



ELISEU MARCOLINO

**DETERMINAÇÃO DO INTERVALO DA APLICAÇÃO DE
PRODUTOS CÚPRICOS A INOCULAÇÃO DE *Hemileia*
vastatrix EM MUDAS DE CAFEIEIRO**

**LAVRAS - MG
2019**

ELISEU MARCOLINO

**DETERMINAÇÃO DO INTERVALO DA APLICAÇÃO DE PRODUTOS CÚPRICOS
A INOCULAÇÃO DE *Hemileia vastatrix* EM MUDAS DE CAFEIEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitopatologia, área de concentração em Fitopatologia, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza
Orientador

**LAVRAS-MG
2019**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Marcolino, Eliseu.

Determinação do intervalo da aplicação de produtos cúpricos a
inoculação de *Hemileia vastatrix* em mudas de cafeeiro:

Determinação do intervalo da aplicação de produtos cúpricos a
inoculação de *Hemileia vastatrix* em mudas de cafeeiro / Eliseu

Marcolino. - 2019.

52 p.

Orientador(a): Edson Ampelio Pozza.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2019.

Bibliografia.

1. Fungicida protetor. 2. Epidemiologia. 3. Quelato de cobre. I.
Pozza, Edson Ampélio. II. Título.

ELISEU MARCOLINO

**DETERMINAÇÃO DO INTERVALO DA APLICAÇÃO DE PRODUTOS CÚPRICOS
A INOCULAÇÃO DE *Hemileia vastatrix* EM MUDAS DE CAFEIEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitopatologia, área de concentração em Fitopatologia, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 21 de fevereiro de 2019.

Dr. Edson Ampélio Pozza
Dr. Mário Sobral de Abreu
Dr. André Dominghetti Ferreira

UFLA
UFLA
EMBRAPA CAFÉ

Prof^a. Dr. Edson Ampélio Pozza
Orientador

**LAVRAS – MG
2019**

Aos meus amados avós, José Marcolino Junior e Francisca Teixeira da Silva Marcolino (in memoriam) e Mãe Francisca de Paula Marcolino, por todo incentivo e apoio.

Aos meus queridos amigos, antigos e novos, professores e tantas outras pessoas que direta ou indiretamente me entusiasmaram e contribuíram para a realização deste.

AGRADECIMENTOS

Aos meus avós, Francisca Teixeira da Silva Marcolino (*in memoriam*) e José Marcolino Junior, por tanto amor e dedicação em mim depositado. A minha mãe, por apoiar em cada passo dado nessa jornada.

Aos amigos de república: Thiago Lucas de Oliveira, José Emanuel, Henrique. Aos novos amigos e companheiros Adriano Dorigan, Fabiano França. Meus velhos amigos Sergio Rosa Bandeira, Caio César, Felipe Derenzi, agradeço a amizade, por darem força e ajuda em cada momento e as boas conversas. Em especial aos que arregaçaram as mangas. E com muito carinho a Bruna Marques.

Ao professor Edson Ampélio Pozza, agradeço pela orientação e ensinamentos.

Ao Silvio, técnico do Laboratório de Epidemiologia, por todo o apoio e ensinamentos dados durante a execução dos experimentos.

Aos meus colegas de laboratório Mauro, Renata, Andreane e Cristian pela prontidão em prestar ajuda.

Ao estagiário Othon por toda ajuda na condução do experimento.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

A todos que contribuíram e auxiliaram direta ou indiretamente para que eu pudesse alcançar e concluir esta etapa tão sonhada. **MUITO OBRIGADO!**

RESUMO

Objetivou-se com o presente trabalho determinar o intervalo da aplicação de produtos cúpricos a inoculação de *H.vastatrix* em mudas de cafeeiro. O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras, em mudas de cafeeiro cultivar Mundo Novo 379/19, suscetível ao patógeno. Foram utilizados produtos comerciais a base de cobre, um fungicida sistêmico, sua mistura com um cúprico, o indutor de resistência Fulland® e a toxina Cercosporina, por fim a testemunha, acrescido de cinco tempos de inoculação da ferrugem do cafeeiro *H. vastatrix*. Com a primeira no dia 0, e as demais a cada 7 dias até 28 dias após aplicar os tratamentos. O esquema utilizado foi fatorial 9 x 5, com total de 45 tratamentos e quatro repetições, compostas por três mudas. O delineamento experimento foi em blocos casualizados. O intervalo de tempo de 0 DAAP teve cinco produtos com índices da severidade abaixo de 10 na AACPDS, os tempos 7, 21 e 28 DAAP tiveram quatro, enquanto o tempo 14 DAAP apenas dois. Para os produtos, os intervalos de tempo ideal entre sua aplicação a inoculação são: sulfato de cobre + glucona a menor AACPD para a severidade foi ao 0 dias após a aplicação do produto, para o Cu + EDTA aos 21 DAAP, hidróxido de cobre aos 14 DAAP, para óxido cuproso ao 0 DAAP, para a cercosporina ao 0 DAAP e para o etilsfosfonato de cobre aos 14 DAAP. Para as variáveis fisiologias não ocorreu interação entre o tempo de inoculação e os produtos.

Palavras-chave: *Coffea arabica*. Fungicida protetor. Epidemiologia. Quelato de cobre.

ABSTRACT

The objective of this work was to determine the range of the application of cupric products to the inoculation of *H.vastatrix* in coffee seedlings. The experiment was conducted in a greenhouse at the Plant Pathology Department of the Federal University of Lavras, in coffee seedlings cultivating Mundo Novo 379/19, susceptible to the pathogen. Copper-based commercial products, a systemic fungicide, its mixture with a cupric, the Fulland resistance inducer and the Cercosporin toxin were used, finally the control, plus five inoculation times of *H. vastatrix* coffee rust. With the first on day 0, and the others every 7 days until 28 days after applying the treatments. The scheme used was a 9 x 5 factorial, with a total of 45 treatments and four replicates, composed of three seedlings. The experimental design was in randomized blocks. The time interval of 0 DAAP had five products with severity indices below 10 in the AACPDS, times 7, 21 and 28 DAAP had four, while time 14 DAAP only two. For the products, the ideal time intervals between their inoculation application are: copper sulfate + glucone the lowest AACPD for the severity was at 0 days after application of the product, for Cu + EDTA at 21 DAAP, copper hydroxide at 14 DAAP, for cuprous oxide at 0 DAAP, for cercosporine at 0 DAAP and for copper ethyl phosphonate at 14 DAAP. For the physiological variables there was no interaction between the inoculation time and the products.

Keywords: *Coffea arabica*. Protective fungicide. Epidemiology. Copper chelate.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Tabela 1 -	Tratamentos e doses do experimento com as diferentes épocas de inoculação.....	19
Figura 1 -	Curva de progresso média da incidência e severidade da ferrugem do cafeeiro, médias das variáveis climáticas, umidade relativa (UR) e temperatura média (T.Média).....	23
Tabela 2 -	Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença para Severidade da Ferrugem do Cafeeiro (AACPDS). Médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si por meio do teste Scott-Knott a 5% de probabilidade	26
Figura 2 -	Área abaixo da curva do progresso da doença para severidade por produto em diferentes épocas de inoculação.....	28
Tabela 3 -	Teores de Clorofila. Médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si por meio do teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.	29
Tabela 4 -	Área abaixo da curva de progresso para altura da muda de cafeeiro e diâmetro do caule. Médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si por meio do teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.....	30
Figura 3 -	Peso seco total (g/planta). Médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si por meio do teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.	31
Tabela 5 -	Médias do pH dos produtos..	32
Figura 4 -	Valores do pH dos produtos ao longo do tempo de preparo da calda.	34
Tabela 6 -	Médias da Condutividade elétrica dos produtos.	35
Figura 5 -	Valores da condutividade elétrica dos produtos ao longo do tempo de preparo da calda.	36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1 Cafeicultura	11
2.2 Ferrugem do Cafeeiro	11
2.3 Cobre	12
2.4 Cobre no Controle de Patógeno	13
2.5 Funções do Cobre no Metabolismo da Planta a Indução de Resistência.....	14
2.6 Tempo da Aplicação ao Controle	16
3 MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1 Área Experimental	18
3.2 Delineamento Experimental	18
3.3 Obtenção do inóculo de <i>H. vastatrix</i> e Inoculação	19
3.4 Avaliações de Severidade	19
3.5 Integralizações dos dados experimentais	19
3.6 Eficiência	20
3.7 Teor de Clorofila	20
3.8 Altura, diâmetro do caule e Peso da parte aérea seca	21
3.9 pH e condutividade elétrica	21
3.10 Análises Estatística dos Dados	21
4 RESULTADOS	22
4.1 Médias da incidência, severidade, umidade relativa e temperatura	22
4.2 Severidade da ferrugem do cafeeiro	23
4.3 Teor de Clorofila	27
4.4 Altura, diâmetro do caule e Peso da parte aérea seca	27
4.5 pH e Condutividade Elétrica da calda	30
5 DISCUSSÃO	35
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
7 CONCLUSÃO.....	42
REFERÊNCIAS	43
ANEXO -A	56

1 INTRODUÇÃO

A cultura do café é uma importante atividade na geração de renda, principalmente para pequenos e médios produtores. Sua produtividade e qualidade podem ser afetadas por inúmeros fatores bióticos e abióticos. Entre esses fatores a Ferrugem do cafeeiro é a de maior importância para a cultura. A doença ganha maiores proporções devido à utilização de cultivares suscetíveis ao patógeno. Sua principal medida de controle é o emprego de fungicidas sistêmicos utilizados de forma isolada ou em conjunto com os protetores de contato e mesosistêmico ou translaminares.

Como um dos primeiros produtos utilizado para controlar doenças, o cobre foi descoberto acidentalmente e utilizado para o controle de míldio em videiras. Os fungicidas protetores de contato do grupo químico dos cúpricos tem boa eficiência no controle do processo germinativo de *Hemileia vastatrix* Berkeley & Broone e ainda não foram citados isolados resistentes a esse grupo químico. Isso devido ao fato de possuir diversos mecanismos de ação no patógeno, afetar a germinação dos esporos por causar o vazamento de sais das células, desnaturação de proteínas e enzimas. Devido a essa ação multisítio o mecanismo de ação não está completamente elucidado. A fungitoxidade e a eficácia são variáveis de acordo com a natureza química, podendo apresentar maior eficiência em menores concentrações em relação a outros. Bem como o tamanho das partículas, quanto menor for maior será a área tratada, devido a reduzir os espaços entre as moléculas, e aumentar a probabilidade de contato com o patógeno e também da absorção do nutriente e incrementa consideravelmente a sua eficácia. Em formulações com quelatos, o cobre é potencializado, por formar complexos solúveis em água e estáveis a variações de temperatura e pH. Isso facilita sua absorção foliar pela planta. As principais formulações de compostos fixos de cobre são agrupadas em quatro categorias, sendo elas sulfatos básicos, oxicloretos, óxidos e hidróxidos (OLIVER e HEWITT, 2014). Misturas em altas doses a triazóis e estrobilurinas, reduzem a eficiência desses fungicidas sistêmicos, então, doses menores, atuam como indutores de resistência sem reagir na calda.

As funções do cobre vão além do uso como fungicida protetor, pois, é um elemento presente em diversas reações metabólicas na planta. Entre elas, as rotas produtoras de compostos fenólicos, capazes de desempenhar importante papel na defesa das plantas contra patógenos.

Devido às alterações climáticas a ferrugem tem ocorrido em períodos incomuns, tornando necessário novas aplicações. O uso do cobre na indução de estruturas de resistência na planta pode ser uma alternativa no controle de doenças, principalmente nas de ocorrência após o período das moléculas de fungicidas não agirem mais impedindo a infecção na planta. Dessa forma, o hospedeiro além de desenvolver estrutura pré-formada de maior resistência, poderá responder de forma rápida e eficaz na tentativa de infecção. Também, é capaz de gerar compostos tóxicos ao organismo invasor, e garantindo maior resistência da planta e infecção fora do ciclo comum.

Diversos estudos estão sendo feitos para avaliar a indução de resistência por manejo nutricional da planta. Em especial os de sais de cobre no controle da ferrugem do cafeeiro. Nesses estudos é realizada a aplicação dos produtos e inoculam-se o patógeno e tempos distintos, entre 1 a 20 dias, sem um critério claro. Esses intervalos adotados podem não ser adequados para ocorrer à indução de resistência ou o efeito desejado. Sendo necessários testes para determinar a melhor época de inoculação. Assim, avaliar de forma precisa os efeitos do produto sobre a planta. Diante disso, objetivou-se com esse trabalho avaliar diferentes fontes de cobre em diferentes épocas de inoculação da ferrugem do cafeeiro e determinar o tempo ideal de inoculação em avaliações de indução de resistência por produtos à base de cobre.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cafeicultura

O café é uma das bebidas mais consumidas no mundo. O consumo mundial em 2015/16 foi de 155,7 milhões de sacas, enquanto a sua produção foi de 151,4 milhões, diferença considerada expressiva na relação oferta e demanda mundial (ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ – OIC, DEZEMBRO 2016). Desta safra, o Brasil foi responsável por 50 milhões de sacas, ou seja, aproximadamente 33% do total. Na safra de 2018 a produção foi de 167 milhões de sacas e o consumo de 165,1 milhões, ocorrendo uma maior oferta em relação à demanda, contudo para a safra de 2018/19 a demanda continua crescente segundo o relatório sobre o mercado de café em janeiro de 2019 (ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ – OIC, JANEIRO 2019). Para essa safra de 2018/2019 o Brasil entra em um ano de bienalidade negativa, com estimativa de redução na produção, podendo impactar na relação oferta e demanda. Com esses dados, fica evidente a importância do café brasileiro no cenário mundial.

