



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
DOUTORADO EM AGRONOMIA**

ADÉLIA BENEDITA COELHO DOS SANTOS

**FISIOLOGIA DA PLANTA DOENTE E CONTROLE BIOLÓGICO DA
FUSARIOSE DA PIMENTA – DO – REINO (*Piper nigrum* L.) NO CAMPO**

**BELÉM – PA
2020**

ADÉLIA BENEDITA COELHO DOS SANTOS

**FISIOLOGIA DA PLANTA DOENTE E CONTROLE BIOLÓGICO DA
FUSARIOSE DA PIMENTA – DO – REINO (*Piper nigrum* L.) NO CAMPO**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da
Amazônia, como parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título
de Doutor.

Orientador: Prof.^a. Dr.^a. Gisele Barata da Silva.

**BELÉM – PA
2020**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

D722f dos santos, Adélia benedita coelho
Fisiologia da planta doente e controle biológico da fusariose da pimenta - do - reino
(Piper nigrum L.) no campo. / Adélia benedita coelho dos santos. - 2020.
40 f. : il.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA), Campus
Universitário de Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2020.
Orientador: Prof. Dr. Gisele Barata da Silva

1. Bibliotecas Universitárias. I. da Silva, Gisele Barata, *orient.* II. Título

CDD 632.4

ADÈLIA BENEDITA COÊLHO DOS SANTOS

**FISIOLOGIA DA PLANTA DOENTE E CONTROLE BIOLÓGICO DA
FUSARIOSE DA PIMENTA – DO – REINO (*Piper nigrum* L.) NO
CAMPO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências deste para obtenção do título de
Doutor.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr^a. Gisele Barata da Silva – Orientadora
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

Dr^a. Claudeana Souza da Conceição - 1º Examinador

Prof. Dr. Paulo Roberto Silva Farias – 2º Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

Dr^a. Alessandra Jackeline Guedes de Moraes – 3º Examinador
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO PARÁ

Prof. Dr. Gledson Luiz Salgado de Castro– 4º Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

**A minha filha Paula, grande amor da minha vida,
a quem dedico tudo e mais alguma coisa;**

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, pela formação profissional e oportunidade de realizar o curso de Doutorado em Agronomia.

Ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal Rural da Amazônia – ICA, pela minha liberação a fim de realizar o curso.

À professora e coordenadora do Programa de Pós-graduação em Agronomia Doutora Gisele Barata da Silva pela sua dedicação e profissionalismo na condução do Programa de Pós-Graduação. Como minha orientadora, renovo meus agradecimentos pelos ensinamentos muito seguros para que eu pudesse desenvolver este trabalho, bem como pelo encorajamento em todos os momentos em que necessitei.

À minha filha Paula Coêlho dos Santos Ataíde Brito, pela paciência, amor, dedicação, conselhos e, sobretudo, pelo encorajamento.

Aos Engenheiros Agrônomos, em especial, a Sayure Mariana Raad e Haran dos Anjos Martins pelo auxílio na condução dos experimentos em São Miguel do Guamá –PA e no laboratório de Fitopatologia da Ufra.

Ao colega Dr. Rodolfo Inácio Santos pelo valioso auxílio na coleta de dados em São Miguel do Guamá e na análise dos resultados.

Ao Sr. Osvaldo Silva e família que nos receberam em sua casa e permitiram a elaboração deste trabalho em pimental de sua propriedade no município de São Miguel do Guamá –PA.

À Neyla Sardinha, a Nena, secretária da Pós-graduação, pelo desempenho, pela paciência, apoio diante das dificuldades e dos bons momentos.

Aos meus amigos do Doutorado, José Itabirici de Souza e Silva Jr, Jefferson Bruno Soares, Solange Ferreira, Decíola Fernandes e Sidney Daniel.

Aos Professores Doutores Alessandra Jackeline Guedes de Moraes, da Universidade do Estado do Pará – UEPA, Dr^a. Claudeana Souza da Conceição, Paulo Roberto

Silva Farias – UFRA e Gledson Luiz Salgado de Castro – UFRA, membros da Banca Examinadora, pelas sugestões, correções e estímulo.

Aos servidores técnicos do Laboratório de Fitopatologia, Eng. Agrônomo Francisco Carlos Oliveira, Rogério Santos, Iza Dias e Souza e Joana Chaves de Almeida.

Aos meus orientados de Fitopatologia Paloma Marques de Figueiredo, Paulo Raphael Cunha, Raquel Assis e Thalia Dias, pela grande contribuição.

Ao técnico do Laboratório de Fisiologia, Ilkias Bernardo de Souza Filho pelo apoio nos trabalhos de campo em São Miguel do Guamá – PA.

Aos colegas do Laboratório de Proteção de Plantas, Aline Cardoso, Sidney Daniel, Gleiciane Santos, Ana Paula Amaral e o técnico Fernando de Souza Santos pelo apoio, ajuda em vários momentos, além da amizade.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização desta tese e contribuíram para o meu aprimoramento.

Agradeço!

“ Gracias a la vida
Que me ha dado tanto”

Violeta Parra
Poeta e cantora chilena

LISTA DE ABREVIATURAS

| | |
|-----------------------------------|--|
| A/E | Eficiência instantânea do uso da água |
| A | Taxa de assimilação líquida de CO ₂ |
| C _i | Concentração intercelular de CO ₂ |
| Chl _b | Clorofila b |
| E | Taxa de transpiração |
| F _o | Fluorescência inicial |
| F _m | Fluorescência máxima |
| F _v '/F _m ' | Eficiência fotoquímica efetiva |
| F _v /F _o | Atividade potencial do fotossistema II |
| f.sp | Formae specialis |
| g _s | Condutância estomática ao vapor d'água |
| NPQ | Coefficiente de extinção não fotoquímica |
| ΦPSII | Rendimento quântico do PSII |

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2. ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS E PRODUTIVIDADE EM CULTIVARES DE PIMENTEIRA- DO - REINO (PIPER NIGRUM L.) INFECTADAS POR FUSARIOSE EM CAMPO

Gráfico 01: Índice pluviométrico – ano 2018. Fonte: Estação de Capitão Poço – A248; Código OMM: 81684; Registro: 22UTC.

Foto 01: Foto aérea da área de plantio. (Fonte: Google Earth, 2019).

Figura 1. Severidade da fusariose nos períodos chuvoso e seco das cultivares Apra e Guajarina de pimenteira-do-reino. As médias são representativas de 20 repetições. Letras maiúsculas iguais indicam diferenças não significativas pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$).

Figura 2. Fotossíntese líquida (A), condutância estomática (B), transpiração (C), concentração intercelular de CO₂ (D) e eficiência do uso da água (E) nos períodos chuvoso e seco das cultivares Apra e Guajarina de pimenteira-do-reino sadias e doentes (fusariose). As médias são representativas de 5 repetições. Letras maiúsculas comparam as médias das plantas sadias e letras minúsculas comparam as médias das plantas doentes. Letras diferentes indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). O asterisco indica diferenças significativas entre sadio e doente para a mesma cultivar pelo teste F ($p \leq 0.05$).

Figura 3. Eficiência fotoquímica efetiva (A), coeficiente de extinção fotoquímica (B), rendimento quântico do PSII (C) e coeficiente de extinção não fotoquímica (D) nos períodos chuvoso e seco das cultivares Apra e Guajarina de pimenteira-do-reino com sintomas de fusariose. As médias são representativas de 5 repetições. Letras maiúsculas comparam as médias das plantas sadias e letras minúsculas comparam as médias das plantas doentes. Letras diferentes indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). O asterisco indica diferenças significativas entre sadio e doente para a mesma cultivar pelo teste F ($p \leq 0.05$),

Figura 4. Produtividade de pimenta preta das cultivares da fusariose nos períodos chuvoso e seco para as cultivares Apra e Guajarina de pimenteira-do-reino. As médias são representativas de 20 repetições. Letras maiúsculas iguais indicam diferenças não significativas pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$).

CAPÍTULO 3: *TRICHODERMA ASPERELLUM* REDUZ A FUSARIOSE E AUMENTA A PRODUTIVIDADE EM PIMENTEIRA DO REINO (*PIPER NIGRUM* L.) NO CAMPO.

Figura 1. Severidade da fusariose nos períodos chuvoso e seco das cultivares Apra e Guajarina de pimenteira-do-reino inoculadas com Trichoderma. Médias representativas de 20 repetições. Letras maiúsculas comparam as médias do controle e letras minúsculas comparam as médias do Trichoderma para as diferentes cultivares e períodos. Letras diferentes (maiúsculas ou minúsculas) indicam diferenças significativas de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0.05$). O asterisco indica diferenças significativas entre controle e Trichoderma para a mesma cultivar de acordo com o teste F ($p \leq 0.05$).

Figura 2. Produtividade de pimenta preta (kg/planta) das cultivares Apra e Guajarina de pimenteira-do-reino inoculadas com Trichoderma. Letras maiúsculas comparam as médias do controle e letras minúsculas comparam as médias do Trichoderma para as diferentes cultivares e períodos. Letras diferentes (maiúsculas ou minúsculas) indicam diferenças significativas de acordo com o teste F ($p \leq 0.05$). O asterisco indica diferenças significativas entre controle e Trichoderma para a mesma cultivar de acordo com o teste F ($p \leq 0.05$).

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| RESUMO | 13 |
| ABSTRACT | 14 |
| CAPÍTULO 1: CONTEXTUALIZAÇÃO | 15 |
| CAPÍTULO 2: ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS E PRODUTIVIDADE EM CULTIVARES DE PIMENTEIRA- DO - REINO (<i>PIPER NIGRUM</i> L.) INFECTADAS POR FUSARIOSE EM CAMPO | 25 |
| Resumo | 25 |
| Abstract | 26 |
| 1. INTRODUÇÃO | 27 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS | 29 |
| 2.1 Ensaio em campo..... | 29 |
| 2.2 Avaliação da fusariose | 31 |
| 2.3 Avaliação das trocas gasosas e fluorescência da clorofila <i>a</i> | 31 |
| 3. RESULTADOS | 32 |
| 4. DISCUSSÃO | 37 |
| CAPÍTULO 3: <i>Trichoderma asperellum</i> reduz a fusariose e aumenta a produtividade em pimenteira do reino (<i>Piper nigrum</i> L.) no campo | |
| Resumo | 43 |
| Abstract | 44 |
| 1.INTRODUÇÃO | 45 |
| 2.MATERIAIS E MÉTODOS | 46 |
| 2.1 Ensaio em campo..... | 46 |
| 2.2 Avaliação da fusariose..... | 46 |
| 2.3. Avaliação da produtividade..... | 47 |
| 2.4 Análise estatística..... | 47 |
| 3. RESULTADOS | 47 |
| 4. DISCUSSÃO | 49 |
| CONCLUSÃO GERAL | 50 |
| REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA | 51 |

RESUMO: A pimenteira-do-reino é uma planta pertencente à família Piperaceae, que apresenta elevada produtividade e possui grande valor econômico, permitindo que essa atividade desenvolvida pelos pipericultores seja altamente rentável. O Brasil é terceiro o maior produtor mundial da pimenta, sendo o estado do Pará o segundo maior produtor nacional. Apesar da importância do cultivo da pimenteira – do - reino no cenário regional, nacional e internacional, há a carência de conhecimentos que garantam a produção sustentável e econômica da cultura. Dentre os vários fatores que limitam a produtividade da cultura, destacam-se a fusariose. O presente trabalho teve por objetivo estimar os danos da fusariose com base na severidade visual, sobre no aparato fotossintético e a produtividade das cultivares de pimenteira -do- reino Apra e Guajarina em campo e avaliar a eficiência de mix *Trichoderma asperellum* na redução da severidade da doença. O experimento foi conduzido em condições de campo com delineamento em blocos casualizados. As avaliações para severidade, produtividade e trocas gasosas foram realizadas nos períodos chuvoso e seco em duas cultivares de pimenteira-do-reino, Apra e Guajarina, com sintomas da fusariose, formando 4 tratamentos com 20 plantas cada um. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). No presente estudo, a fusariose afetou negativamente as variáveis de severidade, A , gs , C_i , E , A/E , F_v'/F_m' , $\Phi PSII$, qP , NPQ , e a produtividade das cultivares de acordo com o período. A cultivar Apra indica um maior potencial produtivo, entretanto na presença de condições favoráveis a fusariose é mais suscetível a doença. A severidade da fusariose foi maior período chuvoso do que no período seco, independente da cultivar. A cultivar Apra apresentou maior grau de suscetibilidade a fusariose do que a cultivar Guajarina, sendo no período chuvoso em 10 unidade e 4 unidades no período seco, com base na escala diagramática de severidade da doença. No período chuvoso a fotossíntese líquida (A) reduziu 12% na cv. Apra e 50% na cv. Guajarina relação a plantas saudias, enquanto que no período seco a redução na A na cv. Apra foi de 68% e na cv. Guajarina a redução foi de 91%. Para condutância estomática (gs), no período chuvoso a cv. Apra reduziu 50%, enquanto na cv. Guajarina foi de 45%, já no período seco houve uma redução na gs de 59% na cv. Apra e 48% na cv. Guajarina em relação as plantas saudias. A transpiração (E) obteve comportamento semelhante a gs , no período chuvoso houve uma redução de 62% cv. Apra e 47% na cv. Guajarina em relação as plantas saudias, no período seco houve uma redução na E na cv. Apra de 59% e na cv. Guajarina a redução foi de 29% em relação as plantas saudias. A concentração subestomática de CO_2 (C_i) no período chuvoso reduziu 59% na cv Apra, no entanto na cv. Guajarina a C_i aumentou 35% em relação as plantas saudias, no período seco a C_i aumentou nas cultivares sob estresse, onde na cv Apra aumentou 47% e na cv. Guajarina 131% em relação as plantas saudias respectivamente. A eficiência do uso da água (A/E) foram diferenciados somente no período chuvoso, com aumento 98% para cv. Apra. Em plantas saudias, a produtividade média de pimenta seca por planta foi de 2,86 kg, enquanto em plantas doentes foi de apenas 0,93 kg, independente da cultivar. O presente estudo indica que houve um incremento na produtividade e redução na severidade quando aplicou-se mix de *T. asperellum*. A aplicação das de *T. asperellum* pode ser utilizada como uma alternativa manejo sustentável da produção de pimenteiros do reino.

