

## Ocorrência de fumonisinas em milho consorciado com gramíneas submetido a diferentes lâminas de água<sup>1</sup>

Maria Rita Francielle Gomes<sup>2</sup>, Rosangela Maria Simeão Resende<sup>3</sup>,  
Camilo de Lelis Teixeira de Andrade<sup>4</sup>, Luciano Viana Cota<sup>5</sup>, Isabela  
Cristina Martins Oliveira<sup>6</sup>, Dagma Dionísia da Silva<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Trabalho financiado pelo CNPq; <sup>2</sup> Estudante do Curso de Agronomia da Univ. Fed. de São João del-Rei, Bolsista PIBIC do Convênio CNPq/Embrapa; <sup>3, 4, 5, 7</sup> Pesquisadores da Embrapa Milho e Sorgo. Rod MG 424 Km 45, Zona Rural, Sete Lagoas - MG, 35701-970; <sup>6</sup> Mestre em Ciências Agrárias, curso de Agronomia da Univ. Fed. de São João del-Rei. isabelacmartins@yahoo.com.br

### Introdução

O sistema de produção agropecuário do Brasil é um dos mais dinâmicos do mundo. Isto porque nossas condições climáticas permitem o semeio de até três culturas em sucessão, num mesmo ano agrícola, com destaque para a cadeia produtiva de grãos permitir o cultivo, em sucessão, de soja, milho, sorgo, algodão, girassol, feijão, trigo e outras culturas em diversas regiões do País (Silva et al., 2018). Entre as culturas, o milho é destaque, por ser a segunda cultura mais produzida no Brasil, ser cultivado em praticamente todas as regiões e pela amplitude de usos na alimentação humana e animal. Além disso, o milho é uma commodity usada tanto para o consumo interno quanto para exportação. No entanto, as elevadas temperaturas somadas à alta umidade, predominante nas principais regiões produtoras, podem facilitar o aparecimento de contaminantes naturais de alimentos, dentre os quais os fungos. Estes podem se desenvolver ainda no campo, durante o armazenamento e até o processamento do produto. Caso o desenvolvimento destes fungos toxigênicos não seja evitado, pode acarretar sérios danos à saúde do consumidor, pela sua capacidade de produzir micotoxinas (Prestes et al., 2019; Valmorbidia, 2016). Em razão da importância econômica e social, a cultura do milho é visada quanto à sanidade, uma vez que a composição fisiológica dos grãos o torna suscetível a infecção por fungos toxigênicos (Zummo; Scott, 1992), o que agrava o problema para a cultura.

As micotoxinas são metabólitos secundários tóxicos, produzidos por diversos gêneros de fungos, como *Aspergillus*, *Fusarium* e *Penicillium*, podendo afetar até mesmo grãos de milho aparentemente sadios (Chagas et al., 2018; Lanza et al., 2017; Farias et al., 2000; Bennett; Klich, 2003). Sabe-se que diferentes espécies de fungos são capazes de produzir um mesmo tipo de micotoxina, assim como uma única espécie é

capaz de produzir mais de um tipo (Prestes et al., 2019). As micotoxinas ingeridas através de alimentos contaminados, de forma direta ou indireta, podem causar hemorragias e necroses, sendo o fígado, os rins e o sistema nervoso os mais atingidos (Pitt, 2000; Shephard, 2008; Santurio, 2000).

Entre as micotoxinas encontradas no milho, as fumonisinas (FB1, FB2) são as mais importantes pela frequência com que são encontradas. Essas micotoxinas são produzidas por *F. verticillioides*, *F. proliferatum* e *F. subglutinans* (Márcia; Lazzari, 1998; Scaff; Scussel, 2004; Kawashima; Soares, 2006; Scussel et al., 2011; Savi et al., 2014). No Brasil, o fungo *Fusarium verticillioides*, o principal produtor de fumonisinas, foi encontrado em mais de 90% das amostras obtidas em diferentes regiões (Lanza et al., 2014).

Os limites máximos tolerados (LMT) para micotoxinas são regulamentados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) através da RDC nº 7, de 18 de fevereiro de 2011, que entrou em vigor total em 1º de janeiro de 2017 (Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2011). No Brasil, o LMT para fumonisinas totais (B1+B2) em grãos é de 5.000 µg/kg (Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2011). A comercialização de grãos com níveis de fumonisinas totais acima dos permitidos pode impedir a exportação de grãos de milho para outros países, cuja legislação também regula este contaminante.

Entre os fatores que afetam a síntese de micotoxinas, temperatura, precipitação, atraso na colheita, irrigação e condições de estocagem parecem ser os principais (Costa et al., 2018; Paterson; Lima, 2010). Cotty e Jaime-Garcia (2007) associaram o atraso na colheita, a irrigação tardia, chuva e orvalho durante períodos quentes com aumento de aflatoxinas. No Brasil, dois sistemas de produção em milho, poderiam alterar o microclima durante o desenvolvimento da cultura, o uso de irrigação e a consorciação com gramíneas. Segundo Wakelin et al. (2008), em plantio de inverno, sistemas irrigados podem afetar as comunidades de *Fusarium* sp no solo. Ferrigo et al. (2014) relatam que *Fusarium* sp. necessita de umidade e temperaturas altas para seu desenvolvimento, podendo influenciar a população do patógeno e a produção de micotoxinas. Porém, o fornecimento de água via irrigação não tem sido associado ao aumento de micotoxinas, ao contrário, pode estar relacionado à redução, por diminuir o estresse por seca, fator associado à ocorrência de fumonisinas em milho (Ferrigo et al., 2014; Ariño et al., 2009). No caso do milho semeado em consórcio com plantas de cobertura/forrageiras, este sistema tem se tornado cada vez mais importante por proporcionar a cobertura do solo, além de disponibilizar nutrientes (Arf et al., 2018). No entanto, a relação de consórcio de milho com gramíneas e a ocorrência de micotoxinas ainda é pouco estudada. No Quênia, foi relatada redução de ocorrência de *Fusarium verticillioides* e de fumonisinas em sistemas consorciados de milho com plantas usadas para repelir insetos, conhecidos como push-pull (Njeru et al., 2020; Owuor et al., 2018).

No Brasil, o efeito do consórcio milho-gramíneas na incidência de micotoxinas não tem sido estudado.