A cafeicultura brasileira está distribuída em 15 Estados, presente em cerca de 1.900 municípios, com total de 280 mil produtores em área aproximada de 2,25 milhões de hectares cultivados (MAPA, 2017).

A produção nacional concentra sua grande parte no estado de Minas Gerais, com 50,8% (27,68 milhões de sacas) do total da produção estimada na safra de 2019. Dentre as regiões produtoras, o Sul de Minas se destaca a nível regional, nacional e internacional com 27,8% de toda produção de café estimada para o ano agrícola de 2019 (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2019). Supera em alguns anos o segundo maior produtor de café arábica no mundo, a Colômbia. Os números demonstram a grande importância da cafeicultura brasileira bem como a regional, no desenvolvimento econômico.

2.2 Ferrugem do cafeeiro

Dentre as doenças do cafeeiro a principal, e de maior importância é a ferrugem alaranjada, cujo agente etiológico é o fungo *H. vastatrix* Berkeley & Broome, responsável por perdas de até 50% da produtividade (POZZA; CARVALHO; CHALFOUN, 2010). Essas perdas ocorrem de forma indireta, ocasionado por queda precoce das folhas, isso resulta em menor vingamento da florada e chumbinhos, refletindo na produção do ano seguinte ao ataque

(FERNANDES et al., 2013). Em anos de maior produtividade, as plantas apresentam maior suscetibilidade ao ataque, ocorrendo maior incidência da doença em plantas com maior carga de frutos (CARVALHO et al. 1994).

O patógeno não é restrito a uma variedade, contudo, sua patogenicidade é diferente dentro dos gêneros *Coffea*, e grande parte das cultivares pertencentes à espécie *Coffea arabica* apresentam suscetibilidade à doença. Em especial as cultivares mais empregadas no cultivo, como Mundo Novo e Catuaí, (CARVALHO; CHALFOUN; CUNHA, 2010).

O principal manejo utilizado na ferrugem, em cultivares suscetíveis, é o emprego de fungicidas de vários grupos químicos, entre eles, triazóis, estrobilurinas, cúpricos e ditiocarbmatos utilizados de forma isolada ou em mistura, além de utilizar de forma alternada com os cúpricos (POZZA et al., 2010).

Embora o controle químico seja eficiente, a ferrugem está aparecendo em níveis altos nos meses de julho a agosto, referentes ao final do seu ciclo, devido a mudanças climáticas. Isso se deve a ocorrência de temperaturas médias amenas aliadas a chuvas nos meses de abril e julho, causando prolongamento no ciclo da doença (CHALFOUN; CARVALHO; PEREIRA, 2001). Dessa forma, é importante revisar e adaptar medidas de controle quando ocorrer condições favoráveis a manutenção da incidência do patógeno, com intuito de controlar progresso da doença sem maiores gastos (CHALFOUN; CARVALHO; PEREIRA, 2001).

2.3 Cobre

Por tratar-se de um metal pesado, seu excesso pode induzir diversas alterações na planta, desde distúrbios no metabolismo e a consequente inibição do crescimento e do desenvolvimento normal (FERNANDES; HENRIQUES, 1991).

Em geral, sua concentração na biomassa da planta é de 12 ppm como relatado por Nriagu (1979). A deficiência de Cu nas plantas é verificada quando o teor desse nutriente está abaixo de 5 ppm, contudo, acima de 6 ppm não são observados sintomas de deficiência (GUPTA, 1979; HOWELER, 1983; STEVENSON, 1986). Os efeitos deletérios têm início com as concentrações de 20 ppm, nesses valores já ocorrem efeitos inibitórios e os valores limiar de toxicidade é de 575 ppm (FOLSOM et al., 1981). No cafeeiro, os teores foliares abaixo de 5 ppm são considerados deficiência, de 5 a 7 ppm são baixo, 8 a 16 ppm são adequados, alto entre 17 a 25 ppm e em excesso acima de 25 ppm para folhas coletadas no 3º e 4º par de folhas nos ramos produtivos (MALAVOLTA, 2006).

O suprimento inadequado pode afetar importantes funções do cobre ligado ao transporte de elétron no complexo 4 do Citocromo c oxidase (SHKOLNIK, 1984). Este complexo contém centros de cobre, que realiza a função de redução do O₂ (TAIZ et al, 2017). Também participa no transporte de elétron entre o fotossistema 2 e 1, por fazer parte da proteína plastocianina. Essa proteína é de grande importância (10,5 kDa, hidrossolúvel) pois é responsável pela transferência dos elétrons entre o citocromo b6f e o p700 (FERNANDES; HENRIQUES, 1991). Como o acúmulo do Cu é feito principalmente nos cloroplastos, o que pode chegar a 35 a 90% dos teores de Cu nas folhas, a plastocianina pode representar cerca de 50% dessa reserva (LASTRA et al., 1987).

2.4. Cobre no controle de patógeno

Segundo Graham e Webb (1991), o cobre é utilizado por séculos no controle de patógenos foliares como fungicida de contato, isso devido ao seu mecanismo de controle baseado na toxicidade direta ao microrganismo. O sulfato de cobre já foi utilizado para tratar sementes de cereais em 1761, mas a descoberta acidental da calda bordalesa teve maior importância no desenvolvimento dos fungicidas (CROPLIFE, 2002; COPPER DEVELOPMENT ASSOCIATION, 2003). A calda bordalesa, originada da mistura entre sulfato de cobre e cal virgem, foi descoberta no século XIX acidentalmente em 1882 na França, na região de Bourdeaux e foi utilizada como fungicida no controle de míldio em videiras. O fato é considerado marco histórico para o controle químico de doenças em plantas (HOOKER IN 1923; MICHEREFF, 2004).

Os fungicidas a base de cobre eram os únicos empregados no controle da ferrugem do cafeeiro, pesquisas realizadas em diferentes países mostram os fungicidas a base de cobre com maior eficiência em relação aos orgânicos (CARVALHO; CUNHA; CARVALHO, 2007). Seu modo de ação é preventivo, devendo ser aplicado no tecido vegetal antes do patógeno entrar em contato. O fungicida irá formar barreira química impedindo a germinação de esporos na área aplicada. Segundo Oliver e Hewitt (2014), o cobre na forma Cu^{+2} é rapidamente acumulado por fungos sensíveis, formando complexos com enzimas que possuem grupos sulfidríla, hidroxila, amino ou carboxila, inativando e levando ao colapso na integridade celular, afetando o metabolismo de forma generalizada (OLIVER e HEWITT, 2014).

2.5. Funções do cobre no metabolismo da planta e indução de resistência

Além do seu mecanismo de ação no controle de doenças, o fungicida a base de cobre serve como fonte de nutriente a planta. A absorção celular nas folhas ocorre quando o cobre bivalente (Cu^{+2}) é reduzido a monovalente (Cu) pela Oxidase redutase férrica 4, e transferido para o interior da célula pela proteína COPT6, responsável por redistribuir e remobilizar o metal (Printz et al., 2018).

As funções desse íon são diversas, pois, o nutriente está envolvido em inúmeros processos metabólicos na planta, na reação fotossintética, além de ser constituinte de metabólitos primários e secundários, e de mais de 100 diferentes proteínas nas plantas (MARSCHNER, 2011). Entre essas funções está a participação na cadeia de transporte de elétron com a citocromo oxidase c, e da fotossíntese, com a plastocianina (VINIT-DUNAND et al., 2002; BARÓN et al., 1995).

Segundo Taiz et al. (2017); Barker e Pilbeam (2015); Srivastava et al. (2005) os nutrientes são classificados por suas funções bioquímicas exercidas nas plantas, o cobre está em um grupo responsável por reações redox, além de ser componente de várias enzimas com funções extremamente importantes no metabolismo vegetal. Dentre algumas enzimas componentes, cita-se o ácido ascórbico oxidase, superóxido dismutase, catalase, peroxidase, citocromo oxidase, tirosinase, fenolase, entre outras de extrema relevância. Bem como, compostos que garantem à planta resistência contra patógenos.

Os compostos químicos envolvidos na resistência da planta a organismos nocivos ao seu desenvolvimento fazem parte dos metabólitos secundários, dividindo em três grupos conhecidos como terpenos, compostos fenólicos e compostos nitrogenados. Para o organismo vegetal, o grupo dos compostos fenólicos é o principal e de maior importância. Esses são caracterizados por apresentar uma hidroxila funcional e um anel aromático. Eles são sintetizados em diferentes rotas e desempenham diversos papéis nas plantas, dentre eles a defesa contra patógenos. A principal rota de síntese nas plantas é a do Ácido chiquímico. Muitos compostos são gerados nessa rota a partir dos três aminoácidos aromáticos, sendo a fenilalanina importante, pois é responsável por grande parte de compostos fenólicos nas plantas. Em reações catalisadas por fenilalanina amônio liase (PAL), sintetizando os compostos fenólicos como: ácido *trans*-cinâmico, dando origem ao ácido salicílico; ácido *p*-cumárico, precursor do Ácido cafeico e fenilporpanoídes simples, cumarinas e lignina e *p*-cumaroll- CoA precursor também da lignina e Chalconas, dando origem a Flavonas (TAIZ et al., 2017; HAMMERSCHMIDT, 1999). As fitoalexinas podem ser sintetizadas em outras vias

metabólicas, tais como acetato-malonato, porém, ocorre comumente nas do ácido chiquímico (RIZZARDI et al., 2003).

Além dos compostos fenólicos, proteínas cúpricas também exercem funções no controle de patógenos, tais como a amina oxidase, polifenoloxidase, encontradas no apoplasto e no lúmen do tilacóide respectivamente (BURKHEAD et al., 2009).

A amina oxidase participa de processos fisiológicos importantes por seus produtos gerados em reações, não se limitando apenas em degradar poliaminas. Esse importante produto derivado da oxidação da poliamina é o peróxido de hidrogênio, ligado a lignificação, cicatrização de ferimentos e reforço da parede celular durante a invasão por patógenos. Trata-se de molécula sinalizadora, para reação de hipersensibilidade e expressão de genes de defesa. Outro produto gerado, o 4-aminobutanal, quando metabolizado para GABA (ácido gama-aminobutírico) desempenha funções fisiológicas na planta, principalmente contra estresse biótico e abiótico (CONA et al., 2006). A amina oxidase, diamina oxidase, poliamina oxidase e peroxidase estão envolvidas nas defesas pré-formadas e pós-formadas nas plantas, associadas em processos de lignificação e suberização em resposta a infecção de patógenos (ANGELINI et al. 1993; CONA et al., 2006).

A polifenoloxidase ou tirosinase está em estudo, devido ao pouco entendimento a respeito de suas funções. Um dos focos das pesquisas realizadas está no papel desempenhado na resistência ao estresse e patógenos em plantas. Estudos com os genes da família da polifenoloxidase em plantas de tomate, diminuindo sua atividade, observaram o aumento na suscetibilidade da planta ao patógeno, quando sua atividade foi aumentada, a planta teve maior resistência (LI AND STEFFENS, 2002; THIPYAPONG et al. 2004; MAYER, A. M. 2006). O que torna evidente a correlação entre resistência e susceptibilidade da planta com os níveis desta enzima.

Assim como a amina oxidase, a superóxido dismutase (SOD) também gera o peróxido de hidrogênio, a SOD está ligada a desintoxicação de O₂ gerado na fotossíntese (MARSCHNER, 2011). Esta enzima tem importante função na sobrevivência da planta. Em plantas transgênicas, esta enzima promove aumento na tolerância a estresse biótico, além de estar envolvida na lignificação da parede celular. Tal ação torna as paredes celulares mais resistentes a enzimas degradadoras produzidas por fungos (FOYER et al., 1994; MARSCHNER, 2011; DAS et al., 2016), ou seja, esses processos citados demonstram a importância do cobre para as funções metabólicas das plantas. Em especial as reações com papel de defesa contra patógenos. Desde estruturas pré-formadas, como lignificação da parede

celular com resposta rápida quando é fornecida nutrição por Cu, e compostos pós-formados em resposta à infecção e colonização (MARSCHNER, 2011; BUSSLER, 1981).

2.6. Intervalo entre a inoculação e a pulverização de produtos do grupo químico dos cúpricos

Diversas pesquisas têm sido feitas com uso de produtos a base de cobre no controle da ferrugem do cafeeiro. Principalmente ligados à nutrição, contribuindo no desenvolvimento de estruturas de resistência, como paredes mais espessas, produção de compostos fungitóxicos e assim inibindo ou restringindo a penetração e colonização do patógeno.

