

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

**Tháise Ohana Moura Fernandes**

**Caracteres morfoagronômicos e rotina no trigo-mourisco em função da saturação por bases,  
densidade de semeadura, épocas de plantio e colheita**

**Montes Claros**

**2021**

**Tháise Ohana Moura Fernandes**

**Caracteres morfoagronômicos e rotina no trigo-mourisco em função da saturação por bases,  
densidade de semeadura, épocas de plantio e colheita**

**Versão Final**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal.

**Orientador:** Prof. Ernane Ronie Martins

**Coorientadores:** Prof. Carlos Juliano Brant  
Albuquerque e Prof. Luiz Arnaldo  
Fernandes

**Montes Claros  
Setembro de 2021**

Fernandes, Thaise Ohana Moura.

F363c  
2022

Caracteres morfoagronômicos e rotina no trigo-mourisco em função da saturação por bases, densidade de semeadura, épocas de plantio e colheita [manuscrito] / Thaise Ohana Moura Fernandes. Montes Claros, 2021.  
88 f. : il.

Tese (doutorado) - Área de concentração em Produção Vegetal. Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Agrárias.

Orientador(a): Prof. Dr. Ernane Ronie Martins.

Banca examinadora: Dr. Daniel Soares Alves, Dra. Jordany Aparecida de Oliveira Gomes, Prof. Dr. Alcinei Místico Azevedo, Prof. Dr. Cândido Alves da Costa, Prof. Dr. Ernane Ronie Martins.

Inclui referências: f. 17-20; 37-40; 56-58; 82-86.

I. Flavonóides. 2. Fertilidade do solo. 3. Biomassa. 4. Trigo. I. Martins, Ernane. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 633.11



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

### ATA DE DEFESA DE TESE

Aos 08 dias do mês de setembro de 2021, às 08:00 horas, sob a Presidência do Professor Ernane Ronie Martins, D. Sc. (Orientador – UFMG/ICA) e com a participação dos Professores Cândido Alves da Costa, D. Sc. (UFMG/ICA), Alcinei Místico Azevedo, D. Sc. (UFMG/ICA), Jordany Aparecida de Oliveira Gomes, D. Sc. (FCA/UNESP) e Daniel Soares Alves, D. Sc. (IAPAR/EMATER), reuniu-se, por videoconferência, a Banca de tese de **Thaise Ohana Moura Fernandes**, aluna do Curso de Doutorado em Produção Vegetal. A tese foi intitulada: “Caracteres morfoagronômicos e rotina no trigo-mourisco em função da saturação por bases, densidade de semeadura, épocas de plantio e colheita”, sendo a aluna considerada aprovada. E, para constar, eu, Professor Ernane Ronie Martins, Presidente da Banca, lavrei a presente ata que depois de lida e aprovada, será assinada por mim e pelos demais membros da Banca examinadora.

OBS.: A aluna somente receberá o título após cumprir as exigências do **ARTIGO 68** do regulamento do Curso de Doutorado em Produção Vegetal, conforme apresentado a seguir:

Art. 68 Para dar andamento ao processo de efetivação do grau obtido, o candidato deverá, após a aprovação de sua Dissertação ou Tese e da realização das modificações propostas pela banca examinadora, se houver, encaminhar à secretaria do Colegiado do Programa, com a anuência do orientador, no mínimo 3 (três) exemplares impressos e 1 (um) exemplar eletrônico da dissertação ou, 4 (quatro) exemplares impressos e 1 (um) exemplar eletrônico da tese, no prazo de 60 (sessenta) dias.



Documento assinado eletronicamente por **Ernane Ronie Martins, Professor do Magistério Superior**, em 08/09/2021, às 12:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jordany Aparecida de Oliveira Gomes, Usuário Externo**, em 08/09/2021, às 12:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Candido Alves da Costa, Professor do Magistério Superior**, em 08/09/2021, às 12:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alcinei Místico Azevedo, Professor do Magistério Superior**, em 08/09/2021, às 14:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Daniel Soares Alves, Usuário Externo**, em 09/09/2021, às 14:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufmg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0949223** e o código CRC **C618E8E1**.

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida, generosidade e onipotência que me permitiram chegar até aqui.

Aos meus pais, Vera e Márcio, em especial, à minha mãe, pelo amor, dedicação e ensinamentos, pois foram (e ainda são) fundamentais para a minha formação pessoal e profissional.

Aos meus avós, primos-irmãos, ao meu namorado, Phelipe e a toda a minha família pelo apoio e incentivo.

À Francine e aos Professores Ernane Martins, Lourdes Figueiredo, Luiz Arnaldo, Carlos Juliano e Alcinei Místico pela orientação, coorientação, confiança, sabedoria e amizade.

Aos colegas de trabalho do PET - Agronomia e do NEPROTEC, especialmente aos amigos Karoline, Júlio, Thyago, Maria Thereza e Nicolay, pela paciência, parceria, colaboração e pelo aprendizado.

Aos membros da banca de defesa por terem aceitado o convite e pelas contribuições científicas de grande importância.

Aos demais amigos pelo companheirismo e por compartilharem experiências e sabedoria.

Aos servidores e funcionários por manterem o ambiente de trabalho em condições adequadas e por colaborarem com a pesquisa em todas as etapas.

Ao ICA/UFMG, FAPEMIG, SESU-PET, CAPES e CNPq pela bolsa, recursos financeiros e pela estrutura física cedidas para desenvolver a pesquisa.

Agradeço a todos que contribuíram para o sucesso desta etapa.

Obrigada!

## CARACTERES MORFOAGRONÔMICOS E RUTINA NO TRIGO-MOURISCO EM FUNÇÃO DA SATURAÇÃO POR BASES, DENSIDADE DE SEMEADURA, ÉPOCAS DE PLANTIO E COLHEITA

### RESUMO

O trigo-mourisco (*Fagopyrum esculentum* Moench) é um pseudocereal importante na agricultura, produção animal e alimentação humana. É muito nutritivo por conter proteínas com alto valor biológico e alto teor de fibras, porém a propriedade mais relevante é a presença de rutina, que confere a atividade antioxidante à planta. O objetivo deste trabalho foi avaliar a produção da planta, dos grãos, de flavonoides totais e de rutina em cultivares de *F. esculentum* em função da saturação por bases, densidade e épocas de semeadura e colheita. Foram realizados três experimentos. Os experimentos 1 e 2 foram conduzidos, em casa de vegetação, em vasos, em delineamento inteiramente casualizado, com quatro e cinco repetições, respectivamente. Influência da época de colheita (experimento 1): os tratamentos foram sete épocas de colheita (a cada 15 dias a partir da emergência) e duas cultivares ('IPR 92' e 'IPR 91') em esquema fatorial (8 x 2). Influência da saturação por base (experimento 2): os tratamentos foram as cultivares 'IPR 91' e 'IPR 92', cinco saturações por bases, em esquema fatorial (2 x 5). O experimento 3 consistiu na avaliação da influência da densidade e época de semeadura, foi realizado em campo, em delineamento de blocos casualizados, com três repetições. Os tratamentos foram as cultivares 'IPR 91' e 'IPR 92', duas épocas de semeadura, maio (inverno) e novembro (verão), cinco populações (50, 100, 150, 200 e 250 sementes m<sup>-1</sup>) em esquema fatorial (2 x 5) de análise conjunta. Ao final dos experimentos, foram avaliados os atributos agrônômicos das plantas. As análises de matéria seca, de flavonoides totais (espectrofotométrica) e quantificação de rutina (cromatografia líquida de alta eficiência) foram realizadas nas amostras (parte aérea da planta). Os dados foram submetidos a análises estatísticas. Os resultados mostraram que o ideal é colher o trigo-mourisco aos 86 dias após a emergência (DAE), para a maior produção de rutina (94,02 mg planta<sup>-1</sup>), aos 56 DAE da 'IPR 91' e 98 DAE da 'IPR 92' para a maior produção de flavonoides totais (56, 88 e 63,15 mg planta<sup>-1</sup>, respectivamente) e aos 72 DAE para maior produção de grãos (1,67 mg planta<sup>-1</sup>). A 'IPR 92' tem maior produção de biomassa por planta (0,37 g), enquanto a 'IPR 91' (3,54 g) é a mais precoce. A saturação por bases do solo de 9% a 97% não tem efeito no teor de flavonoides (11,59 ± 3,29 mg g<sup>-1</sup>) de trigo-mourisco, porém influencia na produção de biomassa (produção máxima de 5,15 g aos 62,00%) e de grãos por planta da 'IPR 92' (produção máxima de 0,28 g aos 9,00%). A produtividade de flavonoides totais (42,63 ± 17,87 kg ha<sup>-1</sup>) e de rutina (48,39 ± 20,71 kg ha<sup>-1</sup>) não apresentaram diferenças estatísticas em função da época e da densidade de semeadura. Os resultados da produtividade biomassa (2,78 – 6,28 t ha<sup>-1</sup>) foram positivos em todos os tratamentos e superou a produção brasileira e mundial da espécie em curto período de tempo. O cultivo no inverno é melhor para obter maior biomassa (5,50 – 6,28 t ha<sup>-1</sup>) e produtividade de grãos (2,38 – 0,87 t ha<sup>-1</sup>). Este trabalho contribui para futuros estudos científicos, melhoramento e cultivo da espécie, trazendo resultados importantes e inéditos, que respondem às dúvidas relacionadas às condições de cultivo e às épocas de colheita e semeadura de trigo-mourisco no Brasil.

**Palavras-Chave:** Pseudocereal. Flavonoides totais. Fertilidade do solo. Biomassa. *Fagopyrum esculentum*.

## MORPHOAGRONOMIC CHARACTERS AND RUTIN IN BUCKWHEAT AS A FUNCTION OF BASE SATURATION, SOWING DENSITY, PLANTING AND HARVEST SEASONS

### ABSTRACT

Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) is an important pseudocereal in agriculture, animal production and human food. It is very nutritious as it contains proteins with high biological value and high fiber content; however, the most relevant property is the presence of rutin, which confers antioxidant activity to the plant. The objective of this study was to evaluate the production of the plant, grains, total flavonoids and rutin in *F. esculentum* cultivars as a function of base saturation, density, sowing and harvesting seasons. Three experiments were carried out. Experiments 1 and 2 were carried out in a greenhouse, in pots, in a completely randomized design with four and five replications, respectively. Influence of the harvest season (experiment 1): the treatments were seven harvest seasons (every 15 days from emerging) and two cultivars ('IPR 92' and 'IPR 91') in a factorial design (8 x 2). Influence of base saturation (experiment 2): the treatments were the cultivars 'IPR 91' and 'IPR 92', five saturations per base in a factorial design (2 x 5). Experiment 3 consisted of evaluating the influence of density and sowing season. It was carried out in the field in a randomized block design with three replications. The treatments were the cultivars 'IPR 91' and 'IPR 92', two sowing seasons, May (winter) and November (summer), five populations (50, 100, 150, 200 and 250 seeds m<sup>-1</sup>) in a factorial design (2 x 5) of conjoint analysis. At the end of the experiments, the agronomic attributes of the plants were evaluated. Analyses of dry matter, total flavonoids (spectrophotometric) and rutin quantification (high-performance liquid chromatography) were performed on the samples (plant aerial part). Data were subjected to statistical analysis. The results showed that the ideal is to harvest the buckwheat 86 days after emerging (DAE) for a higher rutin production (94,02 mg planta<sup>-1</sup>), 56 DAE for 'IPR 91' and 98 DAE for 'IPR 92' for greater production of total flavonoids (56, 88 and 63,15 mg plant<sup>-1</sup>, respectively) and 72 DAE for greater grain production (1,67 mg plant<sup>-1</sup>). The 'IPR 92' has the highest biomass production per plant (0,37 g), while 'IPR 91' (3.54 g) is the most premature. Soil base saturation of 9% to 97% has no effect on flavonoid content (11.59 ± 3.29 mg g<sup>-1</sup>) of buckwheat, however, it influences the production of biomass (maximum production of 5.15g at 62.00%) and of grains per plant of the 'IPR 92' (maximum production of 0.28 g at 9.00%). The productivity of total flavonoids (42,63 ± 17,87 kg ha<sup>-1</sup>) and of rutin (48,39 ± 20,71 kg ha<sup>-1</sup>) did not show statistical differences considering sowing and density times. The results of biomass productivity (2,78 – 6,28 t ha<sup>-1</sup>) were positive in all treatments and surpassed the Brazilian and world production of the species in a short period of time. Winter cultivation is better to obtain more biomass (5,50 – 6,28 t ha<sup>-1</sup>) and grain yield (2,38 – 0,87 t ha<sup>-1</sup>). This work contributes to future scientific studies, improvement and cultivation of the species, bringing important and unprecedented results that answer questions related to growing conditions, harvest and sowing seasons of buckwheat in Brazil.

**Keywords:** Pseudocereal. Total flavonoids. Soil fertility. Biomass. *Fagopyrum esculentum*.



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>11</b>
2.1 Objetivo Geral .....	11
2.2 Objetivos Específicos .....	11
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>12</b>
3.1 <i>Fagopyrum esculentum</i> Moench .....	12
3.2 Flavonoides.....	15
3.3 Fatores que Interferem na Composição e Teor dos Flavonoides .....	15
3.4 Referências.....	17
<b>4 ARTIGOS .....</b>	<b>21</b>
4.1 Artigo 1 – Época de colheita de cultivares de trigo-mourisco ( <i>Fagopyrum esculentum</i> Moench).....	21
4.2 Artigo 2 – Influência da saturação por bases na produção de grãos e de flavonoides de trigo-mourisco.....	42
4.3 Artigo 3 – Época e densidade de semeadura na produção de flavonoides, biomassa e grãos e em descritores agronômicos de cultivares de trigo-mourisco em ambiente tropical.....	60
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>88</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os produtos obtidos do trigo-mourisco, por serem alimentos funcionais, têm preços mais elevados que produtos do trigo integral e trigo comum. A farinha de trigo-mourisco e o próprio grão, por exemplo, são cinco vezes mais caros que a farinha de trigo integral e que o trigo em grão (TRIGO, [2020]). O Brasil ainda não supre a demanda de produção por trigo-mourisco, seja para consumo animal ou humano, para a indústria farmacêutica ou agrícola. As pesquisas no país são insuficientes, para recomendar o manejo adequado de cultivo (adubação, saturação por bases, melhores cultivares para cada região, irrigação, época de colheita e de semeadura), porém a espécie tem apresentado grande potencial produtivo, inclusive para exportação. Este estudo traz respostas quanto ao cultivo e à produção da espécie no Brasil, mais precisamente no Norte de Minas Gerais e pode também ser usado para embasar futuras pesquisas.

*Fagopyrum esculentum* Moench pertence à família Polygonaceae (KOYAMA; NAKAMURA; NAKAMURA, 2013), é um pseudocereal (FANG *et al.*, 2015; NAGATOMO *et al.*, 2014, KIPROVSKI *et al.*, 2015), por ter características similares – principalmente ser fonte de carboidratos – e ser empregado de forma idêntica aos cereais verdadeiros e não pertencer à mesma família deles, as gramíneas (Poaceae). Ele é bastante conhecido no Brasil como trigo-mourisco e trigo-sarraceno. Contém elevado teor de rutina e flavonoides totais, responsáveis pela ação antioxidante da planta (ABBASI *et al.*, 2015; JIANG *et al.*, 2007; TSURUNAGA *et al.*, 2013). Segundo Gonçalves *et al.* (2016a), a cultura é importante na nutrição humana, agricultura e produção zootécnica. O Japão, a Rússia e o Norte da China são grandes produtores e consumidores da espécie (TREADWELL; HUANG, 2008). O Japão e países europeus, por exemplo, têm aumentado o cultivo do trigo-mourisco por suas múltiplas características potenciais, como alimento nutracêutico, dietético e medicinal na alimentação humana (GÖRGEN *et al.*, 2016). Além de ser cultivado nos países citados, há relatos de cultivo de trigo-mourisco no Brasil, Nepal, na Itália, Polônia, Canadá e nos Estados Unidos (BARCACCIA *et al.*, 2016; GÖRGEN *et al.*, 2016; TREADWELL; HUANG, 2008).

O trigo-mourisco pode ser usado como feno e silagem para coelhos, em fase de crescimento e, na alimentação de aves poedeiras, suínos e ruminantes (FURLAN *et al.*, 2006). Na agricultura, pode ser utilizado na atração de inimigos naturais de pragas, como planta sucessora de culturas de grãos, como soja, milho e sorgo, como adubo verde e por possuir capacidade de se desenvolver em solos ácidos, pobres e com baixa umidade, além de ser ideal para o plantio na safrinha e em rotação de culturas em áreas de cultivos extensivos (GÖRGEN *et al.*, 2016). A espécie tem subprodutos isentos de glúten (GIMÉNEZ-BASTIDA; PISKULA; ZIELINSK, 2015), contém aminoácidos e proteínas de alto valor biológico, propriedades profiláticas e terapêuticas (CHRISTA; SORAL-ŚMIETANA, 2008), principalmente por ser antioxidante, pela presença de teores elevados de rutina e flavonoides totais (ABBASI *et al.*, 2015; JIANG *et al.*, 2007; TSURUNAGA *et al.*, 2013). O trigo-mourisco é um alimento fornecedor de rutina (GUPTA *et al.*, 2011), composto com alta capacidade antioxidante (YANG; GUO; YUAN, 2008).

Nos últimos anos, os flavonoides estão sendo bastante estudados, associados ao potencial antioxidante e à diminuição do risco de doenças do coração (PANCHE; DIWAN; CHANDRA, 2016). Estudos que buscam avaliar os teores de flavonoides devem ser realizados, para observar a resposta desses compostos, quando a planta é submetida a processos de domesticação e cultivo em várias

regiões, pois fatores abióticos influenciam na composição química de metabólitos secundários de trigo-mourisco, como flavonoides totais e rutina, tanto de forma isolada, quanto em sinergia (BRANT *et al.*, 2008). Já foram observadas alterações desses compostos quanto à irradiação (TSURUNAGA *et al.*, 2013), época de semeadura, genética, disponibilidade de água (SIRACUSA *et al.* 2017), época de colheita (GUPTA *et al.*, 2011), ano de cultivo, altitude (DRAŽIĆ *et al.*, 2016) e altura da planta (XIAOHUA *et al.*, 2010).

