



## Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal

# FOTOMORFOGÊNESE E PATOGENICIDADE DE *Bipolaris bicolor* EM TRIGO, MILHO E SORGO

PAULO HENRIQUE PEREIRA COSTA MUNIZ

**MESTRADO**

Ipameri-GO  
2022

PAULO HENRIQUE PEREIRA COSTA MUNIZ

**FOTOMORFOGÊNESE E PATOGENICIDADE DE *Bipolaris bicolor* EM  
TRIGO, MILHO E SORGO**

Orientador Prof. Dr. Daniel Diego Costa Carvalho

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Goiás – UEG, Câmpus Ipameri como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal para obtenção do título de MESTRE.

Ipameri  
2022

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UEG  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

MM966      Muniz, Paulo Henrique Pereira Costa  
f              Fotomorfogênese e Patogenicidade de *Bipolaris*  
                 bicolor em trigo, milho e sorgo / Paulo Henrique  
                 Pereira Costa Muniz; orientador Daniel Diego Costa  
                 Carvalho. -- Ipameri, 2022.  
                 68 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação  
Mestrado Acadêmico em Produção Vegetal) -- Unidade de  
Ipameri, Universidade Estadual de Goiás, 2022.

1. Epidemiologia. 2. Helmintosporiose. 3. *Triticum*  
*aestivum*. 4. *Zea mays*. 5. *Sorghum bicolor*. I. Carvalho,  
Daniel Diego Costa , orient. II. Título.

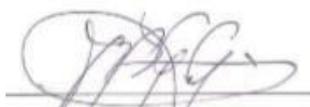
## CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO:** FOTOMORFOGÊNESE E PATOGENICIDADE DE *Bipolaris bicolor* EM TRIGO, MILHO E SORGO

**AUTOR(A):** Paulo Henrique Pereira Costa Muniz

**ORIENTADOR(A):** Daniel Diego Costa Carvalho

Aprovado(a) como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE(A) EM PRODUÇÃO VEGETAL, pela comissão Examinadora:



Prof. Dr. Daniel Diego Costa Carvalho (Orientador)  
Universidade Estadual de Goiás/Unidade Universitária Ipameri-GO



Prof.ª Dr.ª. Elizabeth Amélia Alves Duarte  
Centro Universitário Maria Milza/Governador Mangabeira-BA



Prof.ª Dr. Thiago Alves Santos de Oliveira  
Universidade Federal do Acre/ Cruzeiro do Sul-AC

### Registro de Declaração

Número: 136

Livro: R-01 Folhas: 03

Data: 25/01/2022



Assinatura:

Data da realização: 25 de janeiro de 2022



*“Tudo o que fizerdes, fazei de todo o coração (...)”*  
**(Colossenses 3:23)**

*“Até aqui o Senhor nos ajudou!”*  
**(I Samuel 7:12)**

*“Em tudo dai graças (...)”*  
**(I Tessalonicenses 6:18)**

*À minha família e amigos, razões do meu viver e do meu caminhar;*

*À todos os cidadãos brasileiros, principalmente os mais humildes e honestos, que financiaram por meio de sua luta diária e do pagamento de seus impostos todos os meus estudos até aqui e que muitas vezes, infelizmente, não tiveram a mesma oportunidade para si próprio ou sua descendência.*

***Dedico.***

## AGRADECIMENTOS

À **Deus**, por iluminar com sua força, concedendo-me saúde e sabedoria a cada amanhecer. Tu és alfa e ômega, princípio e fim da minha existência, autor do meu destino e essencial em minha vida.

À **Nossa Senhora**, minha mãe Maria, que sempre me amparou e intercedeu em todos os momentos de dificuldade.

Ao meu pai **Paulo de Jesus Costa**, pelo incentivo em todos os momentos da minha vida, querendo sempre meu melhor, apoiando-me para a realização dos meus sonhos.

À minha mãe **Janete Aparecida Albino Pereira**, seu esposo, **Cássio Ericson Pereira**, meu irmão **Marco Thúlio P. Costa Muniz** e irmãs **Maria Fernanda A. Pereira** e **Maria Clara A. Pereira** por sempre estarem ao meu lado e incentivando em minha caminhada.

Ao meu orientador e amigo, **Dr. Daniel Diego Costa Carvalho** por me acolher nestes mais de seis anos de convivência me incentivando e fazendo com que desenvolvesse na pesquisa, sendo um grande professor repassando grande parte do meu conhecimento na área de Fitopatologia, além de todo o apoio e zelo diuturnamente.

Aos **Membros da Banca Examinadora** por aceitarem o convite de participar do exame e proporcionar inúmeras melhorias ao trabalho.

Aos **integrantes do Laboratório de Fitopatologia (UEG)**, em especial, Maria Eduarda Sampaio, Wanderson Silva e Dineli Pinheiro pelos bons momentos de troca de conhecimentos, apoio nas pesquisas e ajuda na construção da ciência.

À **Universidade Estadual de Goiás**, por meio do **Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PPGPV)** por ter possibilitado a realização de mais um sonho!

Ao **corpo docente, conselheiros, técnica-administrativa e Coordenador do PPGPV** por terem compartilhado todo o seu conhecimento, demonstrando o conhecimento sempre embasado na ética, formando além de profissionais, pessoas com “espírito humano” e de destaque.

Aos integrantes da **Turma 2020/1 do PPGPV**, pela troca de experiências profissionais e pessoais nestes quase dois anos, mesmo que remotamente.

À **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)** pela bolsa de mestrado concedida.

**Minha eterna Gratidão!**

## SUMÁRIO

	Página
<b>RESUMO.....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>8</b>
1.1 A cultura do trigo e sua importância econômica .....	8
1.2 A cultura do milho e sua importância econômica .....	9
1.3 A cultura do sorgo e sua importância econômica.....	9
1.4 Problemas fitossanitários nas Poáceas.....	10
1.5 O gênero <i>Bipolaris</i> .....	11
1.5.1 <i>Bipolaris bicolor</i> .....	11
1.5.2 Sintomatologia de Helmintosporiose em Poáceas .....	13
1.5.3 Epidemiologia de Helmintosporiose causada por <i>B. bicolor</i> .....	14
1.6 Efeitos físicos sobre os patógenos e no desenvolvimento da doenças .....	14
1.7 Importância da avaliação de virulência x agressividade de populações de patógenos.....	15
1.8 Reações de hipersensibilidade na interação planta-patógeno.....	16
<b>CAPÍTULO I – CARACTERIZAÇÃO DA GERMINAÇÃO IN VITRO DE <i>Bipolaris bicolor</i> SOB INFLUÊNCIA DA LUZ .....</b>	<b>19</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>20</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>21</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>22</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>24</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>25</b>
3.1 Origem das cepas de <i>B. bicolor</i> .....	25
3.2 Avaliação da germinação de esporos de <i>B. bicolor</i> sob influência da luz a 25°C.....	25
3.3 Análises estatísticas .....	25
<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>26</b>
4.1 Germinação de <i>B. bicolor</i> sob influência da luz.....	26
<b>5. DISCUSSÃO .....</b>	<b>30</b>
5.1 Germinação de <i>B. bicolor</i> sob influência da luz.....	30
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>33</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>34</b>

<b>CAPÍTULO II – PATOGENICIDADE E SEVERIDADE DE <i>Bipolaris bicolor</i> EM TRIGO SOB DIFERENTES FOTOPERÍODOS E EM FOLHAS DE MILHO E SORGO.....</b>	<b>37</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>38</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>39</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>40</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>42</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>43</b>
3.1 Origem das cepas de <i>B. bicolor</i> provenientes de trigo .....	43
3.2 Produção de material vegetal para inoculações artificiais em testes de patogenicidade ...	43
3.3 Avaliação de patogenicidade e severidade de <i>B. bicolor</i> em folhas de trigo sob diferentes fotoperíodos a 25°C .....	43
3.4 Avaliação de patogenicidade de <i>B. bicolor</i> em folhas de sorgo e milho sob diferentes fotoperíodos a 25°C .....	44
3.5 Análises estatísticas .....	44
<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>46</b>
4.1 Patogenicidade e Severidade de <i>B. bicolor</i> em trigo sob diferentes fotoperíodos .....	46
4.2 Patogenicidade, severidade e reações de hipersensibilidade de <i>B. bicolor</i> em milho e sorgo .....	48
<b>5. DISCUSSÃO .....</b>	<b>52</b>
5.1 Patogenicidade e Severidade de <i>B. bicolor</i> em trigo sob diferentes fotoperíodos .....	52
5.2 Patogenicidade, severidade e reações de hipersensibilidade de <i>B. bicolor</i> em milho e sorgo .....	54
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>57</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>58</b>
<b>CONCLUSÕES GERAIS .....</b>	<b>62</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>63</b>

## RESUMO

O patógeno *Bipolaris bicolor* apresenta grande importância no ciclo de produção de diversas culturas agrícolas acarretando grandes perdas de produtividade. Afim de construir modelos epidemiológicos de populações de um patógeno é necessário o estudo de sua variabilidade patogênica e as respostas fisiológicas à estímulos de fatores físicos, pois apresenta importância crucial em seu manejo. Neste contexto, objetivou-se realizar a caracterização fisiológica e verificar a patogenicidade de seis cepas de *B. bicolor*. A avaliação fisiológica consistiu na avaliação da influência da luz na germinação conidial. Para tanto, suspensão com concentração de  $1,6 \times 10^5$  conídios/mL de conídios das seis cepas de *B. bicolor* foram inoculados em placas de Petri contendo meio Ágar-água e incubados em dois regimes luminosos: escuro e luminosidade constantes, em delineamento inteiramente casualizado (DIC) em arranjo fatorial 6x2, sendo seis cepas de *B. bicolor* e dois regimes físicos com cinco repetições. Avaliou-se o comprimento do tubo germinativo dos conídios por 5 h. Adicionalmente, para a caracterização do patossistema e sua fisiologia, procedeu-se a avaliação da severidade dos sintomas causados pelas seis cepas em folhas de trigo que foram inoculados através de discos de micélio e submetidas à câmara BOD sob cinco fotoperíodos (12, 14, 16, 18 e 20 h de luz) por seis dias, em DIC em arranjo fatorial 6x5, sendo seis cepas de *B. bicolor* e cinco fotoperíodos, em cinco repetições. Paralelamente, avaliou-se a patogenicidade e a severidade da doença em folhas de milho e sorgo através da inoculação de discos miceliais e incubação por seis dias em câmara BOD. Para avaliação da severidade mediu-se o diâmetro foliar lesionado diariamente e posteriormente foi calculada a Área foliar lesionada (AFL). Os resultados demonstraram que houve influência dos regimes luminosos sobre a germinação dos conídios de *B. bicolor*, sendo o regime de escuro constante o que apresentou a maior comprimento médio do tubo germinativo. Em relação a patogenicidade, quando inoculados em folhas de trigo, todos os isolados apresentaram-se patogênicos e diferenciaram-se quanto à severidade dos sintomas. A cepa F-24-02 foi o que apresentou maior índice de severidade da doença em todos os fotoperíodos. No que tange o fator luminosidade, constatou-se sua influência no patossistema de *B. bicolor*, com redução da AFL com o aumento do tempo diário de exposição à luz. O fotoperíodo de 14 h luz foi o que apresentou a maior redução significativa na severidade da doença, com tendência a estabilização com o aumento das horas de exposição à luz. Em relação a capacidade de infectar outros hospedeiros, as avaliações de patogenicidade demonstraram capacidade patogênica de todos os isolados avaliados em folhas de milho e sorgo, com consideráveis níveis de severidade. Contudo, vale ressaltar que se notou baixa severidade e presença de reações de hipersensibilidade em folhas de sorgo.

**Palavras-chave:** Epidemiologia; Helmintosporiose; *Triticum aestivum*; *Zea mays*; *Sorghum bicolor*

## ABSTRACT

The pathogen *Bipolaris bicolor* is of great importance in the production cycle of several agricultural crops, causing great losses in productivity. In order to build epidemiological models of populations of a pathogen, it is necessary to study its pathogenic variability and physiological responses to stimuli from physical factors, as it is of crucial importance in its management. In this context, the objective was to carry out the physiological characterization and verify the pathogenicity of six strains of *B. bicolor*. The physiological evaluation consisted of evaluating the influence of light on conidial germination. For this purpose, a suspension with a concentration of  $1.6 \times 10^5$  conidia/mL of conidia from the six strains of *B. bicolor* were inoculated into Petri dishes containing agar-water medium and incubated in two light regimes: constant dark and light, in a completely (DIC) in a 6x2 factorial arrangement, with six strains of *B. bicolor* and two physical regimens with five replications. The length of the conidia germ tube was evaluated for 5 h. Additionally, for the characterization of the pathosystem and its physiology, the evaluation of the severity of the symptoms caused by the six strains in wheat leaves that were inoculated through mycelium discs and submitted to the BOD chamber under five photoperiods (12, 14, 16, 18 and 20 h of light) for six days, in DIC in a 6x5 factorial arrangement, with six strains of *B. bicolor* and five photoperiods, in five replications. At the same time, the pathogenicity and severity of the disease were evaluated in maize and sorghum leaves through the inoculation of mycelial discs and incubation for six days in a BOD chamber. To assess severity, the injured leaf diameter was measured daily and subsequently the Injured Leaf Area (AFL) was calculated. The results showed that there was an influence of the light regimes on the germination of the conidia of *B. bicolor*, being the constant dark regime the one that presented the longest average length of the germ tube. Regarding pathogenicity, when inoculated on wheat leaves, all isolates were pathogenic and differed in terms of symptom severity. The F-24-02 strain showed the highest disease severity index in all photoperiods. Regarding the luminosity factor, its influence on the pathosystem of *B. bicolor* was verified, with a reduction of the AFL with the increase of the daily time of exposure to light. The 14 h light photoperiod showed the greatest significant reduction in disease severity, with a tendency to stabilize with increasing hours of light exposure. Regarding the ability to infect other hosts, pathogenicity evaluations showed pathogenic capacity of all isolates evaluated in maize and sorghum leaves, with considerable levels of severity. However, it is noteworthy that low severity and presence of hypersensitivity reactions were noted in sorghum leaves.

**Key-words:** Epidemiology; Helminthosporiosis; *Triticum aestivum*; *Zea mays*; *Sorghum bicolor*

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

### 1.1 A cultura do trigo e sua importância econômica

Pertencente à família das Poáceas, o trigo (*Triticum aestivum* L.) é a segunda cultura agrícola mais produzida em todo o mundo (ZORB et al., 2018). O cereal tem sua relevância na alimentação humana já que seu consumo é responsável por 19% das calorias na dieta humana, pois o grão é rico em carboidratos e tem maior teor de proteínas que outros cereais importantes como o arroz, milho e centeio e também na economia agrícola, devido ao grande crescimento da população mundial tornando-se notória a necessidade pela produção de alimento (LIU et al., 2018).

De acordo com o USDA (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos), a perspectiva de área plantada mundial de 224,6 milhões de hectares e produção para a safra 2021/2022 é de 776,9 milhões de toneladas de trigo (USDA, 2021). Os países que se destacam na produção de trigo são: União Europeia com produção de 138 milhões de toneladas, seguida da China com 136 milhões de toneladas, e em 3º lugar está a Índia com 108 milhões de toneladas. O Brasil se encontra na 15ª posição no ranking com uma estimativa de área de 2,7 milhões de hectares e produção de total de 8.190,8 mil toneladas do grão, com aumento de 31,4% na produção em relação a safra anterior (CONAB, 2021).

O cultivo de trigo nacional predomina-se na região Sul do país, representando 90,4 % da área de produção do Brasil (CONAB, 2021). Isto reflete as condições climáticas da região Sul que apresenta outono e inverno frios e com umidade relativa possibilitando a triticultura. Entretanto, para suprir a demanda interna, o Brasil importou 605,7 milhões de toneladas em 2019 (CONAB, 2021). Apesar da grande dependência da importação de trigo, o Brasil possui um enorme potencial para aumentar a produção de grãos desta cultura (FIOREZE et al. 2020).

Uma alternativa de expansão da atividade tritícola no país é o grande potencial na região de Cerrado do Brasil Central, principalmente, devido à localização geográfica, clima, topografia, extensão de área e disponibilidade de cultivares adaptadas (PASINATO et al. 2018; CHAGAS et al., 2021). Nessa região, formada pelo Distrito Federal e pelos estados de Minas Gerais e Goiás e parte dos Estados da Bahia e Mato Grosso, o trigo pode ser cultivado no inverno, na estação seca, com irrigação, ou sem irrigação, em cultivo de sequeiro, no final da estação das águas, em sucessão à safra de verão, no período da “safrinha” (CHAGAS et al., 2021). Estudos apresentam a potencialidade da região apresentando produtividades de trigo de até 5.302 kg ha<sup>-1</sup> e 3600 kg ha<sup>-1</sup> sob diferentes condições hídricas (SOARES et al., 2021; SILVA et al., 2020).

## 1.2 A cultura do milho e sua importância econômica

O milho (*Zea mays* L.) é o cereal mais cultivado no mundo. Estima-se uma produção mundial na safra 2021/2022 na ordem de 1,14 bilhão de t ha<sup>-1</sup>. Atualmente, o maior produtor mundial de milho são os Estados Unidos, acompanhado por China e, posteriormente, o Brasil em segundo e terceiro lugares, respectivamente (USDA, 2021). Um levantamento realizado pela FAOSTAT (2021) indicou que 49,2% da somatória mundial de grãos de milho, foi produzida no continente americano, seguidamente por Ásia, Europa, África e Oceania com respectivamente 32,1%, 11,6%, 7,1% e 0,05%.

No Brasil a cultura do milho tem alcançado maior produção na segunda safra, onde é denominado como milho safrinha. A área total plantada no Brasil é de 20,8 milhões de hectares, com uma produção total estimada, na safra 2021/22, de 116,3 milhões de toneladas de milho (CONAB, 2021). O estado do Goiás, corresponde por cerca de 12,3% aproximadamente, do montante dessa produção e, apresenta a terceira maior produção brasileira, sendo que a produção é maior na 2ª safra (CONAB, 2021). A maior parte da produção brasileira de milho é designada ao consumo interno (67,2%) em particular pela commodity ser utilizada na alimentação animal (CONAB, 2021).

## 1.3 A cultura do sorgo e sua importância econômica

O sorgo *Sorghum bicolor* (L.) Moench, é uma espécie da variedade granífero, monocotiledônea de origem tropical, pertencente à família Poaceae, originário da África, apesar de evidências que possa ter vindo de duas regiões, sendo África e Índia (RODRIGUES et al., 2015). Se encontra sendo cultivada em quase todas as partes do mundo. Atualmente o sorgo é um dos cereais mais produzidos no mundo, depois do milho, do trigo, do arroz e da cevada, ficando em quinto lugar na produção mundial (USDA, 2021). É uma cultura que vem sendo muito utilizada em cultivo de safrinha, plantado após a colheita de soja, algodão, milho e outras culturas de safra, por ser pouco exigente em pluviosidade, produzindo com pouco índice de chuva (RODRIGUES et al., 2015)

O plantio de sorgo vem ganhando espaço no plantio da safrinha, principalmente por apresentar rusticidade hídrica e nutricional. Estima-se para a safra 2021/2022 uma área plantada de 2,70 milhões de hectares de sorgo no Brasil com produtividade média de 3.027 kg ha<sup>-1</sup>, totalizando 8,190 milhões Mg de grãos, sendo o país hoje o 9º maior produtor do mundo (CONAB, 2021).