Com o objetivo de avaliar indução de resistência na interação entre *Coffea arabica* e *H. vastratrix*, Valente (2012), utilizou indutores produzidos a partir de extratos de folhas de cafeeiro (NEFID), fosfito de manganês, fosfito de cobre, isolados e em mistura aplicados em mudas de cafeeiro Mundo Novo 379/19. A inoculação foi realizada com sete dias (168 horas) após aplicação dos tratamentos. Nesse experimento, o intuito foi avaliar a expressão de dois genes de defesa, catalase (CAT) e fenilalanina amoníaco-liase (PAL) em mudas de cafeeiro. A mistura de NEFID + fosfito de cobre + fosfito de manganês promoveu a expressão dos genes CAT e PAL nos tempos 12, 72, 192, 216 e 240 horas após sua aplicação em mudas de cafeeiro não inoculadas com o patógeno. Em mudas inoculadas o gene CAT teve maior expressão no tempo de 24 horas, e para PAL foi no tempo de 72 horas após. Monteiro (2011), também avaliou indutores de resistência para o manejo da ferrugem do cafeeiro. Nesse trabalho, os produtos utilizados foram extrato de folhas de cafeeiro (NEFID), Fulland® (Etilfosfonato de cobre), Reforce® Mn (fosfito de manganês) em diferentes dosagens, extrato de casca de café (ECFC), Bion® (acibenzolar-S-metil - ASM), Viça-Café Plus® (produto à base de cobre associado a outros nutrientes) e fungicida sistêmico PrioriXtra® (ciproconazol + azoxistrobina) utilizados de isoladamente e em mistura, aplicados em mudas de cafeeiro cultivar Mundo Novo. A inoculação foi feita sete dias após a primeira aplicação dos produtos, sendo aplicados mais duas vezes com intervalo de 40 dias. Foram avaliadas associação dos indutores de resistência e a resposta bioquímica. Nesses dois trabalhos as inoculações foram feitas com sete dias após a pulverização dos tratamentos. O fungicida sistêmico (ciproconazol + azoxistrobina) reduziu 100% à incidência e severidade em relação à testemunha, a mistura com NEFID + fosfito de cobre + fosfito de manganês foi de 78% para incidência e 84% para a severidade. Para o fosfito de cobre utilizado de forma isolada teve redução de 38% da incidência e 56% da severidade.

Oliveira; Santos; Guzzo (2002) avaliou o controle da ferrugem do cafeeiro, tenacidade e eficiência de diferentes fungicidas cúpricos isolados e em mistura com óleo vegetal. Os produtos aplicados foram óxido cuproso, hidróxido de cobre e oxicloreto de cobre, pulverizados em mudas de cafeeiro cultivar Mundo Novo. A inoculação foi feita 24 horas após a pulverização dos fungicidas cúpricos nas mudas, e mantida em câmara úmida por 72 horas.

Com o objetivo de avaliar diferentes fontes de quelatos de cobre no controle da ferrugem do cafeeiro, Pereira (2018), realizou experimento em mudas da cultivar Catuai 99. Os produtos utilizados foram oxicloreto de cobre, óxido de cobre, hidróxido de cobre, nitrato de cobre, cobre quelatizado com glucona, cobre + EDTA em diferentes dosagens. As mudas foram inoculadas 20 dias após aplicação dos tratamentos. Esses dois últimos avaliaram mais produtos de cobre, com inoculações em tempos distintos.

Em trabalho utilizando outros produtos além do cobre, também não é visto critério para a inoculação das mudas. Missio et al. (2012) utilizou aplicações de silicato de potássio em folhas de cafeeiro em diferentes doses no desenvolvimento da ferrugem do cafeeiro. A inoculação foi feita 24 horas após a aplicação dos tratamentos. Em outro experimento também em solução nutritiva, realizado por Pérez (2015) avaliou-se o efeito da adubação nitrogenada e potássica na intensidade da ferrugem em solução nutritiva com mudas da cultivar Mundo Novo 376/4. Nesse trabalho não foi encontrado o tempo entre a aplicação dos produtos a inoculação das mudas, apenas é informado ter inoculado, ou seja, sem critério. Em acordo com Monteiro (2011) e Valente (2012), a autora Pires (2011) estudando a expressão de genes relacionados à defesa induzida por produtos Soloflex® e Reforce® utilizou os mesmos 7 dias após aplicar os produtos para realizar a inoculação das plantas.

Os autores Maxemiuc-Naccache, Braga e Dietrich (1992) em estudo sobre enzimas de defesa β -1,3-glucanase e quitinase relataram aumento dessas três dias após a inoculação em plantas resistentes de cafeeiro e 21 dias após em plantas suscetíveis. Segundo Pires (2011) certos mecanismos de defesa das plantas são ativados após a inoculação do patógeno enquanto o uso de produtos indutores de resistência pode levar a ativação direta de um conjunto de defesa da planta em resposta a sua aplicação. Contudo essa ativação dos mecanismos após a inoculação relatada por Pires (2012) não discrimina ser em plantas resistentes ou suscetíveis, assim como mencionado por Maxemiuc-Naccache, Braga e Dietrich (1992). Isso também demonstra não haver critério claro sobre a inoculação e sua indução de resistência na planta. Dessa forma, podem ocorrer variações no tempo para a indução de resistência em resposta à aplicação de um produto ou da inoculação.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área experimental

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, sob condições controladas, com a temperatura e umidade relativa do ar monitorada por Data logger. As mudas de café utilizadas no experimento foram da cultivar Mundo Novo 379/19, suscetíveis ao patógeno, semeada no final do mês de Julho de 2017.

3.2. Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC), combinando 9 doses de produtos e 5 tempos de inoculação, obtendo um fatorial de 9 x 5, totalizando quarenta e cinco tratamentos e quatro repetições. Com a parcela composta por três mudas.

As doses consistiram de produtos comerciais a base de cobre, um fungicida sistêmico, sua mistura com um cúprico, o indutor de resistência Fulland® e a toxina Cercosporina (Tabela 1), por fim a testemunha, acrescido dos tempos de inoculação da ferrugem do cafeeiro *H. vastatrix*. Após aplicados os produtos em todas as mudas, foram realizadas cinco inoculações. A primeira imediatamente após a pulverização dos produtos, dia 0, a segunda com 7 dias, a terceira com 14 dias, a quarta com 21 dias e por fim, a quinta com 28 dias após os produtos aplicados.

Tabela 1. Tratamentos e doses do experimento com as diferentes épocas de inoculação.

Tratamentos	Nome comercial	Doses	ppm *
1. Sulfato de cobre + Glucona	Bayfolan	1L/ha ⁻¹	153,75
2. Cu + EDTA	Kellus Copper	0,400 kg/ha ⁻¹	362,5
3. Hidróxido de cobre	Kocide®	2 kg/ha ⁻¹	2.286,5
4. Óxido cuproso	BigRed®	1L/ha ⁻¹	1.250
5. Triazol + Estrobilurina	Opera®	1,5 l/ha ⁻¹	549
6. Cercosporina	-----	2 mgL/L ⁻¹	0,0025
7. Etilfosfonato de cobre	Fulland®	2L/ha ⁻¹	116,37
8. Triazol + Estrobilurina + Hidróxido de cobre	Opera®+ Kocide®	1,5 l/ha ⁻¹ + 2 Kg/ha ⁻¹	549+2.286, 5
9. Testemunha	-----	-----	-----

* Doses para 400 litros de calda por hectare.

3.3. Obtenção do inóculo de *H. vastatrix* e Inoculação

Para obter o inóculo necessário, foram feitas coletas de folhas infectadas no campo. As folhas foram raspadas com auxílio de uma capsula para coletar os urediniósporos e colocado em um Becker de vidro com água deionizada. Essa suspensão foi ajustada em hemacitômetro na concentração de 1×10^5 urediniósporos mL^{-1} . As inoculações das mudas foram feitas até o ponto de escorrimento, pulverizando a parte abaxial e adaxial das folhas. Logo após as mudas foram submetidas à câmara úmida no escuro por 72 horas, com o intuito de proporcionar condições favoráveis ao fungo de penetrar no tecido da folha, e iniciar o processo de infecção (CRUZ FILHO; CHAVES, 1973). Foram realizadas cinco inoculações, a primeira no dia 0, e as demais a cada 7 dias até 28 dias após aplicar os tratamentos

3.4. Avaliações da Incidência e Severidade

As avaliações tiveram início aos primeiros sinais da doença, ocorrendo 32 dias após a primeira inoculação. Realizaram-se dez avaliações da severidade da ferrugem nas folhas das mudas de cafeeiro com intervalo de sete dias.

A severidade foi avaliada na parcela utilizando uma escala de notas, com notas de 1 a 5, sendo 1- de < 3% de severidade; 2 – de 3 a 6% de severidade; 3 – de 6 a 12% de severidade; 4 – de 12 a 25% de severidade; 5 – de 25 a 50% de severidade (CUNHA et al., 2001).

3.5. Integralização dos dados experimentais

Os dados gerados foram utilizados para calcular a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) para severidade (AACPDS), de acordo com a equação 2, proposta por Shaner e Finner (1997).

$$AACPD = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{(Y_i + Y_{i+1})}{2} * (T_{i-1} - T_i) \quad (2)$$

AACPD: Área abaixo da curva do progresso da doença;

Y_i = proporção de doença na i -ésima observação;

T_i = tempo, em dias, na i -ésima observação;

n = número total de observações.

3.6 Eficiência

Foi calculada a porcentagem da eficiência entre os tratamentos por meio da equação (3) proposta por Abbott (1925) para AACPDs.

$$E\% = \frac{T1 - T2}{T1} * 100 \quad (3)$$

%E= porcentagem de eficiência;

T1= Valores obtidos pela testemunha;

T2= Valore obtido com as doses utilizadas dos produtos

3.7. Teor de Clorofila

As avaliações do teor de clorofila foram realizadas calculando indiretamente, a partir das leituras feitas por medidor portátil de clorofila SPAD-502® (*Soil Plant Analysis Developmente*). As leituras foram realizadas em folhas completamente expandidas, duas folhas por planta, totalizando 6 avaliações por parcela. As leituras com SPAD® foram realizadas três dias após as primeiras avaliações de incidência e severidade da ferrugem do cafeeiro, para detectar as taxas de clorofila a, b e total, sendo realizadas dez avaliações em intervalos de sete dias (AMARANTE et al., 2007).

A curva padrão foi utilizada, para calcular a quantidade de clorofilas. Essa curva foi ajustada com folhas de mudas de cafeeiro com diferentes tons de verde. Foi obtida a concentração de clorofila por meio da equação 4 adaptada de Hendry e Price (1993).

- Clorofila a ((0,0008 x A_{663} - 0,0053 x A_{645}) V 1000 MF); (4)
- Clorofila b ((0,0008 x A_{663} - 0,0032 x A_{645}) V 1000 MF);
- Clorofila total calculou-se a partir do somatório da clorofila a + b.

3.8. Altura, diâmetro do caule e Peso da parte aérea seca

Foram realizadas avaliações de altura da planta e do diâmetro do caule juntamente com as leituras de SPAD, com intervalo de sete dias, sendo realizadas dez avaliações. A altura foi medida com régua milimetrada, a partir do coleto até a gema apical. O diâmetro do coleto foi medido com paquímetro de precisão de 0,01 mm.

Com o término das avaliações a parte aérea das mudas foi coletada para análise do peso seco. As folhas e os caules foram lavados em água destilada, acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa, a 60°C, até atingirem o peso constante. Sendo então mensurado o peso das folhas e caules separadamente.

3.9. Ph e condutividade elétrica da calda

Com auxílio de medidores digitais de pH e condutividade elétrica HANNA[®], foram realizadas avaliações do pH e condutividade elétrica nas caldas dos produtos em 7 tempos diferentes, contando das 0, 2, 4, 6, 8, 10 e 12 horas após o preparo, com 4 repetições, para determinar a influência dos produtos avaliados.

