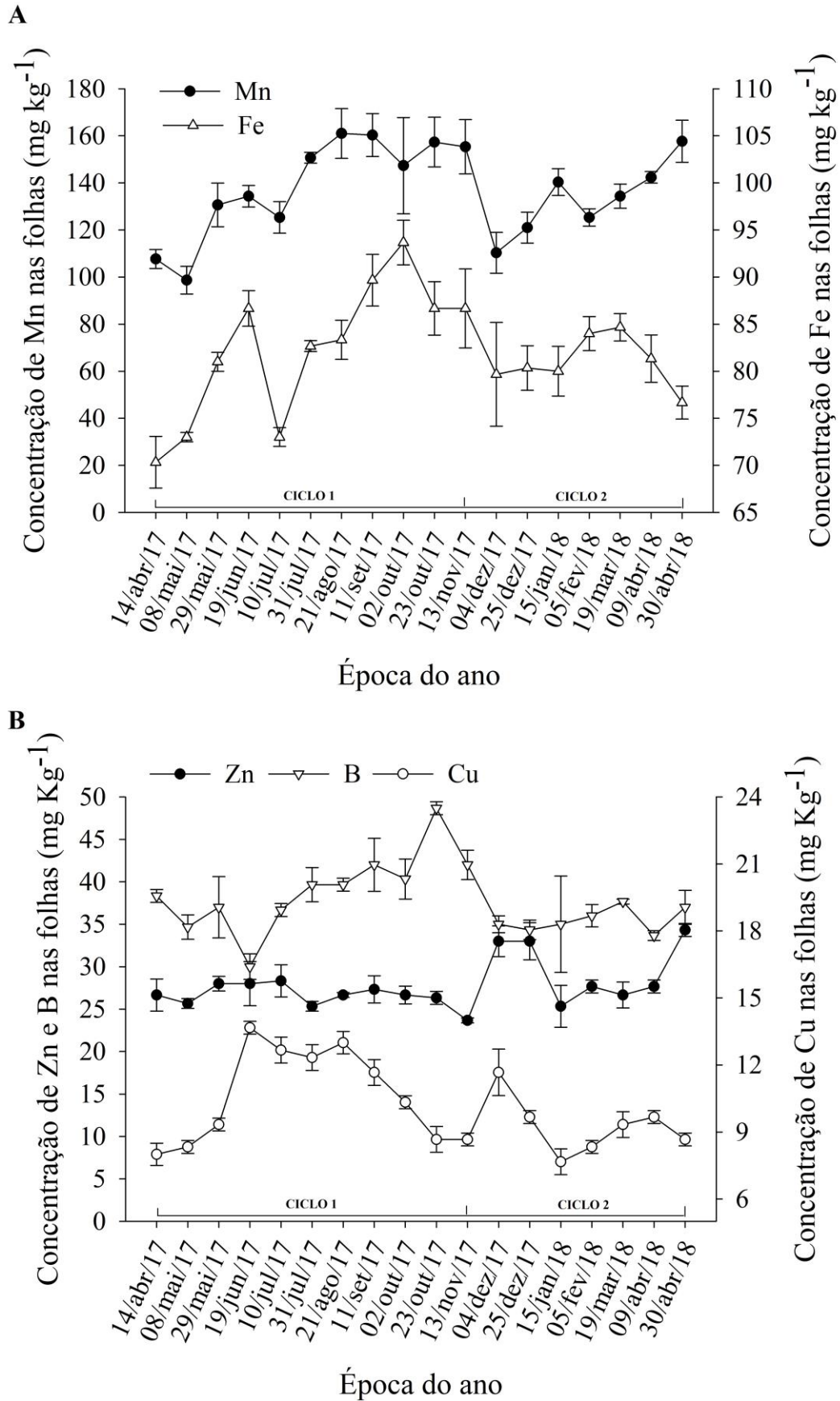
Os resultados obtidos na análise de variância evidenciam que houve diferença significativa entre os teores dos micronutrientes nas folhas no período de um ano, ao nível de 1%, bem como, para os teores dos micronutrientes nos cachos ao longo dos dois ciclos reprodutivos, com exceção ao cobre no primeiro ciclo (Tabela 1).

**Tabela 1.** Resumo da análise de variância (ANOVA) para teor de micronutrientes em folhas e cachos de pimenta-do-reino ao longo do período avaliado.

<b>TEOR NAS FOLHAS</b>					
<b>Fonte de variação</b>	<b>Ferro</b>	<b>Zinco</b>	<b>Cobre</b>	<b>Manganês</b>	<b>Boro</b>
<b>Valor Quadrado Médio</b>					
Épocas de coletas	108,24**	24,44**	10,93**	1103,26**	50,80**
CV (%)	6,16	10,44	9,72	12,63	11,40
<b>TEOR NOS CACHOS</b>					
Ciclo 1	1064,42**	410,50**	2,95 <sup>ns</sup>	895,32**	1884,29**
Ciclo 2	588,57**	264,90**	20**	247,59**	1487,93**
CV <sub>1</sub> (%)	4,63	13,32	9,89	13,45	13,39
CV <sub>2</sub> (%)	8,23	9,72	9,56	13,58	8,54

<sup>ns</sup>, \*\* não significativo e significativo a 1% de probabilidade de erro, respectivamente.

Os teores de micronutrientes, nas folhas da pimenta-do-reino, variaram de acordo com os nutrientes estudados e com os períodos do ano (Figura 2. A e B). O teor do manganês foi superior à dos demais elementos nas folhas, mesmos nos meses de abril, maio e dezembro de 2017, onde foram encontrados os menores teores de Mn (Figura 2. A). O ferro foi o segundo elemento mais concentrado, no entanto, observa-se que seus teores oscilaram muito ao longo tempo, sendo abril e outubro de 2017, os meses correspondentes aos períodos de maior e menor teor, respectivamente. O zinco, cobre e o boro foram os nutrientes encontrados em menores proporções nas folhas (Figura 2. B). Sendo o B e o Cu apresentaram maiores flutuações nos teores ao longo do tempo, quando comparados ao Zn.

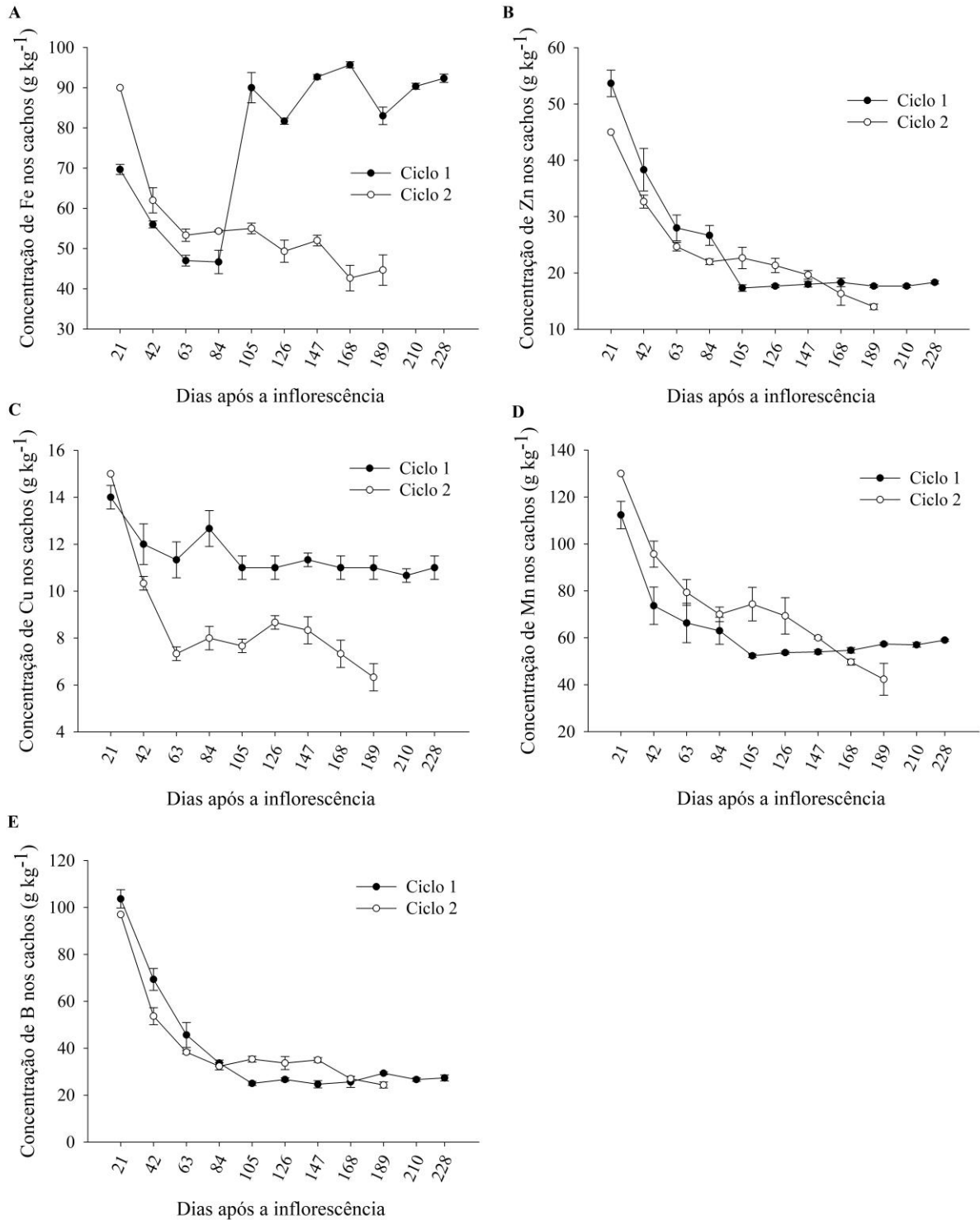


**Figura 2.** Teores de Fe, Mn (A), Zn, Cu e B (B) em folhas de pimenta-do-reino ao longo de um ano.

A ordem do teor foliar, encontrada no presente estudo, corrobora a obtida por Bataglia; Gallo; Cardoso (1976), em plantas de pimenta-do-reino já estabelecidas, com aproximadamente 96 meses. No entanto, diverge dos valores encontrados por Veloso et al. (1998), em trabalho realizado com mudas de pimenta-do-reino (variedade Bragantina) e Viégas et al. (2013), com mudas de pimenta longa, cultivadas em ambiente protegido. Em ambos, houve variações tanto na ordem dos nutrientes, em que, o Fe apresentou teor superior ao Mn, seguidos pelo Zn, B e Cu, quanto nas proporções dos nutrientes, onde os valores de Fe, Zn e do Cu, foram superiores aos observados nesse estudo. Essa disparidade observada entre os resultados é justificada pelo diferente estágio fenológico de desenvolvimento das plantas em que as folhas foram amostradas.