#### 1.4 Problemas fitossanitários nas Poáceas

A produtividade de cultivos de cereais em todo o mundo é limitada por vários estresses bióticos, sendo as doenças um dos principais fatores redutores de produção em todo o mundo (SINGH et al., 2016). Na produção de trigo, por exemplo o número total de doenças do trigo ultrapassa 200, mas 50 doenças causam perdas econômicas e são amplamente distribuídas (JARROUDI et al., 2017; SHARMA et al., 2017). A cada ano, cerca de 20% do trigo é perdido devido a doenças. Algumas das principais doenças do trigo são ferrugem (*Puccinia recondita*), helmintosporiose (*Bipolaris sorokiniana*), podridão raiz comum (*Bipolaris sorokiniana*; *Fusarium graminearum*), mancha de *Septoria* (*Septoria tritici*), oídio (*Erysiphe graminis*), Giberela (*Fusarium graminearum*) e uma série de doenças virais, nematóides e bacterianas (REIS et al., 2016; ABDULLAH et al., 2020; ABOUKHADDOUR et al., 2020; GULTYAEVA et al., 2020).

No contexto fitossanitário, o sorgo é suscetível a várias doenças, muitas das quais podem ser limitantes à sua produção, dependendo das condições ambientais e da suscetibilidade do cultivar. A cultura do sorgo pode ser atacada por patógenos causadores de doenças foliares, do colmo, da panícula, por agentes causais de doenças sistêmicas, além de fungos de solo causadores de podridões radiculares. Dentre as doenças que afetam a cultura do sorgo no Brasil, podem ser citadas como mais importantes as seguintes: antracnose (*Colletotrichum sublineolum*); míldio (*Peronosclerospora sorghi*); helmintosporiose (*Exserohilum turcicum*); ferrugem (*Puccinia purpurea*); ergot ou doença açucarada (*Claviceps africana*); e podridão seca causada pelo *Macrophomina phaseolina*. (COTA et al., 2010; PANIZZI & FERNANDES, 2016)

Semelhantemente, as doenças fúngicas apresentam grande importância no ciclo de produção do milho, principalmente nos plantios de segunda safra. As principais doenças são Cercosporiose, Mancha Branca, Ferrugem Polísora (*Puccinia polysora*), Ferrugem Tropical ou Ferrugem Branca (*Physopella zae*), míldio (*Peronosclerospora sorghi*); Carvão comum (*Ustilago maydis*), Mancha marrom (*Physoderma maydis*); Helmintosporiose (*Bipolaris maydis*) (PEREIRA, 2016).

Incidente nas três culturas, a Helmintosporiose ou também denominada manchas de *Bipolaris* apresenta-se como uma doença de grande importância no cultivo das poáceas. A doença é comum em todos os continentes (GULTYAEVA et al., 2018; GUPTA et al., 2018a; GUPTA et al., 2018b), acarretando perdas de produtividade, que resultam em grandes impactos econômicos nas regiões produtoras destes cereais (SULTANA et al., 2018). As perdas devido à helmintosporiose são altas, especialmente nas áreas mais quentes do mundo, chegando a atingirem 16%-43% (AYANA et al., 2018; DEVI et al., 2018).

## 1.5 O gênero *Bipolaris*

O gênero *Bipolaris* inclui mais de 100 espécies catalogadas, com capacidade de infectar aproximadamente 70 espécies de hospedeiros pelo mundo inteiro (SUN et al., 2020). Dentre as espécies do gênero que são de considerável importância econômica, destacam-se: *B. oryzae*, *B. maydis* e *B. sorokiniana*, infectantes em arroz, milho, sorgo e trigo, respectivamente, além de apresentarem grande adaptabilidade e grande ocorrência em diversas espécies, o que acarreta perdas significativas nas plantações de cereais (AL-SADI et al., 2021).

Essas espécies são comumente associadas a manchas foliares, manchas nas folhas, derretimento, podridões nas raízes, podridões nos pés e outros sintomas de doenças, principalmente em lavouras de alto valor na família Poaceae, incluindo arroz, milho, trigo e sorgo e em várias outras plantas hospedeiras (MANANGODA, 2014; AL-SADI et al., 2021). Doenças devastadoras causadas por espécies de *Bipolaris* em culturas básicas como arroz e trigo têm sido a causa de fomes históricas, resultando na fome de grandes populações humanas em várias regiões do mundo. A distribuição global de espécies fitopatogênicas comuns de *Bipolaris* pode ter resultado da transferência de commodities agrícolas, incluindo plantas e sementes, através das fronteiras geográficas (ZHANG et al., 2013).

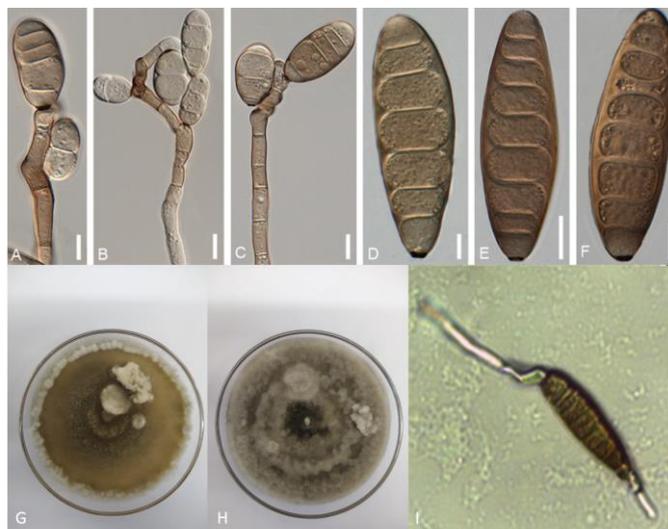
Neste contexto, uma espécie que está apresentando destaque, nos últimos tempos é a *Bipolaris bicolor* que tem sido reportada infectando diversas espécies vegetais, principalmente da família das Poáceas pelo mundo, como por exemplo, Austrália, Índia, África, Canadá, Costa do Marfim, Dinamarca, Nova Zelândia, Nigéria, Suazilândia, Zimbábue (MANANGODA, 2014; LIANG et al., 2019). No Brasil, existem relatos de sementes de sorgo e trigo infectadas (CARVALHO et al., 2014; PEIXOTO et al., 2018), caracterizando-se como uma espécie que apresenta versatilidade de hospedeiros e com potencial de ocasionar possíveis infecções cruzadas em hospedeiros de diferentes famílias botânicas (LIANG et al., 2019).

### 1.5.1 *Bipolaris bicolor*

Pertencente ao Reino Fungi, Filo Ascomycota, Classe Dothideomycetes, Ordem Pleosporales, Família Pleosporaceae, Teleomorfo: *Cochliobolus bicolor* A.R. Paul & Parbery, anamofa: *Bipolaris bicolor*, sinónímia *Drechslera bhawanii*, *Drechslera bicolor*, *Helminthosporium bicolor* (PAUL & PARBERY, 1966). A taxonomia de *Cochliobolus* é um pouco confusa devido às mudanças frequentes na nomenclaturas que ocorreram nos estados sexuais e assexuados de espécies nas últimas décadas (WAILL et al., 2021). Ao gênero *Cochliobolus*, está agora ligada com as espécies dos gêneros anamorfos *Bipolaris* sp. e

*Curvularia* sp. (ROSSMAN et al. 2013; MANANGODA et al., 2014). A morfologia sexual de *Bipolaris* não é comum na natureza, mas ocasionalmente é produzida em condições de laboratório (TSUDA & UEYAMA, 1985; SULTANA et al., 2018). Embora *Cochliobolus* (1934) seja o nome mais antigo, *Bipolaris* (1959) é mais frequentemente usado por fitopatologistas em relatos de doenças e amplamente aplicado na literatura taxonômica (ROSSMAN et al. 2013; MANANGODA et al., 2014; GUPTA et al., 2018b; WAILL et al., 2021).

Em destaque, a espécie *Bipolaris bicolor* apresenta conidióforos com dimensões variando  $150\text{--}490 \times 5\text{--}7 \mu\text{m}$ , surgindo isoladamente ou em pequenos grupos, simples ou ramificados, lisos septados, retos ou flexuosos, geniculados no ápice com cicatrizes conidiais marrom acinzentados, em culturas de lâmina de BDA (Figura 1 A-C) (MANAMGODA et al., 2014). Os conídios apresentam-se solitários ou em pequenos grupos com dimensões de  $40\text{--}70 \times 15\text{--}19 \mu\text{m}$  liso, reto, raramente curvo, geralmente cilíndrico às vezes obclavado, afinando em direção às extremidades arredondadas, acinzentado a marrom acinzentado escuro, hialino quando imaturo, na maturidade geralmente duas células finais mais claras que as células médias, às vezes sub-hialino, de 4–9 distoseptato bem visíveis, com primeiro septo conidial mediano, o segundo delimitando a célula basal e o terceiro distal (Figura 1 D-F); germinação bipolar, desenvolvendo tubo germinativo a partir da célula terminal (Figura 1I) (ÜNAL et al., 2011; MANAMGODA, 2014).



**Figura 1.** *Bipolaris bicolor*. A – C. Conidióforo do isolado (CBS 690.96) com conídios em formação. D – F. Conídios do isolado (CBS 690.96). G-H Colônias dos isolados F-24-03 e F-24-04 com diferentes tonalidades aos 6 dias após incubação. I) Conídio de *Bipolaris bicolor* apresentando tubo germinativo bipolar após 5 horas de incubação. Barras de escala: A – C = 10  $\mu\text{m}$ , D = 5  $\mu\text{m}$ , E – F = 10  $\mu\text{m}$ . Fonte: A-F) Manangoda et al. (2014).

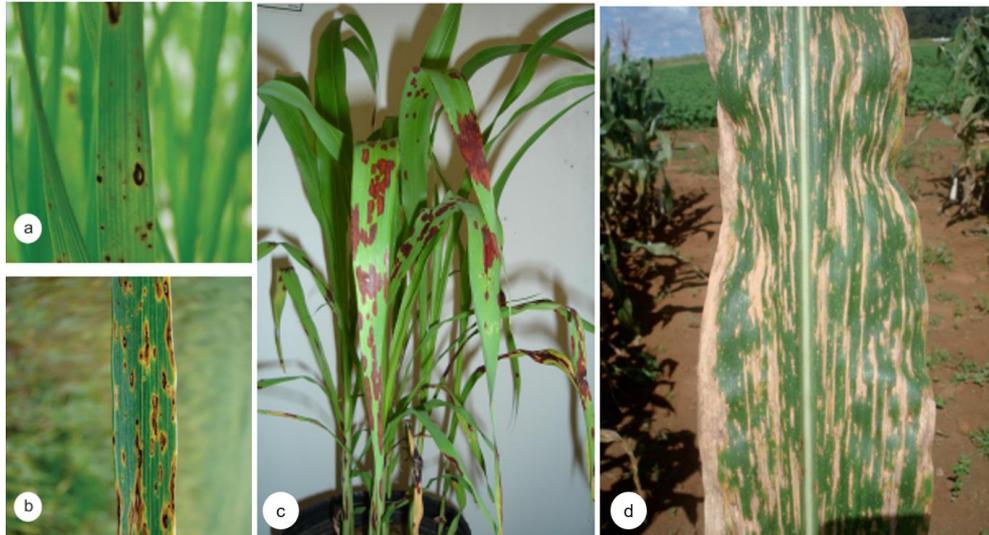
As colônias isoladas apresentam crescimento rápido, atingindo um diâmetro de 3 a 9 µm na temperatura ideal de (25°C) e fotoperíodo 12 horas, tornando-se madura dentro de 5 dias em meio Batata Dextrose Ágar (BDA). A superfície da colônia apresenta textura aveludada para lanoso e sua coloração inicialmente esbranquiçada, ficando com tonalidade marrom-avermelhado, verde-oliva a preto com uma periferia acinzentada esbranquiçada quando amadurece, com margem inteira ou ondulada (Figura 1G-H) (SILVA, 2015).

### 1.5.2 Sintomatologia de Helminthosporiose em Poáceas

O fungo *Bipolaris* sp. infecta todos os órgãos das plantas de trigo. Os sintomas iniciais são observadas como lesões necróticas pardas, com 1 a 2 mm de comprimento, sobre a superfície do limbo foliar das primeiras folhas (Figura 2a), em consequência das transmissão por sementes que progridem e tomam formato oval alongado, de cor marrom escuro (Figura 2b). Nas demais folhas podem aparece, dois tipos de sintomas: lesões retangulares e escuas ou elípticas e cinzas. Geralmente, as lesões são circundadas por um halo amarelo. O fungo ataca também as espigas, causando escurecimento das glumas, e atinge os grãos, que ficam enrugados e com sintoma de "ponta preta" (REIS et al., 2016; AL-SADI et al., 2018).

Em sorgo, os sintomas aparecem nas folhas como lesões necróticas, elípticas (5-10 cm de comprimento) com bordos bem definidos (Figura 2c) e de coloração palha, tornando-se acinzentada quando o fungo frutifica. As lesões variam de acordo com o nível de resistência do hospedeiro. Em cultivares suscetíveis, a coalescência de lesões da as folhas um aspecto de queima, levando-as à morte (PANIZZI & FERNANDES, 2016).

Na cultura do milho, *Bipolaris maydis* pode ocasionar dois tipos de lesões. As lesões causadas pela raça O do patógeno são alongadas, medindo 0,2-0,6 cm de largura por 0,5-2,0 cm de comprimento, de coloração marrom-claro a marrom-castanho com bordos paralelos, podendo apresentar uma coloração mais escura ao centro (Figura 2d). As lesões causadas pela raça T medem 0,6-1,2 cm de largura por 0,6-2,7 cm de comprimento, de forma elíptica ou fusiforme, com coloração castanha, podendo ocorrer as formas de halos cloróticos (PEREIRA, 2016)



**Figura 2.** a-b) Mancha-marrom causada por *Bipolaris* spp. em trigo, c) Sintoma de helmintosporiose em sorgo, d) Sintoma de helmintosporiose em milho. Fonte: a-b) Lau et al. (2015); c) Cúndom et al. (2013); Costa et al. (2014).

### 1.5.3 Epidemiologia de Helmintosporiose causada por *B. bicolor*

A helmintosporiose causada por *Bipolaris* spp. ocorre nas variedades de poáceas principalmente em regiões temperadas quentes e tropicais mais quentes, com temperaturas variando de 18 a 27°C e alta umidade, principalmente com a formação de orvalho (FARR & ROSSMAN, 2013, REIS et al., 2016). As principais fontes de inóculo primário são as sementes (PEIXOTO et al., 2018), restos culturais de poáceas, plantas voluntárias, como por exemplo, Teosinte, *Paspalum* sp. e *Zea* spp., hospedeiros secundários e conídios dormentes no solo. Os agentes de disseminação são as sementes, vento e respingos de chuva. A fonte de inóculo mais abundante são os restos culturais que quando estes são deixados na superfície do solo, como ocorre no sistema de plantio direto, e sob monocultura, a intensidade da doença é máxima. Sob clima úmido é abundante a frutificação do patógeno em lesões velhas de culturas vizinhas o que pode acarretar a contaminação cruzada entre as espécies (PEREIRA et al., 2016; REIS et al., 2016).

### 1.6 Efeitos físicos sobre os patógenos e no desenvolvimento das doenças

No desenvolvimento de uma epidemia, diversos aspectos abióticos contribuem de maneira sinérgica na regulação da expressão da virulência do microrganismo, como por exemplo, a molhabilidade, os nutrientes e condições ambientais, tais como: período de incubação, temperatura, pH, luminosidade, dentre outros (ZOU et al., 2020). Em relação a esses estresses abióticos, os microrganismos devem lidar diariamente com diferentes regimes

dia / noite (que criam uma ampla gama de flutuações de temperatura), exposição à luz solar (que inclui radiação UV), disponibilidade de água e umidade, presença de vento e sal, fatores que alteram a transdução e regulam as respostas da expressão gênica dos patógenos (CARVALHO et al., 2018). Essas regulações são perfeitamente capazes de mudar as formas de crescimento, morfologia colonial, germinação conidial (Zheng et al., 2020) e estimulação de virulência nos fitopatógenos (CARVALHO et al., 2018)

Estudos já demonstraram que, por exemplo, a temperatura ambiente é um estresse ambiental onipresente afetando o crescimento fúngico. A temperatura pode afetar dramaticamente a germinação dos esporos (TRECATE et al., 2019), crescimento micelial e reprodução (ZHENG et al., 2020) e morfologia da colônia (LI & NIELSEN, 2017). Para fungos patogênicos já foi evidenciado que a temperatura e suas cascatas de sinalização relacionadas regular a morfogênese, que afeta diretamente os fatores de virulência do patógeno (O'MEARA & COWEN, 2014).

Outro exemplo de importante sinal que pode ser percebido por organismos é a luz visível. Estudos afirmam que a sinalização de luz regula as vias metabólicas em fungos (KAMADA et al., 2010; TISCH & SCHMOLL, 2010). A luz visível pode acionar uma via molecular, gerando uma resposta ao estresse oxidativo, que leva ao crescimento micelial reprimido de algumas espécies de fungos, e também desempenha um papel como o sinal de luz ultravioleta (UV) mais prejudicial (FULLER et al., 2015). Estudos anteriores relataram que a luz pode reprimir o crescimento micelial de vários fungos, como *Botrytis cinerea* (HEVIA et al., 2015), *Aspergillus fumigatus* (FULLER et al., 2013), e *Cordyceps militaris* (YANG & DONG, 2014). Já no aspecto de conidiação e infecção, seu efeito não foi consistente entre as diferentes espécies de fungos, que apresentam grande expressão isolado-dependente.

Neste contexto, percebe-se que os fatores ambientais e dependentes das plantas contribuem significativamente nas interações planta-patógeno, e percebe-se que ainda existem lacunas a serem pesquisadas na maioria das espécies de fitopatógenos, principalmente pela maioria das respostas aos efeitos abióticos apresentarem expressão variáveis à cada espécie e até mesmo sendo, isolado-dependente (MILAN et al., 2021; ZHENG et al., 2020).

### **1.7 Importância da avaliação de virulência x agressividade de populações de patógenos**

Os organismos vivos, em especial os microorganismos apresentam uma característica fundamental para adaptação aos diferentes ambientes: a plasticidade fenotípica - que é a capacidade de um determinado genótipo de produzir diferentes fenótipos em vários ambientes (ZHENG et al., 2020). A base molecular da plasticidade fenotípica é a expressão gênica

diferencial desencadeada por mudanças ambientais (ALVAREZ et al., 2015), que podem incluir respostas de sinal precoces, transdução de sinal e regulação da expressão gênica (LENGELER et al., 2000). A expressão gênica pode ser regulada em vários estágios, incluindo epigenético (FELSENFELD & GROUDINE, 2003), transcricional (TUCH et al., 2008), e pós-transcricional (PALAZZO & LEE, 2015).

A variabilidade patogênica é consequência do esquema de desenvolvimento da doença. A patogenicidade se refere ao conjunto de habilidades causadoras de doenças específicas e inespecíficas (SULTANA et al., 2018). Neste contexto, estudos conduzidos para caracterizar a variabilidade patogênica de isolados de *Bipolaris* sp. de áreas geográficas distintas mostraram que existem diferenças significativas na resposta do hospedeiro. Além disso, especificamente nas culturas das póaceas os estudos apontam a existência de diferentes habilidades e níveis de virulência e a agressividade dentro das espécies do gênero *Bipolaris* sp (SULTANA et al., 2018; GAMBA et al., 2019; VERMA et al., 2020).

### **1.8 Reações de hipersensibilidade na interação planta-patógeno**

Na infecção do tecido vegetal por patógenos fúngicos, os microrganismos lançam mão dos chamados eliciadores, também designados como efetores que são componentes do patógeno que promovem a sua infecção e proliferação em certos hospedeiros. A maioria dos efetores são proteicos ou metabólitos e fúngicos os efetores às vezes são descritos como toxinas (SAUR et al., 2020). As funções moleculares de vários efetores fúngicos em seu apoplasto hospedeiro já foram descritos em detalhes (HE et al., 2020; LO PRESTI et al., 2015).