A recomendação de cultivares, forma e época de cultivo e colheita, que atendam à alta produção, ao ciclo de produção mais curto e ao alto teor de flavonoides, são essenciais para produzir trigo-mourisco em larga escala, atender o mercado industrial e para o país ter suficiência de produção. A pesquisa que foi desenvolvida pode colaborar para o futuro melhoramento da espécie e auxiliar produtores rurais implantarem a cultura, a fim de aumentar a renda, pois ela tem valor agregado mais alto quando comparada aos cereais que substitui.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo do trabalho foi avaliar a produção de flavonoides e grãos de cultivares de *Fagopyrum esculentum* Moench em função da saturação por bases, épocas de semeadura e colheita e densidade de semeadura no Norte de Minas.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Quantificar os flavonoides totais e a rutina em cultivares de trigo mourisco;
- avaliar a influência da saturação por bases na produção de flavonoides totais, rutina e grãos da espécie;
- determinar a melhor época de colheita, em relação ao ciclo da planta, para maior produção de grãos, rutina e flavonoides totais;
- determinar a melhor época do ano para a semeadura;
- determinar qual cultivar melhor se desenvolve em ambiente tropical;
- determinar a melhor densidade de semeadura para cultivo.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 *Fagopyrum esculentum* Moench

O *Fagopyrum esculentum* Moench pertence à Polygonaceae (KOYAMA; NAKAMURA; NAKAMURA, 2013). É conhecido popularmente como trigo-sarraceno, trigo-mourisco, trigo-negro e trigo-faia. Pelo fato dos grãos serem utilizados de forma semelhante ao trigo comum, a espécie é considerada um cereal (SILVA *et al.*, 2002). Utilizando um termo mais adequado, uma vez que pertence à outra família, é denominado pseudocereal (FANG *et al.*, 2015; NAGATOMO *et al.*, 2014; KIPROVSKI *et al.*, 2015).

A cultura é anual, tem polinização cruzada, crescimento indeterminado, com amadurecimento desuniforme. Os grãos florescem, a partir da quinta semana após a semeadura, começam a amadurecer aos 80 dias. A cultura possui folhas grandes em formato de coração, é ereta, bem ramificada e pode chegar a 1,5 m de altura. As hastes são verdes quando jovens e de vermelho a marrom quando maduras, o sistema radicular tem muitas ramificações, que podem chegar a 1,2 m de profundidade (DEPARTMENT OF AGRICULTURE AND RURAL DEVELOPMENT, 2012). A frutificação é em racemo com flores agrupadas de cor branca ou branca-roseada, as sementes são triangulares de cores marrom, cinza-marrom ou preta, sendo os frutos aquênios tríquetros (FURLAN *et al.*, 2006).

O trigo-mourisco é cultivado no Leste Asiático (China, Tibete, Japão, Províncias de Yunnan e de Sichuan), há pelo menos 5000 anos e a maior probabilidade é que ele seja de origem chinesa (OHNISHI, 1998). Com o passar do tempo, o Japão, a Rússia e o Norte da China se tornaram os maiores produtores e consumidores desse pseudocereal (TREADWELL; HUANG, 2008). Além desses, existem cultivos por diversas finalidades, no Brasil, no Nepal, na Itália, na Polônia, no Canadá e nos Estados Unidos (BARCACCIA *et al.*, 2016; GÖRGEN *et al.*, 2016; TREADWELL; HUANG, 2008).

O trigo-mourisco é uma cultura com potencial na agricultura, nutrição humana e produção animal (GONÇALVES *et al.*, 2016a). Ainda, segundo esses autores, ele pode ser utilizado como adubo verde para atrair inimigos naturais de pragas, para alimentar gado, ovinos, suínos e aves, como forrageira funcional, que auxilia na fermentação do rúmen e, com a presença de taninos, apresenta efeitos benéficos para a saúde de pequenos ruminantes. Além disso, é importante na nutrição humana por conter aminoácidos de composição balanceada, alto teor de fibra, zinco, cobre, selênio e manganês. Ele também possui alto teor de rutina e flavonoides totais, que auxiliam na propriedade antioxidante (ABBASI *et al.*, 2015; JIANG *et al.*, 2007; TSURUNAGA *et al.*, 2013).

Os grãos de trigo-mourisco têm alto valor biológico, e a espécie é considerada medicinal, por possuir atividades profiláticas e terapêuticas (CHRISTA; SORAL-ŚMIETANA, 2008). Apesar do interesse comercial por ser isento de glúten, os dados ainda são insuficientes para afirmar com veemência que produtos oriundos dele são seguros para pessoas com doença celíaca (GIMÉNEZ-BASTIDA; PISKULA; ZIELINSKI, 2015). Estudos realizados por Tomotake *et al.* (2006), em animais de laboratório, mostraram que a farinha de trigo-mourisco tem potencial para a redução de colesterol, gordura corporal e formação de cálculos biliares, além de poder auxiliar no aumento da massa muscular. Por ter alto teor de proteína, ela também pode ser utilizada como fonte alternativa de proteína e ser incorporada a alimentos funcionais (TOMOTAKE *et al.*, 2006).

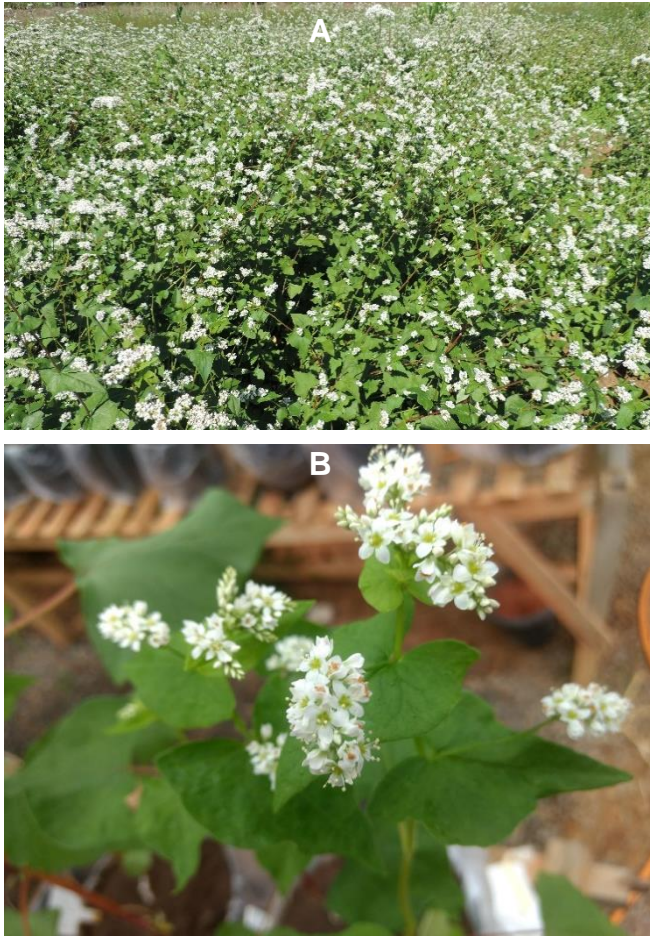
O acréscimo de até 40% de farinha de trigo-mourisco, em massas de pão sem glúten, melhorou a qualidade, pelas boas propriedades de fermentação e proporcionou menor perda de água da migalha, tornando o pão mais macio (MARIOTTI; PAGANI; LUCISANO, 2013). O pão, reforçado com farinha de trigo-mourisco, é mais palatável, contém mais componentes funcionais de rutina e possui maior atividade antioxidante (LIN *et al.*, 2009). O trigo-mourisco pode ser utilizado como suplemento alimentar em benefício da saúde e evita a oxidação dos alimentos enriquecidos com ele (WRONKOWSKA; HAROS; SORAL-ŚMIETANA, 2012). A farinha de trigo-mourisco fermentada (FeB) apresenta maior quantidade de aminoácidos e minerais e menor quantidade de proteínas que causam alergia em relação à farinha de trigo-mourisco sem fermentação. O ácido  $\gamma$ -amino butírico (GABA), um aminoácido presente na FeB, é um item funcional e auxilia no controle da pressão arterial, alívio da insônia e depressão (HANDOYO *et al.*, 2006).

O trigo-mourisco também pode ser utilizado na produção animal. Em estudo que compara a qualidade da forrageira de trigo-mourisco com milho, tanto a produção, quanto a qualidade da forragem de trigo-mourisco cultivado no inverno é superior, após 50 dias de crescimento e possui maior digestibilidade (GÖRGEN *et al.*, 2016). Em ovelhas, o extrato hidroalcoólico das sementes da espécie tem potencial para as atividades anti-helmíntica e antioxidante no controle parasitológico (GONÇALVES *et al.*, 2016b). O trigo-mourisco pode substituir totalmente o farelo de trigo comum, nas rações de coelhos em crescimento, pois tem alto valor nutritivo e apresenta bons resultados (FURLAN *et al.*, 2006).

Essa cultura deve ser mais estudada, pois promove benefícios, é de fácil adaptação e cultivável em muitas regiões (GONÇALVES *et al.*, 2016a). Futuros estudos devem ser realizados para comprovar que produtos de trigo-mourisco sem glúten colaboram para a redução das deficiências nutricionais de pessoas com doença celíaca sem que haja resposta imunológica (GIMÉNEZ-BASTIDA; PISKULA; ZIELINSKI, 2015). Apesar de haver pesquisas envolvendo as propriedades do trigo-mourisco, ainda existem muitas que não foram analisadas e descritas na literatura (WRONKOWSKA; HAROS; SORAL-ŚMIETANA, 2012).

As cultivares de trigo-mourisco comercializadas no Brasil são a 'IPR 91 - BAILI' e a 'IPR 92 - ALTAR', registradas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, desenvolvidas pelo Instituto de Desenvolvimento Rural IAPAR-EMATER (MAPA, 2000). Segundo a descrição, a 'IPR 91' tem ciclo precoce e é baixa, enquanto a 'IPR 92' tem ciclo tardio e é alta. Para ilustrar a planta, segue as fotos na Figura 1.

Figura 1 – Plantação de *Fagopyrum esculentum* Moench em Montes Claros, Minas Gerais, Brasil (A), inflorescência (B) e parte aérea de *F. esculentum* (C)



Fonte: Do autor, 2018.

### 3.2 Flavonoides

Os metabólitos secundários das plantas são classificados a partir da sua biossíntese. Existem três grandes classes: os compostos fenólicos, terpenos e alcaloides, contudo os compostos fenólicos são comuns nas plantas superiores por estarem envolvidos na síntese de lignina (HARBORNE, 1999). Os flavonoides, pertencentes a esse grupo, incluindo a rutina, são, portanto metabólitos secundários de plantas (HARBORNE, 1999; WILLITS *et al.*, 2004).

Os flavonoides auxiliam na prevenção da degradação oxidativa de lipídios e da nitrosilação de tirosina e atenua a expressão da proteína óxido nítrico sintase induzível (iNOS), provavelmente, em razão do efeito antioxidante desses compostos (AZEVEDO *et al.*, 2013), prevenindo assim o envelhecimento (POPOOLA *et al.*, 2015). Além dessas propriedades, os flavonoides têm potencial anticancerígeno (RAVISHANKAR *et al.*, 2014). Em estudo, avaliando a composição nos grãos de trigo-mourisco, os teores de flavonoides totais, compostos fenólicos totais e rutina são maiores no pericarpo (SEDEJ *et al.* 2012).

A rutina, que pertence à classe dos flavonoides, tem aplicações terapêuticas, pode ser utilizada no tratamento de doenças gastrointestinais e diabetes (HOSSEINZADEH; NASSIRI-ASL, 2014), tem efeito anti-inflamatório, reduz edema, nódulos e ancilose e é promissora no tratamento de doenças como artrite reumatoide (GUARDIA *et al.*, 2001). Em estudos realizados com ratos, a rutina diminui o peso do fígado, o colesterol total e a lipoproteína de baixa densidade (LDL) – colesterol ruim – no plasma, indicando o efeito anti-hipercolesterolêmico (ZIAEE *et al.*, 2009).

A rutina, a orientina, a vitexina e a isovitexina, os principais compostos fenólicos observados na maltagem do trigo-mourisco, contribuem apenas com 20-30% do total da atividade antioxidante, indicando que esse trigo, possivelmente, tem outros antioxidantes, uma vez que essa atividade foi muito elevada (TERPINC *et al.*, 2016). Por apresentar alto teor de rutina na composição, o trigo-mourisco é considerado um alimento fornecedor desse composto (GUPTA *et al.*, 2011), importante pela capacidade antioxidante, proporcional à sua concentração (YANG; GUO; YUAN, 2008). No trigo-mourisco, a rutina faz parte da composição celular da planta e é ligada, de forma não covalente, a outras moléculas. Para ser extraída, o solvente deve penetrar na molécula por absorção, alcançar a rutina e quebrar as ligações não covalentes (KREFT; FABJAN; YASUMOTO, 2006).

### 3.3 Fatores que Interferem na Composição e Teor dos Flavonoides

Fatores abióticos e bióticos, como condições ambientais e de cultivo, localização, época e densidade de semeadura ou plantio e o material genético, influenciam na composição, formação e no teor de flavonoides totais de trigo-mourisco (JIANG *et al.*, 2007). Quando esses fatores agem em conjunto, a influência é ainda mais expressiva (BRANT *et al.*, 2008). O teor e composição de flavonoides em trigo-mourisco são estimulados por estresse oxidativo (NABAVI *et al.*, 2020), principalmente em resposta às condições de cultivo a que ele é submetido (LIU *et al.*, 2013).

Quanto à fenologia e época de colheita, na literatura, já foi relatado que o teor de rutina em trigo-mourisco é maior em torno dos 28 dias após a semeadura (SUZUKI *et al.*, 2009) e que o teor e a composição dos flavonoides totais variam dependendo da época que a planta é colhida (ZIELIŃSKA *et*



*al.*, 2012). O teor de rutina, em estádios fenológicos do trigo-mourisco, mostrou que há diferença entre as épocas de colheita em Waknaghat, Solan, Índia, pois o maior teor foi observado entre os 15 dias após a sementeira, quando surgiu a segunda folha madura e, aos 40 dias, quando começou o florescimento (GUPTA *et al.*, 2011). Em outro estudo, o teor de rutina teve maior variação anual no segundo ano de estudo e nos locais de maior altitude (DRAŽIĆ *et al.*, 2016). Quando a quantidade desses compostos é comparada a raízes, caules, folhas e flores, é significativamente superior nas flores, seguidos das folhas, caules e raízes, porém os genes responsáveis pela biossíntese desses metabólitos são detectados com maior abundância nas partes inferiores da planta (raiz e caule) (XIAOHUA *et al.*, 2010).

A época de sementeira, por sua vez, está diretamente ligada à duração dos estágios fenológicos da planta, sobretudo, quando os cultivos são realizados, em diferentes estações do ano, possivelmente pelo fotoperíodo (ARDUINI; MASONI; MARIOTTI, 2015), o que está diretamente ligado à produção de flavonoides, pois os órgãos da planta acumulam esses compostos de forma distinta (XIAOHUA *et al.*, 2010). Em estudo realizado no ambiente mediterrâneo, a época de sementeira apresentou efeito no ciclo; quando ocorreu em setembro, o ciclo foi de cinco meses e, em maio, foi de três meses, e os compostos fenólicos totais só aumentaram em função da irrigação (SIRACUSA *et al.* 2017).

A variedade, a parte da planta e o ano de cultivo do trigo-mourisco interferem na composição dos flavonoides e atividade antioxidante, estudos como esses são importantes para que sejam desenvolvidas cultivares estáveis e com alto teor de flavonoides (OOMAH; MAZZA, 1996). Os brotos, a rutina e a atividade antioxidante do trigo-mourisco são influenciados pela irradiação, à qual a planta é submetida, o maior comprimento de onda (UV-B > 300 nm) apresenta melhores resultados, principalmente em relação às plantas que cresceram no escuro (TSURUNAGA *et al.*, 2013).

Quanto à fertilidade do solo e disponibilidade e toxicidade de nutrientes, estudos mostram que o trigo-mourisco é tolerante ao alumínio, salinidade e a metais pesados e responde à adubação. A salinidade do solo é um fator limitante, para a produção agrícola, o trigo-mourisco, por exemplo, é uma cultura sensível à salinidade (CHEN; ZHANG; XU, 2008). A atividade antioxidante e o teor de compostos fenólicos totais apresentaram melhores resultados com maiores concentrações de cloreto de sódio na espécie (LIM *et al.*, 2012). Por outro lado, o trigo-mourisco possui alta capacidade de absorver fósforo do solo, principalmente quando submetido a condições elevadas (400-800kg/ha) (ARCAND *et al.*, 2010). Acredita-se que o transporte de flavonoides, a longa distância na planta de trigo-mourisco, esteja relacionado ao alumínio (MATSUI; WALKER, 2020). Estudos mostram que a espécie é tolerante e acumula Al (YOKOSHO; YAMAJI; MA, 2014; XU *et al.*, 2017). Portanto estudos envolvendo os metabólitos secundários e os fatores que influenciam na sua produção e composição são essenciais, para determinar melhor época de sementeira/plantio e coleta de materiais, para atender ao mercado industrial.