Considerando a falta de pesquisas sobre sistemas irrigados e consórcio milho-gramíneas e a relação com a síntese de micotoxinas, o objetivo deste trabalho foi avaliar a ocorrência de fumonisinas em milho consorciado com diferentes tipos de gramíneas, submetido a diferentes lâminas de água.

## **Material e Métodos**

### **Experimento em campo**

O experimento foi semeado em 7 de março de 2019, na estação experimental da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG. A região possui clima tropical chuvoso, com verões quentes e chuvosos e invernos secos, classificado como Cwa segundo Köppen. O solo da área é o Latossolo Vermelho-amarelo de textura média (Panoso et al., 2002).

O híbrido de milho AG8088PRO2 foi consorciado com duas gramíneas forrageiras na linha: *Brachiaria brizantha* (BRS Paiaguás) e *Brachiaria* híbrida (BRS Ipyporã), em delineamento experimental de blocos casualizados, em arranjo de parcelas subdivididas, com oito repetições. As parcelas consistiram em seis fileiras de 3 m de comprimento, com espaçamento de 0,70 m entre fileiras e população final de 60 mil plantas/ha. Foi usado o esquema de faixas, sendo as parcelas constituídas pelo híbrido solteiro e em consórcio com as duas gramíneas, e as subparcelas, por seis lâminas de irrigação, aplicadas por aspersão em linha ou line-source (Hanks et al., 1980). Duas linhas externas foram deixadas como bordadura, e duas fileiras centrais foram utilizadas para quantificar a produção de grãos e os teores de fumonisinas.

Foi utilizado o sistema de plantio direto, com semeadura mecanizada do milho e semeadura manual das gramíneas forrageiras com as sementes distribuídas na profundidade média de 2 cm. O manejo de adubação, controle de pragas e plantas daninhas e outras práticas agrícolas foram realizados segundo recomendado para a cultura do milho.

O sistema de irrigação por aspersão foi constituído por três linhas laterais espaçadas de 18 metros, contendo aspersores Rain Bird modelo 14070 com alcance de 18 m, espaçados por 12 m. A área experimental foi irrigada com as três linhas laterais até o dia 7 de março de 2019. Após esse período, a área passou a ser irrigada apenas com a linha lateral central, caracterizando um sistema de irrigação tipo line-source. Este arranjo possibilita um gradiente decrescente de lâmina de irrigação aplicada perpendicularmente à linha lateral central de irrigação.

Dados de temperatura e precipitação da estação meteorológica do INMET, adjacente à área do experimento, foram coletados para analisar o efeito dessas condições na ocorrência de fumonisinas. A evapotranspiração potencial da cultura (ET<sub>c</sub>) e a chuva subsidiaram o manejo da irrigação com base no balanço hídrico diário. A chuva efetiva (Albuquerque; Andrade, 2001) também foi registrada. A lâmina de irrigação total para suprir plenamente o saldo do balanço hídrico foi associada à parcela junto à linha de irrigação central.

Para designar regiões de aplicação de diferentes níveis de irrigação, foram consideradas as seguintes distâncias da linha de irrigação ao centro da parcela: 0 a 3 m para L1, 3 a 6 m para L2, 6 a 9 m para L3, 9 a 12 m para L4, 12 a 15 m para L5 e 15 a 18 m para L6, em que L1 a L6 representam lâminas decrescentes. As lâminas foram quantificadas ao final de cada irrigação, por meio de coletores instalados na área, sendo, posteriormente, somadas à precipitação natural até as datas de colheita de grãos, sendo este o valor considerado como precipitação total. Assim, o volume total de água para cada lâmina foi de L1=478 mm ; L2= 462 mm, L3=432 mm, L4= 402 mm, L5=340 mm e L6= 276 mm.

Ao atingir a maturidade fisiológica dos grãos, a partir do dia 16 de julho, as duas fileiras de cada unidade experimental foram colhidas para determinação do rendimento de grãos e análise de fumonisinas.

### **Análise de Fumonisinas**

A determinação do teor de fumonisinas (FB1 + FB2) presente nas amostras de milho foi realizada pelo método IAC, que utiliza colunas de imunoafinidade para separação da micotoxina de interesse e posterior detecção por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE), acoplada com um detector de fluorescência (FLN). As etapas envolvidas no processo foram homogeneização e moagem das amostras, extração por solvente com posterior purificação, e por fim quantificação no CLAE.

Para a extração por solvente, utilizaram-se 10 gramas de cada amostra recém moída e então se adicionaram 50 ml de uma solução de extração composta por água:metanol:acetoneitrila, na proporção 50:25:25 (v/v). Com o auxílio de um Shaker (mesa agitadora), agitou-se por 40 minutos a 200 rpm. Após esta etapa, o extrato foi centrifugado a 3000 RPM por 10 minutos para o primeiro processo de limpeza. Em seguida o sobrenadante foi filtrado em papel de filtro qualitativo. Deste filtrado foram separados 5 mL em um béquer onde adicionaram-se 20 mL da solução de PBS (tampão salino) para diluição dele. Posteriormente, o conteúdo foi filtrado em papel filtro de microfibras de vidro (9 cm - 1µm). Deste extrato filtrado, 10 ml foram passados por uma coluna de imunoafinidade, que continha anticorpos específicos para fumonisinas. O sistema então foi lavado com 10 mL da solução tampão PBS para limpeza, e, por fim, com o auxílio de uma cubeta, o extrato foi recolhido após a eluição com 2,5 ml de metanol. Para a determinação, previamente foi realizada a secagem do extrato contido

na cubeta com uso de nitrogênio (N<sub>2</sub>) ou ar comprimido, sob uma temperatura de 55-60 °C. Logo após, o extrato seco foi ressuspensionado com 600 µL da mistura acetonitrila:água deionizada na proporção 50:50 (v/v) e homogeneizado através da agitação em Vórtex. Então o extrato foi filtrado em um filtro de seringa de 0,45 µm PTFE ou PVDF hidrofílico. Por fim 50 µL do extrato retomado foram transferidos para um vial de HPLC contendo um insert (reductor de volume) de 100 µL. A esta fração foram adicionados outros 50 µL de solução derivatizante (OPA), então o vial foi novamente agitado em Vórtex por 30 segundos. Após 3 minutos da adição do OPA o vial foi injetado no cromatógrafo líquido (CLAE) já preparado e estabilizado. Após a leitura, foi realizada a análise dos resultados. O método utilizado para determinação de FBs no CLAE foi validado no Laboratório de Segurança Alimentar (LSE) da Embrapa Milho e Sorgo, seguindo todos os critérios exigidos.