De acordo com a tabela de referência foliar para pimenta-do-reino, os teores adequados de Fe, Zn, Cu, Mn e B no período de florescimento são de 200; 30; 8; 60; e 25 mg kg<sup>-1</sup> respectivamente (PREZOTTI et al., 2007). Esses valores atestam que apenas os teores do Zn e do Cu, encontrados nas folhas durante o período de florescimento, estão dentro da normalidade em ambos os ciclos. O Mn e B apresentaram teores superiores e, o Fe, por sua vez, apresentou-se em proporção muito inferior à recomendada durante os dois ciclos (Figura 2). No entanto, apesar da grande diferença entre os teores recomendados e os encontrados, não foi observado sintomas de deficiência ou mesmo de toxidez pelos micronutrientes em desequilíbrio.

Quanto aos teores de micronutrientes nos cachos de pimenta-do-reino, o Fe apresentou grandes variações ao longo do primeiro ciclo avaliado. Inicialmente exibiu um comportamento decrescente, nos primeiros 84 dias, fase compreendida pela inflorescência e início do desenvolvimento dos frutos, sucedido por um elevado acréscimo aos 105 dias, seguido por leves oscilações até o final das coletas, período em que os frutos apresentavam-se totalmente granados, a caracterizado pelo momento ideal para realização da colheita (Figura 3. A). No entanto, não foi verificado o mesmo comportamento no segundo ciclo avaliado, onde, teor de Fe nos cachos foi superior na primeira coleta (aos 21 dias), seguida por um declínio constate, até atingir a menor proporção ao final do experimento, no momento da colheita dos cachos (Figura 3 A).



**Figura 3.** Teores de Fe (A), Zn (B), Cu (C), Mn (D) e B (E) nos cachos de pimenta-reino ao longo de dois ciclos reprodutivos.

As curvas de teor de Zn, Mn, B em ambos os ciclos e do Cu apenas no segundo, apresentaram uma conformação semelhante ao Fe, no segundo ciclo reprodutivo, com declínio mais intenso dos 21 aos 63 dias após o lançamento das inflorescências, sucedido por um decréscimo menos intenso até o final das coletas, em alguns casos houve uma tendência de estabilização dos nutrientes (Figura 3 B,

D e E). Esse comportamento já era esperado e foi igualmente observado em outras culturas, tais como o café conilon (COVRE et al., 2018b; DUBBERSTEIN et al., 2019). Tal desempenho justifica-se devido ao fruto, no estágio de formação inicial, possuir baixo acúmulo de matéria seca e determinada quantidade de nutrientes, a partir do momento em que começa ocorrer à expansão celular, há um aumento de tamanho e ocorre consecutivamente o chamado “efeito de diluição” da quantidade de nutriente presente no fruto, atingindo as menores proporções nas fases de granação e maturação (LAVIOLA et al., 2006).

Não foram encontrados na literatura, trabalhos relacionados à teor de micronutrientes nos cachos da pimenta-do-reino ao longo do período reprodutivo. Entretanto, em estudo sobre a composição nutricional de frutos de pimenta-do-reino, Abukawsar et al. (2018) encontrou  $67,86 \text{ mg kg}^{-1}$  e  $124,2 \text{ mg kg}^{-1}$  de Fe, em frutos de duas variedades de *P. nigrum*, Indigenou e Kerala, respectivamente. Esses valores não corroboram aos encontrados nas últimas coletas ( $45$  e  $93 \text{ mg kg}^{-1}$ ), as quais correspondem ao momento ideal de colheita.

Os valores de Mn obtidos nos cachos ( $60 \text{ mg kg}^{-1}$ , no segundo ciclo) são respaldados por Pradeep; Geervani; Eggum, (1993), em que obtiveram  $63,3 \text{ mg kg}^{-1}$ . Todavia, Bhat et al. (2010) verificaram a teor de  $16,3 \text{ mg kg}^{-1}$ , inferior as demais pesquisas.

O teores de Zn ( $14$  e  $18 \text{ mg kg}^{-1}$ ) foram correspondentes aos encontrados por Bhat et al. (2010) ( $14,6 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e por Nwofia; Kelechukwu; Nwofia (2013), em estudo realizado com nove variedades de *P. nigrum*, na Nigéria, onde os teores de Zn variaram de  $14,5$  a  $16,3 \text{ mg kg}^{-1}$ . A teor de Cu ( $11 \text{ mg kg}^{-1}$ ) foi muito inferior a descrita por Bhat et al. (2010), de  $46,9 \text{ mg kg}^{-1}$ . Não foram encontrados trabalhos que apresentaram teores de B nos cachos ou mesmo em frutos.

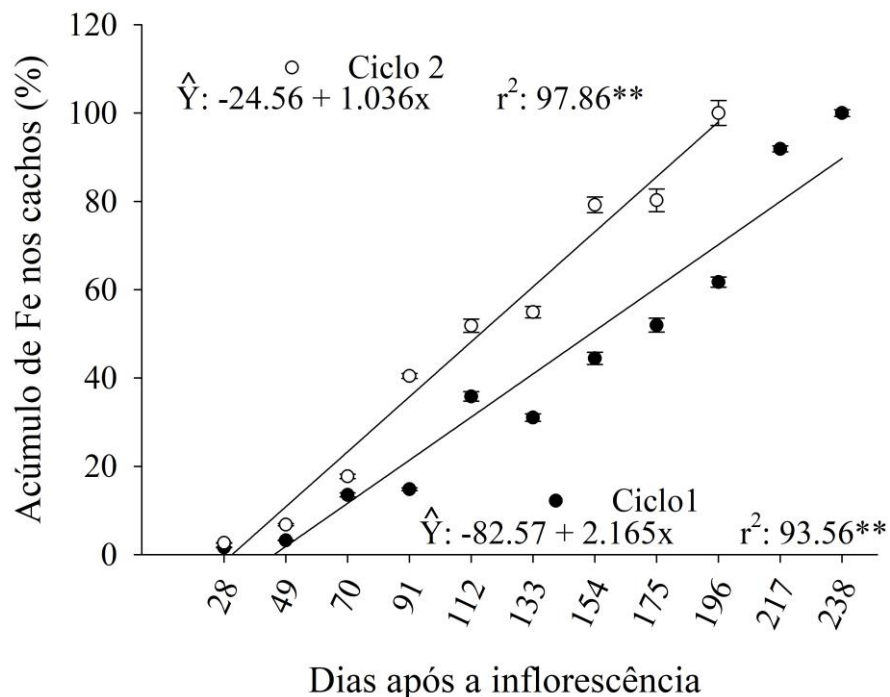
A variação na composição elementar observada entre os resultados obtidos nesse estudo e os descritos pelos demais autores é muito corriqueira, pois esta é uma variável que apresenta influências de fatores bióticos e abióticos, dentre eles, a variedade cultivada, matrizes, composição do solo, clima, práticas agrícolas e colheita, que afetam a síntese bioquímica da planta (SALEH-E-IN et al., 2017).

As curvas de acúmulo plotadas nas figuras 4, 5, 6, 7 e 8, permitem estimar a quantidade de nutrientes extraídos pelas partes reprodutivas das plantas, durante cada fase do seu desenvolvimento, a partir de 28 dias após a inflorescência. Os modelos matemáticos ajustados foram regressão linear e quadrática, com



significância de 1% pela análise de variância da regressão e alto coeficiente de determinação.

Do total de micronutrientes acumulados pelos cachos da pimenta-do-reino, aos 238 e 196 dias após a inflorescência, no primeiro e segundo ciclo, respectivamente, 44,40% e 33,92% correspondem ao Fe, tornando-se dessa forma o nutriente mais acumulado. O comportamento do acúmulo ao longo do tempo foi crescente, atingindo as maiores médias na última coleta, de ambos os ciclos, com 463,4 e 174,7 mg kg<sup>-1</sup>. Esses valores correspondem a 100% do total de Fe acumulado (Figura 4).