### 3.4 Referências

- ABBASI, R. *et al.* Some preliminary studies on phytochemicals and antioxidant potential of *Fagopyrum esculentum* cultivated in chitral, Pakistan. **The Journal of Animal & Plant Sciences**, v. 25, n. 3, p. 576-579, 2015. Disponível em: <http://bit.ly/2E39VgL>. Acesso em: 21 dez. 2017.
- ARCAND, M. M. *et al.* Residues from a buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) green manure crop grown with phosphate rock influence bioavailability of soil phosphorus. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 90, n. 2, p. 257-266, 2010. Disponível em: <http://bit.ly/2CQyaSY>. Acesso em: 5 jan. 2018.
- ARDUINI, I.; MASONI, A.; MARIOTTI, M. A growth scale for the phasic development of common buckwheat. *Acta Agriculturae Scandinavica*, **Section B — Soil & Plant Science**, v. 66, n. 3, p. 215-228, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1080/09064710.2015.1087587>.
- AZEVEDO, M. I. *et al.* The antioxidant effects of the flavonoids rutin and quercetin inhibit oxaliplatin-induced chronic painful peripheral neuropathy. **Molecular Pain**, v. 9, n. 1, p. 53, 2013. Disponível em: <http://bit.ly/2qsmu3k>. Acesso em: 4 jan. 2018.
- BARCACCIA, G. *et al.* Genetic identity of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) landraces locally cultivated in the Alps. **Genetic resources and crop evolution**, v. 63, n. 4, p. 639-651, 2016. Disponível em: <http://bit.ly/2pExhXs>. Acesso em: 22 dez. 2017.
- BRANT, R. S.; PINTO, J. E. B. P.; BERTOLUCCI, S. K. V.; ALBUQUERQUE, C. J. B. Teor do óleo essencial de cidrão [*Aloysiatriphylla* (LHér) Britton] em função da variação sazonal. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 10, n. 2, p. 83-88, 2008. Disponível em: <http://bit.ly/2CNBIFJ>. Acesso em: 5 jan. 2018.
- CHEN, Li-Hong; ZHANG, Bo; XU, Zi-Qin. Tolerância ao sal conferida pela superexpressão de *Arabidopsis vacuolar Na + / H +* gene antiportante AtNHX1 em trigo sarraceno comum (*Fagopyrum esculentum*). **Pesquisa transgênica**, v. 17, n. 1, p. 121, 2008. Disponível em: <http://bit.ly/2CywyZT>. Acesso em: 5 jan. 2018.
- CHRISTA, K.; SORAL-ŠMIETANA, M. Buckwheat grains and buckwheat products—nutritional and prophylactic value of their components—a review. **Czech Journal of Food Sciences**, v. 26, n. 3, p. 153-162, 2008. Disponível em: <http://bit.ly/2E7bj1N>. Acesso em: 3 jan. 2018.
- DEPARTMENT OF AGRICULTURE AND RURAL DEVELOPMENT. Alberta, Canadá: julho 2001. Disponível em: <http://bit.ly/2ER9gAh>. Acesso em: 21 dez. 2017.
- DRAŽIĆ, S. *et al.* Effect of environment of the rutin content in leaves of *Fagopyrum esculentum* Moench. **Plant Soil and Environment**, v. 62, n. 6, p. 261-265, 2016. Disponível em: <http://bit.ly/2m5cmsm>. Acesso em: 5 jan. 2018.
- FANG, Z. *et al.* A buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) DRE-binding transcription factor gene, FeDREB1, enhances freezing and drought tolerance of transgenic *Arabidopsis*. **Plant molecular biology reporter**, v. 33, n. 5, p. 1510-1525, 2015. Disponível em: <http://bit.ly/2qpcesB>. Acesso em: 21 dez. 2017.
- FURLAN, A. C. *et al.* Avaliação nutricional do trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum*, Moench) para coelhos em crescimento. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 28, n. 1, 2006. Disponível em: <http://bit.ly/2IUiFOz>. Acesso em: 21 dez. 2017.
- GIMÉNEZ-BASTIDA, J. A.; PISKUŁA, M.; ZIELIŃSKI, H. Recent advances in development of gluten-free buckwheat products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 44, n. 1, p. 58-65, 2015. Disponível em: <http://bit.ly/2EPXXs9>. Acesso em: 21 dez. 2017.
- GONÇALVES, F. M. F. *et al.* *Fagopyrum esculentum* Moench: A crop with many purposes in agriculture and human nutrition. *African Journal of Agricultural Research*, v. 11, n. 12, p. 983-989, 2016a. Disponível em: <http://bit.ly/2IRQxN1>. Acesso em: 21 dez. 2017.

GONCALVES, F. M. F. *et al.* Anthelmintic and antioxidant potential of *Fagopyrum esculentum* Moench in vitro. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 44, p. 4454-4460, 2016b. Disponível em: <http://bit.ly/2EME8BQ>. Acesso em: 21 dez. 2017.

GÖRGEN, A. V. *et al.* Productivity and forage quality of buckwheat ("*Fagopyrum esculentum*" Moench) and pearl millet ("*Pennisetum glaucum*" (L.) R. BR). **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 17, n. 4, p. 599-607, 2016. Disponível em: <http://bit.ly/2l0otqH>. Acesso em: 22 dez. 2017.

GUARDIA, T. *et al.* Propriedades antiinflamatórias dos flavonóides das plantas. Efeitos da rutina, quercetina e hesperidina na artrite adjuvante em ratos. **Il farmaco**, v. 56, n. 9, p. 683-687, 2001. Disponível em: <http://bit.ly/2CM8UO0>. Acesso em: 4 jan. 2018.

GUPTA, N. *et al.* Expression of flavonoid biosynthesis genes vis-à-vis rutin content variation in different growth stages of *Fagopyrum* species. **Journal of plant physiology**, v. 168, n. 17, p. 2117-2123, 2011. Disponível em: <http://bit.ly/2lWnV4D>. Acesso em: 3 jan. 2018.

HANDOYO, T. *et al.* Hypoallergenic buckwheat flour preparation by *Rhizopus oligosporus* and its application to soba noodle. **Food research international**, v. 39, n. 5, p. 598-605, 2006. Disponível em: <http://bit.ly/2CPI1FG>. Acesso em: 22 dez. 2017.

HARBORNE, J. B. Classes and functions of secondary products. WALTON, N.J.; BROWN, D. E. (eds.). **Chemicals from plants: perspectives on plant secondary products**. 1. ed. London: Imperial College Press, 1999. Disponível em: <http://bit.ly/2qp8TJY>. Acesso em: 3 jan. 2018.

HOSSEINZADEH, H.; NASSIRI-ASL, M. Review of the protective effects of rutin on the metabolic function as an important dietary flavonoid. **Journal of endocrinological investigation**, v. 37, n. 9, p. 783-788, 2014. Disponível em: <http://bit.ly/2quNLV>. Acesso em: 4 jan. 2018. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03067.x>

JIANG, P. *et al.* Rutin and flavonoid contents in three buckwheat species *Fagopyrum esculentum*, *F. tataricum*, and *F. homotropicum* and their protective effects against lipid peroxidation. **Food Research International**, v. 40, n. 3, p. 356-364, 2007. Disponível em: <http://bit.ly/2ApjWT6>. Acesso em: 21 dez. 2017.

KIPROVSKI, B. *et al.* Comparison of phenolic profiles and antioxidant properties of European *Fagopyrum esculentum* cultivars. **Food chemistry**, v. 185, p. 41-47, 2015. Disponível em: <http://bit.ly/2CyKHK5>. Acesso em: 21 dez. 2017.

KOYAMA, M.; NAKAMURA, C.; NAKAMURA, K. Changes in phenols contents from buckwheat sprouts during growth stage. **Journal of food science and technology**, v. 50, n. 1, p. 86-93, 2013. Disponível em: <http://bit.ly/2Coaod2>. Acesso em: 21 dez. 2017.

KREFT, I.; FABJAN, N.; YASUMOTO, K. Rutin content in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) food materials and products. **Food Chemistry**, v. 98, n. 3, p. 508-512, 2006. Disponível em: <http://bit.ly/2CRpqc6>. Acesso em: 3 jan. 2018.

LIM, Jeong-Ho *et al.* Effect of salinity stress on phenolic compounds and carotenoids in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* M.) sprout. **Food chemistry**, v. 135, n. 3, p. 1065-1070, 2012. Disponível em: <http://bit.ly/2F6bFY3>. Acesso em: 5 jan. 2018.

LIN, Li-Yun *et al.* Quality and antioxidant property of buckwheat enhanced wheat bread. **Food Chemistry**, v. 112, n. 4, p. 987-991, 2009. Disponível em: <http://bit.ly/2CysMZ>. Acesso em: 21 dez. 2017.

LIU, Z.; LIU, Y.; PU, Z.; WANG, J.; ZHENG, Y.; LI, Y.; WEI, Y. Regulation, evolution, and functionality of flavonoids in cereal crops. **Biotechnology Letters**, v. 35, n. 11, p. 1765-1780, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10529-013-1277-4>

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Registro Nacional de Cultivares (RNC). 2000. Disponível em: [encurtador.com.br/dsw35](http://encurtador.com.br/dsw35). Acesso em: 25 nov. 2021.

- MARIOTTI, M.; PAGANI, M. A.; LUCISANO, M. The role of buckwheat and HPMC on the breadmaking properties of some commercial gluten-free bread mixtures. **Food Hydrocolloids**, v. 30, n. 1, p. 393-400, 2013. Disponível em: <http://bit.ly/2CNmgpN>. Acesso em: 22 dez. 2017.
- MATSUI, K.; WALKER, A. R. Biosynthesis and regulation of flavonoids in buckwheat. **Breeding science**, v. 70, n. 1, p. 74-84, 2020. Doi: <https://dx.doi.org/10.1270%2Fjsbbs.19041>
- NABAVI, S. M. *et al.* Flavonoid biosynthetic pathways in plants: versatile targets for metabolic engineering. **Biotechnology advances**, v. 38, p. 107316, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.11.005>
- NAGATOMO, Y. *et al.* Purification, molecular cloning and functional characterization of flavonoid C-glucosyltransferases from *Fagopyrum esculentum* M.(buckwheat) cotyledon. **The Plant Journal**, v. 80, n. 3, p. 437-448, 2014. Disponível em: <http://bit.ly/2CBF51r>. Acesso em: 21 dez. 2017.
- OHNISHI, O. Search for the wild ancestor of buckwheat III. The wild ancestor of cultivated common buckwheat, and of tatar buckwheat. **Economic Botany**, v. 52, n. 2, p. 123-133, 1998. Disponível em: <http://bit.ly/2C8lpB1>. Acesso em: 22 dez. 2017.
- OOMAH, B. D.; MAZZA, G. Flavonoids and antioxidative activities in buckwheat. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 44, n. 7, p. 1746-1750, 1996. Disponível em: <http://bit.ly/2DhGo2i>. Acesso em: 22 dez. 2017.
- POPOOLA, O. K. *et al.* Inhibition of oxidative stress and skin aging-related enzymes by prenylated chalcones and other flavonoids from *Helichrysum teretifolium*. **Molecules**, v. 20, n. 4, p. 7143-7155, 2015. Disponível em: <http://bit.ly/2lX459a>. Acesso em: 4 jan. 2018.
- PANCHE, A. N.; DIWAN, A. D.; CHANDRA, S. R. Flavonoids: an overview. **Journal of Nutritional Science**, v. 5, 2016. Disponível em: <https://bit.ly/2JL4R7u>. Acesso em: 31 maio 2019.
- RAVISHANKAR, D. *et al.* Flavonoids as prospective compounds for anti-cancer therapy. **The International Journal of Biochemistry & Cell Biology**, v. 45, n. 12, p. 2821-2831, 2013. Disponível em: <http://bit.ly/2EYHGBb>. Acesso em: 4 jan. 2018.
- TRIGO. *In*: RELVA VERDE. [Loja virtual]. **Cereais, Grãos e Sementes**. [2020]. Disponível em: <http://bit.ly/2EhsZrP>. Acesso em: 6 jan. 2020.
- SEDEJ, I. *et al.* Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) grain and fractions: antioxidant compounds and activities. **Journal of Food Science**, v. 77, n. 9, 2012. Disponível em: <http://bit.ly/2AqL843>. Acesso em: 3 jan. 2018.
- SILVA, D. B; GUERRA, A. F; SILVA, A. C; PÓVOA, J. S. R. **Avaliação de genótipos de mourisco na região do cerrado Brasília**: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2002. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CENARGEN/23539/1/bp021.pdf>. Acesso em: 7 mar. 2018.
- SIRACUSA, L. *et al.* Effect of sowing time and soil water content on grain yield and phenolic profile of four buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench.) varieties in a Mediterranean environment. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 62, p. 1-7, 2017. Disponível em: <http://bit.ly/2qu4RjG>. Acesso em: 5 jan. 2018.
- SUZUKI, T. *et al.* Purification and characterization of flavonol 3-glucosidase, and its activity during ripening in tartary buckwheat seeds. **Plant Science**, v. 163, n. 3, p. 417-423, 2002. Disponível em: <https://bit.ly/2ENTIEI>. Acesso em: 31 maio 2019.
- TERPINC, P. *et al.* LC-MS analysis of phenolic compounds and antioxidant activity of buckwheat at different stages of malting. **Food Chemistry**, v. 210, p. 9-17, 2016. Disponível em: <http://bit.ly/2EX7Jsm>. Acesso em: 3 jan. 2018.

TOMOTAKE, H. *et al.* High protein buckwheat flour suppresses hypercholesterolemia in rats and gallstone formation in mice by hypercholesterolemic diet and body fat in rats because of its low protein digestibility. **Nutrition**, v. 22, n. 2, p. 166-173, 2006. Disponível em: <http://bit.ly/2Cy9zBx>. Acesso em: 21 dez. 2017.

TREADWELL, D.; HUANG, P. Buckwheat: a cool-season cover crop for Florida vegetable systems. *In*: University of Florida IFAS. **Extension Document HS1135**. 2008. Disponível em: <http://bit.ly/2zx4vbj>. Acesso em: 22 dez. 2017.

TSURUNAGA, Y. *et al.* Effects of UV-B irradiation on the levels of anthocyanin, rutin and radical scavenging activity of buckwheat sprouts. **Food chemistry**, v. 141, n. 1, p. 552-556, 2013. Disponível em: <http://bit.ly/2E5GwCq>. Acesso em: 21 dez. 2017.

WILLITS, M. G. *et al.* Bio-fermentation of modified flavonoids: an example of in vivo diversification of secondary metabolites. **Phytochemistry**, v. 65, n. 1, p. 31-41, 2004. Disponível em: <http://bit.ly/2IUgPxY>. Acesso em: 3 jan. 2018.

WRONKOWSKA, M.; HAROS, M.; SORAL-ŚMIETANA, M. Effect of starch substitution by buckwheat flour on gluten-free bread quality. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, n. 7, p. 1820-1827, 2013. Disponível em: <http://bit.ly/2lQkr4a>. Acesso em: 21 dez. 2017.

XIAOHUA, L. I. *et al.* Differential expression of flavonoid biosynthesis genes and accumulation of phenolic compounds in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum*). **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 58, n. 23, p. 12176-12181, 2010. Disponível em: <http://bit.ly/2E527Ly>. Acesso em: 3 jan. 2018.

XU, J. M.; FAN, W.; JIN, J. F.; LOU, H. Q.; CHEN, W. W., YANG, J. L.; ZHENG, S. J. Transcriptome analysis of Al-induced genes in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) root apex: new insight into Al toxicity and resistance mechanisms in an Al accumulating species. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, 1141, 2017. Doi: 10.3389/fpls.2017.01141

YANG, J.; GUO, J.; YUAN, J. In vitro antioxidant properties of rutin. **LWT-Food Science and Technology**, v. 41, n. 6, p. 1060-1066, 2008. Disponível em: <http://bit.ly/2E7gMpo>. Acesso em: 3 jan. 2018.

YOKOSHO, K.; YAMAJI, N.; MA, J. F. Global transcriptome analysis of Al-induced genes in an Al-accumulating species, common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). **Plant and Cell Physiology**, v. 55, n. 12, p. 2077-2091, 2014. Doi: 10.1093/pcp/pcu135

ZIAEE, A. *et al.* Effects of rutin on lipid profile in hypercholesterolaemic rats. **Basic & clinical pharmacology & toxicology**, v. 104, n. 3, p. 253-258, 2009. Disponível em: <http://bit.ly/2qtlJj8>. Acesso em: 4 jan. 2018.

ZIELIŃSKA, D.; TUREMKO, M.; KWIATKOWSKI, J.; ZIELIŃSKI, H. Evaluation of flavonoid contents and antioxidant capacity of the aerial parts of common and tartary buckwheat plants. **Molecules**, v. 17, n. 8, p. 9668-9682, 2012. Doi: <https://doi.org/10.3390/molecules17089668>.

## 4 ARTIGOS

### 4.1 Artigo 1 – Época de colheita de cultivares de trigo-mourisco (*Fagopyrum esculentum* Moench)

Este artigo foi elaborado conforme normas da Revista Ciência e Agrotecnologia.

#### Época de colheita de cultivares de trigo-mourisco (*Fagopyrum esculentum* Moench)

##### RESUMO

*Fagopyrum esculentum* é um pseudocereal que tem elevado valor no mercado e produção de baixo custo. O Brasil é um país exportador e consumidor de grãos e rutina dessa planta. No entanto, há carência de estudos visando a produção da espécie em muitas das regiões do País. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a produção de flavonoides e atributos agrônômicos de cultivares de *F. esculentum* em função da época de colheita. O experimento foi conduzido no Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, em vasos na casa de vegetação, no delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os tratamentos foram oito épocas de colheita (15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 e 120 dias após a emergência) e duas cultivares ('IPR 92' e 'IPR 91') em esquema fatorial (8 x 2). Os dados foram submetidos às análises de variância e de regressão. O ideal é colher *F. esculentum* entre 71 e 86 dias após a emergência, visando a produção de grãos e de rutina. A 'IPR 91' é a cultivar mais precoce, possui menor teor de flavonoides totais (8,75 mg g<sup>-1</sup>), produção de rutina (32,86 mg) e de matéria seca (3,54 g) que a 'IPR 92' (12,58 mg g<sup>-1</sup>, 42,68 mg, e 3,72 g, respectivamente).

Palavras-Chaves: Biomassa. Pseudocereal. Rutina. Flavonoides totais.

## 1. INTRODUÇÃO

No Japão e em países europeus tem aumentado o cultivo do trigo-mourisco, devido às suas características, como alimento nutracêutico, dietético e medicinal na alimentação humana (GÖRGEN, 2016). Os produtos obtidos do trigo-mourisco, por serem alimentos funcionais, têm preços mais elevados em comparação aos produtos de trigo integral e comum. Agricultores do Brasil relatam a utilização do trigo-mourisco como planta sucessora de culturas de grãos, como soja, milho e sorgo, como adubo verde e com capacidade de desenvolver em solos ácidos, pobres e com baixa umidade, ideal para o plantio na safrinha e em rotação de culturas (GÖRGEN, 2016). Segundo esses mesmos autores, o trigo-mourisco é uma excelente opção de forrageira e, no Brasil, pode substituir o milho (forrageira de importância nacional) no inverno.