### Análise de dados

Os dados dos consórcios, temperaturas máximas, mínimas e médias, dias no campo (ciclo), precipitação total e teores de fumonisinas totais (FT) foram submetidos à análise de variância. Para comparação de médias foi aplicado teste de Tukey ao nível de 5% de significância, no software Sisvar (Ferreira, 2011). O valor de FT foi resultado da soma das fumonisinas B1 e B2. O ciclo da cultura foi considerado a partir da data de semeadura até a data de colheita para cada tratamento. Para as análises, os valores de FT foram transformados em raiz quadrada de  $Y + 0.5 - \text{SQRT}(Y + 0.5)$ . Para os dados fumonisinas totais em função das lâminas de irrigação e do ciclo foi aplicada análise de regressão ( $P < 0,05$  ou  $P < 0,1$ ).

### Resultados e Discussão

Não houve diferença significativa entre teores de fumonisinas totais (FT) quando comparados os fatores isolados, consórcios, ciclo, temperatura máxima, mínima e média e precipitação total. Diferença significativa nos teores de fumonisinas totais foi observada na interação dos consórcios com todos os fatores (Tabela 1).

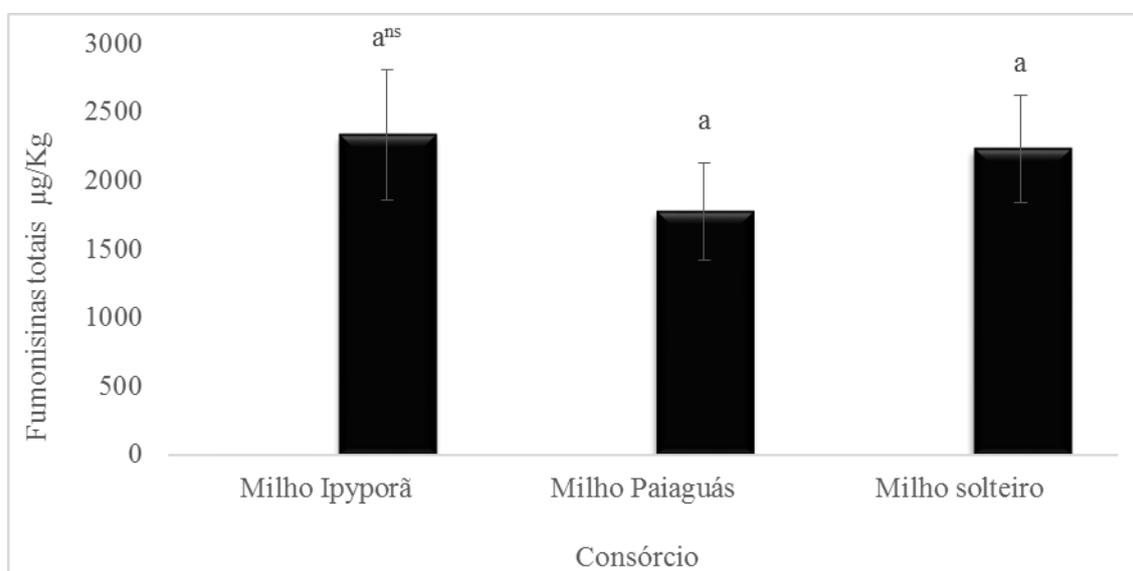
**Tabela 1.** Análise de variância para fumonisinas totais (FT), em três sistemas de cultivo de milho submetidos a diferentes lâminas de irrigação em Sete Lagoas, MG, 2019.

Fator de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	p-valor
Consórcios	2	296,89 <sup>ns</sup>	0,89	0,42
Lâminas	5	450,29 <sup>ns</sup>	1,34	0,26
Bloco	7	549,74 <sup>ns</sup>	1,63	0,14
Ciclo	5	450,29 <sup>ns</sup>	1,34	0,26
Temperatura máxima	3	290,41 <sup>ns</sup>	0,86	0,47

Temperatura mínima	3	157,94 <sup>ns</sup>	0,47	0,71
Temperatura média	3	650,93 <sup>ns</sup>	1,93	0,13
Precipitação total	5	450,29 <sup>ns</sup>	1,34	0,26
Consórcio x lâminas	10	176,31*	5,23	0,00
Consórcio x ciclo	10	1.762,31*	5,23	0,00
Consórcio x T. máxima	6	1.899,82*	5,63	0,00
Consórcio x T. mínima	6	1.482,60*	4,40	0,00
Consórcio x T. média	6	1.964,718*	5,83	0,00
Consórcio x Prec. total	10	1.762,31*	5,23	0,00
erro	62	337,18		
<b>Total corrigido</b>	<b>143</b>	<b>12.0351,21</b>		

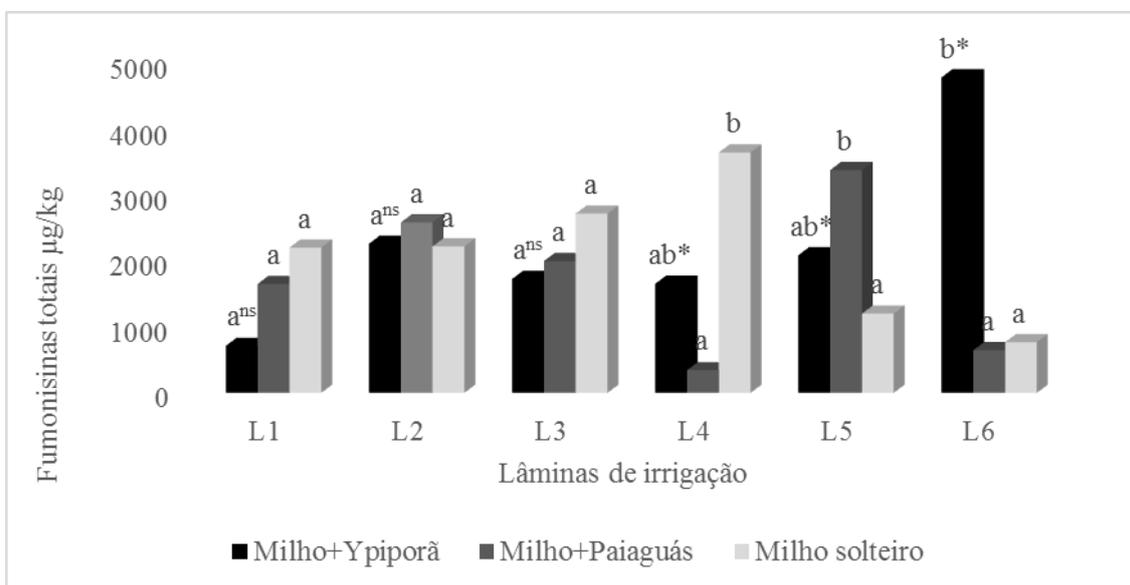
CV (%) = 52,90, média geral transformada= 34,71 µg/Kg, média geral sem transformação = 2.039,99 µg/Kg. \*significativo a 5% de probabilidade, <sup>ns</sup>não significativo.