No hospedeiro, a sinalização da presença de eliciadores dos fungos é realizada por receptores específicos a resistência da planta ao ataque de patógenos da presença de efetores, a matriz de ações de defesa é ativada e acompanhada por respostas de defesa em várias camadas (NOMAM et al., 2020). Os distintos constituintes da defesa as respostas incluem o uso de arsenal químico e barreiras estruturais, e. enzimas hidrolíticas, deposição de lignina e mudanças nas proteínas da parede celular etc. (DIXON et al., 1994). Como estratégia de sobrevivência, o reconhecimento de patógenos invasores pela planta desencadeia respostas imunológicas frequentemente complementadas por um tipo de morte celular denominado como resposta de hipersensibilidade (RH). Muito comumente, fungos, oomicetos, bactérias e vírus são indutores de RHs mas também pode ser induzido por insetos ou nematóides (BALINT-KURTI, 2019). Essa resposta imunológica ocorre em função do reconhecimento da infecção, por parte do hospedeiro, como consequência da incompatibilidade entre a planta e o patógeno. Desse modo, a reação de hipersensibilidade ocorre somente em interações

incompatíveis envolvendo a infecção da planta pelos diversos tipos de patógenos (IAKIMOVA et al., 2005; PITSILI et al., 2019).

Neste contexto, a reação de hipersensibilidade pode ser caracterizada como uma resposta celular extrema por parte da planta, podendo levar a um alto grau de resistência à doença. A RH resulta na morte repentina de um número limitado de células do hospedeiro que circunda os sítios de infecção (SAUR et al., 2020). A reação é considerada a preparação da defesa da planta para sucessivas respostas de defesa induzida, culminando na parada do crescimento e do desenvolvimento do patógeno nos tecidos da planta (NOMAM et al., 2020). Sendo um fenômeno muito controlado, a RH envolve ações e reações metabólicas, bem como reguladores em diferentes níveis que a tornam eficiente na resposta de defesa. Assim, a reação é vista como uma espécie de “suicídio” de algumas poucas células da planta em prol da sobrevivência das demais, o que a torna um dos mecanismos de defesa mais importantes nas plantas (IAKIMOVA et al., 2005; CHOI & HWANG, 2015).

Após a chegada do patógeno na planta resistente, as células infectadas rapidamente perdem o turgor, tornando-se geralmente com coloração marrom (devido à oxidação de fenóis) e morrem. Embora a morte durante o RH possa ser limitada a região do tecido em interação direta com um patógeno, mas também pode inflar longe do local original da infecção (KACPRZYK & DALY, 2011). Manipulação genética de RH revela que é um fenômeno generalizado sob estrito controle para evitar a morte celular longe do local da infecção e exibir apoptose assemelhando-se a atributos (PITSILI et al., 2019; GALLUZZI et al., 2018). O processo de morte celular na reação de hipersensibilidade é caracterizado pela agregação do citoplasma, pela parada dos movimentos citoplasmáticos, pela perda da permeabilidade das membranas (devido à despolarização destas, com a consequente perda de eletrólitos para o espaço extracelular), pela degeneração do núcleo e das organelas, além de aumentos acentuados da respiração e de acúmulo de compostos fenólicos e de fitoalexinas, alertando as células vizinhas para que estejam prontas para lidar com a (s) invasão (ões) potencial (is) (NOMAM et al., 2020).

Este processo de morte celular por RH em plantas tem se concentrado como uma grande alternativa de defesa de plantas cultivadas contra biotróficos ou hemibiotróficos (SAUR et al., 2020; NOMAM et al., 2020). Estudos afirmam que a RH geralmente está associada à resistência específica da raça a patógenos biotróficos (patógenos que derivam da nutrição de tecidos vivos). Contudo, geralmente é menos eficaz contra, e pode realmente ser benéfico para, necrotróficos que requerem tecido do hospedeiro morto para completar seu ciclo de vida. A situação é mais complexa no caso de hemibiotróficos como *Phytophthora infestans*, *Colletotrichum graminicola* e *Bipolaris* sp. (respectivamente, os agentes causais da

requeima da batata, antracnose e manchas foliares em muitos cereais) nos quais as primeiras interações com o hospedeiro são biotróficas, mas posteriormente mudam para um estilo de vida necrotrófico. Nesses casos, o RH pode ser benéfico para o hospedeiro no início, mas não no final da interação (JUPE et al., 2013; BALINT-KURTI, 2019).

**CAPÍTULO I – CARACTERIZAÇÃO DA GERMINAÇÃO *IN VITRO* DE *Bipolaris*  
*bicolor* SOB INFLUÊNCIA DA LUZ**

## RESUMO

Os estudos de variabilidade patogênica e as respostas fisiológicas à estímulos de fatores físicos, é primordial para conhecimento do comportamento do patossistema dos microrganismos e apresenta importância crucial no manejo de doenças. Neste contexto, objetivou-se avaliar o comportamento da germinação de esporos de seis cepas de *Bipolaris bicolor* sob influência da luz a 25°C. Para tanto, suspensão de  $1,6 \times 10^5$  conídios/mL das seis cepas de *B. bicolor* foram inoculados em placas de Petri contendo meio de cultura Ágar-água e incubadas em câmara BOD sob dois regimes: escuro e luminosidade constantes por 5 h, em delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial 6x2, sendo seis cepas de *B. bicolor* e dois regimes físicos com cinco repetições. Avaliou-se o comprimento do tubo germinativo dos conídios, realizando medidas a cada hora. Os dados foram submetidos a análise de variância, análise de regressão e ao teste Scott Knott ( $p \leq 0,05$ ). Os resultados demonstraram que a luz influenciou significativamente sobre a germinação conidial de *B. bicolor*. O regime de escuro constante proporcionou maior crescimento médio do tubo germinativo do patógeno. Contudo, não se verificou diferença no percentual de germinação final de todas as cepas. A cepa F-24-02 foi o que demonstrou maior adaptabilidade de germinação ao regime de escuro constante, apresentando os maiores comprimentos de tubo germinativo. Portanto, inferiu-se que a espécie apresenta maior adaptabilidade de germinação conidial no regime de escuro.

**Palavras-chave:** Epidemiologia; luminosidade, fisiologia de fungos.

## ABSTRACT

Studies of pathogenic variability and physiological responses to stimuli from physical factors are essential for understanding the behavior of the pathosystem of microorganisms and are of crucial importance in the management of diseases. In this context, the objective was to evaluate the behavior of spore germination of six strains of *Bipolaris bicolor* under the influence of light at 25°C. For that, suspension of  $1.6 \times 10^5$  conidia/mL of the six strains of *B. bicolor* were inoculated in Petri dishes containing agar-water culture medium and incubated in a BOD chamber under two regimes: constant dark and light for 5 h, in a completely randomized design in a 6x2 factorial arrangement, with six strains of *B. bicolor* and two physical regimens with five replications. The length of the conidia germ tube was evaluated, taking measurements every hour. Data were submitted to analysis of variance, regression analysis and the Scott Knott test ( $p \leq 0.05$ ). The results showed that light significantly influenced the conidial germination of *B. bicolor*. The constant dark regime provided the highest average growth of the pathogen's germ tube. However, there was no difference in the percentage of final germination of all strains. The strain F-24-02 was the one that showed the greatest adaptability of germination to the constant dark regime, presenting the longest germ tube lengths. Therefore, it was inferred that the species presents greater adaptability of conidial germination in the dark regime.

**Keywords:** Epidemiology; luminosity, fungal physiology.

## 1. INTRODUÇÃO

Uma das causas importantes de redução da produtividade dessas poaceas em todo o mundo é a ocorrência de diversas doenças (SINGH et al., 2016). Dentre essas doenças, destaca-se a Helminthosporiose causada por um complexo de espécies de patógenos dos gêneros *Helminthosporium*, *Bipolaris* e *Drechslera* que incitam sintomas que aparecem primeiro como pequenas manchas marrons nas folhas e que se alargam em formas elípticas, ou manchas marrons escuras uniformes com halos amarelos distintos, mas podendo posteriormente coalescer em marrom escuro irregular com áreas necróticas (GHAZVINI, 2018), o que acarreta muitas perdas nas plantações de cereais, reduzindo significativamente a produtividade e resultando em grave impacto econômico (SULTANA, 2018).

O fungo do gênero *Bipolaris* sp. (teleomorfo: *Cochliobolus* sp.), possui mais de 100 espécies catalogadas, tratando-se de um importante gênero que é relatado como fitopatógeno à aproximadamente 70 espécies de hospedeiros pelo mundo inteiro (SUN et al., 2020), podendo sobreviver saprotificamente ou também infectando sementes de plantas cultivadas (CARVALHO et al., 2014; PEIXOTO, 2018). Dentre as espécies do gênero *Bipolaris* que são de considerável importância econômica, destacam-se: *B. oryzae*, *B. maydis*, *B. bicolor*, e *B. sorokiniana*, que apresentam grandes ocorrências em diversas espécies e acarretam perdas significativas em plantações de cereais (MANAMGODA et al., 2014; SUN et al., 2020).

No contexto da ocorrência de doenças, a primeira etapa do sucesso da infecção e colonização do tecido do hospedeiro por fitopatógenos fúngicos é a fixação dos esporos ao tecido vegetal do hospedeiro, seguida pela germinação, formação de apressório e penetração por meio de um tubo de infecção (WANG e DEWDNEY, 2019). Esses processos são afetados por muitos fatores abióticos, como molhabilidade, nutrientes e condições ambientais, tais como: período de incubação, temperatura, pH, luminosidade, dentre outros (WANG e DEWDNEY, 2019; TRECATE et al., 2019; ZOU et al., 2020). De modo que a interação entre plantas, fitopatógenos e o ambiente exerce forte influência no desenvolvimento de uma epidemia. Assim, pode-se afirmar que o ambiente é um dos mais importantes, pois pode regular o desenvolvimento de doenças, e até mesmo impedir a ocorrência mesmo quando hospedeiros suscetíveis e patógenos virulentos estão presentes na mesma área (PANDITI et al., 2020).

Pesquisas direcionadas aos efeitos da luz na fisiologia de fungos evidenciam que as concentrações de esporos no ar dentro do dossel da planta são maiores à noite do que durante o dia para uma grande variedade de fungos (ROBERTS e PAUL, 2006). Este fenômeno é frequentemente atribuído a fatores meteorológicos do período noturno, ou seja, temperatura mais baixa, umidade relativa mais elevada e presença de orvalho. É importante notar,

entretanto, que variações na periodicidade foram relatadas. Isso, porque alguns fungos filamentosos, por exemplo, liberam a maioria de seus esporos durante o dia, enquanto outros exibem padrões diurnos mais complexos (ROBERTS e PAUL, 2006), ou seja, cada espécie apresenta um padrão fisiológico diferente de resposta aos fotoperíodos expostos (ZOU et al, 2020). Segundo Sheehy e Huguelet (1967), a espécie *Bipolaris sorokiniana* apresenta pico diário de esporos no ar acima de um dossel de trigo entre 13:00 h e 16:00 h, após 10 ou mais horas de luminosidade. Em contraponto, Marine et al. (2018), avaliando o efeito da duração do escuro sobre a patogenicidade de *Calonectria pseudonaviculata* sob condições controladas relataram que um período inicial de escuridão aumentou a germinação de conídios de *C. pseudonaviculata*.

Para o desenvolvimento de um modelo epidemiológico de populações de um patógeno é necessário o estudo de sua variabilidade patogênica e as respostas fisiológicas à estímulos de fatores físicos, pois apresenta importância crucial em seu manejo (MARINE et al., 2018; SULTANA et al., 2018; BUDIARTI et al., 2019). Assim, percebe-se uma carência de informações do fungo *Bipolaris* spp. que tem sido caracterizado por uma variação contínua na expressão dos sintomas (SUN et al., 2020), mas poucas especializações fisiológicas e comportamento de populações de isolados do patógeno foi demonstrada. Deste modo, a caracterização epidemiológica do desenvolvimento da doença causada por *Bipolaris* spp. apresenta-se como um tópico necessário para o empreendimento de pesquisas em nosso país e no mundo.

## 2. OBJETIVOS

Objetivou-se avaliar a influência da luz no comportamento da germinação de esporos de seis cepas de *Bipolaris bicolor*.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Origem das cepas de *B. bicolor*

Foram utilizadas seis cepas de *B. bicolor* provenientes de sementes de trigo (F-24-01, F-24-02, F-24-03, F-24-04, F-24-05, F-24-06), previamente identificadas taxonomicamente por Menezes (2021) e pertencentes à micoteca particular da Universidade Estadual de Goiás, Unidade Universitária Ipameri, Ipameri, Goiás, Brasil. As cepas puras encontram-se preservados em meio BDA a uma temperatura de 5°C pelo método de Castellani. As cepas foram reativadas para os experimentos subsequentes, em meio BDA, a partir das amostras mantidas em baixa temperatura em freezer do Laboratório de Fitopatologia da UEG.

#### 3.2 Avaliação da germinação de esporos de *B. bicolor* sob influência da luz a 25°C

Para os testes de germinação das seis cepas foram utilizadas placas de Petri descartáveis de 60 mm Ø contendo meio ágar-água (AA) e 100 µL da suspensão de esporos que correspondeu a  $1,6 \times 10^5$  conídios/mL de cada cepa fúngico. Em seguida, as placas foram levadas para câmara BOD a 25°C sob dois regimes de luz (claro e escuro), empregando-se lâmpadas fluorescentes de 20W, 75RS (marca Philips®). Para verificar a germinação dos esporos, as placas foram posicionadas em microscópio de luz para a visualização, onde foi medido o comprimento do tubo germinativo de cinco esporos por placa durante cinco horas, sendo estas medições realizadas a cada uma hora utilizando o microscópio de luz Leica DM500 e o programa LAS EZ 2.0 (40x). O percentual de conídios germinados em cada regime foi calculado através da fórmula (número de conídios germinados / número total de conídios analisados) x 100.

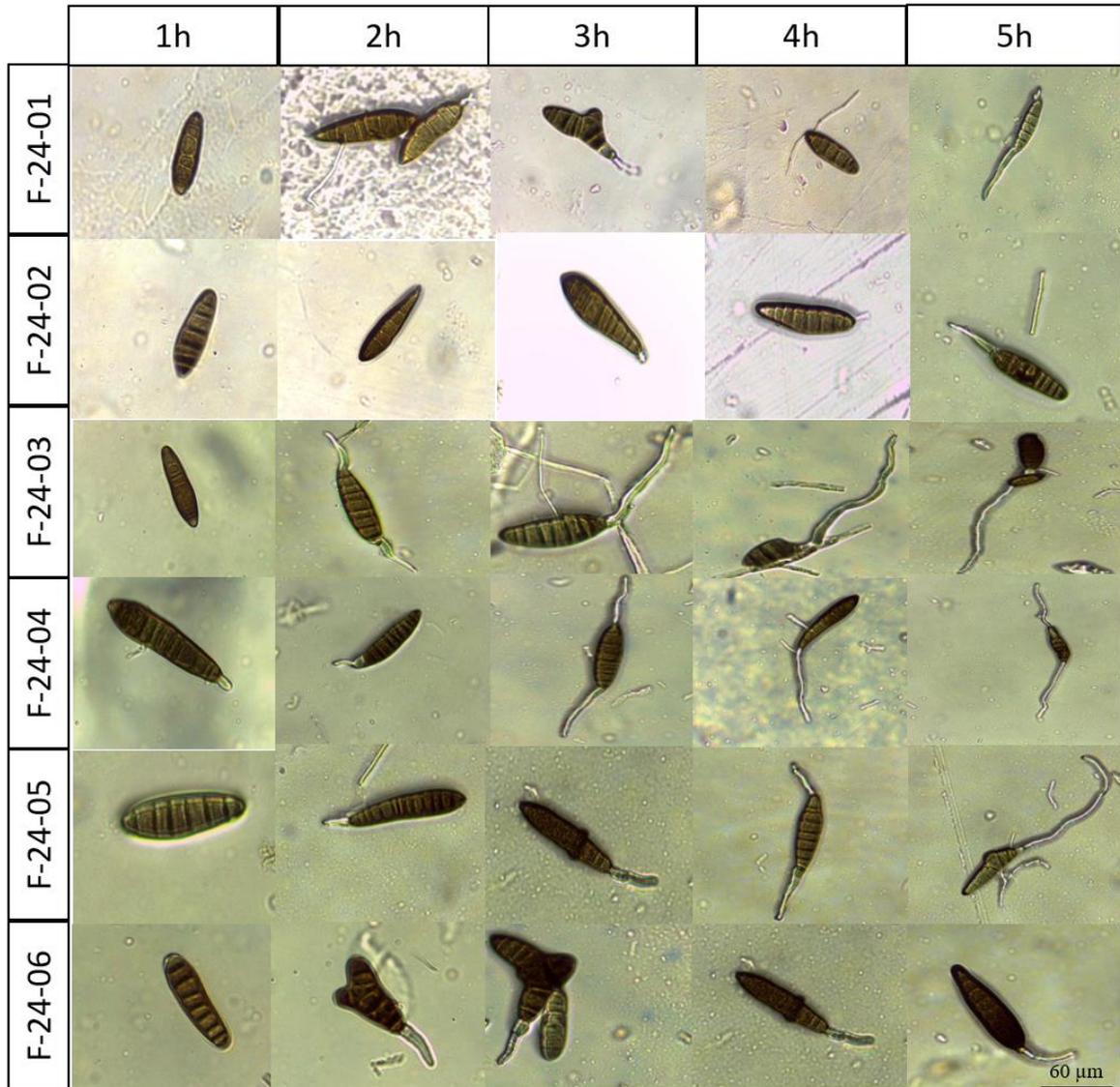
#### 3.3 Análises estatísticas

Os resultados relativos aos testes de germinação (1 a 5 h), com as cepas de *B. bicolor* foram submetidos à análise de variância (ANAVA), ao teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ) para verificar as diferenças entre as cepas e também a análise de regressão em função do tempo de germinação para obtenção de padrões germinativos. Todas as análises estatísticas foram realizadas com programa Sisvar 5.6 (FERREIRA, 2011).