Palavras-chave: Resistência genética; trocas gasosas; cultivar Apra; cultivar India

ABSTRACT: The black pepper (*Piper Nigrum* L.) is a plant belonging to Piperaceae family, which has high productivity and has great economic value, allowing this activity to be highly profitable. Brazil is the third largest pepper producer in the world and the state of Pará is the second largest national producer. Despite the importance of the black pepper cultivation in regional, national and international scenario, there's a lack of knowledge that guarantees the sustainable and economical production of the culture. Among the factors that limit crop productivity, fusariosis stands out. The present study aimed to estimate the damage of fusariosis based on visual severity, on the photosynthetic apparatus and on the yield of Apra and Guajarina cultivars in the field and to evaluate the efficiency of the *Trichoderma asperellum* mix in reducing the severity of the disease. The experiment was carried out in field conditions with a randomized block design. The evaluations for severity, productivity and gas exchange were carried out in rainy and dry periods in two cultivars of black pepper, Apra and Guajarina, with symptoms of fusariosis, forming 4 treatments with 20 plants each. The data were subjected to analysis of variance and the treatment means were compared using the Tukey test ($p < 0.05$). In the present study, fusariosis negatively affected the severity variables, A, gs, Ci, E, A/E, F_v/F_m , Φ PSII, qP, NPQ and the yield of cultivars according to the period. The Apra cultivar indicates a greater productive potential, however in the presence of conditions favorable to fusariosis it is more susceptible to the disease. The severity of fusariosis was higher in the rainy seasons than in the dry seasons, regardless of the cultivar. The cultivar Apra showed a higher degree of susceptibility to fusariosis than the cultivar Guajarina, being in the rainy seasons in 10 units and 4 units in the dry period, based on the diagrammatic scale of disease severity. In the rainy seasons, liquid photosynthesis (A) reduced 12% in cv. Apra and 50% in cv. Guajarina compared to healthy plants, while in the dry period the reduction in A in cv. Apra was 68% and in cv. Guajarina reduction was 91%. For Stomatal conductance (gs), in the rainy seasons cv. Apra reduced by 50%, while in cv. Guajarina was 45%. In the dry period there was a reduction in gas of 59% in cv. Apra and 48% in cv. Guajarina in relation to healthy plants. The substomatic concentration of CO₂ (Ci) in the rainy seasons reduced 59% in cv. Apra, however in cv. Guajarina Ci increased by 35% in relation to healthy plants. In the dry period Ci increased in cultivars under stress, where in Apra cv. It increased by 47% and in cv. Guajarina 131% in relation to healthy plants respectively. The efficiency of water use (A / E) was differentiated only in the rainy seasons, with an increase of 98% for cv. Apra. In healthy plants, the average dry pepper yield per plant was 2.86 kg, while in sick plants it was only 0.93 kg, regardless of the cultivar. The present study indicates that there was an increase in productivity and a reduction in severity when a mix of *T. asperellum* was applied. The application of *T. asperellum* can be used as an alternative to Sustainable management of pepper production in the kingdom.

Key-words: Genetic resistance; gas exchange; cultivar Apra; cultivar India

CAPÍTULO 1. CONTEXTUALIZAÇÃO

O gênero *Piper* apresenta aproximadamente 700 espécies botânicas com importância comercial e medicinal significativa (MEGHWAL; GOSWAMI, 2013). No entanto, a espécie mais importante desse gênero é *Piper nigrum* L. No período chuvoso a fotossíntese líquida (A) reduziu 12% na cv. Apra e 50% na cv. Guajarina relação a plantas saudas, enquanto que no período seco a redução na A na cv. Apra foi de 68% e na cv. Guajarina a redução foi de 91%. Para condutância estomática (gs), no período chuvoso a cv. Apra reduziu 50%, enquanto na cv. Guajarina foi de 45%, já no período seco houve uma redução na gs de 59% na cv. Apra e 48% na cv. Guajarina em relação as plantas saudas.. (Pimenteira-do-Reino), que vem sendo estudada desde 1819 e é uma das mais valorizadas condimentares do mundo, com grande valor econômico, permitindo que a atividade desenvolvida pelos pipericultores seja altamente rentável (SENGUPTA; RAY, 1987; LIMA et al., 2010).

A pimenteira-do-reino (*Piper nigrum* L.), é uma planta pertencente à família Piperaceae, originária e nativa das florestas úmidas da Costa de Malabar no sudoeste da Índia (NELSON; CANNON-EGGER, 2011), é uma planta perene, semi-lenhosa e trepadeira, apresenta grande produtividade, é uma das mais valorizadas condimentares do mundo, com grande valor econômico, permitindo que essa atividade desenvolvida pelos pipericultores brasileiros seja altamente rentável (EMBRAPA 2016; CARNEVALLI; ARAUJO, 2013; FANI, 1992; GARCIA et al., 2000; PISSINATE, 2006). É considerada como a única especiaria cujos frutos podem ser comercializados em 4 diferentes versões de grãos: preta - grãos em sua maioria maduros, debulhados das espigas e secos ao sol ou em secadoras; branca - grãos debulhados, secos e descascados; verde - grãos debulhados ainda imaturos; e vermelha – grãos amadurecidos e debulhados, embora a sua forma mais comum de comercialização seja a preta (EMBRAPA, 2004; PISSINATE, 2006).

Desde o ano de 2000, a pimenta é cultivada em escala comercial em 26 países, principalmente a Indonésia, Malásia, Brasil, Vietnã, China e Tailândia. O Brasil é um dos maiores produtores de pimenta-do-reino, oscilando entre a segunda e terceira posição no mercado mundial. Em termos de relevância mundial, o Brasil é o quarto maior exportador de pimenta-do-reino, com mais de 30 mil toneladas anuais, sendo os estados do Espírito Santo, Pará e Bahia responsável por cerca de 80% da produção nacional (EMBRAPA 2016; RAVINDRAN, 2000).

A espécie apresenta centenas de cultivares catalogadas na Índia (MATHEW et al. 2001). No Brasil, as sete cultivares recomendadas para o plantio são (POLTRONIERI; LEMOS, 2014): Apra, Bragantina, Cingapura, Guajarina, Iaçará, Kottanadan e Kuthiravally. A cultivar Apra possui folhas largas com 8,88 cm de largura e comprimento médio de 13,8 cm, espigas longas com comprimento médio de 12 cm, contendo várias fileiras de frutos graúdos (0,53 cm de diâmetro). É oriunda de estacas de plantas matrizes provenientes do sul da Índia. Quando cultivada a pleno sol, a planta, no terceiro ano, apresenta forma cilíndrica, com ramos de crescimento contendo raízes adventícias bem desenvolvidas que saem da região dos nós. Os brotos jovens apresentam coloração violeta. As inflorescências apresentam floretas 100% hermafroditas. Sua produção média é de 3,5 kg/planta (DUARTE et al., 2006). Enquanto que a cultivar Guajarina, e proveniente de seleção clonal da cultivar indiana “Arakulam Munda”. Juntamente com as cultivares Bragantina e Cingapura, chegou ao Brasil em 1982. As plantas adultas apresentam formato cilíndrico, folhas alongadas e de tamanho médio, espigas longas, comprimento médio de 12 cm, com 90% de flores hermafroditas, bom enchimento de frutos nas espigas, frutos esféricos e graúdos. Nos ramos ortotrópicos apresenta broto de coloração violeta. A maturação de seus frutos ocorre entre os meses de agosto e outubro (ALBUQUERQUE; DUARTE, 1991).

Apesar da importância do cultivo da pimenteira – do - reino no cenário regional, nacional e internacional, há a carência de conhecimentos que garantam a produção sustentável e econômica da cultura (SILVA et al. 2011). Dentre os vários fatores que limitam a produtividade da cultura, destacam-se a fusariose.

A fusariose ou podridão de raiz é considerada a principal doença da pimenteira-do-reino no Brasil. Inicialmente, essa doença foi constatada no município de. Tome-Açu, PA na década de 60. Atualmente, encontra-se amplamente difundida por todos estados produtores no Brasil, além de Colômbia, Venezuela, Peru e República Dominicana. Estima-se que desde a sua constatação, esta doença já tenha dizimado mais de 20 milhões de plantas (DUARTE, et. al, 2016).

A murcha de fusariose é causada pelo fungo *Neocosmospora solani* (Mart.) L. Lombardi & Crous), pertencente ao Filo Ascomycota, Ordem Hypocreales e família Nectriaceae, cuja a forma anamórfica corresponde a *Fusarium solani* f. sp. *pippers* (Albuquerque) (INDEX FUNGORUM, 2020), que forma escleródios que sobrevivem no solo mesmo na ausência do hospedeiro.

Os sintomas da doença iniciam pelas raízes ou pelos ramos. Quando as raízes são afetadas, as folhas ficam cloróticas e evoluem para senescência prematuramente. Como consequência da perda de turgor, os internódios amarelecem e caem, à medida que a doença evolui, ocorre o secamento total da planta. O sistema radicular é reduzido e se torna necrótico. Esta necrose pode evoluir até 30 cm acima do solo, a partir da base da planta (DUARTE, et. al, 2016; TREMACOLDI, 2010; VENTURA e COSTA, 2004). Na parte aérea, os sintomas reflexos caracterizam-se pelo amadurecimento dos ramos. Quando a infecção se inicia nos ramos, observa-se a formação de lesões escuras em torno dos nós que podem se desenvolver rapidamente, causando a necrose de vários ramos. Na fase de produção, a doença promove a queda dos frutos. Em condições de elevada pluviosidade, peritécios podem ser formados nas bases dos caules e sobre os ramos necrosados. O efeito patogênico de *F. solani* é devido à secreção de uma ampla gama de enzimas hidrolíticas envolvidas na penetração e colonização dos tecidos da planta hospedeira durante a infecção (WALTON, 1994). Essas enzimas de degradação da parede celular podem provocar diferentes reações patogênicas na interação planta – patógeno (ANNIS; GOODWIN, 1997). Enzimas presentes na parede celular de microrganismos pode ser importante para o hospedeiro, pois podem agir como ativadores de muitos processos fisiológicos, inclusive como indutores de respostas de defesa, bem como para o próprio patógeno, quando atuam como fatores de virulência (WALTON, 1994).

A doença que limita o cultivo da pimenteira nas lavouras, como consequência da infecção fúngica, em áreas de ocorrência da doença, o ciclo produtivo da cultura foi alterado de 12 para 5 a 6 anos (LEMOS et al., 2011). Porém, essa doença que inviabiliza o cultivo da pimenta nas lavouras infestadas, ainda carece de estudo sobre cultivares resistentes, métodos alternativos de controle e manejo integrado.

A fisiologia da pimenta-do-reino tem sido pouco estudada e, portanto, pesquisas que investiguem as vias metabólicas que conduzem ao cultivo e à produção de qualidade da cultura assumem grande importância no cenário mundial. A fisiologia do estresse biótico causado pelo *F. solani* também é outra área de escasso conhecimento. A identificação de parâmetros bioquímicos e/ou fisiológicos ou indicadores de resistência/tolerância à diversos tipos de estresses bióticos auxiliam na obtenção de cultivares resistentes/tolerantes, visando alta produtividade (THANKARNANI et al., 2003). Sabe-se que plantas submetidas a qualquer tipo de estresse apresentam alterações importantes no crescimento e produção, perdas associadas aos efeitos do estresse na

fotossíntese (GIAVENO 2003; VOLLENWEIDER; GUNHARDT-GOERG 2005; YAMAMOTO et al., 2008). Os fatores que interferem na abertura e fechamento dos estômatos podem alterar a intensidade luminosa, mudanças na quantidade de CO₂, bem como variação da umidade, temperatura, vento, restrição hídrica, entre outros (KRAMER; BOYER, 1995; ASSMANN; SHIMAZAKI, 1999).

Em ambientes onde as plantas se desenvolvem, frequentemente estarão expostas a diversos estresses ambientais, mas desenvolvem mecanismos específicos para combatê-los (RAMEGOWDA e SENTHIL – KUMAR, 2015). Alguns desses fatores de estresses limitarão, em maior ou menor intensidade, o seu desenvolvimento. Os organismos respondem de forma diferente aos estresses, e muitas vezes seus sintomas podem não ser visíveis de imediato, bem como, podem provocar alterações funcionais que prejudicam as condições para a vida do vegetal (LARCHER, 2006).

Essa abordagem é uma importante ferramenta na determinação da adaptação nos ambientes de cultivo, uma vez que a redução na produtividade pode estar relacionada à redução da atividade fotossintética ou ser limitada por fatores do local de cultivo (PAIVA et al., 2005; PEIXOTO et al., 2002).

Por fim, devido a carência de informações sobre parâmetros fisiológicos do estresse biótico causado pelo *F. solani* em pimenta nas lavouras infestadas, o presente trabalho teve por objetivo estimar os danos da fusariose com base na severidade visual, sobre no aparato fotossintético e a produtividade das cultivares de pimenteira -do- reino Apra e Guajarina em campo e avaliar a eficiência de mix *Trichoderma asperellum* na redução da severidade da doença.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, F.C.; FERRAZ, S. Características morfológicas e fisiológicas de *Nectria haematococca* f. sp. *piperis* e sua patogenicidade à pimenta-do-reino. *Experientiae*, v. 22, n. 6, p. 133-151, 1976.

ALBUQUERQUE, F.C.; DUARTE, M.L.R. Comportamento de cultivares de pimenta-do-reino em áreas de ocorrência de fusariose no Estado do Pará. Belém: Embrapa- CPATU, 1991. 40p.

ALLAKHVERDIEV, S.I.; KRESLAVSKI, V.D.; KLIMOV, V. V.; LOS, D.A.; CARPENTIER, R.; MOHANTY, P. Heat stress: an overview of molecular responses in photosynthesis. *Photosynth Res* 98:541–550 DOI 10.1007/s11120-008-9331-0. 2008.