Não houve diferença entre as médias gerais de FT dos três sistemas avaliados, Milho + Ypiporã, Milho + Paiaguás e Milho solteiro, cujos valores foram de 2.333,22 µg/Kg; 1.773,80 µg/Kg e 2.233,47 µg/Kg, respectivamente (Figura 1). A média geral de de FT ficou abaixo do Limite Maximo Tolerado no Brasil, de 5.000 µg/Kg em todos os consórcios.



**Figura 1.** Médias gerais de fumonisin totais (µg/Kg), em milho consorciado e solteiro. Sete Lagoas, MG. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns= diferença não significativa. Barras acima das colunas correspondem ao erro padrão.

Para as lâminas de água 1, 2 e 3 (p-valor=0,14, F=2,0; p-valor=0,66; F=0,42; p-valor=0,36, F=1,02) não foi observada diferença significativa entre médias de FT dos consórcios. Diferença significativa foi observada para as lâminas 4, 5 e 6 (p-valor=0,00, F=6,26; p-valor=0,02; F=4,45; p-valor=0,00, F=12,83) que correspondem aos menores volumes de água durante a condução dos experimentos (Figura 2). As maiores médias de FT foram observadas na L4 do Milho solteiro (3.658,52  $\mu\text{g}/\text{Kg}$ ), na L5 do consócio Milho+Paiaguás (3.391,72  $\mu\text{g}/\text{Kg}$ ) e na L6 para Milho+Ypiporã (4.801,33 $\mu\text{g}/\text{Kg}$ ) (Figura 2).

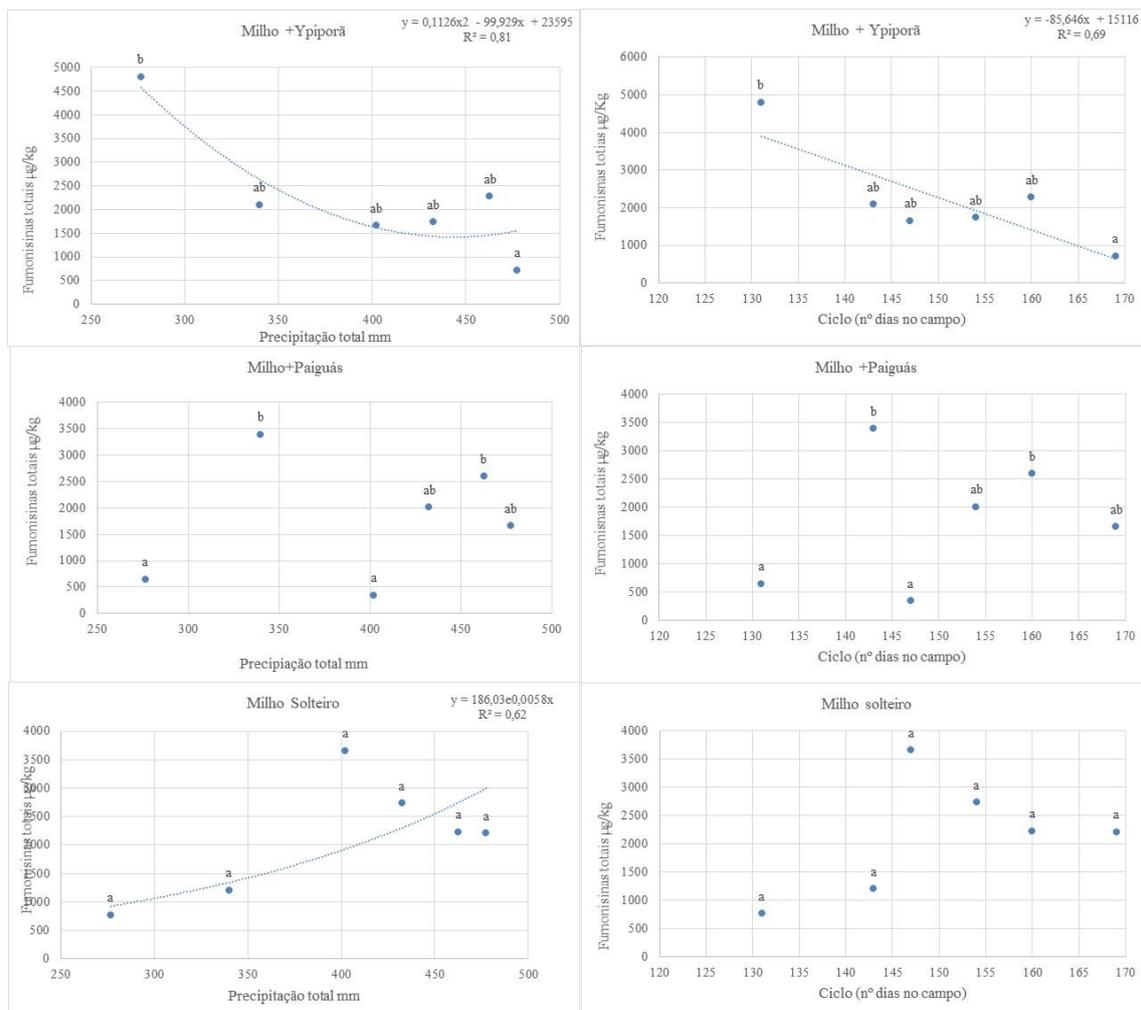


**Figura 2.** Médias de fumonisinas totais em três consórcios de milho com plantas forrageiras, submetidos a seis diferentes lâminas de irrigação. Volume de água em L1=478 mm; L2= 462 mm, L3=432 mm, L4= 402 mm, L5=340 mm e L6= 276 mm. Médias seguidas pela mesma letra nas colunas de cada lâmina não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns= diferença não significativa Sete Lagoas, MG, 2019.