3.10. Análise estatística dos dados

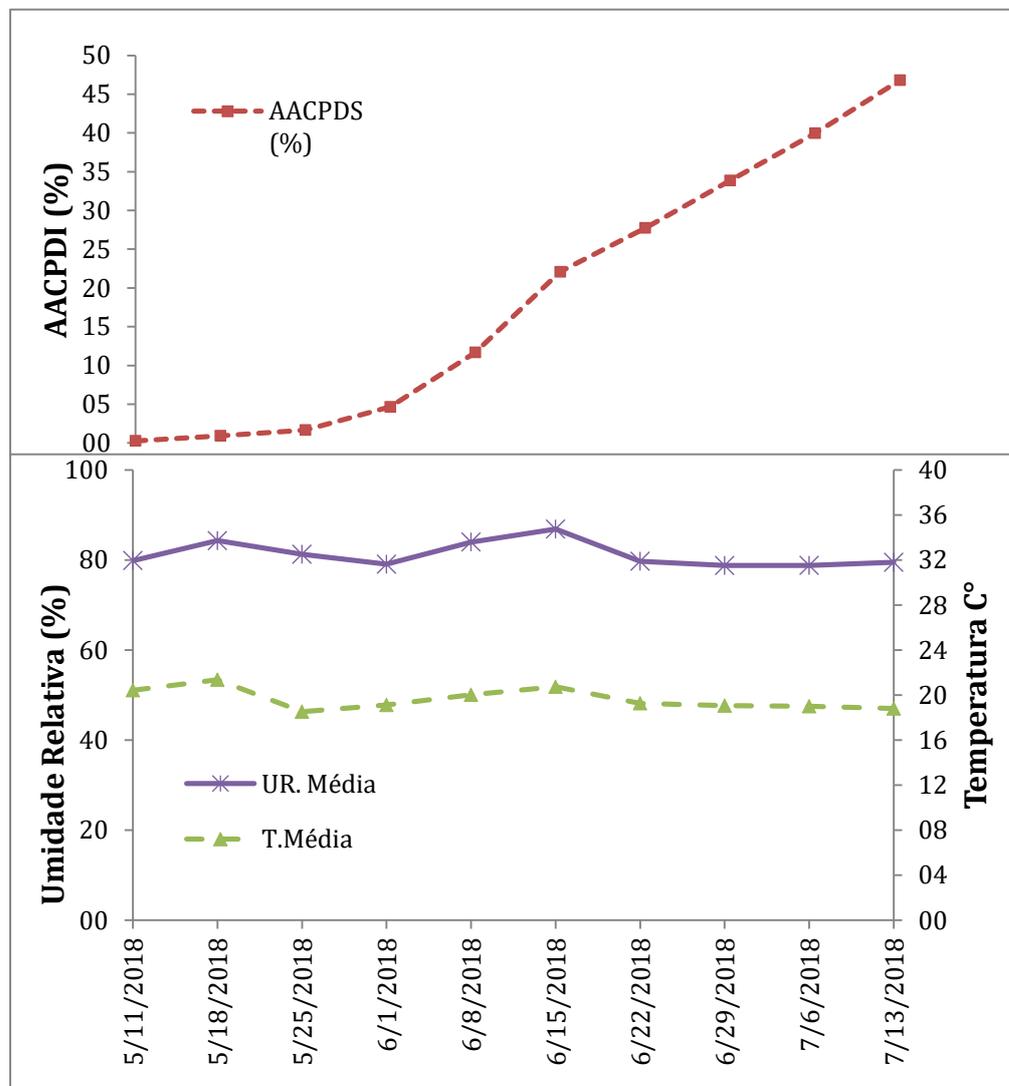
As análises foram realizadas no programa SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2011) e com o Software R. Foi feita análise de variância da AACPDI, AACPDS, do teor das clorofilas a, b e total, altura e diâmetro do coleto, peso da parte aérea seca, pH e condutividade elétrica. Em seguida, as médias entre os tratamentos foram comparadas por teste F($p < 0,05$). As variáveis qualitativas significantes foram submetidas a teste de Scott Knott e as quantitativas a análise de regressão.

4. RESULTADOS

4.1 Médias da incidência, severidade, umidade relativa e temperatura

Nota-se pela Figura 1 a ocorrência da ferrugem nas mudas de cafeeiro, confirmando a condução adequada do experimento para o desenvolvimento do fungo *H. vastatrix*. Os valores da severidade no geral aumentaram de forma linear até atingir o valor de 46,8 %. A temperatura média variou de 18,8 a 21,4 C°, a Umidade Relativa entre 78,8 a 86,9 %.

Figura 1- Curva de progresso média da severidade da ferrugem do cafeeiro, médias das variáveis climáticas, umidade relativa (UR) e temperatura média (T.Média).



Fonte: Do autor (2019).

4.1 Severidade da ferrugem do cafeeiro

Houve interação significativa entre o tempo de inoculação e os produtos ($p < 0,001$), justificando realizar os desdobramentos das interações. Para o desdobramento dos produtos dentro dos intervalos de tempo, pela tabela 2, constatou-se a eficiência no controle da severidade da ferrugem do cafeeiro. O fungicida padrão de controle utilizado de forma isolada ou em combinação com hidróxido de cobre controlou em 100% a ferrugem do cafeeiro em todos os intervalos de tempo, com 0% da AACPD para a severidade. A cercosporina também foi eficiente na redução da AACPD, com 100% de controle no intervalo de 0 dias de sua aplicação a inoculação, porém perdeu seu efeito ao longo do tempo. Os produtos Etilfosfonato de Cobre e Hidróxido de Cobre apresentaram menores valores de severidade da ferrugem do cafeeiro na maioria dos intervalos.

No intervalo de tempo de 0 dias após aplicação dos produtos (DAAP) a inoculação, cinco produtos tiveram índices inferiores a 10 na AACPD para a severidade. A cercosporina, óxido cuproso, sulfato de cobre + glucona, hidróxido de cobre e etilfosfonato de cobre reduziram a AACPD para severidade, com índices de 0, 3,74, 6,07, 7,46, e 8,27 respectivamente. Os intervalos de tempos 7, 21 e 28 DAAP tiveram quatro produtos com a severidade abaixo do valor de 10 na AACPD para a severidade, enquanto o tempo 14 DAAP apenas dois. Contudo, esses dois produtos foram com valores da AACPD de 1,18 e 1,55 para etilfosfonato de cobre e hidróxido de cobre respectivamente.

Tabela 2 - Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença para Severidade da Ferrugem do Cafeeiro (AACPDS). Médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si por meio do teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

PRODUTOS	0 DAAP ¹		7 DAAP		14 DAAP		21 DAAP		28 DAAP	
	AACPDS	E(%) ²	AACPDS	E(%)	AACPDS	E(%)	AACPDS	E(%)	AACPDS	E(%)
1- Sulfato de cobre + Glucona	6,0 c	88	8,8 d	84	12,8 d	82	14,1 f	74	10,0 d	70
2- Cu + EDTA	15,1 f	71	12,9 e	77	17,9 e	75	6,0 d	89	9,8 d	71
3- Hidróxido de Cobre	7,4 d	86	3,0 c	95	1,5 b	98	3,3 c	94	2,3 b	93
4- Óxido cuproso	3,7 b	93	8,3 d	85	11,2 c	85	9,7 e	82	8,9 c	74
5 - Piraclostrobina + Epoxiconazol	0 a	100	0 a	100	0 a	100	0 a	100	0 a	100
6- Cercosporina	0 a	100	12,8 e	77	25,1 f	65	13,6 f	75	13,2 e	61
7 - Etilfosfonato de Cobre	8,2 e	84	1,3	98	1,1 b	98	2,1 b	96	2,6 b	92
8 - Piraclostrobina e Epoxiconazol + Hidróxido de Cobre	0 a	100	0 a	100	0 a	100	0 a	100	0 a	100
9 - Testemunha	51,9 g	--	55,8 f	--	72,7 g	--	54,6 g	--	34,4 f	--

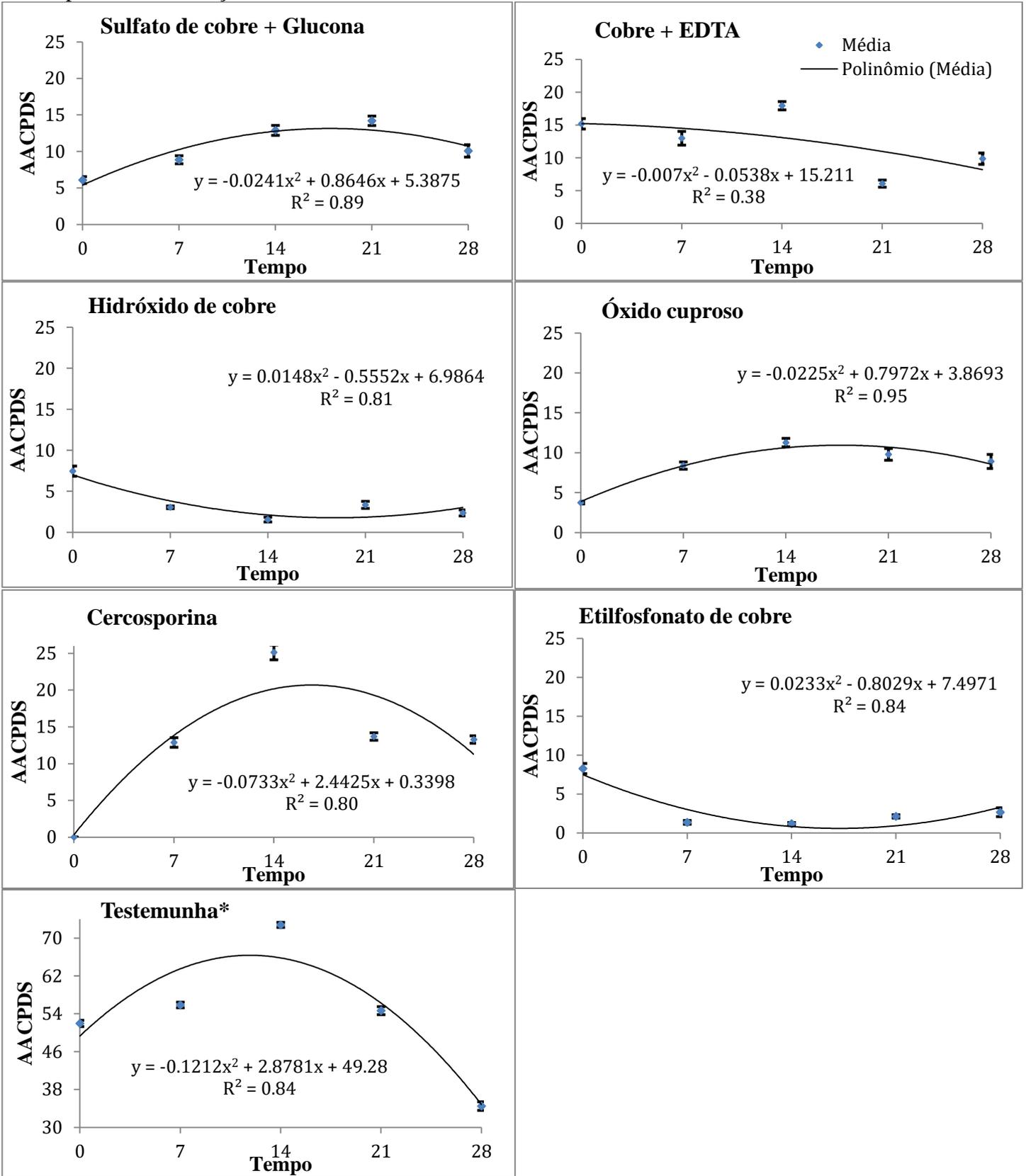
¹ Dias após aplicação dos produtos (DAAP) . ² Porcentagem de Eficiência calculada por Abbott (1925).

Fonte: Do autor (2019).

No desdobramento dos intervalos de tempo dentro de cada produto, Figura 2, verificaram-se variações no desempenho. Com os resultados observados é possível estabelecer o período de tempo ideal da aplicação do produto entre a inoculação do patógeno.

O sulfato de cobre + glucona no intervalo de tempo de 0 DAAP teve AACPD para severidade de 6,07 e 88% de eficiência no controle da ferrugem do cafeeiro, sendo esse o tempo ideal para inocular após a sua aplicação ($r^2= 0,89$). Para Cu + EDTA teve maior controle da severidade no intervalo de tempo de 21 DAAP, com índice da AACPD de 6,04 e uma eficiência em relação a testemunha de 89% (Eficiência de Abbott, 1925), sendo esse o tempo ideal de aplicação do produto entre a inoculação ($r^2= 0,38$). O hidróxido de cobre teve maior eficiência no controle da severidade no tempo de 14 DAAP, com índice de AACPD de 1,55, sendo esse o tempo ideal de sua aplicação entre a inoculação do patógeno ($r^2= 0,81$). Para o óxido cuproso o controle maior da severidade foi ao 0 DAAP, com índice de AACPD de 3,74 e uma eficiência de 93%, sendo esse o tempo ideal ($r^2= 0,95$). A cercosporina foi 100% eficiente na redução da severidade no tempo 0 DAAP, sendo esse o tempo ideal ($r^2= 0,80$). E por fim, para o estilfosfonato de cobre, teve uma considerável redução da severidade no tempo 14 DAAP, com índice de 1,18 na AACPD ($r^2= 0,84$).

Figura 2 - Área abaixo da curva do progresso da doença para severidade por produto em diferentes épocas de inoculação.



Fonte: Do autor.

4.4. Teor de Clorofila

Não houve interação significativa entre produtos e tempo para os teores de clorofila. Contudo, houve diferença entre os produtos para os teores de clorofila *a, b* e *total* ($P < 0,001$). Os teores de clorofila *a, b* e *total* foram maiores para o Fungicida padrão de controle utilizado de forma isolada ou em mistura, seguidos por Etilfosfonato de cobre. Os demais não diferiram estatisticamente da testemunha (Tabela 4).

Tabela 3 – Teores de Clorofila. Médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si por meio do teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

PRODUTOS	Teor de Clorofila (SPAD)		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>total</i>
1- Sulfato de cobre + glucona	2,14 c	1,03 c	3,17 c
2- Cu + EDTA	2,18 c	1,05 c	3,24 c
3- Hidróxido de cobre	2,14 c	1,03 c	3,17 c
4- Óxido cuproso	2,15 c	1,04 c	3,20 c
5 - Piraclostrobina + Epoxiconazol	2,47 a	1,20 a	3,67 a
6- Cercosporina	2,18 c	1,05 c	3,24 c
7 - Etilfosfonato de cobre	2,29 b	1,10 b	3,40 b
8 - Piraclostrobina e Epoxiconazol + Hidróxido de cobre	2,33 b	1,12 b	3,46 b
9 - Testemunha	2,23 c	1,07 c	3,30 c

Fonte: Do autor.