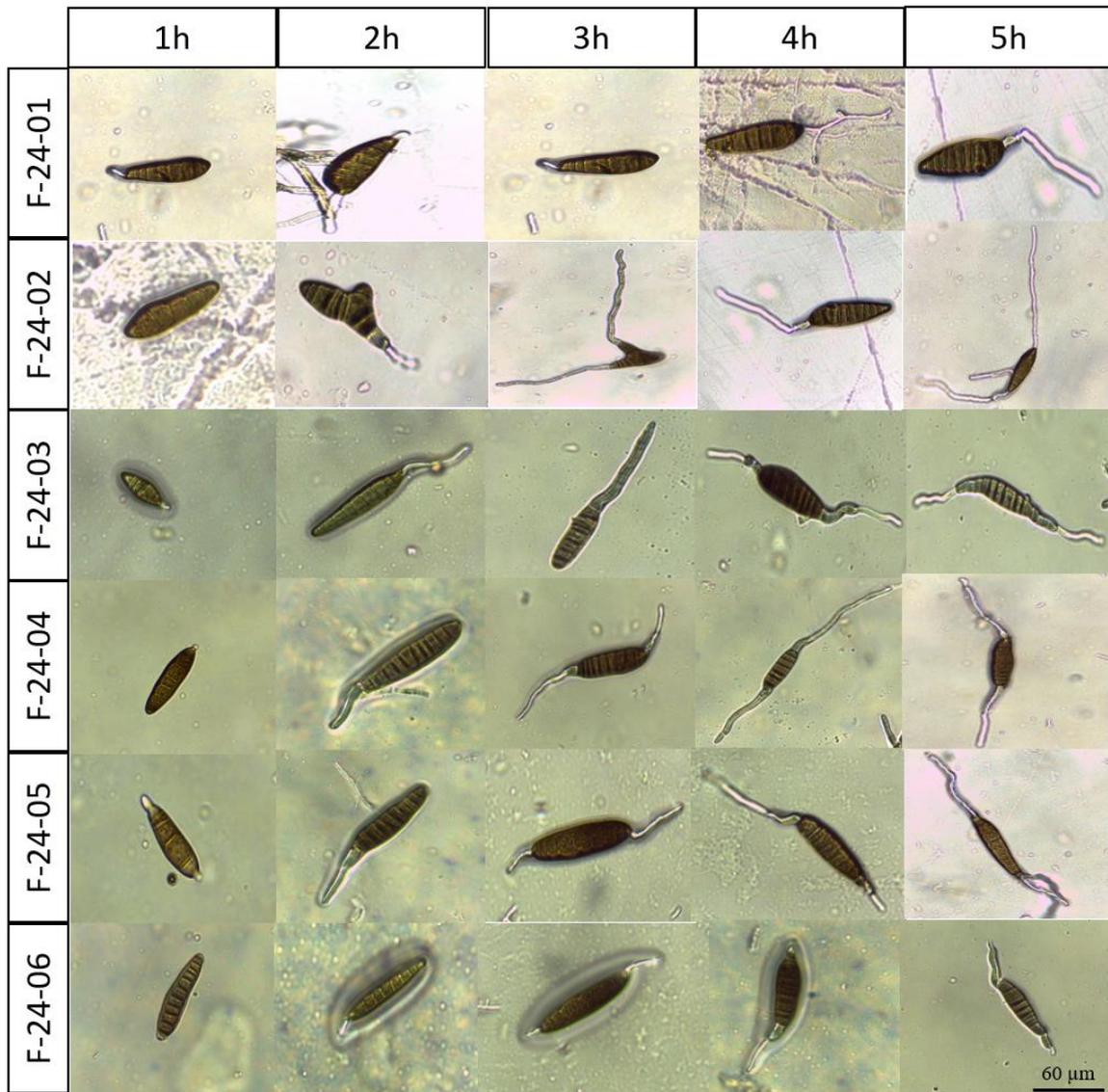
## 4. RESULTADOS

### 4.1 Germinação de *B. bicolor* sob influência da luz

A germinação dos conídios das seis cepas de *B. bicolor* ocorreu nas primeiras horas e progrediu até o comprimento do tubo germinativo atingir tamanho igual ao dobro da maior dimensão do corpo do esporo, evento que ocorreu 5 h após a inoculação (HAI) nas duas condições testadas. A germinação dos conídios apresentou-se predominantemente unipolar e bipolar, raramente intercalar (Figura 2 e Figura 3).



**Figura 2.** Conídios das cepas de *Bipolaris bicolor* inoculados em meio AA e luminosidade constante, apresentando crescimento do tubo germinativo em função do tempo. Ipameri, GO, 2022.

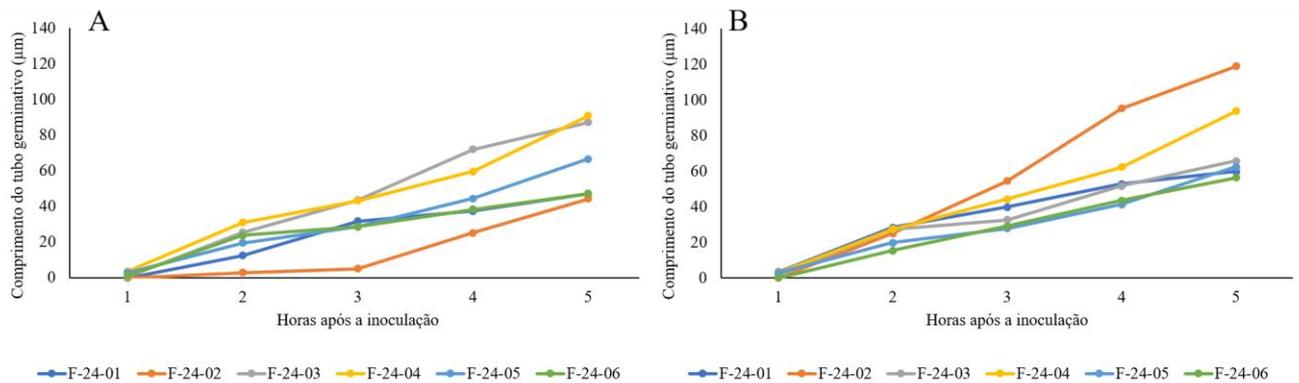


**Figura 3.** Conídios das cepas de *Bipolaris bicolor* inoculados em meio AA e escuro constante, apresentando crescimento do tubo germinativo em função do tempo. Ipameri, GO, 2022.

Avaliando o comportamento do crescimento do tubo germinativo das diferentes cepas nas duas condições, houve diferença significativa entre a interação das seis cepas e os dois regimes de luminosidade ( $F=7,91$ ,  $p\leq 0,001$ ) (Figura 4). O regime de escuro contínuo apresentou comprimento de tubo germinativo média 19% superior ao regime de luminosidade constante. A cepa F-24-02 foi o único que apresentou diferença significativa, com incremento no comprimento de germinação 153% superior quando exposto ao escuro contínuo em relação a luminosidade constante (Tabela 1).

Em relação ao comportamento do fator cepa separadamente nos diferentes regimes, houve diferença significativa entre as cepas ( $F=7,66$ ;  $p\leq 0,001$ ) quando expostos nos dois regimes de luminosidade (Figura 4). As cepas F-24-03 e F-24-04 foram os que apresentaram as maiores taxas de comprimento de tubo germinativo quando exposto a luz e em contraste a

cepa F-24-02 foi o que destacou-se diferindo em relação aos demais quando exposto ao escuro contínuo (Tabela 1).



**Figura 4.** Progresso temporal da germinação de esporos de cepas de *Bipolaris bicolor* submetidos à A) luminosidade constante e B) escuro constante por cinco horas em meio de cultura AA. Ipameri, GO, 2022.

Através da análise de regressão dos comprimentos do tubo germinativo em função do tempo (Figura 4), é possível estimar os padrões da germinação da espécie em cada condição ajustando-se as curvas de crescimentos a modelos lineares ( $p \leq 0,05$ ), de acordo com o comportamento de cada isolado, e com alto coeficiente de determinação ( $R^2$ ), entre 0,94-0,99 (Tabela 1).

**Tabela 1.** Comprimento do tubo germinativo (COMP), Percentual de germinação (PG) e Modelso de regressão da germinação de cepas de *Bipolaris bicolor* em meio AA em função à diferentes regimes de luminosidade. Ipameri, GO, 2022.

Cepa	COMP Claro (µm)	COMP Escuro (µm)	PG Claro (%)	PG Escuro (%)	Modelos de germinação Claro	Modelos de germinação Escuro
F-24-01	46,94 bA	59,86 cA	79,0aA	71,0bA	$y = 11,81x - 9,95$ $R^2=0,96^*$	$y = 13,744x - 4,4138$ $R^2=0,99^*$
F-24-02	44,18 bA	118,95 aB	82,0aA	85,0aA	$y = 11,073x - 17,772$ $R^2=0,86^*$	$y = 30,794x - 33,663$ $R^2=0,99^*$
F-24-03	87,06 aA	65,71 cA	80,0aA	84,0aA	$y = 21,92x - 20,06$ $R^2=0,99^*$	$y = 15,268x - 10,061$ $R^2=0,97^*$
F-24-04	90,87 aA	93,70 bA	73,0bA	75,0aA	$y = 20,32x - 15,39$ $R^2=0,97^*$	$y = 21,643x - 18,811$ $R^2=0,99^*$
F-24-05	66,66 bA	62,32 cA	82,0aA	78,0aA	$y = 15,25x - 3,38$ $R^2=0,98^*$	$y = 14,041x - 11,274$ $R^2=0,98^*$
F-24-06	47,14 bA	56,36 cA	70,0bA	72,0bA	$y = 10,677x - 4,237$ $R^2=0,94^*$	$y = 14,08x - 13,352$ $R^2=0,99^*$
Média	63,81A	76,15B	77,6A	77,5 A		
C.V(%)	24,91	9,73	6,00	7,00		

\* Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo Teste Scott-Knot  $p < 0,05$ ;

\*\* Significativo  $p < 0,05$ . C.V.= coeficiente de variação.

Em relação a taxa percentual de germinação das cepas de *Bipolaris bicolor* sob exposição à luz contínua e escuro contínuo após 5 horas de incubação, apresentaram-se superiores a 70% e não foram significativamente diferentes ( $p \leq 0,001$ ) (Tabela 1).

## 5. DISCUSSÃO

### 5.1 Germinação de *B. bicolor* sob influência da luz

A germinação de esporos é uma das etapas essenciais no ciclo de vida dos fungos e afeta as habilidades de sobrevivência e dispersão (ZHENG et al., 2020). No processo de germinação de esporos fúngicos, segundo Zadoks & Shein (1979) o esporo é considerado totalmente germinado quando o comprimento do tubo germinativo atinge tamanho igual ao dobro da maior dimensão do corpo do esporo, evento anterior a formação de apressórios. No caso estudado, os conídios de *B. bicolor* exposto aos dois regimes, atingiram tamanho do tubo germinativo igual ao dobro da maior dimensão do corpo do esporo após 5 h da inoculação. O tempo gasto pela espécie *B. bicolor* para a germinação completa dos esporos foi menor que o encontrado para outras espécies do complexo Helmintosporiose. Para exemplificar, pode-se citar o a espécie *Drechslera tritici-repentis*, a qual o tubo germinativo foi detectado após 2 h e teve bom desenvolvimento até 9,5 h após a inoculação (TONIN et al., 2014). Semelhantemente, Patsa et al. (2018) estudando o processo de germinação de *Bipolaris sorokiniana* em regime de escuridão constante, inferiu o crescimento do tubo germinativo dos conídios até 8 h após a inoculação, sem a formação de apressórios.

Constatou-se dois tipos predominantes de germinação de conídios, unipolar e bipolar. Entretanto, maiores variações são comuns no aparecimento de tubo germinativo em outras células conidiais, podendo germinar dois ou mais tubos germinativos da mesma célula e apresentar também germinação intercalar (REIS et al., 2011), ocorrências raramente constatadas em nosso trabalho. Estes padrões de germinação observados são típicos do gênero *Bipolaris* sp. e outras espécies do complexo helmintosporiose. Segundo Alcorn (1988) e ratificado por Manamgoda et al. (2014), o critério mais importante para identificação do gênero *Bipolaris* está relacionado ao tipo de germinação conidial. Corroborando, Patsa et al. (2018) visualizaram também o mesmo padrão de germinação conidial em *B. sorokiniana* após o decorrer de 5 h de incubação no escuro, com germinação unipolar e bipolar nos conídios.

A luz já foi evidenciada como sendo um fator ambiental crítico para o desenvolvimento fúngico (SAKAMOTO, 2018), uma vez que funciona como um estímulo para os fungos e pode indicar tempo, espaço, estresse e perturbação (FULLER et al., 2015). Existem divergências no comportamento germinativo das cepas testadas vs. os regimes de luz, apresentando resultados intrínsecos a cepa evidenciando uma relação cepa-dependente para esta variável. Essa característica cepa-dependente para variáveis fúngicas já foi descrita em regimes de luminosidade estando ligada a adaptabilidade da cepa aos efeitos físicos do ambiente (MILAN et al., 2021). Os maiores comprimentos do tubo germinativo médio das

cepas, principalmente da cepa F-24-02, quando expostos a escuridão deve-se à resposta que muitas cepas fúngicas podem apresentar reações à luz, sofrendo alterações metabólicas, incluindo a regulação do metabolismo de carotenóides e carboidratos, bem como alterações morfológicas na germinação e formação dos tubos germinativos, devido ao estresse oxidativo causado pela luminosidade constante (TISCH & SCHMOLL, 2010).

Mesmo o regime de escuro apresentar maior valor médio estatisticamente para os comprimentos de tubo germinativo nos conídios das cepas de *B. bicolor*, percebe-se que esse comportamento não foi igual para o percentual médio de conídios germinados, que não apresentaram diferenças nos dois regimes de luminosidade. Este evento corrobora com os resultados encontrados por Zheng et al. (2020), que não encontraram diferenças nas taxas de germinação de *Bionectria ochroleuca* no escuro e luminosidade constantes. Em contraponto, Marine et al. (2018) verificaram que um período inicial de escuridão aumentou a germinação de conídios de *Calonectria pseudonaviculata* o que evidencia a adaptabilidade a nível de espécie às respostas fisiológicas e morfológicas.

Outro ponto que pode ser levantado baseado em caracterizações anteriores, é a estratégia de disseminação de esporos pelo gênero *Bipolaris*. Já fora evidenciado que as espécies do gênero apresentam picos de lançamento de esporos no dossel no período vespertino, principalmente no fim da tarde (SHEEHY & HUGUELET, 1967). Isto leva a germinação dos esporos em um período de baixa ou zero luminosidade, além da presença de microclima favorável (ROBERTS & PAUL, 2006). Ou seja, é evidente que o gênero *Bipolaris* sp. apresenta certa versatilidade e resposta em relação a germinação em diferentes regimes de luz. Isto pode ser interpretado como uma medida adaptativa visando diminuir a exposição e os efeitos de raios ultravioletas por longas horas, que podem danificar o processo de germinação do conídio e interromper o processo de infecção (CARVALHO et al., 2018). Além disso, pode ser uma medida para evitar picos de maiores resistências à infecção das plantas durante o dia que a expressão dos genes e resistência estão sendo expressos de modo mais intensificado e mediada pelo ácido salicílico (BALLARE, 2014), portanto o patógeno pode estar evitando o pico diurno na expressão do gene de defesa da planta (BHARDWAJ et al., 2011). Esta estratégia de sobrevivência plástica de patógenos fúngicos implica a existência de um alto nível de adaptabilidade a ambientes em mudança (ZHENG et al., 2020).

Esta adaptabilidade aos dois regimes é sumarizada na viabilidade dos conídios das seis cepas testadas. Os esporos das cepas testadas apresentaram boa viabilidade com percentuais de germinação acima de 70%, corroborando com os percentuais encontrados por Zheng et al. (2020) e Patsa et al. (2018), para *Bionectria ochroleuca* e *Bipolaris sorokiniana*, respectivamente. Além disso pode-se inferir que em relação aos modelos de regressão de

previsibilidade da germinação de *Bipolaris bicolor* notou-se particularidades entre as cepas testadas e as condições expostas no comportamento de crescimento dos tubos nos diferentes regimes. Isto corrobora, com as curvas de previsibilidade de germinação obtidas para *Bipolaris sorokiniana* que se apresentaram dependentes da condição física exposta (PATSA, 2018).

## 6. CONCLUSÕES

- 1) A espécie *Bipolaris bicolor* apresenta maior germinação de conídio no regime de escuro constante;
- 2) A cepa F-24-02 foi o que demonstrou maior adaptabilidade de germinação ao regime de escuro constante, apresentando os maiores comprimentos de tubo germinativo.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCORN, J. L. The taxonomy of “*Helminthosporium*” species. **Annual Review of Phytopathology**, v. 26, n. 1, p. 37–56, 1988.
- BALLARE, C.L. Light regulation of plant defense. **Annual Review of Plant Biology**, v. 65, n.1, p. 335-363, 2014.
- BHARDWAJ, V.; MEIER, S.; PETERSEN, L.N.; INGLE, R.A.; RODEN, L.C. Defense responses of *Arabidopsis thaliana* to infection by *Pseudomonas syringae* are regulated by the circadian clock. **Plos One**, v.6, n.10, p.1-8, 2011.
- BUDIARTI, S.W.; LUKMAN, R.; SUMARDIYONO, C.; WIBOWO, A.; PRIYATMOJO, A. Effect of photoperiod on the cultural morphology of *Rhizoctonia solani* isolates of maize from Yogyakarta and Central Java, Indonesia. **Biodiversitas**, v.20, n.7, p.2028-2038, 2019.
- CARVALHO, D.D.C.; OLIVEIRA, A.M.E.; LAGO, H.M.S.; RODRIGUES, F. Incidência de *Bipolaris bicolor* em sementes de sorgo granífero no Brasil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.13, n.2, p. 240-247, 2014.
- CARVALHO, S. D.; CASTILLO, J. A. Influence of Light on Plant–Phyllosphere Interacton. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, n. 1482, p. 1-16, 2018.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FULLER, K. K.; LOROS, J. J.; DUNLAP, J. C. Fungal photobiology: Visible light as a signal for stress, space and time. **Current Genetics**, v. 61, n. 3, p. 275–288, 2015.
- GHAZVINI, H. The host–pathogen interaction between barley and casual agent of spot blotch (*Bipolaris sorokiniana*) disease: a review. **Crop Breeding Journal**, v.8, n.1, p.1-15, 2018.
- MANAMGODA, D.S.; ROSSMAN, A.Y.; CASTLEBURY, L.A.; CROUS, P.W.; MADRID, H.; CHUKEATIROTE, E.; HYDE, K.D. The genus *Bipolaris*. **Studies in Mycology**, v.79, n.1, p.221–288, 2014.
- MARINE, S.C.; BAUDOIN, A.; HONG, C.X. Effect of initial darkness duration on the pathogenicity of *Calonectria pseudonaviculata* on boxwood. **Plant Pathology**, v.67, n.3, p.735-740, 2018.
- MILAN, M. D.; SOUZA, D. P.; MUNIZ, P. H. P.C.; PEIXOTO, G. H. S.; AHMAD, S.; GUIMARÃES, G. R.; OLIVEIRA, T. A. S.; DUARTE, E. A. A.; SANTOS, S. X.; RODRIGUES, F.; CARVALHO, D. D. C. Circadian Rhythms, such as light regimes influencing *in vitro* growth of *Pestalotiopsis mangiferae* from mango tree. **Plant Pathology Journal**, v. 20, n. 1, p. 23-28, 2021.
- MENEZES, J. O. S. Caracterização fisiológica de isolados de *Cochliobolus bicolor* (sin. *Bipolaris bicolor*) ocorrentes em sementes de trigo. **Dissertação de Mestrado**. Programa de Pós-Graduação Mestrado Acadêmico em Produção Vegetal. Universidade Estadual de Goiás, 2021, 37 p.

PANDITI, D. Effect of temperature, relative humidity, photoperiod on anthracnose of horse gram and role of weather parameters in development of disease in Himachal Pradesh. **Journal of Global Biosciences**, v.9, n.7, p.7725-7734, 2020.

PATSA, R.; HEMBRAM, BHATTACHARYA, P. M.; BANDYOPADHYAY, S.; DUTTA, S. Effect of temperature, light on germination and morphological characteristics of *Bipolaris sorokiniana*. **Indian Phytopathology**, v. 71, n. 2, p. 243-248, 2018

PEIXOTO, G.H.S.; MUNIZ, P.H.P.C.; MILAN, M.D.; BARROSO, F.M.; CARVALHO, D.D.C. Incidência e caracterização morfológica de *Alternaria alternata* e *Bipolaris bicolor* em sementes de trigo 'BRS 264'. **Colloquium Agrariae**, v. 14, n.4, p. 80-87, 2018.

REIS, E. M.; CASA, R. T.; DANELLI, A. L. D. **Doenças do trigo - Mancha-amarela da folha**. 2º ed. Passo Fundo: Bayer CropScience. 18 p., 2011.

ROBERTS, M.R.; PAUL, N.D. Seduced by the dark side: Integrating molecular and ecological perspectives on the influence of light on plant defense against pests and pathogens. **New Phytologist**, v.170, n.4, p.677-699, 2006.

SAKAMOTO, Y. Influences of environmental factors on fruiting body induction, development and maturation in mushroom-forming fungi. **Fungal Biology Reviews**, v. 32, n. 4, p. 236–248, 2018.