O *Fagopyrum esculentum* Moench pertence à família Polygonaceae (KOYAMA; NAKAMURA; NAKAMURA, 2013), conhecido como trigo-mourisco é um pseudocereal (FANG *et al.*, 2015, NAGATOMO *et al.*, 2014, KIPROVSKI *et al.*, 2015). Segundo Gonçalves *et al.* (2016), a cultura é de grande importância para a nutrição humana, agricultura e produção zootécnica.

Na nutrição humana, é importante por conter aminoácidos e proteínas de alto valor biológico, por ter propriedades profiláticas e terapêuticas (CHRISTA; SORAL-ŠMIETANA, 2008), devido à presença de rutina e outros flavonoides (TSURUNAGA *et al.*, 2013) e pelos subprodutos serem isentos de glúten (GIMÉNEZ-BASTIDA; PISKULA; ZIELIK, 2015). Pode ser utilizado na atração de inimigos naturais, na alimentação animal, como forrageira funcional (GONÇALVES *et al.*, 2016), feno e silagem para coelhos em fase de crescimento, aves poedeiras, suínos e ruminantes (FURLAN *et al.*, 2006).

Os flavonoides conferem atividade antioxidante à espécie (ABBASI *et al.*, 2015; JIANG *et al.*, 2007) e estão associados à diminuição do risco de doenças do coração (PANCHE; DIWAN; CHANDRA, 2016). Por conter grande quantidade de rutina na composição, o trigo-mourisco é considerado um importante alimento fornecedor desse composto (GUPTA *et al.*, 2011), que possui alta capacidade antioxidante e proporcional à sua concentração (YANG; GUO; YUAN, 2008). A farinha de trigo-mourisco e os grãos são, pelo menos, cinco vezes mais valorizados que grãos de trigo comum e farinha de trigo integral (TRIGO, [2020]). Portanto, tem maior valor agregado, além de maior resistência a adversidades ambientais, quando comparada aos cereais que substitui.

A composição e o teor de flavonoides, incluindo rutina, em trigo-mourisco, são influenciados pela genética, como o tipo de cultivar estudada, condições ambientais de cultivo (Jiang *et al.*, 2007) e também pela fenologia (época de colheita da espécie) (Suzuki *et al.*, 2009). Na literatura, estudos mostram que a época de colheita ideal para o trigo-mourisco, visando biomassa, coincide com o período intenso de floração (Arduini, Masoni e Mariotti, 2015), para grãos, varia da 10<sup>a</sup> até a 12<sup>a</sup> semana, quando 70 – 75% das sementes amadureceram (Farooq *et al.* 2016) e, para maior teor de rutina, aos 42 dias após a semeadura.

A recomendação de cultivares e época de colheita, que atendam à alta produção, ao ciclo mais curto e ao alto teor e produção de flavonoides, é essencial para produzir trigo-mourisco em larga escala, atender ao mercado industrial e ter suficiência de produção. Já foram observadas alterações dos flavonoides quanto à época de colheita (GUPTA *et al.*, 2011) e altura da planta (XIAOHUA *et al.*, 2010). Entretanto, no Brasil, trabalhos dessa magnitude são escassos ou inexistentes. Dessa forma, a pesquisa

vai colaborar para o melhoramento e cultivo da espécie. Assim, o objetivo do estudo foi determinar a época de colheita de cultivares de *Fagopyrum esculentum* Moench (trigo-mourisco) para produção de flavonoides, biomassa e grãos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Local do experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Instituto de Ciências Agrárias (ICA) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), em Montes Claros, Minas Gerais, Brasil, nas coordenadas 16°40'58,5"S e 43°50'25,6"W, com altitude de 645,87 m. A cidade tem temperatura média anual de 22,7° C, precipitação de 1029 mm (INMET, 2019), pertence aos biomas Cerrado e Caatinga (IBGE, 2019) e é classificada com clima tropical (Aw) (Alvares *et al.*, 2013), quente e semiúmido, com estações bem determinadas, tendo período de seca prolongado e período de chuva curto. Durante o experimento, a média da umidade relativa mínima foi de 65,37% e a máxima de 71,55% e a média da temperatura mínima foi de 23,10°C e a máxima de 24,43°C (INMET, 2019).

### 2.2 Procedimento experimental e avaliações

A semeadura ocorreu no dia 28 de janeiro de 2018 e a última colheita foi em 23 de maio de 2018. As plantas foram conduzidas em vasos (5 dm<sup>3</sup>), preenchidos com solo, com as seguintes características: pH em água 6,1; P = 1,24 mg dm<sup>-3</sup>; Ca = 6,90 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg = 2,21 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; K = 0,26 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Al = 0,00 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H+Al = 2,90 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; matéria orgânica = 35,5 g kg<sup>-1</sup>; areia = 480 g kg<sup>-1</sup>; silte = 220 g kg<sup>-1</sup>; argila = 300 g kg<sup>-1</sup> e de textura média. Os tratamentos foram: oito épocas de colheita (15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 e 120 dias após a emergência) e duas cultivares ('IPR 91' e 'IPR 92'), cedidas pelo Instituto de Desenvolvimento Rural IAPAR-EMATER, em esquema fatorial (8 x 2), com quatro repetições, totalizando 64 parcelas, sendo duas plantas por parcela em delineamento inteiramente casualizado. Foram semeadas cinco sementes e, após a emergência das plantas, foram deixadas apenas duas plantas por parcela. O solo foi adubado com 200 kg ha<sup>-1</sup> de 04-30-10, adaptado de Gørgen *et al.* (2016) e irrigado até a capacidade de campo durante todo o experimento.

Após as colheitas, as amostras (parte aérea inteira) foram pesadas, em balança com precisão de 0,0001g e levadas à estufa, com circulação forçada de ar (60° C), até atingir peso constante para determinação da matéria seca. Posteriormente, as amostras foram moídas e armazenadas na geladeira (5° C) até o preparo dos extratos para a realização das análises de flavonoides. Foram avaliados o teor e produção de flavonoides totais e de rutina e aspectos agrônômicos: matéria fresca e seca, diâmetro do caule, altura da planta, número de ramos e folhas da planta, produção de grãos maduros a 13% de umidade e peso de 1000 grãos maduros a 13% de umidade.



### 2.3 Preparação dos extratos para a determinação do teor de flavonoides totais e rutina

O extrato foi preparado com metanol (10 mL, 80% v/v em água) e amostra de trigo previamente pulverizada em moinho (2 g). A mistura foi mantida em agitação por 6 h, no agitador orbital, em temperatura ambiente e no escuro. Posteriormente, o material foi centrifugado a 4000 rpm por 10 min. O sobrenadante foi retirado, filtrado em papel filtro (11 cm e 4-12 $\mu$ M) e armazenado na geladeira (5 $^{\circ}$  C).

### 2.4 Determinação do teor e produção de flavonoides totais

A metodologia foi adaptada de Pękal e Pырzyka (2014). A amostra foi preparada adicionando solução aquosa de  $AlCl_3$  (5 mL 1% v/v em água), água destilada (7 mL) extrato metanólico (1 mL). A mistura foi agitada em vórtex por 20 segundos, deixada em repouso por 10 min, no escuro sob temperatura ambiente. A leitura foi realizada no espectrofotômetro ( $\lambda = 430$  nm), sendo o branco a água destilada.

O teor de flavonoides foi medido em mg de rutina por g de matéria seca da amostra ( $mg\ g^{-1}$  MS), a partir da equação obtida pela leitura do padrão de rutina:  $y = 29,62x + 0,05$  ( $r^2=0,995$ ), sendo “y” a absorbância e “x” a concentração de rutina ( $mg\ mL^{-1}$ ). E a produção de flavonoides foi estimada, a partir da equação:  $y$  ( $mg\ planta^{-1}$ ) = teor de flavonoides ( $mg\ g^{-1}$  MS) x matéria seca (g), sendo “y” a produção de flavonoides por planta.

### 2.5 Determinação do teor e produção de rutina por CLAE-DAD

O teor de rutina foi determinado a partir da adaptação de Zhai *et al.* (2018). Os extratos metanólicos foram diluídos, para a concentração de 1 mg de matéria seca por mL de metanol, filtrados em membrana de TEFLON, (0,22  $\mu$ m), estéril e hidrofóbica. Posteriormente, foram injetados no sistema de cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) Shimadzu Technologies, com detector de compostos de arranjo de diodos (DAD), em coluna VP-ODS C18 (250 x 4,6 mm d.i, 5  $\mu$ m). Foram utilizadas duas fases móveis: acetonitrila (A) e água acidificada com ácido fosfórico a 0,5% (B). A fase móvel inicial foi de 80% de B, em gradiente linear, com 70% de B em 10 min; aos 25 min, retomou à composição inicial até os 35 min, quando as corridas foram encerradas. O volume caudal foi de 0,9  $mL\ min^{-1}$ , com temperatura da coluna de 30 $^{\circ}$  C e volume de injeção da amostra de 1  $\mu$ L. As corridas foram realizadas entre 190 e 450 nm. Os picos dos cromatogramas foram integrados ao  $\lambda = 350$  nm.

O teor foi medido em mg de rutina por g de matéria seca da amostra ( $mg\ g^{-1}$  MS), baseado na equação obtida pela leitura do padrão de rutina:  $y = 20000000x - 793,71$  ( $r^2=0,998$ ), sendo “y” a absorbância e “x” a concentração de rutina ( $mg\ mL^{-1}$ ). E a produção de rutina foi estimada, a partir da equação:  $y$  ( $mg\ planta^{-1}$ ) = teor de rutina ( $mg\ g^{-1}$  MS) x matéria seca (g), sendo “y” a produção de rutina por planta.

### 2.6 Análises estatísticas

Foi realizada análise estatística, usando o modelo de esquema fatorial simples, considerando a análise de variância a 5% de significância pelo teste F e, quando significativo, a análise de regressão em função do tempo. Foram ajustadas regressões lineares e quadráticas. Para a seleção do modelo, foram consideradas as significâncias dos coeficientes de regressão a 5% e 1% de significância pelo teste t para as épocas, utilizando o pacote ExpDes.pt no software R-3.2.2 (2014).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A emergência das plantas ocorreu depois de um dia após a semeadura (DAS), entre os dias 29 e 30 de janeiro de 2018. A partir do último dia de emergência, iniciou-se o período pós-emergência. A abertura das flores começou no 16º DAS, em 13 de fevereiro de 2018 e o surgimento de frutos maduros iniciou no 48º DAS, 17 de março de 2018. Em condições favoráveis de cultivo, geralmente, o trigo-mourisco emerge 4 – 5 dias após a semeadura (DAS), inicia a fase reprodutiva entre os 42 e 49 DAS e começa o enchimento de grãos aos 56 DAS (Josh *et al.*, 2019). No atual estudo, o ciclo foi menor e, aos 48 DAS, as cultivares já tinham frutos maduros (Fig. 1).

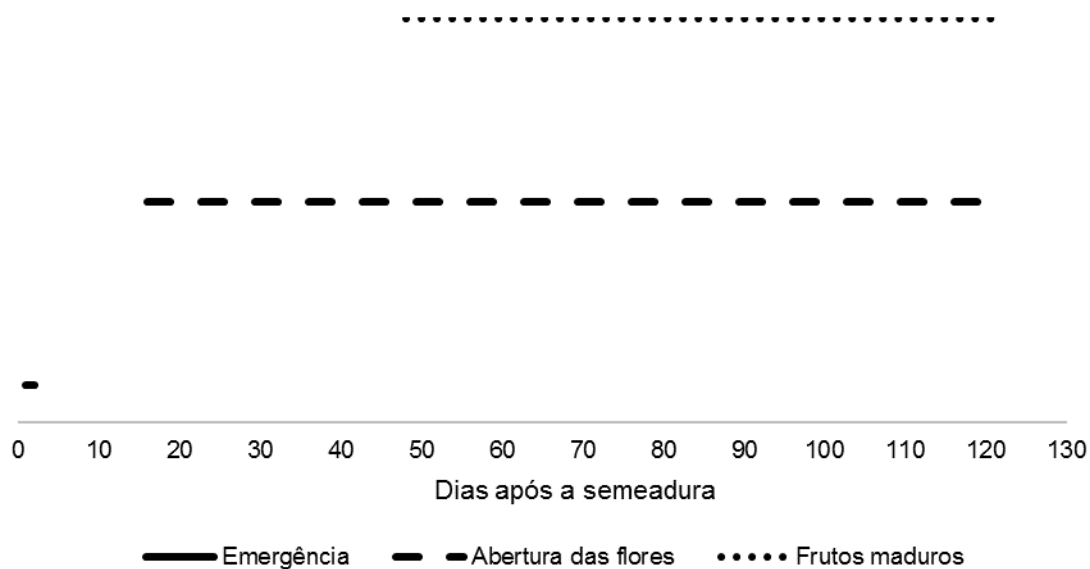


Figura 1 – Duração das fenofases das cultivares 'IPR 91' e 'IPR 92' de *Fagopyrum esculentum*, cultivadas em Montes Claros, Minas Gerais, Brasil

Os parâmetros altura da planta (AP) e matéria fresca e seca da parte aérea (MFPA e MSPA, respectivamente) tiveram interação entre cultivares e época de colheita e foram representados por curvas quadráticas (Fig. 2).

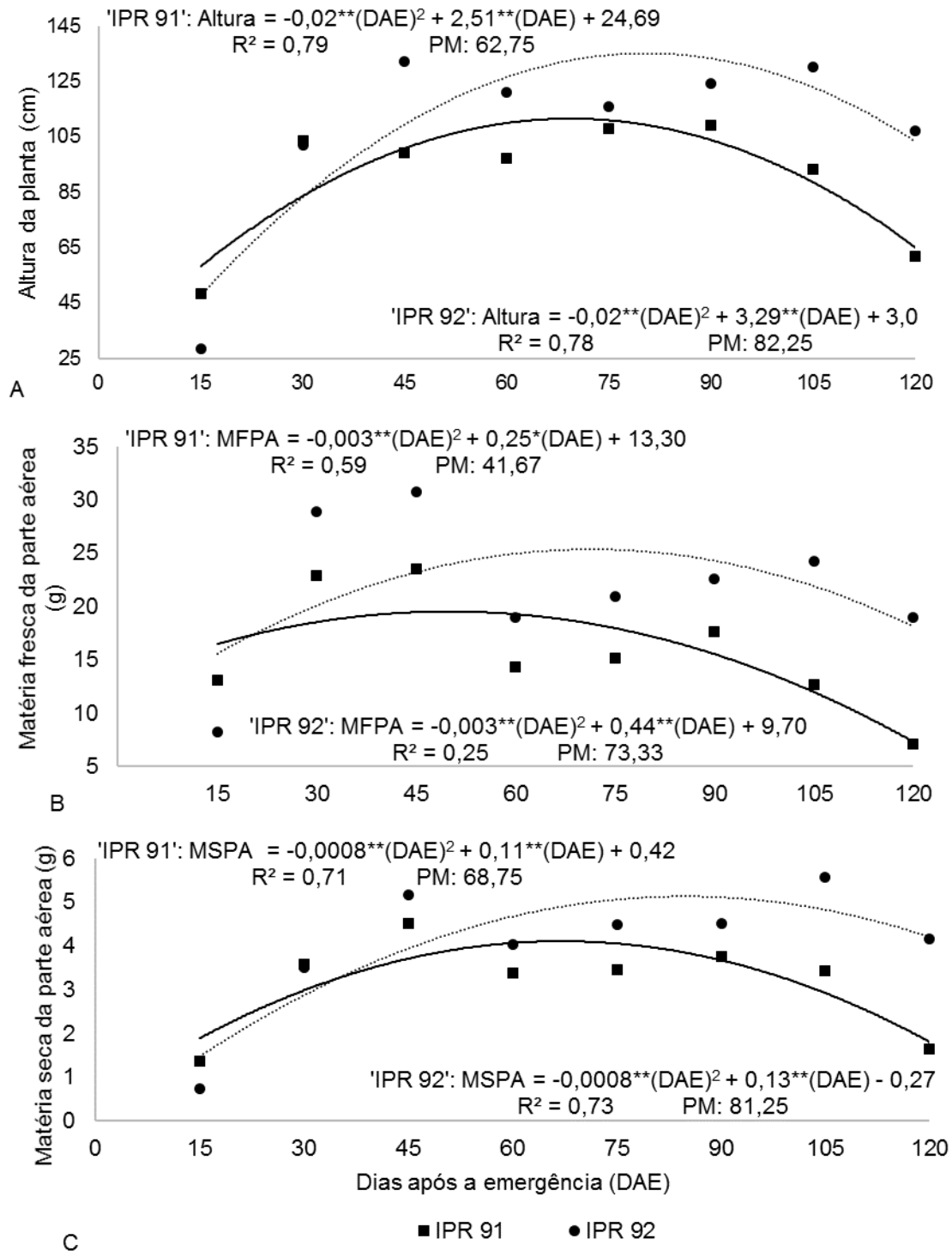


Figura 2 – Interação entre épocas de colheita e cultivares 'IPR 91' e 'IPR 92' de *Fagopyrum esculentum* (Moench) altura da planta (A), matéria fresca da parte aérea (MFPA) (B) e matéria seca da parte aérea (MSPA) (C) em Minas Gerais, Brasil

PM: ponto de máxima em dias após a emergência. \*\*Coeficientes significativos pelo teste t a 1% de significância.

A cultivar 'IPR 91' pode ser colhida 12 dias antes, tem menor porte e é menos produtiva, em comparação à 'IPR 92', confirmando a descrição comercial das cultivares, que descreve a 'IPR 91' como alta e tardia e a 'IPR 92', como baixa e precoce. A resposta quadrática dos parâmetros pode ser

explicada pela senescência e perda de partes da planta, como perda de folhas e flores e ressecamento e quebra da região apical com o envelhecimento. A MSPA de trigo-mourisco, em estudo no Japão, em função da época de colheita, foi crescente (0 – 8,0 g) (Suzuki *et al.*, 2009). Porém o ciclo foi até o 42º dia após a semeadura (DAS), o que corrobora com os resultados do presente trabalho até a colheita do dia 45º após a emergência.

