

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU**

**APLICAÇÃO DE SILÍCIO E FUNGICIDAS NA CULTURA DO
CAFÉ ARÁBICA**

MAURICIO ANTONIO CUZATO MANCUSO

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP - Câmpus de
Botucatu, para obtenção do título de Doutor em
Agronomia (Agricultura)

**BOTUCATU – SP
Junho de 2016**

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**APLICAÇÃO DE SILÍCIO E FUNGICIDAS NA CULTURA DO
CAFÉ ARÁBICA**

MAURICIO ANTONIO CUZATO MANCUSO

Orientador: Prof. Dr. Rogério Peres Soratto

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP - Câmpus de
Botucatu, para obtenção do título de Doutor em
Agronomia (Agricultura)

BOTUCATU – SP
Junho de 2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

M269a Mancuso, Mauricio Antonio Cuzato, 1986-
Aplicação de silício e fungicidas na cultura do café arábica / Mauricio Antonio Cuzato Mancuso. - Botucatu : [s.n.], 2016
x, 82 f. : grafs., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2016
Orientador: Rogério Peres Soratto
Inclui bibliografia

1. Café - Doenças e pragas. 2. Café - Nutrição mineral. 3. Café - Produtividade agrícola. 4. Enzimas. I. Soratto, Rogério Peres. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu



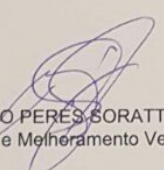
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "APLICAÇÃO DE SILÍCIO E FUNGICIDAS NA CULTURA DO CAFÉ ARÁBICA"

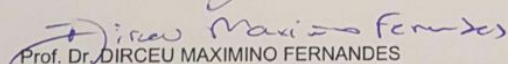
AUTOR: MAURICIO ANTONIO CUZATO MANCUSO

ORIENTADOR: ROGÉRIO PERES SORATTO

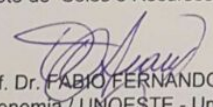
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:



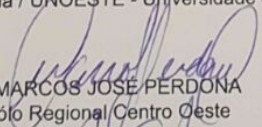
Prof. Dr. ROGÉRIO PERES SORATTO
Dep de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu



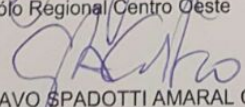
Prof. Dr. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES
Depo de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu



Prof. Dr. FÁBIO FERNANDO DE ARAUJO
Agronomia / UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista



Prof. Dr. MARCOS JOSÉ PERDONA
APTA - Pólo Regional Centro Oeste



Dr. GUSTAVO SPADOTTI AMARAL CASTRO
Grupo de Inteligência Territorial Estratégica (GITE) / EMBRAPA Monitoramento por Satélite

Botucatu, 24 de junho de 2016.

Aos meus pais Maria José e Marcos

Ao meu irmão Matheus

À minha esposa Kathia

DEDICO

À minha família e amigos

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Rogério Peres Soratto, pela confiança, orientação e amizade.

À Faculdade de Ciências Agronômicas, pela oportunidade e suporte para a realização do doutorado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

À PQ Sílicas Brasil Ltda. e Bioquick Tecnologia Importação e Exportação de Produtos Agropecuários Ltda., por fornecer as fontes de silício utilizadas.

Aos Professores Doutores Ciro Antonio Rosolem e Carlos Alexandre C. Crusciol, pela amizade e ensinamentos.

Às professoras de inglês Priscila Resende e Monica Rosolem, pelos ensinamentos, bons papos e amizade.

Ao Professor Doutor John C. Rupe da University of Arkansas (EUA), pelo apoio e suporte durante o período de doutorado sanduíche.

À Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Agricultura, pela eficiência e qualidade de ensino.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Agricultura da FCA/UNESP, pela atenção e ensinamentos.

Aos funcionários do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal (Vera, Lana, Amanda, Eliane, Valéria e Dorival) e aos funcionários do setor de campo (Célio, Casimiro, “Cidão”, “Fio”, Mateus e Camargo), pela essencial contribuição nas atividades do experimento.

Aos funcionários da Biblioteca e da Seção de Pós-Graduação, pela atenção e serviços prestados.

Aos membros da banca examinadora, Professores Doutores Dirceu Maximino Fernandes e Fábio de Araújo, e Doutores Marcos Perdoná e Gustavo Spadotti Amaral Castro, pelas preciosas contribuições.

Aos estagiários Matheus Gabriel Palhano (“Pantanero”) e, especialmente, à Carla Oliveira (“Cauboa”), pela essencial ajuda e dedicação na condução desse trabalho, além da amizade.

Aos meus grandes amigos Jayme Ferrari Neto (“Magrão”), Gustavo Spadotti Amaral Castro (“Spirro”), Marcella Leite Campos Menegale (“Canola/Zélia”), Fábio Echer

(“Chanchó”), Renata Pereira Marques (“Pretinha”), Livia Ribeiro, Claudio Hideo Martins Costa (“Chinóca”), Júlio Büll (“Billy”), Lucas Perim (“Mamão”), Eduardo Negrisoni, Prof. Dr. Juliano Calonego, André Alencar Giorgetti (“Godofredo”), Gabi Ferraz, Laércio Pivetta (“Lala 1”), Laerte Pivetta (“Lala 2”), Samuel Fioreze (“Smeagol”), Gustavo Castoldi (“Gay”), Camila T. Aquino (“Tostines”), Danilo Almeida, Rubiana Rossi, Renake Teixeira, Antonio Carlos Carmeis (“Tony Balada”), Bruno Aires (“Brunão”), pela amizade e companheirismo.

Aos amigos Thalita Santos, Fellipe Raymundo e Antonio, Luca Saldanha e Mariana Bragato, Matheus Palhano e Malu Bonamigo, Leandro Borges e Fabiana Rosado, Leonard Piveta e Samantha Segalin, Bárbara Mallmann, Gabriel Raymundo, Bill e Karilyn Moeller, Greg Landis e Ann, Joel Storie, Keiddy Urrea e Felix Rotich, pelo apoio e bons momentos vividos em Fayetteville (EUA).

Ao casal de amigos Vera Lúcia e Ede Cereda, pelos bons papos e apoio em todas as horas.

Aos amigos D. Odiléia e Sr. Jayme Ferrari, D. Vera e Sr. Jader Ribeiro, Ginho e Luzia Amaral Castro, pela amizade e por serem, de algum modo, minha família “botocuda”.

Aos meus pais Maria José e Marcos, e ao meu irmão Matheus e sua namorada Carol, pelo incentivo, amor e apoio incondicional.

À toda minha família, pelo apoio.

Aos meus “suegritos” Sabina e Aurélio Zarate, pelo apoio incondicional e carinho.

À minha esposa e grande companheira de viagens Kathia, por seu amor, dedicação, apoio, paciência, entre outras qualidades que me fortalecem.

A todos aqueles que, de alguma maneira, contribuíram para a realização dessa pesquisa, minha eterna gratidão.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	VII
LISTA DE FIGURAS.....	IX
1 RESUMO	1
2 SUMARRY	3
3 INTRODUÇÃO.....	5
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	8
4.1 A Cultura do Café	8
4.2 Ferrugem e cercosporiose do cafeeiro.....	10
4.3 Controle químico de doenças no cafeeiro.....	11
4.4 O silício	14
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
5.1 Localização e caracterização da área experimental	21
5.2 Delineamento experimental e tratamentos	23
5.3 Fontes de silício e fungicidas.....	23
5.4 Cultivar utilizada.....	24
5.5 Condução do experimento	24
5.6 Amostragens e avaliações.....	25
5.6.1 Atributos químicos do solo	25
5.6.2 Teor de nutrientes e silício nas folhas	25
5.6.3 Determinações bioquímicas	26
5.6.4 Avaliação de incidência de doenças	26
5.6.5 Produtividade e rendimento de grãos beneficiados.....	26
5.6.6 Estádio de maturação dos grãos	27
5.7 Análise estatística.....	27
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
6.1 Teor de nutrientes e silício no solo e nas folhas	28
6.2 Determinações bioquímicas.....	46
6.3 Avaliação de incidência de doenças.....	49
6.4 Uniformidade de maturação dos frutos, rendimento de grãos beneficiados e produtividade de grãos	58
7. CONCLUSÕES	69
8. REFERÊNCIAS.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características químicas do solo em outubro de 2012, antes da instalação do experimento.	23
Tabela 2. Probabilidade do teste F e valores médios para características químicas do solo, nas camadas 0-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade, em função da forma de aplicação de Si e aplicação de fungicidas. Outubro de 2013.....	30
Tabela 3. Probabilidade do teste F e valores médios para características químicas do solo, nas camadas 0-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade, em função da forma de aplicação de Si e aplicação de fungicidas. Outubro de 2014.....	31
Tabela 4. Probabilidade do teste F e valores médios do teor de silício (Si) no solo, nas camadas 0-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade, em função da forma de aplicação de Si e aplicação de fungicidas. Outubro de 2013 e 2014.	32
Tabela 5. Probabilidade do teste F e valores médios para os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), nas folhas de cafeeiro, em função da forma de aplicação de Si e aplicação de fungicidas. 1ª coleta (15/01/2013).	33
Tabela 6. Probabilidade do teste F e valores médios para os teores de cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn), ferro (Fe) e silício (Si), nas folhas de cafeeiro, em função da forma de aplicação de Si e aplicação de fungicidas. 1ª coleta (15/01/2013).	34
Tabela 7. Probabilidade do teste F e valores médios para os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), nas folhas de cafeeiro, em função da forma de aplicação de Si e aplicação de fungicidas. 2ª coleta (12/06/2013).	35
Tabela 8. Probabilidade do teste F e valores médios para os teores de cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn), ferro (Fe) e silício (Si), nas folhas de cafeeiro, em função da forma de aplicação de Si e aplicação de fungicidas. 2ª coleta (12/06/2013).	36
Tabela 9. Probabilidade do teste F e valores médios para os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), nas folhas de cafeeiro, em função da forma de aplicação de Si e aplicação de fungicidas. 3ª coleta (15/01/2014).	37
Tabela 10. Probabilidade do teste F e valores médios para os teores de cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn), ferro (Fe) e silício (Si), nas folhas de cafeeiro, em função da forma de aplicação de Si e aplicação de fungicidas. 3ª coleta (15/01/2014).	38
Tabela 11. Probabilidade do teste F e valores médios para os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), nas	

folhas de cafeeiro, em função da forma de aplicação de Si e aplicação de fungicidas. 4ª coleta (16/06/2014).	39
Tabela 12. Probabilidade do teste F e valores médios para os teores de cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn), ferro (Fe) e silício (Si), nas folhas de cafeeiro, em função da forma de aplicação de Si e aplicação de fungicidas. 4ª coleta (16/06/2014).	40
Tabela 13. Probabilidade do teste F e valores médios para os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), nas folhas de cafeeiro, em função da forma de aplicação de Si e aplicação de fungicidas. 5ª coleta (14/01/2015).	41
Tabela 14. Probabilidade do teste F e valores médios para os teores de cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn), ferro (Fe) e silício (Si), nas folhas de cafeeiro, em função da forma de aplicação de Si e aplicação de fungicidas. 5ª coleta (14/01/2015).	42
Tabela 15. Probabilidade do teste F e valores médios para a atividade das enzimas polifenoloxidase (POF) e peroxidase (POD), nas folhas de cafeeiro, em função da forma de aplicação de Si e aplicação de fungicidas, analisadas em três coletas (1ª coleta: 15/01/2013; 2ª coleta: 15/01/2014; 3ª coleta: 14/01/2015).	48
Tabela 16. Probabilidade do teste F e valores médios para porcentagem de frutos nos estádios verde, cereja e passa, rendimento de grãos beneficiados e produtividade de grãos beneficiados em função da forma de aplicação de Si e aplicação de fungicidas. Safra 2013.	60
Tabela 17. Probabilidade do teste F e valores médios para porcentagem de frutos nos estádios verde, cereja e passa, rendimento de grãos beneficiados e produtividade de grãos beneficiados em função da forma de aplicação de Si e aplicação de fungicidas. Safra 2014.	61
Tabela 18. Probabilidade do teste F e valores médios para porcentagem de frutos nos estádios verde, cereja e passa, rendimento de grãos beneficiados e produtividade de grãos beneficiados em função da forma de aplicação de Si e aplicação de fungicidas. Safra 2015.	63
Tabela 19. Probabilidade do teste F e valores médios para produtividade média de grãos beneficiados em função da forma de aplicação de Si e aplicação de fungicidas. Médias das safras 2013, 2014 e 2015.	66

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Precipitação pluvial e temperaturas médias mensais obtidas na área experimental durante o período de agosto de 2012 a julho de 2015. São Manuel-SP. 22
- Figura 2.** Incidência (%) de ferrugem do cafeeiro em função da aplicação de fungicidas na ausência de aplicação de Si (A), aplicação de Si no solo (B) ou aplicação de Si nas folhas (C), no ano de 2013. Barras verticais indicam DMS pelo teste t ($P=0,05$). 52
- Figura 3.** Incidência (%) de ferrugem do cafeeiro em função de formas de aplicação de Si e da ausência de aplicação fungicidas (A), aplicação de triazol (B), estrobirulina (C) ou triazol + estrobirulina (D), no ano de 2013. Barras verticais indicam DMS pelo teste t ($P=0,05$). 52
- Figura 4.** Incidência (%) de cercosporiose do cafeeiro em função da aplicação de fungicidas na ausência de aplicação de Si (A), aplicação de Si no solo (B) ou aplicação de Si nas folhas (C), no ano de 2013. Barras verticais indicam DMS pelo teste t ($P=0,05$). 53
- Figura 5.** Incidência (%) de cercosporiose do cafeeiro em função de formas de aplicação de Si na ausência de aplicação fungicidas (A), aplicação de triazol (B), estrobirulina (C) ou triazol + estrobirulina (D), no ano de 2013. Barras verticais indicam DMS pelo teste t ($P=0,05$). 53
- Figura 6.** Incidência (%) de ferrugem do cafeeiro em função da aplicação de fungicidas na ausência de aplicação de Si (A), aplicação de Si no solo (B) ou aplicação de Si nas folhas (C), no ano de 2014. Barras verticais indicam DMS pelo teste t ($P=0,05$). 54
- Figura 7.** Incidência (%) de ferrugem do cafeeiro em função de formas de aplicação de Si na ausência de aplicação fungicidas (A), aplicação de triazol (B), estrobirulina (C) ou triazol + estrobirulina (D), no ano de 2014. Barras verticais indicam DMS pelo teste t ($P=0,05$). 54
- Figura 8.** Incidência (%) de cercosporiose do cafeeiro em função da aplicação de fungicidas na ausência de aplicação de Si (A), aplicação de Si no solo (B) ou aplicação de Si nas folhas (C), no ano de 2014. Barras verticais indicam DMS pelo teste t ($P=0,05$). 55
- Figura 9.** Incidência (%) de cercosporiose do cafeeiro em função de formas de aplicação de Si e da ausência de aplicação fungicidas (A), aplicação de triazol (B), estrobirulina (C) ou triazol + estrobirulina (D), no ano de 2014. Barras verticais indicam DMS pelo teste t ($P=0,05$). 55
- Figura 10.** Incidência (%) de ferrugem do cafeeiro em função da aplicação de fungicidas na ausência de aplicação de Si (A), aplicação de Si no solo (B) ou aplicação de Si nas folhas (C), no ano de 2015. Barras verticais indicam DMS pelo teste t ($P=0,05$). 56

- Figura 11.** Incidência (%) de ferrugem do cafeeiro em função da aplicação de formas de Si e da ausência de aplicação fungicidas (A), aplicação de triazol (B), estrobirulina (C) ou triazol + estrobirulina (D), no ano de 2015. Barras verticais indicam DMS pelo teste t ($P=0,05$).56
- Figura 12.** Incidência (%) de cercosporiose do cafeeiro em função da aplicação de fungicidas na ausência de aplicação de Si (A), aplicação de Si no solo (B) ou aplicação de Si nas folhas (C), no ano de 2015. Barras verticais indicam DMS pelo teste t ($P=0,05$).....57
- Figura 13.** Incidência (%) de cercosporiose do cafeeiro em função de formas de aplicação de Si na ausência de aplicação fungicidas (A), aplicação de triazol (B), estrobirulina (C) ou triazol + estrobirulina (D), no ano de 2015. Barras verticais indicam DMS pelo teste t ($P=0,05$).57

1 RESUMO

A cultura do café (*Coffea arabica* L.) gera muitas divisas ao Brasil, país que lidera o *ranking* dos produtores. Diante da demanda crescente por produtividades cada vez maiores, torna-se de fundamental importância a redução de perdas no campo. Uma das adversidades que comprometem a produtividade do cafeeiro são as doenças e, para que exista redução na incidência dessas, é necessário, entre outras coisas, que as plantas estejam bem nutridas. O silício (Si), elemento considerado benéfico às plantas, pode ser um aliado no manejo integrado de doenças. Além dele, a utilização de fungicidas que apresentem algum efeito fisiológico também pode beneficiar a cultura. Dentro desse enfoque, o trabalho teve como objetivo avaliar a influência da aplicação de Si, via solo ou via foliar, associado ou não com os fungicidas a base de triazol, estrobirulina e triazol + estrobirulina, na nutrição mineral, atividade enzimática, incidência de doenças e produtividade de grãos do café arábica. O talhão onde foi instalado o experimento era constituído por plantas de café cv. Catuaí Vermelho, plantadas em maio de 2001, no espaçamento $4,0 \times 0,50$ m. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial 3×4 , com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos pela forma de aplicação de Si [controle sem aplicação, Si via solo (300 kg ha^{-1} do produto FertiSilica[®], parcelado em duas aplicações de 150 kg ha^{-1} - 22,4% de Si solúvel) ou Si via foliar (1 L ha^{-1} do produto Silamol[®] - 0,8% de Si solúvel)] e tipos de fungicidas [controle sem aplicação, triazol (250 g L^{-1} de propiconazol), estrobirulina (250 g L^{-1} de piraclostrobina) ou triazol + estrobirulina (50 g L^{-1} de epoxiconazol + 133 g L^{-1} de piraclostrobina)]. Todos os tratamentos foram aplicados nas doses descritas acima e nos meses outubro e dezembro de cada ano agrícola. A aplicação de Si, via solo ou via foliar,

incrementou o teor de N na folha do cafeeiro na 3ª coleta. Na 3ª e 4ª coletas os teores foliares de P foram afetados, respectivamente, pela interação formas de aplicação de Si × fungicidas e apenas aplicação de Si. Os teores de Si na 1ª, 2ª e 5ª coletas foram afetados pela interação formas de aplicação de Si × fungicidas. Apesar disso, todos os nutrientes encontravam-se dentro das faixas consideradas adequadas para a cultura do café. De modo geral, a aplicação de Si, tanto via solo como via foliar, associada ou não a algum fungicida, proporcionou as maiores atividades das enzimas polifenoloxidase e peroxidase. Refletindo esses resultados está a menor incidência de ferrugem e de cercosporiose em função, principalmente, da associação da aplicação de Si (via solo ou foliar) com fungicidas. Esses resultados culminaram em aumento de produtividade de grãos nas safras 2014 e 2015, além da produtividade média dos três anos estudados, sobretudo quando se aplicou Si via solo associado principalmente ao triazol. Conclui-se que a associação das formas de Si com os fungicidas estudados é benéfica à cultura do café, devido à maior proteção contra doenças, aumento da atividade enzimática e maior produtividade, especialmente quando se associa aplicação de Si via solo e o fungicida triazol.

Palavras-chave: *Coffea arabica*, nutrição mineral de plantas, doenças do cafeeiro, triazol, estrobirulina, enzimas, produtividade de grãos.

APPLICATION OF SILICON AND FUNGICIDES ON ARABICA COFFEE CROP.

Botucatu, 2016, 82 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: Mauricio Antonio Cuzato Mancuso

Adviser: Rogério Peres Soratto

2 SUMARRY

Coffee crop (*Coffea arabica* L.) generates revenues to Brazil, the world's leading coffee producer. In order to meet the increasing demand for higher yields, it is extremely important to reduce field losses during the cultivation cycle. Diseases are among the adversities that affect coffee yield and, in order to reduce their incidence, it is necessary to grow well-nourished coffee plants. In this perspective, silicon (Si) presents as a beneficial element to plants. Furthermore, the application of fungicides to coffee crop might be beneficial due to physiological effects. This research project aimed to evaluate the influence of Si application to foliage or to soil associated or not with fungicides triazole, strobilurine and triazole + strobilurine on the plants nutrition, enzyme activity, incidence of diseases, and Arabica coffee grain yield. The cultivar planted in the experimental area was 'Catuai Vermelho' coffee, cultivated in May 2001, allowing spacing 4.0×0.50 m between plants. The study was carried out using randomized blocks with four replications in a 3×4 factorial scheme. Treatments consisted of different Si sources application [control without Si, Si applied to the soil (300 kg ha^{-1} of FertiSilica[®], splitted into two applications of 150 kg ha^{-1} - 22.4% of soluble Si), or Si applied to the foliage (1 L ha^{-1} of Silamol[®] - 0.8% of soluble Si)] and of different fungicides application [(control without fungicide, triazole (250 g L^{-1} of propiconazole), strobilurine (250 g L^{-1} of piraclostrobine), or triazole + strobilurine (50 g L^{-1} de epoxiconazole + 133 g L^{-1} de piraclostrobine)]. All these treatments were applied in the described doses, and in October and December of each crop season. Both Si application to the soil and to the foliage increased N leaf contents in the 3rd sampling. P leaf contents were affected in the 3rd and 4th sampling by the interaction of Si sources $\times$ fungicides and only by Si sources, respectively. Si leaf contents were affected in the 1st, 2nd and 5th sampling by the interaction of Si

sources × fungicides. However, all contents of nutrients in the leaves were within the values considered ideal for coffee crop. Overall, both treatments with Si applied to the soil and to the foliage, associated or not to any fungicide, provided higher polyphenol oxidase and peroxidase enzymes activity. The lower incidence of coffee rust and cercospora incidence, mainly observed with Si (to the soil or to the foliage) associated to fungicides, reflected the enzymes activity results. All these results increased yields in 2014 and 2015, besides the 3-year-study mean yield, especially when Si was applied to the soil associated to triazole. It was concluded that both Si sources application associated to fungicides is beneficial to coffee crop as a result of the higher protection against diseases, the higher enzymes activities, and the higher grain yield, especially in the association between Si applied to the soil and triazole.

Keywords: *Coffea arabica*, plant nutrition, coffee diseases, triazole, strobilurine, enzymes, grain yield.

3 INTRODUÇÃO

O café arábica (*Coffea arabica* L.) é uma das principais culturas agrícolas do Brasil, sendo esse o maior produtor mundial da commodity. A cultura continua sendo um dos mais importantes produtos agrícolas de exportação, gerando riquezas e divisas para o país e com grande função social. Ao longo dos anos, o cafeicultor entendeu que é preciso produzir mais e de forma diferenciada, com qualidade, para vencer as barreiras impostas pelos importadores, que se tornam cada vez mais exigentes.

Um dos fatores que afeta a produtividade são as doenças que acometem a cultura do café, sendo as de maior impacto a ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.) e a cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berk & Cook), ambas causadas por fungos. A ferrugem é a principal doença, causando lesões de cor laranja a amarelo claro nas folhas. Esta doença desenvolve-se melhor em clima ameno, ou seja, propício para o cultivo do cafeeiro, podendo causar perdas de 30 a 50% da produtividade. A cercosporiose também é uma doença que afeta as folhas, podendo ser encontrada tanto em viveiro de mudas quanto a campo. Por seus maiores prejuízos serem observados durante o período de formação do fruto, que vai de janeiro a abril/maio, esta doença pode reduzir a produtividade de 15 a 30%.

De forma geral, as principais causas que influenciam a incidência dessas doenças são a utilização de cultivares suscetíveis ou pouco resistentes aos patógenos; lavouras localizadas em áreas sujeitas a ventos frios ou geadas e com ausência de quebra-ventos, além de áreas com histórico de doenças; plantios mais adensados, sombreamento excessivo e face de exposição da lavoura; carência de controle químico adequado, utilizando fungicidas específicos durante os períodos mais favoráveis às doenças ou de modo preventivo; e, por fim, um programa de adubação insuficiente,

acarretando em plantas mal nutridas ou desequilibradas nutricionalmente, diminuindo, assim, a resistência das plantas contra infecções.

Desse modo, plantas bem nutridas e protegidas, através de bons programas de adubação e controle fitossanitário, bem como o manejo integrado desses, são de suma importância para produtividades elevadas e qualidade do produto colhido. Insere-se, nesse contexto, o silício (Si), elemento que traz diversos benefícios às culturas, como incrementos significativos no crescimento e na produtividade, uma vez que o elemento pode atuar de forma indireta sobre alguns aspectos fotossintéticos e bioquímicos, especialmente quando estas plantas estão submetidas a algum tipo de estresse, seja ele de natureza biótica, como pragas e doenças, ou abiótica, como altas temperaturas, déficit hídrico, toxidez de ferro (Fe), manganês (Mn) e alumínio (Al). Ao proporcionar certo controle das doenças que acometem a cultura do café, o Si pode preservar o enfolhamento da cultura e mantém a produtividade em níveis adequados, além de conferir uma maior uniformidade dos grãos que, por sua vez, tem relação direta com a qualidade de bebida do café (CHALFOUN; CARVALHO, 2002). Existem duas formas de fornecer Si às plantas: via foliar e via solo, sendo essa última a mais utilizada. Entretanto, aplicações do elemento via foliar, desde que utilizando fontes apropriadas, podem ser benéficas às plantas.

Ainda hoje, o método de controle de doenças mais utilizado ainda é através da aplicação de fungicidas, entre eles os pertencentes aos grupos triazol e estrobirulina. Moléculas de ambos os grupos, além de efeito antifúngico, podem apresentar efeitos fisiológicos que influenciam a produtividade. Estudos vêm sendo realizados a respeito da associação de fungicidas com Si na nutrição das plantas e controle de pragas e doenças, porém ainda são escassos na cultura do café. Vale ressaltar que essa associação também pode proporcionar resultados interessantes economicamente e ambientalmente, através da redução da quantidade de fungicidas aplicada. Assim, é de grande relevância o estudo dos efeitos proporcionados pelo Si na nutrição e na produtividade da cultura do café, bem como de sua interação com fungicidas, especialmente aqueles que podem apresentar algum efeito fisiológico na planta. Deste modo, o presente trabalho teve como hipóteses: a) a aplicação de Si, em associação ou não com fungicidas, reduz a incidência de doenças nas plantas de café por proporcionar maior resistência, tanto física quanto química, às mesmas; b) a aplicação de Si, em associação ou não com fungicidas, melhora a nutrição e a produtividade da cultura do café; e c) a forma de aplicação do Si pode influenciar o efeito deste na cultura do café.

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho avaliar a influência da aplicação de Si, via solo ou via foliar, associado ou não com os fungicidas a base de triazol, estrobirulina ou triazol + estrobirulina, na nutrição mineral, atividade enzimática, incidência de doenças e produtividade de grãos da cultura do café arábica.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 A Cultura do Café

O Brasil continua é o maior produtor mundial de café, com uma safra estimada em 43,2 milhões de sacas de 60 kg de café beneficiado no ano de 2015, sendo cultivados aproximadamente 2,2 milhões de hectares. Desse total, 85,5%, (1,9 milhões de hectares) estão em produção e os 14,5% (326,8 mil hectares) restantes estão em formação. A espécie de café mais produzida, tanto no Brasil quanto no mundo, é a *Coffea arabica* L.. Os estados brasileiros que se destacam na produção dessa espécie são Minas Gerais, São Paulo, Espírito Santo, Paraná e Bahia. Ainda hoje, a produção de café arábica tem grande importância na geração de riquezas para o estado de São Paulo, no qual foram colhidas 4,1 milhões de sacas de café beneficiado em 213 mil hectares (CONAB, 2015).