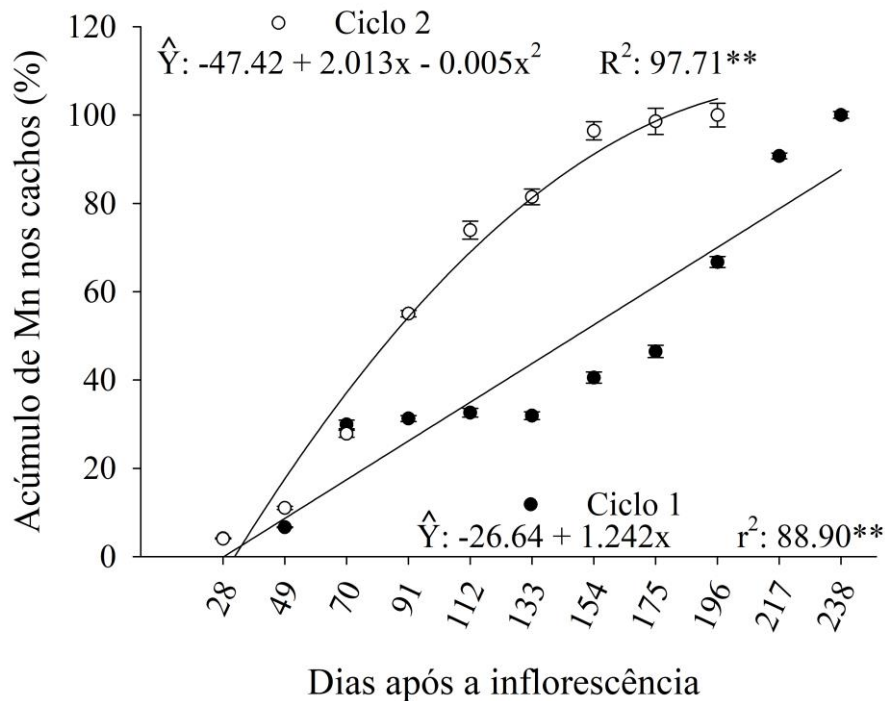


**Figura 4.** Acúmulo de ferro em cachos de pimenta-do-reino, durante dois ciclos reprodutivos. As barras representam o erro padrão.

Covre et al. (2018) e Dubberstein et al. (2019) também observaram maior acúmulo de Fe entre todos micronutrientes em frutos café Robusta. Acredita-se que, esse maior acúmulo de Fe está relacionado a suas importantes funções nas plantas, em que aproximadamente 80 % do Fe ocorre nos cloroplastos, onde tem um papel importante na fotossíntese e biossíntese de proteínas e clorofila, é um constituinte enzimático de diversas proteínas, tais como, as hemeproteínas e ferrosulfoproteínas, além de enzimas, como as lipoxigenases (BRAGANÇA et al., 2007).

O manganês foi o segundo micronutriente mais acumulado pelos cachos, em ambos os ciclos, representando 28,36 e 32,15% do total acumulado,

respectivamente, ao final do experimento (Figura 5). Sua importância está atribuída principalmente pela atuação dos íons de manganês na ativação de muitas enzimas nas células vegetais e, por atuarem diretamente na fotossíntese e indiretamente na formação de carboidratos (KIRKBY; RÖMHELD, 2007; TAIZ; ZEIGER, 2013).



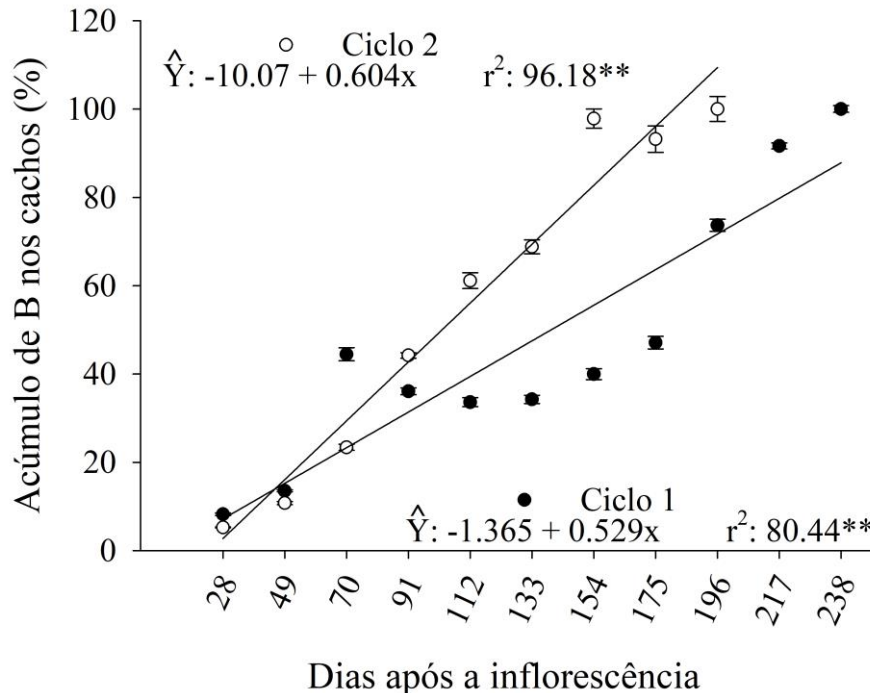
**Figura 5.** Acúmulo de manganês em cachos de pimenta-do-reino, durante dois ciclos reprodutivos. As barras representam o erro padrão.

A demanda pelo Mn nos cachos foi crescente no primeiro ciclo, assim como a do Fe, já no segundo, o comportamento também foi crescente, no entanto, com tendência a estabilização a partir das últimas coletas. O máximo acumulado foi observado nas últimas coletas, aos 228 e 189 dias após a inflorescência, com teores de 165,56 e 296,09 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 5).

O acúmulo máximo de boro nos cachos de pimenta-do-reino foi encontrado aos 228 dias após a inflorescência no primeiro ciclo (137,17 mg kg<sup>-1</sup>) e, aos 189 dias após a inflorescência no segundo (95,17 mg kg<sup>-1</sup>), correspondendo a 13,14% e 10,63% do total de nutrientes acumulados nos cachos, no ponto de colheita (Figura 6). O acúmulo de B nos cachos cresceu linearmente nos dois ciclos avaliados, havendo um maior incremento pelos cachos no primeiro ciclo, assim como ocorrido com o Fe.

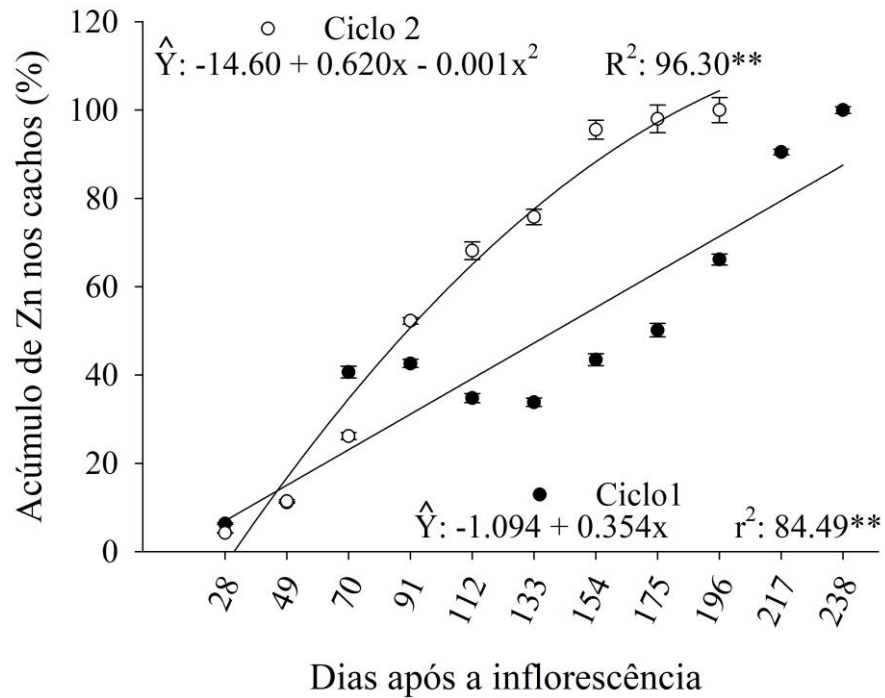
O B exerce uma importante função tanto para o desenvolvimento floral quanto para o conjunto inicial de frutos e sementes, uma vez que atua na

manutenção da integridade estrutural da parede celular e nas membranas celulares (BRAGANÇA et al., 2007; ZHANG et al., 2014; BORGHI; FERNIE, 2017).

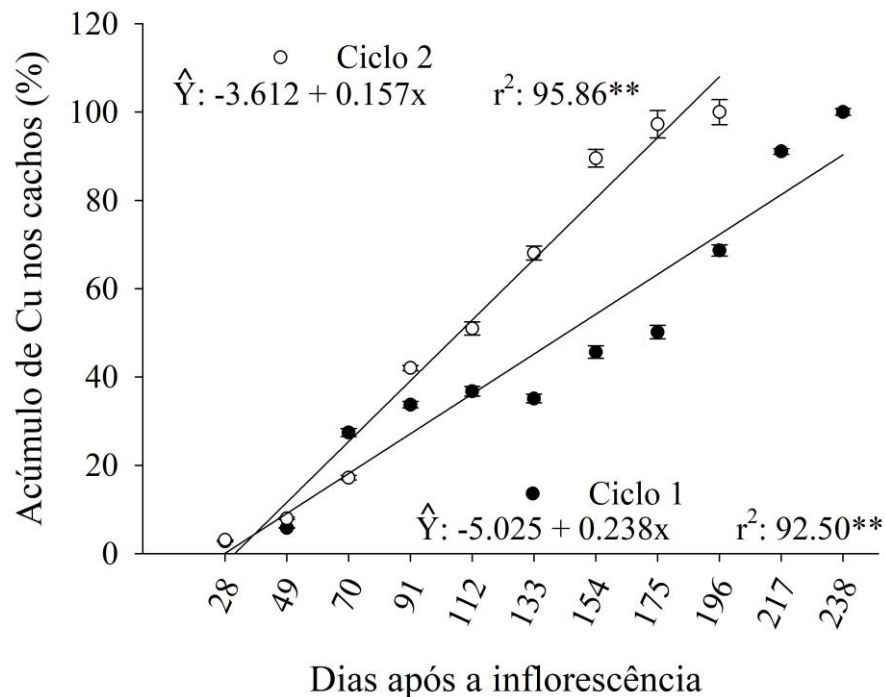


**Figura 6.** Acúmulo de boro em cachos de pimenta-do-reino, durante dois ciclos reprodutivos. As barras representam o erro padrão.