A colheita de trigo-mourisco, visando ao maior aproveitamento da biomassa (MSPA), é realizada quando surgem os primeiros frutos verdes até eles começarem a se desenvolver (Arduini, Masoni e Mariotti, 2015). No presente estudo, os frutos começaram a ficar muduros aos 48 DAS e os pontos de máxima da MSPA foram aos 69 DAE ('IPR 91') e aos 81 DAE ('IPR 92'). Portanto não é recomendado basear a colheita dessas cultivares, visando à maior MSPA, no surgimento e desenvolvimento dos frutos.

A AP, assim como a MSPA e o NR deste trabalho foram maiores que as médias obtidas (5 a 100 cm, 5 a 50 mg planta<sup>-1</sup> e 3 a 5, respectivamente), em trigo-mourisco cultivado na China, ao avaliar épocas de semeadura e densidades populacionais (JAPHET *et al.*, 2009). O trigo-mourisco precisa ser melhorado, principalmente, em relação à AP e ao Ø, a fim de diminuir o porte e a propensão ao acamamento para facilitar o processo de colheita e/ou pastejo. O diâmetro do caule (Ø) e o número de folhas (NF) e ramos (NR) por planta não apresentaram interação (Anexo 1a). A resposta, em função da época de colheita, foi quadrática para os dois primeiros e linear para o último (Fig. 3).

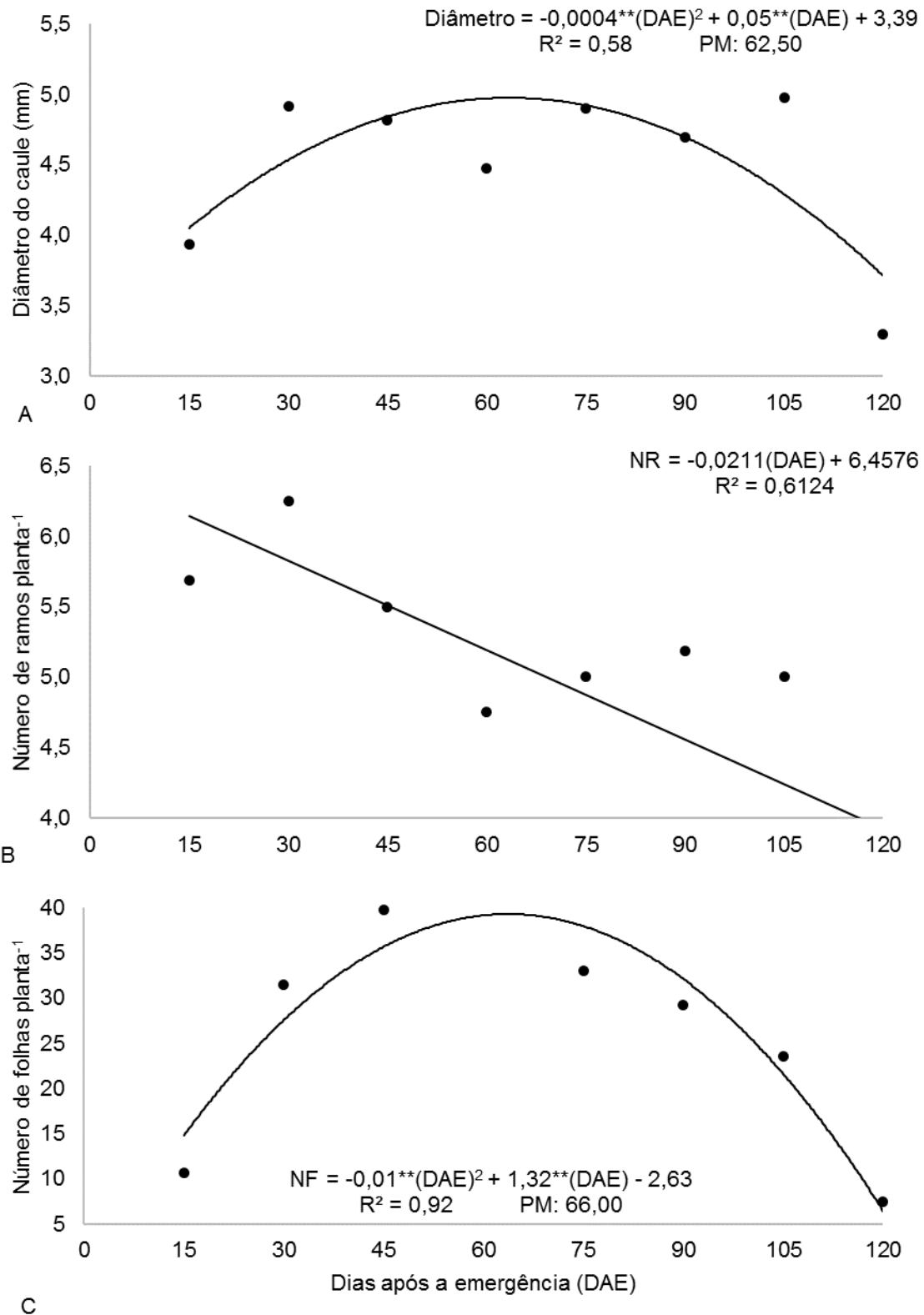


Figura 3 – Diâmetro do caule (A), número de ramos por planta (NR) (B) e número de folhas por planta (NF) (C) em função da época de colheita de cultivares ('IPR 91' e 'IPR 92') de *Fagopyrum esculentum* (Moench) em Minas Gerais, Brasil

PM: ponto de máxima em dias após a emergência. \*\*Coeficientes significativos pelo teste t a 1% de significância.

Quando o NF começa a decrescer, após o 66<sup>o</sup> DAE, é o mesmo período, para a colheita de trigo-mourisco, recomendado por Farooq *et al.* (2016), que é quando a planta começa a perder a maior parte das folhas, entre os 70 e 84 DAS. A 'IPR 92' apresentou maior Ø (4,69 mm), TFT (12,58 mg g<sup>-1</sup> MS) e PR (42,68 g planta<sup>-1</sup>) em relação à 'IPR 91' (4,31 mm, 8,75 mg g<sup>-1</sup> MS e 32,86 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente). Para os parâmetros NF ('IPR 91' = 25,52 e 'IPR 92' = 28,30), NR ('IPR 91' = 4,88 e 'IPR 92' = 5,19), produção de grãos (PG) ('IPR 91' = 0,075 g planta<sup>-1</sup> e 'IPR 92' = 0,103 g planta<sup>-1</sup>) e peso de mil grãos (PMG) ('IPR 91' = 11,76 g e 'IPR 92' = 10,91 g) as duas cultivares foram estatisticamente iguais (Tabela 1).

Tabela 1 – Valores médios de características de duas cultivares de *Fagopyrum esculentum* (trigo-mourisco) cultivadas em Minas Gerais, Brasil

Cultivares	Ø (mm)	NR	NF	PG (g)	PMG (g)
'IPR 91'	4,31b	4,88a	25,52a	0,075a	11,76a
'IPR 92'	4,69a	5,19a	28,30a	0,103a	10,91a

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste F a 5% de significância.

Ø: diâmetro do caule; NRP: número de ramos por planta; NFP: número de folhas por planta; PG: produção de grãos por planta; PMG: peso de mil grãos.

Os resultados da MSPA, NR e Ø corroboram com as médias (3,58 e 7,13 g planta<sup>-1</sup>, 5,25 e 9,09 e 2,2 – 3,8 mm, respectivamente), obtidas por Yao *et al.* (2008), que avaliaram trigo-mourisco sem tratamento e sob radiação ultravioleta. Ainda no estudo realizado por Yao *et al.* (2008), a AP (44,8 a 76,5 cm) apresentou médias inferiores às observadas neste trabalho. A MFPA e a MSPA foram mais elevadas neste trabalho que as encontradas (1,62 g planta<sup>-1</sup> e 0,22 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente) no estudo que avaliou semeadura e crescimento de mudas de trigo-mourisco em água magnetizada (Podsiadło e Skorupa, 2017).

A média do NF (0 – 140), encontrada por Aubert *et al.* (2020), ao estudarem a resposta de trigo-mourisco, cultivado em Amsterdam, sob influência da temperatura, foi menor que a encontrada neste trabalho. As contagens de folhas, no trabalho desenvolvido por Aubert *et al.* (2020), foram realizadas a cada 10 dias e somadas no final do ciclo, por isso, a média mais elevada. O NF das plantas deste trabalho foi maior que o encontrado em linhagens de trigo-mourisco (23,93) cultivado em Uttarakhand, Índia (Bisht, Bhatt e Singh, 2018). Os valores observados por Bisht *et al.* (2018), para o mesmo parâmetro, foi entre 20 e 30 e, apesar de estarem entre os valores encontrados no presente estudo (NF = 7 a 40), houve menor variação. A maior variação pode ser justificada pela cultivares utilizadas e pelo ambiente de cultivo.

O PMG foi obtido, a partir do 45<sup>o</sup> dia após a emergência (DAE), pois foi o período em que as plantas começaram a ser colhidas com grãos. O alto coeficiente de variação (Anexo 1a), para os parâmetros relacionados aos grãos, é explicado pelo fato de algumas repetições não terem tido grãos no momento da colheita e terem sido consideradas nos cálculos. A PG e o PMG tiveram efeitos simples e resposta quadrática em função da época de colheita (Fig. 4). A maior PG foi por volta do 71<sup>o</sup> dia após a emergência das plantas (DAE) e o maior PMG foi por volta do 82<sup>o</sup> DAE.

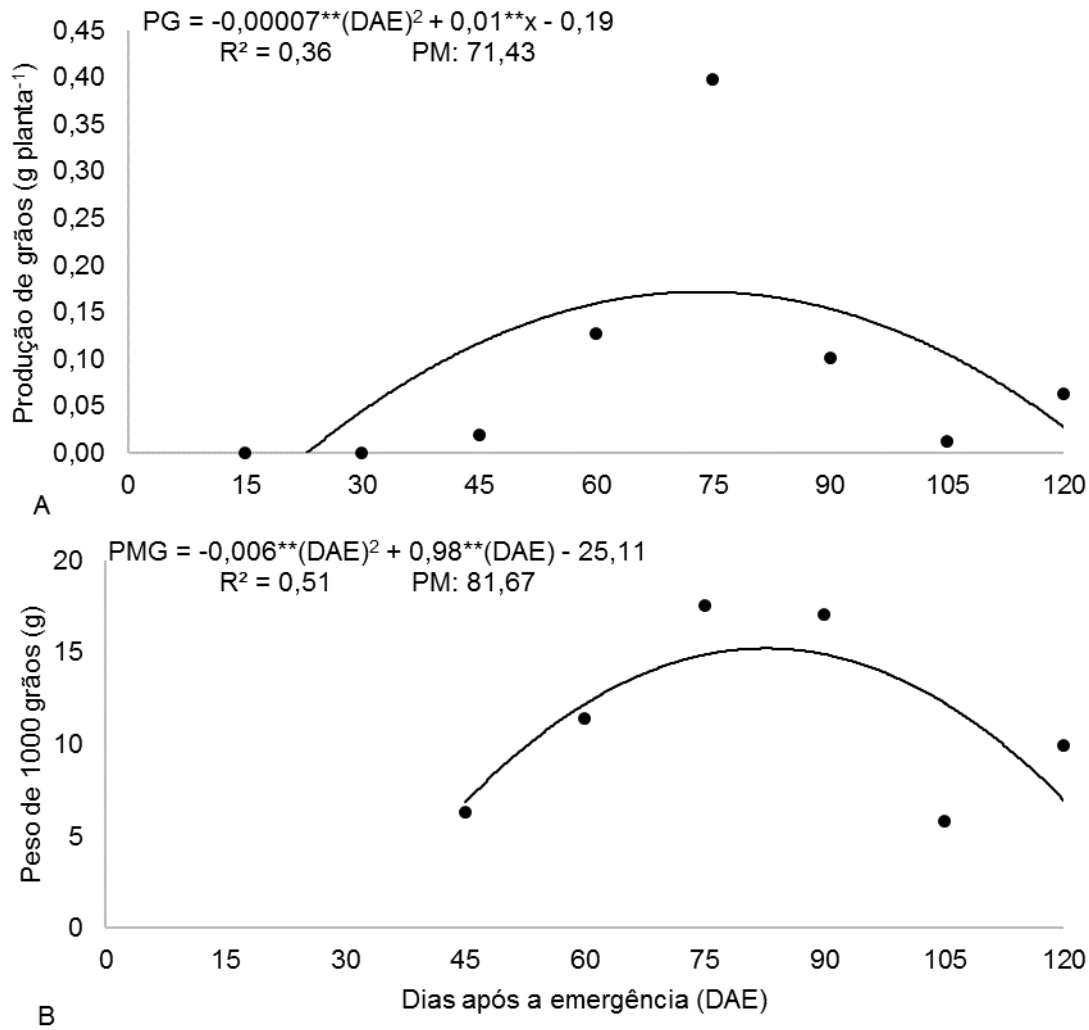


Figura 4 – Produção de grãos a 13% de umidade por planta (PG) (A) e peso de mil grãos a 13% de umidade (PMG) (B) em função da época de colheita de cultivares ('IPR 91' e 'IPR 92') de *Fagopyrum esculentum* (Moench) em Minas Gerais, Brasil

PM: ponto de máxima em dias após a emergência. \*\*Coeficientes significativos pelo teste t a 1% de significância.

A época de colheita ideal de grãos de trigo-mourisco é entre os 70 e 84 DAS, segundo Farooq *et al.* (2016) e quando a espécie produz frutos completamente maduros em grande quantidade (aproximadamente 75%) (Arduini, Masoni e Mariotti, 2015). Esse resultado corrobora com os resultados do presente estudo, em que os pontos de máxima da PG ( $\cong 71$  DAE) e do PMG ( $\cong 82$  DAE), foram exatamente nesse período. Os resultados da PG e do PMG, encontrados neste trabalho, foram inferiores aos resultados obtidos por Jiang *et al.* (2018) (PG = 4,01 – 5,25 g planta<sup>-1</sup> e PMG = 24,70 – 28,1 g) e Yao *et al.* (2008) (PG = 1,13 – 2,13 g planta<sup>-1</sup> e PMG = 27,20 – 35,1 g). Os resultados do presente trabalho foram inferiores pelo fato de ter considerado a umidade dos grãos a 13%, que é a umidade ideal da colheita de trigo comum (EMBRAPA, 2014) e não a umidade de colheita, que é mais elevada. Além disso, a cultivar utilizada e o ambiente de cultivo interferem na PG e PMG (Jiang *et al.*, 2018), implicando resultados diferentes.

Os grãos de trigo-mourisco têm ótima composição nutricional com micro e macronutrientes, além dos grãos e derivados serem isentos de glúten (GIMÉNEZ-BASTIDA; PISKULA; ZIELIK, 2015). O teor de compostos antioxidantes, incluindo flavonoides, em grãos de trigo-mourisco, é superior aos grãos de trigo e trigo integral (Sedej *et al.*, 2012). Há de se destacar que o trigo-mourisco é a única espécie de grãos com rutina (Joshi *et al.*, 2019). Outra vantagem da espécie é a farinha, que pode ser usada como fonte de rutina (Bai *et al.*, 2015). O enriquecimento da farinha de trigo-mourisco com casca dos grãos aumenta o aproveitamento da planta e a qualidade antioxidante do produto (Sedej *et al.*, 2012). Os grãos de trigo-mourisco e derivados são mais caros que grãos e derivados de trigo comum e integral (Trigo, [2020]).

O teor de flavonoides totais (TFT) e o teor de rutina (TR), em função da época de colheita, não foram significativos ( $10,67 \pm 4,41 \text{ mg g}^{-1}$  e  $10,37 \pm 4,55 \text{ mg g}^{-1}$ , respectivamente) (Anexo 1a). Houve efeito linear para a produção de rutina por planta (PR) (Fig. 5). A produção de flavonoides totais por planta (PFT) apresentou interação entre as cultivares e a época de colheita (Fig. 4).

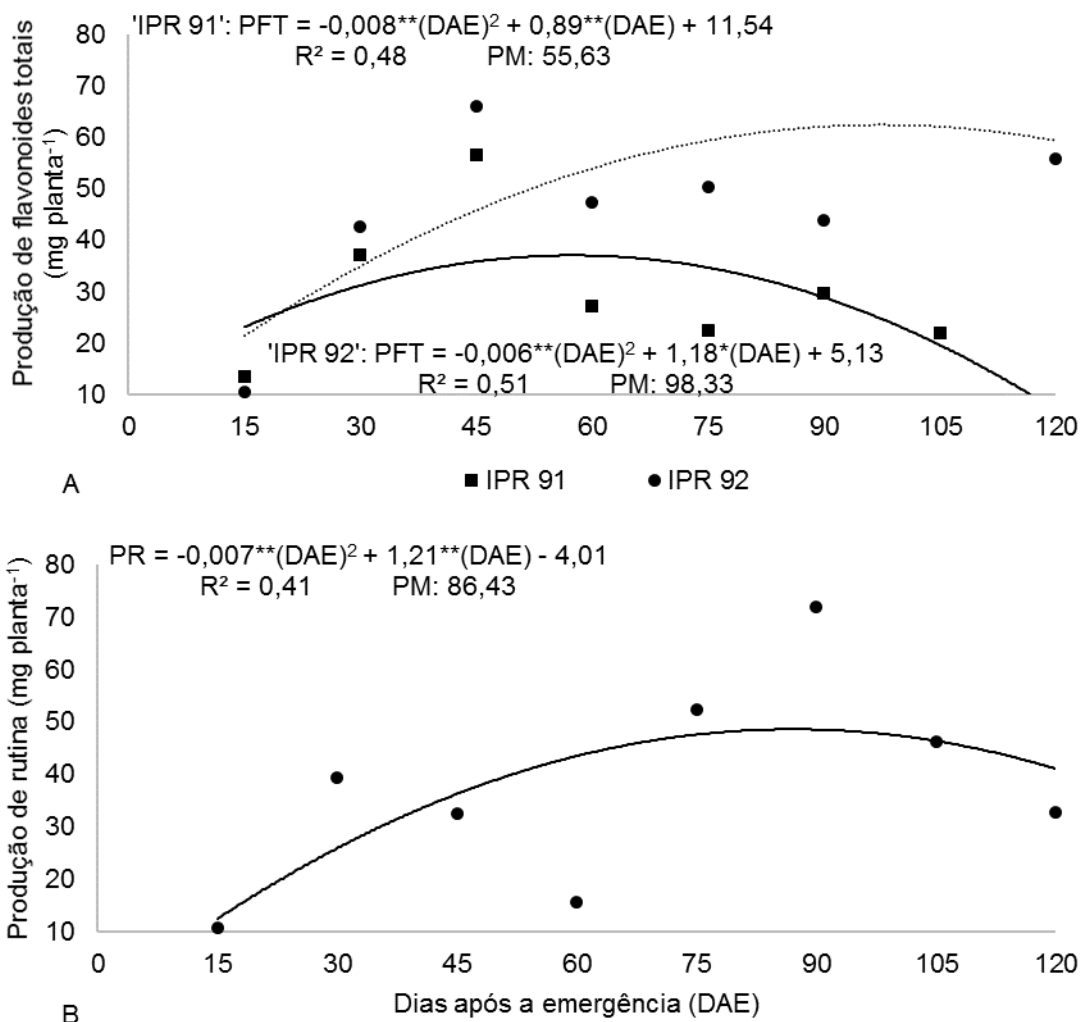


Figura 5 – Estudo de regressão, em função de épocas de colheita e nas cultivares ('IPR 91' e 'IPR 92'), para a produção de flavonoides por planta (PFT) (A) e produção de rutina por planta (PR), em função da época de colheita de cultivares ('IPR 91' e 'IPR 92') (B) de *Fagopyrum esculentum* (Moench), em Minas Gerais, Brasil



PM: ponto de máxima em dias após a emergência. \*\*Coeficientes significativos pelo teste t a 1% de significância. \*Coeficientes significativos pelo teste t a 5% de significância.