Tem-se como origem do cafeeiro, mais especificamente da espécie *C. arabica* L., a Etiópia, país do nordeste da África. Essa região é caracterizada por altitudes elevadas, com excelente precipitação pluvial anual média. Da Etiópia, teria sido levado para a Arábia, em data não estabelecida precisamente. No Brasil, a entrada das primeiras sementes de café ocorreu em 1727 na Província do Maranhão e Grão-Pará, por intermédio de Francisco de Melo Palheta, sargento-mor do Exército Português. Do Maranhão e Grão-Pará, o café foi difundido para diversas regiões do País, tendo seu apogeu na região Sudeste, especialmente nos Estados de São Paulo (séculos XIX e meados do XX) e Minas Gerais, sendo esse, atualmente, o maior produtor nacional do grão (FERRÃO, 2004).

Em relação à classificação botânica, o cafeeiro é pertencente à família das Rubiaceas e gênero *Coffea*. As espécies do gênero *Coffea* podem ser agrupadas

em quatro seções: *Eucoffea*, *Mascarocoffea*, *Argocoffea* e *Paracoffea*. Dentre essas, a seção de maior importância econômica é a *Eucoffea*, pois nela estão contidas as espécies *C. arabica* L. e *C. canephora* Pierre (MATIELLO et al., 2010). No Estado de São Paulo, são cultivados principalmente cafeeiros da espécie *C. arabica*. Essa é a espécie mais complexa, com 44 cromossomos, e só pode fazer cruzamentos com plantas da mesma espécie. É uma planta mais delicada, desenvolvendo-se melhor em altitudes mais elevadas, e requer um clima ameno, com temperaturas médias de 22°C e chuvas bem distribuídas ao longo do ano. Geralmente é plantada entre os Trópicos de Câncer e Capricórnio, ou seja, atendem a todas essas especificações certas regiões do Estado de São Paulo e regiões de cerrado e florestas de altitude (Zona da Mata) de Minas Gerais, além do Sul desse Estado (ROSSETTI, 2007).

Em virtude da elevação dos custos de produção, além do crescente aumento na competição do mercado interno e externo, torna-se necessário eliminar fontes de perdas nas lavouras cafeeiras (MATIELLO; ALMEIDA, 1997). A deficiência nutricional, o manejo inadequado da lavoura, as pragas e as doenças são alguns fatores responsáveis pela redução da qualidade e da produtividade do cafeeiro. Para que isso não ocorra, torna-se de suma importância a realização de boas práticas agrícolas, em especial na nutrição dos cafeeiros. Exemplificando a questão, Castaño (1956) e Buitrago e Fernandez-Borrero (1982) observaram maior nível de infecção por *Cercospora coffeicola* em lavouras de café depauperadas por adubações insuficientes e/ou desequilibradas. Vale ressaltar que a cultura apresenta elevada exigência nutricional, não apenas para a produção de grãos, mas também para a manutenção da planta como um todo. Portanto, deve-se levar em consideração não só a quantidade de nutrientes necessários para uma elevada produção, mas do mesmo modo é preciso atender a demanda nutricional para a produção de novos ramos, folhas e raízes, bem como a proteção das plantas de café contra fatores adversos, estando elas bem nutridas. Entre os nutrientes, os mais exigidos são o N e o K, sendo o primeiro mais exigido em anos de safra baixa (formação de vegetação) e o segundo em anos de safra alta (formação de frutos) (MATIELLO et al., 2010). Já o Si é um elemento benéfico às plantas de café, atuando na proteção das mesmas contra diversos tipos de estresse.

4.2 Ferrugem e cercosporiose do cafeeiro

A principal doença que acomete os cafeeiros é a ferrugem, causada pelo fungo *Hemileia vastatrix*, que parasita a folha do cafeeiro. O fungo desenvolve-se em lesões nas folhas, onde se observa, mais comumente, intensa esporulação na face inferior do limbo foliar, podendo cada lesão apresentar centenas de milhares de esporos de cor laranja a amarelo claro. A doença desenvolve-se mais facilmente em climas amenos, ou seja, climas também propícios para o cultivo do cafeeiro. No Brasil, estima-se em média 30% de perdas na produção quando as condições climáticas tornam-se favoráveis ao patógeno (ZAMBOLIM et al., 2002). Sob condições de estiagem prolongada, nos períodos de maior severidade, as perdas na produção podem chegar a mais de 50% (ZAMBOLIM et al., 1997). Foram relatadas 49 raças deste patógeno (GICHURU et al., 2012), sendo que a raça II ocorre com maior frequência no Brasil (ZAMBOLIM et al., 2005). Contudo, no País, já foram caracterizadas 16 raças fisiológicas do fungo (CABRAL et al., 2009). O manejo da ferrugem envolve principalmente o uso de fungicidas protetores cúpricos, sistêmicos do grupo dos triazóis, aplicados isoladamente ou em mistura com as estrobirulinas e em diferentes épocas durante o período vegetativo, além do uso de cultivares resistentes (HONORATO JÚNIOR et al., 2015a, 2015b).

A cercosporiose ou mancha-de-olho-pardo é uma das doenças mais antigas do cafeeiro nas Américas do Sul e Central, causando perdas de 15 a 40% na produtividade do café (POZZA et al., 2010). Em viveiros de mudas, a doença pode causar intensa desfolha e atrasar o desenvolvimento das plantas (ZAMBOLIM et al., 1997). Essa doença tem como agente causal o fungo *Cercospora coffeicola*. Os sintomas característicos são manchas circulares de cor castanho-clara a escura, com o centro branco-acinzentado, quase sempre envolvidas por um halo amarelado. Há uma grande relação entre a incidência da cercosporiose com a nutrição mineral das plantas, além dos fatores climáticos. Desse modo, a implantação de lavouras em regiões com solos de baixa fertilidade natural e alterações nas condições de clima, adversas ao cultivo do cafeeiro, faz com que os prejuízos causados pela doença ganhem maior importância. Qualquer condição que leve a planta a um estado nutricional deficiente ou desequilibrado favorece a cercosporiose como, por exemplo, o substrato para a formação das mudas ser nutricionalmente pobre, a textura de solo inadequada, sendo muito argilosa ou muito arenosa, sistema radicular deficiente, compactação do solo, deficiência de N, excesso de K ou desequilíbrio da relação N/K (CARVALHO; CHALFOUN, 2000). Embora a cercosporiose esteja presente no campo

durante o ano todo, ela causa os maiores prejuízos durante o período de formação do fruto, que vai de janeiro a abril/maio (PATRICIO; BRAGHINI, 2011), havendo a necessidade de um bom programa de manejo de doenças.

4.3 Controle químico de doenças no cafeeiro

O principal método de controle de doenças na cultura do café é o químico, através da utilização de fungicidas, além do uso de cultivares tolerantes ou resistentes. O tipo de fungicida mais utilizado na cultura ainda é o protetor a base de cobre. De acordo com Matiello e Almeida (2006) e Honorato Júnior et al. (2015a, 2015b), os fungicidas cúpricos estão entre os primeiros produtos utilizados em cafeeiros, tanto para o controle de ferrugem quanto para cercosporiose. Esse tipo de fungicida age apenas na superfície das plantas (folhas), podendo ser facilmente “lavado” pela água das chuvas ou irrigação. Por outro lado, os fungicidas sistêmicos, como os triazóis e as estrobirulinas, penetram nas plantas e apresentam poder curativo, ou seja, podem erradicar a infecção já instalada. Além disso, podem apresentar outros efeitos benéficos às plantas, especialmente no caso das estrobirulinas (HONORATO JÚNIOR et al., 2015b).

A ação antifúngica das estrobirulinas é decorrente da sua capacidade de inibir a respiração mitocondrial pela ligação no sítio Q_o , chamado de complexo citocromo bc1, localizada na membrana interna das mitocôndrias de fungos e outros eucariontes. Quando ligados nesse complexo, as estrobirulinas bloqueiam a transferência de elétrons entre o citocromo b e citocromo c1 que, por sua vez, interrompe o ciclo de energia dentro do fungo parando a produção de ATP (BARTLETT et al., 2002).

Outro ponto relevante sobre as estrobirulinas, o qual tem sido objeto de estudo de pesquisadores na área de fisiologia é que, além de sua ação fungicida, tem-se observado a campo vários efeitos fisiológicos que tem proporcionado aumento em produtividade mesmo em regiões onde não ocorre a incidência severa de doenças. Contudo, a maior parte das pesquisas tem enfatizado o efeito da estrobirulina na produção de grãos, isto é, na consequência do efeito fisiológico e não na causa, o qual se refere o efeito da estrobirulina em parâmetros fisiológicos como taxa de assimilação de carbono e nitrogênio e na partição de matéria seca e sua relação com a produtividade e qualidade de grãos (FAGAN, 2007). Trabalhando com a cultura da soja, Grossmann e Retzlaff (1997) e Bryson et al. (2000) comentam que o aumento de produtividade pode ser atribuído às

alterações fisiológicas proporcionadas pela estrobirulina, que afetou o crescimento e o desenvolvimento das plantas.

Existem duas explicações encontradas na literatura a respeito do aumento da produtividade em plantas que receberam aplicações de estrobirulina. A primeira seria que esse aumento é ocasionado pela alteração de processos fisiológicos, incluindo o ponto de compensação de dióxido de carbono, a senescência foliar, a ACC-sintase e, dessa forma, a biossíntese de etileno, o conteúdo de clorofila, a atividade fotossintética, a abertura de estômatos, o consumo de água, a atividade de enzimas antioxidantes (como, por exemplo, peroxidases, superóxido dismutase e polifenoloxidasas), os níveis de ácido abscísico e outros hormônios vegetais e, ainda, a atividade da enzima nitrato redutase (KÖEHLE et al., 2002; VENÂNCIO et al., 2004). Na segunda explicação, a molécula da estrobirulina preveniria a germinação de esporos de fungos patogênicos, não patogênicos e saprófitos, interrompendo assim os elicitores que demandam gastos de energia em resposta à defesa do hospedeiro (BERGMANN et al., 1999; VENÂNCIO et al., 2004). Em muitos casos, a estrobirulina vem associada a alguma molécula de triazol. No Brasil, existem três registros de misturas: trifloxistrobina + ciproconazol; azoxistrobina + ciproconazol e piraclostrobina + epoxiconazol (MAPA, 2016).

O uso de triazóis no controle de doenças do cafeeiro teve início nas décadas de 1980 e 1990, sendo aplicados via solo. Posteriormente, desenvolveram-se tecnologias que possibilitaram a aplicação dos triazóis via foliar. Atualmente, o controle químico de doenças como a ferrugem e a cercosporiose é realizado com a mistura de triazóis e estrobirulinas, as quais foram adicionadas no programa de controle fitossanitário da cultura visando o combate à cercosporiose (MATIELLO; ALMEIDA, 2006). Os triazóis atuam sobre os fungos como inibidores do citocromo P450-dependente 14 α -demetilase, uma enzima da via biossintética dos esteróis (RONCHI et al., 1997). São fungicidas sistêmicos extremamente eficazes no controle de agentes patogênicos em diversas culturas. O modo de ação relacionado à inibição na biossíntese de esteróis, cuja função está relacionada à manutenção da integridade da membrana, reduz a disponibilidade de ergosterol (principal esterol presente em fungos), o que resulta na ruptura da membrana e no escoamento eletrolítico (HEWITT, 1998). Patricio e Braghini (2011), aplicando diversos tipos de triazóis em mudas de café, isolados ou em mistura, observaram que epoxiconazol, ciproconazol, tetraconazol e a mistura epoxiconazol + piraclostrobina são

eficientes para o controle da cercosporiose do cafeeiro. Abrahão et al. (2009) citam o trabalho realizado por Freitas et al. (2003), onde foi observada incidência de cercosporiose em plantas de café de 16% com a utilização de triazóis. Todavia, a aplicação do triazol em mistura com estrobirulina propiciou um índice de infecção de 7,7% no melhor tratamento. Desse modo, recomenda-se a utilização da mistura para controlar uma proporção maior das doenças.

Entretanto, trabalhos que demonstram os efeitos dos triazóis sobre a bioquímica e fisiologia das plantas, acarretando em incrementos de produtividade, são escassos em relação aos trabalhos com estrobirulina. As moléculas pertencentes do grupo dos triazóis, além do efeito fungicida sistêmico, podem agir como reguladores de crescimento e maturação de plantas, fato atribuído, principalmente, à inibição da conversão de ACC em etileno na rota biossintética e à alteração no balanço de hormônios como ácido giberélico (inibição de sua biossíntese), ácido abscísico e citocininas. Entretanto, esses efeitos são observados mais em laboratório (*in vitro*) e casa de vegetação (especialmente mudas), havendo poucos relatos dos mesmos em experimentos de campo e com avaliações de produtividade de grãos, além de não serem observados em todas as espécies de planta e nem para todas as moléculas do grupo dos triazóis (RADEMACHER, 2000; HAJIHASHEMI et al., 2007; SANKAR et al., 2014). Berova e Zlatev (2000) observaram antecipação e maior uniformidade de maturação de frutos de tomate, além de redução na altura das plantas e engrossamento do caule, mediante aplicação de paclobutrazol, pertencente ao grupo dos triazóis. Fletcher et al. (2000) relataram que o tratamento com triazóis retarda a senescência das plantas e frutos, justificando que o fungicida altera a síntese de etileno ou citocinina. Além disso, os triazóis, através da indução da síntese de citocinina, faz com que as plantas produzam folhas com coloração verde escura e altas concentrações de clorofilas, incrementando sua atividade metabólica e enzimática, que por sua vez poderia proporcionar elevadas produtividades (RODRIGUES et al., 1998). Pan et al. (2013) observaram incremento na produtividade de grãos de duas cultivares de arroz mediante aplicação de paclobutrazol (grupo dos triazóis). Eles atribuem esse fato ao aumento da atividade enzimática, com consequente incremento nos componentes de produção do arroz.

Além das misturas como triazóis + estrobirulinas, outra associação que vem sendo estudada é a de fungicidas com Si na nutrição das plantas e controle de pragas e doenças. Reis et al. (2008) observaram que o Si líquido solúvel, associado ou não

com fungicida, propiciou folhas saudáveis semelhantes ao fungicida. Além do efeito antifúngico, a incidência do bicho-mineiro foi reduzida com o aumento do teor foliar de Si. Carvalho Júnior et al. (2007) demonstraram que a associação do silicato de potássio com diversos fungicidas triazóis proporcionou menor severidade da ferrugem asiática da soja comparada à aplicação do fungicida isolado. No trabalho de Nascimento et al. (2005) foi observado que a mistura do silicato de potássio com fungicida não prejudicou o controle da ferrugem asiática da soja. Duarte et al. (2007) constataram que a associação de silicato de potássio com fungicidas foliares foi capaz de elevar a proporção de batata extra e dos teores de sólidos solúveis, devido ao aumento da atividade fotossintética das plantas tratadas com Si. Vale ressaltar que a associação do Si com fungicidas também pode proporcionar resultados interessantes economicamente e ambientalmente, através da redução da dose de fungicida aplicada. Reis et al. (2008) observaram que associação de 2 L ha⁻¹ de um produto a base de silicato de potássio (equivalente a 728 g ha⁻¹ de SiO₂) com a metade da dose recomendada de fungicida (750 mL ha⁻¹ de epoxiconazol + piraclostrobina) na calda controlou a ferrugem e a cercosporiose semelhante à dose recomendada do fungicida para cafeeiro (1,5 L ha⁻¹).

Entretanto, a associação de fungicidas às caldas básicas, como a do Si líquido solúvel, pode levar à redução da eficiência no controle de doenças, pois se recomenda que o pH da calda seja mantido ligeiramente ácido para a máxima eficiência dos fungicidas (MAPA, 2016). Contudo, San Juan e Matiello (2006) concluíram que caldas básicas ou ácidas não afetam a eficiência do ciproconazol + trifloxistrobina.

Desse modo, é de grande importância o estudo dos efeitos proporcionados pelo Si no manejo integrado de doenças, bem como na nutrição das plantas e aumento de produtividade dos cafeeiros, estando associado ou não com fungicidas, pois existem poucos trabalhos sobre esses assuntos e há diversos pontos que necessitam ser elucidados.

4.4 O silício

O Si é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre (aproximadamente 60% de sua massa), atrás apenas do oxigênio, quando considerado sua massa ou número de átomos (MA, 2004). De acordo com Matichenkov e Bochamikova (2001), o teor de Si nos solos varia de 5 a 40%. Em função de sua forte afinidade com o

oxigênio, o Si é encontrado na natureza na forma de sílica (SiO_2) ou silicatos que são ligados quimicamente a diversos metais (SAVVAS; NTATSI, 2015).

É considerado elemento benéfico a diversas culturas, especialmente gramíneas, e o aumento de sua disponibilidade em algumas espécies têm resultado em incrementos significativos no crescimento e na produtividade, uma vez que o elemento pode atuar sobre a atividade fotossintética e bioquímica, especialmente quando essas plantas estão submetidas a estresses, sejam eles de natureza biótica, como pragas e doenças, ou abiótica, como altas ou baixas temperaturas, déficit hídrico, toxidez de Fe, Mn e Al (MA, 2004; ZHU et al., 2004; HATTORI et al., 2005; MITANI; MA, 2004; MA; YAMAJI, 2006; GUNES et al., 2007a; 2007b; 2008; DATNOFF et al., 2007; CRUSCIOL et al., 2009; SORATTO et al., 2012; PILON et al., 2014).

Sua absorção ocorre via raiz, na forma de ácido silícico, e é transportado para a parte aérea através dos vasos do xilema, sendo distribuído internamente pelo fluxo transpiratório (BYBORDI, 2012). No final desse fluxo, o ácido silícico é concentrado em virtude da perda de água. Assim que o limite de solubilidade é excedido, ocorre a polimerização do mesmo para ácido silícico coloidal e, por fim, sílica amorfa ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Isto explica o fato de que as maiores concentrações de Si são encontradas circundando os estômatos (HAYNES, 2014) e sua tendência em acumular em folhas mais velhas. O processo de precipitação em sílica amorfa é rápido, sendo o Si encontrado quase exclusivamente na forma sólida na parte aérea das plantas, ao passo que a existência de compostos organo-silicatados nas plantas não é formalmente reconhecida (GUNTZER et al., 2012).

O Si acumulado no tecido vegetal das plantas abrange concentrações entre 0,1 a 10% da massa de matéria seca, variando de acordo com espécie da planta (EPSTEIN, 1999; MA; YAMAJI, 2008). Nas angiospermas, as maiores concentrações de Si são encontradas em monocotiledôneas, especialmente nas famílias *Poaceae* e *Cyperaceae*. Dicotiledôneas geralmente acumulam menos Si em seus tecidos do que monocotiledôneas. Guntzer et al. (2012) relatam que as maiores concentrações de Si na parte aérea em dicotiledôneas foram encontradas em algumas espécies das famílias *Cucurbitaceae* (ex.: pepino), *Fabaceae* (ex.: ervilha, soja), *Rosaceae* (ex.: olmo ou ulmeiro) e *Asteraceae* (girassol). Essa diferença na concentração de Si na parte aérea das plantas culminou na seguinte classificação das espécies vegetais em acumuladoras (concentração de $\text{SiO}_2 > 1\%$ da massa de matéria seca, ou de 100 a 150 g kg^{-1} de Si),

acumuladoras passivas ou intermediárias ($0,5\% < \text{SiO}_2 < 1\%$ da massa de matéria seca, ou entre 10 a 50 g kg⁻¹ de Si) e não-acumuladoras ($\text{SiO}_2 < 0,5\%$ da massa de matéria seca, ou abaixo de 5 g kg⁻¹ de Si) (CURRIE; PERRY, 2007; GUNTZER et al., 2012; HERNANDEZ-APAOLAZA, 2014). Há, ainda, outro critério de classificação, relatado por Carey e Fulweiler (2014), onde a relação Si:Ca na parte aérea das plantas é levada em consideração. As plantas são classificadas em acumuladoras quando $\text{Si:Ca} > 1$, intermediárias quando $0,5 < \text{Si:Ca} < 1$ e não-acumuladoras quando $\text{Si:Ca} < 0,5$. Diante disto, as plantas de café são classificadas como não-acumuladoras do elemento.

Embora não apresente função fisiológica e nutricional estabelecida, trabalhos indicam que o Si afeta o estado nutricional das culturas, como o cafeeiro (BOTELHO et al., 2005). Acredita-se que o Si tem influência na absorção de nutrientes e na eficiência nutricional das plantas, especialmente quando as raízes encontram-se em zona de deficiência, sendo relatados diversos mecanismos a respeito. A elevação das taxas de absorção de nutrientes pode ser resultado do efeito estimulatório no crescimento de raízes proporcionado pelo Si, o qual está relacionado com o alongamento radicular ocasionado pela maior extensibilidade da parede celular na zona de crescimento das raízes, como verificado na cultura do sorgo (HATTORI et al., 2005). Hernandez-Apaolaza (2014) comenta que o fornecimento de Si às culturas pode reduzir a deficiência de micronutrientes metálicos como o Fe, formando depósitos de complexos Si-metal no apoplasto das raízes e folhas, os quais são realocados quando necessário. Ainda, o aumento nas concentrações de moléculas como o citrato, em virtude da aplicação de Si, também pode contribuir com o transporte dos íons metálicos da raiz para a parte aérea, reduzindo, assim, os sintomas de deficiência.

Além desses efeitos na planta, o Si pode influenciar algumas características do meio externo. Um exemplo clássico é a interação do Si com Al no solo, resultando em alumino-silicatos sub-coloidais e inertes, reduzindo, assim, a toxicidade do Al na solução do solo (GUNTZER et al., 2012; WU et al., 2013). Outro exemplo seria o aumento na disponibilidade de P na solução do solo, em virtude da competição entre os íons silicato e fosfato pelo mesmo sítio de adsorção dentro do complexo de troca de íons no solo, ocasionando a liberação do P para a solução do solo (ENEJI et al., 2008). No entanto, esses processos em função da presença de Si no solo são complexos, pH dependentes e precisam ser pesquisados mais a fundo (HAYNES, 2014; ZHU; GONG, 2014).

Mesmo sem ser considerado um elemento essencial, os benefícios da utilização do Si na agricultura vêm sendo cada vez mais reconhecidos e comprovados pela ciência (REIS et al., 2007), especialmente no que diz respeito à resistência das plantas a doenças. Os mecanismos de supressão dos patógenos pelas plantas nutridas com Si ainda não foram muito bem elucidados. Para tanto, existem duas explicações dessa supressão: a primeira seria que o acúmulo do Si na epiderme impede a penetração do tubo infectivo dos fungos nos tecidos da planta (MENZIES et al., 1991; SAMUELS et al., 1991; BOWEN et al., 1992; VIDHYASEKARAN, 1997; LIMA FILHO et al., 1999;), formando uma barreira física. A proposição de formação de uma barreira física abaixo da cutícula da epiderme após a polimerização do ácido monossilícico explica, parcialmente, o aumento da resistência do arroz a brusone (DATNOFF et al., 2007). No entanto, o maior acúmulo de compostos fenólicos associados com as estruturas de certos patógenos nos sítios de infecção, as elevações na produção de fitoalexinas em arroz, na transcrição de alguns genes em arroz associados com a resistência à brusone (RODRIGUES et al., 2005; DATNOFF et al., 2007) e na atividade de enzimas líticas à parede celular fúngica ou associadas com o metabolismo secundário da planta (LIANG et al., 2005) reforçam a ideia de que o Si afeta consideravelmente os mecanismos de defesa em plantas e não atua apenas de forma passiva na resistência. Portanto, essa seria a segunda explicação, com o Si atuando na ativação dos mecanismos naturais de defesa da planta como, por exemplo, a produção de compostos fenólicos, quitinases, peroxidases e acúmulo de lignina (EPSTEIN, 1999), podendo haver também uma interação entre as barreiras física e química. Nesse sentido, Ma (2004) comenta que a aplicação de Si em plantas de pepino resultou no estímulo da atividade de peroxidases e polifenoloxidasas, após essas serem infectadas com *Pythium* spp, ou seja, a aplicação de Si aumentou a resistência das plantas à doença.

Todavia, a barreira física pode ser descontínua em plantas acumuladoras como é o caso do arroz (MA; YAMAJI, 2006), deixando espaços vazios e, dessa forma, alguns autores afirmam que a “barreira química” induzida pelo Si seja mais efetiva que a física (HEINE et al., 2007; BÉLANGER et al., 2003). Assim sendo, as dicotiledôneas não acumuladoras de Si, como é o caso do café, podem ser beneficiadas tanto quanto as acumuladoras. Pozza et al. (2004), incorporando 1 g de silicato de Ca em 1 kg de substrato, verificaram redução de 63,2% de folhas de cafeeiro afetadas por cercosporiose e de 43% no total de lesões por plantas, além do aumento significativo nos teores de Si foliar em comparação ao controle. Nesse trabalho, os autores justificaram a

resistência contra a cercosporise pela deposição de Si na superfície foliar e uma camada de cera e cutícula mais espessa. Pereira et al. (2009), avaliando o efeito da aplicação foliar de Si na redução da severidade da ferrugem do cafeeiro, além da possível potencialização da atividade de seis enzimas relacionadas à resistência das plantas a patógenos, utilizando-se o silicato de potássio como fonte de Si, observaram redução significativa na severidade da doença, não observando, no entanto, potencialização da atividade das enzimas de defesa avaliadas. Além disso, ao apresentar certo controle das doenças que acometem a cultura do café, o Si, juntamente com o potássio (K), pode ser agente influenciador da produtividade e qualidade de bebida, pois a menor incidência de doenças preserva o enfolhamento da cultura e mantém a produção em níveis adequados, além de conferir uma maior uniformidade dos grãos que, por sua vez, tem relação direta com a qualidade de bebida do café (CHALFOUN; CARVALHO, 2002).

No entanto, Carré-Missio et al. (2009), trabalhando com Si em solução nutritiva visando o controle da ferrugem do café, concluíram que as plantas foram ineficientes em translocar o elemento das raízes para a parte aérea, restringindo-o exclusivamente ao sistema radicular. Assim, a possível potencialização de mecanismos de defesa comumente atribuídas a esse elemento em outros patossistemas passam a não ser fatores determinantes da resistência do cafeeiro à ferrugem. Os mesmos autores salientam, ainda, a possibilidade de se utilizar o Si no controle de patógenos radiculares considerando o maior teor desse elemento nas raízes de cafeeiro.

Embora a maioria das pesquisas seja direcionada a avaliação do efeito do Si na resistência das plantas às doenças e, conseqüentemente, no incremento da produtividade, alguns trabalhos evidenciam que o nutriente favorece o desenvolvimento das plantas. Khan e Roy (1964) observaram efeito significativo do Si no crescimento e rendimento da planta de juta (*Corchorus capsularis*). O comprimento da fibra, espessura e a relação comprimento/espessura foram incrementados, consideravelmente, com a aplicação do silicato de sódio. Trabalhando com cenoura, Benedetti et al. (2007) verificaram que as plantas que receberam aplicação foliar de silicato de potássio apresentaram maior ângulo da folha em relação ao solo, evidenciando que as plantas estavam mais eretas e, dessa forma, interceptavam a luz com maior eficiência. Isto resultou em plantas com maior quantidade de raízes, as quais apresentaram maiores diâmetro, comprimento e matéria seca. Portanto, muitos autores caracterizam o Si como sendo um elemento “quase essencial” para as plantas, pois o desenvolvimento das mesmas pode ser

estimulado pelo fornecimento de Si, ao passo que plantas sem a disponibilidade do mesmo podem apresentar certas anormalidades (RAFI; EPSTEIN, 1997; MA; YAMAJI, 2008; SAVVAS; NTATSI, 2015).