ALUMIAR. Pimenta-do-reino (*Piper nigrum*), 2013. Disponível em: <http://www.alumiar.com/saude/50-naturopatia/579-pimentadoreino.html>

ANNIS, S.L.; GOODWIN, P.H. Recent advances in the molecular genetics of plant cell wall degrading enzymes produced by plant pathogenic fungi. *European Journal of Plant Pathology*, v. 103, p. 1-14, 1997.

ARAUJO, S.A.C.; DEMINICES, B.B. Fotoinibição da Fotossíntese. *Revista Brasileira de Biociências*, v.7, n. 4, p. 463-472, 2009.

ASSMANN, S.M.; SHIMAZAKI, K. The Multisensory Guard Cell. Stomatal Responses to Blue Light and Abscisic Acid. *Plant Physiol* 1999 Mar;119 (3):809-16. doi: 10.1104/pp.119.3.809. PMID: 10069820 PMCID: PMC1539207 DOI: 10.1104/pp.119.3.809, 1999.

BARBIERI, R.; CARVALHO, F. Coevolução de plantas e fungos patogênicos. *Revista Brasileira de Agrociência*, v. 7, p. 79–83, 2001.

BARBOSA, F.B.C. Pesquisa agropecuária na Amazônia brasileira: institucionalização e padrão do financiamento dos investimentos em C&T agrícola: 1976 a 1995. Dissertação de Mestrado em Administração, Universidade Federal do Pará – UFPA, 1998. 189 f.

BARROSO, G.M.; GUIMARÃES, E.F.; ICHASO, C.L.F.; COSTA, C.G.; PEIXOTO, A.L. Sistemática das angiospermas do Brasil. 2ª edição. Viçosa, MG: UFV, 2002. 307p.

BERGER, S.; SINHA, A.K.; ROITSCH, T. Plant physiology meets phytopathology: plant primary metabolism and plant pathogen interactions. *Journal of Experimental Botany*, v. 58, p. 4019–4026, 2007.

BOHNERT, H.J.; JENSEN, R.G. Strategies for engineering water stress tolerance in plants. *Trends Biotechnology*, v. 14, p. 89–97, 1996.

BOYER, J.S. Plant productivity and environment. *Science New Series*, v. 218, p. 443– 448, 1982.

BRAY, E. A. Plant responses to water deficit. *Trends in plant science*, v.2, n.2, p. 48- 54. 1997.

BRUEHL, G.W. *Soilborne Plant Pathogens*. New York: MacMillan, 1987.

BURDON, J.J.; SILK, J. Sources and patterns of diversity in plant-pathogenic fungi. *Phytopathology*, St. Paul, v. 87, p. 664-669, 1997.

CARNEVALLI, D.B.; ARAUJO, A.P.S. de. Atividade biológica da Pimenta Preta (*Piper nigrum*, L.): Revisão de literature. *Uniciências*, v.17, n.1, p.41-46. 2013.

D'ADDAZIO, V. Crescimento micelial de *Fusarium solani* f. sp. *piperis* e resposta de cultivares de pimento-do-reino (*Piper nigrum* L.) ao Estresse abiótico e biótico: biometria, fotossíntese, resistência e avaliação de produtos alternativos de controle da fusariose. Vitória. Universidade Federal do Espírito Santo. 2017.

DALY, J.M. The carbon balance of diseased plants: changes in respiration, photosynthesis and translocation. *In: HEITEFUSS, R.; WILLIAMS, P.H.* (Eds.). *Encyclopedia of plant physiology*. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, v. 4: *Physiological Plant Pathology*, p. 450-479, 1976.

DONOGHUE, M.J.; DOYLE, J.A. Phylogenetic analysis of angiosperms and the relationships of Hamamelidae. *In: CRANE, P.R.; BLACKMORE, S.* (Eds.). *Evolution, systematics, and fossil history of the Hamamelidae*. Clarendon Press, Oxford, UK, vol. 1, p. 17–45, 1989.

DUARTE, M.L.R. Development of pepper industry in Brazil. **International Pepper News Bulletein 2001**, p. 13-28.2001.

DUARTE, M.L.R.; ALBUQUERQUE, F.C. Sistema de Produção da Pimenteira-do-Reino. **Embrapa Amazônia Oriental**, 2005. Disponível em <http://sistemas.de.producao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/PimenteiradoReino/paginas/importancia.htm>.

DUARTE, M de L, R. et al. *A Cultura da Pimenta-do-Reino*. – 2. ed. rev. amp. – Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 73 p. (Coleção Plantar, 55).

DYER, L.A.; PALMER, A.N. Piper: A model genus for studies of evolution, chemical, ecology and tropic interactions. Klumer Academic Publishers, New York, cap.7, 2004.

DUARTE, M.L.R.; ALBUQUERQUE, F.C.; ALBUQUERQUE, P.S.B. Doenças da Pimenteira-do-Reino (*Piper nigrum* L.). *In*: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M. *et al.* (Eds.) Manual de Fitopatologia. 4^a Edição. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, v.2, p. 507-516, 2005.

EMBRAPA - EMBRAPA INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA. Manual Segurança e Qualidade para a Cultura da Pimenta-do-Reino. Brasília: EMBRAPA/SEDE, 65 p. (Qualidade e Segurança dos Alimentos). Projeto PAS Campo. Convênio CNI/SENAI/SEBRAE/EMBRAPA, 2004.

FANI, M. Funcionais nutracêuticos. São Paulo: Insummus. 1992.

GARCIA, J. *et al.* Superação de dormência em sementes de pimenta do Reino (*Piper nigrum* L.). *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.30, n.2, p. 51-54. 2000.

GIAVENO, C.D. Introduction of tropical maize genotypes to increase silage production in the central area of Santa Fe, Argentina. *Crop Breed Appl Biotechnol* 3:89–94. 2003.

KRAMER, P. J.; BOYER, J.S. Water relations of plants. *In*: "Measuring the Water Status of Plants and Soil sand soils. Academic Press, Inc., San Diego, URI: <http://udspace.udel.edu/handle/19716/2830> 1995.

LARCHER, W. Ecofisiologia vegetal. São Carlos. Editora Rima, 531p. 2006.

LEMOS, O, F de.*et al.* Conservação e melhoramento genético da pimenteira-do-reino (*Piper nigrum* L.) associado às técnicas de biotecnologia. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 45 p. 2011.

LEMOS, O, F de. TREMACOLDI, C, R.; POLTRONIERI, M, C. Boas práticas agrícolas para aumento da produtividade e qualidade da pimenta-do-reino no Estado do Pará. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2014.

MATHEW, P. J.: MATHEW, P.M.; KUMAR, V. Graph clustering of *Piper nigrum* L. (Black pepper). *Euphytica*, v.118, p.257-264, 2001.

MEDRANO, H.; ESCALONA, J.M.; BOTA, J. GULÌAS, J.; FLEXAS, J. Regulation of photosynthesis of C-3 plants in response to progressive drought: stomatal conductance as a reference parameter. *Annals of Botany*, v.89, n.7, p. 895- 905, 2002.

MEGHWAL, M.; GOSWAMI, T.K. *Piper nigrum* and piperine: An update. *Phytotherapy Research*, 27:1121-1130. 2013.

NELSON, S.C.; CANNON-EGGER, K.T. Farm and Forestry Production and Marketing Profile for Black Pepper (*Piper nigrum* L.). 2ª edição. ELEVITCH, C.R. (Ed.). Permanent Agriculture Resources (PAR), Holualoa, Hawaii, 2011.

OLIVEIRA, M.G.; OLIOSI, G.; PARTELLI, F.L.; RAMALHO, J.C. Physiological responses of photosynthesis in black pepper plants under diferente shade levels promoted by intercropping with rubber trees. *Ciência e Agrotecnologia*, 42(5):513-526. Sep./Out. 2018. <http://dx.org/10.1590/1413-70542018425020418>.

PAIVA, A.S.; FERNANDES, E.J.; RODRIGUES, T.J.D.; TURCO, J.R.P. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. *Engenharia Agrícola*, v.25, p.161-169. 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-691620050000100018>.

PARMAR, V.S.; JAIN, S.C.; BISHT, K.S.; JAIN, R.; TANEJA, P.; TYAGI, O.D.; PRASAD, A.K.; WENGEL, J.; OLSEN, C.E.; BOLL, P.M. Phytochemistry of genus *Piper*. **Phytochemistry**, v. 46, p. 597-673, 1997.

PEIXOTO, P.H.P.; MATTA, F.M.; CAMBRAIA, J. Responses of the Photosynthetic apparatus to aluminum stress in two sorghum cultivars. *Journal of Plant Nutrition*, v.25, p.821-832. 2002. <http://dx.doi.org/10.1081/PLN-120002962>.

POLTRONIERI, M, C; LEMOS, O, F de. Pimenta-do-reino: Cultivares. Embrapa: Amazônia Oriental, 2014a.

POLTRONIERI, M, C; LEMOS, O, F de. Pimenta-do-reino: Pós-colheita e armazenamento. Embrapa: Amazônia Oriental, 2014b.

PRADO, C.H.B.A.; PASSOS, E.E.M.; MORAES, J.A.P.V. Photosynthesis and water relations of six tal genotypes of *cocos nucifera* in wetand dry seasons. *South African Journal of Botany*, v. 67, n.2, p 169-176, 2001.

RAMEGOWDA, V.; SENTHIL-KUMAR, M. The interactive effects of simultaneous biotic and abiotic stresses on plants: Mechanistic understanding from drought and pathogen combination. *Journal of Plant Physiology* (176): 47-54.2015.

RICKLEFS, R.E. A economia da natureza. 3ªed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 470p. 1996.

SANTOS, R.F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.2, n.3, p.287-294, 1998.

SILVA, E.V.C.; SILVA, G.F.; JOELE, M.R.S.P. Avaliação da utilização de óleo essencial e oleoresina de pimenta – do- reino (*Piper nigrum* L.) em salsicha de frango. *Rev. Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, v.1, n.2, p. 48-60, 2009.

SILVA, S.O.; NETO, A. P.D.; SILVA, M.B. Pimenta-do-Reino: importância da defesa fitossanitária para a sustentabilidade da atividade na região norte do Espírito Santo. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)*, v.1, n.1, p. 88-92. 2011.

SMITH, B.G. The effect of soil water and atmospheric vapour pressure déficit on Stomatal behaviour and photosynthesis in the oil palm. *Journal of Experimental Botany*, v.40, n.215, p. 647-651, 1989.

SOUZA, V.C.; LORENZI, H. *Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II*. Nova Odessa: Instituto Plantarum. 640 p. 2005.

VELOSO, C.A.C. et al. Efeitos do alumínio em pimenteiras do reino (*Piper nigrum*, L.) cultivadas em solução nutritiva. *Sci. Agricultura*, v. 52, n.2, p. 368-375, 1995.

VOLLENWEIDER, P.; GÜNTHARDT-GOERG, M.S. Diagnosis of abiotic and biotic stress factors using the visible symptoms in foliage. *Environ Pollut.* 2006;140(3):562-571. doi: 10.1016/j.envpol.2006.01.002.

YAMAMOTO, Y.; et al. Quality control of photosystem II: impact of light and Heat stresses. *Photosynthesis Research*, v. 98, n. 1-3, p. 589-608, 2008.

YAMAMOTO, Y.; AMINAKA, R.; YOSHIOKA, M.; KHATOON, M.; KOMAYAMA, K.; TAKENAKA, D.; YAMASHITA, A.; NIJO, N.; INAGAWA, K.; MORITA, N.; SASAKI, T. Quality control of photosystem II: impact of light and heat stresses. **Photosynth Res.** 2008 Oct-Dec; 98(1-3):589-608. doi: 10.1007/s11120-008-9372-4. Epub 2008 Oct 21. PMID: 18937045 Review. 2008.

YORDANOV, I.; VELIKOVA, V.; TSONEV, T. Plant responses to drought, acclimation, and stress tolerance. **Photosynthetica**, v.38, n.2, p. 171-186, 2000,

YUNCKER, T.G. **The Piperaceae of Brazil**. 2^a edição. São Paulo: Hoehnea, 366p. 1972.

CAPÍTULO 2. ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS E PRODUTIVIDADE EM CULTIVARES DE PIMENTEIRA DO REINO (*PIPER NIGRUM* L.) INFECTADAS POR FUSARIOSE EM CAMPO

Adélia Benedita Coêlho dos Santos, Alessandra Jackeline Guedes de Moraes, Gledson Luiz Salgado Castro, Rodolfo Inácio Nunes dos Santos, Gisele Barata da Silva

Resumo

A pimenteira-do-reino (*Piper nigrum* L.) é a espécie economicamente mais importante dentre as especiarias, sendo produzida em 26 países, principalmente na Indonésia, sendo utilizada na indústria alimentícia, cosmética e farmacêutica. No entanto, problemas fitossanitários ocasionam diversos prejuízos ao produtor devido o elevado investimento da implantação da cultura na lavoura. Dentre esses problemas está a fusariose, causada pelo fungo (*Fusarium solani* f. sp. *piperis*) encontrada na maioria dos pimentais da Amazônia. Diante da importância da cultura, o objetivo deste trabalho foi estimar os danos da fusariose com base na severidade visual, sobre o aparato fotossintético e a produtividade das cultivares de pimenteira -do- reino Apra e Guajarina em campo. O experimento foi conduzido em uma propriedade localizada na microrregião de São Miguel do Guamá nos períodos de janeiro a novembro do ano de 2018. As avaliações foram realizadas nos períodos chuvoso e seco para as cultivares Apra e Guajarina. Avaliou-se: severidade da fusariose, que foi quantificada nas folhas dos terços superior, médio e inferior a partir do topo de cada planta utilizando-se uma escala de notas; Trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a*: taxa de assimilação líquida de CO₂ (A), a condutância estomática ao vapor d'água (gs), transpiração (E) e a concentração de CO₂ subestomática (Ci); além da produtividade. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) e/ou teste F. A severidade da fusariose foi maior período chuvoso do que no período seco, independente da cultivar. A cultivar Apra apresentou maior grau de suscetibilidade a fusariose do que a cultivar Índia. A cultivar Guajarina, independente do período, obteve maior fotossíntese líquida (A) que a cultivar Apra, sendo em 17% e 31% no período chuvoso e seco, respectivamente. Para a condutância estomática (gs), o comportamento foi divergente entre períodos. No período chuvoso, a cultivar Apra obteve 42% maior do Guajarina, enquanto que no período seco, a cv Guajarina superou Apra em 90%. Do mesmo modo foi para a taxa de transpiração (E), no período chuvoso, com aumento em 41% para cv Apra em relação a Guajarina e comportamento inverso no período seco, com aumento em 98% para Guajarina. A concentração intercelular de CO₂ (Ci) e a eficiência do uso da água (A/E) foram diferenciados somente no período chuvoso, com aumento 60% e 98%, respectivamente para cv. Apra. A fusariose afetou negativamente as variáveis de severidade, gs, Ci, A e E, e a produtividade das cultivares de acordo com o período. A cultivar Apra apesar de apresentar um maior potencial produtivo, em condições favoráveis à fusariose é mais suscetível a doença. Observou-se a ausência de correlação entre a severidade das cultivares e os parâmetros fisiológicos, podendo ser atribuído à baixa acurácia de avaliação da doença com uso de escala diagramática baseada em sintomas reflexos.