No estudo que avaliou folhas de trigo-mourisco, em função da época de colheita, na região de Hokkaido em Memuro, Hokkaido, Japão, foi constatado que o TR aumenta, a partir do 14º dia após a sementeira (DAS), atinge o ponto de máxima (aproximadamente 50 mg g<sup>-1</sup> MS) aos 28 DAS e decresce aos 42 DAS (Suzuki *et al.*, 2009). O TFT é mais elevado na fase inicial (2,04 – 0,16 mg g<sup>-1</sup> MS) de crescimento (14 DAS) e diminui drasticamente (0,63 – 0,0 mg g<sup>-1</sup> MS) a partir da maturação dos frutos (28 DAS) (Suzuki *et al.*, 2009). Em outro estudo, avaliando a época de colheita de trigo-mourisco na Universidade de Várnia e Mazury, em Olsztyn, no Nordeste da Polônia, foi constatado que a época de colheita tem efeito no TFT de caules, folhas, flores e sementes verdes de trigo-mourisco, sendo o maior TFT (47,80 - 203,63 mg g<sup>-1</sup> MS) detectado no início da formação dos frutos (41 DAS). No presente estudo, a maturação dos frutos começou no 48º DAS e a abertura das flores no 16º DAS, tendo, portanto um ciclo mais tardio, em relação ao trigo-mourisco dos estudos anteriores, para ambas as cultivares. O ciclo, aliado às condições de cultivo e ao objeto de estudo (parte aérea inteira), podem ter contribuído para os resultados divergentes, uma vez que, além do estágio fenológico da planta, o TFT e o TR são influenciados pela parte estudada da planta, pela cultivar e pelo ambiente de cultivo (Zielińska *et al.*, 2012).

É importante ressaltar que o teor de rutina não se altera quando há dano mecânico à planta (Suzuki; Honda; Mukasa, 2005). Portanto o fato isolado das plantas quebrarem as folhas, os ramos e a parte apical não altera o TR. Em estudo do TR, em diferentes estádios fenológicos do trigo-mourisco, foi mostrado que há diferença entre as épocas de colheita, visto que o maior teor observado foi entre os 15 DAS, quando surgiu a segunda folha madura e, aos 40 DAS, quando começou o florescimento (Gupta *et al.*, 2011).

Em relação ao parâmetro TR, a 'IPR 91' (10, 85 mg g<sup>-1</sup> MS) e a 'IPR 92' (9,89 mg g<sup>-1</sup> MS) não apresentaram diferenças significativas (Tabela 2). A maior PFT na 'IPR 91' foi por volta do 56º DAE e na 'IPR 92' foi por volta do 98º DAE. A maior PR foi por volta do 86º DAE.

Tabela 2 – Valores médios de características fitoquímicas de duas cultivares de *Fagopyrum esculentum* (trigo-mourisco) cultivadas em Minas Gerais, Brasil

Cultivares	TFT (mg g <sup>-1</sup> MS)	TR (mg g <sup>-1</sup> MS)	PR (g)
'IPR 91'	8,75b	10,85a	32,86b
'IPR 92'	12,58a	9,89a	42,68a

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste F a 5% de significância.

TFT: teor de flavonoides totais; TR: teor de rutina e PR: produção de rutina por planta.

Neste trabalho, o TR foi maior que o TFT, resultado que também pode ser explicado pelos métodos de quantificação (CLAE mais sensível que espectrofotometria), pela diferença entre os genótipos e por ter outros flavonoides presentes, além da rutina, nos flavonoides totais e não foi possível determinar quais, porque o método de quantificação de rutina que utilizamos foi otimizado para detectar rutina, que é o principal composto de interesse econômico da espécie. O perfil químico de cultivares de

*F. esculentum*, em função da época de colheita e o espectro de rutina na região ultravioleta, estão na Figura 6.

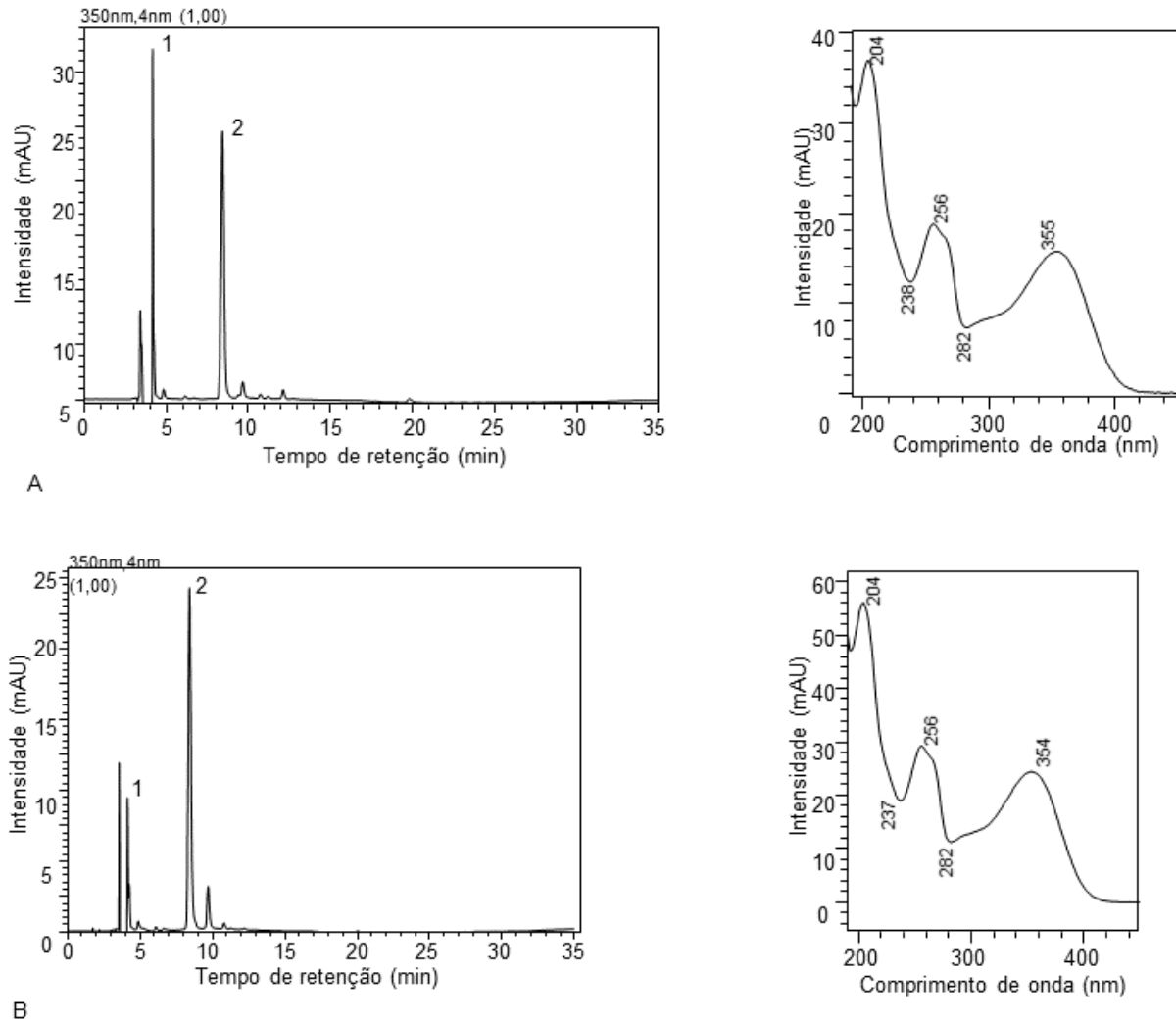


Figura 6 - Cromatogramas obtidos por cromatografia líquida de alta eficiência com arranjo de diodos,  $\lambda = 350$  nm, das cultivares 'IPR 91' (A) e 'IPR 92' (B) de *Fagopyrum esculentum* (Moench), cultivadas em casa de vegetação em Minas Gerais, Brasil e os respectivos espectros de rotina na região ultravioleta

Pico 1: solvente metanol e pico 2: rutina.

Entre os flavonoides detectados pelos pesquisadores, na raiz tem  $9,29 \text{ mg g}^{-1}$  MS de rutina e na parte aérea tem entre  $2,61 - 8,63 \text{ mg g}^{-1}$  MS (Gabr *et al.*, 2019). Em estudo com *F. esculentum*, foram encontrados  $0,5 - 2,5 \text{ mg g}^{-1}$  de matéria fresca de flavonoides totais (Aubert *et al.*, 2020). Estudando grãos de cultivares europeias de trigo-mourisco, Kiproviski *et al.* (2015) encontraram  $0,5 - 4,5 \text{ mg g}^{-1}$  MS de flavonoides totais e  $0,03 - 1,51 \text{ mg g}^{-1}$  MS de rutina; ambos os trabalhos tiveram teores mais baixos que os encontrados neste trabalho.

O teor de rutina obtido no trabalho corrobora com o trabalho de Bai *et al.* (2015) ( $1 - 13 \text{ mg g}^{-1}$ ), que estudaram sementes de 14 cultivares de trigo-mourisco comum e trigo-mourisco-tartárico de países da América, Ásia e Europa. Outro estudo com folhas e flores de trigo-mourisco, provenientes da Eslovênia, validando método de quantificação por infravermelho médio transformada de Fourier (FT-IR),

os valores da rutina variaram entre 10 e 120 mg g<sup>-1</sup> (Ladan *et al.*, 2017). Esses resultados foram mais amplos que os encontrados no presente trabalho. Os resultados do teor de rutina, obtidos no presente estudo, foram maiores que os encontrados (0,16 – 6,01 mg g<sup>-1</sup>), no estudo de sementes de *Fagopyrum tataricum*, ao avaliar metodologias de extração (Kalinová; Vrchotová; Triska, 2018). Os flavonoides estão entre os produtos que o Brasil mais exporta para a indústria farmacêutica e corresponde a 50% da produção global (Sudré *et al.*, 2011). O valor da rutina e derivados, importados e exportados, de 2015-2019, foi de 35,47 USD kg<sup>-1</sup> (MDIC, 2020).

Avaliando a composição de metabólitos secundários em espécies do Cerrado, foi observado 38,87 ± 0,51 mg g<sup>-1</sup> MS de flavonoides totais em frutos de *Dimorphandra gardneriana* (Nunes *et al.*, 2018). Em estudo de nutrição de *Dimorphandra mollis*, foi obtido 0,05 – 0,5 mg g<sup>-1</sup> MS de flavonoides totais na parte aérea das mudas (Leite *et al.*, 2012). É importante comparar os resultados do trabalho com os resultados que são obtidos da *Dimorphandra* spp., pois ela é considerada a espécie com maior teor de rutina comercial no mundo. Tendo em vista que é uma leguminosa florestal de manejo extrativista e oneroso, é necessário buscar alternativas de fontes vegetais com a finalidade de extrair rutina e demais flavonoides para atender à demanda industrial. O trigo-mourisco, apesar de ter menor TFT e TR, é uma excelente opção por ser de fácil cultivo e adaptabilidade e por ser cultura anual, facilitando o melhoramento e otimizando a produtividade de rutina em curto espaço de tempo.

Os métodos utilizados, para a detecção e quantificação dos compostos, podem ter contribuído para que o TFT e o TR fossem diferentes dos que constam na literatura. Há sistemas de CLAE e espectrofotometria mais e menos sensíveis que os utilizados neste trabalho. Além disso, o padrão utilizado, para fazer a curva de calibração do TFT, em outros trabalhos, foi a quercetina. Outros fatores que influenciam os flavonoides são as cultivares, época de colheita e fatores abióticos, como teor de água no solo, época de semeadura, temperatura, composição do ar, altitude, precipitação, ritmo circadiano, radiação, disponibilidade de nutrientes, do mesmo modo que os fatores intrínsecos da planta como período fenológico (época de colheita) (Gobbo-Neto; Lopes, 2007; Kiproviski *et al.*, 2015; Siracusa *et al.*, 2017). Quando esses fatores agem em conjunto, a influência é ainda mais expressiva (Brant *et al.*, 2008).

Apesar da MSPA e da PFT da 'IPR 92' serem superiores à 'IPR 91', no período avaliado, a 'IPR 91' chega mais rápido ao ponto máximo de produção. No período avaliado, a AP da 'IPR 91' foi menor que da 'IPR 92', sendo essa mais uma vantagem da 'IPR 91', em relação à 'IPR 92', pois plantas que têm portes mais altos possuem menor AP e porte ereto e uniforme facilita a colheita. O TFT e a PR da 'IPR 92' é maior em relação à 'IPR 91' e a PG e o PMG não se diferiram entre as cultivares. O ciclo precoce também é uma das vantagens do trigo-mourisco para substituir o trigo comum.

O trigo-mourisco tem germinação epigea (Arduini, Masoni e Mariotti, 2015), de rápido crescimento e se adapta melhor em climas úmidos e frios, em solos arenosos, drenados, com cascalho e distróficos (Hore e Rathi, 2002; Siracusa *et al.*, 2017). As médias anuais de temperatura na Itália, onde foi realizado um experimento de fenologia e época de semeadura de trigo-mourisco, é de 20,2 – 9,5°C e a precipitação é de 989 mm anual, com clima mediterrânico de verão quente (Csa), ou seja, temperado úmido, com verões quentes e secos (Arduini, Masoni e Mariotti, 2015). Durante a pesquisa, a temperatura foi entre 12,5 e 25,0° C e a precipitação foi entre 316 – 434 mm (Arduini, Masoni e Mariotti, 2015). O ciclo de cultivares de trigo-mourisco, provenientes do Canadá, cultivadas em Buenos Aires, à

temperatura entre 14° C e 30,15 ° C durou entre 78 e 69 dias (Guglielmini, Forcata e Miralles, 2019), menor que o ciclo da 'IPR 92' e maior que o da 'IPR 91'. Outro estudo revelou que o pH por volta de 5 e a temperatura por volta de 35° C são ideais para o cultivo de *Dimorphandra mollis*, para a maior produção da rutina sintase, que é a enzima responsável por metabolizar a rutina (Lucci e Mazzafera, 2009).

Partindo dos resultados apresentados e das conclusões das literaturas citadas, é possível presumir que a produção de trigo-mourisco em climas tropicais implica resultados satisfatórios. Mesmo nas condições em que foi cultivado no experimento (pH 6,1, temperatura de 23,10 – 24,43° C e solo de textura média, em clima tropical), o trigo-mourisco atingiu a produção de grãos e de flavonoides esperada, compatível com a literatura relacionada à produção em outros países, mostrando que é uma espécie de fácil adaptação também aos climas e solos brasileiros. Além dessas características, o país é quente, semiúmido e seco em muitas regiões e ensolarado. Outra facilidade do cultivo de trigo-mourisco é que a espécie tem pouca infestação de pragas e doenças (Joshi *et al.*, 2019). Entre os desafios, para tornar a cultura de trigo-mourisco mais viável, estão o hábito de crescimento determinado, floração sincronizada, diminuição da altura da planta e do acamamento e facilidade da remoção de cascas dos grãos (Fesenko *et al.*, 2016; Joshi *et al.*, 2019).

#### **4. CONCLUSÕES**

A melhor época para colher trigo-mourisco é aos 86 dias após a emergência, visando à maior produção de rutina, aos 56 dias após a emergência para a 'IPR 91' e 98 dias após a emergência para a 'IPR 92', visando à maior produção de flavonoides totais, 69 dias após a emergência para a 'IPR 91' e 81 dias após a emergência para a 'IPR 92', visando à biomassa, e dos 71 aos 82 dias, após a emergência, visando à produção de grãos. A cultivar 'IPR 91' é mais precoce, tem menor teor de flavonoides totais, produção de rutina, produção de matéria seca da parte aérea e produção de flavonoides totais em comparação à 'IPR 92'.