Considerando a abundância de Si na crosta terrestre, poderia se dizer que a disponibilidade de fontes do elemento para uso na agricultura não representaria um contratempo. Todavia, a maior parte dos compostos silicatados encontrados na crosta são parcialmente solúveis ou insolúveis em água (SAVVAS; NTATSI, 2015). Desse modo, encontrar alguma fonte solúvel de Si que também apresente outras características desejáveis, como elevado teor de Si, propriedades físicas propícias para aplicação mecanizada, pronta disponibilidade e baixo custo não é tarefa fácil (GASCHO, 2001). Outro fator importante a ser considerado é o teor de metais pesados presente na fonte de Si, o qual deve ser o menor possível, a fim de evitar a contaminação do solo, plantas e consumidores dos produtos agrícolas (HAYNES, 2014).

Apesar desses problemas, silicatos solúveis são produtos utilizados na agricultura como fertilizantes e bioestimulantes. O silicato de potássio (K_2SiO_3) é a fonte de Si mais utilizada na agricultura, especialmente em aplicações via foliar, tendo como finalidade, além de nutrir as plantas, o controle ou prevenção de estresses bióticos e abióticos (LI et al., 2009). Outra forma bastante comum de fornecer Si às plantas via solo são as escórias de siderurgia (silicatos de Ca e Mg). Essas fontes apresentam baixíssima solubilidade em água (SOUSA et al., 2010), sendo liberado lentamente para a solução do solo e, portanto, torna-se necessário a aplicação de grandes quantidades desses materiais. Além disso, o Si aplicado como silicatos de Ca e Mg pode não estar disponível na solução do solo no momento em que as plantas mais precisarem.

Uma alternativa considerada viável para fornecer Si às plantas é via pulverização foliar, pois supre a necessidade de Si, além de estimular seus efeitos benéficos (REIS et al., 2008; CARRE-MISSIO et al., 2010; SOUSA et al., 2010). Outro ponto que deve ser destacado é que a aplicação de Si via foliar também auxilia no controle de doenças. Carré-Missio et al. (2012) observaram que a aplicação de Si (na forma de silicato de potássio) via foliar reduziu significativamente o índice de esporulação, o número total de pústulas e a severidade da ferrugem em folhas de cafeeiro. Dessa forma, fontes que apresentam Si na forma de ácido silícico estabilizado, e que formam principalmente ácido ortossilícico quando diluídas, podem ser uma alternativa viável para

aumentar a absorção do elemento pelas plantas e resultar em efeitos benéficos, mesmo com poucas aplicações durante o ciclo (SORATTO et al., 2012).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Localização e caracterização da área experimental

O presente trabalho foi desenvolvido na Fazenda Anchieta, de propriedade particular, localizada no município de São Manuel-SP, apresentando como coordenadas geográficas 48°34' de longitude Oeste e 22°46' de latitude Sul, com altitude de 700 m. Segundo a classificação climática de Koeppen, o clima predominante na região é do tipo Cwa, que se caracteriza pelo clima tropical de altitude, com inverno seco e verão quente e chuvoso (LOMBARDI NETO; DRUGOWICH, 1994). O solo da área experimental é denominado de Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2006), com textura arenosa.

Os dados mensais referentes à temperatura média e precipitação pluvial durante o período de condução do experimento (setembro/2012 a julho/2015) são apresentados na Figura 1. Conduziu-se o experimento nas safras 2012/2013, 2013/2014 e 2014/2015. O talhão onde se instalou o experimento era constituído por cafeeiros (*C. arabica* L.) da cultivar Catuaí Vermelho IAC 144, implantados em maio de 2001, no espaçamento 4,0 × 0,50 m. Ressalta-se que as plantas já haviam sido recepadas no período entre o plantio e a instalação do experimento.

O experimento foi iniciado em outubro de 2012, com a coleta de solo para amostragem geral antes da aplicação dos tratamentos. Foram retiradas dez amostras simples para as profundidades de 0-0,20 m e 0,20-0,40 m, na área experimental, sempre na projeção da saia das plantas de café, utilizando-se trado tipo tubular fechado, com o intuito de formar uma amostra composta. A amostra composta foi seca, seguindo-se do peneiramento da mesma em malha de 2 mm. A análise química do solo foi realizada de

acordo com a metodologia proposta por Raij et al. (2001), determinando-se suas características químicas (pH, Matéria Orgânica, H+Al, P, K, Ca, Mg, Si e V%). Também foi determinado o teor de Si, segundo Korndörfer et al. (2004). Os resultados da análise química do solo estão representados na Tabela 1.

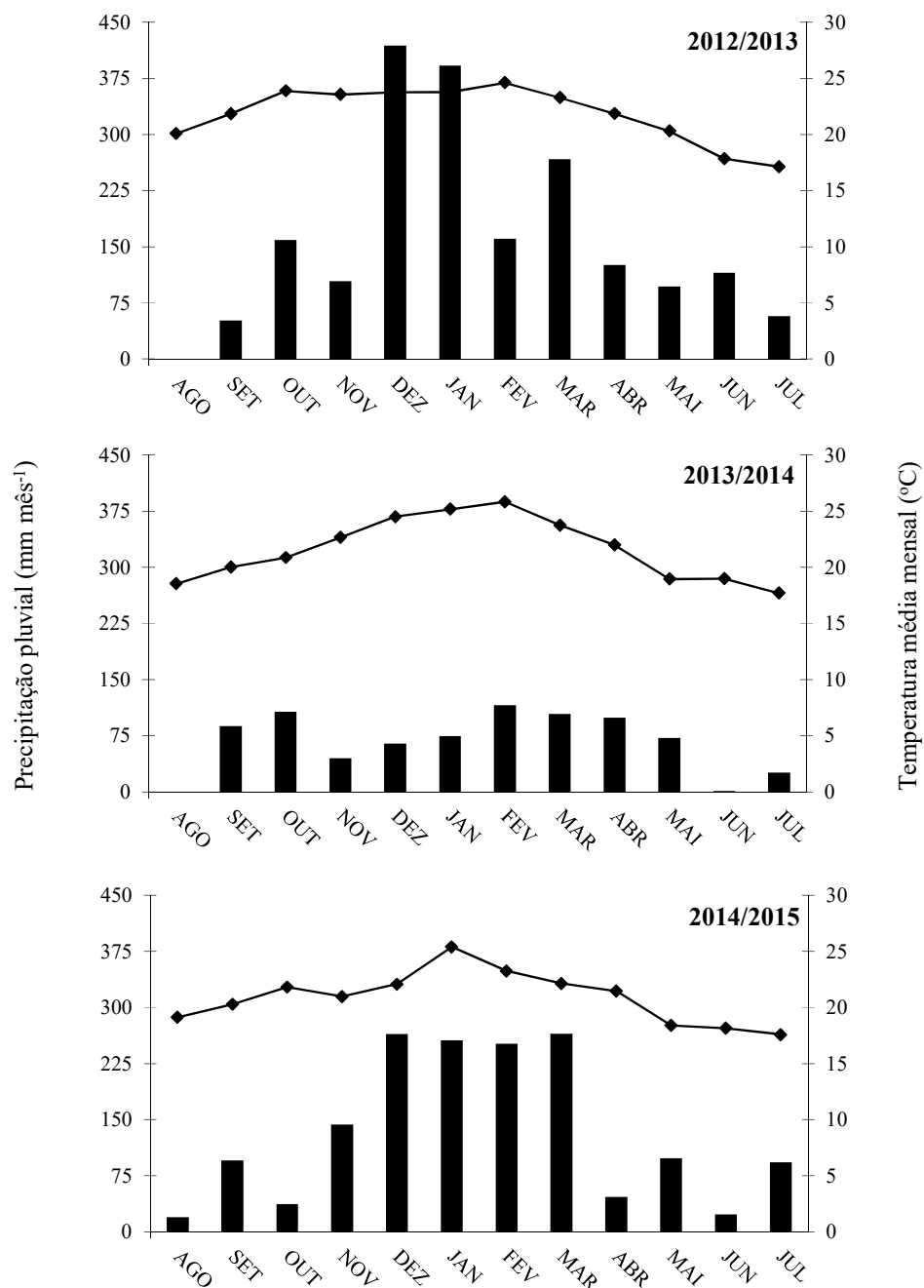


Figura 1. Precipitação pluvial e temperaturas médias mensais obtidas na área experimental durante o período de agosto de 2012 a julho de 2015. São Manuel-SP.

Tabela 1. Características químicas do solo em outubro de 2012, antes da instalação do experimento.

Profundidade	pH(CaCl ₂)	M.O.	P _{resina}	K	Ca	Mg	H + Al	CTC	V
m		g dm ⁻³	mg dm ⁻³						%
0-0,20	5,4	18	57	0,8	14	7	30	53	43
0,20-0,40	4,7	16	21	0,5	7	4	38	49	23
	Silício	Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco			
	mg dm ⁻³								
0-0,20	1,4	0,2	3,7	23,1	18,2	11,0			
0,20-0,40	1,0	0,2	1,4	21,3	12,9	3,3			

5.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 3×4 , com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de formas de aplicação de Si (controle sem aplicação, Si via solo e Si via foliar) e tipos de fungicidas (controle sem aplicação, triazol, estrobirulina e triazol + estrobirulina).

Cada parcela foi constituída por uma fileira de plantas, com 4,0 m de comprimento (8 plantas por parcela). As parcelas foram separadas umas das outras por uma planta, no sentido da fileira, e uma fileira (laterais). A área considerada útil foi a central, excluindo uma planta de cada extremidade. Ressalta-se que o espaçamento do cafezal foi de $4,0 \times 0,50$ m, perfazendo um total de 5.000 plantas ha⁻¹.

5.3 Fontes de silício e fungicidas

O fornecimento do Si via solo foi realizado utilizando o produto FertiSilica[®] (22,4% de Si solúvel (SiO₂.H₂O), PQ Silicas Brasil Ltda, São Paulo, Brasil), disponível na forma de pó, na dose de 300 kg ha⁻¹ do produto comercial (68 kg ha⁻¹ de Si), aplicando-se o produto de forma parcelada (150 kg ha⁻¹ em outubro e mais 150 kg ha⁻¹ em dezembro) na superfície do solo (projeção da saia das plantas de café). Já o fornecimento via foliar foi realizado mediante pulverizações do produto Silamol[®] (0,8% de Si solúvel como um concentrado estabilizado de ácido silícico, que forma ácido ortossilícico [Si(OH)₄] e ácido dissilícico quando diluído, 48% de PEG₄₀₀, Bioquick Tecnologia Imp. e

Exp. de Prod. Agropecuários Ltda, Cotia, SP), disponível na forma líquida, na dose de 1 L ha⁻¹.

Em relação aos fungicidas, os mesmos foram aplicados nas seguintes doses: triazol (Tilt[®] - 250 g L⁻¹ de propiconazol), na dose de 0,6 L ha⁻¹ do produto comercial; estrobirulina (Comet[®] - 250 g L⁻¹ de piraclostrobina), na dose de 0,8 L ha⁻¹ do produto comercial; e triazol + estrobirulina (Opera[®] - 50 g L⁻¹ de epoxiconazol + 133 g L⁻¹ de piraclostrobina), na dose de 1,5 L ha⁻¹ do produto comercial.

Todos os produtos (Si e fungicidas) foram aplicados nas doses descritas acima e nos meses outubro e dezembro de cada ano agrícola.

5.4 Cultivar utilizada

A cultivar de café arábica Catuaí Vermelho IAC 144, utilizada no presente experimento, originou-se do cruzamento realizado entre as cultivares Caturra e Mundo Novo, com a finalidade de associar a rusticidade e vigor da Mundo Novo com porte baixo e boa capacidade produtiva da Caturra. Os primeiros cruzamentos foram realizados em 1949, seguindo-se a seleção, sendo que a distribuição de sementes para plantios comerciais se deu no final da década de 1960 e na década de 1970. A palavra Catuaí vem do Guarani e significa “muito bom” (MATIELLO et al., 2010).

As plantas de café Catuaí apresentam como principais características o porte baixo, que facilita o manejo da lavoura e colheita, além da alta capacidade produtiva. A arquitetura da planta é cilíndrica e compacta, com folhagem de verde intenso. Por apresentar copa com ramagem compacta, dificulta a penetração de luz no dossel, o que pode acarretar em floração e maturação mais desigual e tardia, além de maior incidência de doenças foliares. Os frutos e grãos são menores em comparação à cultivar Mundo Novo, apresentando bebida, sólidos solúveis e teor de cafeína dentro dos padrões normais para café arábica (MATIELLO et al., 2010).

5.5 Condução do experimento

Todos os tratamentos foram aplicados em outubro e dezembro de 2012 e reaplicados nos mesmos meses de 2013 e 2014, todos de forma manual. O produto FetiSilica foi distribuído uniformemente sobre a superfície do solo, na projeção da saia das plantas de café, em duas parcelas iguais de 150 kg ha⁻¹ dentro do mesmo ano agrícola. Já os demais produtos foram aplicados utilizando-se pulverizador costal com reservatório de

10 L, sendo a barra de pulverização constituída de uma ponta do tipo jato plano "Teejet" XR 11002 VS. A calibração do equipamento foi proporcional a um volume de calda de 400 L ha⁻¹. Ressalta-se que todos os produtos líquidos foram aplicados separadamente, independentemente da existência de tratamentos onde havia associação de Si via foliar e fungicida, não sendo, portanto, realizada mistura no reservatório do pulverizador costal.

Durante todo o período em que o experimento foi desenvolvido, todas as práticas agrícolas (exceto controle fitossanitário com fungicidas) foram realizadas de acordo com as necessidades, bem como fertirrigação, seguindo-se os critérios do produtor.

5.6 Amostragens e avaliações

5.6.1 Atributos químicos do solo

Foram realizadas amostragens estratificadas do solo em outubro de 2013 e 2014 (antes da reaplicação dos tratamentos), nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade. Cada amostra foi composta por quatro amostras simples, coletadas na projeção da saia das plantas de café e entre as fileiras, utilizando-se trado tipo tubular fechado. As amostras compostas foram secas, seguindo-se do peneiramento das mesmas em malha de 2 mm. Posteriormente foram submetidas à análise química do solo de acordo com a metodologia proposta por Raij et al. (2001), determinando-se suas características químicas (pH, Matéria Orgânica, H⁺Al, P, K, Ca, Mg, Si e V%), além do teor de Si (KORNDÖRFER et al., 2004).

5.6.2 Teor de nutrientes e silício nas folhas

Para determinação dos teores foliares de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Fe, Cu e Mn) e Si foi coletado o 3º par de folhas a partir do ápice de ramos frutíferos (plagiotrópicos), na altura média da planta, em janeiro e junho de cada ano agrícola, coletando-se 20 folhas por parcela, conforme recomendações de Raij et al. (1997). As folhas foram submetidas à lavagem rápida com água destilada e colocadas para secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, por 72 horas, sendo em seguida moídas em moinho tipo Willey. Os teores de nutrientes foram determinados segundo metodologia descrita por Malavolta et al. (1997), e teor de Si segundo técnica descrita por Elliott e Snyder (1991) e adaptada por Korndörfer et al. (2004).

5.6.3 Determinações bioquímicas

Também foi coletado o 3º par de folhas a partir do ápice de ramos frutíferos, na altura média da planta, no início do verão (janeiro) de cada ano agrícola e imediatamente embrulhados em papel alumínio e imersos em N líquido sendo, em seguida, armazenados em ultrafreezer (-80 °C) para posteriores determinações da atividade das enzimas peroxidase (POD; EC 1.11.1.7) e polifenoloxidase (POF; EC 1.10.3.1).

As folhas de café foram maceradas em N líquido e homogeneizado em almofariz com pistilo em tampão acetato de sódio 50 mM pH 5,2 durante 3 min em banho de gelo. Após a filtração em pano de trama fina, a solução foi centrifugada a $12000 \times g$ (4 °C) por 15 min e o sobrenadante foi coletado. A proteína solúvel contida no sobrenadante foi determinada pelo método de Bradford (1976), usando uma curva padrão de albumina sérica bovina (BSA). A atividade de peroxidases de guaiacol foi determinada pela adição de 100µL do extrato enzimático ajustado para 2 mL de uma solução contendo acetato de sódio 50 mM pH 5,2, guaiacol 20mM e peróxido de hidrogênio 60 mM. Após incubação a 30 °C por 10 min, a absorbância foi medida a 480 nm (URBANEK et al., 1991). A atividade de polifenoloxidases foi determinada na ausência de peróxido de hidrogênio e utilizando como substrato catecol.

5.6.4 Avaliação de incidência de doenças

A incidência de ferrugem e cercosporiose foi avaliada coletando-se 5 folhas por planta, aleatoriamente, no terço médio das plantas, 3º e 4º pares de folhas a partir do ápice do ramo, totalizando 25 folhas por parcela, de janeiro de 2013 a fevereiro de 2015. Foi contado o número de folhas com lesões características de cada doença e, posteriormente, calculou-se a porcentagem de incidência das mesmas $[(n^\circ \text{ de folhas com lesões} \times 100)/(n^\circ \text{ total de folhas coletadas})]$.

5.6.5 Produtividade e rendimento de grãos beneficiados

A colheita ocorreu em 14 de junho de 2013, 13 de maio de 2014 e 17 de junho de 2015, de modo que a produtividade foi medida em quatro plantas escolhidas aleatoriamente dentro da área útil de cada parcela. Para tal, derriçou-se os frutos de café sobre um pano e, posteriormente, procedeu-se a secagem em estufa com circulação forçada de ar a 45 °C, por aproximadamente uma semana. Após a secagem, os frutos foram pesados e a umidade foi corrigida para 13% (base úmida).

Os frutos “em coco” foram beneficiados. Com isso, efetuou-se o cálculo de rendimento de grãos beneficiados, ou seja, a porcentagem que esses grãos beneficiados representam da quantidade colhida de frutos “em coco”. Feito isso, foi calculada a produtividade de grãos beneficiados, multiplicando-se os resultados de produtividade de frutos “em coco” pelo rendimento de grãos beneficiados, e os dados foram extrapolados para kg ha^{-1} .

5.6.6 Estádio de maturação dos grãos

Após a colheita de grãos de café em coco e antes de proceder-se com a secagem, separou-se uma amostra de 1 L dos mesmos para verificação da porcentagem dos grãos que se encontravam nos estádios de maturação verde, cereja (maduro) ou passa, com a finalidade de analisar se os tratamentos influenciaram na maturação dos grãos.

5.7 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste t (DMS) a 5% de probabilidade.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Teor de nutrientes e silício no solo e nas folhas

Em relação às características químicas do solo nos anos 2013 e 2014, apenas a forma de aplicação de Si afetou os teores de P na camada de 0,20-0,40 m de profundidade, sendo os maiores resultados obtidos com a aplicação do Si via solo (Tabelas 2 e 3). Para as demais características avaliadas, nenhum dos fatores influenciou significativamente os resultados, tanto na camada de 0-0,20 m como na 0,20-0,40 m de profundidade. Houve interação das formas de aplicação de Si $\times$ fungicidas significativa para os resultados de teor de Si solúvel no solo em 2013, em ambas as camadas, enquanto apenas a aplicação de Si teve efeito em 2014, também nas duas camadas (Tabela 4). Apesar da interação significativa no primeiro ano, os maiores teores do elemento no solo foram observados com a aplicação de Si via solo, independentemente do ano. Pilon et al. (2013) também observaram incremento no teor de Si solúvel no solo e nos teores foliares de P na cultura da batata mediante a aplicação do produto FertiSilica[®]. Sugere-se que o silicato desloca o P do colóide, fazendo com que este seja liberado para a solução do solo, em virtude do ânion silicato ocupar os pontos de adsorção do ânion fosfato (CARVALHO et al., 2001; EPSTEIN; BLOOM, 2005; POZZA et al., 2007). A ocorrência de competição entre o Si e o P pelos mesmos sítios de adsorção do solo também foi sugerida por outros autores (SILVA et al., 2003; CARNEIRO et al., 2006). Pozza et al. (2007), a fim de quantificar a dessorção competitiva entre os ânions silicato e fosfato na fração argila gibbsítica de um Gleissolo Melânico, com o Si e o P previamente adsorvidos ao material coloidal, acrescentando-se, subsequentemente, o P e o Si intercalados, demonstraram que a aplicação prévia de Si reduziu a fixação de fosfato. Portanto, os autores concluíram que a

aplicação de Si previamente à de P favorece a fitodisponibilidade deste em solos altamente intemperizados, gerando evidências da interação dos dois elementos. Eneji et al. (2008) também verificaram correlações entre Si e absorção de P, presumindo que o efeito fosse causado pela presença de Si no solo. Assim, a adsorção de Si pelas superfícies dos minerais de argila do solo tende a aumentar a disponibilidade de fosfato em solos oxídicos, como observado no presente trabalho, especialmente na camada de 0,20 a 0,40 m de profundidade devido à mobilidade deste ânion no solo.

Os teores de nutrientes e Si nas folhas da cultura do café nas cinco coletas estão apresentados nas Tabelas 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 e 14. O teor de N nas folhas da cultura do café foi influenciado pela aplicação de Si ou pela aplicação de fungicidas apenas na 3ª coleta, não sendo observados resultados significativos nas demais coletas (Tabelas 5, 7, 9, 11 e 13). Na 3ª coleta de folhas, os teores de N foram maiores quando se aplicou Si, seja via solo ou via foliar, em comparação com os teores de N obtidos na ausência da aplicação de Si. Quando se aplicou triazol + estrobirulina também foi observado os maiores teores foliares do nutriente (Tabela 9). Existem trabalhos na literatura nos quais são relatados que o Si promove maior aproveitamento de alguns nutrientes pelas plantas (SAVANT et al., 1999). Mali e Aery (2008a, 2008b) verificaram maior absorção de N por plantas de feijão-caupi e trigo em função de doses de silicato de sódio (entre 50 e 800 mg de Si por kg de solo). Ávila et al. (2010), apesar de não terem observado aumento dos teores de N foliar em plantas de arroz mediante aplicação de Si em solução nutritiva, relataram que os teores de clorofila *a* e *b* foram afetados pelo elemento. Os autores ressaltam que 50 a 70% do N-total das folhas são constituintes de enzimas relacionadas aos cloroplastos, ou seja, os teores de clorofila estão diretamente associados com o teor de N nas plantas. Eles comentam, ainda, que esse incremento na eficiência fotossintética pode também estar ligado com a maior absorção de NO_3^- , já que a fotossíntese requer gasto de dois moles de ATP para cada mol de NO_3^- absorvido. Nesse mesmo contexto, Al-Aghabary et al. (2005), Locarno et al. (2011) e Pilon et al. (2013) verificaram aumento no teor de clorofila em função da aplicação de Si para tomateiros, roseiras e batateiras, respectivamente. Mauad et al. (2003) também não observaram efeito do Si sobre os teores foliar de N em plantas de arroz, porém os valores ficaram dentro da faixa considerada adequada para a cultura.

Tabela 2. Probabilidade do teste F e valores médios para características químicas do solo, nas camadas 0-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade, em função da forma de aplicação de Si e aplicação de fungicidas. Outubro de 2013.

Tratamentos	pH (CaCl ₂)	MO (g dm ⁻³)	P _{resina} (g dm ⁻³)	H+Al	K	Ca	Mg	CTC	V (%)
Profundidade 0-20 cm									
Silício									
Controle	5,8	17,0	25,8	25,9	0,8	19,8	8,2	54,8	52
Si solo	5,7	16,9	28,1	28,3	0,6	18,4	8,4	55,7	49
Si foliar	5,5	16,3	28,3	33,3	0,8	17,2	7,8	59,1	44
Fontes de variação	ANAVA (Probabilidade do teste F)								
Silício (Si)	0,261	0,577	0,355	0,305	0,140	0,191	0,732	0,127	0,129
Fungicida (F)	0,255	0,526	0,100	0,540	0,281	0,523	0,071	0,113	0,192
Si × F	0,530	0,422	0,710	0,157	0,223	0,120	0,130	0,133	0,115
CV(%)	8,9	12,3	19,5	19,9	26,9	22,0	26,5	10,7	15,8
Profundidade 0,20-0,40 m									
Silício									
Controle	4,6	14,8	5,2b	42,1	0,7	8,4	5,1	56,2	26
Si solo	4,9	15,0	11,6a	41,1	0,8	10,7	5,7	57,4	30
Si foliar	4,8	15,5	8,0b	49,8	0,6	6,9	4,8	63,0	24
Fontes de variação	ANAVA (Probabilidade do teste F)								
Silício (Si)	0,466	0,525	<0,001	0,280	0,110	0,261	0,531	0,374	0,215
Fungicida (F)	0,238	0,296	0,171	0,184	0,301	0,140	0,224	0,249	0,220
Si × F	0,157	0,156	0,068	0,312	0,101	0,561	0,061	0,723	0,188
CV(%)	12,2	11,8	22,0	37,6	29,1	24,4	41,2	24,5	38,5

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste t ($p > 0,05$).

Tabela 3. Probabilidade do teste F e valores médios para características químicas do solo, nas camadas 0-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade, em função da forma de aplicação de Si e aplicação de fungicidas. Outubro de 2014.

Tratamentos	pH(CaCl ₂)	M.O. (g dm ⁻³)	P _{resina} (g dm ⁻³)	H+Al	K	Ca	Mg	CTC	V (%)
Profundidade 0-20 cm									
Silício									
Controle	5,0	20,1	51,2	25,8	1,6	19,8	8,8	56,0	54
Si solo	5,0	21,2	42,5	25,3	1,3	19,7	7,8	54,0	53
Si foliar	4,9	22,2	46,5	26,3	1,2	19,5	8,6	55,6	53
Fontes de variação	ANAVA (Probabilidade do teste F)								
Silício (Si)	0,887	0,171	0,067	0,309	0,096	0,069	0,389	0,345	0,082
Fungicida (F)	0,907	0,540	0,300	0,812	0,060	0,144	0,101	0,141	0,064
Si × F	0,200	0,222	0,675	0,890	0,449	0,460	0,324	0,585	0,126
CV(%)	8,3	7,9	13,0	17,4	19,6	16,4	14,5	10,7	9,3
Profundidade 0,20-0,40 m									
Silício									
Controle	5,3	21,6	18,4b	22,5	1,1	7,0	4,5	35,1	36
Si solo	4,8	22,4	23,6a	27,6	0,9	7,9	4,6	41,0	33
Si foliar	5,2	23,1	20,8b	24,4	1,1	8,1	5,1	38,7	38
Fontes de variação	ANAVA (Probabilidade do teste F)								
Silício (Si)	0,471	0,309	<0,001	0,244	0,214	0,870	0,289	0,285	0,265
Fungicida (F)	0,390	0,174	0,887	0,303	0,107	0,111	0,181	0,377	0,404
Si × F	0,095	0,199	0,098	0,412	0,357	0,115	0,171	0,675	0,324
CV(%)	7,0	9,5	15,9	15,7	19,7	18,2	22,7	10,0	9,6

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste t (p>0,05).

Tabela 4. Probabilidade do teste F e valores médios do teor de silício (Si) no solo, nas camadas 0-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade, em função da forma de aplicação de Si e aplicação de fungicidas. Outubro de 2013 e 2014.