PALAVRAS-CHAVE: Severidade • trocas gasosas • cultivar Apra • cultivar Guajarina • fluorescência da clorofila *a*

Abstract

Black pepper (*Piper nigrum* L.) is the most economically important species among spices, being produced in 26 countries, mainly in Indonesia, being used in the food, cosmetic and pharmaceuticals industry. However, phytosanitary problems cause several losses to producer due to the high investment of the implantation of the crop in the field. Among these problems is fusariosis, caused by the fungus (*Fusarium solani* f. Sp. *Piperis*) found in most peppers in the Amazon. The objective of this work was to estimate the damage caused by fusariosis based on visual severity, on the photosynthetic apparatus and on the productivity of Apra and Guajarina pepper cultivars in the field. The experiment was conducted on a property located in the micro-region of São Miguel do Guamá in the periods from January to November of the year 2018. The evaluations were carried out in the rainy and dry periods for both cultivars. It was evaluated: severity of fusariosis, which was quantified in the leaves of the upper, middle and lower thirds from the top of each plant using a scale of notes; Gas exchange and chlorophyll fluorescence a: net CO₂ assimilation rate (A), Stomatal conductance to water vapor (g_s), transpiration (E) and the sub-stomatic CO₂ concentration (C_i); beyond productivity. The data was subjected to analysis of variance and the treatment averages were compared using Tukey test ($p < 0.05$) and / or the F test. The severity of fusariosis was greater in the rainy period than in the dry period, regardless of the cultivar. The cultivar Apra showed a higher degree of susceptibility to fusariosis than the cultivar Guajarina. The cultivar Guajarina, regardless of the period, obtained greater net photosynthesis (A) than the cultivar Apra, being 17% and 31% in the rainy and dry period, respectively. For Stomatal conductance (g_s), the behaviour was different between periods. In the rainy seasons, the Apra cultivar obtained 42% higher than Guajarina, while in the dry period, the Guajarina cv. outperformed Apra by 90%. Similarly, it was for the sweat rate (E), in the rainy seasons, with an increase of 41% for cv. Apra in relation to Guajarina and the opposite behaviour in the dry period, with an increase of 98% for Guajarina. The intercellular concentration of CO₂ (C_i) and the efficiency of water use (A/E) were differentiated only in the rainy seasons, with an increase of 60% and 98%, respectively for cv. Apra. Fusariosis negatively affected the variables of severity, g_s, C_i, A and E, and the yield of cultivars according to the period. The Apra cv., despite having a greater productive potential, in conditions favorable to fusariosis is more susceptible to disease. There was a lack of correlation between the severity of the cultivars and the physiological parameters, which can be attributed to the low accuracy of disease assessment using a diagrammatic scale based on reflex symptoms.

KEY-WORDS: Severity • gas exchange • cultivar Apra • cultivar Guajarina

INTRODUÇÃO

A pimenteira-do-reino (*Piper nigrum* L.), é uma planta originária da Índia, pertencente à família Piperaceae, é a espécie mais importante economicamente, sendo produzida em 26 países, principalmente a Indonésia, Malásia, Brasil, Vietnã, China e Tailândia (RAVINDRAN, 2000). O estado do Pará, um dos principais produtores, as cultivares mais plantadas são Apra, Bragantina, Cingapura, Guajarina, Iaçará, Kottanadan, Kuthiravally (POLTRONIEIRI, LEMOS, 2014). A cultivar Apra, oriunda de estacas de plantas matrizes provenientes do Estado de Kerala, sul da Índia, possui folhas largas com 8,88 cm de largura e comprimento médio de 13,8 cm, espigas longas (12 cm) e com produtividade média de 3,5 kg/planta (DUARTE et al., 2006). A cultivar Guajarina foi introduzida no Brasil em 1982, e é proveniente de seleção clonal da cultivar indiana “Arakulam Munda”, apresentam formato cilíndrico, folhas alongadas e de tamanho médio, ramos ortotrópicos apresenta broto de coloração violeta, espigas longas (12 cm) , com produtividade média de 2,5 kg. planta (ALBUQUERQUE; DUARTE, 1991).

A murcha de fusariose causada pelo fungo *Neocosmospora solani* (Mart.) L. Lombardi e Crous), pertencente ao Filo Ascomycota, Ordem Hypocreales e família Nectriaceae, cuja a forma anamórfica corresponde a *Fusarium solani* f. sp. *pippers* (Albuquerque) (INDEX FUNGORUM, 2020), que forma escleródios que sobrevivem no solo mesmo na ausência do hospedeiro e podem ser disseminados por máquinas e água. É considerada a principal doença da pimenteira-do-reino no Brasil, registrada desde a década de 60 no Estado Pará e atualmente presente em todos os campos de produção de pimenta no Brasil, além dos países da América latina como Colômbia, Venezuela Peru e República Dominicana. Estima-se que desde a sua constatação, desta doença já tenha dizimado mais de 20 milhões de plantas (DUARTE, et. al, 2016).

Os sintomas desta doença iniciam pelas raízes ou pelos ramos, quando as raízes são afetadas, as folhas cloróticas e evoluem para senescência prematuramente. Como consequência da perda de turgor, os internódios amarelecem e caem, à medida que a doença evolui, ocorre o secamento total da planta. O sistema radicular é reduzido e se torna necrótico. Esta necrose pode evoluir até 30 cm acima do solo, a partir da base da planta (DUARTE, et. al, 2016; TREMACOLDI, 2010; VENTURA e COSTA, 2004). Na parte aérea, os sintomas reflexos caracterizam-se pelo amadurecimento dos ramos. Quando a infecção se inicia nos ramos, observa-se a formação de lesões escuras em torno dos nós que podem se desenvolver rapidamente, causando a necrose de vários ramos. Na

fase de produção, a doença promove a queda dos frutos. Em condições de elevada pluviosidade, peritécios podem ser formados nas bases dos caules e sobre os ramos necrosados. A agressividade dos sintomas causados por *F. solani* podem ser atribuídos a capacidade de produzir uma ampla gama de enzimas hidrolíticas envolvidas na penetração e colonização dos tecidos da planta hospedeira durante a infecção e elevada translocação das toxinas que possuem afinidade com as membranas celulares e de organelas como o cloroplasto, resultando em perda de permeabilidade funções, que progridem sistemicamente (WALTON, 1994). Além de produzir substância gelatinosa que bloqueia os vasos xilemáticos (DUARTE et al, 2016). Como consequência da infecção por esse fungo, em áreas de ocorrência da doença, o ciclo produtivo da cultura foi reduzido de 12 para 5 a 6 anos (LEMOS et al., 2011).

Apesar da importância econômica da cultura da pimenteira-do-reino e dos danos severos e contínuos da fusariose, foram disponibilizados apenas cultivares produtivas mas todas suscetíveis à fusariose estimadas por escala diagramática de sintoma reflexo. Por outro lado, os patógenos, de um modo geral, afetam a fisiologia da planta causando impactos negativos sobre a fisiologia da planta, como o processo fotossintético e a absorção de água (SHTIENBERG,1992), muito antes dos sintomas reflexos se manifestarem. Assim o estudo das alterações fisiológicas em plantas infectadas pela fusariose pode diferenciar o grau de suscetibilidade e os mecanismos fisiológicos impactos pela fusariose na planta complementando as estimativas de severidade.

Pesquisas que investiguem as vias metabólicas que conduzem ao cultivo e à produção de qualidade da cultura assumem grande importância no cenário mundial. A fisiologia do estresse biótico causado pelo *F. solani* também é outra área de escasso conhecimento. A identificação de parâmetros bioquímicos e/ou fisiológicos ou indicadores de resistência/tolerância à diversos tipos de estresses bióticos auxiliam na obtenção de cultivares resistentes/tolerantes, visando alta produtividade (THANKARNANI et al., 2003). Sabe-se que plantas submetidas a qualquer tipo de estresse apresentam alterações importantes no crescimento e produção, perdas associadas aos efeitos do estresse na fotossíntese (GIAVENO 2003; VOLLENWEIDER; GUNHARDT-GOERG 2005; YAMAMOTO et al., 2008). Os organismos respondem de forma diferente aos estresses, e muitas vezes seus sintomas podem não ser visíveis de imediato, bem como, podem provocar alterações funcionais que prejudicam as condições para a vida do vegetal (LARCHER, 2006). Essa abordagem é uma importante ferramenta na determinação da adaptação nos ambientes de cultivo, uma vez que a redução na

produtividade pode estar relacionada à redução da atividade fotossintética ou ser limitada por fatores do local de cultivo (PAIVA et al., 2005; PEIXOTO et al., 2002).

Dessa forma agentes patogênicos afetam a fisiologia da planta impactando negativamente as trocas gasosas e diminuindo a eficiência do processo fotossintético, a qual, por sua vez, pode ser quantificada através da técnica de fluorescência da clorofila *a* (CHRISTEN et al. 2007; BAURIEGEL et al. 2010; ROLFE e SCHOLES 2010). Tem sido observado que, para as diferentes interações planta-patógeno, reduções na concentração de pigmentos associadas a menores eficiências fotoquímicas, danos estruturais aos cloroplastos e deficiências na dissipação de energia são alguns dos efeitos negativos ocasionados pela infecção do patógeno na planta (PETIT et al., 2006; ZHAO et al., 2011; RESENDE et al., 2012).

Diante do exposto o objetivo foi estimar os danos da fusariose com base na severidade visual, sobre o aparato fotossintético e a produtividade das cultivares de pimenteira -do- reino Apra e Guajarina em campo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Ensaio em campo

O presente estudo foi realizado em uma propriedade rural pertencente ao senhor Osvaldo Silva, situada no município de São Miguel do Guamá, PA (lat. 01° 37' 36" S; long. 47° 29' 00" W). A cidade de São Miguel do Guamá apresenta, segundo a classificação de Köppen, características de clima do tipo Am, isto é, tropical chuvoso com breve estação seca e com chuvas intensas durante o restante do ano.

A temperatura média anual de 25,5° C, umidade relativa de 85% e índice pluviométrico (Gráfico 1) próximo a 2.250mm/ano. As chuvas não se distribuem de maneira uniforme durante o ano e têm maior concentração, cerca de 80%, entre os meses de janeiro e junho (Estação Meteorológica de Capitão Poço – PA, 2018).

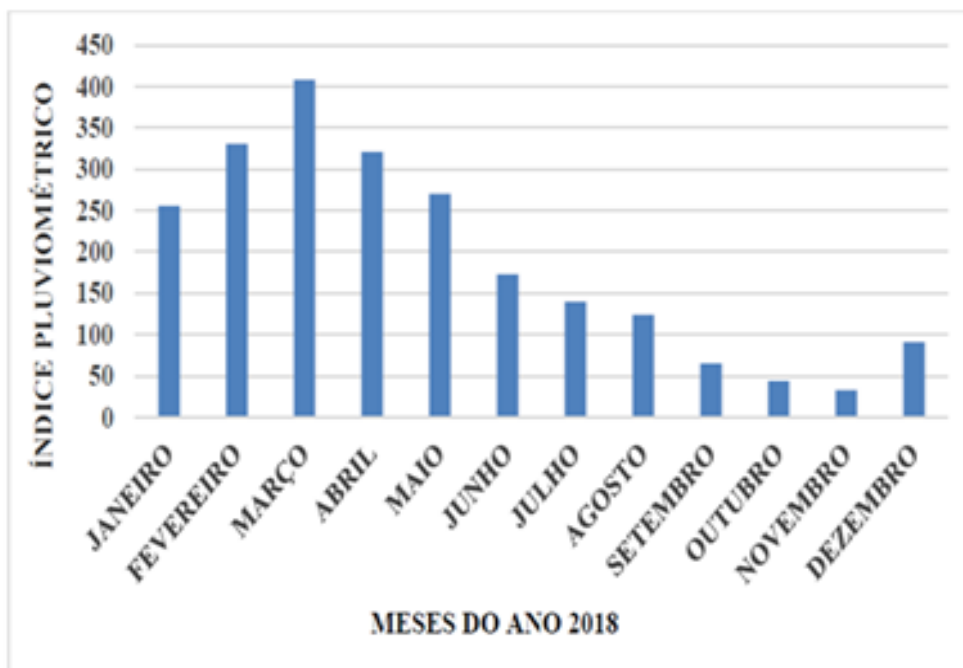


Gráfico 1: Índice pluviométrico – ano 2018. Fonte: Estação de Capitão Poço – A248; Código OMM: 81684; Registro: 22UTC.



Foto 1.: Foto aérea da área de plantio. (Fonte: Google Earth, 2019).