Efeito significativo para médias de FT foi observado na interação entre a precipitação total e os três sistemas de cultivo de milho (p-valor = 0,01, F=3,50; p-valor= 0,00, F=5,5; p-valor=0,03 e F=2,71, Milho+Ypiporã, Milho+Paiaguás e Milho solteiro, respectivamente) (Figura 3). Para o consócio Milho+Ypiporã, o teor FT reduziu com o aumento da precipitação total (regressão significativa a 10%, p-valor=0,08; F=5,22). Para o milho solteiro, ao contrário, com o aumento da precipitação, houve aumento do teor de fumonisinas totais (regressão significativa a

10%, p-valor=0,06; F=6,98). Para o sistema Milho+Paiguás a regressão não foi significativa (p-valor= 0,55; F=0,43) (Figura 3).

Quando foi considerado o número de dias que o milho permaneceu no campo (ciclo), diferença significativa entre as médias de FT foi observada em todos os consórcios (p-valor=0,01; F=3,50; p-valor=0,00, F=5,59 e p-valor=0,03, F=2,71, para Milho+Ypiporã, Milho+Paiguás e Milho solteiro, respectivamente) (Figura 3). No sistema Milho+Ypiporã, houve redução dos teores de micotoxinas com o aumento de dias da cultura no campo de acordo com análise de regressão significativa (p-valor=0,04; F=8,89) (Figura 4). Para Milho+Paiguás e Milho solteiro a regressão foi não significativa (Figura 3).



**Figura 3.** Média de fumonisinas totais em três sistemas de cultivo de milho sob seis níveis de precipitação e ciclos de desenvolvimento. A precipitação corresponde às

lâminas + precipitação durante o ciclo de desenvolvimento da cultura. Significativo pelo teste Tukey a a 5% de probabilidade. Sete Lagoas, MG.

Houve interação significativa entre os teores de FT e as temperaturas mínima ( $p=0,02$ ;  $F=3,42$ ;  $p=0,01$ ,  $F=4,12$ , respectivamente) e média para os sistemas Milho+Ypiporã e Milho+Paiguás ( $p=0,03$ ;  $F=3,31$ ;  $p=0,00$ ,  $F= 9,20$ , respectivamente) (Tabela 2). Para a temperatura máxima, apenas o consórcio Milho+Paiguás foi significativo ( $p=0,00$ ;  $F=8,49$ ). Nenhum nível de temperatura apresentou efeito significativo para o sistema Milho solteiro (Tabela 2).

**Tabela 2.** Efeito de temperaturas mínimas, médias e máximas no teor de fumonisinas totais em milho cultivado em três sistemas de consórcio submetidos a diferentes lâminas de água. Sete Lagoas, MG, 2019.

Temperaturas	Milho +Ypiporã	Milho+ Paiguás	Milho Solteiro	
<b>Mínima</b>	19,50	714,67 a*	1.657,94 ab*	2.211,08 <sup>ns</sup>
	19,57	1.732,43 ab	2.006,13 ab	2.728,86
	19,60	2.095,74 ab	3.391,72 b	1.205,55
	19,70	2.910,63 b	1.195,66 a	2.219,55
<b>Média</b>	20,40	714,67 a*	1.657,94 ab*	2.211,0 <sup>ns</sup>
	20,47	1.732,43 ab	2.006,13 ab	2.728,86
	20,50	2.182,87 ab	2.992,68 b	1.716,78
	20,55	3.230,75 b	496,67 a	2.214,59
<b>Máxima</b>	21,30	1.732,43 <sup>ns</sup>	2.125,79 b*	2.219,55 <sup>ns</sup>
	21,36	1.492,52	2.006,13 ab	2.728,86
	21,39	2.095,74	3.391,72 b	1.205,55
	21,40	3.230,75	496,67 a	2.214,59

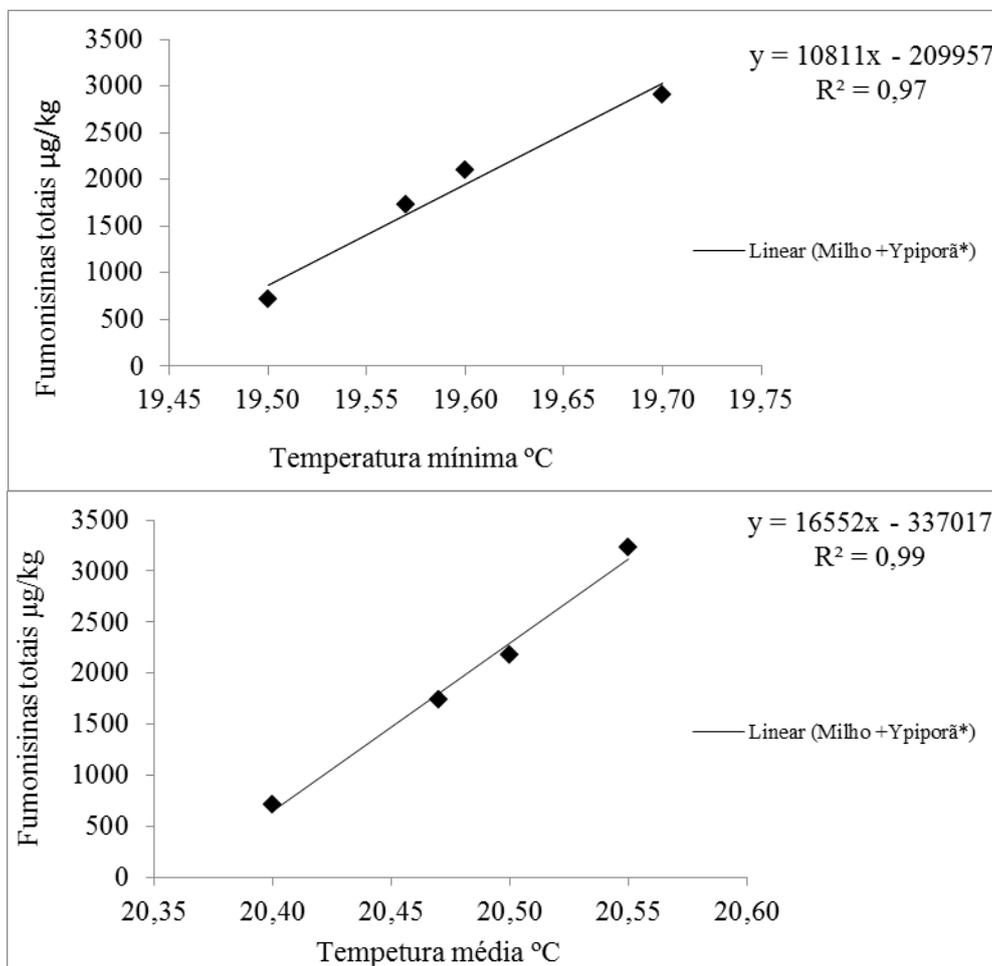
Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \*significativo a 5% de probabilidade, ns=diferença não significativa