SHEEHY, J.; HUGUELET, J. E. Diurnal periodicity in *Helminthosporium* and *Alternaria* spores in the air. **Phytopathology**, v.57, n.1, p.830, 1967.

SILVA, C. R.; GUSMÃO, L. F. P.; CASTANEDA-RUIZ, R. F. Two new conidial fungi from 1088 Chapada Diamantina, Brazil. **Micotaxon**, v. 130, n. 2, p. 363-367, 2015.

SINGH, D.P.; SINGH, S.K.; SINGH, I. Assessment and impact of spot blotch resistance on grain discoloration in wheat. **Indian Phytopathology**, v.69, n.4, p.363–367, 2016.

SULTANA, S.; ADHIKARY, S.K.; ISLAM, M.M.; RAHMAN, S.M.M. Evaluation of Pathogenic Variability Based on Leaf Blotch Disease Development Components of *Bipolaris sorokiniana* in *Triticum aestivum* and Agroclimatic Origin. **The Plant Pathology Journal**, v.34, n.2, p.93-103, 2018.

SUN, X.; QI, X.; WANG, W.; LIU, X.; ZHAO, H.; WU, C.; CHANG, X.; ZHANG, M.; CHEN, H.; GONG, G. Etiology and Symptoms of Maize Leaf Spot Caused by *Bipolaris* spp. in Sichuan, China. **Pathogens**, v.9, n.3, p.1-18, 2020.

TISCH, D.; SCHMOLL, M. Light regulation of metabolic pathways in fungi. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v.85, n.5, p.1259-1277, 2010.

TONIN, R. B.; RANZI, C.; CAMERA, J. N.; FORCELIN, C. A.; REIS, E. M. Amplitude térmica para germinação de conídios de *Drechslera tritici-repentis*. **Summa Phytopathologica**, v. 40, n. 2, p. 174-177, 2014.

TRECATE, L.; AKOV, S.; MIESLEROV, B.; MANSTRETTA, V.; ROSSI, V.; LEBEDA, A. Effect of temperature on infection and development of powdery mildew on cucumber. **Plant Pathology**, v.68, n.6, p. 1165–1178, 2019.

ÜNAL, F.; TURGAY, E. B.; YILDIRIM, A. F.; YUKSEL, C. First report of leaf blotch on sorghum caused by *Bipolaris spicifera* in Turkey. *Plant Disease*, v. 95, n.1, p. 495, 2011.

WANG, N.Y.; DEWDNEY, M.M. The Effects of Nutrition and Environmental Factors on Conidial Germination and Appressorium Formation of *Phyllosticta citricarpa*, the Causal Agent of Citrus Black Spot. *Phytopathology*, v.109, n.4, p.650-658, 2019.

ZADOKS, J. C.; SCHEIN, R. D. **Epidemiolog and plant disease management**. Oxford: Universidade of Oxford, 1979, 427 p.

ZHENG, Y.; XIE, Y.; XIE, Y.; YU, S. Asexual reproduction and vegetative growth of *Bionectria ochroleuca* in response to temperature and photoperiod. **Ecology and Evolution**, v. 11, n. 15, p. 1–11, 2021.

ZOU, K.T.; SHANG, L.; CHEN, S; GUO, H.; LI, X.; ZENG, W.L. Effects of different culture conditions on germination of conidia in pathogen of bitter melon powdery mildew. **Journal of Southern Agriculture**, v.51, n.3, p.571-578, 2020.

**CAPÍTULO II – PATOGENICIDADE E SEVERIDADE DE *Bipolaris bicolor* EM  
TRIGO SOB DIFERENTES FOTOPERÍODOS E EM FOLHAS DE MILHO E  
SORGO**

## RESUMO

A contínua avaliação da variabilidade patogênica de populações e os efeitos de fatores abióticos no patossistema, são essenciais para a verificação de adaptações nas habilidades causadoras das doenças. Além disso, as avaliações das respostas de seus hospedeiros constituem pilares primordiais no acompanhamento da evolução do comportamento de patógenos e na epidemiologia das doenças. Neste contexto, objetivou-se (1) avaliar a patogenicidade de seis cepas de *Bipolaris bicolor*, quando inoculados em tecido vegetal sadio de trigo sob diferentes regimes de luz a 25°C e (2) a patogenicidade, severidade das seis cepas e possíveis reações de hipersensibilidade em inoculações artificiais em tecido vegetal sadio de milho e sorgo. Para a caracterização do patossistema e sua fisiologia, procedeu-se a avaliação da severidade causada pelas seis cepas inoculando-as através de discos de micélio em folhas de trigo sob fotoperíodos distintos (12, 14, 16, 18 e 20 h de luz) e incubados em câmara BOD à 25 °C por seis dias em delineamento inteiramente causalizado e arranjo fatorial 6x5, sendo seis cepas de *B. bicolor* e cinco fotoperíodos, com cinco repetições. A severidade em folhas de milho e sorgo foi avaliada através da inoculação de discos miceliais e incubação em BOD por seis dias. As avaliações em ambos os experimentos foram realizadas medindo-se o diâmetro foliar lesionado diariamente que posteriormente foram transformados na Área foliar lesionada (AFL). Os dados foram submetidos a análise de variância, análise de regressão e ao teste Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ). Os resultados demonstraram que quando inoculados em folhas de trigo, todas as cepas apresentaram capacidade patogênica e diferenciaram-se quanto à severidade da doença. A cepa F-24-02 foi o que apresentou maior índice de severidade em todos os regimes luminosos testados. No que tange o fator luminosidade, constatou-se sua influência no patossistema de *B. bicolor*, com redução da AFL com o aumento do tempo diário de exposição à luz. O regime de 14 h luz foi o que apresentou a maior redução significativa na severidade da doença, com tendência de aumento e seguinte estabilização com o aumento das horas de exposição à luz. Em relação a capacidade de infectar outras espécies vegetais, as cepas demonstraram-se patogênicas em folhas de milho e sorgo. Contudo, notou-se baixa severidade e presença de reações de hipersensibilidade em folhas de sorgo inoculadas com as seis cepas.

**Palavras-chave:** Suplementação luminosa; virulência; reações de hipersensibilidade.

## ABSTRACT

Continuous assessment of pathogenic variability in populations and the effects of abiotic factors on the pathosystem are essential for verifying adaptations in disease-causing abilities. In addition, evaluations of the responses of their hosts are essential pillars in monitoring the evolution of pathogen behavior and in the epidemiology of diseases. In this context, the objective was (1) to evaluate the pathogenicity of six strains of *Bipolaris bicolor*, when inoculated into healthy plant tissue of wheat under different light regimes at 25°C and (2) the pathogenicity, severity of the six strains and possible reactions of hypersensitivity in artificial inoculations in healthy plant tissue of maize and sorghum. To characterize the pathosystem and its physiology, the severity caused by the six strains was evaluated by inoculating them through mycelium discs in wheat leaves under different photoperiods (12, 14, 16, 18 and 20 h of light) and incubated in a BOD chamber at 25 °C for six days in a completely randomized design and 6x5 factorial arrangement, with six strains of *B. bicolor* and five photoperiods, with five replications. Severity in corn and sorghum leaves was evaluated by inoculating mycelial discs and incubating in BOD for six days. The evaluations in both experiments were performed by measuring the lesioned leaf diameter daily, which were later transformed into the lesioned leaf area (AFL). Data were submitted to analysis of variance, regression analysis and the Scott-Knott test ( $p \leq 0.05$ ). The results showed that when inoculated on wheat leaves, all strains showed pathogenic capacity and differed in terms of disease severity. The F-24-02 strain showed the highest severity index in all light regimes tested. Regarding the luminosity factor, its influence on the pathosystem of *B. bicolor* was verified, with a reduction of the AFL with the increase of the daily time of exposure to light. The 14 h light regimen showed the greatest significant reduction in disease severity, with a tendency to increase and then stabilize with increasing hours of light exposure. Regarding the ability to infect other plant species, the strains proved to be pathogenic in corn and sorghum leaves. However, low severity and the presence of hypersensitivity reactions were observed in sorghum leaves inoculated with the six strains.

**Keywords:** light supplementation; virulence; hypersensitivity reactions.

## 1. INTRODUÇÃO

Um fator ambiental importante muitas vezes pouco evidenciado e estudado nos modelos epidemiológicos é a luminosidade. A luz é uma importante fonte de informações para fungos filamentosos. Tanto a duração da luz (fotoperíodo ou duração do dia) quanto à qualidade (distribuição espectral da luz), influenciam os processos metabólicos dos fungos, como a absorção de nutrientes, (TISCH e SCHMOLL, 2010), morfologia e conidiação (BUDIARTI et al., 2019). A luz também pode até atuar como um determinante da virulência, retardando a formação de apressórios e haustórios em patógenos fúngicos de plantas (CARVER et al., 1994).

Estudos já demonstraram que um efeito direto da luz nos fungos é consistente com os efeitos relatados da luz branca na conidiação fúngica e na invasão de plantas por muitos fungos. Estudos moleculares têm permitido a identificação e caracterização de diferentes elementos responsivos à luz com papéis na invasão de plantas mediada pela luz, em espécies como *Aspergillus*, *Botrytis*, *Neurospora*, *Sordaria*, *Candida* e *Fusarium*. Esses fatores responsivos à luz têm funções específicas na estimulação da formação de conídios (esporos assexuados) e virulência ou aparecimento de escleródios (estruturas dormentes) na luz ou no escuro, por meio do controle da homeostase das espécies reativas de oxigênio (ROS) e do metabolismo secundário (COHRS et al., 2016; BRANDHOFF et al., 2017; WANG et al., 2018).

Em relação ao hospedeiro, a luz além de ser uma fonte de energia que regula a fotossíntese e a expressão gênica das plantas (FOLTA & CARVALHO, 2015), também influencia as respostas de defesa das plantas mediadas pelo ácido salicílico (BALLARE, 2014), como a resistência adquirida sistêmica e a resposta de hipersensibilidade (uma forma de morte celular programada localizada no local da infecção). Enquanto alguns genes relacionados à defesa de plantas são induzidos por comprimentos de onda de luz específicos (WANG et al., 2010), outros são regulados de forma circadiana (HUA et al., 2013). Por exemplo, um período de luz prolongado após a inoculação foi associado ao aumento da resistência a doenças de *Arabidopsis* a *Hyaloperonospora arabidopsidis* (WANG et al., 2011) e *Pseudomonas syringae* (BHARDWAJ et al., 2011). Este fato evidencia que os patógenos utilizam da luz para coordenar a patogênese com os comportamentos circadianos de seu hospedeiro (WANG et al., 2011) e, portanto, evitam o pico matinal na expressão do gene de defesa da planta (BHARDWAJ et al., 2011). Experimentos projetados para suprimir o ritmo circadiano pela aplicação de luz constante ou luz fora de fase: ciclos escuros resultam na modificação da interação *Arabidopsis*- *Botrytis* (HEVIA et al., 2015).

Assim, atualmente tem crescido, o estabelecimento de tratamentos de luz precisos para um resultado desejado pode ser possível com o aumento do conhecimento sobre as interações planta-filosfera nos níveis molecular, metabólico e hormonal que proporcionam as menores taxas de infecção do patógeno e maiores produtividades das culturas de interesse econômico (CARVALHO et al., 2018). No Brasil, processos de suplementação luminosa através de tecnologia por meio da instalação de painéis de iluminação artificial de alta eficiência (Light Emitting Diode) em áreas de produção irrigada de grãos já estão tornando realidade pelo país. Esta tecnologia tem permitido não só irrigar água no sentido convencional, mas também suplementar luz sobre toda a lavoura de uma forma completamente controlável, o que permite a extensão de horas luz sobre as culturas (LEMES et al., 2020).

Estudos preliminares de suplementação luminosa evidenciam aumentos de produtividade em até 66%, por exemplo, na cultura da soja, com apenas 40 dias de suplementação. Além disso, notou-se uma redução visualmente significativa da incidência de doenças e da ocorrência de insetos-praga no decorrer do ciclo produtivo da cultura submetida à suplementação. Contudo, poucos são os dados, pois ainda não estão sendo conduzidos experimentos com esse intuito (avaliação de pragas e doenças). Assim, apresenta uma elevada carência de informações, tendo em vista que se comprovado este fato, poderá potencialmente reduzir os custos de produção e o impacto ambiental da atividade agrícola (LEMES et al., 2020).

A variabilidade patogênica é consequência do esquema de desenvolvimento da doença. A patogenicidade se refere ao conjunto de habilidades causadoras de doenças específicas e inespecíficas (SULTANA et al., 2018). Neste contexto, estudos conduzidos para caracterizar a variabilidade patogênica de cepas de *Bipolaris* de áreas geográficas distintas mostraram que existem diferenças significativas na resposta do hospedeiro. Além disso, especificamente nas culturas das póaceas os estudos apontam a existência de diferentes habilidades e níveis de virulência e severidade dentro das espécies do gênero *Bipolaris* (SULTANA et al., 2018; GAMBA et al., 2019; VERMA et al., 2020).

## 2. OBJETIVOS

Objetivou-se (1) avaliar a patogenicidade de seis cepas de *Bipolaris bicolor*, quando inoculados em tecido vegetal sadio de trigo sob diferentes regimes de luz a 25°C, (2) a severidade da doença e possíveis reações de hipersensibilidade em tecido vegetal sadio de milho e sorgo.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Origem das cepas de *B. bicolor* provenientes de trigo

Foram utilizadas seis cepas de *Bipolaris bicolor* provenientes de sementes de trigo (F-24-01, F-24-02, F-24-03, F-24-04, F-24-05, F-24-06), previamente identificadas taxonomicamente por Menezes (2021) e pertencentes à micoteca particular da Universidade Estadual de Goiás, Unidade Universitária Ipameri, Ipameri, Goiás, Brasil. As cepas puras encontram-se preservados em meio BDA a uma temperatura de 5°C pelo método de Castellani. As cepas foram reativadas para os experimentos subsequentes, em meio BDA, a partir das amostras mantidas em baixa temperatura em freezer do Laboratório de Fitopatologia da UEG.

#### 3.2 Produção de material vegetal para inoculações artificiais em testes de patogenicidade

Sementes de trigo cv. 'BRS264', sorgo cv. 'K-200' e milho cv. "AG-1051" semeadas em 10 vasos cada com volume de 8 L contendo Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (SANTOS et al., 2018). As plantas foram cultivadas conforme recomendações técnicas de Alves et al. (1999) e Souza e Fronza (1999) em uma casa de vegetação na Universidade Estadual de Goiás, UnU Ipameri para produção material vegetal para os experimentos de patogenicidade. As plantas foram irrigadas diariamente com 300 mL de água e fertilizadas, conforme recomendações técnicas para a cultura e a necessidade.

#### 3.3 Avaliação de patogenicidade e severidade de *B. bicolor* em folhas de trigo sob diferentes fotoperíodos a 25°C

Fragmentos (10 cm) de folhas jovens e sadias de plantas de trigo com 60 dias de idade foram lavados em água corrente e deixadas para secagem em câmara de fluxo laminar por 10 min. Para as inoculações, foram realizados cinco furos ao centro do limbo foliar com auxílio de uma agulha esterilizada e depositado um disco de ágar (5 mm Ø) contendo micélio de cada cepa (F-24-01, F-24-02, F-24-03, F-24-04, F-24-05, F-24-06). As folhas inoculadas foram submetidas a condições controladas de câmara úmida em caixas acrílicas transparentes do tipo gerbox (11 x 11 x 3,5 cm), contendo uma folha de papel de germinação com manutenção de umidade constante apenas no papel. O delineamento foi inteiramente casualizado (DIC), em arranjo fatorial 6x5, sendo seis cepas de *B. bicolor* e cinco fotoperíodos (12 h, 14 h, 16 h, 18h e 20 h) com cinco repetições (folhas de trigo por cepa, sendo uma folha por gerbox). A testemunha consistiu na aplicação de 25 µL de ADE na região dos furos do limbo foliar.

Para as avaliações, foram realizadas medições das lesões na face abaxial das folhas diariamente até o 6º dia após a inoculação (DAI), com o auxílio de um paquímetro digital, obtendo-se a média de dois diâmetros diametralmente opostos. Os valores dos diâmetros das lesões (cm) foram utilizados para se calcular a área foliar lesionada (AFL) (cm<sup>2</sup>), através da fórmula da circunferência ( $AFL = \pi * r^2$ ). Para avaliação da severidade das cepas de *B. bicolor* foram comparados (tamanho das lesões em cm<sup>2</sup>) em um mesmo dia de leitura (6º DAI).

### **3.4 Avaliação de patogenicidade de *B. bicolor* em folhas de sorgo e milho sob diferentes fotoperíodos a 25°C**

Fragmentos (10 cm) de folhas jovens e sadias de plantas de sorgo em estágio vegetativo V4 e de folhas de milho em estágio vegetativo V6 foram lavadas em água corrente e deixadas para secagem em câmara de fluxo laminar por 10 min. Para as inoculações, foram realizados cinco furos ao centro do limbo foliar com auxílio de uma agulha esterilizada e depositado um disco de ágar (5 mm Ø) contendo micélio de cada uma das seis cepas obtidos. As folhas inoculadas foram submetidas a condições controladas de câmara úmida em caixas acrílicas transparentes do tipo gerbox (11 x 11 x 3,5 cm), contendo uma folha de papel de germinação com manutenção de umidade constante apenas no papel. O delineamento foi inteiramente casualizado (DIC), com seis tratamentos, sendo as seis cepas com cinco repetições (folhas de sorgo e milho por cepa, sendo uma folha por gerbox). A testemunha consistiu na aplicação de 25 µL de ADE na região dos furos do limbo foliar.

Para as avaliações da severidade da doença, foram realizadas medições das lesões na face abaxial das folhas diariamente até o 6º dia após a inoculação (DAI), com o auxílio de um paquímetro digital, obtendo-se a média de dois diâmetros diametralmente opostos. Os valores dos diâmetros das lesões (cm) foram utilizados para se calcular a área foliar lesionada (AFL) (cm<sup>2</sup>), através da fórmula da circunferência ( $AFL = \pi * r^2$ ). Para avaliação da virulência as cepas de *B. bicolor* foram comparadas (tamanho das lesões em cm<sup>2</sup>) em um mesmo dia de leitura (6º DAI).

### **3.5 Análises estatísticas**

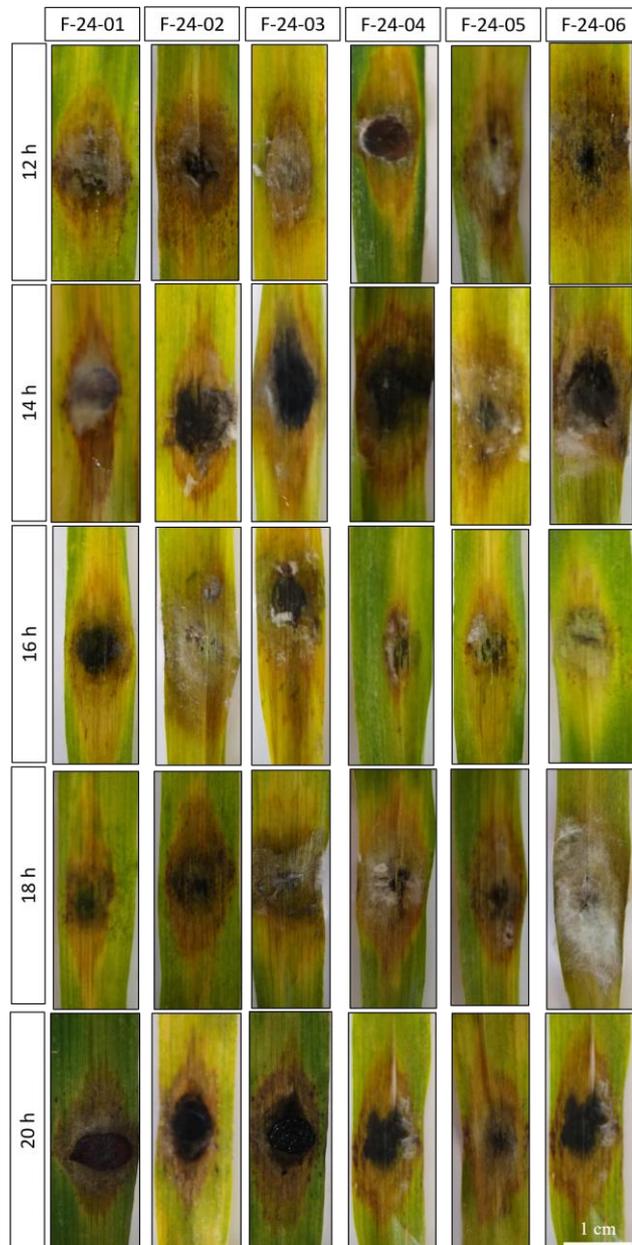
Os dados relativos área foliar lesionada aos 6 DAI pelas cepas de *B. bicolor* que não apresentavam distribuição normal foram transformados pela  $\sqrt{x+0,5}$ . Atendendo aos pressupostos, foram submetidos à análise de variância, ao teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ) para verificar as diferenças entre as cepas. Adicionalmente, os dados de AFL nos diferentes fotoperíodos foram submetidos à análise de regressão para obtenção de modelos

epidemiológicos da severidade da doença em resposta aos fotoperíodos. Todas as análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa Sisvar 5.6 (FERREIRA, 2011).