O zinco e cobre foram os nutrientes acumulados em menor quantidade pelos cachos. As menores taxas de acúmulo foram observadas nas primeiras amostragens (28 dias após a inflorescência), seguido de um comportamento crescente até atingir o final do período de avaliação, 238 e 196 dias após a inflorescência. Nesse momento, observou-se 100 % do total acumulado, correspondidos por 92,01 e 57,76 mg kg<sup>-1</sup> de Zn; e 24,76 e 55,20 mg kg<sup>-1</sup> de Cu, no primeiro e segundo ciclo, respectivamente. Nota-se que o desempenho do Zn ao longo de cada período avaliado foi semelhante ao do Mn. O Cu foi o elemento acumulado em menor quantidade pelos cachos de pimenta-do-reino (Figura 7 e 8).



**Figura 7.** Acúmulo de zinco em cachos de pimenta-do-reino, durante dois ciclos reprodutivos. As barras representam o erro padrão.



**Figura 8.** Acúmulo de cobre em cachos de pimenta-do-reino, durante dois ciclos reprodutivos. As barras representam o erro padrão.

De acordo com Hamza e Sadananda (2005), o zinco exerce um importante papel de atuar no aumento da divisão celular perante o aumento do nível de auxina

em pimenta preta. Já o Cu atua na fotossíntese, respiração, distribuição de carboidratos, N metabolismo, proteínas e paredes celulares, bem como seu papel no controle de DNA e RNA produção e reprodução de plantas (MATTOS JÚNIOR, RAMOS, QUAGGIO; FURLANI, 2010).

Apesar da grande importância dessas informações para auxiliar no manejo da cultura, não foi encontrado na literatura trabalhos relacionados ao acúmulo de micronutrientes ao longo do tempo, em cachos de pimenta-do-reino. Entretanto, em estudos realizados com acúmulo de micronutrientes em frutos do cafeeiro conilon na Amazônia Sul Ocidental (DUBBERSTEIN et al., 2019), Noroeste do Espírito Santo (BRAGANÇA et al., 2007) e no sul da Bahia (COVRE et al., 2018b), verificaram que o ferro, manganês e o boro são os elementos mais exigidos pelos frutos, enquanto o zinco e o cobre foram requeridos em menor quantidade, diferindo apenas na curva de acúmulo, exibindo desempenho sigmoidal.

Acredita-se que, essa resposta se deu em função do momento de realização da última coleta dos cachos, realizada quando os frutos estavam totalmente granados, com coloração verde, fase em que os frutos já atingiram o ponto ideal de colheita. Espera-se que, após esse momento, a tendência do acúmulo seja de estabilização, seguido por uma redução, devido às transformações que ocorrem com o amadurecimento dos frutos, entre eles a degradação de compostos químicos.

De acordo com Whitehead; Bowers (2014), as plantas possuem como estratégia natural, mudanças na composição química dos frutos com o amadurecimento, para evitar gastos metabólicos e, estas alterações podem incluir uma redução na teor química dos frutos.

## **Conclusão**

As curvas de acúmulo dos micronutrientes, se comportam em alguns casos de forma linear e em outros de forma quadrática. Com os menores teores de nutrientes na fase da inflorescência, seguindo por constante acréscimo até o final das coletas, onde atingiu o ponto máximo de acúmulo.

As concentrações mais elevadas dos micronutrientes, nos cachos, ocorreram na primeira coleta, compreendida pela fase da inflorescência, com taxas menos expressivas dos nutrientes ao final do ciclo de formação dos frutos.

O Fe, Mn e B foram os micronutrientes mais abundantes nos cachos da pimenta-do-reino, seguidos pelo Zn e Cu.

A teor foliar de nutrientes, varia ao longo do ano.

## Referência

ABUKAWSAR, M. M. et al. Chemical, pharmacological and nutritional quality assessment of black pepper (*Piper nigrum* L.) seed cultivars. **Journal of Food Biochemistry**, p. 1–21, 2018.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

BATAGLIA, O. C.; GALLO, J. R.; CARDOSO, M. Influência da aplicação de fertilizantes, na concentração de nutrientes em folhas de pimenteira-do-reino. **Bragantia**, v. 35, n. 35, p. 405–411, 1976.

BHAT, R. et al. Determination of mineral composition and heavy metal content of some nutraceutically valued plant products. **Food Analytical Methods**, v. 3, n. 3, p. 181–187, 2010.

BORGHI, M.; FERNIE, A. R. Floral Metabolism of Sugars and Amino Acids: Implications for Pollinators' Preferences and Seed and Fruit Set. **Plant physiology**, v. 175, n. 4, p. 1510–1524, 2017.

BRAGANÇA, S. M. et al. Acúmulo de B, Cu, Fe, Mn E Zn pelo cafeeiro conilon. **Ceres**, v. 54, n. 314, p. 398–404, 2007.

COVRE, A. M. et al. Micronutrients in the fruits and leaves of irrigated and non-irrigated coffee plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 41, n. 9, p. 1119–1129, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1431665>>.

DUBBERSTEIN, D. et al. Concentration and accumulation of micronutrients in robust coffee. **Acta Scientiarum-Agronomy**, 2019.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 4ª ed. Brasília: EMBRAPA, 2014.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039–1042, 2011.

HAMZA, S.; SADANANDAN, A. K. Effect of source and method of application of zinc on yield and quality of black pepper (*Piper nigrum* L.). **Journal of Spices and Aromatic Crops**, v. 14, n. 2, p. 117–121, 2005.

KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. **Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade**. **Informações Agromômicas**. [S.l: s.n.], 2007.

NWOFIA, G. E.; KELECHUKWU, C.; NWOFIA, B. K. Nutritional composition of some *Piper nigrum* (L.) accessions from Nigeria. **Int. J. Med. Arom. Plants**, v. 3, n. 2, p. 2249–4340, 2013.

PRADEEP, K. U.; GEERVANI, P.; EGGUM, B. O. Common Indian spices: Nutrient composition, consumption and contribution to dietary value. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 44, n. 2, p. 137–148, 1993.

PREZOTTI, LUIZ CARLOS; GOMES JOSÉ ANTONIO; DADALTO, GILMAR GUSMÃO; OLIVEIRA, J. A. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo - 5º aproximação**. SEEA/INCAPER/CEDAGRO. , 2007

SALEH-E-IN, M. M. et al. Chemical composition and pharmacological significance of Anethum Sowa L. Root. **BMC Complementary and Alternative Medicine**, v. 17, n. 1, p. 127, 23 dez. 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. 3ª ed. Brasília: EMBRAPA SOLOS, 2017.

VELOSO, C. A. C. et al. DEFICIÊNCIAS DE MICRONUTRIENTES EM PIMENTEIRA-DO-REINO'. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 11, p. 1883–1888, 1998.

VIÉGAS, I. de J. M. et al. Composição mineral e sintomas visuais de deficiências de nutrientes em plantas de pimenta-longa. **Acta Amazonica**, v. 43, n. 1, p. 43–50, 2013.

WHITEHEAD, S. R.; BOWERS, M. D. Chemical ecology of fruit defence: synergistic and antagonistic interactions among amides from *Piper*. **Functional Ecology**, v. 28, n. 5, p. 1094–1106, 1 out. 2014.

ZHANG, D. et al. Physiological and genetic responses to boron deficiency in *Brassica napus*: A review. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 60, n. 3, p. 304–313, 2014.

### 1.3. ACÚMULO DE NUTRIENTES POR FRUTOS E GRÃOS DE *PIPER NIGRUM* L. EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO

#### Resumo

Sabe-se que a quantidade de nutrientes acumulados nas plantas/frutos varia de acordo com o estágio de desenvolvimento da espécie. O conhecimento dessas informações, principalmente nas partes colhidas, é importante para determinar a remoção de nutrientes da área de cultivo. Dessa forma, objetivou-se determinar o acúmulo de nutrientes em diferentes partes dos cachos tais como: grão, casca, pedúnculo/ fruto e pedúnculo, da pimenta-do-reino colhidas em dois níveis de maturação, coloração da casca vermelha e coloração da casca verde. O experimento foi instalado em lavoura comercial de *Piper nigrum* L., da variedade Bragantina, em São Mateus, Espírito Santo, Brasil. Os ensaios foram conduzidos separadamente. O primeiro foi composto por nove cachos de pimenta-do-reino, granados, no entanto, ainda apresentavam a coloração da casca verde, que por sua vez, teve suas partes fracionadas em fruto e pedúnculo, sendo estas, as partes analisadas. No segundo experimento, utilizaram-se nove cachos com a coloração da casca vermelha processados, para a separação do grão, casca e pedúnculo, as quais foram às partes avaliadas individualmente. Ambos os experimentos apresentaram o delineamento estatístico inteiramente casualizado com três repetições. Os cachos foram colhidos e secos, sendo posteriormente separadas as partes para análise química individual. Os nutrientes mais acumulados no fruto da pimenta-do-reino, em ordem decrescente, foram N, K, Ca, Mg, P, S, Mn, Fe, B, Zn e Cu. Já no pedúnculo foram K, N, Ca, Mg, P, S, B, Fe, Zn, Mn e Cu. A ordem dos nutrientes acumulados no grão foi: N, Ca, K, P, S, Mg, Mn, B, Fe, Zn e Cu. Já na casca foi K, N, Ca, Mg, P, S, B, Fe, Zn, Mn e Cu. E no pedúnculo K, Ca, N, Mg, P, S, B, Fe, Zn, Mn e Cu.