A regressão foi significativa para o Milho+Ypiporã em relação às temperaturas mínimas ( $p$ -valor=0,01,  $F=68,25$ ) e médias ( $p$ -valor=0,01,  $F=188,91$ ). Em ambos os casos, as médias de FT aumentaram com aumento da temperatura (Figura 4). Para os demais consórcios a regressão foi não significativa.

O efeito do uso da irrigação na colonização fúngica e no acúmulo de micotoxinas frequentemente é relatado como sem efeito (Ariño et al., 2009), sendo este fato explicado pela ausência de estresse causado pela seca (Guo et al., 2008). Neste trabalho, observou-se que para Milho+Paiguás e Milho solteiro, maiores concentrações de FT ocorreram com a maior disponibilidade de água, que corresponde também aos maiores ciclos da cultura no campo. No entanto, para Milho+Paiguás, as médias de FT

ficaram dispendiosas entre os valores de precipitação total, o que não permitiu relacionar o fator à quantidade de água recebida.

Costa et al. (2018) observaram teores de FT significativamente mais elevados na safra 2009/2010, período em que ocorreu um maior volume de chuvas durante o ciclo de milho em relação à safra 2010/2011. Já Parsons e Munkvold (2010) avaliaram o efeito da data de plantio, do estresse hídrico e ataque de insetos na incidência de podridões de espigas e no acúmulo de fumonisinas produzidas por *Fusarium* spp. e observaram que o estresse hídrico foi o fator com menor efeito na ocorrência de podridões de espiga e fumonisinas nos grãos. Ambos os resultados estão de acordo com os obtidos nesse trabalho, a depender do consórcio, e mostram a complexidade do problema.

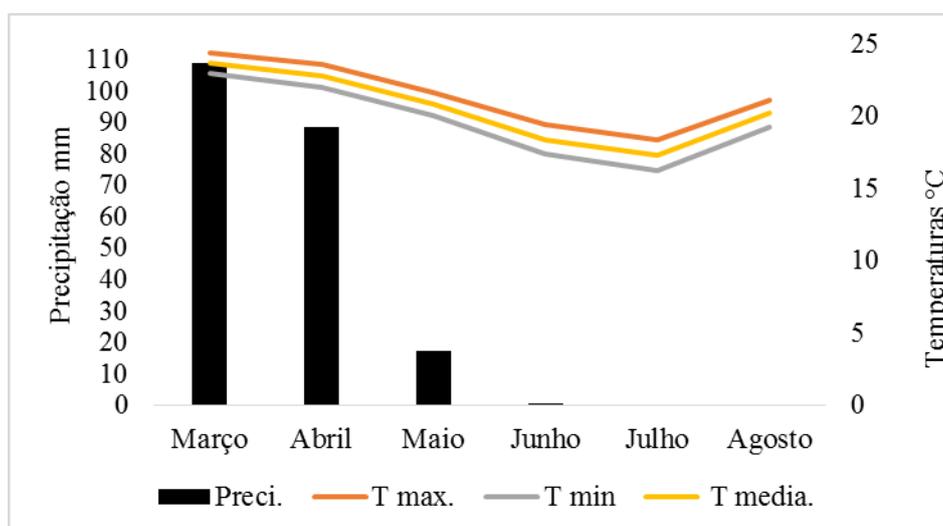


**Figura 4.** Média de fumonisinas totais no sistema Milho+Ypiporã em função das temperaturas mínimas e médias. Sete Lagoas, MG.

Considerando que a maior disponibilidade de água resultou em maior ciclo do milho, é importante ressaltar que trabalhos de outros pesquisadores mostram que a

maior permanência de milho no campo favorece o acúmulo de micotoxinas nos grãos (Costa et al., 2018; Santiago et al., 2015; Torelli et al., 2012). Neste trabalho, resultados mais próximos a estes ocorreu nos sistemas Milho+Paiguás e Milho solteiro, porém, a variabilidade nas médias não permitiu comprovação estatística. Ao contrário, para o consórcio Milho+Ypiporã, a permanência no campo resultou em médias mais baixas de FT. Deve ser mais bem esclarecido que fatores podem proporcionar este resultado, em que para um consórcio há redução de FT com o maior ciclo do milho e em outros sistemas há aumento. Para isso, é necessário considerar interações mais complexas, como o efeito da consorciação do milho com plantas forrageiras no inóculo de espécies de *Fusarium*, associação e interações climáticas, disponibilidade de água e outros estresses.

Na Figura 5, estão descritas as médias de precipitação e temperatura durante a condução do experimento. Os maiores valores de precipitação ocorreram nos meses iniciais do experimento, março e abril, com redução significativa a partir de maio. Para os tratamentos que receberam menor lâmina de irrigação, o período de maio a julho foi de menor disponibilidade de água, o que pode ajudar a explicar maiores valores de fumonisinas em alguns tratamentos. As temperaturas seguiram o mesmo padrão, porém com aumento a partir de agosto. Os tratamentos colhidos em julho foram submetidos a menores temperaturas no final do ciclo (temperatura mínima de 16,24 °C e máxima de 18,36 °C). Para o sistema Milho-Ypiporã, foi observado que o aumento de temperaturas mínimas e médias favoreceram o acúmulo de FT. Os tratamentos colhidos em agosto receberam maior volume de água e foram submetidos a médias de temperaturas mais altas (mínima de 19,25 °C e máxima de 21,15 °C). No entanto, aparentemente, o volume de água teve efeito mais consistente que a temperatura nos valores de FT.