2.2 Avaliação da fusariose

Foram utilizadas no estudo 20 plantas de pimenteira-do-reino, das cultivares Apra e Guajarina, com 2 anos de idade, estabelecidas em plantio comercial com aproximadamente 0,25ha. A severidade foi avaliada em 20 plantas de cada cultivares, nos meses de abril e novembro de 2018, correspondentes às épocas chuvosa e seca, respectivamente, com mensurações sendo realizadas nas folhas dos terços superior, médio e inferior a partir do topo de cada planta utilizando-se uma escala proposta por Silva et al. (2013): as plantas receberam notas de 1 a 9 de acordo com os sintomas, sendo (1) planta inteiramente verde, (2) início do amarelecimento das folhas, (3) amarelecimento generalizado das folhas, (4) início da queda de internódios, (5) queda de folhas e internódios no terço superior, (6) queda de 50% das folhas, (7) queda de folhas seguida da morte dos ramos superiores, (8) seca generalizada da planta com presença de ramos ainda verdes e (9) seca total da planta. Esses dados foram transformados em porcentagem para expressar melhor a quantidade da doença.

2.3 Avaliação das trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a*

A taxa de assimilação líquida de CO₂ (A), a condutância estomática ao vapor d'água (gs), transpiração (E) e a concentração de CO₂ subestomática (C_i) foram determinadas usando um analisador portátil de gases a infravermelho (LI-6400 XT; LI-COR Biosci. Inc., Nebraska, EUA). As medições foram realizadas entre 9:00 e 11:00 h, sob concentração de CO₂ de 400 μmol m⁻² s⁻¹ e PAR de 1000 μmol m⁻² s⁻¹. A eficiência instantânea do uso da água (A/E) foi calculada como a razão entre A e E.

Posteriormente, a fluorescência da clorofila *a* foi avaliada utilizando-se um fluorômetro (LI-6400-40; LI-COR Biosci. Inc., Nebraska, USA) conforme Lima et al. (2002). Para isto, as folhas foram adaptadas ao escuro por 30 min e F_v/F_m estimada pela razão entre fluorescência variável e máxima [$F_v/F_m = (F_m - F_0) / F_m$]. Subsequentemente, pulsos saturantes de luz branca foram aplicados para atingir a máxima fluorescência (F'_m). Em seguida, a luz actínica foi desligada e a radiação vermelha distante ligada para obter a F₀ adaptada a luz (F'₀). A eficiência de captura de energia de excitação por centros de reação FSII abertos (F'_v/F'_m) foi estimada como a razão entre (F'_m - F'₀) / F'_m. O coeficiente de extinção fotoquímica (qP) foi calculado segundo Murchie and Lawson (2013) e o coeficiente de extinção não-fotoquímico (NPQ) foi

determinado a partir da equação de Stern - Volmer [$NPQ = (F_m/F'_m) - 1$] (KRAUSE; WEIS, 1991). O rendimento quântico real do transporte de elétrons do PSII (Φ_{PSII}) foi calculado como $(F'_m - F_s) / F'_m$ (GENTY et al., 1989).

2.4. Avaliação da produtividade

A produtividade foi realizada nos meses de julho a outubro de 2018 e 2019, coletando pimenta do reino em 20 plantas por cultivar. As pimentas foram secas em condições de campo e depois debulhadas manualmente e pesadas.

2.5 Análise estatística

O experimento foi conduzido em condições de campo com delineamento em blocos casualizados. As avaliações para severidade, produtividade e trocas gasosas foram realizadas nos períodos chuvoso e seco em duas cultivares (Apra e Guajarina) de pimenteira-do-reino com sintomas da fusariose, formando 4 tratamentos com 20 plantas cada um. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) e/ou teste F com auxílio do software R (R core Team, 2020).

3. RESULTADOS

3.1 Severidade da fusariose

A severidade da fusariose foi maior período chuvoso do que no período seco, independente da cultivar. A cultivar Apra apresentou maior grau de suscetibilidade a fusariose do que a cultivar Guajarina, sendo no período chuvoso em 10 unidade e 4 unidades no período seco, com base na escala diagramática de severidade da doença. Não houve diferença entre cultivares no período seco (Figura 1).

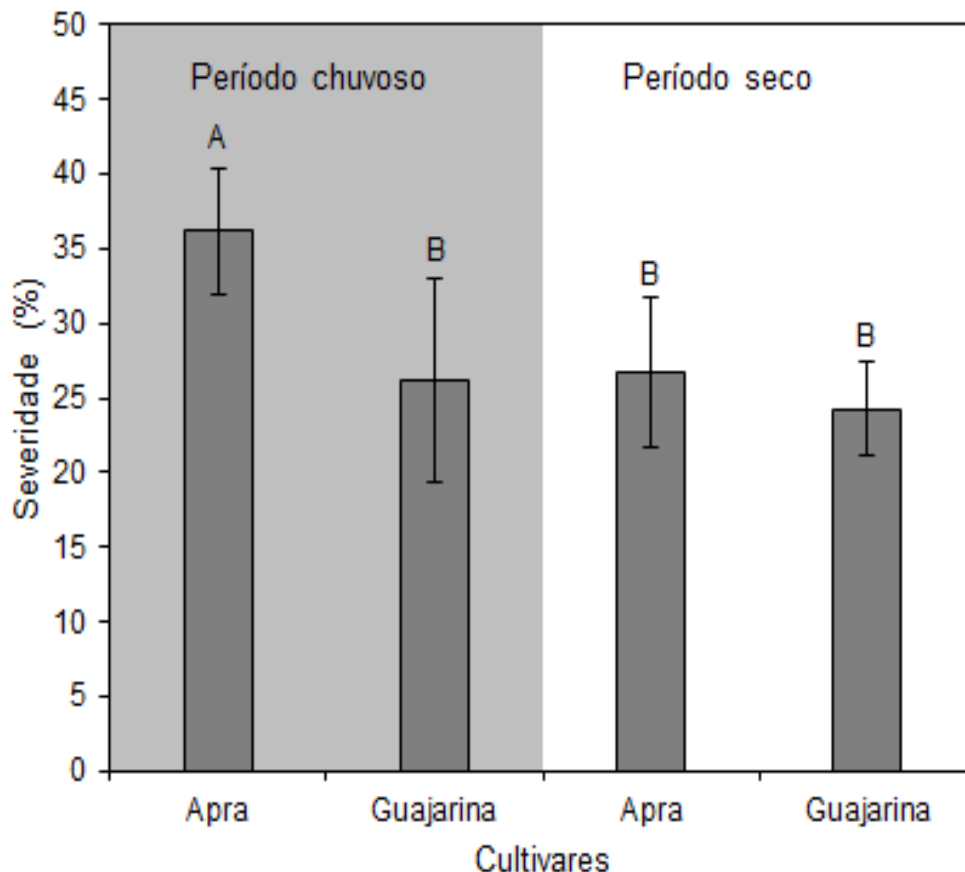


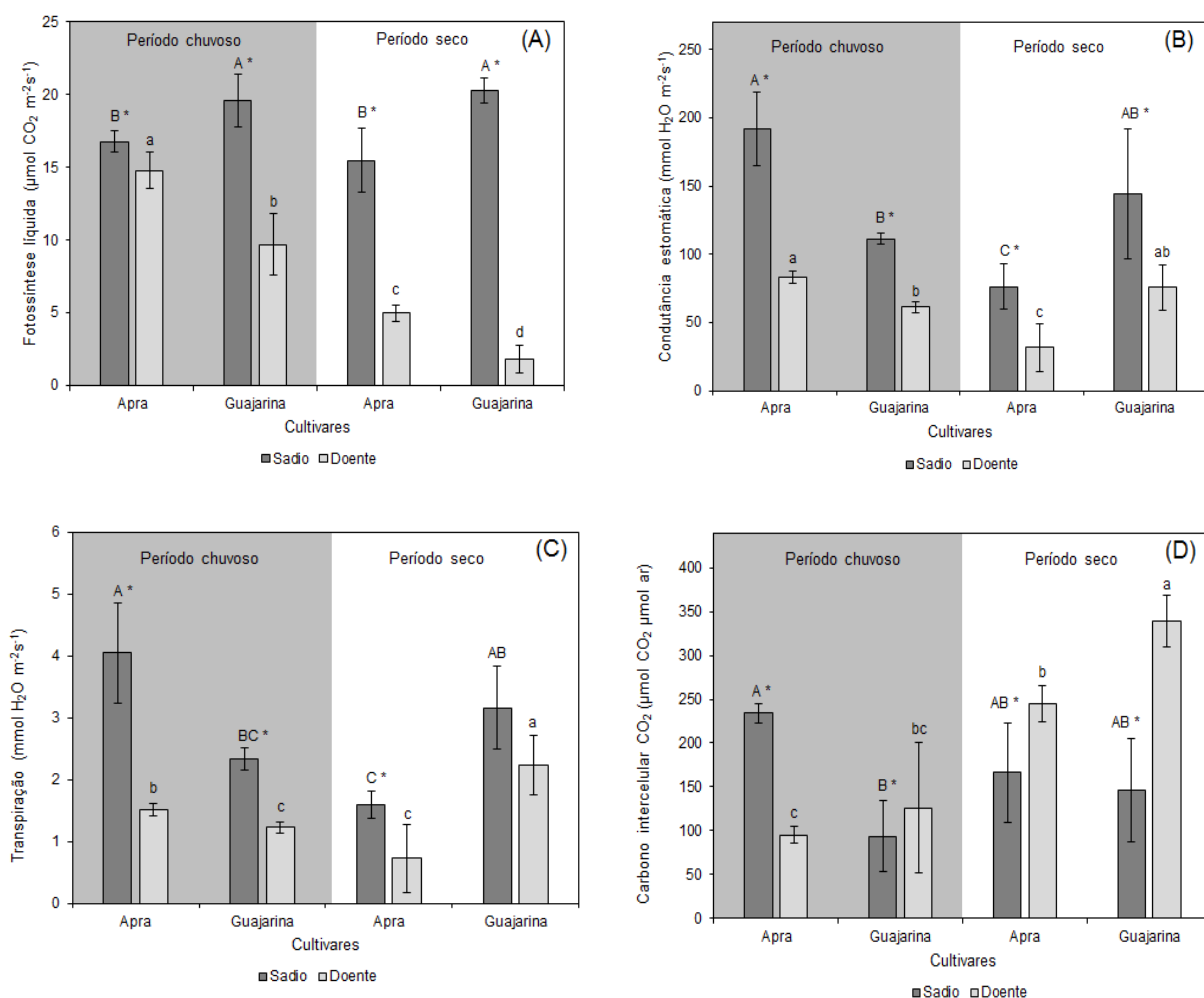
Figura 1. Severidade da fusariose nos períodos chuvoso e seco das cultivares Apra e Guajarina de pimenteira-do-reino. As médias são representativas de 20 repetições. Letras maiúsculas iguais indicam diferenças não significativas pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$).

3.2 Trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a*

No período chuvoso a fotossíntese líquida (A) reduziu 12% na cv. Apra, no entanto na cv. Guajarina a A reduziu em 50% em relação a plantas saudias, no período seco a redução na A na cv. Apra foi de 68% e na cv. Guajarina a redução foi de 91%. Para condutância estomática (gs), no período chuvoso a gs na cv. Apra reduziu 50%, enquanto na cv. Guajarina essa redução foi de 45%, no período seco houve uma redução na gs de 59% na cv. Apra e 48% na cv. Guajarina em relação as plantas saudias (Figura 2b). A transpiração (E) obteve comportamento semelhante a gs, no período chuvoso houve uma redução de 62% cv. Apra e 47% na cv. Guajarina em relação as plantas saudias, no período seco a redução na E na cv. Apra foi de 59% e na cv. Guajarina a redução foi de 29% em relação as plantas saudias (Figura 2C). A concentração subestomática de CO₂ (Ci) no período chuvoso reduziu 59% na cv Apra, no entanto na cv. Guajarina a Ci aumentou

35% em relação as plantas saudias, no período seco a Ci aumentou nas cultivares sob estresse, onde na cv Apra aumentou 47% e na cv. Guajarina 131% em relação as plantas saudias respectivamente (Figura 2D). Quanto ao UEA (A/E) no período chuvoso a cv. Apra apresentou um aumento de 128% no A/E e a cv. Guajarina uma redução de 5% em relação as plantas saudias, no período seco a cv. Apra apresentou um aumento de 25% no A/E e a cv. Guajarina uma redução de 86% em relação as plantas saudias (Figura 2E).

A cultivar Guajarina, independente do período, obteve maior fotossíntese líquida (A) que a cultivar Apra, sendo em 17% e 31% no período chuvoso e seco, respectivamente. Para a condutância estomática (gs), o comportamento foi divergente entre períodos. No período chuvoso, a cultivar Apra obteve 42% maior do Guajarina, enquanto no período seco a Guajarina obteve 98% para Apra. A concentração intercelular de CO₂ (Ci) e a eficiência do uso da água (A/E) foram diferenciados somente no período chuvoso, com aumento 60% e 98%, respectivamente para Cv Apra (Figura 2).