Fungicidas	Silício			Média
	Controle	Si solo	Si foliar	
Si (mg dm ⁻³) - 0-0,20 m - outubro de 2013				
Controle	2,7abB	3,7aA	2,4bcB	2,9
Triazol	2,9aB	3,7aA	2,8abB	3,1
Estrobirulina	2,5abA	2,7bA	3,0aA	2,7
Triazol+Estrobirulina	2,2bB	3,3aA	2,2cB	2,5
Média	2,6	3,3	2,6	-----
Si (mg dm ⁻³) - 0,20-0,40 m - outubro de 2013				
Controle	3,0aA	3,5aA	3,3aA	3,3
Triazol	1,8bC	3,6aA	2,7aB	2,7
Estrobirulina	2,2bB	2,6bAB	3,2aA	2,6
Triazol+Estrobirulina	2,4abB	3,1abA	2,8aAB	2,8
Média	2,3	3,2	3,0	-----
Si (mg dm ⁻³) - 0-0,20 m - outubro de 2014				
Controle	2,7	3,7	1,4	2,6
Triazol	2,7	3,3	2,3	2,8
Estrobirulina	4,0	2,6	2,2	2,9
Triazol+Estrobirulina	1,4	4,1	2,6	2,7
Média	2,7B	3,4A	2,1B	-----
Si (mg dm ⁻³) - 0,20-0,40 m - outubro de 2014				
Controle	2,1	4,3	3,7	3,4
Triazol	2,9	3,9	2,9	3,2
Estrobirulina	3,2	2,7	2,7	2,9
Triazol+Estrobirulina	3,4	2,7	3,3	3,2
Média	2,9B	3,5A	3,2AB	-----
ANOVA (Probabilidade do teste F)				
Fontes de variação	0-0,20 m - 2013	0,20-0,40 m - 2013	0-0,20 m - 2014	0,20-0,40 m - 2014
Silício (Si)	0,084	0,020	<0,001	0,050
Fungicida (F)	0,070	0,189	0,642	0,249
Si × F	<0,001	0,001	0,359	0,082
CV(%)	14,4	18,1	17,8	18,5

Médias seguidas de letras distintas, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem entre si pelo teste t (p>0,05).

Tabela 5. Probabilidade do teste F e valores médios para os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), nas folhas de caféiro, em função da forma de aplicação de Si e aplicação de fungicidas. 1ª coleta (15/01/2013).

Fungicidas	Silício			Média		
	Controle	Si solo	Si foliar			
N (g kg ⁻¹)						
Controle	37,5	39,1	36,6	37,7		
Triazol	34,3	37,8	38,5	36,9		
Estrobirulina	40,1	36,5	36,8	37,8		
Triazol+Estrobirulina	36,9	47,6	41,2	41,9		
Média	37,2	40,2	38,3	-----		
P (g kg ⁻¹)						
Controle	1,5	1,2	1,3	1,3		
Triazol	1,5	1,5	1,4	1,4		
Estrobirulina	1,4	1,6	1,4	1,4		
Triazol+Estrobirulina	1,3	1,5	1,5	1,4		
Média	1,4	1,4	1,4	-----		
K (g kg ⁻¹)						
Controle	31,2	30,3	30,1	30,6		
Triazol	32,4	29,7	31,3	31,1		
Estrobirulina	30,9	30,3	31,3	30,8		
Triazol+Estrobirulina	29,5	31,0	31,1	30,5		
Média	31,0	30,3	30,9	-----		
Ca (g kg ⁻¹)						
Controle	19,5	18,3	18,7	18,8		
Triazol	19,9	19,2	19,1	19,4		
Estrobirulina	19,1	19,8	19,1	19,4		
Triazol+Estrobirulina	19,1	20,0	18,5	19,2		
Média	19,4	19,4	18,8	-----		
Mg (g kg ⁻¹)						
Controle	2,2	1,8	2,1	2,0		
Triazol	2,4	2,3	2,3	2,3		
Estrobirulina	2,1	2,5	2,2	2,3		
Triazol+Estrobirulina	2,7	2,4	2,0	2,4		
Média	2,3	2,2	2,1	-----		
S (g kg ⁻¹)						
Controle	2,3	2,3	2,3	2,3		
Triazol	2,2	2,1	2,3	2,2		
Estrobirulina	2,1	2,6	2,5	2,4		
Triazol+Estrobirulina	2,3	2,3	2,4	2,3		
Média	2,2	2,3	2,4	-----		
ANOVA (Probabilidade do teste F)						
Fontes de variação	N	P	K	Ca	Mg	S
Silício (Si)	0,656	0,525	0,606	0,244	0,258	0,767
Fungicida (F)	0,563	0,461	0,895	0,559	0,168	0,842
Si × F	0,841	0,439	0,542	0,394	0,158	0,940
CV(%)	24,2	14,6	6,7	5,5	16,5	22,7

Médias seguidas de letras distintas, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem entre si pelo teste t (p>0,05).

Tabela 6. Probabilidade do teste F e valores médios para os teores de cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn), ferro (Fe) e silício (Si), nas folhas de cafeeiro, em função da forma de aplicação de Si e aplicação de fungicidas. 1ª coleta (15/01/2013).

Fungicidas	Silício			Média	
	Controle	Si solo	Si foliar		
Cu (mg kg ⁻¹)					
Controle	10,2	9,0	11,6	10,3	
Triazol	7,4	9,4	8,6	8,5	
Estrobirulina	12,2	16,8	9,2	12,7	
Triazol+Estrobirulina	11,2	9,0	9,2	9,8	
Média	10,2	11,1	9,6	-----	
Zn (mg kg ⁻¹)					
Controle	21,4	20,8	20,7	21,0	
Triazol	22,0	20,7	22,1	21,6	
Estrobirulina	21,2	22,1	21,0	21,4	
Triazol+Estrobirulina	20,8	21,0	21,5	21,1	
Média	21,4	21,2	21,3	-----	
Mn (mg kg ⁻¹)					
Controle	53,9	57,8	41,7	51,1	
Triazol	65,5	59,1	52,1	58,9	
Estrobirulina	59,1	39,9	62,1	53,7	
Triazol+Estrobirulina	41,9	67,3	41,9	50,4	
Média	55,1	56,0	49,4	-----	
Fe (mg kg ⁻¹)					
Controle	118,6	115,3	91,8	108,6	
Triazol	108,5	106,8	111,6	109,0	
Estrobirulina	89,2	106,3	104,1	99,9	
Triazol+Estrobirulina	101,5	99,5	119,8	107,0	
Média	104,5	107,0	106,8	-----	
Si (g kg ⁻¹)					
Controle	0,82aA	0,77cA	0,72cA	0,77	
Triazol	0,95aB	1,15bA	0,97abB	1,02	
Estrobirulina	0,90aB	0,82cB	1,10aA	0,94	
Triazol+Estrobirulina	0,82aB	1,30aA	0,92bB	1,02	
Média	0,87	1,01	0,93	-----	
ANAVA (Probabilidade do teste F)					
Fontes de variação	Cu	Zn	Mn	Fe	Si
Silício (Si)	0,718	0,853	0,607	0,923	0,001
Fungicida (F)	0,206	0,559	0,721	0,650	<0,001
Si × F	0,474	0,338	0,236	0,229	<0,001
CV(%)	47,3	5,38	37,3	18,6	10,3

Médias seguidas de letras distintas, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem entre si pelo teste t (p>0,05).

Tabela 7. Probabilidade do teste F e valores médios para os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), nas folhas de cafeeiro, em função da forma de aplicação de Si e aplicação de fungicidas. 2ª coleta (12/06/2013).

Fungicidas	Silício			Média		
	Controle	Si solo	Si foliar			
N (g kg ⁻¹)						
Controle	33,4	34,6	33,8	33,9		
Triazol	35,0	32,8	34,2	34,0		
Estrobirulina	33,7	34,4	33,6	33,9		
Triazol+Estrobirulina	33,9	33,5	35,1	34,2		
Média	34,0	33,8	34,2	-----		
P (g kg ⁻¹)						
Controle	1,4	1,4	1,1	1,3		
Triazol	1,2	1,3	1,5	1,3		
Estrobirulina	1,4	1,7	1,2	1,4		
Triazol+Estrobirulina	1,5	1,6	1,3	1,5		
Média	1,4	1,5	1,3	-----		
K (g kg ⁻¹)						
Controle	27,1	26,6	26,2	26,6		
Triazol	27,0	25,9	28,4	27,1		
Estrobirulina	26,4	27,3	27,5	27,1		
Triazol+Estrobirulina	25,2	27,2	28,3	26,9		
Média	26,4	26,7	27,6	-----		
Ca (g kg ⁻¹)						
Controle	18,0	18,1	18,4	18,2		
Triazol	18,2	17,7	18,4	18,1		
Estrobirulina	19,0	18,9	18,7	18,9		
Triazol+Estrobirulina	18,7	19,2	19,0	19,0		
Média	18,5	18,5	18,7	-----		
Mg (g kg ⁻¹)						
Controle	2,3	2,4	2,5	2,4		
Triazol	2,3	2,3	2,4	2,3		
Estrobirulina	2,5	2,7	2,5	2,6		
Triazol+Estrobirulina	2,6	2,5	2,5	2,5		
Média	2,4	2,5	2,5	-----		
S (g kg ⁻¹)						
Controle	1,2	1,1	1,1	1,1		
Triazol	1,0	0,9	1,1	1,0		
Estrobirulina	0,7	1,1	1,1	1,0		
Triazol+Estrobirulina	0,9	0,8	1,6	1,1		
Média	0,9	0,9	1,2	-----		
ANAVA (Probabilidade do teste F)						
Fontes de variação	N	P	K	Ca	Mg	S
Silício (Si)	0,885	0,108	0,338	0,869	0,819	0,134
Fungicida (F)	0,989	0,543	0,953	0,135	0,168	0,782
Si × F	0,614	0,501	0,565	0,948	0,952	0,436
CV(%)	6,1	22,5	8,5	5,9	13,0	42,5

Médias seguidas de letras distintas, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem entre si pelo teste t (p>0,05).

Tabela 8. Probabilidade do teste F e valores médios para os teores de cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn), ferro (Fe) e silício (Si), nas folhas de cafeeiro, em função da forma de aplicação de Si e aplicação de fungicidas. 2^a coleta (12/06/2013).

Fungicidas	Silício			Média	
	Controle	Si solo	Si foliar		
Cu (mg kg ⁻¹)					
Controle	13,6	23,7	12,8	16,7	
Triazol	15,6	15,8	13,8	15,1	
Estrobirulina	13,0	28,4	28,5	23,3	
Triazol+Estrobirulina	27,5	32,8	12,6	24,3	
Média	17,4	25,2	16,9	-----	
Zn (mg kg ⁻¹)					
Controle	19,8	20,5	19,2	19,8	
Triazol	19,0	19,1	23,5	20,5	
Estrobirulina	18,9	29,6	28,5	25,7	
Triazol+Estrobirulina	23,1	20,5	23,6	22,4	
Média	20,2	22,4	23,7	-----	
Mn (mg kg ⁻¹)					
Controle	43,7	71,4	61,9	59,0	
Triazol	72,4	59,5	52,6	61,5	
Estrobirulina	54,9	39,6	77,2	57,3	
Triazol+Estrobirulina	44,3	70,6	61,0	58,6	
Média	53,9	60,3	63,2	-----	
Fe (mg kg ⁻¹)					
Controle	66,6	103,8	71,5	80,6	
Triazol	61,0	78,6	96,1	78,6	
Estrobirulina	74,4	87,5	102,9	88,3	
Triazol+Estrobirulina	92,0	97,5	74,2	87,9	
Média	73,6	91,9	86,2	-----	
Si (g kg ⁻¹)					
Controle	0,62bA	0,57bA	0,72bA	0,64	
Triazol	0,67bA	0,67bA	0,75bA	0,70	
Estrobirulina	0,75aC	0,95aB	1,20aA	0,97	
Triazol+Estrobirulina	0,87aA	0,75bA	0,87bA	0,83	
Média	0,73	0,74	0,89	-----	
ANAVA (Probabilidade do teste F)					
Fontes de variação	Cu	Zn	Mn	Fe	Si
Silício (Si)	0,121	0,128	0,404	0,068	0,079
Fungicida (F)	0,565	0,503	0,962	0,612	<0,001
Si × F	0,445	0,111	0,063	0,098	0,003
CV(%)	18,6	21,4	33,5	26,2	16,6

Médias seguidas de letras distintas, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem entre si pelo teste t (p>0,05).

Tabela 9. Probabilidade do teste F e valores médios para os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), nas folhas de cafeeiro, em função da forma de aplicação de Si e aplicação de fungicidas. 3ª coleta (15/01/2014).

Fungicidas	Silício			Média		
	Controle	Si solo	Si foliar			
N (g kg ⁻¹)						
Controle	27,2	37,3	37,8	34,1b		
Triazol	28,0	36,6	33,7	32,8b		
Estrobirulina	28,1	27,2	36,2	30,5b		
Triazol+Estrobirulina	35,6	38,0	40,5	38,0a		
Média	29,7B	34,7A	37,0A	-----		
P (g kg ⁻¹)						
Controle	1,2abB	1,2aB	1,6aA	1,3		
Triazol	1,4aA	1,3aA	1,3bcA	1,3		
Estrobirulina	1,1bB	1,4aA	1,5abA	1,3		
Triazol+Estrobirulina	1,3abA	1,2aA	1,2cA	1,2		
Média	1,3	1,3	1,4	-----		
K (g kg ⁻¹)						
Controle	22,3	22,4	25,4	23,4		
Triazol	23,4	24,8	24,5	24,2		
Estrobirulina	24,5	22,8	23,1	23,5		
Triazol+Estrobirulina	24,6	23,3	21,8	23,2		
Média	23,7	23,3	23,7	-----		
Ca (g kg ⁻¹)						
Controle	17,4	16,7	16,6	16,9		
Triazol	17,2	16,9	17,8	17,3		
Estrobirulina	17,5	17,8	18,3	17,9		
Triazol+Estrobirulina	16,6	16,1	16,2	16,3		
Média	17,2	16,9	17,2	-----		
Mg (g kg ⁻¹)						
Controle	2,3	2,2	2,2	2,2		
Triazol	2,3	2,3	2,4	2,3		
Estrobirulina	2,5	2,6	2,5	2,5		
Triazol+Estrobirulina	2,4	2,1	2,1	2,2		
Média	2,4	2,3	2,3	-----		
S (g kg ⁻¹)						
Controle	1,0	1,2	1,6	1,3		
Triazol	1,4	1,0	1,1	1,1		
Estrobirulina	1,0	1,2	0,6	0,9		
Triazol+Estrobirulina	0,8	0,9	0,7	0,8		
Média	1,0	1,1	1,0	-----		
ANAVA (Probabilidade do teste F)						
Fontes de variação	N	P	K	Ca	Mg	S
Silício (Si)	0,001	0,104	0,910	0,734	0,507	0,796
Fungicida (F)	0,009	0,224	0,823	0,384	0,066	0,570
Si × F	0,223	0,011	0,430	0,897	0,850	0,561
CV(%)	15,3	13,2	12,1	7,5	14,0	35,7

Médias seguidas de letras distintas, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem entre si pelo teste t (p>0,05).

Tabela 10. Probabilidade do teste F e valores médios para os teores de cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn), ferro (Fe) e silício (Si), nas folhas de cafeeiro, em função da forma de aplicação de Si e aplicação de fungicidas. 3ª coleta (15/01/2014).

Fungicidas	Silício			Média	
	Controle	Si solo	Si foliar		
Cu (mg kg ⁻¹)					
Controle	10,6	12,4	11,6	11,5	
Triazol	10,0	13,2	11,2	11,5	
Estrobirulina	11,2	12,6	10,2	11,3	
Triazol+Estrobirulina	10,8	12,8	11,4	11,7	
Média	10,6	12,7	11,1	-----	
Zn (mg kg ⁻¹)					
Controle	22,3	21,5	22,1	21,9	
Triazol	22,0	23,7	21,6	22,4	
Estrobirulina	23,1	23,0	21,2	22,4	
Triazol+Estrobirulina	22,7	22,7	22,2	22,5	
Média	22,5	22,7	21,8	-----	
Mn (mg kg ⁻¹)					
Controle	25,7	32,4	42,1	33,4	
Triazol	28,2	32,5	30,6	30,4	
Estrobirulina	27,4	25,1	26,3	26,3	
Triazol+Estrobirulina	31,1	36,2	33,7	33,7	
Média	28,1	31,6	33,2	-----	
Fe (mg kg ⁻¹)					
Controle	73,0	83,6	95,7	84,1	
Triazol	87,5	104,5	98,4	96,8	
Estrobirulina	72,6	81,0	101,2	84,9	
Triazol+Estrobirulina	69,0	80,4	64,1	71,2	
Média	75,5	87,4	89,8	-----	
Si (g kg ⁻¹)					
Controle	0,82	0,80	0,77	0,80	
Triazol	0,72	0,72	0,80	0,75	
Estrobirulina	0,90	0,92	0,75	0,86	
Triazol+Estrobirulina	0,80	0,82	0,85	0,82	
Média	0,81	0,82	0,79	-----	
ANAVA (Probabilidade do teste F)					
Fontes de variação	Cu	Zn	Mn	Fe	Si
Silício (Si)	0,297	0,057	0,254	0,295	0,841
Fungicida (F)	0,987	0,577	0,148	0,169	0,206
Si × F	0,943	0,164	0,477	0,834	0,456
CV(%)	19,4	5,1	28,1	32,3	15,4

Médias seguidas de letras distintas, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem entre si pelo teste t (p>0,05).

Tabela 11. Probabilidade do teste F e valores médios para os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), nas folhas de cafeeiro, em função da forma de aplicação de Si e aplicação de fungicidas. 4ª coleta (16/06/2014).

Fungicidas	Silício			Média		
	Controle	Si solo	Si foliar			
N (g kg ⁻¹)						
Controle	32,1	33,5	34,2	33,3		
Triazol	34,1	35,9	33,6	34,5		
Estrobirulina	33,4	33,2	34,9	33,9		
Triazol+Estrobirulina	35,8	32,0	34,6	34,1		
Média	33,8	33,7	34,3	-----		
P (g kg ⁻¹)						
Controle	1,5	1,9	1,5	1,6		
Triazol	1,5	1,6	1,3	1,5		
Estrobirulina	1,4	1,6	1,3	1,4		
Triazol+Estrobirulina	1,5	1,4	1,6	1,5		
Média	1,5B	1,6A	1,4B	-----		
K (g kg ⁻¹)						
Controle	22,2	20,5	20,0	20,9		
Triazol	21,3	22,6	21,2	21,7		
Estrobirulina	22,0	21,0	22,0	21,6		
Triazol+Estrobirulina	21,9	19,8	21,8	21,2		
Média	21,9	21,0	21,2	-----		
Ca (g kg ⁻¹)						
Controle	17,9	18,0	19,4	18,4		
Triazol	18,7	18,7	18,3	18,6		
Estrobirulina	19,0	18,3	18,3	18,6		
Triazol+Estrobirulina	19,4	18,7	18,0	18,7		
Média	18,7	18,4	18,5	-----		
Mg (g kg ⁻¹)						
Controle	3,1	3,5	3,5	3,3		
Triazol	5,3	3,5	3,4	4,0		
Estrobirulina	3,4	3,6	3,4	3,5		
Triazol+Estrobirulina	3,5	3,5	3,4	3,5		
Média	3,8	3,5	3,4	-----		
S (g kg ⁻¹)						
Controle	0,9	1,0	1,0	0,9		
Triazol	1,1	1,3	1,0	1,1		
Estrobirulina	1,0	1,0	1,0	1,0		
Triazol+Estrobirulina	1,0	1,1	1,1	1,1		
Média	1,0	1,1	1,0	-----		
ANAVA (Probabilidade do teste F)						
Fontes de variação	N	P	K	Ca	Mg	S
Silício (Si)	0,723	0,018	0,140	0,629	0,183	0,199
Fungicida (F)	0,639	0,228	0,400	0,912	0,319	0,270
Si × F	0,200	0,196	0,065	0,103	0,490	0,233
CV(%)	7,1	19,1	11,4	11,0	16,7	8,5

Médias seguidas de letras distintas, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem entre si pelo teste t (p>0,05).

Tabela 12. Probabilidade do teste F e valores médios para os teores de cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn), ferro (Fe) e silício (Si), nas folhas de cafeeiro, em função da forma de aplicação de Si e aplicação de fungicidas. 4ª coleta (16/06/2014).

Fungicidas	Silício			Média	
	Controle	Si solo	Si foliar		
Cu (mg kg ⁻¹)					
Controle	15,0	12,8	8,9	12,2	
Triazol	8,9	8,9	15,0	10,9	
Estrobirulina	10,0	14,4	12,8	12,4	
Triazol+Estrobirulina	12,2	8,3	8,3	9,6	
Média	11,5	11,1	11,3	-----	
Zn (mg kg ⁻¹)					
Controle	25,8	20,5	25,4	23,9	
Triazol	18,6	18,3	21,4	19,4	
Estrobirulina	29,6	22,4	27,3	26,4	
Triazol+Estrobirulina	21,1	20,1	15,7	19,0	
Média	23,8	20,4	22,4	-----	
Mn (mg kg ⁻¹)					
Controle	48,6	38,1	36,9	41,2	
Triazol	49,7	65,0	73,0	62,6	
Estrobirulina	45,3	46,3	46,1	45,9	
Triazol+Estrobirulina	62,2	50,8	41,3	51,5	
Média	51,5	50,1	49,3	-----	
Fe (mg kg ⁻¹)					
Controle	151,0	144,7	178,0	157,9	
Triazol	99,7	104,2	157,2	120,4	
Estrobirulina	131,0	149,2	151,0	143,7	
Triazol+Estrobirulina	198,7	170,0	163,7	177,5	
Média	145,1	142,1	162,5	-----	
Si (g kg ⁻¹)					
Controle	1,12	1,05	1,10	1,09	
Triazol	1,10	1,12	1,02	1,08	
Estrobirulina	1,15	1,07	1,12	1,12	
Triazol+Estrobirulina	1,02	1,07	1,07	1,06	
Média	1,10	1,08	1,08	-----	
ANAVA (Probabilidade do teste F)					
Fontes de variação	Cu	Zn	Mn	Fe	Si
Silício (Si)	0,171	0,634	0,252	0,145	0,759
Fungicida (F)	0,842	0,153	0,823	0,070	0,392
Si × F	0,076	0,338	0,390	0,118	0,338
CV(%)	18,1	22,0	19,4	20,5	7,5

Médias seguidas de letras distintas, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem entre si pelo teste t (p>0,05).

Tabela 13. Probabilidade do teste F e valores médios para os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), nas folhas de cafeeiro, em função da forma de aplicação de Si e aplicação de fungicidas. 5ª coleta (14/01/2015).

Fungicidas	Silício			Média		
	Controle	Si solo	Si foliar			
N (g kg ⁻¹)						
Controle	33,0	34,9	32,9	33,6		
Triazol	35,4	32,6	34,5	34,2		
Estrobirulina	35,5	34,2	32,9	34,2		
Triazol+Estrobirulina	32,6	35,8	35,7	34,7		
Média	34,1	34,4	34,0	-----		
P (g kg ⁻¹)						
Controle	1,0	1,1	1,1	1,1		
Triazol	1,3	1,1	1,2	1,2		
Estrobirulina	1,0	1,2	1,2	1,1		
Triazol+Estrobirulina	1,2	1,2	1,0	1,1		
Média	1,1	1,1	1,1	-----		
K (g kg ⁻¹)						
Controle	26,2	26,8	26,0	26,4		
Triazol	27,6	26,3	25,9	26,6		
Estrobirulina	25,0	26,7	25,6	25,7		
Triazol+Estrobirulina	25,9	27,1	25,9	26,8		
Média	26,6	26,7	25,9	-----		
Ca (g kg ⁻¹)						
Controle	17,3	17,0	17,8	17,3		
Triazol	17,5	17,4	17,6	17,5		
Estrobirulina	16,9	17,4	17,2	17,2		
Triazol+Estrobirulina	17,4	17,0	17,3	17,2		
Média	17,3	17,2	17,5	-		
Mg (g kg ⁻¹)						
Controle	3,3	3,4	3,1	3,3		
Triazol	3,2	3,2	3,2	3,2		
Estrobirulina	3,2	3,3	3,2	3,2		
Triazol+Estrobirulina	3,3	3,1	3,4	3,2		
Média	3,2	3,2	3,2	-----		
S (g kg ⁻¹)						
Controle	1,1	1,3	1,0	1,1		
Triazol	1,0	1,1	0,9	1,0		
Estrobirulina	1,0	1,0	1,1	1,0		
Triazol+Estrobirulina	1,0	1,1	1,1	1,1		
Média	1,0	1,1	1,0	-----		
ANAVA (Probabilidade do teste F)						
Fontes de variação	N	P	K	Ca	Mg	S
Silício (Si)	0,883	0,673	0,279	0,579	0,926	0,166
Fungicida (F)	0,698	0,354	0,403	0,791	0,892	0,066
Si × F	0,066	0,254	0,616	0,818	0,699	0,300
CV(%)	6,5	16,7	14,0	10,8	10,1	7,4

Médias seguidas de letras distintas, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem entre si pelo teste t (p>0,05).

Tabela 14. Probabilidade do teste F e valores médios para os teores de cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn), ferro (Fe) e silício (Si), nas folhas de cafeeiro, em função da forma de aplicação de Si e aplicação de fungicidas. 5ª coleta (14/01/2015).

Fungicidas	Silício			Média	
	Controle	Si solo	Si foliar		
Cu (mg kg ⁻¹)					
Controle	10,6	12,8	12,8	12,1	
Triazol	16,7	11,7	10,5	13,0	
Estrobirulina	12,8	10,5	12,8	12,0	
Triazol+Estrobirulina	10,6	11,7	11,2	11,1	
Média	12,7	11,7	11,8	-----	
Zn (mg kg ⁻¹)					
Controle	17,5	19,5	18,4	18,5	
Triazol	22,6	17,6	23,0	21,1	
Estrobirulina	17,1	17,9	19,0	18,0	
Triazol+Estrobirulina	20,9	18,3	18,7	19,3	
Média	19,5	18,3	19,8	-----	
Mn (mg kg ⁻¹)					
Controle	47,4	57,5	57,1	54,0	
Triazol	52,6	54,4	46,3	51,1	
Estrobirulina	47,1	56,6	43,1	48,9	
Triazol+Estrobirulina	50,1	38,3	46,3	44,9	
Média	49,3	51,7	48,2	-----	
Fe (mg kg ⁻¹)					
Controle	96,2	108,7	103,2	102,7	
Triazol	83,7	94,2	93,7	90,6	
Estrobirulina	131,0	106,7	92,7	110,2	
Triazol+Estrobirulina	107,2	127,7	80,2	105,1	
Média	104,6	109,4	92,5	-----	
Si (g kg ⁻¹)					
Controle	0,87bA	0,92bA	0,95aA	0,92	
Triazol	0,87bA	0,90bA	0,97aA	0,92	
Estrobirulina	0,85bB	1,00aA	0,97aA	0,94	
Triazol+Estrobirulina	0,95aA	0,97aA	0,87bA	0,93	
Média	0,88	0,95	0,94	-----	
ANAVA (Probabilidade do teste F)					
Fontes de variação	Cu	Zn	Mn	Fe	Si
Silício (Si)	0,414	0,434	0,741	0,136	0,469
Fungicida (F)	0,272	0,139	0,390	0,246	0,777
Si × F	0,096	0,302	0,472	0,160	0,013
CV(%)	18,8	17,3	26,2	23,4	7,7

Médias seguidas de letras distintas, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem entre si pelo teste t (p>0,05).

Outra explicação para o aumento dos teores de N nas folhas da cultura do café seria a aplicação de fungicida contendo estrobirulina, que é um composto secundário que possui ação mitocondrial específica, causando a inibição do transporte de elétrons entre os citocromos *b* e *c* na cadeia transportadora, o que acarreta na diminuição da produção de ATP (ANKE, 1995). Em virtude dessa inibição, ocorre a acidificação do citoplasma, culminando no aumento da atividade da enzima nitrato redutase e, como consequência, maior absorção de N pelas plantas (GLAAB; KAISER, 1999). Outros autores atribuem efeitos fisiológicos às estrobirulinas, como aumentos da atividade fotossintética (KASELE et al., 1995; GOPI et al., 2005) e do teor foliar de clorofila (GAO et al., 1988; KISHOREKUMAR et al. 2006), o que estão relacionados diretamente com o teor foliar de N.