4.5. Altura, diâmetro do caule e Peso da parte aérea seca

Não houve interação dos produtos com o tempo de inoculação para a área abaixo da curva de progresso para altura (AACPA) e o diâmetro (AACPD). Os produtos foram significativos no incremento da altura e diâmetro ($p < 0,001$), com as maiores AACPA (1151,52 e 1155,46) para os produtos Etilfosfonato de Cobre e Hidróxido de Cobre respectivamente (Tabela 5). O menor valor da AACPA das mudas de cafeeiro foi de 1059,18 do produto Piraclostrobina + Epoxiconazol. As mudas tratadas com os fungicidas dos grupos químicos Estrobilurinas + Triazol apresentaram desenvolvimento menor em relação à testemunha e aos outros produtos à base de cobre. O diâmetro com maiores valores do coleto (20,66 , 20 , 19,89 e 19,39 – AACPD), para Piraclostrobina + Epoxiconazol + Hidróxido de

cobre, para Piraclostrobina + Epoxiconazol, Hidróxido de Cobre e Óxido cuproso, respectivamente (Tabela 5).

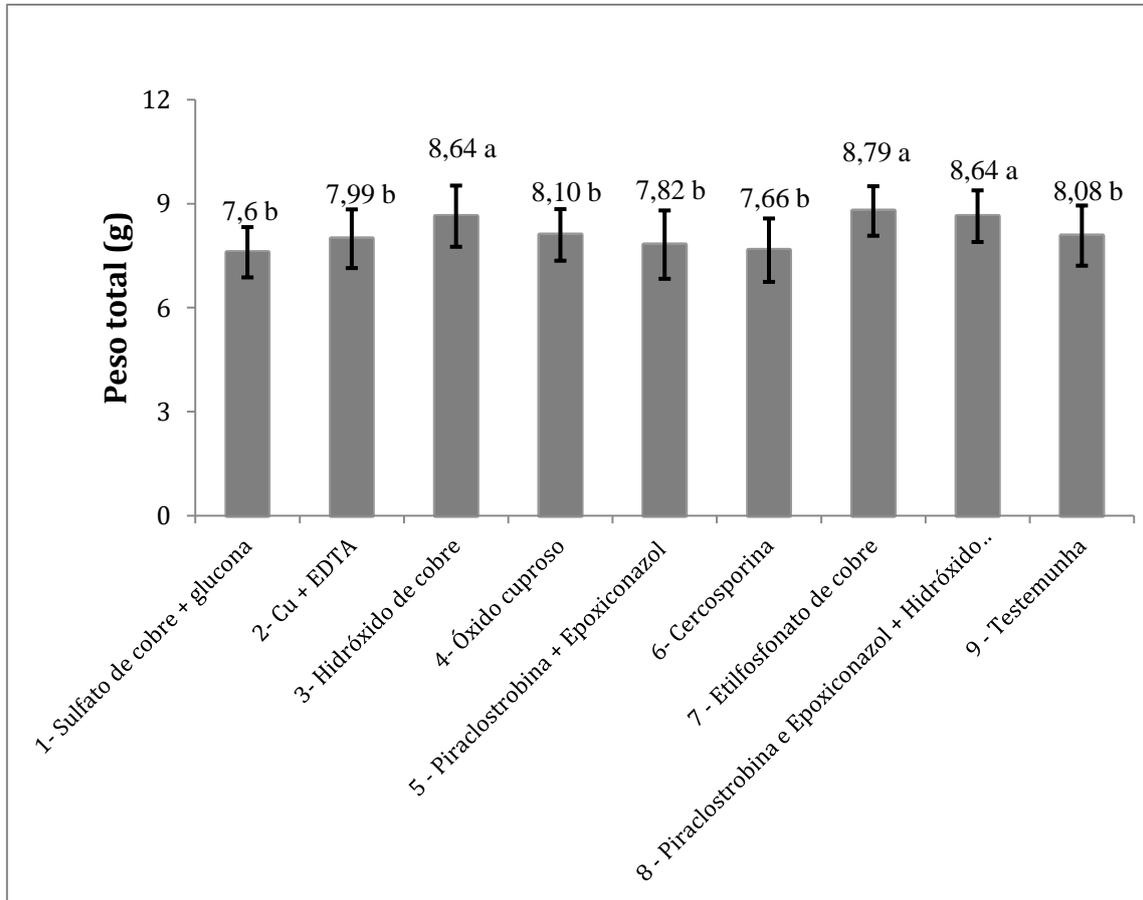
Tabela 4 - Área abaixo da curva de progresso para altura da muda de cafeeiro e diâmetro do caule. Médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si por meio do teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

PRODUTOS	AACPA	AACPD
1- Sulfato de cobre + glucona	1114,31 b	18,53 b
2- Cu + EDTA	1108,19 b	18,16 b
3- Hidróxido de cobre	1155,46 a	19,89 a
4- Óxido cuproso	1100,55 b	19,39 a
5 - Piraclostrobina + Epoxiconazol	1059,18 c	20,00 a
6- Cercosporina	1115,03 b	18,74 b
7 - Etilfosfonato de cobre	1151,52 a	18,90 b
8 - Piraclostrobina e Epoxiconazol + Hidróxido de cobre	1070,44 c	20,66 a
9 - Testemunha	1125,82 b	18,49 b

Fonte: Do autor.

O peso total da parte aérea seca diferiu entre os produtos ($p < 0,001$). Os maiores valores foram dos produtos Etilfosfonato de cobre, Hidróxido de cobre e piraclostrobina + epoxiconazol + hidróxido de cobre, com 8,79g, 8,64g e 8,64g respectivamente (Figura 4).

Figura 3 – Peso total da parte aérea seca (g/planta).



Médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si por meio do teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor

4.6. pH e Condutividade Elétrica da calda

Ocorreu interação significativa entre os produtos e o tempo de calda ($p < 0,001$), sendo feito o desdobramento das interações.

Para o desdobramento dos produtos nos tempos de cada (Figura 6), os valores de pH para os produtos hidróxido de cobre e piraclostrobina + epoxiconazol + hidróxido de cobre tiveram maiores valores, com 9,73 e 9,63 respectivamente

Para o tempo de 0 horas após o preparo da calda, o valor do pH do produto piraclostrobina + epoxiconazol + hidróxido de cobre foi de 9,51 enquanto do produto Sulfato de cobre + Glucona foi de 4,49. No tempo de 2 horas após o preparo da calda, os produtos com alterações expressivas nos valores de pH foram em relação a primeira avaliação foram o Cu + EDTA com 23,1%, o óxido cuproso com 21,5%, piraclostrobina + epoxiconazol com 13,5% e sulfato de cobre + glucona também com 13,5%. No tempode 4 horas apenas o óxido cuproso teve alteração maior que 10%, com valor de 14,9%.

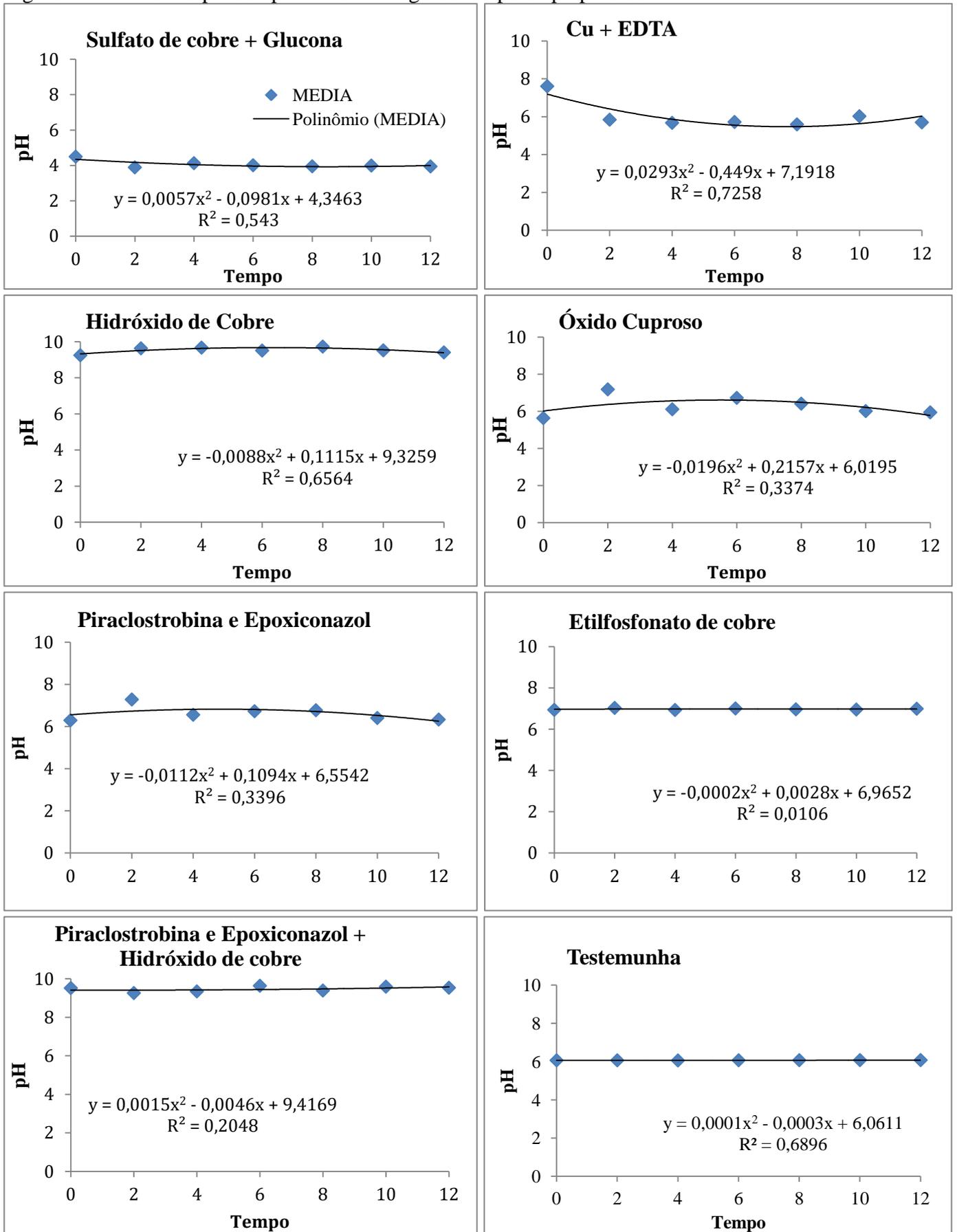
Tabela 5 – Médias do pH dos produtos.

PRODUTOS	pH											
	0 h ¹	2 h	% ²	4 h	%	6 h	%	8 h	%	10 h	%	12 h
1- Sulfato de cobre + Glucona	4,49 h	3,88 h	13,5	4,12 h	5,8	4,00 h	2,9	3,94 h	1,5	3,99 h	1,2	3,94 h
2- Cu + EDTA	7,60 c	5,84 g	23,1	5,67 g	2,9	5,72 g	0,8	5,59 g	2,2	6,02 f	7,1	5,70 g
3- Hidróxido de Cobre	9,25 b	9,63 a	3,9	9,67 a	0,4	9,51 b	1,6	9,73 a	2,2	9,52 b	2,1	9,41 b
4- Óxido cuproso	5,63 g	7,18 d	21,5	6,11 e	14,9	6,73 d	9,2	6,41 e	4,7	6,01 g	6,2	5,94 f
5 - Piraclostrobina + Epoxiconazol	6,29 e	7,28 c	13,5	6,56 d	9,8	6,72 e	2,3	6,77 d	0,7	6,40 d	5,4	6,33 d
7 - Etilfosfonato de Cobre	6,93 d	7,03 e	1,4	6,93 c	1,4	7,00 c	0,5	6,96 c	0,5	6,95 c	0,1	6,99 c
8 - Piraclostrobina e Epoxiconazol + Hidróxido de Cobre	9,51 a	9,26 b	2,6	9,34 b	0,8	9,63 a	3	9,39 b	2,4	9,59 a	2	9,53 a
9 - Testemunha	6,06 f	6,06 f	0	6,05 f	0,1	6,06 f	0,1	6,07 f	0,1	6,07 e	0	6,07 e

¹ Horas após o preparo da calda. Médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si por meio do teste Scott-Knott a 5% de probabilidade. ² Porcentagem de alteração do pH em relação ao valor anterior.

O produto Sulfato de Cobre + Glucona no tempo 0 foi observado valor inicial de 4,49 em seu pH, com duas horas após o preparo da calda de 3,88 ($r^2= 0,54$). Para o Cu+ EDTA ocorreu queda abrupta nos valores do pH de 7,60 no tempo de 0 horas para 5,84 duas horas após o preparo da calda, com variação de 23,1% entre os valores ($r^2= 0,72$). Para o hidróxido de cobre, o tempo 0 foi de 9,25 o seu pH, com 9,63 duas horas após o preparo da calda, com variação de 3,9% entre a primeira e a segunda avaliação ($r^2= 0,65$). O óxido cuproso teve pH de 5,63 na primeira avaliação, duas horas após foi para 7,18, uma variação entre o tempo 0 e 2 (de duas horas após) de 21,5% ($r^2= 0,33$). Para o fungicida sistêmico do grupo Estrobilurina + Triazol utilizado de forma isolada com pH inicial de 6,29, aumentando para 7,28, uma diferença de 13,5% em relação a primeira avaliação ($r^2= 0,33$). O Etilfosfonato de Cobre no tempo de 0 horas do preparo da calda foi observado pH de 6,93, com duas horas após, na segunda avaliação foi de 7,03, com variação de 1,4% em relação a primeira avaliação. A mistura do fungicida sistêmico com Hidróxido de cobre foi observado pH de 9,51 no tempo 0, uma diferença de 33,8% em relação ao seu pH sem a mistura do hidróxido de cobre . Para testemunha os valores de pH foram de 6,06 inicial, oscilando entre 6,05 a 6,07 ($r^2= 0,68$).