#### **5. AGRADECIMENTOS**

Ao Instituto de Desenvolvimento Rural IAPAR-EMATER pela concessão das sementes. Ao Programa de Educação Tutorial – Agronomia, ao Núcleo de Estudos em Produção e Tecnologia de Cereais, ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal e ao Laboratório de Plantas Medicinais, todos da UFMG pela colaboração. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior -Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001", da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG e do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

## REFERÊNCIAS

- Abbasi, R. *et al.* Some preliminary studies on phytochemicals and antioxidant potential of *Fagopyrum esculentum* cultivated in chitral, Pakistan. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, v. 25, n. 3, p. 576-579, 2015. Disponível em: <<http://bit.ly/2E39VgL>>. Acesso em: 21 dez. 2017.
- Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Moraes G, Leonardo J, Sparovek G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol. Z.* 22(6), 711-728. <https://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- Arduini I, Masoni A, Mariotti M. 2015. A growth scale for the phasic development of common buckwheat. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 66:3, 215-228. <https://doi.org/10.1080/09064710.2015.1087587>
- Aubert L, KONRÁDOVÁ D, KEBBAS S, BARRIS S, QUINET M. 2020. Comparison of high temperature resistance in two buckwheat species *Fagopyrum esculentum* and *Fagopyrum tataricum*. *Journal of Plant Physiology*, 251, 153222. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2020.153222>.
- Bai, C. Z. *et al.* Rutin, quercetin, and free amino acid analysis in buckwheat (*Fagopyrum*) seeds from different locatio. *Genetics and Molecular Research*, v. 14, n. 4, p. 19040-19048, 2015. Disponível em: <<https://bit.ly/2KpGvQv>>. Acesso em: 31 maio 2019.
- Bisht AS, Bhatt A, Jyoti B, Singh P. 2018. Studies on Morphological and Seed Quality Parameters in Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) Germplasm. *International Journal of Bio-resource and Stress Management*, 9(1), 49-54. <https://doi.org/10.23910/IJBSM/2018.9.1.3C0698>.
- Bisht AS; Bhatt A; Singh P. 2018. Studies on variability, correlation and path coefficient analysis for seed yield in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) germplasm. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, Sp. 5, p. 35-39. Disponível em: <<https://bit.ly/2Im2xor>>. Acesso em: 9 nov. 2020.
- Brant, R. S.; Pinto, J. E. B. P.; Bertolucci, S. K. V.; Albuquerque, C. J. B. Teor do óleo essencial de cidrão [*Aloysiatriphylla* (LHér) Britton] em função da variação sazonal. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, v. 10, n. 2, p. 83-88, 2008. Disponível em: <<http://bit.ly/2CNBIFJ>>. Acesso em: 5 jan. 2018.
- Christa, K.; Soral-Šmietana, M. Buckwheat grai and buckwheat products—nutritional and prophylactic value of their components—a review. *Czech Journal of Food Sciences*, v. 26, n. 3, p. 153-162, 2008. Disponível em: <<http://bit.ly/2E7bj1N>>. Acesso em: 3 jan. 2018.
- Dražić S, Glamočlija Đ, Ristić M, Dolijanović Ž, Dražić M, Pavlović S, ... Jaramaz D. 2016. Effect of environment of the rutin content in leaves of *Fagopyrum esculentum* Moench. *Plant, Soil and Environment*, 62(6), 261-265. <https://doi.org/10.17221/233/2016-PSE>.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2014. Cultivo de trigo: Colheita e pós-colheita. Disponível em: <<https://bit.ly/3nb22MA>>. Acesso em: 11 nov. 2020.
- Fang, Z. *et al.* A buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) DRE-binding tracription factor gene, FeDREB1, enhances freezing and drought tolerance of tragenic Arabidopsis. *Plant molecular biology reporter*, v. 33, n. 5, p. 1510-1525, 2015. Disponível em: <<http://bit.ly/2qpcesB>>. Acesso em: 21 dez. 2017.
- Farooq S, Rehman RU, Pirzadah, TB, Malik B, Dar FA, Tahir I. 2016. Cultivation, agronomic practices, and growth performance of buckwheat. In *Molecular breeding and nutritional aspects of buckwheat*. Academic Press, p. 299-319. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803692-1.00023-7>.
- Fesenko AN, Fesenko NN, Romanova OI, Fesenko IN. 2016. Crop evolution of buckwheat in eastern Europe: micro evolutionary trends in the secondary center of buckwheat genetic diversity. In: Zhou M, Kreft I, Woo S-H, Chrungoo N, Wieslander G (eds). *Molecular breeding and nutritional aspects of buckwheat*. Academic Press, Cambridge, pp 99–108. Disponível em: <<https://bit.ly/3nqeTuD>>. Acesso em: 15 nov. 2020.
- Furlan, A. C. *et al.* Avaliação nutricional do trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum*, Moench) para coelhos em crescimento. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 28, n. 1, 2006. Disponível em: <<http://bit.ly/2IUiFOz>>. Acesso em: 21 dez. 2017.

- Gabr AM, Sytar O, Ghareeb H, Brestic M. 2019. Accumulation of amino acids and flavonoids in hairy root cultures of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum*). *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 25(3), 787-797. <https://doi.org/10.1007/s12298-019-00669-1>.
- Giménez-Bastida, J A; Piskula, M; Zieliński, H. Recent advances in development of gluten-free buckwheat products. *Trends in Food Science & Technology*, v. 44, n. 1, p. 58-65, 2015. Disponível em: <<http://bit.ly/2EPXs9>>. Acesso em: 21 dez. 2017.
- Gobbo-Neto, L.; Lopes, N. P. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. *Química Nova*, v. 30, n. 2, p. 374, 2007. Disponível em: <<http://bit.ly/1J53V7i>>. Acesso em: 5 jan. 2018.
- Gonçalves, F. M. F. *et al.* *Fagopyrum esculentum* Moench: A crop with many purposes in agriculture and human nutrition. *African Journal of Agricultural Research*, v. 11, n. 12, p. 983-989, 2016. Disponível em: <<http://bit.ly/2IRQxN1>>. Acesso em: 21 dez. 2017.
- Görgen, A. V. *et al.* Productivity and forage quality of buckwheat ("*Fagopyrum esculentum*" Moench) and pearl millet ("*Pennisetum glaucum*" (L.) R. BR). *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 17, n. 4, p. 599-607, 2016. Disponível em: <<http://bit.ly/2l0otqh>>. Acesso em: 22 dez. 2017.
- Guglielmini AC, Forcat JI, Miralles DJ. 2019. The critical period for yield determination in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). *European Journal of Agronomy*, 110, 125933. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.125933>.
- Gupta, N. *et al.* Expression of flavonoid biosynthesis genes vis-à-vis rutin content variation in different growth stages of *Fagopyrum* species. *Journal of plant physiology*, v. 168, n. 17, p. 2117-2123, 2011. Disponível em: <<http://bit.ly/2lWnV4D>>. Acesso em: 3 jan. 2018.
- Hore F e Ranbir SR. 2002. Collection, cultivation and characterization of buckwheat in Northeastern Region of India. *Fagopyrum*, 19, 11-15. Disponível em: <<https://bit.ly/3noPod6>>. Acesso em: 15 nov. 2020.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2019. Montes Claros: Território e ambiente [dataset]. Disponível em: <<https://bit.ly/3oBYyVa>>. Acesso em: 12 out. 2019.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. 2019. Banco de dados meteorológicos para eino e pesquisa [dataset]. Disponível em: <<http://bit.ly/2gTcwCu>>. Acesso em: 07 dez. 2019.
- Japhet, Wisdom *et al.* Evidence of phenotypic plasticity in the respoe of *Fagopyrum esculentum* to population deity and sowing date. *Journal of Plant Biology*, v. 52, n. 4, p. 303-311, 2009. Disponível em: <<https://bit.ly/2Xd51uK>>. Acesso em: 13 jun. 2019.
- Jiang, P. *et al.* Rutin and flavonoid contents in three buckwheat species *Fagopyrum esculentum*, *F. tataricum*, and *F. homotropicum* and their protective effects agait lipid peroxidation. *Food Research International*, v. 40, n. 3, p. 356-364, 2007. Disponível em: <<http://bit.ly/2ApjWT6>>. Acesso em: 21 dez. 2017.
- Jiang, Y. *et al.* Performance of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* M.) supplied with selenite or selenate for selenium biofortification in northeastern China. *The Crop Journal*, v. 6, n. 4, p. 386-393, 2018. Disponível em: <<https://bit.ly/2KOr5p5>>. Acesso em: 13 jun. 2019.
- Joshi DC, Chaudhari GV, Sood S, Kant L, Pattanayak A, Zhang K, ... Zhou M. 2019. Revisiting the versatile buckwheat: reinvigorating genetic gai through integrated breeding and genomics approach. *Planta*, 250(3), 783-801. <https://doi.org/10.1007/s00425-018-03080-4>.
- Kalinová, J. P.; Vrchotová; N.; Tříska, J. Contribution to the study of rutin stability in the achenes of Tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum*). *Food Chemistry*, v. 258, p. 314-320, 2018. Disponível em: <<https://bit.ly/2MlcyUg>>. Acesso em: 11 maio 2019.

- Kiproviski, B. *et al.* Comparison of phenolic profiles and antioxidant properties of European *Fagopyrum esculentum* cultivars. *Food chemistry*, v. 185, p. 41-47, 2015. Disponível em: <<http://bit.ly/2CyKHK5>>. Acesso em: 21 dez. 2017.
- Koyama, Masahiro; NAKAMURA, Chiho; NAKAMURA, Kozo. Changes in phenols contents from buckwheat sprouts during growth stage. *Journal of food science and technology*, v. 50, n. 1, p. 86-93, 2013. Disponível em: <<http://bit.ly/2Coaad2>>. Acesso em: 21 dez. 2017.
- Ladan, M. K. *et al.* FT-IR-based method for rutin, quercetin and quercitrin quantification in different buckwheat (*Fagopyrum*) species. *Scientific Reports*, v. 7, n. 1, p. 7226, 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/2WyLlVv>>. Acesso em: 31 maio 2019.
- Leite GLD, Silva FWS, Guanabe REM, Fernandes LA, Figueiredo LS, Silva LF. 2012. NPK and flavonoids affecting iect populatio in *Dimorphandra mollis* seedlings. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 34(1), 17-22. <http://dx.doi.org/10.1590/S1807-86212012000100003>.
- Lucci, N., & Mazzafera, P. 2009. Rutin synthase in fava d'anta: purification and influence of stressors. *Canadian journal of plant science*, 89(5), 895-902. DOI: <https://doi.org/10.4141/CJPS09001>.
- MDIC - Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. 2020. Exportação e Importação Geral – Rutsosídio (rutina) e seus derivados [S.l.]. Brasil. Disponível em: <<https://bit.ly/3lB3d7U>>. Acesso em: 15 nov. 2020.
- Nagatomo, Yoshihisa *et al.* Purification, molecular cloning and functional characterization of flavonoid C-glucosyltransferases from *Fagopyrum esculentum* M.(buckwheat) cotyledon. *The Plant Journal*, v. 80, n. 3, p. 437-448, 2014. Disponível em: <<http://bit.ly/2CBF51r>>. Acesso em: 21 dez. 2017.
- Nunes AR, Rodrigues ALM, de Queiróz DB, Vieira IGP, Neto JFC, Junior JTC, ... Coutinho HDM. 2018. Photoprotective potential of medicinal plants from Cerrado biome (Brazil) in relation to phenolic content and antioxidant activity. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 189, 119-123. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2018.10.013>.
- Panche, A. N.; DIWAN, A. D.; CHANDRA, S. R. Flavonoids: an overview. *Journal of Nutritional Science*, v. 5, 2016. Disponível em: <<https://bit.ly/2JL4R7u>>. Acesso em: 31 maio 2019.
- Pękal, A.; Pyrzyka, K. Evaluation of aluminium complexation reaction for flavonoid content assay. *Food Analytical Methods*, v. 7, n. 9, p. 1776-1782, 2014. Disponível em: <<https://bit.ly/2VObk3a>>. Acesso em: 27 maio 2019.
- Podsiadło C, Skorupa B. 2017. Impact of magnetized water on germination energy of seeds and weight of garden savory (*Satureja horteis* L.), buckwheat (*Fagopyrum esculentum* L.), yellow lupine (*Lupinus luteus* L.) and winter rape (*Brassica napus* L.) seedlings. *Infraestrutura i Ekologia Terenów Wiejskich*, p. 1241–1250. <http://dx.medra.org/10.14597/infraeco.2017.3.2.095>.
- R Core Team. 2014. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 21 nov. 2020.
- Trigo. *In*: Relva Verde. [Loja virtual]. Cereais, Grãos e Sementes. [2020]. Disponível em: <<http://bit.ly/2EhsZrP>>. Acesso em: 6 jan. 2020.
- Sedej I, Sakač M, Mandić A, Mišan A, Tumbas V, Čanadanović-Brunet J. 2012. Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) grain and fractio: antioxidant compounds and activities. *Journal of food science*, 77(9), C954-C959. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02867.x>.
- Siracusa L, Gresta F, Sperlinga E, Ruberto G. 2017. Effect of sowing time and soil water content on grain yield and phenolic profile of four buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench.) varieties in a Mediterranean environment. *Journal of food composition and Analysis*, 62, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.04.005>.
- Sudré CP, Rodrigues R, Gonçalves LSA, Marti ER, Pereira MG, Santos MH. 2011. Genetic divergence among *Dimorphandra* spp. accessio using RAPD markers. *Ciência Rural*, vol. 41, n. 4, p. 608- 613. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782011005000024>



Suzuki T, Watanabe M, Iki M, Aoyagi Y, Kim SJ, Mukasa Y, ... Matsuura-Endo C. Time- Course Study and Effects of Drying Method on Concentrations of  $\gamma$ -Aminobutyric Acid, Flavonoids, Anthocyanin, and 2''-Hydroxynicotianamine in Leaves of Buckwheats. *Journal of agricultural and food chemistry*, v. 57, n. 1, p. 259-264, 2009. <https://doi.org/10.1021/jf802731d>.

Suzuki T, Honda Y, Mukasa Y. Effects of UV-B radiation, cold and desiccation stress on rutin concentration and rutin glucosidase activity in tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum*) leaves. *Plant Science*, v. 168, n. 5, p. 1303-1307, 2005. Disponível em: <<https://bit.ly/2JT07Ng>>. Acesso em: 31 maio 2019.

Tsurunaga, Y., Takahashi, T., Katsube, T., Kudo, A., Kuramitsu, O., Ishiwata, M., & Matsumoto, S. (2013). Effects of UV-B irradiation on the levels of anthocyanin, rutin and radical scavenging activity of buckwheat sprouts. *Food chemistry*, 141(1), 552-556. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.03.032>.

Xiaohua, L. I. *et al.* Differential expression of flavonoid biosynthesis genes and accumulation of phenolic compounds in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum*). *Journal of agricultural and food chemistry*, v. 58, n. 23, p. 12176-12181, 2010. Disponível em: <<http://bit.ly/2E527Ly>>. Acesso em: 3 jan. 2018.

Yang, J.; Guo, J.; Yuan, J. In vitro antioxidant properties of rutin. *LWT-Food Science and Technology*, v. 41, n. 6, p. 1060-1066, 2008. Disponível em: <<http://bit.ly/2E7gMpo>>. Acesso em: 3 jan. 2018.

Yao, Y. *et al.* Intraspecific responses of *Fagopyrum esculentum* to enhanced ultraviolet B radiation. *Plant growth regulation*, v. 56, n. 3, p. 297, 2008. Disponível em: <<https://bit.ly/31ruyjf>>. Acesso em: 13 jun. 2019.

Yasuda; Nakagawa. Purification and characterization of rutin-degrading enzymes in tartary buckwheat seeds. *Phytochemistry*, v. 37, n. 1, p. 133-136, 1994.

Zhai, K. -F *et al.* Synchronised determination of chlorogenic acid and five flavonoids in mulberry leaves using HPLC with photodiode array detection. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, v. 10, n. 2, p. 175-182, 2018.

Zielińska D, Turemko, M Kwiatkowski J, Zieliński H. Evaluation of flavonoid contents and antioxidant capacity of the aerial parts of common and tartary buckwheat plants. *Molecules*, v. 17, n. 8, p. 9668-9682, 2012. <https://doi.org/10.3390/molecules17089668>.

Zoratti, L., Karppinen, K., Luengo Escobar, A., Häggman, H., & Jaakola, L. (2014). Light-controlled flavonoid biosynthesis in fruits. *Frontiers in plant science*, 5, 534. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00534>.

## ANEXO A – RESUMO DOS QUADRADOS MÉDIOS

Tabela 1 – Resumo dos quadrados médios no estudo da influência da época de colheita em cultivares de *Fagopyrum esculentum* (trigo-mourisco) em Minas Gerais, Brasil

Fatores de Variação	Época de colheita	Cultivares	Época de colheita x Cultivares	Resíduo	Coefficientes de Variação (%)
Altura da planta	5627,90*	4894,80*	948,6*	247,10	15,9
Diâmetro do caule	2,81*	2,29*	0,89	0,41	14,21
Nº de ramos	7,88*	1,56	1,36	1,29	22,54
Nº de folhas	1207,85*	123,77	110,8	68,44	30,75
Matéria fresca da parte aérea	260,03*	553,73	54,08	15,10	20,73
Matéria seca da parte aérea	11,19*	12,43	2,17	0,61	21,77
Produção de Grãos	0,14*	0,01	0,01	0,01	125,55
Peso de 1000 grãos	368,19*	6,50	35,65	45,17	79,03
Teor de flavonoides	31,39	175,65*	12,12	14,16	35,28
Teor de rutina	83,77*	11,01	7,41	10,8	31,69
Produção de flavonoides	1249,60*	6203,90*	704,09*	154,20	32,22
Produção de rutina	2322,34*	1158,17*	440,76	257,77	42,51

\*Significativo na análise de variância pelo teste F a 5% de significância.

## 4.2 Artigo 2 – Influência da saturação por bases na produção de grãos e de flavonoides de trigo-mourisco

Este artigo foi elaborado conforme normas da Revista Semina: Ciências Agrárias.

### **Influence of base saturation on buckwheat grain and flavonoid production**

### **Influência da saturação por bases na produção de grãos e de flavonoides de trigo-mourisco**

- Saturação por bases não influencia na produção de flavonoides.
- A maior produção de matéria seca é próxima aos 62% de saturação por bases.
- A produção de grãos é influenciada pela saturação por bases.
- A cultivar de maior produção é a ‘IPR 92’.
- Trigo-mourisco é uma espécie com grande potencial industrial de flavonoides.