**Figura 5.** Precipitação, temperatura máxima, temperatura mínima e temperatura média durante o cultivo de milho na safrinha 2019. Sete Lagoas, MG.

O efeito de condições climáticas no acúmulo de micotoxinas tem sido discutido. Segundo Ferrigo et al. (2014), altas temperaturas afetam fortemente o desenvolvimento dos fungos e sua capacidade de sintetizar micotoxinas, porém, os problemas causados por ondas de calor e seca são difíceis de ser relacionados a plantas e fungos individualmente pois estes fatores fazem parte de interações complexas. Além disso alguns genótipos de plantas podem ser mais resistentes a altas temperaturas e seca e podem ter acúmulo de micotoxinas menor, se comparados a plantas suscetíveis (Abbas et al., 2006).

Em relação aos limites máximos tolerados, observa-se que, de um total de 144 amostras, 15,3% apresentaram nível de FT acima de LMT brasileiro de 5.000 µg/Kg. O baixo número de amostras com valores de FT acima do LMT permitido no Brasil mostra que os grãos de milho mantiveram qualidade considerável. Outros trabalhos estão de acordo com este em relação ao baixo número de amostras acima do LMT (Bordini et al., 2019).

Houve uma grande variabilidade nos valores de fumonisinas totais dentro dos tratamentos, característica comum em experimentos com micotoxinas e que dificulta a análise e interpretação de resultados. Tal fato ocorre pois o conteúdo de micotoxinas é dado em µg/Kg, que corresponde à parte por bilhão, isso dificulta a homogeneidade dos dados, além do acúmulo de micotoxinas ser afetado por vários fatores que podem estar associados. Vale ressaltar que, mesmo que os níveis de fumonisinas estejam abaixo do LMT, estas micotoxinas são metabólitos extremamente prejudiciais à saúde, devendo ser pesquisadas e compreendidas para que estratégias de manejo favoreçam a redução do teor nos grãos.

## **Conclusão**

A quantidade de água disponibilizada durante o cultivo afetou de forma diferente o acúmulo de fumonisinas em milho nos diferentes sistemas de consorciação.

Os teores de fumonisinas totais decresceram no sistema Milho+Ypiporã com a maior disponibilidade de água. No sistema Milho solteiro, os teores de fumonisinas totais cresceram com o aumento da disponibilidade de água.

O ciclo do milho sofreu redução ou aumento em função da quantidade de água disponível, sendo a resposta de cada sistema de cultivo afetada de forma diferente. Houve redução no acúmulo de fumonisinas totais no sistema Milho-Ypiporã com o aumento de permanência da cultura no campo.

As temperaturas afetaram o acúmulo de fumonisinas totais diferentemente em função do sistema de cultivo de milho. Apenas no sistema Milho+Ypiporã foi possível associar temperatura com acúmulo de FT, sendo que, com o aumento de temperaturas mínimas e médias, houve aumento do acúmulo de fumonisinas totais.

## Referências

ABBAS, H. K.; CARTWRIGHT, R. D.; XIE, W.; SHIER, W. T. Aflatoxin and fumonisin contamination of corn (maize, *Zea mays*) hybrids in Arkansas. **Crop Protection**, v. 25, n. 1, p. 1-9, 2006.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução nº 7 de 18 fevereiro 2011. Dispõe sobre os limites máximos tolerados (LMT) para micotoxinas em alimentos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 37, p. 72, 2011. Seção 1.

ALBUQUERQUE, P. E. P.; ANDRADE, C. L. T. **Planilha eletrônica para a programação da irrigação de culturas anuais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2001. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 10).

ARF, O.; MEIRELLES, F. C.; PORTUGAL, J. R.; BUZZETTI, S.; SÁ, M. E. de; RODRIGUES, R. A. F. Benefícios do milho consorciado com gramínea e leguminosas e seus efeitos na produtividade em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 3, p. 431-444, 2018.

ARIÑO, A.; HERRERA, M.; JUAN, T.; ESTOPAÑAN, G.; CARRAMIÑANA, J. J.; ROTA, C.; HERRERA, A. Influence of agricultural practices on the contamination of maize by fumonisin mycotoxins. **Journal of Food Protection**, v. 72, n. 4, p. 898-902, 2009.

BENNETT, J. W.; KLICH, M. Mycotoxins. **Clinical Microbiology Reviews**, v. 16, n. 3, p. 497-516, 2003.

BORDINI, J. G.; ONO, M. A.; HIROZAWA, M. T.; GARCIA, G. T.; VIZONI, E.; ONO, E. Y. S. Safety of corn and corn-based products intended for human consumption concerning fumonisins from a brazilian processing plant. **Toxins**, v. 11, n. 1, article 33, 2019.

CHAGAS, J. F. R.; COSTA, R. V.; SANTOS, G. R. Sanitary analysis of asymptomatic and damaged grains of maize in Tocantins, Brazil. **Brazilian Journal of Agriculture**, v. 93, n. 1, p. 33-46, 2018.

COSTA, R. V. da; QUEIROZ, V. A. V.; COTA, L. V.; SILVA, D. D. da; LANZA, F. E.; ALMEIDA, R. E. M. de; PEREIRA, A. A.; ALVES, R. R.; CAMPOS, L. J. M. Delaying harvest for naturally drying maize grain increases the risk of kernel rot and fumonisin contamination. **Tropical Plant Pathology**, v. 43, p. 452-459, 2018.

COTTY, P. J.; JAIME-GARCIA, R. Influences of climate on aflatoxin producing fungi and aflatoxin contamination. **International Journal of Food Microbiology**, v. 119, n. 1/2, p. 109-115, 2007.

FARIAS, A. X.; ROBBS, C. F.; BITTENCOURT, A. M.; ANDERSEN, P. M.; CORRÊA, T. B. S. Contaminação endógena por *Aspergillus* spp. em milho pós-colheita no estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 3, p. 617-621, 2000.