O teor de P nas folhas do cafeeiro foi afetado na 3^a e 4^a coletas, pela interação entre a forma de aplicação de Si × aplicação de fungicidas e apenas pela forma de aplicação de Si, respectivamente (Tabelas 9 e 11). Na 3^a coleta de folhas, os teores de P foram maiores, no geral, quando se combinou a aplicação de Si, via solo ou foliar, com algum fungicida ou mesmo, em alguns casos, quando não se aplicou nenhum fungicida (Tabela 9). Já na 4^a coleta, os teores foliares de P foram maiores em virtude da aplicação de Si via solo (Tabela 11), o que também proporcionou maiores teores do nutriente na camada de 0,20-040 cm do solo, verificados em outubro de 2013 (Tabela 2) e em outubro de 2014 (Tabela 3). Esse fato pode estar relacionado à “competição” entre os íons silicato e fosfato pelo mesmo sítio de adsorção dentro do complexo de troca de íons no solo. Sugere-se que o silicato desloca o P do colóide, fazendo com que este seja liberado para a solução do solo, em virtude do ânion silicato ocupar os pontos de adsorção do ânion fosfato (CARVALHO et al., 2001; SILVA et al., 2003; EPSTEIN; BLOOM, 2005; CARNEIRO et al., 2006; POZZA et al., 2007), como já discutido anteriormente.

Todavia, alguns estudos sugerem que o aumento na absorção de P, mediante adição de Si, poderia ser causado por mecanismos internos da planta, acarretando em uso mais eficiente do P através do aumento na fosforilação ou na diminuição da concentração de Mn (GUNTZER et al. 2012). No presente trabalho, pode-se dizer que o aumento nos teores de P nas folhas da cultura do café ocorreu em função do efeito do Si no solo, ou ainda aumentando a fosforilação, especialmente quando se aplicou Si via foliar, uma vez que os teores de Mn não foram afetados pelos tratamentos contendo Si (Tabelas 6, 8, 10, 12 e 14). Pilon et al. (2013) e Pulz et al. (2008) também verificaram aumento dos

teores foliares de P da cultura da batata em virtude da aplicação de Si, especialmente via solo.

Em relação à melhor eficiência do uso de P pelas plantas ocasionada pela aplicação de Si, Shen et al. (2009) observaram, mediante aplicação de Si em solução nutritiva, aumento do teor foliar de P em plantas de soja. Também trabalhando com solução nutritiva, Bakhat (2012) obtiveram equilíbrio nutricional, incluindo o teor de P, em plantas de milho tratadas com Si. Salienta-se que experimentos utilizando solução nutritiva, ao contrário do que pode ocorrer em experimentos que utilizam solo, teriam como vantagem a pronta disponibilidade de P às plantas, uma vez que o nutriente é fornecido em uma forma solúvel e não sofre adsorção aos colóides. Desse modo, seria mais bem evidenciado o efeito positivo do Si sobre a eficiência na utilização/absorção de P pelas plantas. Essa melhoria no uso do P é um ponto favorável da aplicação do Si na agricultura, visto que a disponibilidade do P é um fator limitante para produção agrícola em solos intemperizados de regiões tropicais e subtropicais (HINSINGER, 2001). Baseando-se nos resultados obtidos no presente trabalho, bem como em outros encontrados na literatura, é de extrema importância não subjuar, apesar de ser controvertida, a importância do Si para o sistema solo-planta, visto que os benefícios proporcionados por esse elemento acarretam em respostas positivas das culturas agrícolas, não somente em virtude da absorção do Si e consequente alterações na fisiologia das plantas, mas também de suas reações no solo, as quais possibilitam, por exemplo, o aumento dos teores de P e redução de alguns metais pesados, culminando em maior estabilidade produtiva (MENEGALE et al., 2015).

Os teores dos demais macronutrientes nas folhas do cafeeiro não foram influenciados pelos fatores estudados em nenhuma das coletas (Tabelas 5, 7, 9, 11, e 13). Quanto aos micronutrientes, também nenhum teor foi alterado pelos fatores estudados (Tabelas 6, 8, 10, 12 e 14). No geral, os teores dos nutrientes ficaram dentro ou próximo das faixas consideradas adequadas para a cultura do café, as quais são 26 a 32 g kg⁻¹, 1,2 a 2,0 g kg⁻¹, 19 a 25 g kg⁻¹, 10 a 15 g kg⁻¹, 3,0 a 5,0 g kg⁻¹ e 1,5 a 2,0 g kg⁻¹, respectivamente, para N, P, K, Ca, Mg e S, e 10 a 20 mg kg⁻¹, 10 a 20 mg kg⁻¹, 50 a 200 mg kg⁻¹ e 50 a 20 mg kg⁻¹, respectivamente, para Cu, Zn, Fe e Mn (RAIJ et al., 1997), independentemente dos resultados obtidos nas análises de solo (Tabelas 2 e 3).

Em relação aos teores de Si nas folhas da cultura do café, os mesmos foram afetados pela interação das formas de aplicação de Si e aplicação de fungicidas apenas na 1^a, 2^a e 5^a coletas (Tabelas 6, 8, 10, 12 e 14). Os teores foliares de Si

na 1ª coleta foram maiores quando se aplicou alguma forma de Si associado à estrobirulina ou triazol + estrobirulina (Tabela 6). Já na 2ª coleta, o teor foliar de Si foi maior na associação de Si via foliar com o fungicida estrobirulina, superando o controle sem aplicação de Si, bem como os demais fungicidas (Tabela 8). De maneira semelhante apresentam-se os resultados da 5ª coleta, onde as associações de Si via foliar ou via solo com a estrobirulina proporcionaram os maiores teores de Si nas folhas da cultura do café (Tabela 14). O aumento nos teores foliares de Si pode estar relacionado com os maiores teores do elemento tanto na camada de 0-0,20 cm como na 0,20-0,40 cm do solo, observado nas análises realizadas em outubro de 2013 e outubro de 2014, principalmente quando se aplicou Si via solo (Tabela 4).

Mancuso et al. (2014) observaram aumento do teor foliar de Si nas folhas da cultura do café em função da aplicação de uma rocha potássica moída contendo 52,2% de SiO_2 . Cunha et al. (2012), trabalhando com mudas de cafeeiro em solução nutritiva com e sem adição de Si, verificaram que o elemento foi absorvido em maiores quantidades na solução com Si, acumulando-se principalmente nas folhas das plantas. Entretanto, esse mesmo tratamento diminuiu o acúmulo de P, K, Ca, Zn, Cu e Fe nas mudas de cafeeiro, o que difere dos resultados obtidos no presente trabalho. Também trabalhando com mudas de cafeeiro, cultivares Catuaí, Mundo Novo e Icatu, Pozza et al. (2009) verificaram aumento dos teores de Si nas folhas em função da aplicação de silicato de cálcio em substrato. Todos esses trabalhos evidenciaram que o Si é absorvido, transportado e acumulado nas folhas da cultura do café, o que pode gerar diversos benefícios à cultura, como proteção contra estresses bióticos e abióticos, além de aumento da produtividade de grãos.

Apesar desses benefícios às culturas agrícolas, os efeitos do Si sobre os processos que conferem tolerância a esses estresses, com consequente aumento de produtividade, ainda são pouco compreendidos, principalmente para culturas não acumuladoras do elemento, como o café, além de haver escassez de trabalhos nessa área. Mesmo assim, o elemento é utilizado rotineiramente como fertilizante em culturas como arroz e cana-de-açúcar (SAVANT et al., 1999; MA et al., 2007), que acumulam elevadas quantidades de Si nos tecidos das folhas. Desse modo, torna-se necessário que sejam realizados mais trabalhos com a aplicação do elemento, especialmente em espécies não-acumuladoras, a fim de tornar mais claro o papel que o Si desempenha nessas plantas,

utilizando-se de análises bioquímicas e fisiológicas que demonstrem os mecanismos de melhor nutrição proporcionados pelo elemento.

6.2 Determinações bioquímicas

Nas três coletas realizadas para as determinações bioquímicas e tanto para a atividade da polifenoloxidase quanto para a da peroxidase nas folhas da cultura do café, os resultados foram afetados pela interação das formas de aplicação de Si e fungicidas (Tabela 15). Na 1^a coleta, observou-se que o resultado mais expressivo para a atividade da enzima polifenoloxidase ocorreu com a aplicação de Si via solo e na ausência de aplicação de fungicidas. Já para a atividade de peroxidase nas folhas de cafeeiro, foram obtidos os maiores valores quando se aplicou Si via foliar e sem aplicação de fungicidas, bem como na associação de Si via solo e estrobirulina. Aliás, os resultados observados para aplicação de estrobirulina foram os maiores, exceto na associação com a aplicação de Si via foliar. Efeitos metabólicos proporcionados pela aplicação de fungicidas contendo estrobirulina, como observados no presente trabalho, também foram relatados por Honorato Júnior et al. (2015b), que verificaram aumento da atividade da enzima peroxidase em plantas da cultura do café inoculadas com ferrugem. Eles atribuíram o fato ao fungicida promover maior atividade fotossintética, melhorando, assim, as condições dos sistemas antioxidantes das plantas, além de protegê-las contra a ferrugem, preservando o enfolhamento. Existem outros relatos na literatura sobre aumento na atividade de peroxidase e polifenoloxidase em função da aplicação de piraclostrobina (estrobirulina), como na cultura do feijão-vagem, com consequente redução da AACPD do cretamento bacteriano comum (VIGO et al., 2012), e na cultura do tomateiro, também com redução significativa de mancha bacteriana (ITAKO et al., 2015).

Em relação à 2^a coleta para determinações bioquímicas, houve aumento da atividade da polifenoloxidase, no geral, com a aplicação de Si via solo associada à aplicação de estrobirulina ou triazol + estrobirulina (Tabela 15). Entretanto, o resultado mais expressivo é observado na associação de Si aplicado via foliar com triazol + estrobirulina. Para a atividade de peroxidase nas folhas de cafeeiro, a aplicação de Si via foliar associada ao triazol, bem como a aplicação de Si via solo sem associação com fungicidas ou a aplicação de triazol + estrobirulina sem estar associada a nenhuma forma de Si, proporcionaram os resultados mais expressivos dessa variável.

Por fim, foi observado que a aplicação de Si via foliar, associada ou não ao triazol ou estrobirulina, proporcionou as maiores atividades da enzima polifenoloxidase na 3ª coleta de folhas da cultura do café (Tabela 15). Nota-se, também, que a aplicação de estrobirulina, tanto no controle sem aplicação de Si ou associada ao Si via solo, proporcionou aumentos expressivos da atividade da polifenoloxidase. Já a atividade de peroxidase na 3ª coleta de folhas da cultura do café foi afetada principalmente pela aplicação de Si via foliar, principalmente associada com a aplicação de triazol, bem como pela aplicação de estrobirulina associada ao Si via solo ou sem aplicação de Si, além da aplicação da mistura triazol + estrobirulina associada à aplicação de Si via solo.

Diante do observado nas análises de determinação bioquímica da atividade de enzimas, deve-se salientar que em praticamente todas as coletas houve alguma influência da aplicação de Si, tanto via solo como via foliar (Tabela 15), refletindo, assim, o aumento do teor do elemento no solo tanto na camada de 0-0,20 cm como na 0,20-0,40 cm de profundidade (Tabela 4), além dos maiores teores de Si observados nas folhas de cafeeiro (Tabelas 6, 8, e 14). Pode-se dizer, portanto, que a absorção do Si solúvel do solo ou através de aplicações foliares, com consequente acúmulo do elemento nas folhas da cultura do café, tem relação direta com aumento da atividade enzimática dos cafeeiros.

Os resultados observados no presente trabalho corroboram com Datnoff et al. (2007) e Liang et al. (2005). Esses autores relatam que o Si atua na produção de compostos fenólicos, aumento na produção de algumas classes de fitoalexinas, na transcrição de alguns genes que codificam as enzimas peroxidase e polifenoloxidase, além do aumento na atividade das enzimas líticas à parede celular fúngica ou associadas com o metabolismo secundário da planta. Amaral et al. (2008) observaram aumento da atividade das enzimas peroxidase e polifenoloxidase em função da aplicação foliar de silicato de potássio, as quais reduziram a severidade de cercosporiose do cafeeiro na ordem de 31% em relação ao controle. Nesse mesmo trabalho, os autores também observaram maior proteção contra cercosporiose quando se aplicou fungicida a base de triazol + estrobirulina, porém não analisaram a atividade das enzimas deste tratamento. Diferentemente do trabalho relatado anteriormente e do presente trabalho, Pereira et al. (2009) verificaram que a aplicação foliar de silicato de potássio não afetou a atividade enzimática das plantas de cafeeiro, porém reduziu a severidade da ferrugem nas mesmas, o que sugere que existem outros mecanismos, ainda não elucidados, envolvidos nesse processo.

Tabela 15. Probabilidade do teste F e valores médios para a atividade das enzimas polifenoloxidase (POF) e peroxidase (POD), nas folhas de cafeeiro, em função da forma de aplicação de Si e aplicação de fungicidas, analisadas em três coletas (1ª coleta: 15/01/2013; 2ª coleta: 15/01/2014; 3ª coleta: 14/01/2015).

Fungicidas	Silício			Média		
	Controle	Si solo	Si foliar			
1ª coleta POF (μmol catecol trnsf min ⁻¹ g ⁻¹ MF)						
Controle	1,81aB	2,19aA	1,87aB	1,95		
Triazol	1,70bA	1,46dB	1,65bA	1,60		
Estrobirulina	1,77abA	1,60cC	1,69bB	1,69		
Triazol+Estrobirulina	1,77abB	1,96bA	1,22cC	1,65		
Média	1,76	1,80	1,60	-----		
2ª coleta POF (μmol catecol trnsf min ⁻¹ g ⁻¹ MF)						
Controle	1,49bA	1,37bB	1,20bC	1,35		
Triazol	0,88cC	1,30bA	1,14bcB	1,11		
Estrobirulina	1,76aA	1,74aA	1,06cB	1,52		
Triazol+Estrobirulina	1,68aC	1,83aB	2,09aA	1,87		
Média	1,45	1,56	1,37	-----		
3ª coleta POF (μmol catecol trnsf min ⁻¹ g ⁻¹ MF)						
Controle	0,88cC	1,31dB	2,40aA	1,53		
Triazol	1,53bC	1,81cB	2,45aA	1,93		
Estrobirulina	2,45aA	2,43aA	2,33aA	2,41		
Triazol+Estrobirulina	1,55bC	1,77bB	1,94bA	1,75		
Média	1,60	1,83	2,28	-----		
1ª coleta POD (μmol H ₂ O ₂ decomposto min ⁻¹ g ⁻¹ MF)						
Controle	1,93bC	2,56bB	2,73aA	2,40		
Triazol	1,89bB	2,01cA	1,81cB	1,91		
Estrobirulina	2,53aB	2,98aA	2,16bC	2,56		
Triazol+Estrobirulina	1,93bA	1,42dB	1,25dC	1,53		
Média	2,07	2,24	1,99	-----		
2ª coleta POD (μmol H ₂ O ₂ decomposto min ⁻¹ g ⁻¹ MF)						
Controle	2,63bB	3,25aA	2,10dC	2,66		
Triazol	1,90cB	1,91cB	2,82aA	2,21		
Estrobirulina	2,61bB	2,94bA	2,43bC	2,66		
Triazol+Estrobirulina	3,44aA	2,84bB	2,30cC	2,86		
Média	2,65	2,74	2,42	-----		
3ª coleta POD (μmol H ₂ O ₂ decomposto min ⁻¹ g ⁻¹ MF)						
Controle	2,29cB	2,04cC	3,19bA	2,51		
Triazol	2,84bB	2,36bC	3,94aA	3,05		
Estrobirulina	3,22aA	3,27aA	3,07bA	3,19		
Triazol+Estrobirulina	2,48cB	3,07aA	2,16cC	2,57		
Média	2,70	2,68	3,09	-----		
ANOVA (Probabilidade do teste F)						
Fontes de variação	1ª POF	2ª POF	3ª POF	1ª POD	2ª POD	3ª POD
Silício (Si)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Fungicida (F)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Si × F	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
CV(%)	7,7	8,8	9,2	7,6	7,4	9,8

Médias seguidas de letras distintas, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem entre si pelo teste t ($P>0,05$). MF: matéria fresca.

Outro ponto que também deve ser ressaltado é o aumento da atividade enzimática proporcionado pela associação de Si e fungicidas, conforme observado na 1ª coleta para atividade de peroxidase, e na 2ª e 3ª coletas para ambas as enzimas (Tabela 15). Assim, pode-se dizer que a associação de Si com fungicidas seria uma estratégia interessante no manejo de doenças, podendo haver, inclusive, redução do impacto ambiental e dos custos de produção. Reis et al. (2008) constataram que associação de 2 L ha⁻¹ de um produto a base de silicato de potássio (equivalente a 728 g ha⁻¹ de SiO₂) com a metade da dose recomendada de fungicida a base de triazol + estrobirulina (750 mL ha⁻¹ de epoxiconazol + piraclostrobina) controlou a ferrugem e a cercosporiose eficazmente, sendo estatisticamente idêntica aos resultados obtidos com a aplicação da dose recomendada do fungicida (1,5 L ha⁻¹).

6.3 Avaliação de incidência de doenças

No ano de 2013, a aplicação de triazol associada ao Si via solo conferiu menor incidência de ferrugem e cercosporiose nas folhas de cafeeiro (Figuras 2B e 4B), especialmente próximo às aplicações (entre janeiro e março ou outubro e dezembro). Entretanto, para o ano em questão e também nos períodos próximos às aplicações, os tratamentos com todos os fungicidas superaram o tratamento controle, independentemente da aplicação de Si (Figuras 2 e 4). Já para os anos de 2014 e 2015, tanto pra ferrugem como cercosporiose, a aplicação dos fungicidas triazol, estrobirulina ou triazol + estrobirulina, associado ou não às formas de Si, proporcionou maior controle das doenças em relação ao controle sem aplicação de fungicidas (Figuras 6, 8, 10 e 12). Os fungicidas do grupo triazol atuam na inibição da enzima C14-demetilase, cuja função principal é a produção de esteróis. Os esteróis são requeridos para formação e estruturação da membrana, tornando-os essenciais para o desenvolvimento sadio das paredes celulares. Desse modo, fungicidas pertencentes a esse grupo desestabilizam o crescimento fúngico, culminando em sua morte (AKERS et al., 1990). Já as estrobirulinas são fungicidas que apresentam β -metoxiacrilatos em sua composição, os quais são responsáveis por inibir a respiração dos fungos em virtude da ligação do sítio Q_o do complexo do citocromo bc1 presente na parte interna da membrana mitocondrial (BARTLETT et al., 2002).

Honorato Júnior et al. (2015b) verificaram, similarmente ao presente trabalho (Tabela 15), o aumento da atividade da enzima peroxidase em plantas de

cafeeiro em função da estrobirulina, culminando em maior proteção contra a ferrugem, preservando o enfolhamento. Vigo et al. (2012) e Itako et al. (2015) também observaram, respectivamente, maior atividade enzimática em feijão-vagem e tomateiro, mediante aplicação de estrobirulina, o que também proporcionou proteção contra doenças. Lopes et al. (2013) constataram que a aplicação do fungicida tebuconazole (grupo dos triazóis) foi eficiente na redução da severidade da doença, além de minimizar a desfolha das mudas de café. Em outro trabalho, Lopes et al. (2014) observaram que o fungicida triadimenol, também pertencente ao grupo dos triazóis, proporcionou significativo controle da ferrugem, culminando em maior produtividade de grãos em virtude da preservação do enfolhamento dos cafeeiros. Honorato Júnior et al. (2015a) constataram que plantas de café exibiram severidade de ferrugem muito menor quando tratadas com estrobirulina ou com triazol, em comparação ao controle. Amaral et al. (2008) observaram maior proteção dos cafeeiros contra cercosporiose quando se aplicou fungicida a base da mistura triazol + estrobirulina.

Observa-se, para todos os anos, que ambas as formas de aplicação de Si, em associação a algum tipo de fungicida, proporcionaram menor incidência de ferrugem e cercosporiose do cafeeiro em relação ao controle, especialmente próximo à aplicação dos tratamentos (Figuras 3, 5, 7, 9, 11 e 13). Apenas para incidência de ferrugem em 2013, a aplicação isolada de formas de Si, ou seja, na ausência de aplicação de fungicidas, reduziu a incidência da doença quando comparada ao controle (Figura 3A). Esses resultados podem estar relacionados com o aumento do teor de Si no solo (Tabela 4) e nas folhas de cafeeiro (Tabelas 6, 8, e 14), que resultaram em aumento da atividade das enzimas polifenoloxidase e peroxidase nas folhas (Tabela 15). A peroxidase tem relação com o processo de proteção antioxidativa, servindo de catalisador da oxidação de componentes celulares como o peróxido de hidrogênio e também no aumento da síntese de lignina que fortalece a parede celular contra a ação de enzimas líticas produzidas em abundância por alguns patógenos (SILVA et al., 2008). Já a enzima polifenoloxidase atua como catalisador na hidroxilação de monofenóis, formando orto-difenóis, e também na oxidação desses últimos para formar orto-quinonas, as quais apresentam, por sua vez, natureza antimicrobiana superior aos compostos fenólicos que as precedem, servindo como uma linha de defesa extra na proteção de plantas contra pragas e doenças (VALERO et al., 1988; THIPYAPONG et al., 1995). Segundo Bindschedler et al. (2002), tanto a peroxidase como a polifenoloxidase promovem a degradação oxidativa de compostos fenólicos

próximos ao local de descompartimentação celular ocasionada por patógenos, resultando, por exemplo, em fenômenos como o surgimento de substâncias escuras oriundas da polimerização oxidativa das quinonas. Assim, pode-se dizer, no geral, que as maiores atividades das enzimas observadas no presente trabalho, na presença da aplicação de alguma forma Si associada ou não aos fungicidas, proporcionaram aumento na proteção das plantas da cultura do café contra ferrugem e cercosporiose. Entretanto, os resultados não permitem chegar a uma conclusão mais precisa.

Muitos estudos, tanto em laboratório quanto em casa de vegetação, ou mesmo em condições de campo, têm demonstrado que o Si é capaz de reduzir estresses bióticos causados por inúmeros patógenos (VAN BOCKHAVEN et al., 2013), demonstrando ou não seus efeitos na atividade enzimática das plantas. Amaral et al. (2008) observaram que o aumento da atividade das enzimas peroxidase e polifenoloxidase, em função da aplicação foliar de silicato de potássio, reduziu a severidade de cercosporiose em 31% quando comparado ao controle. De forma divergente, Pereira et al. (2009) observaram que a aplicação foliar de silicato de potássio não alterou a atividade de enzimas do cafeeiro, porém reduziu a severidade da ferrugem, sugerindo a possibilidade de outros mecanismos ainda não elucidados de proteção do Si contra a doença. Em estudo para se avaliar produtos alternativos no controle de ferrugem do cafeeiro em sistema de produção orgânico, Androcioi et al. (2012) constataram que a argila silicatada superou o controle sem aplicação de produtos, assemelhando-se estatisticamente ao controle químico convencional com triazol. Além disso, os tratamentos proporcionaram produtividades de grãos superiores ao do controle. Carvalho et al. (2012) obtiveram resultados satisfatórios na redução da cercosporiose em plantas da cultura do café em função da aplicação de argila silicatada, sendo os mesmos na ordem de 57 a 75% menores quando comparados ao controle. Trabalhando com algodoeiro em solução nutritiva com e sem Si, Guerra et al. (2013) concluíram que plantas supridas com o elemento foram mais resistentes à ferrugem tropical (*Phakopsora gossypii*), sendo o fato atribuído à maior atividade enzimática. Botelho et al. (2005) relataram redução do nível de infecção de cercosporiose em mudas de cafeeiro com a aplicação de 0,60 g de SiO₂ por kg de substrato. Através de aplicações foliares de Si na cultura da batata, Soratto et al. (2012) constataram redução de doenças como requeima e canela-preta, além de incrementos na produção de tubérculos.

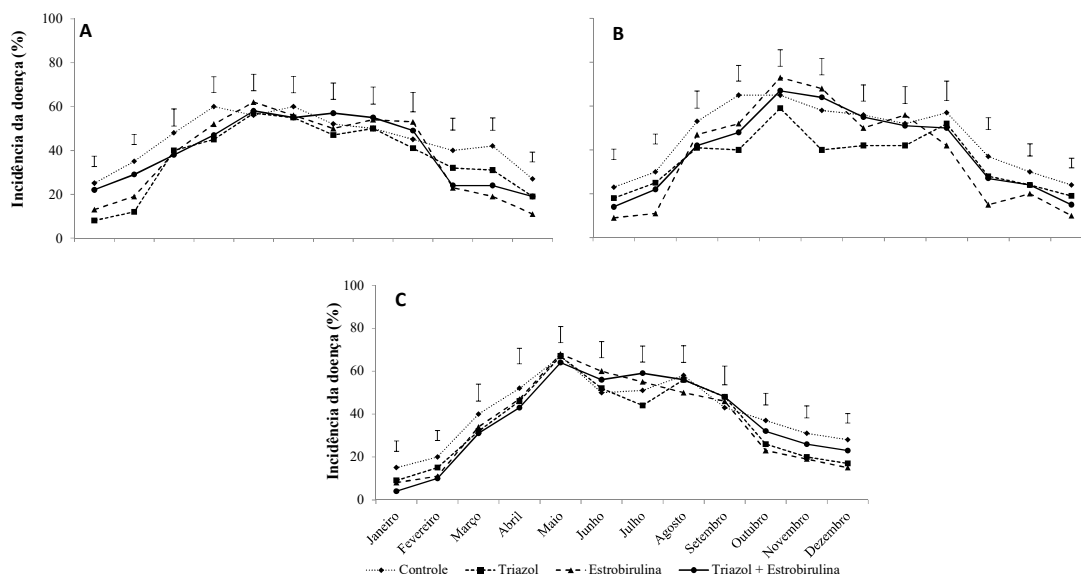


Figura 2. Incidência (%) de ferrugem do cafeeiro em função da aplicação de fungicidas na ausência de aplicação de Si (A), aplicação de Si no solo (B) ou aplicação de Si nas folhas (C), no ano de 2013. Barras verticais indicam DMS pelo teste t ($P=0,05$).

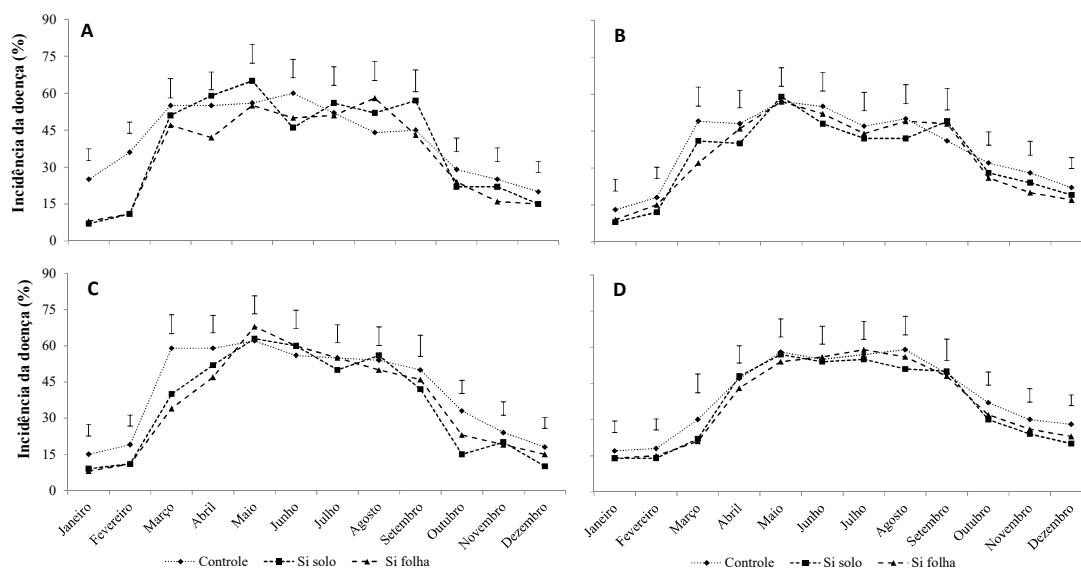


Figura 3. Incidência (%) de ferrugem do cafeeiro em função de formas de aplicação de Si na ausência de aplicação fungicidas (A), aplicação de triazol (B), estrobirulina (C) ou triazol + estrobirulina (D), no ano de 2013. Barras verticais indicam DMS pelo teste t ($P=0,05$).