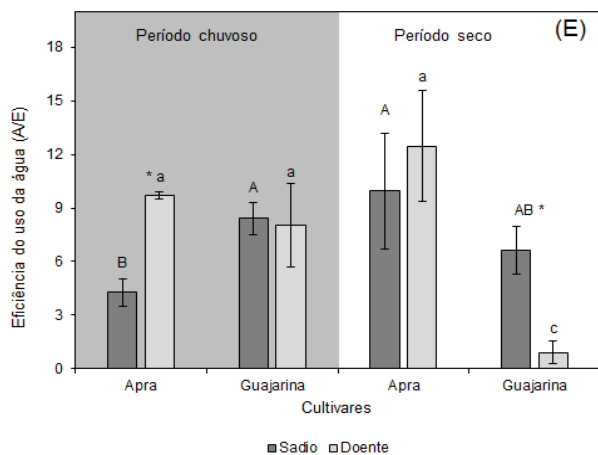
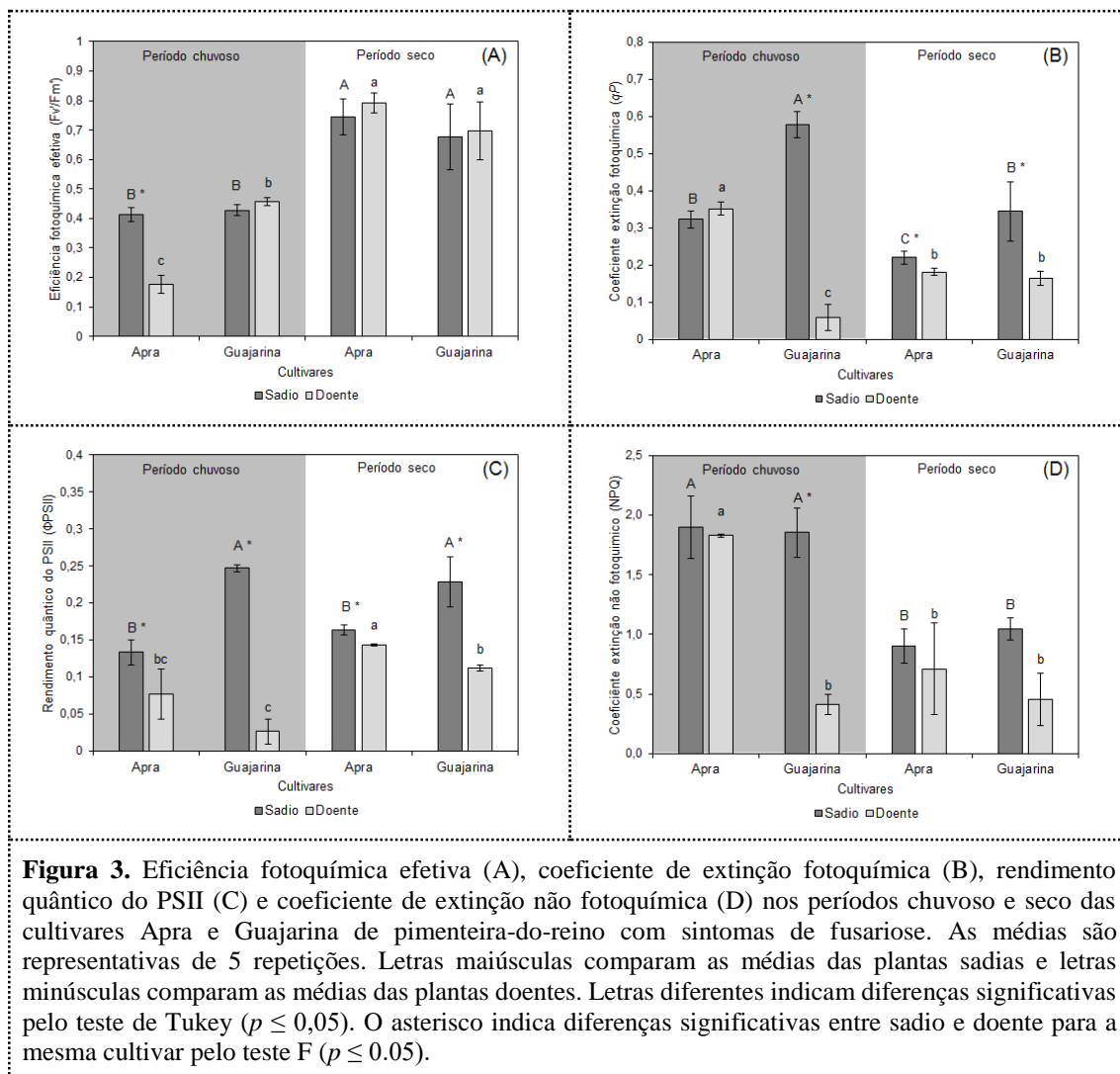


Figura 2. Fotossíntese líquida (A), condutância estomática (B), transpiração (C), concentração intercelular de CO₂ (D) e eficiência do uso da água (E) nos períodos chuvoso e seco das cultivares Apra e Guajarina de pimenteira-do-reino sadias e doentes (fusariose). As médias são representativas de 5 repetições. Letras maiúsculas comparam as médias das plantas sadias e letras minúsculas comparam as médias das plantas doentes. Letras diferentes indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). O asterisco indica diferenças significativas entre sadio e doente para a mesma cultivar pelo teste F ($p \leq 0,05$).

Quanto aos parâmetros de fluorescência da clorofila *a*, as diferenças foram verificadas entre períodos chuvoso e seco, para os parâmetros eficiência fotoquímica efetiva (F_v'/F_m') e coeficiente de extinção não fotoquímica (NPQ). E entre cultivares, dentro de cada período, as diferenças foram para coeficiente de extinção fotoquímica (qP) e rendimento quântico do PSII (Φ_{PSII}). O qP foi maior na cv Guajarina do que cv Apra em 79% no período chuvoso e 56% no período seco. Comportamento semelhante para rendimento quântico do PSII, com 85% e 40% da cv Guajarina em relação a Apra, nos períodos chuvoso e seco respectivamente (Figura 2).

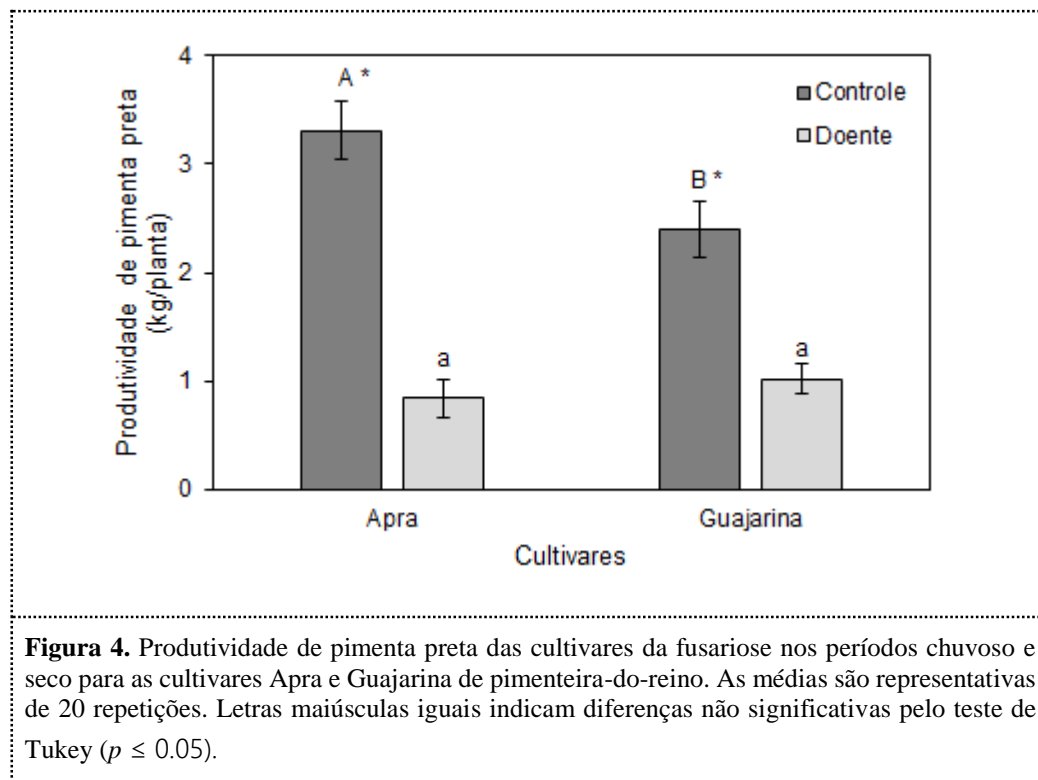


3.1 Severidade da fusariose

3.2 Trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a*

3.3 Produtividade

Em plantas saudáveis, a produtividade média de pimenta seca por planta foi de 2,86 kg, enquanto em plantas doentes foi de apenas 0,93 kg, independente da cultivar. Plantas saudáveis da cultivar Apra, obtiveram produtividade 38% maior que a cultivar Guajarina. Entretanto, a produtividade em plantas doentes não diferiu entre as cultivares (Figura 4).



4 DISCUSSÃO

O presente estudo é o primeiro relato sobre os danos visuais e fisiológicos relacionados aos parâmetros fotossintéticos sobre a produtividade da pimenta do reino doente com fusariose em campo.

No presente estudo a fusariose afetou negativamente as variáveis de severidade, A , g_s , C_i , E , A/E , F_v'/F_m' , $\Phi PSII$, qP , NPQ , e a produtividade das cultivares de acordo com o período. A cultivar Apra indica um maior potencial produtivo, entretanto na presença de condições favoráveis a fusariose é mais suscetível a doença;

Esses resultados estão parcialmente em desacordo com os registros feitos por Duarte e Albuquerque (1991), que mostram que a cv. Apra foi menos suscetível e com maior produtividade que Guajarina em condições de campo, na década de 80. Essa divergência pode ser atribuída pelas condições climáticas do local onde foram feitos os ensaios e após 30 anos de plantio da cv. Apra em campo, o *Fusarium* pode ter superado alguns genes de resistência de efeito menor e conseqüente resultou em aumento da suscetibilidade.

Por outro lado, verificou-se ausência de correlação entre a severidade das cultivares e os parâmetros fisiológicos, podendo ser atribuído à baixa acurácia de avaliação da doença com uso de escala diagramática baseada em sintomas reflexos. Uma das formas comumente utilizadas para quantificar a severidade é a escala de notas, as quais são necessárias para inferir medições de severidade da doença são necessárias para comparar diferentes métodos de controle de doenças (químico, cultural, resistência do hospedeiro e assim por diante) e relacionar-se à perda de produção. No entanto, essas estimativas visuais da severidade da doença como uma proporção da área são propensas a erros e afetadas por vários fatores (BOCK et al., 2010; MADDEN et al. 2007; NUTTER e SCHULTZ, 1995).

As interações entre a pimenta do reino e o *F. solani* são diversas e complexas, resultando em alterações fisiológicas e morfológica de ambos. O *Fusarium* que inicia o processo infeccioso como biotrófico e durante a fase necrotrófica, produzem toxinas e enzimas celulolíticas que têm como objetivo sequestrar as vias metabólicas secundárias do hospedeiro para um melhor estabelecimento e absorção dos nutrientes do hospedeiro (PERINCHERRY et al. 2019). Dentre as toxinas produzidas por *Fusarium* uma das mais importantes é o ácido fusárico (AF), que contribui significativamente para o processo de patogênese durante o avanço da doença (SELIM, et al. 2015). Essa toxina pode aumentar o nível de espécies reativas de oxigênio (ROS), reduzir a atividade de enzimas antioxidantes como catalase e ascorbato peroxidase e induzir a morte celular em folhas destacadas de tomate (SINGH et al. 2014). A aplicação externa de AF reduz o nível de pigmentos de clorofila e aumenta o nível de enzima proteolítica total no tomate, eventualmente reduzindo a taxa fotossintética, o metabolismo celular e causando a ruptura da estrutura celular, levando à murcha (SINGH et al. 2017).

Todo esse dano ocasionado por *Fusarium* em pimenta do reino, no presente estudo foi estimado por sintoma reflexo e revelou que cv. Apra é mais suscetível que cv. Guajarina, com maior redução em *A* e *A/E* e aumento em *gs*, *E* e *Ci*. A fusariose em pimenteira do reino é uma doença que reduz a absorção e translocação de água, tanto por causar apodrecimento do sistema radicular quanto pela produção de toxinas e substâncias que bloqueiam vasos xilemáticos. O ácido fusárico envolvido na patogênese possui baixo peso molecular o que favorece o deslocamento da mesma, através da corrente de

transpiração da planta, chegando às folhas do hospedeiro, onde atuam rompendo a permeabilidade das membranas celulares e a capacidade destas em controlar a perda de água pela transpiração (BACON et. al., 1996; SELIM and GAMMAL, 2016). Além de verificado que ácido fusárico reduz a permeabilidade dos protoplastos à água. Por outro lado, existe alguns relatos de que o ácido fusárico inibe a respiração global de algumas plantas. Atuando ainda sobre a inibição da atividade de enzimas como a succinato-oxidase em mitocôndrias e ainda também da citocromo-oxidase e da fosforilação oxidativa.

A influência do ácido fusárico na fotossíntese foliar do tomateiro foi investigado por Singh et al. (2017) e observado a redução do conteúdo de pigmento fotossintético das folhas do tomate, resultando em forte supressão dos processos de fotossíntese foliar, o que, portanto, afetou a fisiologia da folha levando finalmente ao murchamento e necrose das folhas.

Os parâmetros de fluorescência foram afetados negativamente em planta doentes de pimenta do reino das duas cultivares e nos dois períodos. Plantas com 30% de murcha tiveram redução da capacidade das plantas em capturar radiação fotossintética. Em tomateiro, a murcha de FOL-1 também diminuiu a área foliar e afetou negativamente a eficiência quântica máxima da fotoquímica do PSII, portanto, uma redução na capacidade dos tomateiros de capturar a radiação fotossinteticamente ativa também é um fator importante na determinação da depressão na produtividade fotossintética dessas plantas infectadas (NOGUES et. al., 2002).

O presente estudo revela que plantas de pimenta do reino tiveram severidade média de 21% e perda de produtividade em 37%, mostrando o efeito devastador da fusariose nas perdas do rendimento. Na cv. Apra a redução em produtividade foi em 4 vezes, indicando que essa cultivar possui elevado potencial produtivo na ausência da fusariose, mais altamente suscetíveis em condições favoráveis a doença. Isso pode está relacionado a menor capacidade de regular o fechamento estomático, a eficiência do uso da água, a transpiração e a perda da capacidade de captura radiação quando as plantas se encontram com severidade visual em 30%.

A avaliação de doenças vasculares diferencia os genótipos considerando sintomas reflexos que é a manifestação da murcha em diferentes níveis, entretanto tipo de avaliação

tem limitações devido a baixa acurácia e pouca diferenciação de níveis de resistência parcial nos genótipos (BERGAMIM, 2018). Assim o programa de melhoramento da pimenta do reino disponibiliza apenas informações quanto ao grau de tolerância da cultivar referindo a produtividade. Verifica-se no presente estudo, que o as plantas sadias e doentes das cvs. Apra e cv. Guajarina tem comportamentos diferenciados quanto a severidade, aspectos fisiológicos e produtividade.