**Palavras-chave:** Pimenta branca, pimenta preta, macronutrientes, micronutrientes.



**Abstract**

It is known that the amount of nutrients accumulated in the plants / fruits varies according to the stage of development of the species. Knowledge of this information, especially in the parts harvested, is important in determining the removal of nutrients from the growing area. The objective of this study was to determine the accumulation of nutrients in different parts of the clusters, such as: grains, bark, peduncle / fruit and peduncle, of black pepper harvested at two levels of maturation, red bark color and bark color green. The experiment was carried out in commercial field of *Piper nigrum* L., of the variety Bragantina, in São Mateus, Espírito Santo, Brazil. Assays were conducted separately. The first one consisted of nine peppercorns, pomegranates, however, they still presented the coloration of the green bark, which in turn, had its parts fractioned in fruit and peduncle, these being the parts analyzed. In the second experiment, nine clusters with red bark staining were used, for the separation of the grain, bark and peduncle, which were evaluated individually. Both experiments had a completely randomized design with three replicates. The clusters were harvested and dried, and the parts were then separated for individual chemical analysis. The most accumulated nutrients in the peppermint fruit were N, K, Ca, Mg, P, S, Mn, Fe, B, Zn and Cu. In the peduncle were K, N, Ca, Mg, P, S, B, Fe, Zn, Mn and Cu. The order of nutrients accumulated in the grain was: N, Ca, K, P, S, Mg, Mn, B, Fe, Zn and Cu. Already in the shell was K, N, Ca, Mg, P, S, B, Fe, Zn, Mn and Cu. E in the peduncle K, Ca, N, Mg, P, S, B, Fe, Zn, Mn and Cu.

**Keywords:** White pepper; Black pepper; Macronutrients; Micronutrients.

## Introdução

A pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.) é uma das principais especiarias do mundo, utilizadas na gastronomia, com temperos no preparo de alimentos industrializados, na indústria farmacêutica, presente na composição de medicamentos, assim como na agricultura, agindo como inseticida natural, por possuir componentes alelopáticos (CHIN ANN, 2016; SRINIVASAN, 2007).

A pipericultura brasileira tem assumido grande importância social e econômica. Em geral, no Brasil, a maioria das áreas de plantio com a pimenta-do-reino são áreas de pequenos produtores, cultivadas em regime de complementação de renda. Em 2016, o montante movimentado com as exportações de pimenta-do-reino no Brasil alcançou valores da ordem de 346 milhões de dólares (IPC, 2017). Socialmente, do cultivo da pimenteira do reino é reconhecido por requerer elevada taxa de mão de obra no campo, implicando em maior distribuição de renda, promovendo elevação na qualidade de vida no campo e redução no êxodo rural (PARTELLI, 2009).

No mercado mundial, o produto da pimenta-do-reino é encontrado em diferentes formas, desde grãos de pimenta preta, pimenta branca, que difere entre si pelo ponto de colheita e processamento, até o produto já moído em pequenas embalagens. Para a obtenção da pimenta preta, a colheita dos cachos é realizada quando os mesmos encontram-se granados, no entanto, apresentando ainda a coloração da casca verde e, em seguida é realizada a secagem dos frutos. O escurecimento da pimenta do estágio verde imaturo é atribuído a vários compostos polifenólicos que se tornam oxidados enzimaticamente (RAVINDRAN, 2003). A pimenta branca, por sua vez, é obtida através da colheita dos cachos granados quando atingem a coloração vermelha, onde se remove o pericarpo ou a parede do fruto e posteriormente realiza-se o processo de secagem, somente no grão (RAVINDRAN, 2003), deixando-a menos aromática e mais delicada ao paladar (BAKER; GRANT, 2018). Sabe-se que o acúmulo de importantes constituintes como o amido, óleos voláteis, extrato etéreo não volátil e piperina, são influenciados pelo estágio de maturação dos frutos de pimenta-do-reino, pela cultivar e não é distribuído de forma regular nas frações dos frutos. (BUCKLE, RATHNAWATHIE E BROPHY, 1985; RATHNAWATHIE E BUCKLE, 2007; HUSSAIN et al., 2017).

Acredita-se que a demanda por nutrientes pela pimenteira-do-reino varia de acordo com seu estágio de desenvolvimento. A fase reprodutiva é compreendida

como o período de maior extração de nutrientes, sendo que, nessa fase, grande parte dos nutrientes absorvidos pela planta se concentra nos frutos (CHIN ANN, 2012). O conhecimento dessas informações, principalmente nas partes colhidas, é importante para determinar a remoção de nutrientes da área de cultivo. Dessa forma, objetivou-se determinar o acúmulo de nutrientes em diferentes partes dos cachos tais como: grão, casca, pedúnculo/ fruto e pedúnculo, da pimenta-do-reino colhidas em dois níveis de maturação, coloração da casca vermelha e coloração da casca verde.

### Material e Métodos

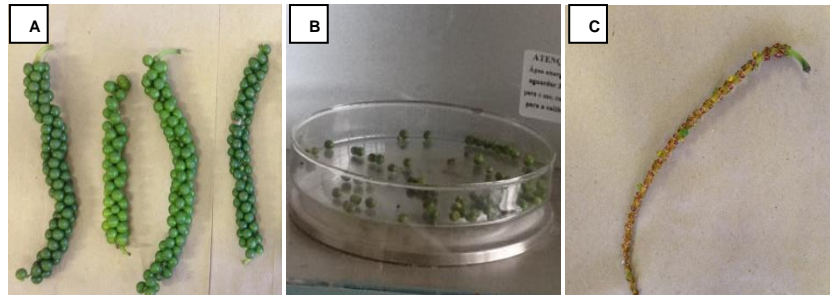
As coletas foram realizadas em março de 2018, em uma propriedade particular situada no município de São Mateus, Norte do Espírito Santo (18°46'48.4"S, 39°52'31.5"W e altitude 23 m). O clima da região, conforme classificação de Köppen é Aw, tropical com estação seca no inverno e verão chuvoso (ALVARES et al., 2013).

As avaliações foram realizadas nas partes reprodutivas (cachos) em diferentes estádios maturação de *Piper nigrum* L., variedade Bragantina, com aproximadamente três anos de idade, cultivadas a pleno sol, no espaçamento de 3,5 x 1,8 m, em solo caracterizado como Latossolo Amarelo distrofico (EMBRAPA, 2014). Cujas características físicas e químicas do solo na camada de 0-20 cm, foram: pH água = 5,05; P = 52 mg dm<sup>-3</sup>; K = 95 mg dm<sup>-3</sup>; S= 8 mg dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>2+</sup> = 4 cmolc dm<sup>-3</sup>; Mg<sup>2+</sup> = 0,35 cmolc dm<sup>-3</sup>; Al<sup>3+</sup> = 0,5 cmolc dm<sup>-3</sup>; H+Al = 5,9 cmolc dm<sup>-3</sup>; MO = 2,2 dag dm<sup>-3</sup>; SB = 4,62 cmolc dm<sup>-3</sup>; CTC efetiva = 5,12 cmolc dm<sup>-3</sup>; CTC pH7,0 = 13,87 cmolc dm<sup>-3</sup>; V% = 46,03; areia = 679,5 g kg<sup>-1</sup>; silte = 60,5 g kg<sup>-1</sup>; e argila = 260 g kg<sup>-1</sup>.

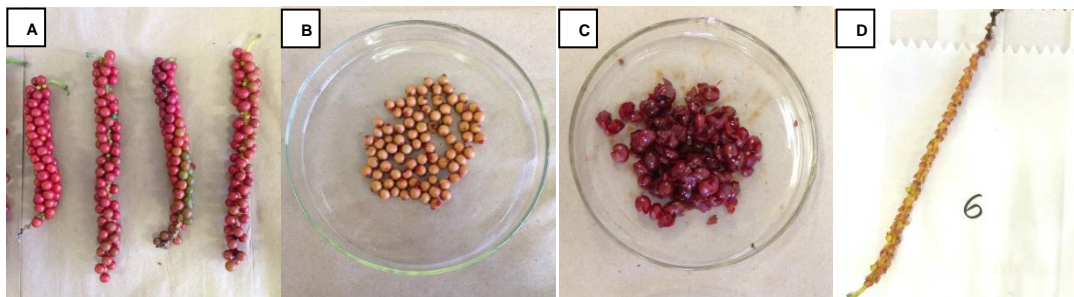
Os tratos culturais da lavoura consistiram no controle de plantas daninhas com herbicidas, calagem, após a análise do solo, adubação, poda e irrigação. A lavoura recebeu aproximadamente 400 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N, 80 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 320 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, distribuídos ao longo de cada ano.

Os ensaios foram conduzidos separadamente. O primeiro foi composto por nove cachos de pimenta-do-reino, granados, no entanto, ainda apresentavam a coloração da casca verde, que por sua vez, teve suas partes fracionadas em fruto e pedúnculo, sendo estas, as partes analisadas (Figuras 1. A, B, e C). No segundo experimento, utilizaram-se nove cachos com a coloração da casca vermelha. Os

mesmos foram processados para a separação do grão, casca e pedúnculo, as quais foram às partes avaliadas individualmente (Figuras 2. A, B, C e D). Ambos os experimentos apresentaram delineamento estatístico inteiramente casualizado com três repetições.