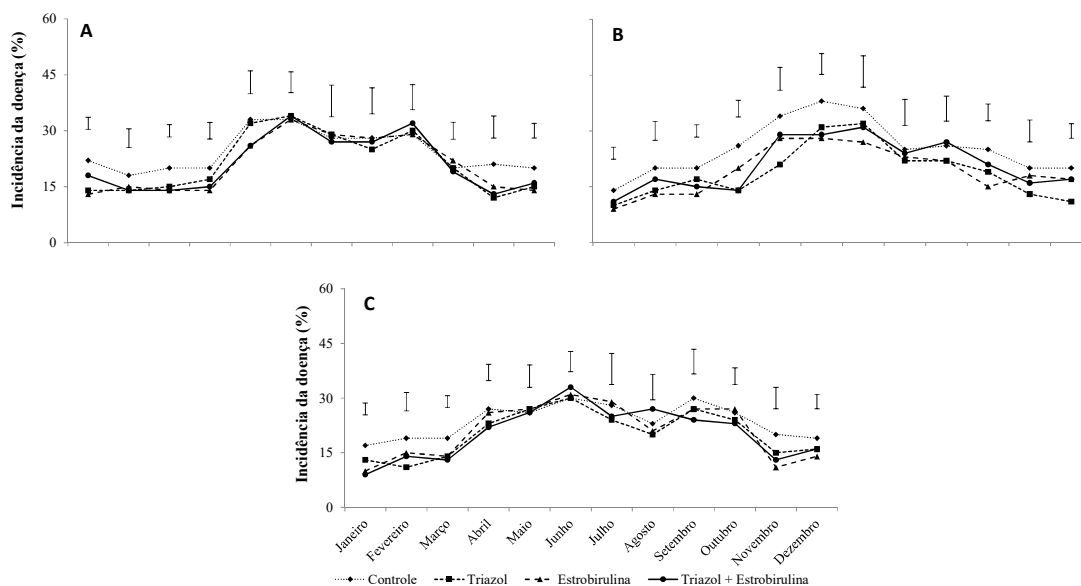


Figura 4. Incidência (%) de cercosporiose do cafeeiro em função da aplicação de fungicidas e da ausência de aplicação de Si (A), aplicação de Si no solo (B) ou aplicação de Si nas folhas (C), no ano de 2013. Barras verticais indicam DMS pelo teste t ($P=0,05$).

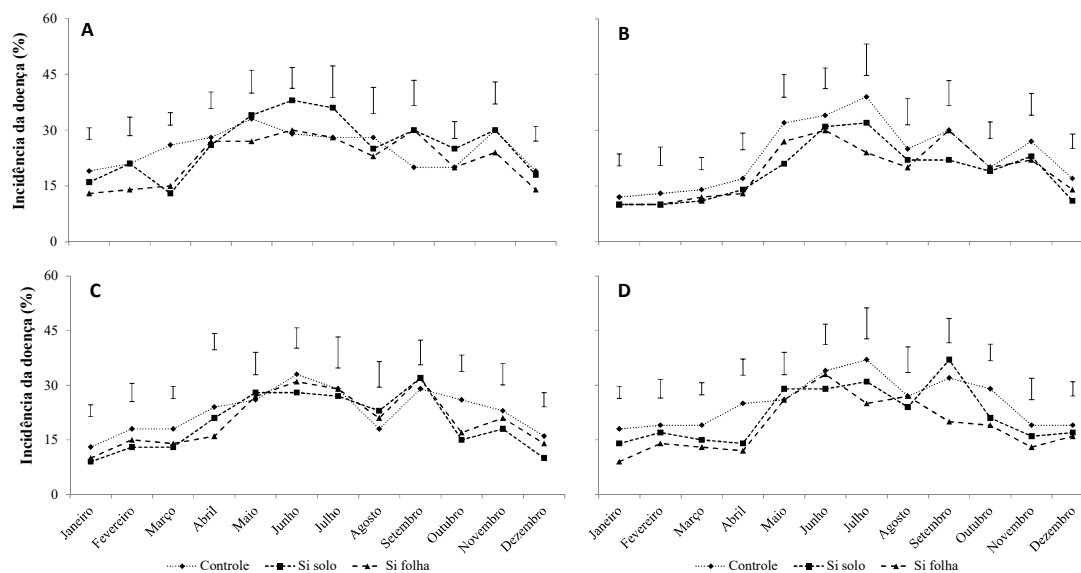


Figura 5. Incidência (%) de cercosporiose do cafeeiro em função de formas de aplicação de Si na ausência de aplicação fungicidas (A), aplicação de triazol (B), estrobirulina (C) ou triazol + estrobirulina (D), no ano de 2013. Barras verticais indicam DMS pelo teste t ($P=0,05$).

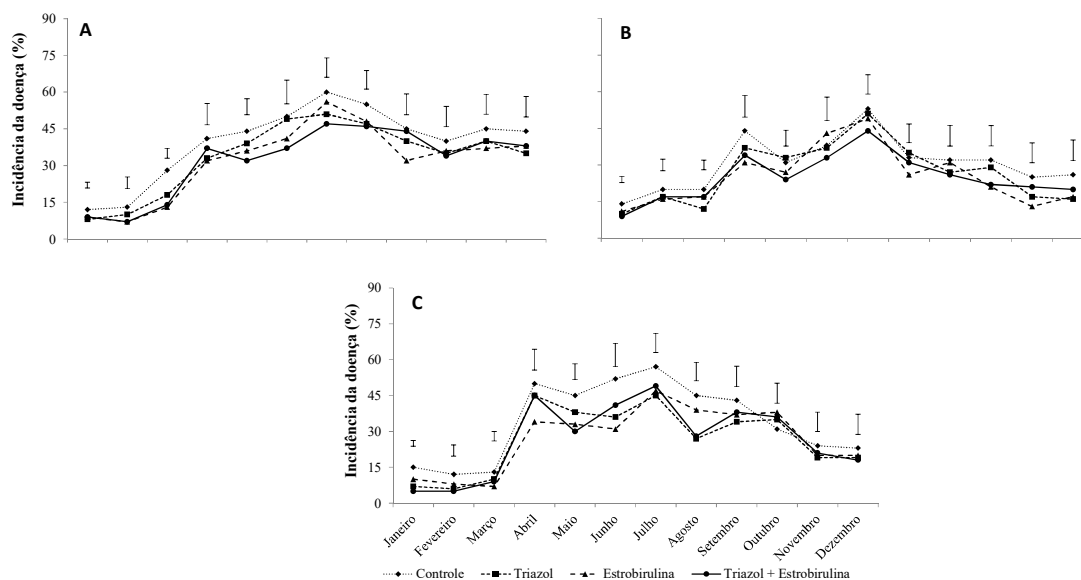


Figura 6. Incidência (%) de ferrugem do cafeeiro em função da aplicação de fungicidas na ausência de aplicação de Si (A), aplicação de Si no solo (B) ou aplicação de Si nas folhas (C), no ano de 2014. Barras verticais indicam DMS pelo teste t ($P=0,05$).

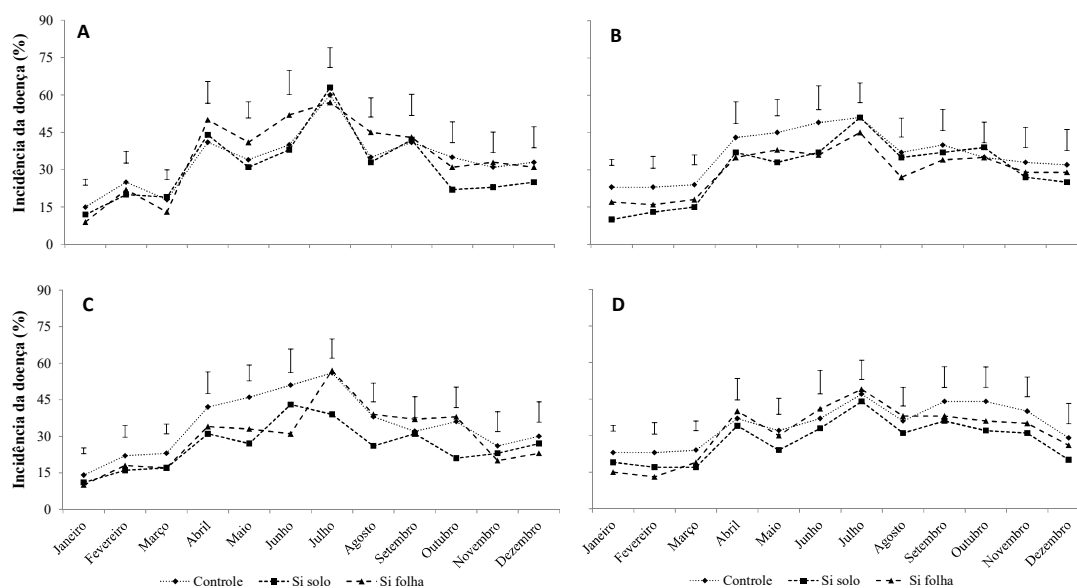


Figura 7. Incidência (%) de ferrugem do cafeeiro em função de formas de aplicação de Si na ausência de aplicação fungicidas (A), aplicação de triazol (B), estrobirulina (C) ou triazol + estrobirulina (D), no ano de 2014. Barras verticais indicam DMS pelo teste t ($P=0,05$).

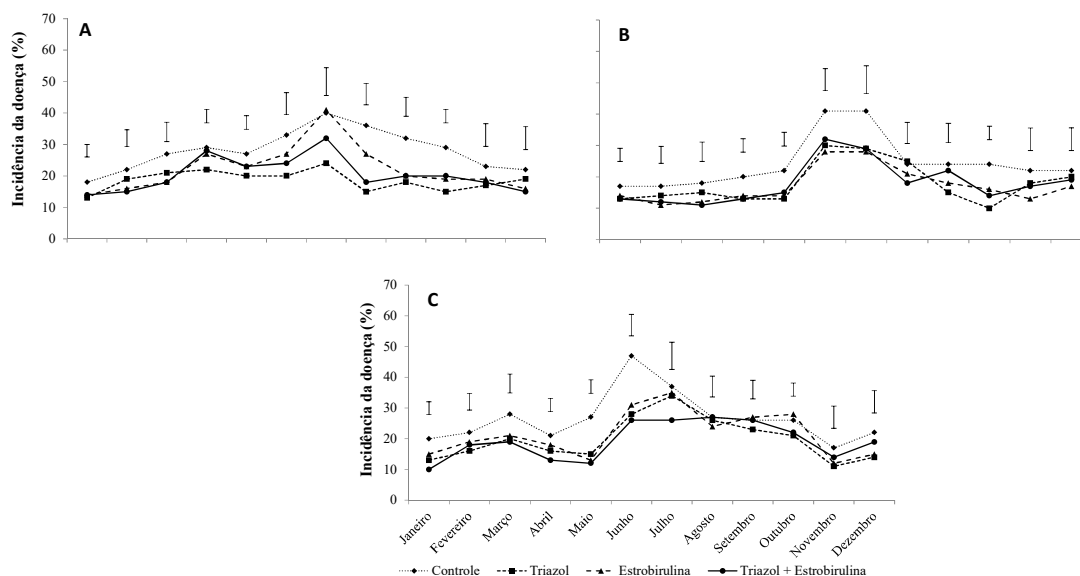


Figura 8. Incidência (%) de cercosporiose do cafeeiro em função da aplicação de fungicidas na ausência de aplicação de Si (A), aplicação de Si no solo (B) ou aplicação de Si nas folhas (C), no ano de 2014. Barras verticais indicam DMS pelo teste t ($P=0,05$).

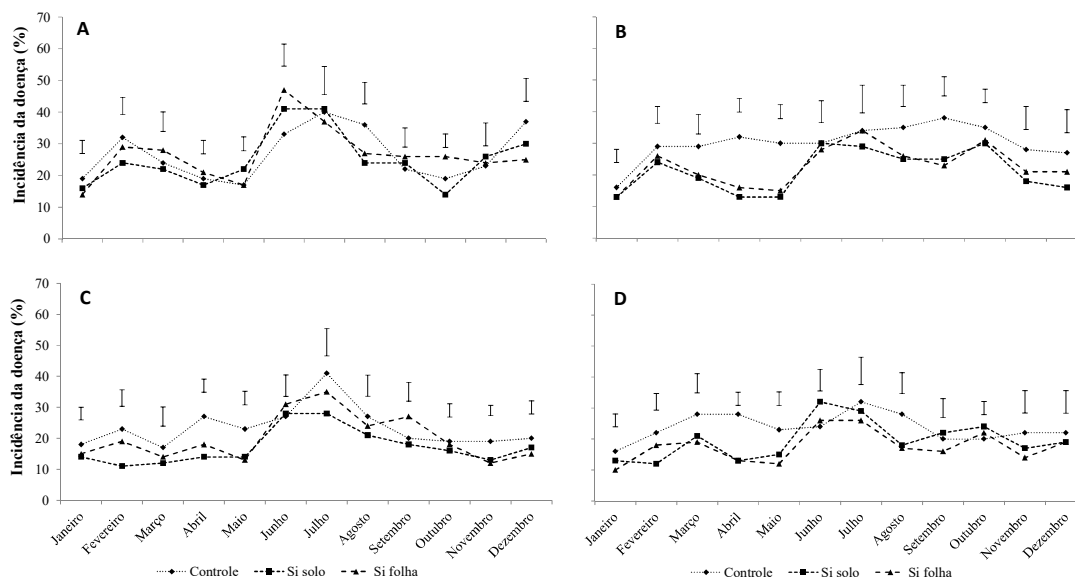


Figura 9. Incidência (%) de cercosporiose do cafeeiro em função de formas de aplicação de Si na ausência de aplicação fungicidas (A), aplicação de triazol (B), estrobirulina (C) ou triazol + estrobirulina (D), no ano de 2014. Barras verticais indicam DMS pelo teste t ($P=0,05$).

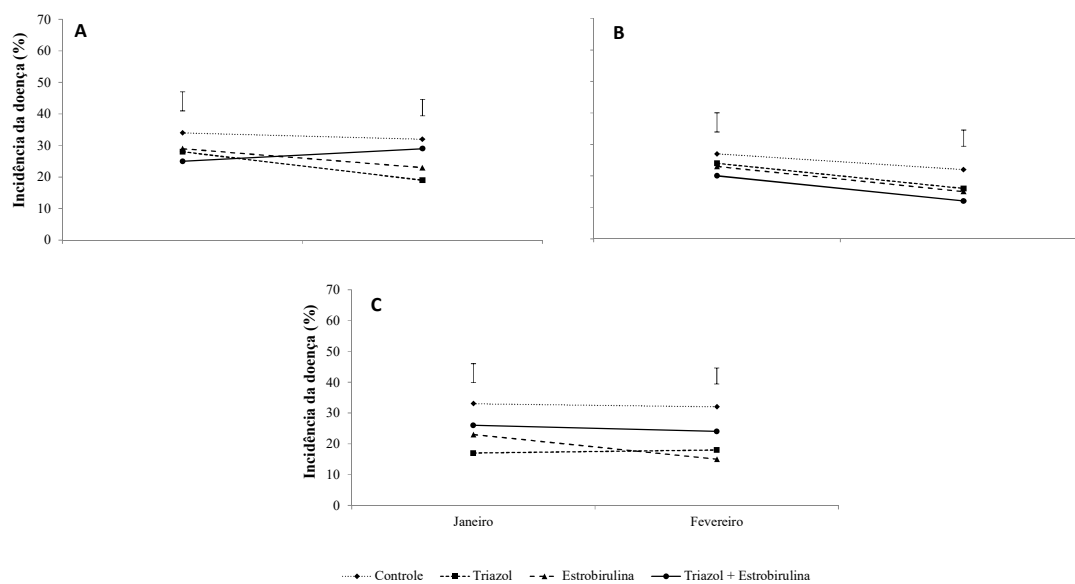


Figura 10. Incidência (%) de ferrugem do cafeeiro em função da aplicação de fungicidas na ausência de aplicação de Si (A), aplicação de Si no solo (B) ou aplicação de Si nas folhas (C), no ano de 2015. Barras verticais indicam DMS pelo teste t ($P=0,05$).

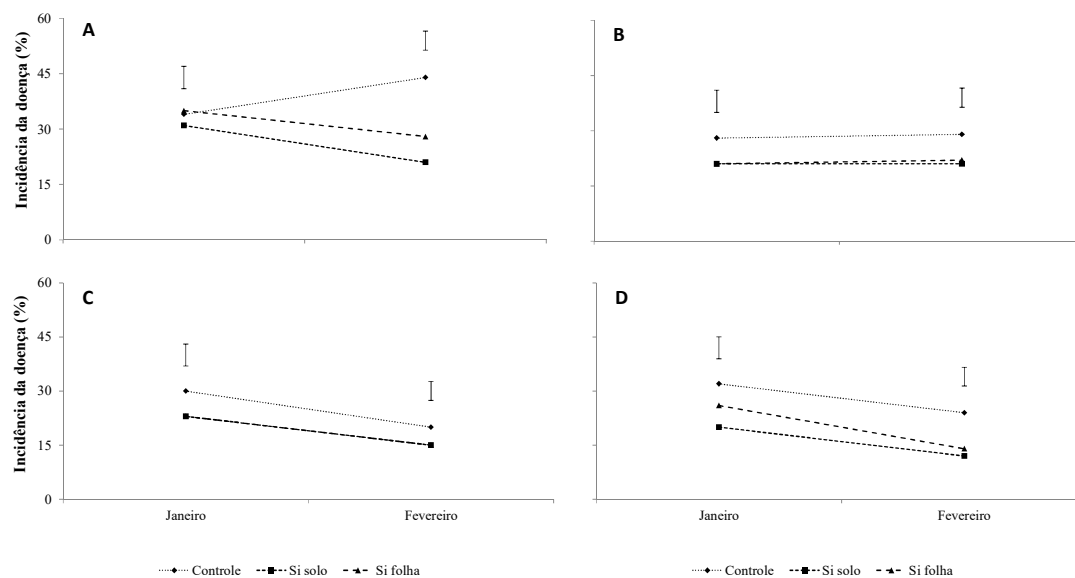


Figura 11. Incidência (%) de ferrugem do cafeeiro em função de formas de aplicação de Si na ausência de aplicação fungicidas (A), aplicação de triazol (B), estrobirulina (C) ou triazol + estrobirulina (D), no ano de 2015. Barras verticais indicam DMS pelo teste t ($P=0,05$).

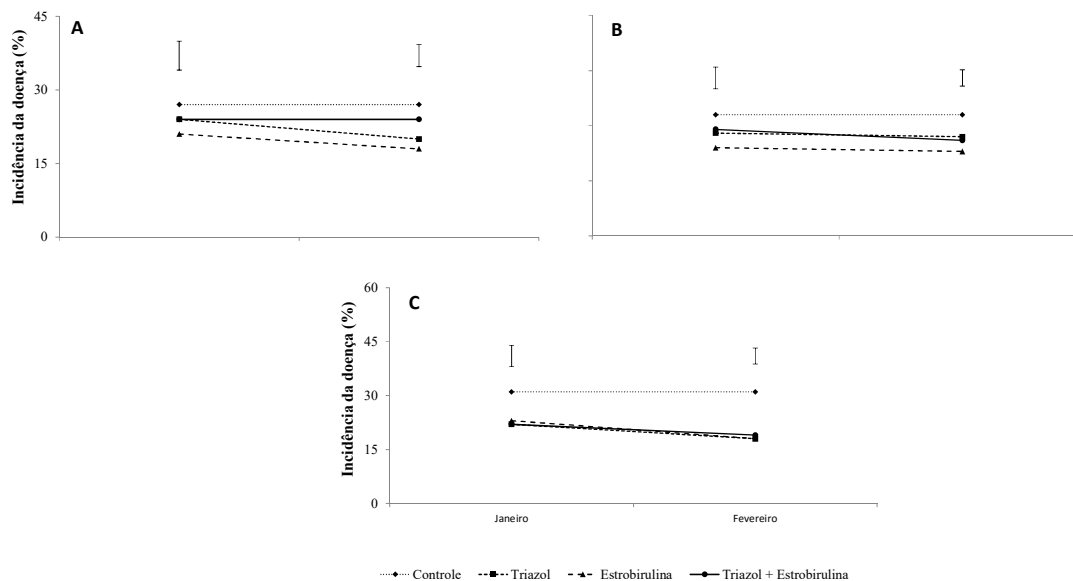


Figura 12. Incidência (%) de cercosporiose do cafeeiro em função da aplicação de fungicidas na ausência de aplicação de Si (A), aplicação de Si no solo (B) ou aplicação de Si nas folhas (C), no ano de 2015. Barras verticais indicam DMS pelo teste t ($P=0,05$).

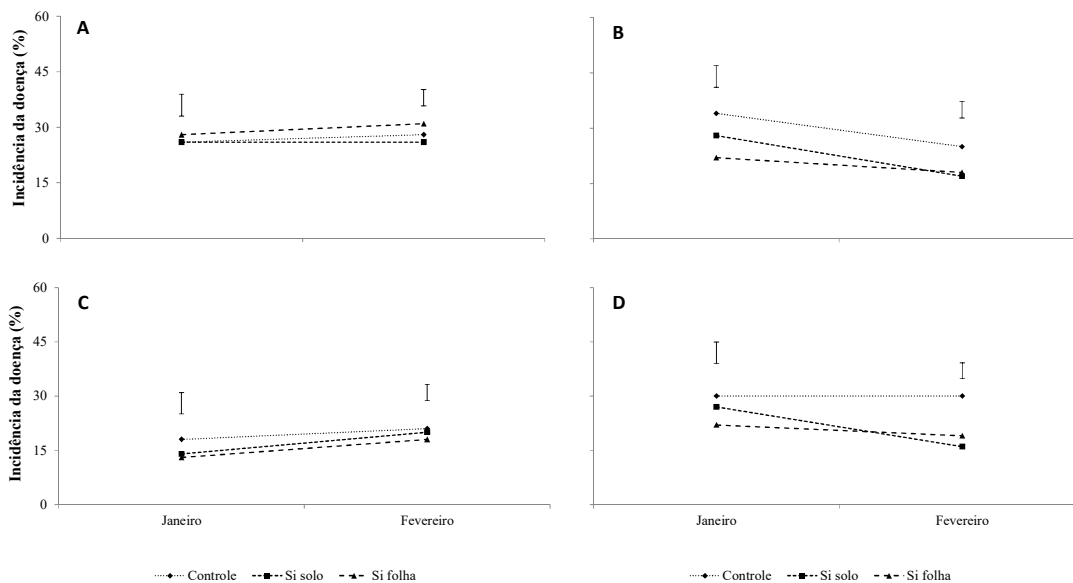


Figura 13. Incidência (%) de cercosporiose do cafeeiro em função de formas de aplicação de Si na ausência de aplicação fungicidas (A), aplicação de triazol (B), estrobirulina (C) ou triazol + estrobirulina (D), no ano de 2015. Barras verticais indicam DMS pelo teste t ($P=0,05$).

Por outro lado, Lopes et al. (2013) observaram que o Si, fornecido como escória silicatada, não reduziu a severidade da cercosporiose de mudas de cafeeiro, e Lopes et al. (2014), aplicando silicato de cálcio, relataram a ineficiência do Si em reduzir a incidência da ferrugem e incrementar a produtividade de grãos da cultura do café, em experimento a campo. Do mesmo modo, Carré-Missio et al. (2009) concluíram que a aplicação de Si em solução nutritiva não controlou a ferrugem em plantas de café, justificando que não houve translocação do elemento das raízes para a parte aérea.

No presente trabalho, a associação das formas de Si com os fungicidas reduziram a incidência das doenças de forma mais eficaz quando comparada ao controle sem aplicação dos tratamentos. No trabalho de Reis et al. (2008), a associação de silicato de potássio aplicado via foliar com fungicida a base de triazol + estrobirulina foi eficaz no controle de ferrugem e cercosporiose em plantas de cafeeiro. Carvalho Júnior et al. (2007) também constataram que a associação do silicato de potássio com diversos fungicidas triazóis proporcionou menor severidade da ferrugem asiática da soja comparada à aplicação do fungicida isolado.

Por fim, deve-se salientar que a metodologia seguida para avaliação de doenças no presente trabalho não é a mais comumente utilizada para as foliares como a ferrugem e cercosporiose do cafeeiro, ou seja, geralmente é avaliada a porcentagem de severidade causada pelas mesmas, ao invés de porcentagem de incidência. A avaliação apenas da incidência, e não da severidade, pode ter limitado a "visualização" dos efeitos dos tratamentos sobre as doenças estudadas. No entanto, existem trabalhos como o de Talamini et al. (2003), no qual a metodologia utilizada foi a mesma que a do presente trabalho, tendo os autores obtido resultados interessantes quanto ao controle de ferrugem e cercosporiose do cafeeiro em função de épocas de início e parcelamentos da fertirrigação.

6.4 Uniformidade de maturação dos frutos, rendimento de grãos beneficiados e produtividade de grãos

Na safra de 2013, a interação das formas de aplicação de Si e os fungicidas influenciou significativamente o grau de maturação dos frutos da cultura do café (Tabela 16). No geral, a maior porcentagem de frutos passa ou secos, ou seja, frutos que sofreram maturação antecipada, foi proporcionada principalmente pela aplicação de Si via solo na ausência de fungicida. Já a aplicação de Si via foliar sem fungicida fez com que a maturação fosse mais lenta, proporcionando mais frutos verdes. O triazol + estrobirulina

associado à aplicação de Si via solo promoveu maturação mais uniforme, verificada pela maior porcentagem de frutos no estágio cereja.

O processo de retardo da senescência pode ser atribuído como um dos efeitos da aplicação de Si, tanto via solo como via foliar, visto que os resultados apontam que a maturação mais lenta (frutos verdes e cereja) ocorreu, em alguns casos, na presença de alguma forma de aplicação do elemento, associado ou não aos fungicidas. Savvas et al. (2007) constataram folhas com coloração mais escura, além da diminuição da senescência de folhas mais velhas de roseira, em função da aplicação de Si em solução nutritiva. Adatia e Besford (1986) observaram efeitos semelhantes em plantas de pepino também tratadas com Si. Entretanto, o conhecimento atual ainda é insuficiente para afirmar que o Si pode influenciar o metabolismo e o processo de senescência de plantas. O elemento pode estar envolvido em rotas metabólicas e participar da translocação de hormônios como a citocinina, porém estudos mais aprofundados são necessários (SAVVAS; NTATSI, 2015). Outros autores sugerem que o retardo na senescência das plantas causado pela aplicação de Si esteja relacionado com o aumento da atividade de enzimas antioxidantes (LIANG et al., 2003; ZHU; GONG, 2014).

Os fatores não afetaram significativamente a porcentagem de frutos verdes na safra de 2014 (Tabela 17). Já a porcentagem de frutos cereja ou maduros foi afetada pela interação forma de aplicação de Si $\times$ fungicidas, enquanto que a porcentagem de frutos passa ou secos foi afetada apenas pelos fungicidas. No geral, observa-se maior porcentagem de frutos cereja em relação aos demais estádios de maturação, sendo que a aplicação isolada de triazol ou triazol + estrobirulina, a associação de triazol ou estrobirulina ao Si via solo, influenciaram de forma mais expressiva os resultados a porcentagem de frutos cereja, ou seja, proporcionaram maior uniformidade de maturação. Como já discutido anteriormente, o retardo e a uniformização do processo de maturação pode ser atribuído ao Si (ADATIA; BESFORD, 1986; LIANG et al., 2003; SAVVAS et al., 2007; ZHU; GONG, 2014; SAVVAS; NTATSI, 2015).