Considerando que o principal componente do manejo de doenças de plantas e a resistência genética, mas que não há disponível no banco de germoplasma material genético com resistência completa à fusariose, o presente estudo mostra que a inserção da ferramentas fisiológicas de plantas afetadas pela doença pode contribuir para a estimativa mais acurada do grau de suscetibilidade podem ser usados em programas de melhoramento futuro para projetar uma estratégia de melhoria eficaz para a geração de pimenta do reino menos suscetíveis à murcha de *Fusarium*.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, F. C. Podridão das raízes e do pé da pimenta do reino: segunda contribuição da seção de fitopatologia do IPEAN. Belém, PA: IPEAN, 23 p. (IPEAN. Circular, 8). 1964.

ALBUQUERQUE, F. C. Piper colubrinum Link. Porta-enxerto para Piper nigrum L. resistente às enfermidades causadas por Phytophthora palmivora Butl. e Fusarium solani f. sp. piperis. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.3, p.141-145, 1968.

ALBUQUERQUE, F.C.; DUARTE, M.de L. R. Comportamento de cultivares de pimenta-do-reino, em área de ocorrência de fusariose no Estado do Pará. EMBRAPA- CPATU, Documentos, 59.1991,

ALCONERO, R.; ALBUQUERQUE, F. C.; ALMEYDA, H. N.; SANTIAGO, A. G. Phytophthora foot root of black pepper in Brazil and Puerto Rico. Phytopathology, v. 62, p. 144-148, 1972.

ALBUQUERQUE, F.C.; DUARTE, M.de L.R. Comportamento de cultivares de pimenta-do-reino, em área de ocorrência de fusariose no Estado do Pará. Belém: EMBRAPA –CPATU, 1991

BAGHERI, H.; MANAP, M.Y.B.A.; SOLATI, Z. Antioxidant activity of Piper nigrum L. essential oil extracted by supercritical CO₂ extraction and hydro-distillation. Talanta, 121: 220-228. 2014.

DASGUPTA, A.; DATTA, P.C. Medicinal species of Piper, pharmacognostic delimitation. Quaterly Journal of Crude Drug Research, v.18, n.1, p. 17-25, 1980.

DUARTE, M. de L, R. Cultivo da pimenta-do-reino na região norte. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, Sistemas de Produção. 185p. CDD 633.8409811.2004.

DUARTE, M.L.R.; ALBUQUERQUE, F.C.; ALBUQUERQUE, P.S.B. Doenças da Pimenteira-do-Reino (Piper nigrum L.). In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M. et al. (Eds.) Manual de Fitopatologia. 4ª Edição. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, v.2, p. 507-516, 2005.

DUARTE, M de L, R. et al. A Cultura da Pimenta-do-Reino. – 2. ed. rev. amp. – Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 73 p. (Coleção Plantar, 55). 2006.

HUANG, D.; OU, B.; PRIOR, R.L. The chemistry behind antioxidante capacity assays. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53: 1841 – 1856, 2005.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Levantamento da Produção Agrícola, Rio de Janeiro, v.30, n.5, p. 1-83, 2017.

INDEX Fungorum. 2008. Disponível em: <<http://www.indexfungorum.org/>>. Acesso em: 15 abr. 2020.

KRAUSE, G, H.; WEIS, E. Chlorophyll Fluorescence and Photosynthesis: The Basics. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology. Vol.42:313-349.1991. - <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.42.060191.001525>.

LEMOS, O. F; POLTRONIERI, M.C.; RODRIGUES, S. de; MENEZES, I. C. de M.; MONDIN, M. Conservação e melhoramento genético da pimenteira –do-reino (Piper nigrum L.) associado às técnicas de biotecnologia. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 375, 45 p. 2011.

PERINCHERRY, L.; LALAK-KAŃCZUGOWSKA, J.; STEPIEŃ, Ł. Fusarium-Produced Mycotoxins in Plant-Pathogen Interactions. Toxins (Basel). 2019 Nov 14;11(11):664. doi: 10.3390/toxins11110664. PMID: 31739566; PMCID: PMC6891594.

POLTRONIERI, M.C.; LEMOS, O.F. Pimenta do reino: cultivares. Boletim Técnico: Embrapa Amazônia Oriental, 2014.

RAVINDRAN, P.N.; Introduction of Black Pepper. In: RAVINDRAN, P.N. (ED.). Medicinal and Aromatic Plants: Black Pepper, *Piper nigrum*. India: Indian Institute of Spices Research, v.13, c.4, p.163-224, 2000.

REVERBERI, M.; RICELLI, A.; ZJALIC, S.; FABBRI, A. A.; FANELLI, C. Natural functions of mycotoxins and control of their biosynthesis in fungi. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2010; 87:899–911. doi: 10.1007/s00253-010-2657-5.].

SELIM, M. E., EL-GAMMAL, N. A. Role of fusaric acid mycotoxin in pathogenesis process of tomato wilt disease caused by *Fusarium oxysporum*. *Journal Bioprocess Biotech*, v. 5, n. 1, 2015. doi: 10.4172/2155-9821.1000255.

SINGH, V. K., UPADHYAY, R. S. Fusaric acid induced cell death and changes in oxidative metabolism of *Solanum lycopersicum* L. *Botanical Studies*. v. 55, n. 66, 2014. doi: 10.1186/s40529-014-0066-2.

SINGH, V. K., SINGH, H. B., UPADHYAY, R. S. Role of fusaric acid in the development of 'Fusarium wilt' symptoms in tomato: Physiological, biochemical and proteomic perspectives. *Plant Physiology Biochemistry*. v. 118, p. 320–332, 2017. doi: 10.1016/j.plaphy.2017.06.028.

SHTIENBERG, D. Effects of foliar disease on gas Exchange process: a comparative study. *Phytopathology*, v.82, p.760-765, 1992.

SILVA, S.O.; NETO, A.P.D.; SILVA, M.B. Pimenta-do-reino: importância da defesa fitossanitária para a sustentabilidade da atividade na região norte do Espírito Santo. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)*, v. 1, n. 1, p. 88-92, 2011

SILVA, B.S.O. e S.; DRUMOND NETO, A. P; HERZOG, T.T.; CEZANA, D.C. & SILVA, M.B. da. Distribuição espacial e temporal da fusariose em pimenta-do-reino. III. Simpósio de Geoestatística Aplicada em Ciências Agrárias. Botucatu-SP. p. 1-4. 2013.

SILVA, M.B. da; ROCHA NETO, F.de C.; GONTIJO, I. Comportamento espacial em pimenta-do-reino. III Simpósio de Geoestatística Aplicada em Ciências Agrárias. Botucatu-SP. 2013.

STANGARLIN, J R.; LEITE, B. Alterações fisiológicas na suscetibilidade. In: PASCHOLATI, S.F.; LEITE, B.; STANGARLIN, J. R. (Eds). *Interação planta patógeno: fisiologia, bioquímica e biologia molecular*. Piracicaba: FEALQ, v.177, p. 227. 2008.

VENTURA, J.A.; COSTA, H. Manejo da fusariose da pimenta-do-reino no Estado do Espírito Santo. Vitoria: Incaper. 18 p. 2004.

WALTON, J.D. Deconstructing the Cell wall. *Plant Physiology*, v.104, n.4, p.1113-1118.1994.

CAPÍTULO 3. *TRICHODERMA ASPERELLUM* REDUZ A FUSARIOSE E AUMENTA A PRODUTIVIDADE EM PIMENTEIRA _ DO _ REINO (*PIPER NIGRUM L.*) NO CAMPO

Adélia Benedita Coêlho dos Santos, Alessandra Jackeline Guedes de Moraes, Gledson Luiz Salgado Castro, Rodolfo Inácio Nunes dos Santos, Gisele Barata da Silva

Resumo

A pimenteira-do-reino é uma planta perene e trepadeira de grande interesse econômico no mercado nacional e internacional, devido seu valor condimentar econômico. Entretanto, a um entrave na cadeia produtiva dessa especiaria, que intervêm diretamente na produção e na produtividade que é a incidência da fusariose, que afeta principalmente a fisiologia da planta. Recentemente, várias estratégias estão sendo desenvolvida para controlar os efeitos negativos da fusariose, uma delas é o biocontrole com fungo *Trichoderma* sp., que descrito em diversas literaturas como eficaz no controle de patógenos foliares e habitantes dos solos. O objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho do aparato fotossintético em plantas de pimenteira-do-reino, bem como a eficiência de *T. asperellum* na redução da severidade da fusariose e aumento da produtividade da pimenta-do-reino em campo. O ensaio foi constituído por 250 plantas de pimenteira-do-reino (*P. nigrum L.*), das cultivares Apra e Guajarina, com 2 anos de idade, estabelecidas em plantio comercial com aproximadamente 0,25ha. Realizou-se duas coletas de dados, nos meses de maio e de novembro de 2018, correspondendo aos períodos chuvoso e seco, respectivamente. As avaliações da severidade foi avaliada nas duas cultivares tratadas com *Trichoderma* (UFRAT06, UFRAT09, UFRAT12, UFRAT52) e plantas sintomáticas de fusariose, com mensurações sendo realizadas nas folhas dos terços superior, médio e inferior a partir do topo de cada planta utilizando-se uma escala de notas. O experimento foi conduzido em condições de campo com delineamento em blocos casualizados. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) e/ou teste F. No período chuvoso a severidade foi maior para as plantas controle e inoculadas da cv. Apra em relação a cv. Guajarina. A inoculação do Mix *Trichoderma* reduziu a severidade em 35% e 51% para as cultivares Apra e Guajarina, respectivamente. No período seco a severidade não diferiu entre as cultivares Apra e Guajarina para controle e inoculadas. Entretanto, a inoculação do *Trichoderma* diminuiu em 39% e 40% a severidade das cultivares Apra e Guajarina, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE

Controle biológico; clorofila; troca gasosa; estresse oxidativo.

ABSTRACT

Fusariosis, a disease caused by *Fusarium solani* f.sp. *piperis*, a limiting factor for the cultivation of black pepper in crops, reduces the photosynthetic area causing losses in the production of this spice. Studies on resistant cultivars, alternative methods of control and integrated management are carried out, without, however, reducing the losses caused by the disease. One of the alternatives to promote positive responses in plants is biological control, a traditional practice, which combined with new knowledge of microbiology, helps to control phytopathogens.

Fungi of the genus *Trichoderma* have the potential to control phytopathogens and to promote plant growth. Different cultures studied prove this capacity and add information about the mechanisms of action of these bioagents, as the mechanisms that promote the reduction of the infectious capacity of phytopathogens are still little known. The objective of this study was to contribute to the understanding of the mechanisms of action of *Trichoderma* on the changes in the performance of photosynthesis and in the productivity of pepper cultivars of the kingdom.

KEY WORDS

Biological control; chlorophyll; gas exchange; oxidative stress.

1.INTRODUÇÃO

A pimenteira-do-reino (*Piper nigrum L.*) é uma planta perene e trepadeira de grande interesse econômico no mercado nacional e internacional, devido seu valor condimentar dentro da olericultura (MAGEVSKI et al., 2011). Entretanto, a um entrave na cadeia produtiva da pimenta-do-reino, que intervêm diretamente na produção e na produtividade que é a incidência da fusariose, que afeta principalmente a fisiologia da planta (OLIVEIRA, 2012).

Recentemente, várias estratégias estão sendo desenvolvida para controlar os efeitos negativos da fusariose, tais como a criação de mudas *in vitro* de variedades mais tolerantes, o uso de marcadores moleculares e a identificação de genes de resistência se constituem em ferramentas valiosas para a solução deste problema (LEMOS et al., 2011). Entretanto, as técnicas não estão disponíveis a todos e as principais medidas usadas agricultura convencional é a produção de mudas saudáveis, a escolha correta dos locais de instalação do viveiro e do plantio comercial, os tratamentos culturais e a condução dos pimentais (VENTURA, J. A.; COSTA, H., 2004). Um manejo inadequado Uma estratégia alternativa é controle biológico com fungo *Trichoderma* sp., que descrito em diversas literaturas como eficaz no controle de patógenos foliares e habitantes dos solos (HARMAN et al., 2004; HERMOSA et al., 2012).

O *Trichoderma* é um gênero pertencente aos fungos ascomicetos são frequentemente isolados do solo onde podem estabelecer interações com raízes de plantas através de sinais químicos de ambos os parceiros. Esta interação benéfica é impulsionada pela sacarose derivada das plantas é importante fontes nutricionais para os processos de infecção e colonização por *Trichoderma* sp. nas raízes (VARGAS et al., 2009). A colonização envolve a capacidade de reconhecer e aderir às raízes, penetrar nas plantas e resistir aos metabólitos tóxicos produzidos em resposta à invasão (HERMOSA et al., 2012). O *Trichoderma* atua como bioestimulante do crescimento radicular, pois promove o desenvolvimento de raízes devido à secreção de fitohormônios, o que permite um incremento da biomassa radicular, uma melhor assimilação de nutrientes como P, Zn, Mn e Fe e água aumentando a resistência em situações de estresse (HARMAN, 2000; HARMAN et al., 2004).

Os principais mecanismos pelos quais o *Trichoderma* sp. atuam na proteção das plantas contra a infecção por patógenos envolve o micoparasitismo podendo se posicionar

como antagonista dependendo do tipo do patógeno no solo. O contato é mediado principalmente por lectinas e proteínas que carregam módulos de ligação de celulose nas hifas do hospedeiro e do fungo microparasita, respectivamente (HERMOSA *et al.*, 2012). Além disso, *Trichoderma* sp. produzem uma variedade de MAMPs (Padrões Moleculares Associados a Microrganismos) que estimulam a indução de resistência (IR) em plantas. A IR por *Trichoderma* sp. pode aumentar a resistência contra diversos patógenos foliares e habitantes dos solos através das respostas mediadas por ácido salicílico (AS), ácido jasmônico (JA), etileno (ET). Estas respostas reguladas são antagônicas entre as diferentes vias de sinalização de defesa relacionadas à JA/ ET e AS, sensibilizando a planta para uma resistência melhorada contra patógenos (BASHIR *et al.*, 2016; WALTERS *et al.*, 2013).