## 4. RESULTADOS

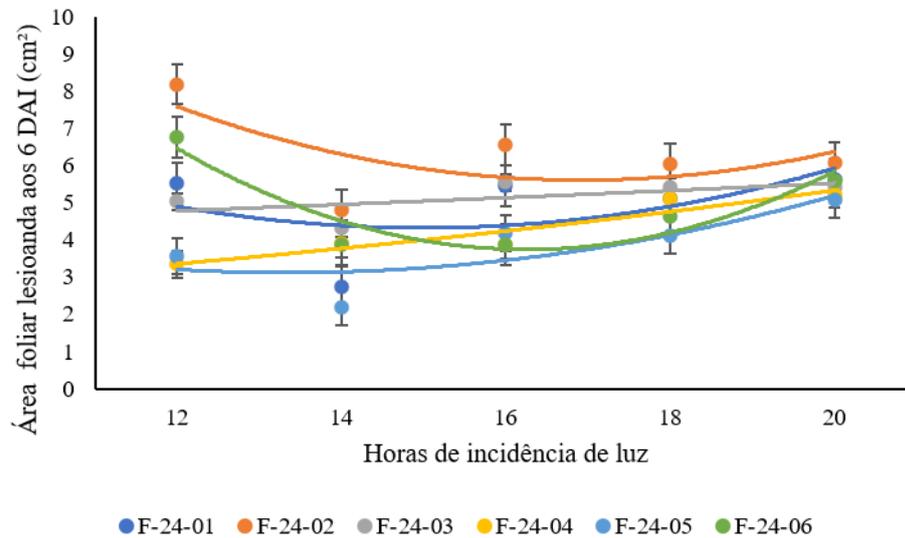
### 4.1 Patogenicidade e Severidade de *B. bicolor* em trigo sob diferentes fotoperíodos

As seis cepas de *Bipolaris bicolor* mostraram-se patogênicas às folhas de trigo nos cinco fotoperíodos testados. Os sintomas iniciais foram observados com lesões necróticas pardas, sobre a superfície do limbo foliar que progrediram tomando formato oval alongado, de coloração marrom escuro. Em praticamente todos os casos, as lesões foram circundadas por um halo amarelo. No estágio final de avaliação aos 6 DAI, o centro das lesões tornou-se marrom escuro a quase preto, com a presença de corpos frutificação do fungo com a emissão de esporos (Figura 1).



**Figura 1.** Sintomas e sinais de cepas de *Bipolaris bicolor* na face abaxial de folhas de sorgo aos 6 DAI. Ipameri, GO, 2021.

A interação das seis cepas de *Bipolaris bicolor* e as cinco condições de fotoperíodo as que foram submetidos, apresentou diferença significativa ( $F=2,52$ ;  $p\leq 0,001$ ) nos níveis de severidade das cepas aos 6 DAI (Figura 2). Em relação ao fator cepa nos diferentes regimes de luminosidade, nota-se que a cepa F-24-02 destacou-se apresentando as maiores áreas foliares lesionadas aos 6 DAI nos cinco fotoperíodos testados, variando de 4,50-8,18 cm<sup>2</sup> de área foliar lesionada (AFL) quando submetido, à 14 h e 12 h de luz, respectivamente.



**Figura 2.** Severidade da doença causada por cepas de *Bipolaris bicolor* em folhas de trigo cv. ‘BRS264’ aos 6 dias após a inoculação sob diferentes fotoperíodos. Ipameri, GO, 2021.

Em relação ao fator fotoperíodo, houve diferença significativa na severidade das cepas de *B. bicolor* ( $F=13,19$ ;  $p\leq 0,001$ ). As cepas apresentaram AFL média variando de 3,65-5,50 cm<sup>2</sup>. O fotoperíodo de 14 h de luminosidade apresentou as menores taxas médias de AFL (3,65 cm<sup>2</sup>), ou seja, a severidade da doença causada pelas cepas de *Bipolaris bicolor* testadas foi menor quando expostas a esse fotoperíodo, seguido do de 16 e 18 h de luminosidade.

O comportamento das curvas de área foliar lesionada em função das horas de incidência de luz foram diferentes para as seis cepas de *B. bicolor* ajustando-se em modelos polinomial do 2º grau para as cepas F-24-01, F-24-02, F-24-05 e F-24-06 e lineares para as cepas F-24-03 e F-24-04. Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) variaram entre 0,26-0,89, o que permite estimar padrões do progresso da doença (Tabela 1). Nota-se que as cepas que apresentaram comportamento polinomial do desenvolvimento da lesão houve uma diminuição significativa da severidade da doença a partir do aumento da incidência luminosa até o ponto de 14 h luz. A partir desse ponto, com o aumento da frequência de luminosidade acarretou também o aumento da AFL, contudo a níveis estatisticamente semelhantes ao fotoperíodo de 12 h. Já as cepas F-24-03 e F-24-04 apresentaram área foliar lesionada crescente ao longo do aumento das horas de incidência luminosa.

**Tabela 1.** Modelos epidemiológicos de comportamento da severidade dos sintomas causada por cepas de *Bipolaris bicolor* em função à diferentes regimes de luminosidade. Ipameri, GO, 2021.

Cepa	Modelos de regressão	R <sup>2</sup>	P≤
F-24-01	$y = 0,255x^2 - 1,273x + 5,908$	0,26	0,05
F-24-02	$y = 0,3257x^2 - 2,2563x + 9,508$	0,40	0,05
F-24-03	$y = 0,186x + 4,58$	0,34	0,05
F-24-04	$y = 0,494x + 2,804$	0,89	0,05
F-24-05	$y = 0,1864x^2 - 0,6216x + 3,634$	0,64	0,05
F-24-06	$y = 0,5986x^2 - 3,7454x + 9,598$	0,88	0,05

#### 4.2 Patogenicidade, severidade e reações de hipersensibilidade de *B. bicolor* em milho e sorgo

As seis cepas de *B. bicolor* apresentaram-se patogênicas em folhas de milho cv. ‘AG1051’ e sorgo cv. ‘K200’ (Tabela 2). Em folhas de sorgo foram verificadas reações de hipersensibilidade da planta para todas as cepas testadas (Figura 3). Em contrapartida, reações de defesa em milho foram verificadas apenas para as cepas F-24-01 e F-24-06 (Figura 4).

**Tabela 2.** Patogenicidade de *Bipolaris bicolor* inoculados em folhas de milho e sorgo e Reações de hipersensibilidade observadas nas folhas. Ipameri, GO, 2021.

Cepa	Milho		Sorgo	
	Patogênico	HR	Patogênico	HR
F-24-01	+	*	+	*
F-24-02	+	-	+	*
F-24-03	+	-	+	*
F-24-04	+	-	+	*
F-24-05	+	-	+	*
F-24-06	+	*	+	*

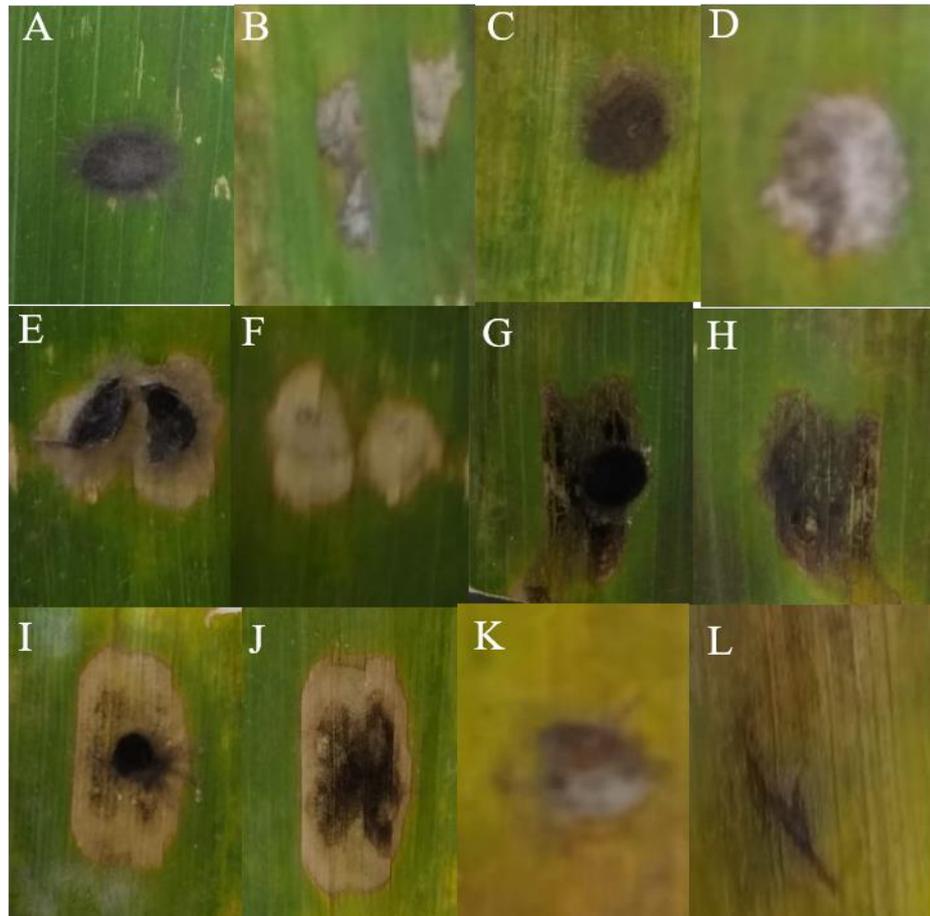
+Patogênico; -Não patogênico; \*Reação HR observada; -Reação HR não observada

Nas folhas de sorgo inoculadas com discos das cepas de *B. bicolor* houve o desenvolvimento de pequenas lesões com crescimento micelial sobre a superfície do limbo foliar. As lesões foram circundadas por halos de coloração avermelhada de reação de hipersensibilidade em as cepas (Figura 4).



**Figura 3.** Sintomas e reações de hipersensibilidade às cepas de *Bipolaris bicolor* nas faces adaxial e abaxial de folhas de sorgo aos 6 DAI. Seta aponta colonização superficial de hifas sobre a superfície do limbo foliar e reações de morte celular da planta. Ipameri, GO, 2021.

Nas folhas de milho, notou-se lesões necróticas pardas sobre a superfície do limbo foliar que progrediram tomando formato oval alongado, de coloração marrom escuro. Em praticamente todos os casos, as lesões são circundadas por um halo amarelo (Figura 4). Sobre as lesões inferiu-se a formação de esporos das cepas ao 6º DAI.



**Figura 4.** Sintomas e reações de hipersensibilidade às cepas de *Bipolaris bicolor* nas faces adaxial e abaxial de folhas de milho aos 10 DAI. A-B) Cepa F-24-01; C-D) Cepa F-24-02, E-F) Cepa F-24-03, G-H) Cepa F-24-04, I-J) Cepa F-24-05, K-L) Cepa 24-06. Ipameri, GO, 2021.

Houve diferença significativa entre os fatores cepas x culturas (trigo, milho e sorgo) ( $F=5,54$ ;  $p\leq 0,01$ ). Em relação ao fator cepa, analisando a a severidade das cepas individualmente, na cultura do trigo as cepas F-24-02 e F-24-06 foram as que apresentaram maiores áreas foliares lesionadas. Na cultura do milho as seis cepas de *B. bicolor* apresentaram diferenças significativas na área lesionada ( $F=4,67$ ;  $p\leq 0,01$ ), sendo as cepas F-24-03, F-24-04 e F-24-05, apresentaram as maiores médias de AFL e em contraste as cepas F-24-01, F-24-02 e F-24-06 que apresentaram as menores (Tabela 3).

Na cultura do sorgo não houve diferença na severidade das cepas, apresentando baixas áreas lesionadas e reações de hipersensibilidade da planta circundando as lesões para as cepas testadas. Além disso, infere-se que a cepa F-24-06 demonstrou baixa severidade nas duas culturas (milho e sorgo).

**Tabela 3.** Área foliar lesionada (AFL) por *Bipolaris bicolor* em trigo, milho e sorgo aos 6 DAI e Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD). Ipameri, GO, 2021.

Cepa	AFL (cm <sup>2</sup> )		
	Trigo	Milho	Sorgo
F-24-01	5,53 bA	0,07 bB	0,46 aB
F-24-02	8,18 aA	0,28 bB	0,40 aB
F-24-03	5,03 bA	2,22 aB	0,66 aC
F-24-04	3,34 cA	1,97 aB	0,33 aC
F-24-05	3,56 cA	2,12 aB	0,33 aC
F-24-06	6,74 aA	0,02 bB	0,48 aB
Média	5,40A	1,11 B	0,44 C
C.V (%)	10,68	26,25	14,69

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo Teste Scott-Knot  $p < 0,05$ .

\*\*Os valores apresentados representam a média dos dados brutos coletados, na análise de variância esses dados foram transformados pela  $\sqrt{x+0,5}$ .

\*\*\*C.V.= coeficiente de variação

## 5. DISCUSSÃO

### 5.1 Patogenicidade e Severidade de *B. bicolor* em trigo sob diferentes fotoperíodos

A incidência de *B. bicolor* já foi amplamente registrada em sementes de trigo no Brasil (MOREJON et al., 2008; PEIXOTO et al., 2018). Contudo, a patogenicidade dessa espécie em folhas da cultura do trigo é pouco reportada no país. Os sintomas desenvolvidos nas folhas de trigo pelos seis cepas de *B. bicolor* em todos os fotoperíodos testados apresentaram semelhança às descritas pelas causadas por outras espécies de *Bipolaris* sp. Pereira et al. (2016) e Al-Sadi et al. (2018) descrevem as lesões causadas por *Bipolaris* sp. como lesões necróticas pardas, sobre a superfície do limbo foliar que progridem tomando formato oval alongado, de coloração marrom escuro e com a presença de halo amarelo, semelhantes as notadas no presente trabalho.

O fotoperiodismo é uma variável muito importante para o desenvolvimento vegetal, estando estritamente relacionado a produção de grãos e reflete consequentemente na patogênese e no manejo de doenças foliares (LEMES et al., 2020). Além disso, a luz é uma fonte de energia que regula a fotossíntese e a expressão gênica das plantas (FOLTA & CARVALHO, 2015). No caso do trigo, admite-se que a planta pode responder ao fotoperíodo (comprimento do dia) desde, imediatamente após a emergência, até o final da fase reprodutiva. O trigo é uma planta de dias longos, isto é, acelera o seu desenvolvimento com a elevação do fotoperíodo, até um limite de 20 horas por dia (CHAGAS et al., 2021). No estudo do patossistema *B. bicolor* vs. Trigo nos diferentes fotoperíodos, notou-se diferença na severidade da doença causada pelas cepas de *B. bicolor*. Com o aumento das horas de incidência luminosa sob as folhas de trigo, houve a redução das AFL até o regime de 14 h e a partir deste ponto tendeu-se à elevação moderada, mantendo-se à taxas epidemiológicas semelhantes. Corroborando com este fato, Macioszek et al. (2021) analisando a patogenicidade de *Alternaria brassicola* em *Brassica juncea* observou a diminuição das lesões necróticas causadas pelo patógeno com o aumento da exposição das plantas cultivadas à mais horas de luz contínuas. Nestes casos, o aumento do período de luz sob a planta infectada reduziu o desenvolvimento da doença e provavelmente também inibiu o crescimento do fungo, fato que pode ser observado em nosso trabalho principalmente quando exposto à 14 h luz.

Esta ocorrência está relacionada à influência do ritmo circadiano na imunidade das plantas, embora plantas pareçam ser mais vulneráveis ao ataque de patógenos durante o período de luz, por conta da atividade fotossintética e estômatos abertos. No entanto, há um pico de ácido jasmônico (AJ), um hormônio que é necessário na defesa da planta, além do

acionamento de rotas de defesa mediadas pelo ácido salicílico que possuem ação contra fungos necrotróficos, como *B. bicolor*, que tem sido observado por meio de um período claro prolongado em *Arabidopsis* (WANG et al., 2011; BALLARE et al., 2014; KARAPETYANA & DONG, 2018).

Além disso, alguns autores revelam que a redução do período escuro pode aumentar a resistência das plantas contra *B. bicolor*, através da extensa produção de metabólitos com propriedades antifúngicas, por exemplo, de compostos fenólicos (LIU et al., 2021; IQBAL et al., 2021). A biossíntese desses compostos antifúngicos é regulada pela luz e foi demonstrado que a exposição ao escuro diminui seu conteúdo (IQBAL et al., 2021). Adicionalmente, essa diminuição das atividades patogênicas de *B. bicolor* também pode estar relacionada ao estresse no patógeno. Já foi relatado para vários fungos fitopatogênicos, por exemplo, o necrotrófico *Botrytis cinerea*, a existência de um ritmo circadiano na patogênese, e a luz influencia seu desenvolvimento e respostas a estresses (HEVIA et al., 2016). Para exemplificar, em espécies do gênero *Alternaria*, crescimento, esporulação e até produção de toxinas são inibidos por um período de luz prolongado (RAY et al., 2009). Assim, o aumento da iluminação contínua e reduções do período de escuro pode ser um fator de estresse tanto para a planta hospedeira levando-a atuar em rotas de defesa, quanto para o fungo patogênico reduzindo sua atividade fitopatogênica. Contudo, este estresse em larga escala também pode ser danoso ao hospedeiro, levando a diminuição da eficiência do aparato fotossintético e posição foliar de algumas plantas em elevados níveis de luz (MACIOSZEK et al., 2021).

Interessante mencionar ainda que as cepas *B. bicolor* apresentaram diferentes níveis de virulência nos fotoperíodos. Atualmente, tem sido relatado variabilidades patogênicas, tratando-se de diferentes níveis de virulência e agressividade em espécies do gênero *Bipolaris* sp. Esta variabilidade verificada ratifica a existência de diferentes habilidades em populações locais que estão sofrendo processos evolutivos, diferindo entre si e apontando que o gênero *Bipolaris* sp. passa por constantes adaptações em seus patossistemas (GAMBA et al., 2019; VERMA et al., 2020).

Vale salientar que de forma prática, no presente estudo não houve um decréscimo na área foliar lesionada a partir das 16 h luz. Porém, é notório que os padrões de virulência e agressividade ficaram semelhantes ao padrão de 12 h. Assim, é necessário um estudo mais aprofundado de viabilidade produtiva da cultura, analisando caracteres agrônômicos para validação da viabilidade de investimento e para por exemplo, a realização de recomendações da utilização de suplementação luminosa (LEMES et al., 2020).