Figura 4 – Valores do pH dos produtos ao longo do tempo de preparo da calda.



Fonte: Do autor.

Houve interação entre produto e tempo de calda para a condutividade elétrica ($p < 0,001$). A piraclostrobina + epoxiconazol teve valores estáveis, não foram alterados nos tempos avaliados, assim como o produto óxido cuproso (Tabela 7). O Etilfosfonato de cobre teve valores de condutividade elétrica entre 1,44 a 1,40, enquanto a Piraclostrobina + Epoxiconazol 0,05.

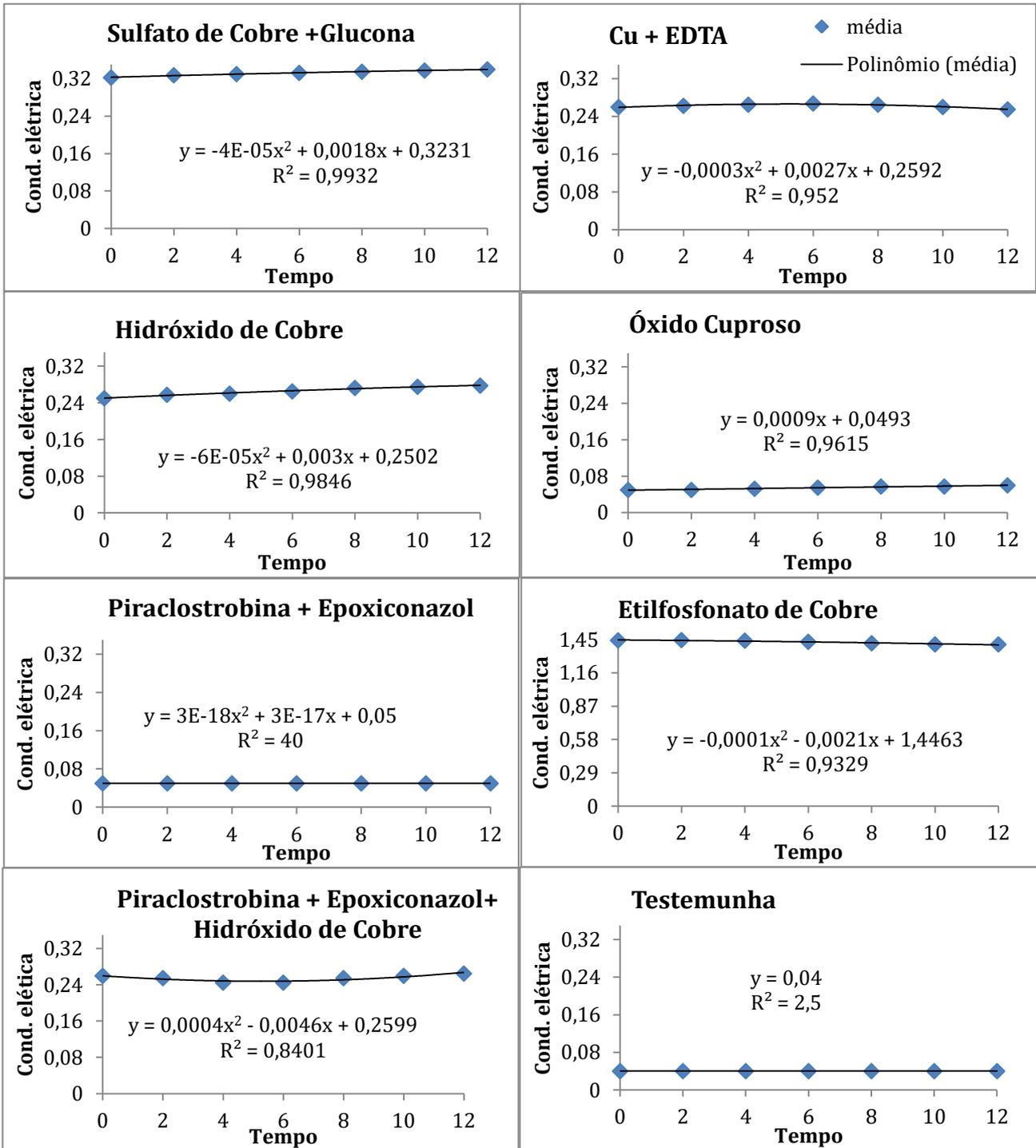
Tabela 6 - Médias da Condutividade Elétrica dos produtos.

PRODUTOS	Condutividade Elétrica						
	0 h ¹	2 h	4 h	6 h	8 h	10 h	12 h
1- Sulfato de cobre + Glucona	0,32 b	0,32 b	0,33 b	0,33 b	0,33 b	0,33 b	0,34 b
2- Cu + EDTA	0,26 c	0,26 c	0,26 c	0,26 c	0,26 d	0,26 d	0,25 e
3- Hidróxido de Cobre	0,25 d	0,25 c	0,26 c	0,26 c	0,27 c	0,27 c	0,27 c
4- Óxido cuproso	0,05 e	0,05 d	0,05 e	0,05 e	0,057 f	0,057 e	0,06 f
5 - Piraclostrobina + Epoxiconazol	0,05 e	0,05 d	0,05 e	0,05 e	0,050 g	0,05 f	0,05 g
7 - Etilfosfonato de Cobre	1,44 a	1,44 a	1,44 a	1,43 a	1,41 a	1,4 a	1,40 a
8 - Piraclostrobina e Epoxiconazol + Hidróxido de Cobre	0,26 c	0,25 c	0,24 d	0,24 d	0,25 e	0,26 d	0,26 d
9 - Testemunha	0,04 f	0,04 e	0,04 f	0,04 f	0,04 h	0,04 g	0,04 h

¹ Horas após o preparo da calda. Médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si por meio do teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Para o desdobramento de tempo dentro de cada produto (Figura 8), não ocorreu alterações nos valores da condutividade elétrica para Piraclostrobina + Epoxiconazol e testemunha durante os tempos avaliados, com exceção para os demais. Alguns produtos apresentaram variação mínima, como Óxido cuproso ($r^2 = 0,96$), Etilfosfonato de Cobre ($r^2 = 0,93$), com valores mínimos de 0,05 e 1,40 CE e máximos de 0,06 e 1,44 CE respectivamente (Figura 8). A condutividade elétrica da mistura do fungicida sistêmico com o hidróxido de cobre ($r^2 = 0,84$) variou de 0,24 a 0,27, enquanto o produto isolado foi observado valor de 0,05, sem alterar o valor no decorrer do tempo. Os valores para Cu + EDTA ($r^2 = 0,95$), ficaram com mínimo em 0,25 e o máximo em 0,26 CE.

Figura 5 - Valores da condutividade elétrica dos produtos ao longo do tempo de preparo da calda.



Fonte: Do autor.

5. DISCUSSÃO

5.1 Severidade da ferrugem do cafeeiro

Para a área baixa da curva de progresso da severidade da ferrugem do cafeeiro (AACPDS) os tratamentos foram eficientes para reduzir a severidade. No caso dos cúpricos, esse resultado pode estar associado à natureza química, tamanho, capacidade de dispersão de partículas, tenacidade e aderência dessas moléculas em suas respectivas formulações.

No tempo 0 DAAP, o óxido cuproso observou alta eficiência no controle da severidade, com 93% e AACPDS com 3,74. Este resultado pode estar associado ao tamanho das partículas primárias (0,1 a 0,2 μ), além de conter maior quantidade de cobre metálico por quilograma (AZEVEDO, 2017; PATRÍCIO et al., 2015). Mas também por sua natureza química, por ser monovalente e de estrutura molecular simples tornando-o fácil de ser quebrado quimicamente e ionizado em relação a outros sais de cobre, com a planta conseguindo assimilar de forma eficaz (AZEVEDO, 2017). Nos tempos subsequentes a sua eficiência foi reduzida para 85% e 82%, mas mantendo-se com porcentagem de eficiência alta, com o tempo 0 DAAP ideal para este produto.

Em relação ao Hidróxido de Cobre, no 0 DAAP, a severidade foi de 7,46 (AACPDS), reduzindo nos demais tempos. Esse resultado pode estar relacionado às características do hidróxido de cobre, por liberar cobre iônico. Essa liberação se dá de forma lenta dos íons de Cu^{++} , podendo ser absorvido e utilizado em diversos processos fisiológicos requerido na planta (DU PONT, 2014, AZEVEDO, 2017). Dessa forma, poderá ocorrer, além da proteção do cobre no seu tecido também à indução de resistência. Isso pode ter ocorrido a partir do tempo 7 DAAP, que teve valores de AACDPS de 3,05, com o tempo de inoculação ideal no tempo 14 DAAP por ter o valor de 1,55. Oliveira; Santos; Guzzo (2002) com aplicação do hidróxido de cobre 24 horas antes da inoculação do fungo *H. vastatrix* em mudas de cafeeiro, avaliou seu efeito sem e com chuva simulada por um equipamento. Nas avaliações de incidência e severidade os tratamentos com e sem chuva não ocorreu aumento significativo da incidência, contudo, para a severidade aumentou progressivamente no decorrer dos tempos avaliados. O produto mostrou controle mais efetivo da incidência, diminuindo seus valores nos demais tempos avaliados.

O produto etilfosfonato de cobre teve menor AACPDS a partir de 7 DAAP com índice de 1,36. O tempo 0 DAAP com AACPDS maior em relação aos outros. Os resultados obtidos nos tempos 7, 14, 21 e 28 podem estar relacionados com a indução de resistência por esse produto. O Etilfosfonato de Cobre é considerado ativador do sistema de defesa natural da planta (SMILLIE et al., 1989). Em estudos realizados com o produto por Costa (2014), seu controle de patógenos foi associado no aumento da expressão dos genes de resistência associados à *Catalase*, *Fenilalanina amônia-liase*, *Superóxido dismutase* e *Peroxidase*. Isso explica seus resultados em todos os tempos avaliados. Portanto, fica evidente a necessidade de respeitar um intervalo de tempo entre sua aplicação entre a inoculação do patógeno.

O resultado obtido pela Cercosporina no tempo 0 DAAP, com 0 de severidade, está relacionado a propriedade dessa toxina contra a germinação de esporos e crescimento micelial, testada no controle de fungos e bactéria por Fajola (1978). A toxina ao absorver a luz reage com o oxigênio e produz espécies ativas de oxigênio (ROS ou EAO's) como oxigênio singlete (O_2) e superóxido (O_2^-), (DAUB & CHUNG, 2007). As espécies ativas de oxigênio possuem várias funções na resposta de defesa da planta, com atividade tóxica direta a patógenos e fortalecimento da parede celular (RESENDE; SALGADO; CHAVES, 2003). Com os resultados da incidência nos tempos 7 e 21, com eficiência de 26% e 39% em relação à testemunha é possível que tenha ocorrido à indução de resistência. Porém, isso não explica o resultado no tempo 0, apenas a ação no controle direto ao fungo. Em vista dos resultados apresentados o produto tem aplicabilidade para o controle de doenças.

Os produtos quelatizados, Sulfato de Cobre + Glucona e Cu + EDTA foram eficientes no controle da severidade da ferrugem do cafeeiro. O sulfato de Cobre + Glucona obteve menor índice da severidade no tempo 0 DAAP com 6,07 (AACDPS) e 88% de eficiência. Esse resultado pode estar associado à toxicidade direta ao patógeno. No tempo 7 DAAP a severidade foi 8,85, por ter ocorrido nesse intervalo de tempo, esse resultado pode estar relacionado a indução de resistência. Os tempos 14 e 21 DAAP tiveram índices de 12,87 e 14,19 para AACPDS e eficiência de 82% e 74% respectivamente. Com esses resultados, é possível que tenha ocorrido a indução de resistência por esse produto. Pereira (2018), em seu experimento com fontes de cobre no controle da ferrugem do cafeeiro, feito em mudas com inoculação 20 dias após a aplicação dos produtos obteve redução na severidade em relação a testemunha de 75,3% e um índice de 3,6 na AACPDS com dosagem de $1,5 \text{ L/ha}^{-1}$. No trabalho conduzido por San Juan, Capato, Andrade, (2016), foi avaliado o uso do Sulfato de Cobre + Glucona (Bayfolan Cobre) no manejo da ferrugem do cafeeiro em campo. Utilizando 1litro por hectare

em três aplicações do produto em plantas de cafeeiro. O autor relatou redução na infecção da ferrugem por aplicações do produto, equivalendo-se ao do hidróxido de cobre 538 WG.