**Figura 1.** Cachos de coloração verde de pimenta-do-reino (A); Frutos (B); Pedúnculo (C).



**Figura 2.** Cachos de coloração vermelha de pimenta-do-reino (A); Grãos(B); Casca(C); Pedúnculo(D).

Os materiais amostrados foram pesados em balança de precisão (0,001g) e secos em estufa de ventilação forçada a 70 °C, por aproximadamente 72 horas, até estarem totalmente secos (0% de umidade). Os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Cu, Mn e B das partes dos cachos, foram obtidas em laboratório, conforme metodologia descrita por Malavolta *et al*, (1997). Os acúmulos dos nutrientes nas diferentes partes vegetativas foram calculados com base na massa seca x teor de cada nutriente.

A determinação da umidade foi realizada com base no método padrão da estufa, utilizando-se quatro repetições sob 105 °C por 24 horas, em estufa de circulação forçada (MAPA, 2009). A correção da umidade dos frutos, de zero para 12% de umidade (Um.), valor em que a pimenta-do-reino é comercializada, foi realizada para estipular a quantidade de nutrientes exportados pelas partes do cacho, em 1000 kg do produto comercial. O cálculo da correção da umidade foi realizado através da equação:

$$P. \text{ Inicial} \times (100 - Um. \text{ Inicial}) = P. \text{ Final} \times (100 - Um. \text{ Final})$$

Onde:

P. Inicial = Massa a 70 °C 72 h<sup>-1</sup>;

P. Final = Massa a 105 °C 24h<sup>-1</sup>;

Um. Inicial = P. Inicial – P. Final;

Um. Final = 88.

Os dados de massa seca, teor e acúmulo de nutrientes, foram submetidos à análise de variância pelo teste de F ( $p < 0,01$ ) e a comparação das médias foram realizada pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade, com auxílio do programa estatístico Sisvar 5.6 (Ferreira, 2011).

### **Resultados e discussão**

Os resultados obtidos na análise de variância evidenciam que houve diferença significativa para a produção de massa seca, nas diferentes partes dos cachos, e em ambos os estádios de maturação, ao nível de 5% de probabilidade (Tabela 1).

A comercialização da pimenta-do-reino se dá a partir do processamento prévio do produto, seja ele, para produção da pimenta preta, ou mesmo, para pimenta branca. De acordo com os dados apresentados na tabela 1, nota-se que, as partes comerciais do cacho (fruto e grão), são responsáveis por aproximadamente 95 % e 68 % da produção de massa seca, respectivamente. Diante do exposto, verifica-se que a partir de ambos os tratamentos, são gerados resíduos vegetais. Sendo que, para a primeira situação, produção de pimenta preta, gera aproximadamente 5% de resíduo, já para a segunda, pimenta branca, esse valor aumenta para 38%, onde 26% são casca, ou seja, com a retirada da casca da pimenta-do-reino, se tem uma grande perda no rendimento do produto final.

**Tabela 1.** Massa seca de fruto e pedúnculo de cachos com coloração da casca verde e grão, casca e pedúnculo de cachos com a coloração da casca vermelha.

<b>Massa seca de cachos com a coloração da casca verde</b>					
<b>Partes</b>	<b>Massa fresca (g)</b>	<b>%</b>	<b>Partes</b>	<b>Massa seca (g)</b>	<b>%</b>
Cacho	16,46	100	Cacho	5,246	100
Fruto	14,77 a	89,77	Fruto	4,973 a	94,79
Pedúnculo	1,68 b	10,23	Pedúnculo	0,274 b	5,22
CV %	11,92	-	CV %	4,24	-
<b>Massa seca de cachos com a coloração da casca vermelha</b>					
<b>Partes</b>	<b>Massa fresca (g)</b>	<b>%</b>	<b>Partes</b>	<b>Massa seca (g)</b>	<b>%</b>
Cacho	14,56	100	Cacho	5,533	100
Fruto	13,51	-	Fruto	5,230	-
Grão	6,061 a	41,63	Grão	3,782 a	68,36
Casca	6,945 a	47,69	Casca	1,447 b	26,16
Pedúnculo	1,555 b	10,68	Pedúnculo	0,304 c	5,49
CV %	13,17	-	CV %	21,09	-
<b>Relação</b>	Massa fresca cacho/ Massa fruto com 12% Um.			3	
	Massa fresca fruto/ Massa fruto com 12% Um.			3	
	Massa fresca cacho/ Massa cacho com 12% Um.			3	
	Massa fruto com 12% Um./ Massa seca pedúnculo			21	
	Massa grão com 12% Um./ Massa seca casca			3	

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferenciam entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

A partir dos resultados de massa fresca e massa seca (Tabela 1) foi possível calcular as relações entre as partes dos cachos. Dessa forma, constatou-se que são necessários 3 g de fruto fresco (ponto de colheita) para produzir 1g de fruto, a 12% de umidade. Esses valores também foram encontrados para: Massa fresca cacho/ Massa fruto com 12% Um., Massa fresca cacho/ Massa cacho com 12% umidade e massa grão com 12% Um./ Massa seca casca. Já para Massa fruto com 12% Um./ Massa seca pedúnculo a relação foi de 21/1.

Os resultados obtidos na análise de variância evidenciam que houve diferença significativa para a maioria dos teores de nutrientes estudados, nas diferentes partes dos cachos de *P. nigrum*, em ambos os estádios de maturação, ao nível de 5% de probabilidade (Tabela 2).

**Tabela 2.** Teor de nutrientes em fruto e pedúnculo de cachos com coloração da casca verde e em grão, casca e pedúnculo de cachos com a coloração da casca vermelha.

<b>Nutrientes em cachos de coloração verde</b>						
<b>Partes</b>	<b>Macronutrientes (g kg<sup>-1</sup>)</b>					
	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>
Fruto	20,11 a	1,52 a	11,04 b	9,65 b	1,65 a	0,99 a
Pedúnculo	16,12 b	0,87 b	22,29 a	14,54 a	1,62 a	0,84 a
CV (%)	5,14	8,16	5,72	9,92	4,91	14,88
<b>Partes</b>	<b>Micronutrientes (mg kg<sup>-1</sup>)</b>					
	<b>Fe</b>	<b>Zn</b>	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>B</b>	
Fruto	36,67 b	18,67 b	9,33 a	38,00 a	25,33 b	
Pedúnculo	71,33 a	59,00 a	6,00 b	39,00 a	72,33 a	
CV (%)	17,36	17,78	10,65	6,87	17,77	
<b>Cachos de coloração vermelha</b>						
<b>Partes</b>	<b>Macronutrientes (g kg<sup>-1</sup>)</b>					
	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>
Grão	21,82 a	1,373 a	4,170 b	11,19 b	0,833 b	0,990 a
Casca	12,93 b	1,103 ab	18,34 a	9,940 b	1,937 a	0,723 a
Pedúnculo	14,54 b	0,870 b	19,66 a	14,68 a	1,797 a	0,843 a
CV (%)	7,77	10,79	9,99	9,77	12,28	17,53
<b>Partes</b>	<b>Micronutrientes (mg kg<sup>-1</sup>)</b>					
	<b>Fe</b>	<b>Zn</b>	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>B</b>	
Grão	14,67 c	13,67 b	7,333 a	38,00 a	16,00 b	
Casca	37,00 b	14,67 b	7,667 a	14,00 b	63,33 a	
Pedúnculo	69,67 a	45,67 a	5,667 a	39,67 a	78,00 a	
CV (%)	20,57	21,96	18,74	17,86	14,78	

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferenciam entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

A teor dos macronutrientes no fruto e no pedúnculo dos cachos da pimenta-do-reino, colhida com a coloração da casca verde, foram significativos para todos os nutrientes, exceto para Mg e S (Tabela 2). Sendo que, os teores mais elevados de N e P, foram encontradas no fruto. O K e o Ca, por sua vez, apresentaram-se em maiores teores no pedúnculo. Já os cachos com a coloração da casca vermelha, apresentaram teor superiores de K e Mg e inferiores de N na casca e o pedúnculo, quando comparado ao grão. O teor do Ca foi mais elevado no pedúnculo, o qual exibiu menor teor de P. A teor do S nas partes avaliadas, não foi significativa (Tabela 2).

Para a teor de micronutrientes nas frações dos cachos com a coloração da casca verde, observa-se que o teor de Mn, nas partes avaliadas, não foi significativo, diferentemente dos demais elementos. Sendo os teores de Cu, encontrados em maior quantidade no fruto, e os teores de Fe, Zn e B, superiores no pedúnculo (Tabela 2). Ainda na Tabela 2, é possível observar os teores de micronutrientes para as partes dos cachos com a coloração da casca vermelha, onde, os teores de Cu, não demonstrou diferença entre as partes avaliadas. Na casca foi observada as maiores teores de Fe e B e menores de Mn em comparação aos presentes no grão, sendo que, os maiores níveis de B foram encontrados na casca e no pedúnculo. O pedúnculo também apresentou maiores teores de Fe, Zn e Mn, sendo o Mn também encontrado em grandes teores nos grãos.

Em estudo da avaliação da qualidade química de frutos de duas cultivares de pimenta-do-reino, sendo uma a cultivar Indigenous, coletadas do Instituto de Pesquisas de Chá de Bangladesh e a outra, Kerala, coletados no mercado de especiarias indianas, em Kerala, apresentaram teores superiores de Fe (138,36 e 344,07 mg kg<sup>-1</sup>) e K (13,96 e 20,77 g kg<sup>-1</sup>) do que as obtidas nesse estudo e os valores de Ca e Mg, foram próximos aos aqui apresentados, sendo de 9,23 e 9,65 g kg<sup>-1</sup> para Ca e 2,34 e 2,33 g kg<sup>-1</sup> para Mg (ABUKAWSAR et al., 2018).