## 5.2 Patogenicidade, severidade e reações de hipersensibilidade de *B. bicolor* em milho e sorgo

A espécie *B. bicolor* já foi amplamente relatada infectando sementes de trigo e sorgo, como fungo necrotrófico (CARVAHO et al., 2014; PEIXOTO et al., 2018). Contudo, mesmo poucos, existem relatos que reportam infecções foliares da espécie em sorgo e milho (KARAMI et al., 2020). Em nosso estudo, percebeu-se que na cultura do milho as cepas oriundas de sementes de trigo foram altamente patogênicas incitando lesões de tamanhos semelhantes à outras espécies mais recorrentes como *B. maydis* (REIS et al., 2016). Estas constatações verificadas em nosso trabalho podem levar a diversas implicações, pois verifica-se que essas populações de *B. bicolor* oriundas do Planalto Central Brasileiro estão apresentando elevados níveis de virulência em diferentes hospedeiros. Além disso, o patógeno é caracterizado pelo hábito hemibiotrófico, ou seja, sobrevive em restos de plantas entre as épocas de cultivo, podendo ser responsáveis para a transmissão cruzada e geração de epidemias da doença (RAMESH et al., 2021), o que pode ocasionar o aumento das dificuldades no controle a campo e acarretando grandes perdas na cadeia produtiva dos grãos (SINGH et al., 2016).

A capacidade de patogenicidade pelas cepas de *B. bicolor* verificada em sua grande maioria nas três culturas testadas é um alerta para a epidemiologia da doença. Membros do gênero *Bipolaris* foram relatados como capazes de infectar uma ampla variedade de hospedeiros, incluindo espécies gramíneas e não gramíneas (MANAMGODA et al., 2014), dos quais apenas algumas espécies de importância econômica foram minuciosamente investigadas em termos de biologia e gama de hospedeiros (KLECZEWSKI et al., 2012). Para exemplificar, espécies de *Bipolaris*, como *B. sorokiniana*, *B. maydis* e *B. oryzae* já foram encontradas em vários hospedeiros. Em contraste, várias outras espécies de *Bipolaris* incluindo *B. clavata*, *B. microstegii* e *B. gossypina* foram relatados para infectar um único hospedeiro (MANAMGODA et al., 2014).

Estas capacidades de elevada virulência ou avirulência e adaptabilidade no espectro de hospedeiros, pode estar ligada, a mudanças genômicas no genoma do patógeno ao longo do tempo, como hibridização, transferência horizontal de genes, mutação pontual, parcial ou deleção completa do gene e substituição do nucleotídeo e / ou aminoácido resultando no salto do hospedeiro (MORRIS & MOURY, 2019). Por exemplo, o surgimento de *Magnaporthe oryzae* no trigo foi devido à perda de função de um único gene de avirulência (INOUE et al., 2017). *Blumeria graminis* f. spp. *triticales*, por outro lado, é um híbrido de dois *B. graminis* subespécies que se especializam em trigo e centeio (MENARDO et al., 2016). No entanto, o

fator genético envolvido nos saltos do número de hospedeiros que o patógeno infecta é amplamente desconhecido (MORRIS & MOURY, 2019).

Corroborando com nosso estudo, Ramesh et al. (2021) avaliando os níveis de virulência de *B. setariae* constataram que apesar do fato de que este patógeno foi descoberto pela primeira vez em 1987 (Sivanesan) hospedando *Echinochloa* spp., *Eleusine coracana*, *Eragrostia* spp., *Panicum* spp., *Pennisetum* spp. e *Setaria italica*, os resultados do estudo revelaram que isolados de *B. setariae* não infectou *E. coracana*, *E. frumentacea*, *P. sumatrense*, *P. miliaceum* e *P. scrobiculatum*. Isto enfatiza que existe uma relação incompatível entre patógeno e acessos resistentes/tolerantes. Ou seja, para que ocorra a doença é necessário no processo de patogênese a identificação patógeno-hospedeiro, o que pode explicar, por exemplo, a baixa severidade das cepas F-24-01 e F-24-06 em milho e das seis cepas em sorgo.

O fato verificado de reações de hipersensibilidade (RH) nas folhas de sorgo pode estar relacionado aos mecanismos de defesa da planta à espécie de patógeno específica (NOMAM et al., 2020). Relatos da existência de resistência de sorgo à *B. bicolor* tem sido relatada em diversas cultivares (PEREIRA et al., 2016). Neste trabalho, verificou-se que o patógeno iniciou o processo de patogênese, com desenvolvimento de sintomas e sinais nas folhas até o 4 DAI. Contudo, percebe-se que a planta iniciou o processo de bloqueio da infecção, o que pode ser verificado com a presença de áreas necrosadas formadas ao redor do disco de micélio inoculado, com coloração avermelhada/marrom. Esta reação desencadeada pela planta, pode ser explicado por conta que após a chegada do patógeno na planta resistente ou tolerante, as células infectadas rapidamente perdem o turgor, tornando-se geralmente com coloração marrom (devido à oxidação de fenóis) e morrem (KACPRZYK & DALY, 2011). Este processo pode ser bastante benéfico para a planta, uma vez que isolou o inóculo do patógeno a uma pequena área foliar (SAUR et al., 2020). Contudo vale ressaltar, que esta situação favoreceu a planta de sorgo neste momento, mas, posteriormente pode ser deletéria por conta de o patógeno *B. bicolor* ser hemibiotrófico, o qual apresenta nas primeiras interações com o hospedeiro ações biotróficas, mas posteriormente muda para um estilo de vida necrotrófico. Nesses casos, a RH pode ser benéfico para o hospedeiro no início, mas não no final da interação (JUPE et al., 2013; BALINT-KURTI, 2019).

A diferença encontrada na severidade dos sintomas causadas pelas cepas testadas nas culturas de milho e sorgo neste trabalho corrobora com estudos que direcionaram à avaliação de espécies em patogenicidade cruzada entre as culturas. Bruckart et al. (2017) avaliando a virulência e agressividade de *B. microstegii* e *B. drechsleri* em milho e sorgo, constataram em seus resultados à existência distintas e reações patogênicas diferenciais entre as populações de

*Bipolaris* sp. e acessos de culturas de interesse econômico, que reagiram com formação de HRs e evidenciando níveis de tolerância, como ocorrido no presente trabalho.

## 6. CONCLUSÃO

- 1) O aumento de luminosidade diária interfere na interação planta-patógeno, sendo o fotoperíodo de 14 h de luz que apresenta os menores índices de severidade da doença causada por *B. bicolor* em trigo cv. 'BRS264';
- 2) A cepa F-24-02 apresentou a maior severidade em folhas de trigo nos cinco fotoperíodos testados;
- 3) As seis cepas testadas apresentam capacidade de infectar outros hospedeiros da mesma família botânica, contudo apresenta preferência ao trigo;
- 4) As cepas apresentam comportamento intrínsecos quando submetidos a determinado hospedeiro, havendo diferenças nos níveis de severidade da doença;
- 5) O sorgo cv. 'K-200' apresentou reações de hipersensibilidade e baixa área foliar lesionada por *Bipolaris bicolor*.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-SADI, A.M.; SPADARI, C.D.; NAVATHE, S.; WEI, X. *Bipolaris sorokiniana*-Induced Black Point, Common Root Rot, and Spot Blotch Diseases of Wheat: A Review. **Frontiers in Cellular and Infection Microbiology**, v.11, n. 584899, p. 1-9, 2021.
- ALVES, V.M.C.; VASCONCELLOS, C.A.; FREIRE, F.M.; PITTA, G.V.; FRANÇA, G.E. Sorgo. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Eds.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5<sup>a</sup>. Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais,1999, p. 381-383.
- BALINT-KURTI P. The plant hypersensitive response: concepts, control and consequences. **Molecular Plant Pathology**, v. 20, n. 8, p. 1163-1178, 2019.
- BALLARE, C.L. Light regulation of plant defense. **Annual Review of Plant Biology**, v. 65, n.1, p. 335-363, 2014.
- BHARDWAJ, V.; MEIER, S.; PETERSEN, L.N.; INGLE, R.A.; RODEN, L.C. Defense responses of *Arabidopsis thaliana* to infection by *Pseudomonas syringae* are regulated by the circadian clock. **Plos One**, v.6, n.10, p.1-8, 2011.
- BRANDHOFF, B.; SIMON, A.; DORNIEDEN, A.; SCHUMACHER, J. Regulation of conidiation in *Botrytis cinerea* involves the light-responsive transcriptional regulators BcLTF3 and BcREG1. **Current Genetics**, v. 63, n. 1, p. 931–949, 2017.
- BRUCKART, W. L.; ESKANDARI, F. M.; MICHAEL, J. L.; SMALLWOOD, E. L. Differential Aggressiveness of *Bipolaris microstegii* and *B. drechsleri* on Japanese Stiltgrass. **Invasive Plant Science and Management**, v. 10, n. 1, p. 44–52, 2017.
- BUDIARTI, S.W.; LUKMAN, R.; SUMARDIYONO, C.; WIBOWO, A.; PRIYATMOJO, A. Effect of photoperiod on the cultural morphology of *Rhizoctonia solani* isolates of maize from Yogyakarta and Central Java, Indonesia. **Biodiversitas**, v.20, n.7, p.2028-2038, 2019.
- CARVALHO, S. D.; CASTILLO, J. A. Influence of Light on Plant–Phyllosphere Interacton. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, n. 1482, p. 1-16, 2018.
- CARVER, T.L.W.; INGERSON-MORRIS, S.M.; THOMAS, B.J.; GAY, A.P. Light-mediated delay of primary haustorium formation by *Erysiphe graminis* f.sp. *avenae*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v.45, n.1, p.59-79, 1994.
- CHAGAS, J.H.; FRONZA, V.; SOBRINHO, J. S.; SUSSEL, A. A. B.; ALBRECHT, J. C. **Tecnologia de produção de trigo sequeiro no Cerrado do Brasil Central**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, Documentos, n. 195, 2021, 101 p.
- COHRS, K. C.; SIMON, A.; VIAUD, M.; SCHUMACHER, J. Light governs asexual differentiation in the grey mould fungus *Botrytis cinerea* via the putative transcription factor BcLTF2. **Environmental Microbiology**, v. 18, n. 11, p. 4068–4086, 2016.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FOLTA, K.M.; CARVALHO, S.D. Photoreceptors and control of horticultural plant traits. **HortScience**, v.50, n.9, p.1274-1280, 2015.

GAMBA, F. M.; FINCKH, M. R.; BACKES, G. Pathogenic variability of a Uruguayan population of *Bipolaris sorokiniana* in barley suggests a mix of quantitative and qualitative interactions. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 127, n. 1, p. 25-33, 2019.

HEVIA, M. A.; CANESSA, P.; LARRONDO, L. F. Circadian clocks and the regulation of virulence in fungi: Getting up to speed. **Seminars in Cell & Developmental Biology**, v. 57, n. 1, p.147–155, 2016.

HEVIA, M. A.; CANESSA, P.; MÜLLER-ESPARZA, H.; LARRONDO, L. F. A circadian oscillator in the fungus *Botrytis cinerea* regulates virulence when infecting *Arabidopsis thaliana*. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 112, n. 28, p. 8744–8749, 2015.

HUA, J. Modulation of plant immunity by light, circadian rhythm, and temperature. **Current Opinion in Plant Biology**, v.16, n.4, p.406-413, 2013.

INOUE, Y.; VY, T. T. P.; YOSHIDA, K.; ASANO, H.; MITSUOKA, C.; ASUKE, S.; ANH, V. L.; CUMAGUN, C. J. R.; CHUMA, I.; TERAUCHI, R.; KATO, K.; MITCHELL, T.; VALENT, B.; FARMAN, M.; TOSA, Y. Evolution of the wheat blast fungus through functional losses in a host specificity determinant. **Science**, v. 357, n. 7, p. 80–83, 2017.

IQBAL, Z.; IQBAL, M. S.; HASHEM, A.; ABD-ALLAH, E. F.; ANSARI, M. I. Plant defense responses to biotic stress and its interplay with fluctuating dark/light conditions. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, n. 631810, p. 1-22, 2021.

JUPE, J.; STAM, R.; HOWDEN, A. J. M.; MORRIS, J. A.; ZHANG, R.; HEDLEY, P. E. E.; HUITEMA, E. *Phytophthora capsici-tomato* interaction features dramatic shifts in gene expression associated with a hemi-biotrophic lifestyle. **Genome Biology**, v. 14, n. 6, p. 1-18, 2013.

KACPRZYK, J.; DALY, C.T.; MCCABE, P.F. Chapter 4 - the botanical dance of death: programmed cell death in plants. In: KADER, J.C.; DELSENY, M. (Eds.). **Advances in Botanical Research**. Cambridge: Academic Press, 2011, pp. 169–261.

KARAMI, S.; JAVAN-NIKKHAH, M.; BARDI-FOTUHIFAR, K.; RAHJOO, V.; AHMADPOUR, A.; ALIDADI, A. Study on *Bipolaris* and *Curvularia* species associated with corn, sorghum and sugarcane in Iran. **Iranian Journal of Plant Protection Science**, v.51, n.1, p. 1-18, 2020.

KARAPETYANA, S.; DONG, X. Redox and the circadian clock in plant immunity: A balancing act. **Free Radical Biology & Medicine**, v. 119, n. 1, p. 56–61, 2018.

KLECZEWSKI, N. M.; FLORY, S. L.; CLAY, K. Variation in pathogenicity and host range of *Bipolaris* sp. causing leaf blight disease on the invasive grass *Microstegium vimineum*. **Weed Science**, v. 60, n. 3, p. 486–493, 2012.

LEMES, E.M.; AZEVEDO, B.; LIDA, M. Irrigação de luz. **Revista Campo & Negócios**, v. online. 2020. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/irrigacao-de-luz-o-proximo-grande-salto-da-producao-agricola/> - Acesso em: 14 nov. 2021.

LIU, Z.; WANG, H.; XIE, J.; LV, J.; ZHANG, G.; HU, L.; LUO, S.; LI, L.; YU, J. The roles of Cruciferae glucosinolates in disease and pest resistance. **Plants**, v. 10, n. 6, p.1-15, 2021.

MACIOSZEK, V. K.; SOBCZAK, M.; SKOCZOWSKI, A.; OLIWA, J.; MICHLEWSKA, S.; GAPIŃSKA, M.; KONONOWICZ, A. K. The Effect of Photoperiod on Necrosis Development, Photosynthetic Efficiency and “Green Islands” Formation in *Brassica juncea* Infected with *Alternaria brassicicola*. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 16, p. 1-22, 2021.

MANAMGODA, D.S.; ROSSMAN, A.Y.; CASTLEBURY, L.A.; CROUS, P.W.; MADRID, H.; CHUKEATIROTE, E.; HYDE, K.D. The genus *Bipolaris*. **Studies in Mycology**, v.79, n.1, p.221–288, 2014.

MENARDO, F.; PRAZ, C. R.; WYDER, S.; BEN-DAVID, R.; BOURRAS, S.; MATSUMAE, H.; MCNALLY, K. E.; PARLANGE, F.; RIBA, A.; ROFFLER, S.; SCHAEFER, L. K.; SHIMIZU, K. K.; VALENTI, L.; ZBINDEN, H.; WICKER, T.; KELLER, B. Hybridization of powdery mildew strains gives rise to pathogens on novel agricultural crop species. **Nature Genetics**, v. 48, n. 1, p. 201–205, 2016.

MENEZES, J. O. S. Caracterização fisiológica de isolados de *Cochliobolus bicolor* (sin. *Bipolaris bicolor*) ocorrentes em sementes de trigo. **Dissertação de Mestrado**. Programa de Pós-Graduação Mestrado Acadêmico em Produção Vegetal. Universidade Estadual de Goiás, 2021, 37 p.

MOREJON, K. R.; MORAES, M. H. D.; BACH, E. E. Identification of *Bipolaris bicolor* and *Bipolaris sorokiniana* on wheat seeds (*Triticum aestivum* L.) in Brazil. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 37, n. 1, p. 247-250, 2006.

MORRIS, C. E.; MOURY, B. Revisiting the concept of host range of plant pathogens. **Annual Review of Phytopathology**, v. 25, n 1., p. 63–90, 2019.

PEIXOTO, G.H.S.; MUNIZ, P.H.P.C.; MILAN, M.D.; BARROSO, F.M.; CARVALHO, D.D.C. Incidência e caracterização morfológica de *Alternaria alternata* e *Bipolaris bicolor* em sementes de trigo ‘BRS 264’. **Colloquium Agrariae**, v. 14, n.4, p. 80-87, 2018.

PEREIRA, O.A.P. Doenças do milho. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L.E.A. **Manual de Fitopatologia: Doenças das plantas cultivadas**. 5 ed. Ouro Fino: Agronômica Ceres, v.2, 2016, p.500-515.

RAMESH, G. V.; PALANNA, K. B.; VINAYKUMAR, H. D.; KUMAR, A.; KOTI, P. S.; MAHESHA, H. S.; NAGARAJA, T. E.; TONAPI, V. A.; JEEVAN, B. Occurrence and characterization of *Bipolaris setariae* associated with leaf blight of browntop millet (*Brachiaria ramosa*) in India. **Journal of Phytopathology**, v. 169, n. 10, p. 1–10, 2021.

RAY, P.; PANDEY, A. K. Influence of photoperiod on growth and mycoherbicidal potential of *Alternaria alternata*, a biocontrol agent of waterhyacinth. **J Journal of Mycology and Plant Pathology**, v. 39, n. 3, p. 458–461, 2009.

REIS, E.M.; CASA, R.T.; FORCELINI, C.A. Doenças do Trigo. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L.E.A. **Manual de Fitopatologia: Doenças das plantas cultivadas**. 5 ed. Ouro Fino: Agronômica Ceres, v.2, 2016, p.675-685.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J.F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SAUR, I. M. L.; HÜCKELHOVEN, R. Recognition and defence of plant-infecting fungal pathogens. **Journal of Plant Physiology**, v. 256, n. 1, p.153324., 2020.

SINGH, D.P.; SINGH, S.K.; SINGH, I. Assessment and impact of spot blotch resistance on grain discoloration in wheat. **Indian Phytopathology**, v.69, n.4, p.363–367, 2016.

SOUZA, M.A.; FRONZA, V. Trigo. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Eds.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª. Aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais,1999. p. 381-383.

SULTANA, S.; ADHIKARY, S.K.; ISLAM, M.M.; RAHMAN, S.M.M. Evaluation of Pathogenic Variability Based on Leaf Blotch Disease Development Components of *Bipolaris sorokiniana* in *Triticum aestivum* and Agroclimatic Origin. **The Plant Pathology Journal**, v.34, n.2, p.93-103, 2018.

TISCH, D.; SCHMOLL, M. Light regulation of metabolic pathways in fungi. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v.85, n.5, p.1259-1277, 2010.

VERMA, S. K.; CHAURASIA, S. K.; PANKAJ, Y. K.; KUMAR, R. Study on the genetic variability and pathogenicity assessment among isolates of spot blotch causing fungi (*Bipolaris sorokiniana*) in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Plant Physiology Reports**, v. 25, n. 2, 255–267, 2020.

WANG, H.; JIANG, Y.P.; YU, H.J.; XIA, X.J.; SHI, K.; ZHOU, Y.H.; YU, J.Q. Light quality affects incidence of powdery mildew, expression of defense-related genes and associated metabolism in cucumber plants. **European Journal of Plant Pathology**, v.127, n.1, p.125-135, 2010.