Tabela 16. Probabilidade do teste F e valores médios para porcentagem de frutos nos estádios verde, cereja e passa, rendimento de grãos beneficiados e produtividade de grãos beneficiados em função da forma de aplicação de Si e aplicação de fungicidas. Safra 2013.

Fungicidas	Silício			Média	
	Controle	Si solo	Si foliar		
Frutos verdes (%)					
Controle	23,6bB	26,2abB	51,2aA	33,7	
Triazol	28,2bB	31,2aAB	34,0bA	31,1	
Estrobirulina	40,0aA	25,0bB	26,5cB	30,5	
Triazol+Estrobirulina	25,8bB	28,8abAB	32,0bcA	28,9	
Média	29,4	27,8	35,9	-----	
Frutos cereja (%)					
Controle	21,4bA	11,5cC	25,0aA	19,3	
Triazol	21,7bB	15,2cC	28,5aA	21,8	
Estrobirulina	36,0aA	31,8bA	19,7bB	29,2	
Triazol+Estrobirulina	24,8bB	40,0aA	19,0bB	27,9	
Média	26,0	24,6	23,1	-----	
Frutos passa (%)					
Controle	55,1aB	62,2aA	24,0cC	47,1	
Triazol	50,5aA	53,7bA	37,5bB	47,2	
Estrobirulina	24,2cC	43,3cB	53,2aA	40,2	
Triazol+Estrobirulina	49,3abA	31,3dB	49,2aA	43,3	
Média	44,8	47,6	41,0	-----	
Rendimento (%)					
Controle	36,3	38,3	39,5	38,0	
Triazol	41,0	37,0	38,0	38,7	
Estrobirulina	38,0	38,0	41,5	39,2	
Triazol+Estrobirulina	36,5	37,8	37,8	37,3	
Média	37,9	37,8	39,2	-----	
Produtividade de grãos beneficiados (kg ha ⁻¹)					
Controle	1.323	1.626	1.744	1.564	
Triazol	1.515	1.665	1.436	1.539	
Estrobirulina	1.415	1.437	1.591	1.481	
Triazol+Estrobirulina	1.130	1.240	1.603	1.324	
Média	1.346	1.492	1.593	-----	
ANAVA (Probabilidade do teste F)					
Fontes de variação	% Verde	% Cereja	% Passa	Rendimento	Produtividade
Silício (Si)	<0,001	<0,001	0,943	0,426	0,450
Fungicida (F)	0,001	<0,001	0,007	0,568	0,227
Si × F	<0,001	<0,001	<0,001	0,385	0,435
CV(%)	15,2	14,7	15,1	8,7	20,5

Médias seguidas de letras distintas, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem entre si pelo teste t (p>0,05).

Tabela 17. Probabilidade do teste F e valores médios para porcentagem de frutos nos estádios verde, cereja e passa, rendimento de grãos beneficiados e produtividade de grãos beneficiados em função da forma de aplicação de Si e aplicação de fungicidas. Safra 2014.

Fungicidas	Silício			Média	
	Controle	Si solo	Si foliar		
Frutos verdes (%)					
Controle	42,1	47,9	52,8	47,6	
Triazol	34,5	42,4	47,5	41,5	
Estrobirulina	39,8	36,1	36,4	37,4	
Triazol+Estrobirulina	43,7	46,7	42,6	44,3	
Média	40,0	43,3	44,8	-----	
Frutos cereja (%)					
Controle	39,6bA	41,6abA	35,8aA	39,0	
Triazol	59,2aA	52,6aA	42,0aB	51,3	
Estrobirulina	41,6bA	50,9aA	43,9aA	45,5	
Triazol+Estrobirulina	51,2aA	42,7abA	44,6aA	46,2	
Média	47,9	46,9	41,6	-----	
Frutos passa (%)					
Controle	18,4	10,6	11,3	13,4ab	
Triazol	6,2	4,9	10,5	7,2b	
Estrobirulina	18,6	13,1	19,6	17,1a	
Triazol+Estrobirulina	5,0	10,7	12,9	9,5ab	
Média	12,1	3,6	13,6	-----	
Rendimento (%)					
Controle	27,8	29,7	28,0	28,5b	
Triazol	31,3	34,8	33,0	33,0a	
Estrobirulina	30,0	38,5	36,8	35,1a	
Triazol+Estrobirulina	31,8	34,0	32,8	32,8a	
Média	30,2B	34,3A	32,6A	-----	
Produtividade de grãos beneficiados (kg ha ⁻¹)					
Controle	746bB	1.459cA	1.434abA	1.213	
Triazol	1.469aB	2.654aA	1.905aB	2.010	
Estrobirulina	1.126abB	2.013bA	1.152bB	1.430	
Triazol+Estrobirulina	1.609aA	1.875bcA	1.381abA	1.621	
Média	1.237	2.000	1.468	-----	
ANAVA (Probabilidade do teste F)					
Fontes de variação	% Verde	% Cereja	% Passa	Rendimento	Produtividade
Silício (Si)	0,356	<0,001	0,081	0,008	<0,001
Fungicida (F)	0,101	<0,001	0,029	<0,001	<0,001
Si × F	0,061	<0,001	0,391	0,444	0,045
CV(%)	18,5	19,3	34,3	10,7	23,5

Médias seguidas de letras distintas, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem entre si pelo teste t (p>0,05).

Já a porcentagem de frutos de café no estágio passa ou secos na safra de 2014 foi maior em virtude da aplicação de estrobirulina, que diferiu apenas da aplicação do triazol. Em outras palavras, a aplicação de estrobirulina ou da mistura triazol + estrobirulina, além da ausência de aplicação de fungicidas, provocou antecipação da maturação dos frutos (Tabela 17). Esses resultados divergem de Grossmann e Retzlaff (1997) e Grossmann et al. (1999), que relatam que os fungicidas a base de estrobirulina acarretam na diminuição da síntese de etileno e aumento de enzimas antioxidantes, retardando a senescência. Bertelsen et al. (2001) também notaram atraso na senescência e aumento nos teores de N em plantas de trigo pulverizadas com estrobirulina.

A interação dos fatores em estudo afetou os estádios de maturação dos frutos da cultura do café na safra de 2015 (Tabela 18). Observa-se maior porcentagem de frutos de café cereja em relação aos demais estádios, havendo, portanto, maior uniformidade de maturação dos mesmos. Entre os principais tratamentos responsáveis por essa maior uniformidade está a aplicação isolada de triazol ou de estrobirulina, a aplicação de Si via solo associada ou não ao triazol, e a associação ou não da aplicação de Si via foliar aos fungicidas. A uniformidade de maturação dos frutos da safra de 2015 sofreu influência da aplicação do fungicida triazol, independentemente da sua associação com as formas aplicação de Si.

Alguns autores sugerem que as moléculas do grupo dos triazóis, além de efeito fungicida sistêmico, atuam como reguladores de crescimento e maturação de plantas, fato atribuído, principalmente, à inibição da conversão de ACC em etileno na rota biossintética e à alteração no balanço de hormônios como ácido giberélico (inibição de sua biossíntese), ácido abscísico e citocininas. Entretanto, esses efeitos são observados mais em laboratório (*in vitro*) e casa de vegetação (especialmente mudas), havendo poucos relatos dos mesmos em experimentos de campo e com avaliações de produtividade de grãos, além de não serem observados em todas as espécies de planta e nem para todas as moléculas do grupo dos triazóis (RADEMACHER, 2000; HAJIHASHEMI et al., 2007; SANKAR et al., 2014). Berova e Zlatev (2000) observaram antecipação e maior uniformidade de maturação de frutos de tomate, além de redução na altura das plantas e engrossamento do caule, mediante aplicação de paclobutrazol, pertencente ao grupo dos triazóis. Fletcher et al. (2000) relataram que o tratamento com triazóis retarda a senescência das plantas e frutos, justificando que o fungicida altera a síntese de etileno ou citocinina.

Tabela 18. Probabilidade do teste F e valores médios para porcentagem de frutos nos estádios verde, cereja e passa, rendimento de grãos beneficiados e produtividade de grãos beneficiados em função da forma de aplicação de Si e aplicação de fungicidas. Safra 2015.

Fungicidas	Silício			Média	
	Controle	Si solo	Si foliar		
Frutos verdes (%)					
Controle	25,4aA	18,3bA	19,6bA	21,1	
Triazol	16,7bB	28,7aA	32,5aA	26,0	
Estrobirulina	15,8bB	33,7aA	21,2bB	23,6	
Triazol+Estrobirulina	27,9aA	28,7aA	22,1bcA	26,2	
Média	21,5	27,4	23,9	-----	
Frutos cereja (%)					
Controle	54,2bB	68,3aA	63,4aA	62,0	
Triazol	71,7aA	63,7aAB	61,2aB	65,5	
Estrobirulina	68,3aA	55,0bB	67,5aA	63,6	
Triazol+Estrobirulina	51,7bB	45,0cB	63,4aA	53,4	
Média	61,5	58,0	63,9	-----	
Frutos passa (%)					
Controle	20,4aA	13,3bA	17,1aA	16,9	
Triazol	11,7bA	7,5bA	6,2bA	8,5	
Estrobirulina	15,8abA	11,2bA	11,2abA	12,8	
Triazol+Estrobirulina	20,4cAB	26,2aA	14,6abB	20,4	
Média	17,1	14,6	12,3	-----	
Rendimento (%)					
Controle	29,0	29,8	33,3	30,7c	
Triazol	36,0	35,3	38,5	36,6ab	
Estrobirulina	36,0	38,0	38,5	37,5a	
Triazol+Estrobirulina	33,0	32,0	34,5	33,2bc	
Média	33,5	33,8	36,2	-----	
Produtividade de grãos beneficiados (kg ha ⁻¹)					
Controle	911bB	1.516bcA	1.398aAB	1.275	
Triazol	1.512aB	2.678aA	1.403aB	1.864	
Estrobirulina	1.155abAB	1.685bA	1.111aB	1.317	
Triazol+Estrobirulina	1.498aA	1.080cA	1.293aA	1.291	
Média	1.269	1.740	1.301	-----	
ANAVA (Probabilidade do teste F)					
Fontes de variação	% Verde	% Cereja	% Passa	Rendimento	Produtividade
Silício (Si)	<0,001	0,099	0,079	0,235	0,003
Fungicida (F)	<0,001	<0,001	<0,001	0,005	0,002
Si × F	<0,001	0,022	<0,001	0,988	0,004
CV(%)	35,0	25,5	32,6	14,0	27,7

Médias seguidas de letras distintas, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem entre si pelo teste t (p>0,05).

Por fim, a aplicação isolada de triazol + estrobirulina, além da estrobirulina associada ao Si via solo e principalmente a aplicação de triazol associado ao Si via foliar retardaram a maturação, ocasionando maiores porcentagens de frutos verdes (Tabela 18). Já o resultado mais expressivo de frutos no estágio passa foi obtido pela associação de Si aplicado no solo com triazol + estrobirulina.

Em relação aos resultados de rendimento de grãos beneficiados de café, nenhum fator, bem como a interação dos mesmos, afetou os resultados na safra de 2013 (Tabela 16). Já na safra de 2014, a aplicação isolada de Si ou de fungicidas afetou o rendimento de colheita (Tabela 17). Todos os fungicidas, bem como ambas as formas de aplicação de Si, proporcionaram os maiores resultados, superando os do controle. Por fim, observa-se efeito significativo apenas da aplicação de fungicidas na safra de 2015 (Tabela 18). Tanto as aplicações de triazol como de estrobirulina resultaram nas maiores porcentagens de rendimento de colheita.

De forma semelhante ao constatado no presente trabalho na safra de 2014 (Tabela 17), Figueiredo (2007) observou que a aplicação foliar de Si afetou os estádios de maturação dos grãos de café e, conseqüentemente, proporcionou maior rendimento de colheita. O mesmo autor comenta, ainda, que o aumento do rendimento é desejável ao cafeicultor, em função da colheita ser paga por volume. Assim sendo, se no mesmo volume houver mais grãos, a colheita tende a ficar mais barata. Contudo, deve existir cautela, uma vez que o aumento do rendimento devido à maior porcentagem de frutos nos estádios verde ou passa pode prejudicar a qualidade do café quanto ao aspecto, tipo, defeitos e, conseqüentemente, a qualidade de bebida. Assim, o Si destaca-se por elevar a porcentagem de frutos no estágio cereja ou maduro, o qual é o mais interessante para o produtor. Além do Si, os fungicidas triazol e estrobirulina também proporcionaram maior uniformidade de maturação dos frutos (Tabela 18), o que pode ter promovido maior rendimento de grãos beneficiados de café. Como já discutido anteriormente, esses fungicidas atuam no balanço hormonal das plantas, participando, por exemplo, da síntese ou inibição de etileno e de citocininas, responsáveis pelo processo de maturação em vegetais (RETZLAFF, 1997; GROSSMANN et al., 1999; RADEMACHER, 2000; BERTELSEN et al., 2001; HAJIHASHEMI et al., 2007; SANKAR et al., 2014).

Os resultados de produtividade de grãos beneficiados da cultura do café da safra de 2013 não foram afetados pelos tratamentos, bem como pela interação dos fatores (Tabela 16). Já nas safras de 2014 e 2015, a interação das formas de aplicação de Si

e fungicidas influenciou significativamente a produtividade de grãos beneficiados, observando-se que, na ausência da aplicação de fungicidas, a aplicação de Si, seja via solo ou via foliar, proporcionou maior produtividade de grãos (Tabelas 17 e 18). Especialmente na ausência da aplicação de Si, a aplicação dos fungicidas também incrementou a produtividade da cultura do café. Contudo, a aplicação de Si via solo, associada principalmente ao fungicida triazol, proporcionou os maiores resultados de produtividade nas safras de 2014 e 2015, bem como na média das três safras (Tabelas 17, 18 e 19). Apesar dessa associação não ter sido a mais expressiva para todas as características analisadas, observa-se seu efeito em alguma delas, o que ajudaria explicar as maiores produtividades obtidas para a cultura do café mediante aplicação de Si via solo associado ao triazol. Assim, pode-se citar o efeito desse tratamento como sendo um dos mais expressivos no controle das doenças avaliadas, especialmente no ano de 2013 (Figuras 2B e 4B), culminando na maior uniformidade de frutos das safras de 2014 e 2015 (Tabelas 17 e 18).

Há trabalhos na literatura que relatam os efeitos dos triazóis sobre a produtividade das culturas, especialmente por proporcionar maior proteção às plantas e, conseqüentemente, preservar o enfolhamento, porém são escassos, principalmente para cultura do café. Lopes et al. (2014) e Androcioli et al. (2012) observaram que a aplicação de fungicidas do grupo dos triazóis proporcionou significativo controle da ferrugem e cercosporiose, acarretando em maior produtividade de grãos em virtude da preservação do enfolhamento dos cafeeiros. Patricio e Braghini (2011) e Abrahão et al. (2009) relatam que diversos tipos de triazóis, aplicados em mudas ou plantas adultas de cafeeiro, são eficientes para o controle da cercosporiose. Os últimos autores citam um trabalho semelhante, onde foi observada que incidência de cercosporiose em plantas de café não ultrapassou 16% no tratamento com triazóis.

A despeito de pesquisas comprovando a eficácia do triazol na proteção de plantas, com conseqüente incremento de produtividade das culturas, há poucos trabalhos na literatura que demonstrem efeitos fisiológicos ou metabólicos proporcionados pelo fungicida às plantas. Como já discutido anteriormente, fungicidas do grupo dos triazóis são capazes de promover a inibição da biossíntese da giberilina, o que acarretaria em estímulo ao florescimento e maior produção de frutos e grãos (RADEMACHER, 2000; HAJIHASHEMI et al., 2007; SANKAR et al., 2014). Além disso, os triazóis podem induzir à síntese de citocinina, fazendo com que as plantas produzam folhas com coloração

verde escura e altas concentrações de clorofilas, incrementando sua atividade metabólica e enzimática, que por sua vez poderia proporcionar elevadas produtividades (RODRIGUES et al., 1998). Pan et al. (2013) observaram incremento na produtividade de grãos de duas cultivares de arroz mediante aplicação de paclobutrazol (grupo dos triazóis). Eles atribuem esse fato ao aumento da atividade enzimática, com consequente incremento nos componentes de produção do arroz. Espindula et al. (2009) comentam que a aplicação de triazol pode contribuir, também, para a redução de acamamento em plantas de trigo em virtude da menor altura de plantas proporcionada pela molécula. Contudo, os autores não observaram incrementos na produtividade de grãos para esse tratamento.

Tabela 19. Probabilidade do teste F e valores médios para produtividade média de grãos beneficiados em função da forma de aplicação de Si e aplicação de fungicidas. Médias das safras 2013, 2014 e 2015.

Safras 2013, 2014 e 2015.				
Fungicidas	Silício			Média
	Controle	Si solo	Si foliar	
Produtividade média de grãos beneficiados (kg ha ⁻¹)				
Controle	993cB	1.534bcA	1.525abA	1.351
Triazol	1.499aB	2.333aA	1.581aB	1.804
Estrobirulina	1.232bcB	1.712bA	1.284bB	1.409
Triazol+Estrobirulina	1.412abA	1.399cA	1.426abA	1.412
Média	1.284	1.744	1.454	-----
ANAVA (Probabilidade do teste F)				
Fontes de variação	Produtividade			
Silício (Si)	<0,001			
Fungicida (F)	<0,001			
Si × F	<0,001			
CV(%)	12,3			

Médias seguidas de letras distintas, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem entre si pelo teste t (p>0,05).

Outra explicação seria o efeito do Si em promover maior produtividade de grãos da cultura do café. Esse efeito pode estar relacionado com a melhor arquitetura das plantas (folhas mais eretas), diminuindo o auto sombreamento, o que eleva a taxa fotossintética, além de otimizar o uso da água e nutrientes pelas plantas através do controle do fluxo transpiratório (KORNDÖRFER et al., 2004). Como observado no presente trabalho, a aplicação do elemento via solo, embora associado ao triazol, proporcionou os maiores incrementos na produtividade de grãos da cultura do café (Tabelas 17, 18 e 19). Assim, é importante salientar que a aplicação de Si via solo pode ser

uma prática interessante ao produtor em detrimento à aplicação via foliar, visto que seu efeito residual poderia durar por diversos anos agrícolas em virtude de sua baixa solubilidade e, assim, representaria melhor relação custo/benefício e beneficiaria colheitas subsequentes, uma vez que proporcionaria controle mais eficiente de estresses bióticos e abióticos (GONG; CHEN, 2012; GUNTZER et al., 2012). Esse efeito residual do Si seria de extremo interesse para culturas perenes como a do café, visto que a mesma permanece no campo por vários anos.

Nessa linha, Androcioli et al. (2012) constataram que a argila silicatada proporcionou maior produtividade de grãos de café em relação ao tratamento controle. Existem diversos outros trabalhos onde se utilizaram plantas não acumuladoras de Si, resultando em incrementos na produtividade mediante aplicação do elemento, como é o caso das culturas do tomateiro (GOWDA et al., 2015; ROMERO-ARANDA et al., 2006), feijão (ZUCCARINI, 2008), pepino (ZHU et al., 2004) e roseira (SAVVAS et al., 2007). Em culturas agrícolas acumuladoras de Si, como a do arroz e cana-de-açúcar, o elemento é utilizado rotineiramente como fertilizante (SAVANT et al., 1999; MA et al., 2007), promovendo incrementos na produtividade entre 1 e 400% em arroz (YOSHIDA, 1981; MIZUOCHI, 2002; WANG et al., 2001; WANG, 2005; ALI et al., 2008), e entre 6 e 50% em cana-de-açúcar (AYRES, 1966; CLEMENTS, 1965; FOX et al., 1967; GASCHO; ANDREIS, 1974; RAID et al., 1992; KORNDÖRFER; LEPSCH, 2001; KINGSTON et al., 2005). Entretanto, a aplicação de Si via foliar também pode promover incrementos na produtividade das culturas, como observado por Moreira et al. (2010), que constataram aumento da taxa de crescimento da cultura da soja em função da aplicação foliar do elemento, culminado em incremento médio de 19 sacas ha⁻¹. Soratto et al. (2012) observaram aumento da produção de tubérculos na cultura da batata, também promovido pela aplicação de Si via foliar.

Outra possibilidade interessante que deve ser salientada é que os incrementos na produtividade de grãos de café nas safras de 2014 e 2015 podem ter sido consequência, além das relatadas anteriormente, do aumento nos teores foliares de N e P em função dos tratamentos com ambas as formas de aplicação de Si e/ou fungicidas, especialmente contendo estrobirulina em sua composição (Tabelas 9 e 11). Apesar de não ter influenciado diretamente os maiores incrementos na produtividade de grãos de café e ter ocorrido apenas esporadicamente, existem relatos na literatura de tais efeitos proporcionados pela estrobirulina. Grossmann e Retzlaff (1997), Bryson et al. (2000) e

Fagan et al. (2010), em estudos com a cultura da soja, verificaram aumento de produtividade em função da aplicação de estrobirulina, sendo o fato atribuído às alterações fisiológicas, elevação das taxas de crescimento e de desenvolvimento das plantas causadas pelo fungicida.

Em relação a esses aumentos nos teores foliares de N e P estarem relacionados aos incrementos na produtividade, pode-se dizer que, no geral, plantas bem nutridas proporcionam produtividades mais elevadas. Além disso, tudo indica que os tratamentos tornaram as plantas mais eficientes na utilização desses nutrientes, melhorando sua absorção, translocação, acúmulo e, conseqüentemente, elevando a produtividade de grãos de café. Pozza et al. (2009) observaram aumento da eficiência de utilização de nutrientes em plantas de cafeeiro tratadas com silicato de cálcio. O N é o nutriente mais requerido pelas plantas de café (podendo ser aplicado até 400-500 kg ha⁻¹ em lavouras irrigadas), sendo de suma importância para a formação, crescimento e pegamento dos frutos em virtude da sua presença em diferentes compostos, como purinas, alcaloides, aminoácidos, enzimas, vitaminas, hormônios, ácidos nucleicos, nucleotídeos e moléculas de clorofila (BRAGANÇA et al., 2008). Já o P é fundamental em processos metabólicos, genéticos, estruturais e regulatórios das plantas como, por exemplo, transferência de energia, síntese de macromoléculas, síntese de ácidos nucléicos, fotossíntese e respiração, desempenhando papel diretamente ligado ao crescimento vegetal e produtividade de grãos (MELO et al., 2005).

Diante dos resultados apresentados, pode-se dizer que pesquisas mais detalhadas sobre os efeitos do Si nas culturas agrícolas, especialmente aquelas consideradas não acumuladoras, como a do café, devem ser estimuladas. O fato é que novas metodologias de extratores de solo e estudos relacionando a eficiência da aplicação do Si com fenômenos ecofisiológicos das culturas vem sendo desenvolvidos, a fim de quantificar e compreender melhor como um elemento tido como não essencial para as plantas é capaz de afetar de tantas maneiras as mesmas, resultando em ganhos reais de produtividade, sendo elas acumuladoras de Si ou não. Os estudos devem focar não somente em resultados isolados, mas tentar entender a complexidade das alterações fisiológicas acarretadas pela aplicação desse elemento (MENEGALE et al., 2015).

7. CONCLUSÕES

A aplicação de Si via solo ou via foliar, associada ou não aos fungicidas estudados, promove maior atividade das enzimas polifenoloxidase e peroxidase e reduz a incidência de cercosporiose e ferrugem do cafeeiro.

A aplicação de Si, principalmente via solo e associado ao fungicida triazol, promove maior produtividade de grãos beneficiados da cultura do café arábica.

A associação das formas de Si com os fungicidas estudados é benéfica à cultura do café arábica.

8. REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, A. A. et al. Influência de safras agrícolas e tratamentos fungicidas no café cereja descascado e bóia. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 33, Edição Especial, p. 1919-1925, 2009.

ADATIA, M.H., BESFORD, R.T. The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. **Annals of Botany**, Oxford, v. 58, n. 3, p. 343-351, 1986.

AKERS, A.; KOEHLE, H. H.; GOLD, R. E. Uptake, transport and mode of action of BAS 480 F, a new triazole fungicide. **Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference**. Farnham, UK, British Crop Protection Council, 837-845, 1990.

AL-AGHABARY, K.; ZHUJUN, Z.; QINHUA, S. Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. **Journal of Plant Nutrition**, Jefferson City, v. 27, n. 12, p. 2101-2115, 2005.

ALI, M. A.; LEE, C. H.; KIM, P. J. Effect of silicate fertilizer on reducing methane emission during rice cultivation. **Biology and Fertility of Soils**, Dordrecht, v. 44, n. 4, p. 597-604, 2008.

AMARAL, D. R. et al. Silicato de potássio na proteção do cafeeiro contra *Cercospora coffeicola*. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, DF, v. 33, n. 6, p. 425-431, 2008.

ANDROCIOLI, H. G. et al. Produtos alternativos no controle da *Hemileia vastatrix* (Berkeley & Broome) e *Cercospora coffeicola* (Berkeley & Cooke) em cafeeiros. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 2, p. 187-197, 2012.

ANKE, T. The antifungal strobilurins and their possible ecological role. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 73, Supplement 1, p. 940-945, 1995.

ÁVILA, F. W. et al. Interação entre silício e nitrogênio em arroz cultivado sob solução nutritiva. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 184-190, 2010.

AYRES, R. S. Calcium silicate as a growth stimulant for sugarcane on low silicon soils. **Soil Science**, Madison, v. 101, n. 3, p. 216-227, 1966.

BAKHAT, H. F. S. G. **Role of silicon in plasmalemma H-ATPase hydrolytic and pumping activity in maize (*Zea mays* L.)**. 100 f. 2012. Tese (Doutorado em Agricultura)-Justus Liebig University, Giessen, Germany, 2012.

BARNES, J. S.; KAMPRATH, E. J. **Availability of North Carolina rock phosphate applied to soils**. Raleigh: North Carolina State University, 1975. 23 p. (Technical Bulletin, 229).

BARTLETT, D. W. et al. Review: The strobilurin fungicide. **Pest Management Science**, Sussex, v. 58, n. 7, p. 649-662, 2002.

BÉLANGER, R.R.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J. G. Cytological evidence of an active role of silicon in wheat resistance to powdery mildew (*Blumeria graminis* fsp. *tritici*) **Phytopathology**, St. Paul, v. 93, n. 4, p. 402-412, 2003.

BENEDETTI, T. C. et al. Aplicação de fosfito e silicato de potássio via foliar em plantas de cenoura: arquitetura e crescimento de raiz. In. SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 4., 2007, Botucatu. **Anais...** Botucatu: UNESP, 2007. p. 231-234.

BERGMANN, H. et al. Activation of stress resistance in plants and consequences for product quality. **Journal Application of Botany**, Berlin, v. 73, p. 153-161, 1999.

BEROVA, M.; ZLATEV, Z. Physiological response and yield of paclobutrazol treated tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 30, p. 117-123, 2000.

BERTELSEN, J. R.; NEERGAARD, E.; SMEDEGAARD-PETERSEN, V. Fungicidal of azoxystrobin and epoxiconazole on phyllosphere fungi, senescence and yield of winter wheat. **Plant Pathology**, Brasília, v. 50, n. 2, p. 190-205, 2001.

BINDSCHEDLER, L. F.; et al. The apoplastic oxidative burst in response to biotic stress in plants: a three-component system. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 53, n. 372, p. 1367-1376, 2002.

BOTELHO, D. M. S. et al. Intensidade da cercosporiose em mudas de cafeeiro em função de fontes e doses de silício. **Revista de Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 6, p. 582-588, 2005.

BOWEN, P. A.; MENZIES, J. G.; EHRET, D. L. Soluble silicon sprays inhibit powdery mildew development on grape leaves. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 117, n. 6, p. 906-912, 1992.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, Dordrecht, v. 72, n. 1-2, p. 248-254, 1976.