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

FERRIGO, D.; RAIOLA, A.; CAUSIN, R. Plant stress and mycotoxin accumulation in maize. **Agrochimica**, v. 55, p. 116-127, 2014.

GUO, B.; CHEN, Z.-Y.; SCULLY, B. T. Drought and pre-harvest aflatoxin contamination in agricultural commodity, genetics, genomics and proteomics. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 5, n. 10, p. 1281-1291, 2008.

HANKS, R. J.; SISSON, D. V.; HURST, R. L.; HUBBARD, K. G. Statistical analysis of results from irrigation experiments using the line-source sprinkler system. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, n. 4, p. 886-888, 1980.

KAWASHIMA, L. M.; SOARES, L. M. V. Incidência de fumonisina B1, aflatoxinas B1, B2, G1 e G2, ocratoxina A e zearalenona em produtos de milho. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 3, p. 516-521, 2006.

LANZA, F. E.; ZAMBOLIM, L.; COSTA, R. V.; FIGUEIREDO, J. E. F.; SILVA, D. D.; QUEIROZ, V. A. A.; GUIMARÃES, E. A.; COTA, L. V. Symptomatological aspects associated with fungal incidence and fumonisin levels in corn kernels. **Tropical Plant Pathology**, v. 42, p. 304-308, 2017.

LANZA, F. B.; ZAMBOLIM, L.; COSTA, R. V.; QUEIROZ, V. A. V.; COTA, L. V.; SILVA, D. D.; SOUZA, A. G. C.; FIGUEIREDO, J. E. F. Prevalence of fumonisin-producing *Fusarium* species in Brazilian corn grains. **Crop Protection**, v. 65, p. 232-237, 2014.

MÁRCIA, B. A.; LÁZZARI, F. A. Monitoramento de fungos em milho em grão, grits e fubá. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 18, n. 4, p. 363-367, 1998.

NJERU, N. K.; MIDEGA, C. A. O.; MUTHOM, J. W.; WAGACHA, J. M.; KHAN, Z. R. Impact of push-pull cropping system on pest management and occurrence of ear rots and mycotoxin contamination of maize in western Kenya. **Plant Pathology**, v. 69, p. 1644-1654, 2020.

OWUOR, M. J.; MIDEGA, C. A. O.; OBONYO, M.; KHAN, Z. R. Impact of companion cropping on incidence and severity of maize ear rots and mycotoxins in

Western Kenya, **African Journal of Agricultural Research**, v. 13, n. 41, p. 2224-2231, 2018.

PANOSO, L. A.; RAMOS, D. P.; BRANDÃO, M. **Solos do Campo Experimental da Embrapa Milho e Sorgo**: suas características e classificação no novo sistema brasileiro. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 92 p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 5).

PARSONS, M. W.; MUNKVOLD, G. P. Associations of planting date, drought stress, and insects with Fusarium ear rot and fumonisin B1 contamination in California maize. **Food Additives and Contaminants**, v. 27, n. 5, p. 591-607, 2010.

PATERSON, R. R. M.; LIMA, N. How will climate change affect mycotoxins in food? **Food Research International**, v. 43, n. 7, p. 1902-1914, 2010.

PITT, J. I. Toxigenic fungi and mycotoxins. **British Medical Bulletin**, v. 56, n. 1, p. 184-192, 2000.

PRESTES, L. D.; ROCHA, L. O.; NUÑEZ, K. V. M.; SILVA, N. C. C. **Scientia Agropecuaria**, v. 10, n. 4, p. 559-570, 2019.

SANTURIO, J. M. Micotoxinas e micotoxicoses na avicultura. **Revista Brasileira de Ciencia Avícola**, v. 2, n. 1, p. 1-12, 2000.

SANTIAGO, R.; CAO, A.; BUTRÓN, A. Genetic factors involved in fumonisin accumulation in maize and their implications in maize agronomic and breeding. **Toxins**, v. 7, n. 8, p. 3267-3296, 2015.

SAVI, G. D.; PIACENTINI, K. C.; KREIBICH, H. H.; STEIN, S. M.; SANTOS, K.; MARTINS, C.; PEREIRA, M. E. V.; SCUSSEL, V. M. Contamination by mycotoxins in grains Rice (*Oryza sativa* L.) and its products: flour, meal and grits. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE PÓS-COLHEITA, 6., 2014, Maringá. **Anais...** Londrina: ABRAPÓS, 2014. p. 411-419.

SCAFF, R. M. C.; SCUSSEL, V. M. Fumonisin B1 and B2 in corn-based products commercialized in the state of Santa Catarina - southern Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 47, n. 6, p. 911-919, 2004.

SCUSSEL, V. M.; BEBER, M.; TONON, K. M. Gibberella zeae disease effect as winter grain. In: REIS, E. M. (Ed.). **Gibberella zeae in winter cereals**. [S.l.: s.n.], 2011. p. 131-175.

SHEPHARD, G. S. Impact of mycotoxins on human health in developing countries. **Food Additives and Contaminants**, v. 25, n. 2, p. 146-151, 2008.

SILVA, D. D.; COTA, L. V.; COSTA, R. V. Importância das micotoxinas em sistemas produtivos de grãos. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 32., 2018,

Lavras. **Soluções integradas para os sistemas de produção de milho e sorgo no Brasil**: resumos. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2018. p. 435-462.

VALMORBIDA, R. **Fungos e micotoxinas em grãos de milho (*Zea mays* L.) e seus derivados produzidos no estado de Rondônia, região norte do Brasil**. 2016. 151 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

TORELLI, E.; FIRRÃO, G.; BIANCHI, G.; SACCARDO, F.; LOCCI, R. The influence of local factors on the prediction of fumonisin contamination in maize. **Journal of the Science and Agriculture**, v. 92, n. 8, p. 1808-1814, 2012.

WAKELIN, S. A.; WARREN, R. A.; KONG, L.; HARVEY, P. R. Management factors affecting size and structure of soil *Fusarium* communities under irrigated maize in Australia. **Applied Soil Ecology**, v. 39, n. 2, p. 201-209, 2008.

ZUMMO, N.; SCOTT, G. E. Interaction of *Fusarium moniliforme* and *Aspergillus flavus* on kernel infection and aflatoxin contamination in maize ears. **Plant Disease**, v. 76, p. 771-773, 1992.