Mediante ao processo da separação da casca dos frutos, para a produção da pimenta-do-reino branca, são perdidas grandes quantidades de nutrientes minerais, principalmente de K, Mg, B, Fe e Zn, o que proporciona diferenças químicas entre a pimenta preta e a pimenta branca, podendo alterar as características sensoriais do produto final. A casca e o pedúnculo da pimenta-do-reino são subprodutos gerados durante o processamento da pimenta, que muitas vezes são descartados nas propriedades. Através dos resultados obtidos neste estudo, sugere o potencial uso desses subprodutos como fertilizantes, assim como já é feito com a palha de café e de outras culturas, pois possuem quantidades expressivas de nutrientes.

Ao comparar os teores dos nutrientes presente nos frutos verdes com as dos frutos maduros (grão + casca), foi possível observar que existe uma discrepância entre os valores (Tabela 2). Essa disparidade pode ser atribuída pela diferença amostral, ou mesmo, estar relacionadas às grandes transformações químicas, que ocorrem durante o processo de maturação fisiológica.



O acúmulo dos nutrientes pelas partes do cacho com a coloração verde foi significativo. Sendo o fruto, a parte do cacho com maior acúmulo de nutrientes (Tabela 3). Tal comportamento já era esperado, uma vez que os frutos são considerados drenos preferenciais das plantas (SILVA et al., 2011). Aliado a isso, esse comportamento também pode ser justificado com base na massa seca das partes avaliadas, uma vez que, para determinação do acúmulo, levou-se em consideração a teor de nutrientes e a massa seca de cada parte. Como apresentada na tabela 1, a massa seca dos frutos correspondem a 95% da massa do cacho, logo, expondo médias superiores às exibidas pelo pedúnculo. Os nutrientes mais acumulados no fruto da pimenta, em ordem decrescente, foram N, K, Ca, Mg, P, S, Mn, Fe, B, Zn e Cu.

**Tabela 3.** Acúmulo de nutrientes em fruto e pedúnculo de cachos com coloração da casca verde e em grão, casca e pedúnculo de cachos com a coloração da casca vermelha.

<b>Cachos de coloração verde</b>						
<b>Partes</b>	<b>Acúmulo de Macronutriente (mg cacho<sup>-1</sup>)</b>					
	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>
Fruto	100,04 a	7,56 a	54,92 a	48,01 a	8,18 a	4,92 a
Pedúnculo	4,38 b	0,24 b	6,08 b	3,94 b	0,44 b	0,24 b
CV (%)	7,82	10,72	6,04	6,71	5,94	8,30
<b>Partes</b>	<b>Acúmulo de Micronutrientes (µg cacho<sup>-1</sup>)</b>					
	<b>Fe</b>	<b>Zn</b>	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>B</b>	
Fruto	182,13 a	92,45 a	46,47 a	189,20 a	126,47 a	
Pedúnculo	19,08 b	15,99 b	1,64 b	10,77 b	19,59 b	
CV (%)	23,84	22,85	12,11	12,74	28,49	
<b>Pimenta-do-reino coloração vermelha</b>						
<b>Partes</b>	<b>Acúmulo de Macronutrientes (mg cacho<sup>-1</sup>)</b>					
	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>
Grão	82,75 a	5,200 a	15,121 b	42,21 a	3,183 a	3,729 a
Casca	18,74 b	1,600 b	26,63 a	14,34 b	2,783 a	1,044 b
Pedúnculo	4,414 b	0,264 b	5,200 c	4,461 b	0,546 b	0,256 b
CV (%)	27,41	30,79	21,61	22,47	24,59	26,38
<b>Partes</b>	<b>Acúmulo de Micronutrientes (µg cacho<sup>-1</sup>)</b>					
	<b>Fe</b>	<b>Zn</b>	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>B</b>	
Grão	56,48 a	50,89 a	27,77 a	141,33 a	58,91 b	
Casca	54,42 a	21,34 b	11,17 b	20,33 b	91,00 a	
Pedúnculo	21,13 a	13,87 b	1,720 b	12,04 b	23,70 c	
CV (%)	42,36	26,06	32,68	26,13	14,40	

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferenciam entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

Para as diferentes partes da pimenta colhida vermelha, os acúmulos dos nutrientes foram predominantemente significativos, com exceção do Fe (Tabela 3). No grão, parte de maior importância econômica, foram encontradas as maiores médias de N, Ca, P, S, Mn, Zn e Cu. O acúmulo do Mg foi semelhante no grão e na casca, sendo na casca, encontrado as maiores médias de K e B. O pedúnculo, por sua vez, foi a porção do cacho que apresentou os menores acúmulos dos nutrientes.

De acordo com os resultados apresentados na tabela 3, verifica-se que o N, K e Ca, foram os macronutrientes que apresentaram maior acúmulo nas partes distintas do cacho, em ambos os estádios de maturação. Sendo o N, o elemento encontrado em maior abundância com médias superiores aos demais nutrientes. É fundamental que os níveis de N, nas partes da planta, estejam presentes em quantidades adequadas, pois são fundamentais na produção de amido e outros carboidratos necessários para a formação e crescimento de frutos (MALAVOLTA, ROCHA E YAMADA, 1986). Bem como, Arzolla et al. (1963) e Covre et al. (2016), em grão de café, o grão da pimenta possui maior quantidade de N em relação à casca.

Assim como os demais nutrientes, o K não está uniformemente distribuído nas diferentes frações do cacho. O qual se apresentou em maior quantidade na casca do que no grão, corroborando como Arzolla et al. (1963) e Covre et al. (2016) em grãos de café arábica e conilon. Esse fato pode ser explicado devido às camadas externas apresentam maiores concentrações de proteínas, lipídios, fibra, minerais e vitaminas, enquanto o centro é rico em amido (ZHOU et al., 2002). Uma vez que, o potássio favorece a síntese de compostos nitrogenados com alta massa molecular, como as proteínas (BULL, 1993; FARINELLI *et al.*, 2004).

O cálcio desempenha funções relevantes ligadas à composição estrutural de macromoléculas, principalmente nas paredes celulares e nas membranas celulares, indispensável para o crescimento dos frutos, logo após a fecundação e até sua maturidade fisiológica (SÃO JOSÉ et al., 2014). O magnésio, assim como o fósforo e o enxofre são encontrados em menor abundância nas frações do cacho da pimenta-do-reino, no entanto possuem papéis importantes no metabolismo das plantas. O P, por exemplo, é armazenado nas sementes como ácido fítico, atuando no desenvolvimento do embrião, germinação de sementes e crescimento de plântulas (PANDEY, 2015).

Em relação aos micronutrientes, o Mn foi o nutriente mais acumulado no grão, seguido pelo B e o Fe. Sendo os dois últimos, os elementos mais acumulados

pela casca e pedúnculo. Esses resultados divergem dos constatados por Covre et al. (2016), em café conilon, onde no grão o maior acúmulo foi do Fe, seguindo pelo Cu e B, enquanto na casca foi do Fe seguido pelo B.

Apesar do acúmulo do Fe não ter diferido das partes dos cachos de coloração vermelha, esse elemento esteve abundante no grão, casca e pedúnculo da pimenta, nesse estágio de maturação. Resultados semelhantes aos apresentados nesse trabalho foram observados em estudo com café conilon. Bragança et al. (2007) observaram que o Fe foi o mineral mais abundante na casca, no grão e no fruto inteiro. Esta resposta pode ser atribuída ao seu importante papel na fotossíntese e na biossíntese de proteínas e clorofila (TAIZ; ZEIGER, 2013), bem como, por ser constituinte de várias proteínas diferentes, tais como hemeproteínas e proteínas de ferro-enxofre, e enzimas como lipoxigenases (BRAGANÇA et al., 2007).

Considerando os dados apresentados na tabela 4, para a obtenção de uma tonelada (1000 kg) de frutos e de grãos de pimenta, são necessários 1055 e 1463,13kg de cachos secos, respectivamente. A partir desse total, são gerados 5% (55 kg) de pedúnculo e 32% (463,13 kg) de casca e pedúnculo, subprodutos, que até então são descartados. Sabe-se, que aproximadamente 4,5% da massa dos frutos e 4% da massa dos grãos, correspondem ao total de nutrientes que são exportados por ambas as partes das lavouras.

Entre os minerais, o N apresentou o maior acúmulo em ambas às partes, seguido pelo K, nos frutos, e pelo Ca nos grãos. O K foi também o mineral mais acumulado nos pedúnculos e cascas. Quando considerando os cachos inteiros, o N, K e Ca foram os macronutrientes com maior acúmulo (Tabela 4).

Em relação aos micronutrientes, o Mn foi o mineral mais acumulado pelos frutos e grãos, seguido do Fe e B. O Fe e o B, também foram os nutrientes mais abundantes nas cascas, bem como nos pedúnculos dos cachos verdes e maduros, seguidos do Zn. Ao considerar os cachos inteiros, nos cachos de coloração verde, Fe e Mn foram os micronutrientes mais acumulados, já nos de coloração vermelha, foram o Mn, B e o Fe (Tabela 4).