BRAGANÇA, S. M. et al. Accumulation of macronutrients for the conilon coffee tree. **Journal of Plant Nutrition**, Jefferson City, v. 31, n. 1, p. 103-120, 2008.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Cadeia de fertilizantes. Relatório Técnico 75: Perfil dos Fertilizantes N, P e K. 2009**. Disponível em:

<http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/a_transformacao_mineral_no_brasil/P49_RT75_Perfil_dos_Fertilizantes_N-P-K.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2012.

BRYSON, R. J.; LEANDRO, L.; JONES, D. R. The physiological effects of kresoxim-methyl on wheat leaf greenness and the implication for crop yield. In: PROCEEDINGS OF THE RIGHTON CROP PROTECTION CONFERENCE – PESTS AND DISEASES, 2000, Farnham. **Proceedings...** Farnham: British Crop Protection Council, 2000. p. 739-747.

BUITRAGO, J. H. L.; FERNANDEZ-BORRERO, O. Esporulacion “in vitro” de *Cercospora coffeicola* Berk & Cooke. **Cenicafé**, Chinchiná, v. 33, n. 1, p. 3-14, 1982.

BYBORDI, A. Effect of ascorbic acid and silicium on photosynthesis, antioxidant enzyme activity, and fatty acid contents in canola exposure to salt stress. **Journal of Integrative Agriculture**, Dordrecht, v. 11, p. 1610-1620, 2012.

CABRAL, P. G. C. et al. Identification of a new race of *Hemileia vastatrix* in Brazil. **Australasian Plant Disease Notes**, Brisbane, v. 4, p. 129-130, 2009.

CAREY, J. C.; FULWEILER, R.W. Silica uptake by *Spartina*-evidence of multiple modes of accumulation from salt marshes around the world. **Frontier in Plant Science**, Lausanne, v. 5, p. 186, 2014.

CARNEIRO, C.E.A. et al. Calcário, potássio, fosfato e silício na produtividade do solo. **Acta Scientiarum-Agronomy**, Maringá, v.28, n.4, p.465-470, 2006.

CARRÉ-MISSIO, V. et al. Aplicação foliar de silicato de potássio, acibenzolar-S-metil e fungicidas na redução da mancha de *Pestalotia* em morango. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 35, n. 3, p. 182-185, 2010.

CARRÉ-MISSIO, V. et al. Componentes epidemiológicos da ferrugem do cafeeiro afetados pela aplicação foliar de silicato de potássio. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 37, n. 1, p. 50-56, 2012.

CARRÉ-MISSIO, V. et al. Ineficiência do silício no controle da ferrugem do cafeeiro em solução nutritiva. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 34, n. 6, p. 416-421, 2009.

CARVALHO JÚNIOR, P. C. et al. Aplicação de silicato de potássio via foliar em plantas de batata: teor foliar de Si e arquitetura da planta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOLOS, 32., 2007, Gramado. **Resumos...** Gramado: SBSC, 2007. 1 CD-ROM.

CARVALHO, R. et al. Interações silício-fósforo em solos cultivados com eucalipto em casa-de-vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.3, p.557-565, 2001.

CARVALHO, V. L.; CHALFOUN, S. M. **Doenças do Cafeeiro**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2000. 44 p. (EPAMIG. Boletim Técnico, 58).

CARVALHO, V. L.; CUNHA, R. L.; SILVA, N. R. N. Alternativas de controle de doenças do cafeeiro. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 42-49, 2012.

CASTAÑO, A. J. J. Mancha de hierro del cafeto. **Cenicafé**, Chinchiná, v. 82, n. 3, p. 313-327, 1956.

CHALFOUN, S. M.; CARVALHO, V. L. Doenças e nematóides em cafeeiros. In: GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; SOUZA, C. A. S. (Org.). **Cafeicultura**. Lavras: UFLA, 2002. p. 262-276.

CLEMENTS, H. F. Effects of silicate on the growth and leaf freckle of sugar cane in Hawaii. **Proceedings of International Society of Sugar Cane Technologists**, Hilo, v. 12, p. 197-215, 1965.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira. Café Safra 2015: quarto levantamento**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_12_17_09_02_47_boletim_cafe_dezembro_2015_2.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2015.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Effects of silicon and drought stress on tuber yield and leaf biochemical characteristics in potato. **Crop Science**, Madison, v.49, n.3, p. 949-954, 2009.

CUNHA, A. C. M. C. M. et al. Growth and nutrient uptake of coffee seedlings cultivated in nutrient solution with and without silicon addition. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 3, p. 392-398, 2012.

CURRIE, H. A.; PERRY, C. C. Silica in plants: biological, biochemical and chemical studies. **Annals of Botany**, Oxford, v. 100, n. 7, 1383-1389, 2007.

DATNOFF, L. E.; RODRIGUES, F. A.; SEEBOLD, K. W. Silicon and Plant Nutrition. In: DATNOFF, L. E.; ELMER, W. H.; HUBER, D. M. (Eds.) **Mineral nutrition and plant disease**. St. Paul: APS Press. p. 233-246, 2007.

DUARTE, I. N. et al. Aplicação de silicato de potássio via foliar em plantas de batata: produção e sólidos. In: SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 4., 2007, Botucatu. **Anais...** Botucatu: UNESP. 2007, p. 175-178.

ELLIOTT, C. L.; SNYDER, G. H. Autoclave - induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, DC, v. 39, n. 6, p. 1118-1119, 1991.

EMBRAPA - Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 306p, 2006.

ENEJI, A.E. et al. Growth and nutrient use in four grasses under drought stress as mediated by silicon fertilizers. **Journal of Plant Nutrition**, Jefferson City, v. 31, n. 2, p. 355-365, 2008.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 50, n. 1, p. 641-664, 1999.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Planta, 2005. 401 p.

ESPINDULA et al. Use of growth retardants in wheat. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 379-387, 2009.

FAGAN, E. B. **A cultura da soja: modelo de crescimento e aplicação da estrobirulina**. 2007. 83 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007.

FAGAN, E. B. et al. Efeito da aplicação de piraclostrobina na taxa fotossintética, respiração, atividade da enzima nitrato redutase e produtividade de grãos de soja. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, p. 771-777, 2010.

FERRÃO, A. M. A. **Arquitetura do café**. Campinas: Ed. Unicamp, 2004. 296 p.

FIGUEIREDO, F. C. **Nutrição, proteção e qualidade da bebida do café sob pulverizações de silicato de potássio líquido solúvel**. 2007. 97 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

FLETCHER, R. A. et al. Triazoles as plant growth regulators and stress protectants. **Horticulture Reviews**, Milton, v. 24, p. 55-138, 2000.

FOX, R. L. et al. Soil and plant silicon response by sugarcane. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 31, n. 6, p. 775-779, 1967.

GAO, J.; HOFSTRA, G.; FLETCHER, R. A. Anatomical changes induced by triazoles in wheat seedlings. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 66, p. 178-185, 1988.

GASCHO, G. J.; ANDREIS, H. J. Sugarcane response to calcium silicate slag applied to organic and sandy soils. **Proceedings of International Society of Sugar Cane Technologists**, Hilo, v. 15, p. 543-551, 1974.

GASCHO, G. Silicon sources for agriculture. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDORFER, G. H. (Eds.). **Silicon in Agriculture**. Dordrecht: Elsevier, 2001. p. 197-207.

GICHURU, E. K. et al. Additional physiological races of coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*) identified in Kenya. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 37, p. 424-427, 2012.

GLAAB, J.; KAISER, W. M. Increased nitrate reductase activity in leaf tissues after application of the fungicide Kresoxim-methyl. **Planta**, Berlin, v. 207, p. 442-448, 1999.

GONG, H.; CHEN, K. The regulatory role of silicon on water relations, photosynthetic gas exchange, and carboxylation activities of wheat leaves in field drought conditions. **Acta Physiologiae Plantarum**, Dordrecht, v. 34, n. 4, p. 1589-1594, 2012.

GOPI, R. et al. Growth and photosynthetic characteristics as affected by triazoles in *Amorphophallus campanulatus*. **General and Applied Plant Physiology**, Blume, v. 31, n. 3-4, p. 171-180, 2005.

GOWDA, M. D. C. et al. Effect of specialty fertilizers on growth and yield of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). **Plant Archives**, Heonra, v. 15, n. 1, p. 335-338, 2015.

GROSSMANN, K.; KWIATKOWSKI, J.; CASPAR, G. Regulation of phytohormone levels, leaf senescence and transpiration by strobilurin Kresoxim-methyl in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Plant Physiology**, Dordrecht, v.154, p. 805-808, 1999.

GROSSMANN, K.; RETZLAFF, G. Bioregulatory effects of the fungicidal strobilurin kresoxim methyl in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Pesticide Science**, Oxford, v. 50, p. 11-20, 1997.

GUERRA, A. N. M. et al. Resistência do algodoeiro à ferrugem tropical potencializada pelo silício. **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 3, p. 279-291, 2013.

GUNES, A. et al. Influence of silicon on antioxidant mechanisms and lipid peroxidation in chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under drought stress. **Journal of Plant Interactions**, London, v. 2, n. 2, p. 105-113, 2007a.

GUNES, A. et al. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, I: Growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. **Communication in Soil Science and Plant Analyses**, London, v. 39, n. 13, p. 1885-1903, 2008.

GUNES, A. et al. Silicon-mediated changes on some physiological and enzymatic parameters symptomatic of oxidative stress in barley grown in sodic-B toxic soil. **Journal of Plant Physiology**, Dordrecht, v. 164, n. 6, p. 807-811, 2007b.

GUNTZER, F.; KELLER, C.; MEUNIER, J. D. Benefits of plant silicon for crops: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, Dordrecht, v. 32, n. 1, p. 201-213, 2012.

HAJIHASHEMI, S. et al. Exogenously applied paclobutrazol modulates growth in salt-stressed wheat plants. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 53; n. 2, p. 117-128, 2007.

HATTORI, T. et al. Application of silicon enhanced drought tolerance in *Sorghum bicolor*. **Physiologia Plantarum**, Tokyo, v. 123, n. 4, p. 459-466, 2005.

HAYNES, R. J. A contemporary overview of silicon availability in agricultural soils. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 177, n. 6, p. 831-844, 2014.

HEINE, G.; TIKUM, G.; HORST, W. J. The effect of silicon on the infection by and spread of *Pythium aphanidermatum* in single roots of tomato and bitter melon. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 58, n. 3, p. 569-577, 2007.

HERNANDEZ-APAOLAZA, L. Can silicon partially alleviate micronutrient deficiency in plants? A review. **Planta**, Berlin, v. 240, n.3, p. 447-458, 2014.

HEWITT, H. G. **Fungicides in Crop Protection**. Wallingford: CABI INTERNATIONAL. 1998. 232 p.

HINSINGER, P. Bio-availability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root induced chemical changes: a review. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 237, p. 173-195, 2001.

HONORATO JÚNIOR, J. et al. Effects of epoxiconazole and pyraclostrobin fungicides in the infection process of *Hemileia vastatrix* on coffee leaves as determined by chlorophyll a fluorescence imaging. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v. 163, p. 968-977, 2015a.

- HONORATO JÚNIOR, J. et al. Photosynthetic and antioxidative alterations in coffee leaves caused by epoxiconazole and pyraclostrobin sprays and *Hemileia vastatrix* infection. **Pesticide, Biochemistry and Physiology**, Dordrecht, v. 123, p. 31-39, 2015b.
- ITAKO, A. T. et al. Chemical products induce resistance to *Xanthomonas perforans* in tomato. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v. 46, n. 3, p. 701-706, 2015.
- KASELE, I. N.; SHANNAHAN, J. F.; NIELSEL, D. C. Impact of growth retardants on corn leaf morphology and gas exchange traits. **Crop Science**, Madison, v. 35, n. 1, p. 190-194, 1995.
- KHAN, D. H.; ROY, A. C. Growth, P-uptake and fiber cell dimensions of jute plants affected by silicate treatment. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 20, n. 3, p. 331-336, 1964.
- KINGSTON, G. et al. Impact of calcium silicate amendments on sugarcane yield and soil properties in Queensland, Australia. In: SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE, 3., 2005, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2005. p. 107-117.
- KISHOREKUMAR, A. et al. Differential effects of hexaconazole and paclobutrazol on the foliage characteristics of Chinese potato (*Solenostemon rotundifolius* Poir., J.K. Morton). **Acta Biologica Szegediensis**, Szeged, v. 50, n. 3-4, p. 127-129, 2006.
- KÖEHLE, H. et al. Physiological effects of the strobilurin fungicide F500 on plants. In: DEHNE, H.W. et al. (Eds.). **Modern fungicides and antifungal compounds III**. Andover, 2002, p. 61-74.
- KORNDÖRFER, G. H.; LEPSCH, I. Effect of Silicon on Plant Growth and Crop Yield. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (Eds.). **Silicon in Agriculture**. Dordrecht: Elsevier. p. 133-147, 2001.
- KORNDÖRFER, G. H.; NOLLA, A.; OLIVEIRA, L. A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Uberlândia: GPSi-ICIAG-UFU, 2004. 39 p. (Boletim Técnico, 02).
- LI, Y. C. et al. Antifungal activity of sodium silicate on *Fusarium sulphureum* and its effect on dry rot of potato tubers. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 74, n. 5, p. 1334-1339, 2009.
- LIANG, Y. C. et al. Effects of foliar and root applied silicon on the enhancement of induced resistance to powdery mildew in *Cucumis sativus*. **Plant Pathology**, Oxford, v. 54, n. 5, p. 678-685, 2005.
- LIANG, Y.C. et al. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). **Journal of Plant Physiology**, Dordrecht, v. 160, n. 10, p. 1157-1164, 2003.
- LIMA FILHO, O. F.; LIMA, M. T. G.; TSAI, S. M. O silício na agricultura. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 87, p. 1-7, 1999.
- LOCARNO, M.; FOCHI, C. F.; PAIVA, P. D. O. Influência da adubação silicatada no teor de clorofila em folhas de roseira. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 2, p. 287-290, 2011.

LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M. I. **Manual técnico de manejo e conservação de solo e água**. Campinas: CATI, 1994. 168 p. (Manual Técnico, 40).

LOPES, U. P. et al. Silicate slag combined with tebuconazole in management of brown eye spot in coffee. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 221-226, 2013.

LOPES, U. P. et al. Silicon and triadimenol for the management of coffee leaf rust. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v. 162, n. 2, p. 124-128, 2014.

MA, J. F. et al. An efflux transporter of silicon in rice. **Nature**, Nova York, v. 448, p. 209-213, 2007.

MA, J. F. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 50, n. 1, p. 11-18, 2004.

MA, J. F.; YAMAJI, N. Functions and transport of silicon in plants. **Cellular and Molecular Life Sciences**, Basel, v. 65, n. 19, p. 3049-3057, 2008.

MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**, Dordrecht, v. 11, n. 8, p. 392-397, 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 308 p.

MALI, M.; AERY, N. C. Influence of silicon on growth, relative water contents and uptake of silicon, calcium and potassium in wheat grown in nutrient solution. **Journal of Plant Nutrition**, Jefferson City, v. 31, n. 11, p. 1867-1876, 2008a.

MALI, M.; AERY, N. C. Silicon effects on nodule growth, dry matter production, and mineral nutrition of cowpea (*Vigna unguiculata*). **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 171, n. 6, p. 835-840, 2008b.

MANCUSO, M. A. C. et al. Effect of potassium sources and rates on arabica coffee yield, nutrition, and macronutrient export. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Brasília, v. 38, n. 5, p. 1448-1456, 2014.

MATICHENKOV, V. V.; BOCHAMIKOVA, E. A. The relationship between silicon and soil physical and chemical properties. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (Eds.). **Silicon in Agriculture**. Dordrecht: Elsevier. p. 209-219, 2001.

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura de Café no Brasil: manual de recomendações**. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFE, 2010. 542 p.

MATIELLO, J. B.; ALMEIDA, S. R. **A ferrugem do cafeeiro no Brasil e seu controle**. Varginha: PROCAFÉ, 2006. 98p.

MATIELLO, J. B.; ALMEIDA, S. R. Controle associado de doenças do cafeeiro. **Correio Agrícola**, Santa Maria, v. 2, n. 1, p. 25-27, 1997.

MAUAD, M. et al. Teores de silício no solo e na planta de arroz de terras altas com diferentes doses de adubação silicatada e nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Brasília, v. 27, n. 5, p. 867-873, 2003.

MELO, B.; MARCUZZO, K. V.; TEODORO, R. E. F.; CARVALHO, H. P. Fontes e doses de fósforo no desenvolvimento e produção do cafeeiro em um solo originalmente sob vegetação de cerrado de Patrocínio-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 2, p. 315-321, 2005.

MENEGALE, M. L. C.; CASTRO, G. S. A.; MANCUSO, M. A. C. Silício: interação com o sistema solo-planta. **Journal of Agronomic Sciences**, Maringá, v. 4, número especial, p. 435-454, 2015.

MENZIES, J. G. et al. Effects of soluble silicon on the parasitic fitness of *Sphaerotheca fuliginea* on *Cucumis sativus*. **Phytopathology**, St. Paul, v. 81, n. 1, p. 84-88, 1991.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. **Agrofit – Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários**. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 27 fev. 2016.

MITANI, N.; MA, J. F. Uptake system of silicon in different plant species. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 56, n. 414, p. 1255-1261, 2005.

MIZUOCHI, T. Role of silicon in potassium silicate fertilizer. In: PROCEEDINGS OF THE 2nd INTERNATIONAL CONFERENCE ‘SILICON IN AGRICULTURE’, 2002, Tsuruoka. **Proceedings...** Tsuruoka, 2002. p. 191-194.

MOREIRA, A. R. et al. Resposta da cultura de soja a aplicação de silício foliar. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 3, p. 413-423, 2010.

NASCIMENTO, J. F. et al. Effect of potassium silicate combine or not with systemic or protector fungicides on the control of Asian soybean rust. In: SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE, 3., 2005, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2005. p. 121.

PAN, S. et al. Roles of plant growth regulators on yield, grain qualities and antioxidant enzyme activities in super hybrid rice (*Oryza sativa* L.). **Rice**, Dordrecht, v. 6, n. 1, p. 1-9, 2013.

PATRICIO, F. R. A.; BRAGHINI, M. T. Efeito de fungicidas triazóis sobre o controle da cercosporiose em mudas de cafeeiro. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 78, n. 2, p. 241-249, 2011.

PEREIRA, S. C. et al. Efeito da aplicação foliar de silício na resistência à ferrugem e na potencialização da atividade de enzimas de defesa em cafeeiro. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, DF, v. 34, n. 4, p. 223-230, 2009.

PILON, C. et al. Foliar or soil applications of silicon alleviate water-deficit stress of potato plants. **Agronomy Journal**, Madison, v. 106, n.6, p. 2325-2334, 2014.

- PILON, C.; SORATTO, R.P.; MORENO, L.A. Effects of soil and foliar application of soluble silicon on mineral nutrition, gas exchange, and growth of potato plants. **Crop Science**, Madison, v. 53, n.4, p. 1605-1614, 2013.
- POZZA, A. A. A. et al. Efeito do silício no controle da cercosporiose em três variedades de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 2, p. 185-188, 2004.
- POZZA, A. A. A. et al. Retenção e dessorção competitivas de ânions inorgânicos e gibbsita natural de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 11, p. 1627-1633, 2007.
- POZZA, A. A. A. et al. Suprimento do silicato de cálcio e a eficiência nutricional de variedades de cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1705-1714, 2009.
- POZZA, E. A.; CARVALHO, V. L.; CHALFOUN, S. M. Sintomas de injúrias causados por doenças em cafeeiro. In: GUIMARAES, R. L.; MENDES, A. N. G.; BALIZA, D. P. (Eds). **Semiologia do cafeeiro: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitários e fisiológicos**. Lavras-MG: UFLA, Lavras-MG, p. 69-101, 2010.
- PULZ, A. L. et al. Influência de silicato e calcário na nutrição, produtividade e qualidade da batata sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1651-1659, 2008.
- RADEMACHER, W. Growth retardants: effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 51, p. 501-531, 2000.
- RAFI, M. M.; EPSTEIN, E. Silicon deprivation causes physical abnormalities in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Plant Physiology**, Dordrecht, v. 151, n. 4, p. 497-501, 1997.
- RAID, R. N.; ANDERSON, D. L.; ULLOA, M. F. Influence of cultivar and soil amendment with calcium silicate slag on foliar disease development and yield of sugarcane. **Crop Protection**, Dordrecht, v. 11, n.1, p. 84-88, 1992.
- RAIJ, B. van et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. 284 p.
- RAIJ, B. van et al. Café. In: RAIJ, B. van et al. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1997. p. 97-101 (Boletim Técnico, 100).
- REIS, T. H. P. et al. Efeito da associação silício líquido solúvel com fungicida no controle fitossanitário do cafeeiro. **Coffee Science**, Lavras, v. 3, n. 1, p. 76-80, 2008.
- REIS, T. H. P. et al. **O silício na nutrição e defesa de plantas**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007. 124 p. (Boletim técnico, 82).

- RODRIGUES, F. A. et al. Silicon influences cytological and molecular events in compatible rice-*Magnaporthe grisea* interactions. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, Londres, v. 66, n. 4, p. 144-159, 2005.
- RODRIGUES, J. D.; ONO, E. O.; FOLONI, L. L. Efeito da aplicação de uniconazole na cultura da soja [(*Glycine max* (L.) Merrill cv IAC-17)]. **Ciência Agrícola**, Piracicaba, v. 55, n. 2, p. 313-319, 1998.
- ROMERO- ARANDA, M. R.; JURADO, O.; CUARTERO, J. Silicon alleviates the deleterious salt effects on tomato plant growth by improving plant water status. **Journal of Plant Physiology**, Dordrecht, v. 163, n. 8, p. 847-855, 2006.
- RONCHI, A. et al. Effects of a triazolic fungicide on maize plant metabolism: modifications of transcript abundance in resistance-related pathways. **Plant Science**, Limerick, v. 130, n. 1, p. 51-62, 1997.
- ROSSETTI, R. P. **Determinação de fenóis totais em frutos do café: avaliações em diferentes fases de maturação**. 2007. 72 f. Dissertação (Mestrado em Bioquímica)- Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- SAMUELS, A. L. et al. Mobility and deposition of silicon in cucumber plants. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 14, n. 5, p. 485-492, 1991.
- SAN JUAN, R. C. C.; MATIELLO, J. B. Efeito do pH da calda fungicida na atividade de Sphero no controle da ferrugem do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 32., 2006, Poços de Caldas, MG. **Anais...** Poços de Caldas, 2006. p. 97-98.
- SANKAR, B. et al. Variation in growth of peanut plants under drought stress condition and in combination with paclobutrazol and abscisic acid. **Current Botany**, Kerala, v. 5, n.1, p. 14-21, 2014.
- SAVANT, N. K. et al. Silicon nutrition and sugarcane production: a review. **Journal of Plant Nutrition**, Jefferson City, v. 22, n. 12, p. 1853-1903, 1999.
- SAVVAS, D. et al. Interactions between silicon and NaCl-salinity in a soilless culture of roses in greenhouse. **European Journal of Horticultural Science**, Leuven, v. 72, n. 2, p. 73-79, 2007.
- SAVVAS, D.; NTATSI, G. Biostimulant activity of silicon in horticulture. **Scientia Horticulturae**, Dordrecht, v. 196, p. 66-81, 2015.
- SHEN, X. et al. Nutrient acquisition by soybean treated with and without silicon under ultraviolet-B radiation. **Journal of Plant Nutrition**, Jefferson City, v. 32, n. 10, p. 1731-1743, 2009.
- SILVA, M.A. et al. Frações de fósforo em Latossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.10, p.1197-1207, 2003.

- SILVA, M.C. et al. Involvement of peroxidases in the coffee resistance to orange rust (*Hemileia vastatrix*). **Physiological and Molecular Plant Pathology**, Dordrecht, v. 72, n. 1-3, p. 29-38, 2008.
- SORATTO, R. P. et al. Produtividade, qualidade de tubérculos e incidência de doenças foliares em batata, influenciados pela aplicação foliar de silício. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 7, p. 1000-1006, 2012.
- SOUSA, J. V. et al. Silicato de potássio via foliar no milho: fotossíntese, crescimento e produtividade. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 4, p. 502-513, 2010.
- TALAMINI, V. et al. Progresso da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro (*Coffea arabica* L.) com diferentes épocas de início e parcelamentos da fertirrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 1, p. 141-149, 2003.
- THIPYAPONG, P.; HUNT, M. D.; STEFFENS, J. C. Systemic wound induction of potato (*Solanum tuberosum*) polyphenol oxidase. **Phytochemistry**, Oxford, v. 40, n. 3, p. 673-676, 1995.
- URBANEK, H.; KUZNIAK-GEBAROWSKA, E.; HERKA, H. Elicitation of defense responses in bean leaves by *Botrytis cinerea* polygalacturonase. **Acta Physiologiae Plantarum**, Dordrecht, v. 13, n. 1, p. 43-50, 1991.
- VALERO, E.; VARÓN, R.; CARMONA, G. F. Characterization of polyphenoloxidase from airen grape. **Journal of Food Science**, Nova York, v. 53, n. 5, p. 1482-1485, 1988.
- VAN BOCKHAVEN, J.; VLEESSCHAUWER, D.; HÖFTE, M. Towards establishing broad-spectrum disease resistance in plants: silicon leads the way. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 64, n. 5, p. 1281-1293, 2013.
- VENÂNCIO, W. S. et al. Efeitos Fisiológicos de Fungicidas sobre plantas. In: LUZ, W. C. (Org.). **Revisão Anual de Patologia de Plantas**. Passo Fundo: RAPP, 2004, v. 12, p. 317-341.
- VIDHYASEKARAN, P. **Fungal pathogenesis in plants and crops**. Marcel Dekker Inc.: New York, 1997. 553 p.
- VIGO, S. C. et al. Evaluation of pyraclostrobin and acibenzolar-S-methyl on common bacterial blight of snap bean. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 167-174, 2012.
- WANG, H.; LI, C.; LIANG, Y. Agricultural Utilization of Silicon in China. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (Eds.). **Silicon in Agriculture**. Dordrecht: Elsevier. p. 343-358, 2001.
- WANG, M. Effect of complete silicon fertilizer on rice yield. **Acta Agriculturae**, Shanghai, v. 21, n. 1, p. 71-73, 2005.
- WU, J. et al. Mechanisms of enhanced heavy metal tolerance in plants by silicon: a review. **Pedosphere**, Dordrecht, v. 23, n. 6, p. 815-825, 2013.

YOSHIDA, S. **Fundamentals of Rice Crop Science**. Los Baños: International Rice Research Institute, 1981. 269 p.

ZAMBOLIM, L. et al. Café. In: VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, L. (Eds.). **Controle de doenças de plantas**. Viçosa-MG: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, Brasília-DF, p. 83-180, 1997.

ZAMBOLIM, L. et al. Epidemiologia e controle integrado da ferrugem-do-cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **O Estado da arte de Tecnologias de Produção de Café**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, p. 369-450, 2002.

ZAMBOLIM, L. et al. Physiological races of *Hemileia vastatrix* Berk. Et Br. in Brazil: physiological variability, current situation and future prospects. In: ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E. M.; VÂRZEA, V. M. P. **Durable Resistance to Coffee leaf rust**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, p. 75-98, 2005.

ZHU, Y.; GONG, H. Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. **Agronomy for Sustainable Development**, Dordrecht, v. 34, n. 2, p. 455-472, 2014.

ZHU, Z. et al. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). **Plant Science**, Dordrecht, v. 167, n. 3, p. 527-533, 2004.

ZUCCARINI, P., 2008. Effects of silicon on photosynthesis, water relations and nutrient uptake of *Phaseolus vulgaris* under NaCl stress. **Biologia Plantarum**, Dordrecht, v. 52, n.1, p. 157-160, 2008.