WANG, W.; BARNABY, J.Y.; TADA, Y.; LI, H.; TOR, M.; CALDELARI, D.; LEE, D.; FU, X.D.; DONG, X. Timing of plant immune responses by a central circadian regulator. **Nature**, v.470, n.1, p.110-114, 2011.

WANG, Z.; WANG, J.; LI, N.; LI, J.; TRAIL, F.; DUNLAP, J. C.; TOWNSEND, J. P. Light, sensing by opsins and fungal ecology: NOP-1 modulates entry into sexual reproduction in response to environmental cues. **Molecular Ecology**, v. 27, n. 1, p. 216–232, 2018.

## CONCLUSÕES GERAIS

- 1) A luz apresenta influência sobre a germinação de esporos de *B. bicolor*. O regime de escuro constante foi o que apresentou os maiores valores médios do comprimento do tubo germinativo;
- 2) Os regimes de luz não influenciam no percentual total de germinação, apenas no desenvolvimento do tubo germinativo ao longo do tempo.
- 3) Verificou-se que as cepas de *B. bicolor* oriundas de sementes de trigo apresentam patogenicidade em folhas de trigo, miho e sorgo.
- 4) O aumento do fotoperíodo na cultura do trigo diminui a área foliar lesionada até 14 h luz e tende a estabilizar com o aumento de horas luz;
- 5) As cepas testadas apresentam capacidade de infectar diferentes culturas, fato que pode ocasionar epidemias em regiões produtoras das culturas;

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDULLAH, A. S.; GIBBERD, M. R.; HAMBLIN, J. Co-infection of wheat by *Pyrenophora tritici-repentis* and *Parastagonospora nodorum* in the wheatbelt of Western Australia. **Crop and Pasture Science**, v. 71, n. 2, p. 119–127, 2020.
- ABOUKHADDOUR, R.; FETCH, T.; MCCALLUM, B. D.; HARDING, M. W.; BERES, B. L.; GRAF, R. J. Wheat diseases on the prairies: A Canadian story. **Plant Pathology**, v. 69, n. 3, p. 418–432, 2020.
- AL-SADI, A.M.; SPADARI, C.D.; NAVATHE, S.; WEI, X. *Bipolaris sorokiniana*-Induced Black Point, Common Root Rot, and Spot Blotch Diseases of Wheat: A Review. **Frontiers in Cellular and Infection Microbiology**, v.11, n. 584899, p. 1-9, 2021.
- ALVAREZ, M., SCHREY, A. W., RICHARDS, C. L. Ten years of transcriptomics in wild populations: What have we learned about their ecology and evolution? **Molecular Ecology**, v. 24, n. 4, p. 710-725, 2015.
- AYANA, G. T.; ALI, S.; SIDHU, J. S.; GONZALEZ HERNANDEZ, J. L.; TURNIPSEED, B.; SEHGAL, S. K. Genome-wide association study for spot blotch resistance in hard winter wheat. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, n. 926, p. 1-15, 2018.
- BALINT-KURTI P. The plant hypersensitive response: concepts, control and consequences. **Molecular Plant Pathology**, v. 20, n. 8, p. 1163-1178, 2019.
- CARVALHO, D.D.C.; OLIVEIRA, A.M.E.; LAGO, H.M.S.; RODRIGUES, F. Incidência de *Bipolaris bicolor* em sementes de sorgo granífero no Brasil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.13, n.2, p. 240-247, 2014.
- CARVALHO, S. D.; CASTILLO, J. A. Influence of Light on Plant–Phyllosphere Interacton. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, n. 1482, p. 1-16, 2018.
- CHAGAS, J.H.; FRONZA, V.; SOBRINHO, J. S.; SUSSEL, A. A. B.; ALBRECHT, J. C. **Tecnologia de produção de trigo sequeiro no Cerrado do Brasil Central**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, Documentos, n. 195, 2021, 101 p.
- CHOI, H.W. HWANG, B.K. Molecular and cellular control of cell death and defense signaling in pepper. **Planta**, v. 241, n. 1, p. 1-27, 2015.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Décimo Segundo Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília: Conab, v.7, n.12, 2021, 33p.
- COSTA, R. V.; SILVA, D. D.; COTA, L. V. **Mancha-de-Bipolaris-do-Milho**. Sete Lagoas: Embrapa, Circular Técnica, n. 207, 4 p., 2014.
- COTA, L.V.; COSTA, R.V.; CASELA C.R. **Cultivo do Sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, Sistemas de Produção, 6º ed. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/82182/1/doencas.pdf>
- CÚNDOM, M. A.; CABRERA, M. G.; GUTIÉRREZ, S. A. *Bipolaris sorghicola* un patógeno emergente en cultivos de sorgo del NE de Argentina. **Summa Phytopathologica**, v. 39, n. 4, p. 295-296, 2013.

DEVI, H. M.; MAHAPATRA, S.; DAS, S. Assessment of yield loss of wheat caused by spot blotch using regression model. **Indian Phytopathology**, v. 71, n.1, p. 291–294, 2018.

DIXON, R.; HARRISON, M.; LAMB, C. Early events in the activation of plant defense responses. **Annual Review of Phytopathology**, v. 32, n. 1, p. 479–501, 1994.

FAOSTAT – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS STATISTICS DIVISION. Data Fao. 2021. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 19 out. 2021.

FARR, D. F.; ROSSMAN, A. Y. Fungal databases systematic mycology and microbiology laboratory. **ARS, USDA**, v. online, 2013.

FELSENFELD, G.; GROUDINE, M. Controlling the double helix. **Nature**, v. 421, n. 6921, p. 448–453, 2003.

FIGLIARESE, S.L.; OLIVEIRA, J.C.; MAZZUCO, V.; WUADEN, A.F.; DRUN, R.P. Desempenho agrônômico de cultivares de trigo para safrinha no Planalto de Santa Catarina, Brasil. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 19, n. 2, p. 188-196, 2021.

FULLER, K. K.; LOROS, J. J.; DUNLAP, J. C. Fungal photobiology: Visible light as a signal for stress, space and time. **Current Genetics**, v. 61, n. 3, p. 275–288, 2015.

FULLER, K. K.; RINGELBERG, C. S.; LOROS, J. J.; DUNLAP, J. C. The fungal pathogen *Aspergillus fumigatus* regulates growth, metabolism, and stress resistance in response to light. **Mbio**, v. 4, n. 2, p. 1-11, 2013.

GALLUZZI, L.; VITALE, I.; AARONSON, S.A.; ABRAMS, J.M.; ADAM, D.; AGOSTINIS, P. et al. Molecular mechanisms of cell death: recommendations of the nomenclature committee on cell death. **Cell Death & Differentiation**, v. 25, n. 1, p. 486-541, 2018.

GAMBA, F. M.; FINCKH, M. R.; BACKES, G. Pathogenic variability of a Uruguayan population of *Bipolaris sorokiniana* in barley suggests a mix of quantitative and qualitative interactions. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 127, n. 1, p. 25-33, 2019

GULTYAEVA, E. I.; KOVALENKO, N. M.; SHAMANIN, V. P.; TYUNIN, V. A.; SHREYDER, E. R.; SHAYDAYUK, E. L.; et al. Population structure of leaf pathogens of common spring wheat in the West Asian regions of Russia and North Kazakhstan in 2017. **Vavilovskii Zhurnal Genet. Seleksii**, v. 22, n. 3, p. 363–369, 2018.

GUPTA, P. K.; CHAND, R.; VASISTHA, N. K.; PANDEY, S. P.; KUMAR, U.; MISHRA, V. K.; JOSHI, A. K. Spot blotch disease of wheat: the current status of research on genetics and breeding. **Plant Pathology**, v. 67, n. 3, p. 508–531, 2018a.

GUPTA, P. K.; VASISTHA, N. K.; AGGARWAL, R.; JOSHI, A. K. Biology of *B. sorokiniana* (syn. *Cochliobolus sativus*) in genomics era. **Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology**, v. 27, n. 1, p. 123–138, 2018b.

HE, Q.; MCLELLAN, H.; BOEVINK, P.C.; BIRCH, P.R.J. All Roads Lead to Susceptibility: The many modes of action of fungal and oomycete intracellular effectors. **Plant Communications**, v. 1, n. 4, p. 1-12, 2020

HEVIA, M. A.; CANESSA, P.; MÜLLER-ESPARZA, H.; LARRONDO, L. F. A circadian oscillator in the fungus *Botrytis cinerea* regulates virulence when infecting *Arabidopsis thaliana*. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 112, n. 28, p. 8744–8749, 2015.

IAKIMOVA, E.T.; MICHALCZUK, L.; WOLTERING, E.J. Hypersensitive cell death in plants: mechanisms and role in plant defence against pathogens. **Journal of Fruit and Ornamental Plant Research**, v.13, n. 1, p. 135-158, 2005.

JARROUDI, M. E.; KOUADIO, L.; BOCK, C. H.; JUNK, J.; PASQUALI, M.; MARAITE, H.; DELFOSSE, P. A threshold-based weather model for predicting stripe rust infection in winter wheat. **Plant Disease**. v. 101, n. 5, p. 693–703, 2017.

JUPE, J.; STAM, R.; HOWDEN, A. J. M.; MORRIS, J. A.; ZHANG, R.; HEDLEY, P. E. E.; HUITEMA, E. *Phytophthora capsici*-tomato interaction features dramatic shifts in gene expression associated with a hemi-biotrophic lifestyle. **Genome Biology**, v. 14, n. 6, p. 1-18, 2013.

KACPRZYK, J.; DALY, C.T.; MCCABE, P.F. Chapter 4 - the botanical dance of death: programmed cell death in plants. In: KADER, J.C.; DELSENY, M. (Eds.). **Advances in Botanical Research**. Cambridge: Academic Press, 2011, pp. 169–261.

KAMADA, T.; SANO, H.; NAKAZAWA, T.; NAKAHORI, K. Regulation of fruiting body photomorphogenesis in *Coprinopsis cinerea*. **Fungal Genetics and Biology**, v. 47 n. 11, p. 917–921, 2010.

LAU, D.; SBALCHEIRO, C. C.; MARTINS, F. C.; SANTANA, F.; MACIEL, J. L. N.; FERNANDES, J. M. C.; COSTAMILAN, L. M.; LIMA, M. I. P. M.; KUHNEM, P.; CASA, R. T. **Principais doenças do trigo no sul do Brasil: diagnóstico e manejo**. Passo Fundo: Embrapa, Comunicado Técnico, n. 375, 46 p., 2020.

LENGELER, K. B.; DAVIDSON, R. C.; D'SOUZA, C.; HARASHIMA, T.; SHEN, W. C.; WANG, P.; PAN, X.; WAUGH, M.; HEITMAN, J. Signal transduction cascades regulating fungal development and virulence. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, v. 64, n. 4, p. 746–785, 2000.

LI, Z.; NIELSEN, K. Morphology changes in human fungal pathogens upon interaction with the host. **Journal of Fungi**, v. 3, n. 4, p. 1-14, 2017.

LIANG, X.; PENG, Y.; LIU, Y.; WANG, M.; YANG, Y.; ZHANG, Y. First report of *Bipolaris bicolor* causing a leaf spot disease on rubber tree. **Journal of Phytopathology**, v. 167, n. 10, p.1–5, 2019.

LIU, J; FENG, H; HE, J; CHEN, H; DING, D. The effects of nitrogen and water stress on the nitrogen-to-protein conversion factor of winter wheat. **Agricultural Water Management**, v. 210, n. 1, p. 217-223, 2018.

LO PRESTI, L.; LANVER, D.; SCHWEIZER, G.; TANAKA, S.; LIANG, L.; TOLLLOT, M.; ZUCCARO, A.; REISSMANN, S.; KAHMANN, R. Fungal effectors and plant susceptibility. **Annual Review of Plant Biology**, v. 66, n. 1, p. 513-545, 2015.

MANAMGODA, D.S.; ROSSMAN, A.Y.; CASTLEBURY, L.A.; CROUS, P.W.; MADRID, H.; CHUKEATIROTE, E.; HYDE, K.D. The genus *Bipolaris*. **Studies in Mycology**, v.79, n.1, p.221–288, 2014.

MILAN, M. D.; SOUZA, D. P.; MUNIZ, P. H. P.C.; PEIXOTO, G. H. S.; AHMAD, S.; GUIMARÃES, G. R.; OLIVEIRA, T. A. S.; DUARTE, E. A. A.; SANTOS, S. X.; RODRIGUES, F.; CARVALHO, D. D. C. Circadian Rhythms, such as light regimes influencing *in vitro* growth of *Pestalotiopsis mangiferae* from mango tree. **Plant Pathology Journal**, v. 20, n. 1, p. 23-28, 2021.

NOMAN, A.; AQEEL, M. QARI, S. H.; AL SURHANEE, A. A.; YASIN, G.; ALAMRI, S.; HASHEM, M.; AL-SAAD, A. M. Plant hypersensitive response vs pathogen ingress: Death of few gives life to others. **Microbial Pathogenesis**, v. 145, n. 104224, p. 1-8, 2020.

O'MEARA, T. R.; COWEN, L. E. Hsp90-dependent regulatory circuitry controlling temperature-dependent fungal development and virulence. **Cellular Microbiology**, v. 16, n. 4, p. 473–481, 2014.

PALAZZO, A. F.; LEE, E. S. Non-coding RNA: What is functional and what is junk? **Frontiers in Genetics**, v. 6, n. 2, p. 1-11, 2015.

PANIZZI, R.C.; FERNANDES, N.G. Doenças do Sorgo. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L.E.A. **Manual de Fitopatologia: Doenças das plantas cultivadas**. 5 ed. Ouro Fino: Agronômica Ceres, v.2, 2016, p.628-640.

PASINATO, A.; CUNHA, G.R.; FONTANA, D.C.; MONTEIRO, J.E.B.A.; NAKAI, A.M.; OLIVEIRA, A.F. Potential area and limitations for the expansion of rainfed wheat in the Cerrado biome of Central Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.53, n.7, p.779-790, 2018.

PAUL, A. R.; PARBERY, D. G. The perfect state of *Helminthosporium bicolor*. **Transactions of the British Mycological Society**, v. 49, n. 3, p. 385-386, 1966.

PEREIRA, O.A.P. Doenças do milho. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L.E.A. **Manual de Fitopatologia: Doenças das plantas cultivadas**. 5 ed. Ouro Fino: Agronômica Ceres, v.2, 2016, p.500-515.

PITSILI, E.; PHUKAN, U.J.; COLL, N.S. Cell death in plant immunity. **Cold Spring Harbor Perspectives in Biology**, v. 12, n. 6, p. 1-14, 2019.

REIS, E.M.; CASA, R.T.; FORCELINI, C.A. Doenças do Trigo. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L.E.A. **Manual de Fitopatologia: Doenças das plantas cultivadas**. 5 ed. Ouro Fino: Agronômica Ceres, v.2, 2016, p.675-685.

SAUR, I. M. L.; HÜCKELHOVEN, R. Recognition and defence of plant-infecting fungal pathogens. **Journal of Plant Physiology**, v. 256, n. 1, p.153324., 2020.

SHARMA, V. K.; NIWAS, R.; KARWASRA, S. S.; SAHARAN, M. S. Progression of powdery mildew on different varieties of wheat and triticale in relation to environmental conditions. **Journal of Agrometeorology**, v. 19, n. 1, p. 84–87, 2017.

SILVA, A.N; RAMOS, M.L.G.; RIBEIRO JUNIOR, W.Q; ALENCAR, E.R; SILVA, P.C; LIMA, C.A; VINSON, C.C; SILVA, M.A.V. Water stress alters physical and chemical quality in grains of common bean, triticale and wheat. **Agricultural Water Management**, v.231, n. 1, p. 1-10, 2020.

SILVA, C. R.; GUSMÃO, L. F. P.; CASTANEDA-RUIZ, R. F. Two new conidial fungi from 1088 Chapada Diamantina, Brazil. **Micotaxon**, v. 130, n. 2, p. 363-367, 2015.

SINGH, D.P.; SINGH, S.K.; SINGH, I. Assessment and impact of spot blotch resistance on grain discoloration in wheat. **Indian Phytopathology**, v.69, n.4, p.363–367, 2016.

SOARES, G.F.; RIBEIRO JÚNIOR, W. Q; PEREIRA, L. F; LIMA, C. A; SOARES, D. S; MULLER, O; RASCHER, U; RAMOS, M. L. G. Characterization of wheat genotypes for drought tolerance and water use efficiency. **Scientia Agrícola**, v. 78, n. 5, p. 1-11, 2021.

SULTANA, S.; ADHIKARY, S.K.; ISLAM, M.M.; RAHMAN, S.M.M. Evaluation of Pathogenic Variability Based on Leaf Blotch Disease Development Components of *Bipolaris sorokiniana* in *Triticum aestivum* and Agroclimatic Origin. **The Plant Pathology Journal**, v.34, n.2, p.93-103, 2018.

SUN, X.; QI, X.; WANG, W.; LIU, X.; ZHAO, H.; WU, C.; CHANG, X.; ZHANG, M.; CHEN, H.; GONG, G. Etiology and Symptoms of Maize Leaf Spot Caused by *Bipolaris* spp. in Sichuan, China. **Pathogens**, v.9, n.3, p.1-18, 2020.

TISCH, D.; SCHMOLL, M. Light regulation of metabolic pathways in fungi. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v.85, n.5, p.1259-1277, 2010.

TRECATE, L.; AKOV, S.; MIESLEROV, B., MANSTRETTA, V.; ROSSI, V.; LEBEDA, A. Effect of temperature on infection and development of powdery mildew on cucumber. **Plant Pathology**, v.68, n.6, p. 1165–1178, 2019

TUCH, B. B.; GALGOCZY, D. J.; HERNDAY, A. D.; LI, H.; JOHNSON, A. D. The evolution of combinatorial gene regulation in fungi. **PLoS Biology**, v. 6, n. 2, p.38, 2008.

ÜNAL, F.; TURGAY, E. B.; YILDIRIM, A. F.; YUKSEL, C. First report of leaf blotch on sorghum caused by *Bipolaris spicifera* in Turkey. **Plant Disease**, v. 95, n.1, p. 495, 2011.

USDA. **Statistics by commodity**. 2021. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/statsByCommodity>. Acesso em: 23 de outubro de 2021.

VERMA, S. K.; CHAURASIA, S. K.; PANKAJ, Y. K.; KUMAR, R. Study on the genetic variability and pathogenicity assessment among isolates of spot blotch causing fungi (*Bipolaris sorokiniana*) in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Plant Physiology Reports**, v. 25, n. 2, 255–267, 2020.

WAILL, A. ELKHATEEB, A. B. D. U, AL KOLAIBE, G.; GHOSON, M. D.A.B.A. *Cochliobolus*, *Drechslera*, *Bipolaris*, *Curvularia* different nomenclature for one potent fungus. **Journal of Pharmaceutics and Pharmacology Research**, v. 4, n. 1, p. 1-6, 2021.

YANG, T.; DONG, C. Photo morphogenesis and photo response of the blue-light receptor gene Cmwc-1 in different strains of *Cordyceps militaris*. **FEMS Microbiology Letters**, v. 352, n. 2, p. 190–197, 2014.

ZHENG, Y.; XIE, Y.; XIE, Y.; YU, S. Asexual reproduction and vegetative growth of *Bionectria ochroleuca* in response to temperature and photoperiod. **Ecology and Evolution**, v. 11, n. 15, p. 1–11, 2021.

ZORB, C; LUDEWIG, U; HAWKESFORD, M.J. Perspective on wheat yield and Quality with reduced nitrogen supply. **Trends in Plant Science**, v. 23, n. 11, p. 1029-1037, 2018.

ZOU, K.T.; SHANG, L.; CHEN, S; GUO, H.; LI, X.; ZENG, W.L. Effects of different culture conditions on germination of conidia in pathogen of bitter melon powdery mildew. **Journal of Southern Agriculture**, v.51, n.3, p.571-578, 2020.