**Tabela 4.** Quantidade de macro e micronutrientes acumulados em 1000 kg de pimenta-do-reino seca.

<b>Cachos de coloração verde</b>							
<b>Partes</b>	<b>Kg</b>	<b>Macronutrientes (kg)</b>					
		<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>
Fruto	1000	20,11	1,52	11,04	9,65	1,65	0,99
Pedúnculo	55	0,887	0,048	1,226	0,799	0,089	0,046
Cacho	1055	21,00	1,568	12,27	10,45	1,739	1,036
<b>Partes</b>	<b>Kg</b>	<b>Micronutrientes (g)</b>					
		<b>Fe</b>	<b>Zn</b>	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>B</b>	
Fruto	1000	36,67	18,67	9,333	38,00	25,33	
Pedúnculo	55	3,923	3,245	0,330	2,145	3,978	
Cacho	1055	40,59	21,92	9,663	40,15	29,31	
<b>Cachos de coloração vermelha</b>							
<b>Partes</b>	<b>Kg</b>	<b>Macronutrientes (kg)</b>					
		<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>
Grão	1000	21,817	1,373	4,170	11,190	0,833	0,990
Casca	382,68	4,947	0,422	7,017	3,804	0,741	0,277
Pedúnculo	80,45	1,169	0,070	1,581	1,181	0,145	0,068
Cacho	1463,13	27,93	1,865	12,77	16,18	1,719	1,335
<b>Partes</b>	<b>Kg</b>	<b>Micronutrientes (g)</b>					
		<b>Fe</b>	<b>Zn</b>	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>B</b>	
Grão	1000	14,68	13,67	7,333	38,00	16,00	
Casca	382,68	14,16	5,613	2,934	5,358	24,24	
Pedúnculo	80,45	5,605	3,674	0,456	3,191	6,275	
Cacho	1643,13	34,43	22,96	10,72	46,55	46,52	

Os dados apresentados na tabela 5 correspondem aos expostos anteriormente (Tabela 4), no entanto, com a umidade corrigida para 12%, visto que, este se refere ao ponto em que a pimenta-do-reino é comercializada. Nota-se que, em virtude da correção da umidade, os valores do acúmulo dos nutrientes diminuiram, pois são necessários menos massa de pimenta úmida (12%) para produzir 1000 kg do produto comercial, em relação ao produto seco.

**Tabela 5.** Quantidade de nutrientes em 1000 kg de pimenta-do-reino, a 12% de umidade.

Cachos maduros de coloração verde							
Partes	kg	Macronutrientes (kg)					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Fruto	1000	17.70	1.338	9.718	8.492	1.449	0.871
Pedúnculo	55	0.780	0.042	1.079	0.703	0.079	0.040
Cacho	1055	18.48	1.380	10.80	9.20	1.528	0.912
Partes	kg	Micronutrientes (g)					
		Fe	Zn	Cu	Mn	B	
Fruto	1000	32.27	16.43	8.21	33.44	22.29	
Pedúnculo	55	3.453	2.856	0.290	1.888	3.501	
Cacho	1055	35.72	19.28	8.50	35.33	25.79	
Cachos maduros de coloração vermelha							
Partes	kg	Macronutrientes (kg)					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Grão	1000	19.20	1.21	3.67	9.85	0.73	0.87
Casca	382.68	4.353	0.372	6.175	3.347	0.652	0.244
Pedúnculo	80.45	1.029	0.062	1.392	1.040	0.127	0.060
Cacho	1463.13	24.58	1.642	11.236	14.234	1.513	1.174
Partes	kg	Micronutrientes (g)					
		Fe	Zn	Cu	Mn	B	
Grão	1000	12.91	12.03	6.45	33.44	14.08	
Casca	382.68	12.46	4.94	2.58	4.71	21.328	
Pedúnculo	80.45	4.932	3.233	0.401	2.808	5.522	
Cacho	1463.13	30.30	20.20	9.436	40.96	40.93	

### Conclusão

Os nutrientes mais acumulados no fruto da pimenta-do-reino, em ordem decrescente, foram N, K, Ca, Mg, P, S, Mn, Fe, B, Zn e Cu. Já no pedúnculo foram K, N, Ca, Mg, P, S, B, Fe, Zn, Mn e Cu.

A ordem dos nutrientes acumulados no grão foi: N, Ca, K, P, S, Mg, Mn, B, Fe, Zn e Cu. Já na casca foi K, N, Ca, Mg, P, S, B, Fe, Zn, Mn e Cu. E no pedúnculo K, Ca, N, Mg, P, S, B, Fe, Zn, Mn e Cu.

### Referências

ARZOLLA, S. L.; GOMES, J.; SARRUGE, R. R.; ANDRADE, G. E.; GRANER, A.; MALAVOLTA, E. 1963. Estudos sobre a alimentação mineral do cafeeiro, X. Extração de macronutrientes na colheita pelas variedades Mundo Novo, Caturra e Bourbon Amarelo. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**. São Paulo, Brazil.

- ABUKAWSAR, M. M.; SALEH-E-IN, M. M.; AHSAN, M. A.; RAHIM, M. M.; BHUIYAN, M. N. H.; ROY, S. K.; GHOSH, A.; NAHER, S. Chemical, pharmacological and nutritional quality assessment of black pepper (*Piper nigrum* L.) seed cultivars. **Journal of Food Biochemistry**, p. 1–21, 2018.
- BRAGANÇA, S. M.; MARTINEZ, H. E. P.; LEITE, H. G. .; SANTOS, L. P. .; SEDIYAMA, C. S.; ALVAREZ, V. H. .; LANI, J. A. Acúmulo de B, Cu, Fe, Mn E Zn pelo cafeeiro conilon. **Ceres**, v. 54, n. 314, p. 398–404, 2007.
- BUCKLE, K. A.; RATHNAWATHIE, M.; BROPHY, J. J. Compositional differences of black, green and white pepper (*Piper nigrum* L.) oil from three cultivars. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 20, n. 5, p. 599–613, 1985.
- BULL, L. T. Nutrição mineral do milho. *In*: BULL, L. T.; CANTARELLA, H. (Eds.). . **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. [s.l.] POTAFOS, 1993. p. 111–113.
- CHIN ANN, Y. Determination of Nutrient Uptake Characteristic of Black Pepper (*Piper nigrum* L.). **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 2, p. 1091–1099, 2012.
- COVRE, A. M.; RODRIGUES, W. P.; VIEIRA, H. D.; BRAUN, H.; RAMALHO, J. C.; PARTELLI, F. L. Nutrient accumulation in bean and fruit from irrigated and non-irrigated *Coffea canephora* cv. Conilon. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 28, n. 6, p. 402–409, 2016.
- FARINELLI, R.; PENARIOL, F. G.; FORNASIERI FILHO, D.; BORDIN, L. CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DE ARROZ DE TERRAS ALTAS SOB PLANTIO DIRETO E ADUBAÇÃO NITROGENADA E POTÁSSICA (1). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 447–454, 2004.
- HUSSAIN, Z.; CHAUDHRI, V. K.; PANDEY, A.; KHAN, R.; SRIVASTAVA, A. K.; MAURYA, R. Isolation and Evaluation of Piperine From Black Pepper and White Pepper. **World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences**, v. 6, n. 8, p. 1424–1430, 2017.
- IPC - INTERNATIONAL PEPPER COMMUNITY. **Pepper statistical yearbook 2016**. 2017.
- MALAVOLTA, E. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. *In*: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p. 136-274.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. Ed. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, p. 1997, 319.
- MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABESTECIMENTO. **Regras para análise de sementes**, 2009.
- PANDEY, R. **Mineral Nutrition of Plants**. New Delhi: Plant Diversity, Organization,

Function and Improvement, 2015.

PARTELLI, F. L. Nutrition of black pepper (*Piper nigrum* L.) - a Brazilian experience. **Journal of Spices and Aromatic Crops**, v. 18, n. 2, p. 73–83, 2009.

RATHNAWATHIE, M.; BUCKLE, K. A. Effect of berry maturation on some chemical constituents of black, green and white pepper (*Piper nigrum* L.) from three cultivars. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 19, n. 3, p. 361–367, 2007.

SÃO JOSÉ, A. R.; PRADO, N. B. DO; BOMFIM, M. P.; REBOUÇAS, T. N. H.; MENDES, H. T. A. E. Marcha de absorção de nutrientes em anonáceas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. spe1, p. 176–183, 2014.

SILVA, A. C. DA; LEONEL, S.; SOUZA, A. P. DE; VASCONCELLOS, M. A. DA S.; RODRIGUES, J. D.; DUCATTI, C. Alocação de fotoassimilados marcados e relação fonte-dreno em figueiras cv. Roxo de Valinhos. 1. Relação fonte e dreno. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences**, v. 6, n. 3, p. 409–418, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

ZHOU, Z.; ROBARDS, K.; HELLIWELL, S.; BLANCHARD, C. Composition and functional properties of rice. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 37, n. 8, p. 849–868, 2002.

## Referências Geral

ABUKAWSAR, M. M. et al. Chemical, pharmacological and nutritional quality assessment of black pepper (*Piper nigrum* L.) seed cultivars. **Journal of Food Biochemistry**, p. 1–21, 2018.

BUTT, M. S. et al. Black Pepper and Health Claims: A Comprehensive Treatise. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 53, n. 9, p. 875–886, 2013.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **LSPA - Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil**. Rio de Janeiro, 2017.

IPC - INTERNATIONAL PEPPER COMMUNITY. **Pepper statistical yearbook 2016**. 2017.

PARTELLI, F. L. Nutrition of black pepper (*Piper nigrum* L.) - a Brazilian experience. **Journal of Spices and Aromatic Crops**, v. 18, n. 2, p. 73–83, 2009.

TASLEEM, F. et al. Analgesic and anti-inflammatory activities of *Piper nigrum* L. **Asian Pacific Journal of Tropical Medicine**, v. 7, p. S461–S468, 2014.