Para o produto Cu + EDTA a severidade foi menor no tempo 21 DAAP, com 89% de redução da severidade e 6,04 (AACPDS). Também teve menor valor da severidade no tempo 28 DAAP, com índice de 9,84 e 71% de redução da severidade em relação a testemunha. Esses resultados obtidos nesses dois tempos podem estar relacionados com a indução de resistência. Utilizando quatro dosagens 4,8, 2, 1 e 0,406 kg/ha¹ do Cu+ EDTA Pereira (2018) observou redução de 80,2%, 62,4%, 20,5% e 58,7% da severidade em relação a testemunha, com índice de 2,9, 5,5, 8 e 6 da AACPDS respectivamente. Moraes et al, (2014), em avaliações de diferentes fontes de cobre no controle da ferrugem do cafeeiro realizada em campo com os produtos hidróxido de cobre, oxicloreto de cobre, cobre EDTA, fosfito de cobre. Após sua segunda pulverização o Cu + EDTA obteve melhor resultado em relação aos produtos utilizados, com redução significativa da ferrugem.

Ambos, sulfato de cobre+glucona e Cu+EDTA, por serem quelatizados apresentam estabilidade em ampla faixa de pH e temperatura tornando-os de fácil absorção pelas plantas. Segundo Azevedo (2017), nutrientes quelatizados por sua estabilidade, permanecem em forma solúvel por longo período, sendo facilmente absorvido por folhas, ramos e raízes. Além do mais, é possível associar a redução da incidência por maior dose e número maior de aplicações dos produtos. Portanto, aumentar a dose utilizada nesse estudo pode contribuir na redução da severidade da ferrugem do cafeeiro. Também, mais aplicações justificam maior eficiência desses produtos. Por ser de fácil absorção pela planta tornando-o prontamente disponível para ser metabolizado e utilizado em rotas de indução de resistência.

5.2 Variáveis fisiológicas

Os teores de clorofila a,b e total foram maiores para o produto Piraclostrobina + Epoxiconazol, devido a esses princípios ativos respectivamente. Segundo Reis; Reis; Carmona (2016); Fang et al. (2010) a estrobilurina possui efeitos fisiológicos na planta, em questão, no aumento da clorofila. O fato está relacionado à diminuição da produção de etileno, reduzindo a senescência e assim a área foliar verde permanece por maior período, mantendo a interceptação da radiação solar por mais tempo. Além disso, ao diminuir as concentrações do etileno, as citoquininas aumentam a produção de clorofila na planta, além de aumentar a atividade de enzimas antioxidantes. A influência da Piraclostrobina também foi constatada por Junior et al. (2013). Nesse estudo, o autor ao avaliar respostas fisiológicas de

mudas de café Catuaí Vermelho 144 à aplicação da piraclostrobina. Também por avaliações realizadas por SPAD, constatou maior intensidade da cor verde por aplicação da piraclostrobina, isso representa aumento nos teores de clorofila total foliar. O epoxiconazol possui efeito idêntico no aumento da cor verde, resultado do aumento da clorofila, reduzindo a senescência por inibir a produção de etileno. Com a associação de dois princípios ativos com a mesma ação, contribuiu para o aumento nos teores de clorofila.

A altura e diâmetro das mudas com maiores valores da curva de progresso para altura AACPDA foram para os produtos Hidróxido de Cobre e Etilfosfonato de Cobre, com menores valores para Piraclostrobina + Epoxiconazol isolado e em mistura com Hidróxido de cobre, inclusive com valores inferiores ao da testemunha. Esse efeito no crescimento das mudas de cafeeiro está relacionado ao Epoxiconazol. Os fungicidas inibidores da desmetilação possui atividade reguladora de crescimento nas plantas. Esse efeito está relacionado à inibição de giberilinas e biossíntese de esteróis, com redução e/ou retardo do crescimento da planta (REIS; REIS; CARMONA, 2016; DEMANT e MARIGONI, 2012; SAISHOJI et al., 1998). Em estudo realizado por Herzog (2017), constatou menor tamanho em ramos plagiotrópicos e ortotrópicos em café Conilon tratados apenas com epoxiconazol, mas com maior crescimento para tratamentos combinando piraclostrobina e epoxiconazol. Contudo, Peloso et al. (2017) ao pesquisar o efeito da piraclostrobina no crescimento inicial de plantas de *Coffea arabica* L. constatou aumento da altura e diâmetro do coleto, em especial em doses maiores. Resultados esses também encontrados em estudos com outras culturas, como no caso da bananeira, ocorrendo aumento da altura das plantas tratadas apenas com a piraclostrobina em relação à testemunha (LIMA e SILVA. 2012). Porém, esses efeitos não ocorrem no presente estudo.

O peso seco das mudas para os produtos etilfosfonato de cobre, hidróxido de cobre e piraclostrobina + epoxiconazol + hidróxido de cobre foram observados valores maiores em relação aos demais. Para o tratamento com piraclostrobina + epoxiconazol apenas o peso seco não diferiu da testemunha. Esses resultados contrapõem os encontrados por Junior et al. (2013). Os tratamentos feitos apenas com Piraclostrobina obtiveram maiores rendimentos na fitomassa seca das mudas de Catuai 144 em relação à testemunha e também ao Hidróxido de Cobre. Contudo, o resultado encontrado no presente estudo pode estar relacionado à mistura com Epoxiconazol, o que pode ter causado o encurtamento em folhas, ramos e internódios da planta, efeitos esse relatado por Reis, Reis, Carmona, (2016).

5.3 pH e Condutividade elétrica

A princípio, o fator limitante na eficácia dos fungicidas está relacionado à qualidade da água utilizada. Os valores de pH alto da água pode acelerar a degradação do produto, ocorrendo a hidrólise alcalina em herbicidas. O pH também é fator limitante para dissociação de moléculas e absorção do produto no tecido da planta. Em especial, produtos com ingredientes ativos como sais, podem ser afetados por reagir com cátions em águas classificadas como duras, ocorrendo à formação de compostos insolúveis (KISSMANN, 1997). A água é dura quando contem quantidades altas de Ca^{++} e Mg^{++} .

A adição de nutrientes em calda, ou de produtos com complexos de nutrientes pode gerar reações. Segundo Stumm e Morgan (1996) íons livres podem vir a combinar-se com outras moléculas e diminuindo o princípio ativo, conseqüentemente irá diminuir sua eficácia biológica, além de ocasionar precipitação das partículas, ocorrendo entupimento de pontas do pulverizador (BUHLER; BURNSIDE, 1983; THELEN et al., 1995).

Os produtos de pH alcalino, com os maiores valores foram hidróxido de cobre e piraclostrobina + epoxiconazol + hidróxido de cobre, com 9,73 e 9,63. O fungicida sistêmico em mistura foi observado valor elevado devido estar em mistura com outro produto de origem alcalina. Tal fato pode gerar degradação de seu princípio ativo, assim como ocorre com herbicidas, o pH alto acelera sua degradação por hidrólise alcalina (KISSIMAN, 1997).

A condutividade elétrica é um fator muito importante no desempenho do produto, podendo gerar problemas e perda de eficiência de ingrediente ativo. Valores elevados e indicador de grandes quantidades de íons, esses podem vir a interferir na eficácia biológica do produto (CARLSON; BURNSIDE, 1984). Isso pode ocorrer quando os valores da condutividade elétrica estão altos, reflexo de quantidade maior de íons em suspensão, podendo interagir com as moléculas dos produtos utilizados. O etilfosfonato de cobre foi o único produto com maiores valores de condutividade, isso pode estar relacionado a possuir além do cobre o fósforo (P_2O_2) 20% e enxofre (S) 1,75%. Porém, não afetou seu desempenho. Alterações tanto no pH quanto na condutividade elétrica da calda podem afetar a duração do efeito protetor, bem como sua eficiência no controle de doenças.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido às alterações climáticas favorecendo a manutenção de doenças no campo, tornam-se necessárias mais aplicações de fungicidas, aumentando os custos com o controle. Além disso, pode resultar em alterações ecológicas, principalmente aumentando a pressão de seleção, resultando em patógenos resistentes aos grupos químicos utilizados.

Os estudos da indução de resistência em plantas contra fitopatógenos por manejo nutricional ou mesmo com uso de indutores são essências. Seu uso de forma isolada ou em combinação com fungicidas de grupos químicos dos sistêmicos podem promover maior eficiência no controle de doenças.

Os resultados obtidos no presente estudo são promissores para o estudo da indução de resistência em cafeeiro por produtos à base de cobre, além do uso da cercosporina. Os produtos hidróxido de cobre, etilfosfonato de cobre, cercosporina, Cu+EDTA e sulfato de cobre + glucona foram eficientes no controle da severidade da ferrugem. Apesar dos resultados promissores, faz-se necessária a realização de experimentos bioquímicos, principalmente com as enzimas relacionadas a indução de resistência.

7. CONCLUSÃO

Houve diferença entre os produtos em relação aos intervalos entre a sua aplicação e a inoculação.

Para o sulfato de cobre + glucona a menor AACPD para a severidade foi ao 0 dias após a aplicação do produto, para o Cu + EDTA aos 21 DAAP, hidróxido de cobre aos 14 DAAP, para óxido cuproso ao 0 DAAP, para a cercosporina ao 0 DAAP e para o etilsfosfonato de cobre aos 14 DAAP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acomp. safra bras. café, v. 6 – Safra 2019, n.1 - Primeiro levantamento, Brasília, p. 1-162, janeiro 2019. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe> > Acesso em: 22 Janeiro. 2019.
- ANGELINE, R; BRAGALONI, M; FEDERICO, R; INFANTINO, A; PORTA-PUGUA, A. Involvement of Polyamines, Diamine Oxidase and Peroxidase in Resistance of Chickpea to *Ascochyta rabiei*. **Journal of Plant Physiology**, v. 142, n. 6, p. 704-709, 1993. ISSN 0176-1617, [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)80906-5](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)80906-5).
- AZEVEDO, L. A. S. **Fungicidas protetores. Fundamentos para o uso racional**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Imos Gráfica Editora Ltda, 2017. 259p.
- BARKER, A. V.; PILBEAM, D. J. **Handbook of Plant Nutrition**. (Books in Soils, Plants, and the Environment). CRC Press; 2 edition (May 14, 2015).773p.
- BARÓN M.; ARELLANO J. B.; GORGÉ L. Copper and photosystem II: a controversial relationship. **Physiol. Plant**, v. 94, p. 174-180, 1995. 10.1111/j.1399-3054.1995.tb00799.x.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Café no Brasil**. 2017. Disponível em: < <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/cafe/cafeicultura-brasileira> >. Acesso em: 28 de agosto. 2018.
- Bussler, W. (1981b). Physiological functions and utilization of copper. In *Copper in Soils and Plants* (J. F. Loneragan, A. D. Robson and R. D. Graham, eds.), pp. 213-234. Academic Press, London and Orlando.
- Burkhead, J.L., Gogolin Reynolds, K.A., Abdel-Ghany, S.E., Cohu, C.M., and Pilon, M. (2009). Copper homeostasis. *New Phytol.* 182, 799–816. doi: 10.1111/j.1469-8137.2009.02846.x
- BUHLER, D. D.; BURNSIDE, O. C. Effect of water quality, carrier volume, and acid on glyphosate phytotoxicity. **Weed Science**, Champaign, v. 31, n. 2, p. 163-169, 1983.
- Cona A, Rea G, Angelini R, Federico R, Tavladoraki P (2006a) Functions of amine oxidases in plant development and defence. *Trends Plant Sci* 11: 80–88
- CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. *Introduction to plant disease epidemiology*. New York: John Wiley, 1990. 532 p.
- CARLSON, K. L.; BURNSIDE, O. C. Comparative phytotoxicity of glyphosate, SC-0224, SC-0545, and HOE-00661. *Weed Science*, v. 32, n. 6, p. 841-884, 1984.
- CARVALHO, L. de C.; CHALFOUN, S. M.; CUNHA, R. L. da. Manejo de doenças do cafeeiro. In: REIS, P. R.; CUNHA, R. L. da (Ed.). *Café arábica: do plantio à colheita*. Lavras: EPAMIG, 2010. v. 1, p. 689-757.
- CARVALHO, V.L.; CHALFOUN, S.M.; CARVALHO, V.D. de; CASTRO, H.A. de. Efeito dos níveis de carga pendente e estágio de desenvolvimento dos frutos sobre a evolução e intensidade de ataque de *Hemileia vastatrix* Berk. & Br., agente da ferrugem do cafeeiro. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 4, n. 17, p.351-356, out./dez. 1994.

CARVALHO, V.L.; CUNHA, R. L.; CARVALHO, J. P. F. **Benefícios do cobre na cafeicultura**. Circular Técnica. n. 3 – Maio – 2007. ISSN 0103-4413

COSTA, J. R. da. **Fosfitos e subprodutos da indústria cafeeira nas respostas bioquímicas e moleculares de defesa do tomateiro à mancha bacteriana**. 2014. 100 p. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

COPPER DEVELOPMENT ASSOCIATION (2003). Uses of copper compounds. www.copper.org/applications/compounds/copper_sulfate02.html.

CROPLIFE (2002). A history of crop protection and pest control in our society. In 'Analyzing the risks, balancing the bevefits: the facts on pesticides and human safety'. (www.croplife.ca/english/pdf/Analyzing2003/T1History.pdf):

CRUZ, F.J.; CHAVES, G.M. Efeito da adubação N, P, K e micronutrientes (F.T.E) na incidência da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.). In: Congresso brasileiro de pragas e doenças do cafeeiro, Vitória, 1973. Resumos, Rio de Janeiro, IBC-GERCA, 60 p.1973.