O uso do Mix de *Trichoderma* (T-06, T-09, T-12 e T-52) na redução da severidade da fusariose e o estudo do desempenho fotossintético em plantas de pimenta-do-reino nunca foi relatado na literatura. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho do aparato fotossintético em plantas de pimenta-do-reino, bem como a eficiência de *T. asperellum* (T-06, T-09, T-12 e T-52) na redução da severidade da fusariose e aumento da produtividade da pimenta-do-reino em campo.

2.MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Ensaio em campo

O ensaio foi constituído por 250 plantas de pimenteira-do-reino (*P. nigrum* L.), das cultivares Apra e Guajarina, com 2 anos de idade, estabelecidas em plantio comercial com aproximadamente 0,25ha. Realizou-se duas coletas de dados, nos meses de maio de 2018 e de novembro de 2018, correspondendo aos períodos chuvoso e seco, respectivamente.

2.2 Avaliação da fusariose

Foram analisadas 20 plantas por tratamento, com uso de escala diagramática com cinco graus de resistência a murcha vascular.

A severidade foi avaliada nas duas cultivares tratadas com *Trichoderma* (T06, T09, T12, T52) e plantas sintomáticas de fusariose, nos meses de maio e novembro de

2018, correspondentes às épocas chuvosa e seca, respectivamente, com mensurações sendo realizadas nas folhas dos terços superior, médio e inferior a partir do topo de cada planta utilizando-se uma escala proposta por Silva et al. (2013): as plantas receberam notas de 1 a 9 de acordo com os sintomas, sendo:

- (1) planta inteiramente verde;
- (2) início do amarelecimento das folhas;
- (3) amarelecimento generalizado das folhas;
- (4) início da queda de internódios;
- (5) queda de folhas e internódios no terço superior;
- (6) queda de 50% das folhas;
- (7) queda de folhas seguida da morte dos ramos superiores;
- (8) seca generalizada da planta com presença de ramos ainda verdes;
- (9) seca total da planta. Esses dados foram transformados em porcentagem a fim de expressar melhor a quantidade da doença.

2.3. Avaliação da produtividade

2.4 Análise estatística

O experimento foi conduzido em condições de campo com delineamento em blocos casualizados. As avaliações para severidade e produtividade foram realizadas nos períodos chuvoso e seco em duas cultivares (Apra e Guajarina) de pimenteira-do-reino com sintomas da fusariose, formando 4 tratamentos com 20 plantas cada um. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) e/ou teste F com auxílio do software R (R core Team, 2020).

3.RESULTADOS

No período chuvoso a severidade foi maior para as plantas controle e inoculadas do cultivar Apra em relação a Guajarina. A inoculação do *Trichoderma* reduziu a severidade em 35% e 51% para as cultivares Apra e Guajarina, respectivamente. No período seco a severidade não diferiu entre as cultivares Apra e Guajarina para controle e inoculadas. Entretanto, a inoculação do *Trichoderma* diminuiu em 39% e 40% a severidade das cultivares Apra e Guajarina, respectivamente.

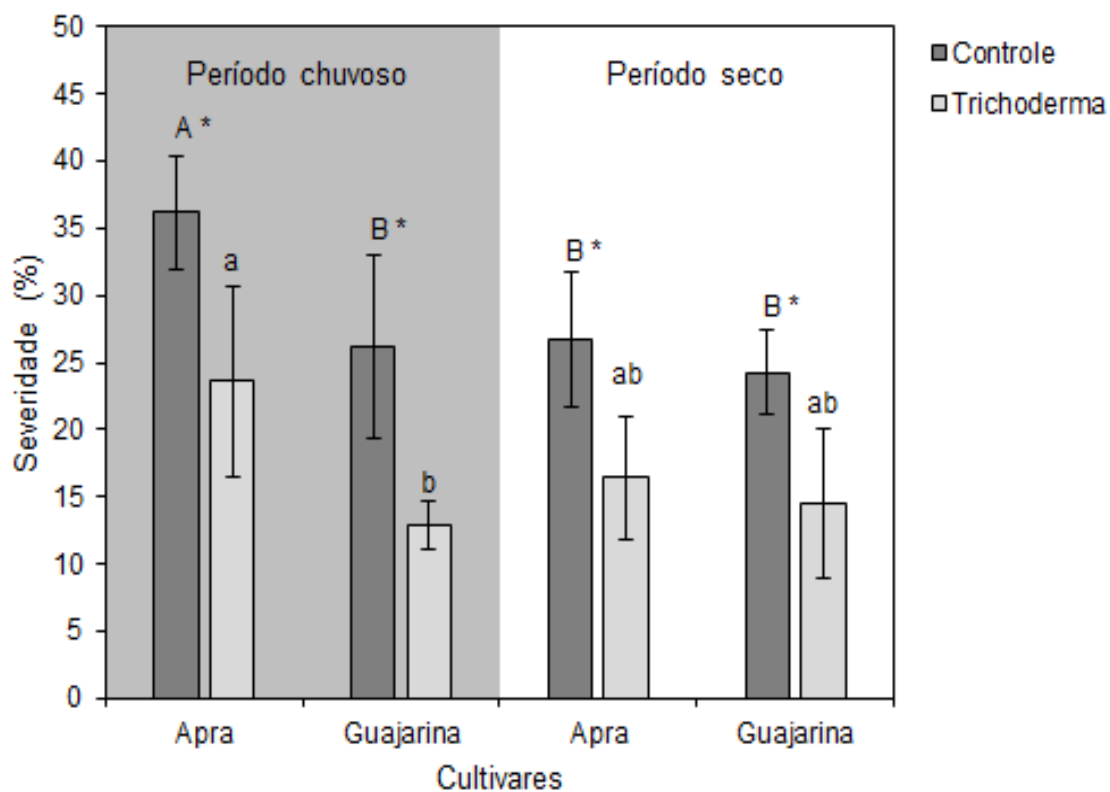


Figura 1. Severidade da fusariose nos períodos chuvoso e seco das cultivares Apra e Guajarina de pimenteira-do-reino inoculadas com *Trichoderma*. Médias representativas de 20 repetições. Letras maiúsculas comparam as médias do controle e letras minúsculas comparam as médias do *Trichoderma* para as diferentes cultivares e períodos. Letras diferentes (maiúsculas ou minúsculas) indicam diferenças significativas de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0.05$). O asterisco indica diferenças significativas entre controle e *Trichoderma* para a mesma cultivar de acordo com o teste F ($p \leq 0.05$).

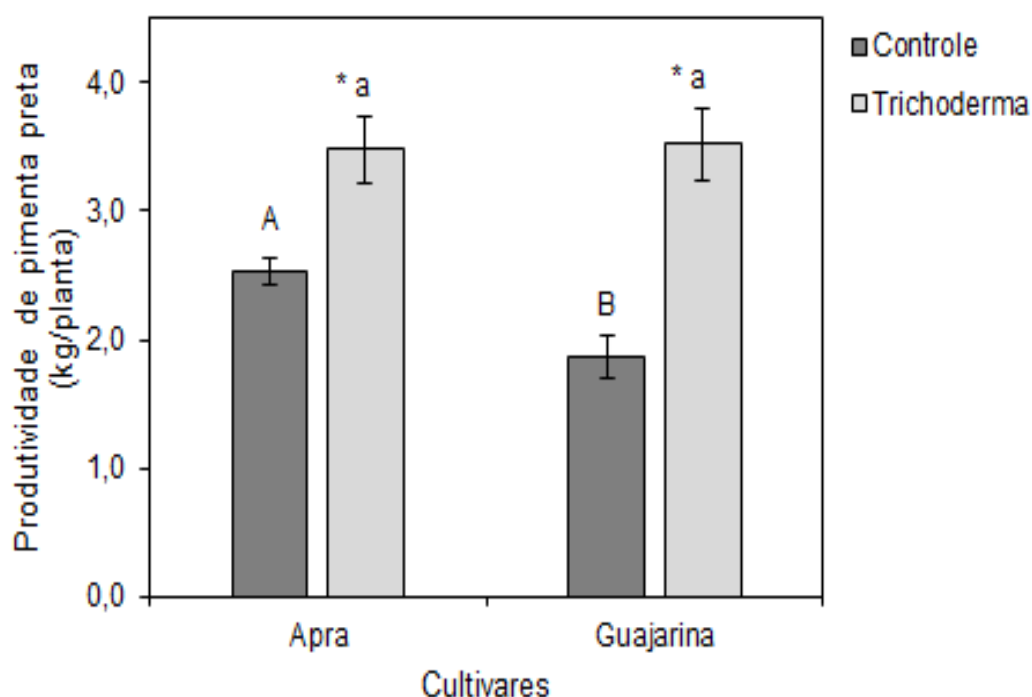


Figura 2. Produtividade de pimenta preta (kg/planta) das cultivares Apra e Guajarina de pimenteira-do-reino inoculadas com *Trichoderma*. Letras maiúsculas comparam as médias do controle e letras minúsculas comparam as médias do *Trichoderma* para as diferentes cultivares e períodos. Letras diferentes (maiúsculas ou minúsculas) indicam diferenças significativas de acordo com o teste F ($p \leq 0.05$). O asterisco indica diferenças significativas entre controle e *Trichoderma* para a mesma cultivar de acordo com o teste F ($p \leq 0.05$).

4.DISSCUSSÃO

O controle biológico tem se consolidado como ferramenta para o manejo integrado de patógenos habitantes do solo, com diversos fungos e bactérias comercializadas como antagonistas no Brasil, especialmente espécies de *Trichoderma* (LOBO JUNIOR, et. al., 2018). Nossos resultados indicam que houve um incremento na produtividade e redução na severidade. Uma vez que, o gênero *Trichoderma* é conhecido por proporcionar redução da severidade de doenças e ganhos de produtividade, aproveitando-se da sua versatilidade como hiperparasitas e produtores de enzimas que degradam a parede celular de patógenos

(GERALDINE et al., 2013; AGUIAR et al., 2014; LOBO JUNIOR, et. al. 2018). Além a fusariose, as plantas tratadas com isolados de *Trichoderma* aumentaram as taxas fotossintéticas de A, gs e E, maiores concentrações de clorofila e aumento da atividade de enzimas relacionadas ao estresse oxidativo. Isso é significativo para a produção de pimenta, como mostra que *Trichoderma* pode afetar positivamente o manejo integrado de doenças da pimenta e pode representar um método de controle alternativo em condições de campo, permitindo dependência reduzida de métodos de controle químico.

CONCLUSÃO GERAL

A fusariose afetou negativamente as variáveis de severidade, gs, Ci, A e E, e, e a produtividade das cultivares de acordo com o período.

A cultivar Apra indica um maior potencial produtivo, entretanto na presença de condições favoráveis à fusariose é mais suscetível a doença.

Verificou-se ausência de correlação entre a severidade das cultivares e os parâmetros fisiológicos, podendo ser atribuído a baixa acurácia de avaliação da doença com uso de escala diagramática baseada em sintomas reflexos

A cultivar Apra indica um maior potencial produtivo, entretanto na presença de condições favoráveis a fusariose é mais suscetível a doença. A severidade da fusariose foi maior período chuvoso do que no período seco, independente da cultivar. A cultivar Apra apresentou maior grau de suscetibilidade a fusariose do que a cultivar Guajarina, sendo no período chuvoso em 10 unidade e 4 unidades no período seco, com base na escala diagramática de severidade da doença.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- BASHIR, Z.; SHAFIQUE, S.; AHMAD, A.; SHAFIQUE, S.; YASIN, N. A.; ASHRAF, Y.; IBRAHIM, A.; AKRAM, W.; NOREEN, S. Tomato plant proteins actively responding to fungal applications and their role in cell physiology. *Frontiers in Physiology*, v. 7, p. 257, 2016.
- FRANÇA, S. K. S.; CARDOSO, A. F.; LUSTOSA, D. C.; RAMOS, E.; SOARES, M. L.; FILIPPI, M. C. et al. Biocontrol of sheath blight by *Trichoderma asperellum* in tropical lowland rice. *Agronomy for Sustainable Development*, Springer Verlag/EDP Sciences/INRA, v. 35, n. 1, pp.317-324, 2015.
- HARMAN, G.E. Myths and dogmas of biocontrol – changes in perceptions derived from research on *Trichoderma harzianum* T-22. *Plant Disease*, v. 84, p. 377-392, 2000.
- HARMAN, G. E. *Trichoderma* species-opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*, Londres, v. 2, p. 43-56, 2004.
- HERMOSA, R. et al. Plant-beneficial effects of *Trichoderma* and of its genes. *Microbiology*, Londres, v.158, p. 17-25, 2012.
- LEMONS, O. F.; POLTRONIERI, M. C.; RODRIGUES, S. de M.; MENEZES, I. C. de M.; MONDIN, M. Conservação e melhoramento genético da pimenteira-do-reino (*Piper nigrum* L.) associado às técnicas de biotecnologia. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 375), 45 p. 2011.
- MEYER, M.C.; CAMPOS, H.D.; LOBO JR, M. Avaliação à campo de *Trichoderma* em mofo-branco. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/209702/1/cap-13-livro-trichoderma-online-06.01.20-1.pdf>
- MAGEVSKI, G.C.; CZEPAK, M. P.; SCHMILDT, E. R.; ALEXANDRE, R. S.; FERNANDES, A.A. Propagação vegetativa de espécies silvestres do gênero *Piper*, com potencial para uso como porta enxertos em pimenta-do-reino (*Piper nigrum*). *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*. Botucatu-SP, v.13, especial, p.559-563, 2011.
- VARGAS, W. A. Plant-derived sucrose is a key element in the symbiotic association between *Trichoderma virens* and maize plants. *Plant Physiology*, Washington, v. 151, p. 792-808, 2009.
- VENTURA, J. A.; COSTA, H. Manejo da fusariose da pimenta-do-reino no Estado do Espírito Santo. Vitória, ES: Incaper, 2004. 16 p. (Incaper. Documentos, 131)
- WALTERS, D. R.; RATSEP, J.; HAVIS, N. D. Controlling crop diseases using induced resistance: challenges for the future. *Journal of Experimental Botany*, v. 64, n. 5, p. 1263-1280, 2013.