CUNHA, R.L.; POZZA, E. A.; DIAS, W. P.; BARRETTI, P. B. Desenvolvimento e validação de uma escala diagramática para avaliar a severidade da ferrugem (*Hemileia vastatrix*) do cafeeiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. Resumos. Vitória: Embrapa Café. p. 77-78. 2001.

CHALFOUN, S. M.; CARVALHO, V. L. de; PEREIRA, M. C. Efeito de alterações climáticas sobre o progresso da ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.) do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 5, p. 1248-1252, set./out. 2001.

Daub, M.E. and Chung, K-R. 2007. Cercosporin: **A Phytoactivated Toxin in Plant Disease**. Online. *APSnetFeatures*. doi: 10.1094/APSnetFeature/2007-0207

Das, S. K., Patra, J. K. and Thatoi, H. (2016), Antioxidative response to abiotic and biotic stresses in mangrove plants: A review. *Internat. Rev. Hydrobiol.*, 101: 3–19. doi:10.1002/iroh.201401744

DEMANT, L.A.D.; MARINGONI, A.C. Controle da mancha angular do feijoeiro com uso de fungicidas e seu efeito na produção das plantas. *Idesia (Arica)*, v.30, n.2, p.93- 100, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.cl/pdf/idesia/v30n2/art12.pdf>. Acesso em: 05 set. 2016

DU PONT. Kocide®WDG. A evolução do cobre. A importância do cobre na produção cafeeira. Informe técnico. 2015. 11p.

FAJOLA, A. O. Cercosporin, a phytotoxin from *Cercospora* spp. *Phytilogical Plant Pathology* (1978) 13, 157-164

FAGAN, E. B.; NETO, D. D.; VIVIAN, R.; FRANCO, R. B.; YEDA, M. P.; MASSIGNAM, L. F.; OLIVEIRA, R.F.; MASTINS, V.M. **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.

FERNANDES, L.H.; RESENDE, M.L.; PEREIRA, R.B.; COSTA, B.H.; MONTEIRO, A.C.; JUNIOR, P.M. Acidobenzolar-s-metil no controle da ferrugem e da cercosporiose do cafeeiro em condições de campo. *Coffee Science*, v.8, n. 1, p. 24- 32.2013.

Fernandes, J.C. & Henriques, F.S. *Bot. Rev* (1991) 57: 246. <https://doi.org/10.1007/BF02858564>

Folsom, B. L., Jr., C. R. Lee & D. J. Bates. 1981. Influence of disposal environment on availability and plant uptake of heavy metals in dredged material. Technical Report EL -8 1-12, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, CE, Vicksburg, Mississippi. 158 pages.

FOYER, C. H., DESCOURVIÈRES, P. and KUNERT, K. J. (1994), Protection against oxygen radicals: an important defence mechanism studied in transgenic plants. *Plant, Cell & Environment*, 17: 507–523. doi:10.1111/j.1365-3040.1994.tb00146.x

Graham, R. D., M. J. Webb 1991. Micronutrients and Disease Resistance and Tolerance in Plants. In: J. J. Mortvedt, editor, *Micronutrients in Agriculture*, SSSA Book Ser. 4. SSSA, Madison, WI. p. 329-370. doi:10.2136/sssabookser4.2ed.c10.

Gupta, U.C. 1979. Copper in agricultural crops. Pages 255-288 in J. O. Nriagu (ed.), *Copper in the environment. Part I: Ecological cycling*. John Wiley & Sons, New York.

HAMMERSCHMIDT, R. Phytoalexins: what have we learned after 60 years? **Annual Review Phytopathology**, Palo Alto, v.37, p.285-306, 1999.

HERZOG, T. T. **Fungicidas e efeitos fisiológicos na cultura do café conilon**. 2017. 60f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) - Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus - ES. 2017. Disponível em: http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_10658_Disserta%E7%E3o_thaisa.pdf

Hendry, G.A.F.; Price, A.H. 1993. Stress indicators: chlorophylls and carotenoids. In: Hendry, G.A.F.; Grime, J.P. *Methods in comparative plant ecology*. Chapman & Hall, London. 148-152

Howeler, R.H. 1983. Anfilisis del tejido vegetal en el diagnóstico de problemas nutricionales algunos cultivos tropicales. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. 28 pages.

Hooker, H. D. 1923. Colloidal copper hydroxide as a fungicide. *Indust. Engin. Chem.* 15:1177-1178.

JUNIOR, J. P.; FOGAN, E. B.; CORREA, L. V.; SOARES, J. N.; PEREIRA, I. S.; SILVA, L. G. **Resposta fisiológica de mudas de café à aplicação foliar de estrobilurina-piraclostrobina e silício**. *Revista do Centro Universitário de Patos de Minas*. ISSN 2178-7662 Patos de Minas, UNIPAM, (4):42–57, nov. 2013

KISSMANN, K. G. Adjuvantes para caldas de produtos agrotóxicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 21., 1997, Caxambu. **Palestras e mesas redondas...** Viçosa: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 1997. p. 61-77.

Lastra, O, A. Chneca, C. González, M. Lachica & J. L. Gorge. 1987. El cobre como nutriente de la pinata. *Anales Edafol. Agrobiol.* 46: 1005-1020.

Li, L., Steffens, J.C., 2002. Over-expression of polyphenol oxidase in transgenic tomato plants results in enhanced bacterial disease resistance. **Planta** 215, 239–247.

LIMA, J. D.; MORAES, W. S.; SILVA, S. M. G. da. Respostas fisiológicas em mudas de bananeira tratadas com estrobilurinas. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 77-86, jan./mar. 2012.

MCCOOK, S. Global rust belt: hemileia vastatrix and the ecological integration of world coffee production since 1850. **Journal of Global History**, Cambridge, v. 1, n. 2, p. 177-195, July 2006.

MAXEMIUC-NACCACHE, V.; BRAGA, M. R.; DIETRICHE, S. M.C. Chitinase and β -1,3-glucanase changes in compatible and incompatible combinations between coffee leaf disks and coffee rust (*Hemileia vastatrix*). **Revista Brasileira de Botânica, São Paulo**, v. 15, n 2, p 145-150, abr./jun. 1992.

MARSCHNER, P. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. 3.ed. Edited by Marschner P.. Amsterdam, Netherlands: Elsevier/Academic Press (2011), pp. 684

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638p.

Matiello, J. B. ; Ferreira, Iran B. ; Almeida, S. R. de ; Paiva, R. N. Efeito Curativo de Fungicidas no Controle da Ferrugem Tardia em Cafeeiros. CBPC (40.; 2014; Serra Negra-SP) – Anais [321]

MAYER, A. M. Polyphenol oxidases in plants and fungi: Going places? A review. **Phytochemistry**. 2006 Nov;67(21):2318-31. Epub 2006 Sep 14. [10.1016/j.phytochem.2006.08.006](http://dx.doi.org/10.1016/j.phytochem.2006.08.006)

MCCOOK, Stuart. Crônica de uma praga anunciada epidemias agrícolas e história ambiental do café nas Américas. **Varia hist.**, Belo Horizonte , v. 24, n. 39, p. 87-111, June 2008 . Available from http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010487752008000100005&lng=en&nrm=iso.accessMon 05 Nov. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-87752008000100005>.

MICHEREFF, S. J. Controle químico de doenças de plantas. Disponível em <http://www.ufrpe.br:6789/fitopatologia/teoricas/T19.pdf> . Acessado em 04 de Janeiro. 2018.

Moraes, A. ; Paes, E. R. ; Salomão, G. S. ; Goulart, R. R. ; Machado, E. A. ; Florêncio, V. H. P. ; Reges, W. A. **Avaliação de diferentes fontes de cobre no controle de doenças fungicas do cafeeiro**. CBPC (40.:2014: Serra Negra, SP) - Anais [321] <http://www.sbicafe.ufv.br:80/handle/123456789/7057>

MONTEIRO, A. C. A. **Associação de indutores de resistência para o manejo da ferrugem do cafeeiro e análise bioquímica da resposta de defesa induzida**. 2011. 86 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

OLIVER, R.; HEWITT, H. G. **Fungicides in Crop Protection**. 2nd. Wallingford, Oxfordshire, UK: CAB Internacional, 2014. 190p.

PEREIRA, A. B. **Fontes de cobre no controle da ferrugem do cafeeiro**. 2018. 50p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras. Lavras.

PELOSO, A. F.; TATAGIBA, S. D.; AMARAL, J. F. T.; CAVATTE, P. C.; TOMAZ, M. A. EFEITO DA APLICAÇÃO DE PIRACLOSTROBINA NO CRESCIMENTO INICIAL DE CAFÉ ARÁBICA EM DIFERNTES DISPONIBILIDADES HÍDRICAS. *Coffee Science*, Lavras, v. 12, n. 3, p. 498 - 507 out./dez. 2017.

POZZA, E. A.; CARVALHO, V. L.; CHALFOUN, S. M. Sintomas de injúrias causadas por doenças em cafeeiro. In: GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G; BALIZA, D. P. **Semiologia do cafeeiro**: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas. Lavras: UFLA, 2010. p 69-101.

PLAZA PÉREZ, C. D. **Interação do nitrogênio com o potássio na intensidade da ferrugem e da mancha aureolada do cafeeiro em solução nutritiva**. 2015. 57 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitopatologia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

Printz B, Lutts S, Hausman J-F, Sergeant K. Copper Trafficking in Plants and Its Implication on Cell Wall Dynamics. *Frontiers in Plant Science*. 2016;7:601. doi:10.3389/fpls.2016.00601.

RELATÓRIO SOBRE O MERCADO CAFEEIRO — Dezembro 2016. Disponível em: < http://consorciopesquisacafe.com.br/arquivos/consorcio/publicacoes_tecnicas/relatorio_oic_dezembro_2016.pdf > Acesso em: 04 de Janeiro. 2018.

RELATÓRIO SOBRE O MERCADO CAFEEIRO — Janeiro 2019. Disponível em: < http://consorciopesquisacafe.com.br/arquivos/consorcio/publicacoes_tecnicas/relatorioOIC01-2019.pdf > Acesso em: 23 de Fevereiro. 2019.

REIS, E. M.; REIS, A. C.; CARMONA, M. A. Manual de Fungicidas: Guia para o controle químico racional de doenças de plantas. 7. Ed., ver. E ampl. – Passo Fundo. Berthier, 2016. 280 p.

RESENDE, M.L.V., SALGADO, S.M.L. & CHAVES, Z.M. **Espécies ativas de oxigênio na resposta de defesa de plantas a patógenos**. *Fitopatologia Brasileira* 28:123-130. 2003.

RIZZARDI, Mauro Antônio et al . Ação de herbicidas sobre mecanismos de defesa das plantas aos patógenos. *Cienc. Rural*, Santa Maria , v. 33, n. 5, p. 957-965, Oct. 2003 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782003000500026&lng=en&nrm=iso>. access on 07 Jan. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782003000500026>.

San Juan, R. C. C. ; Capato, S. B. ; Andrade, R. J. **O uso de Bayfolan cobre, no manejo da ferrugem do cafeeiro CBPC (42.:2016: Serra Negra, SP) - Anais [432]**. <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/9916>

SAISHOJI, T.; ITO, A.; KUMAZAWA, S.; CHUMAN, H. Structure-activity relationships of enantiomers of the azole fungicide ipconazole and its related compounds: fungicidal and plant growth inhibitory activities. *Journal of Pesticide Science*, v.23, n.2, p.129- 136, 1998. Disponível em: https://www.jstage.jst.go.jp/article/jpestics1975/23/2/23_2_129/_pdf. Acesso em: 22 set. 2016.

Srivastava, A. K., Bhargava, P., Rai, L. C. 2005: Salinity and copper-induced oxidative damage and changes in the antioxidative defense system of *Anabaena doliolum*. *World J Microbiol Biotechnol* 21, 1291–1298.

- Stevenson, F.J. 1986. Cycles of soil--Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. John Wiley & Sons. New York. 380 pp.
- Shkolnik, M.Y. 1984. Trace elements in plants. Elsevier, Amsterdam. 463 pp.
- SHANER, G.; FINNEY, R. E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-milde wing resistance in Knox wheat. **Phytopathology**, v.67, p.1051-1056, 1977.
- SMILLIE, R.; GRANT, B. R.; GUEST, D. The mode of action of phosphite: evidence for both direct and indirect modes of action on three *Phytophthora* spp in plants. **Phytopathology**, St. Paul, v. 79, n. 9, p. 921-926, Sept. 1989.
- STUMM, W.; MORGAN, J. J. **Aquatic chemistry: chemical equilibria and rates in natural waters**. 3. ed. New York: J. Wiley, 1996. 1022 p.
- THELEN, K. D., JACKSON, E. P., PENNER, D. The basis for hard-water antagonism of ghyphosate activity. **Weed Science**, Champaign, v. 43, n. 4, p. 541-548, 1995.
- Thipyapong, P., Hunt, M.D., Steffens, J.C., 2004. Antisense downregulation of polyphenol oxidase results in enhanced disease susceptibility. **Planta** 220, 105–107.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. Ed. Porto Alegre: Artmede, 2016. 888p.
- VALENTE, T. C. T. **Expressão gênica e atividade de catalase e fenilalanina amonia liase ativadas por indutores de resistência em cafeeiro**. 2012. 67 p. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Vegetal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012