### **RESUMO**

*Fagopyrum esculentum* é muito nutritivo por conter proteínas com alto valor biológico e alto teor de fibras, a sua propriedade mais relevante é a atividade antioxidante, pela presença de flavonoides. É um pseudocereal importante na agricultura, produção animal e alimentação humana. O objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de grãos e de flavonoides, em cultivares de *Fagopyrum esculentum*, em função da saturação por bases. O experimento foi realizado em casa de vegetação, em vasos de 5 dm<sup>3</sup>, em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os tratamentos foram as cultivares ‘IPR 91’ e ‘IPR 92’ e cinco saturações por bases (9, 31, 53, 75 e 97 %), em esquema fatorial (2 x 5). Foram avaliados atributos agrônômicos e teor e produção de flavonoides totais e de rutina. Posteriormente os dados foram submetidos a análises estatísticas. Para a produção de flavonoides, a saturação por bases não influencia nos resultados. Porém a saturação por bases influencia nos resultados de biomassa, alcançando a maior produção (6,71 g), aos 62% e de produção de grãos, com a maior produção da ‘IPR 91’ (0,24 g planta<sup>-1</sup>), aos 97% e da ‘IPR 92’ (0,28 g planta<sup>-1</sup>), aos 9%. Esse é o primeiro relato científico da influência da saturação por bases na cultura.

Palavras-Chave: Atividade Antioxidante. Biomassa. *Fagopyrum esculentum*. Pseudocereal. Rutina.

## 1 INTRODUÇÃO

2

3 Pertencente à Polygonaceae (Koyama, Nakamura, & Nakamura, 2013), o *Fagopyrum esculentum*  
4 Moench é conhecido como trigo-mourisco, um pseudocereal (Nagatomo *et al.*, 2014, Fang *et al.*, 2015,  
5 Kiproviski *et al.*, 2015). Ele é cultivado, em todo o mundo, em países como: Brasil, Japão, Nepal, Itália,  
6 Polônia, Canadá, Estados Unidos, China (Fang *et al.*, 2015, Barcaccia *et al.*, 2016, Görgen *et al.*, 2016).  
7 O Japão e alguns países europeus têm aumentado o cultivo do trigo-mourisco por suas múltiplas  
8 características potenciais, como alimento nutracêutico, dietético e medicinal na alimentação humana  
9 (Görgen, 2016).

10 A espécie contém alto teor de rutina e flavonoides totais, responsáveis pela ação antioxidante da  
11 planta (Tsurunaga *et al.*, 2013, Abbasi, Janjua, Rehman, William & Khan, 2015). Por conter grande  
12 quantidade de rutina na composição, o trigo-mourisco é considerado um importante alimento fornecedor  
13 desse composto (Gupta, Sharma, Rana, & Chauhan, 2011). Os grãos de trigo-mourisco e derivados são  
14 isentos de glúten (Giménez-Bastida, Piskula, & Zielik, 2015). Além disso, há maior teor de substâncias  
15 antioxidantes, incluindo flavonoides, em grãos de trigo-mourisco, em relação aos grãos de *Triticum spp.*  
16 (Sedej *et al.*, 2012). O trigo-mourisco é a única espécie de grãos com rutina (Joshi *et al.*, 2019).

17 Na agricultura, pode ser utilizado na atração de inimigos naturais de pragas e como planta  
18 sucessora, além de ser forrageira funcional (Gonçalves *et al.*, 2016). Agricultores do Distrito Federal  
19 relatam a utilização do trigo-mourisco, como planta sucessora de culturas de grão, como soja, milho e  
20 sorgo, como adubo verde e por possuir capacidade de desenvolver em solos ácidos, pobres e com baixa  
21 umidade, além de ser ideal para o plantio na safrinha e em rotação de culturas em áreas de cultivos  
22 extensivos (Görgen, 2016).

23 O enriquecimento da farinha de trigo-mourisco com a casca dos grãos aumenta o aproveitamento  
24 da planta e a qualidade antioxidante do produto (Sedej *et al.*, 2012). Os produtos obtidos do trigo  
25 mourisco, por ser um alimento funcional, têm preços mais elevados que produtos do trigo integral e trigo  
26 comum, que são os produtos que podem substituí-lo. Os grãos de trigo-mourisco e derivados têm maior  
27 preço que grãos e derivados de trigo comum e integral (Trigo, [2020]).

28 Estudos sobre desenvolvimento de plantas, produção de grãos, matéria seca e metabólitos  
29 secundários são de extrema importância, principalmente quando as espécies têm grande potencial  
30 nutritivo e medicinal, em ascensão nacional e mundial, como é o caso de trigo-mourisco. Compreender  
31 como a planta se comporta, em determinados ambientes, solo, umidade e sob estresse é essencial ao  
32 melhoramento da espécie, para difundir o cultivo e aumentar a produção. Na literatura não há indicação  
33 da saturação por bases ideal, para a produção de trigo-mourisco e não existem relatos nesse sentido, em  
34 especial, visando à produção de grãos e de flavonoides, uma vez que a espécie é utilizada para ambas as  
35 finalidades.

36 Estudos que buscam avaliar os teores de flavonoides em plantas devem ser realizados, para  
37 compreender a resposta desses compostos, quando são submetidos a diferentes processos de cultivo. A

1 disponibilidade de nutrientes é um dos fatores que interfere na composição química dos metabólitos  
2 secundários, principalmente quando as plantas são de ciclo anual, além de interferir no desenvolvimento  
3 das plantas durante as fases fenológicas. A saturação por bases do solo é um dos fatores essenciais, para  
4 que os nutrientes estejam disponíveis às plantas e pode influenciar diretamente na produção de  
5 flavonoides, por ser um tipo de estresse a que a planta é submetida. Fatores abióticos como esse  
6 funcionam como estímulo de defesa, que induz a planta a produzir metabólitos secundários, incluindo  
7 flavonoides e combater o estresse oxidativo para a sobrevivência (Liu *et al.*, 2013). Por outro lado, o fato  
8 de a espécie ser tolerante ao alumínio, a saturação por bases pode não interferir na produção de  
9 flavonoides e de aspectos agrônômicos e até se desenvolver melhor em solos ácidos (Xu *et al.*, 2017).

10 Definir a saturação por bases, para o cultivo da espécie, é importante, para produzir o trigo-  
11 mourisco em larga escala, atender ao mercado industrial e, para o país ter suficiência de produção,  
12 colaborando para o melhoramento da espécie e para que produtores implantem a cultura com maior  
13 segurança e assertividade, a fim de aumentar a renda, aumentar a produtividade da propriedade ou usar a  
14 cultura como fonte principal de renda. Portanto o objetivo deste trabalho foi avaliar a produção da planta  
15 e dos flavonoides de cultivares de *Fagopyrum esculentum* em função da saturação por bases em solo de  
16 Cerrado.

## 18 MATERIAL E MÉTODOS

### 20 *Local do experimento*

22 O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Instituto de Ciências Agrárias (ICA) da  
23 Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), em Montes Claros, Minas Gerais, Brasil, nas  
24 coordenadas 16°40'58,5"S e 43°50'25,6"W, com altitude de 645,87 m. A cidade tem temperatura média  
25 anual de 22,7° C, precipitação de 1029 mm (Instituto Nacional de Meteorologia [INMET], 2019),  
26 pertence aos biomas Cerrado e Caatinga (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], 2019) e é  
27 classificada com clima tropical (Aw) (Alvares *et al.*, 2013), quente e semiúmido, com estações bem  
28 determinadas, tendo período de seca prolongado e período de chuva curto. Durante o experimento, a  
29 média da umidade relativa mínima foi de 65,37% e a máxima de 71,55% e a média da temperatura  
30 mínima foi de 23,10°C e a máxima de 24,43°C (INMET, 2019).

### 32 *Procedimento experimental e avaliações*

34 A semeadura ocorreu no dia 15 de janeiro de 2018 e a colheita em 04 de abril de 2018. Foi  
35 realizada, em casa de vegetação, em vasos de 5 dm<sup>3</sup>, preenchidos com solo distrófico (pH em água 3,8; P  
36 = 1,99 mg dm<sup>-3</sup>; Ca = 0,86 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg = 0,53 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; K = 0,08 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> dm<sup>-3</sup>; Al = 3,98 cmol<sub>c</sub>  
37 dm<sup>-3</sup>; H + Al = 15 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; soma de bases = 1,47 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; t = 5,45 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; m = 73%; T = 16,47

1  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ;  $V = 9,00 \%$ ; matéria orgânica =  $11,7 \text{ g kg}^{-1}$ ; areia =  $380 \text{ g kg}^{-1}$ ; silte =  $420 \text{ g kg}^{-1}$  e argila =  
2  $500 \text{ g kg}^{-1}$  de textura argilosa) e irrigados com água destilada. Os tratamentos foram compostos por duas  
3 cultivares de trigo-mourisco, registradas no Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento como  
4 IPR 91 BAILI e IPR 92 ALTAR, cedidas pelo Instituto de Desenvolvimento Rural IAPAR-EMATER e  
5 cinco níveis de saturação por bases (9, 31, 53, 75 e 97 %), em esquema fatorial  $2 \times 5$ , organizados em  
6 delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, totalizando 40 parcelas, com duas plantas  
7 por parcela. Foram semeadas cinco sementes e, após a emergência das plantas, foram deixadas apenas  
8 duas plantas por parcela. Após o enchimento dos vasos, foi adicionado o calcário dolomítico, que reagiu  
9 por 30 dias. Posteriormente, foi realizada a adubação com dose equivalente a  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de adubo NPK  
10 04-30-10, adaptado de Görge *et al.* (2016).

11 Na colheita, foram avaliados o diâmetro do caule, a altura, o número de ramos e de folhas da  
12 planta, a produção de grãos e o peso de 1000 grãos maduros a 13 % de umidade, a umidade dos grãos  
13 maduros, a matéria fresca da parte aérea, o comprimento, o diâmetro e a matéria fresca e seca da raiz. Em  
14 seguida, as amostras (parte aérea inteira) foram pesadas em balança com precisão de 0,0001 g e levadas à  
15 estufa de circulação forçada ( $60^\circ \text{ C}$ ) até atingir peso constante para a determinação da matéria seca.  
16 Posteriormente, as amostras foram moídas e armazenadas na geladeira ( $5^\circ \text{ C}$ ) até as análises de teor e  
17 produção de flavonoides totais e de rutina.

18

#### 19 *Preparação dos extratos para a determinação do teor de flavonoides totais e rutina*

20

21 O extrato foi preparado com metanol (10 mL, 80% v/v em água) e amostra de trigo previamente  
22 pulverizada em moinho (2 g). A mistura foi mantida em agitação por 6 h, no agitador orbital, em  
23 temperatura ambiente e no escuro. Posteriormente, o material foi centrifugado a 4000 rpm por 10 min. O  
24 sobrenadante foi retirado, filtrado, em papel filtro (11 cm e  $4\text{-}12\mu\text{M}$ ) e armazenado na geladeira ( $5^\circ \text{ C}$ ).

25

#### 26 *Determinação do teor e produção de flavonoides totais*

27

28 A metodologia foi adaptada de Pękal e Pyrzyka (2014). A amostra foi preparada, adicionando  
29 solução aquosa de  $\text{AlCl}_3$  (5 mL 1% v/v em água), água destilada (7 mL) extrato metanólico (1 mL). A  
30 mistura foi agitada em vórtex por 20 segundos, deixada em repouso por 10 min, no escuro sob  
31 temperatura ambiente. A leitura foi realizada no espectrofotômetro ( $\lambda = 430 \text{ nm}$ ), sendo o branco a água  
32 destilada.

33 O teor de flavonoides foi determinado em mg de rutina por g de matéria seca da amostra ( $\text{mg g}^{-1}$   
34 MS), a partir da equação obtida pela leitura do padrão de rutina:  $y = 29,62x + 0,05$  ( $r^2 = 0,995$ ), sendo  
35 “y” a absorbância e “x” a concentração de rutina ( $\text{mg mL}^{-1}$ ). E a produção de flavonoides por planta foi  
36 estimada, a partir da equação:  $y$  ( $\text{mg planta}^{-1}$ ) = teor de flavonoides ( $\text{mg g}^{-1}$  MS) x matéria seca (g), sendo  
37 “y” a produção de flavonoides por planta.

## 1 *Determinação do teor e produção de rutina por CLAE-DAD*

2  
3 O teor de rutina foi determinado a partir da adaptação de Zhai *et al.* (2018). Os extratos  
4 metanólicos foram diluídos, para a concentração de 1 mg de matéria seca por mL de metanol, filtrados em  
5 membrana de TEFLON, (0,22 µm), estéril e hidrofóbica. Posteriormente, foram injetados no sistema de  
6 cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) Shimadzu Technologies, com detector de compostos de  
7 arranjo de diodos (DAD), em coluna VP-ODS C18 (250 x 4,6 mm d.i, 5 µm). Foram utilizadas duas fases  
8 móveis: acetonitrila (A) e água acidificada com ácido fosfórico a 0,5 % (B). A fase móvel inicial foi de 80  
9 % de B, em gradiente linear, com 70 % de B em 10 min; aos 25 min, retomou à composição inicial até os  
10 35 min, quando as corridas foram encerradas. O volume caudal foi de 0,9 mL min<sup>-1</sup>, com temperatura da  
11 coluna de 30° C e volume de injeção da amostra de 1 µL. As corridas foram realizadas entre 190 e 450  
12 nm. Os picos dos cromatogramas foram integrados no comprimento de onda de 350 nm.

13 O teor foi medido em mg de rutina por g de matéria seca da amostra (mg g<sup>-1</sup> MS), baseado na  
14 equação obtida pela leitura do padrão de rutina:  $y = 20000000x - 793,71$  ( $r^2 = 0,998$ ), sendo “y” a  
15 absorbância e “x” a concentração de rutina (mg mL<sup>-1</sup>). E a produção de rutina foi estimada, a partir da  
16 equação:  $y$  (mg planta<sup>-1</sup>) = teor de rutina (mg g<sup>-1</sup> MS) x matéria seca (g), sendo “y” a produção de rutina  
17 por planta.

18

## 19 *Análises estatísticas*

20

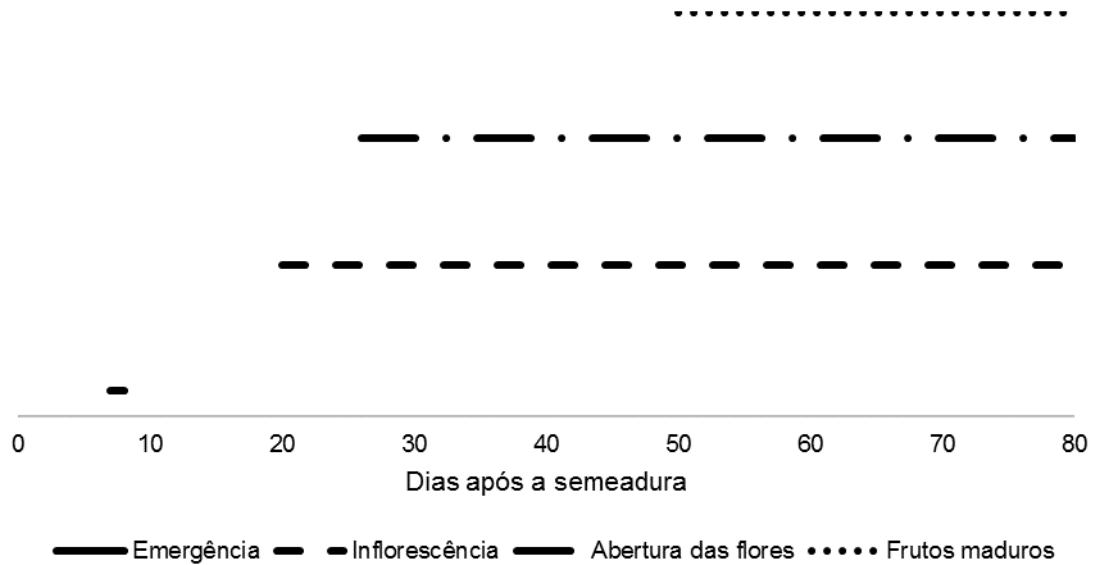
21 Foi realizada análise estatística, usando o modelo de esquema fatorial simples, considerando a  
22 análise de variância a 5% de significância pelo teste F e, quando significativo, a análise de regressão em  
23 função da saturação por bases. Foram ajustadas regressões lineares e quadráticas. Para a seleção do  
24 modelo, foram consideradas as significâncias dos coeficientes de regressão a 5% e 1% de significância  
25 pelo teste t para as épocas, utilizando o pacote ExpDes.pt no software R-3.2.2 (2014).

26

## 27 **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

28

29 A emergência das plantas ocorreu entre sete e oito dias, após a semeadura (DAS), entre os dias 22  
30 e 23 de janeiro de 2018. A inflorescência foi observada aos 20 DAS, entre os dias 04 e 10 de fevereiro de  
31 2018, as flores começaram a abrir aos 26 DAS, entre os dias 10 e 16 de fevereiro de 2018 e o surgimento  
32 de frutos maduros iniciou aos 51 DAS, entre os dias 7 e 16 de março de 2018 (Figura 1).



**Figura 1.** Duração das fenofases das cultivares ‘IPR 91’ e ‘IPR 92’ de *Fagopyrum esculentum*, cultivadas em Montes Claros, Minas Gerais, Brasil

O número de ramos (NR) e de folhas (NF) por planta ( $4,59 \pm 0,75$  e  $24,80 \pm 8,48$ , respectivamente), o comprimento da raiz (CR) ( $21,11 \pm 5,89$  cm), o peso de mil grãos (PMG) ( $28,87 \pm 36,27$  g), o teor de flavonoides totais (TFT) e de rutina (TR) ( $11,59 \pm 3,29$  e  $11,67 \pm 4,02$  mg g<sup>-1</sup> de MS, respectivamente) e a produção de flavonoides totais (PFT) e de rutina (PR) por planta ( $39,08 \pm 16,82$  e  $38,76 \pm 16,52$  mg, respectivamente) não apresentaram diferença significativa em função da saturação por bases (Anexo 1a).

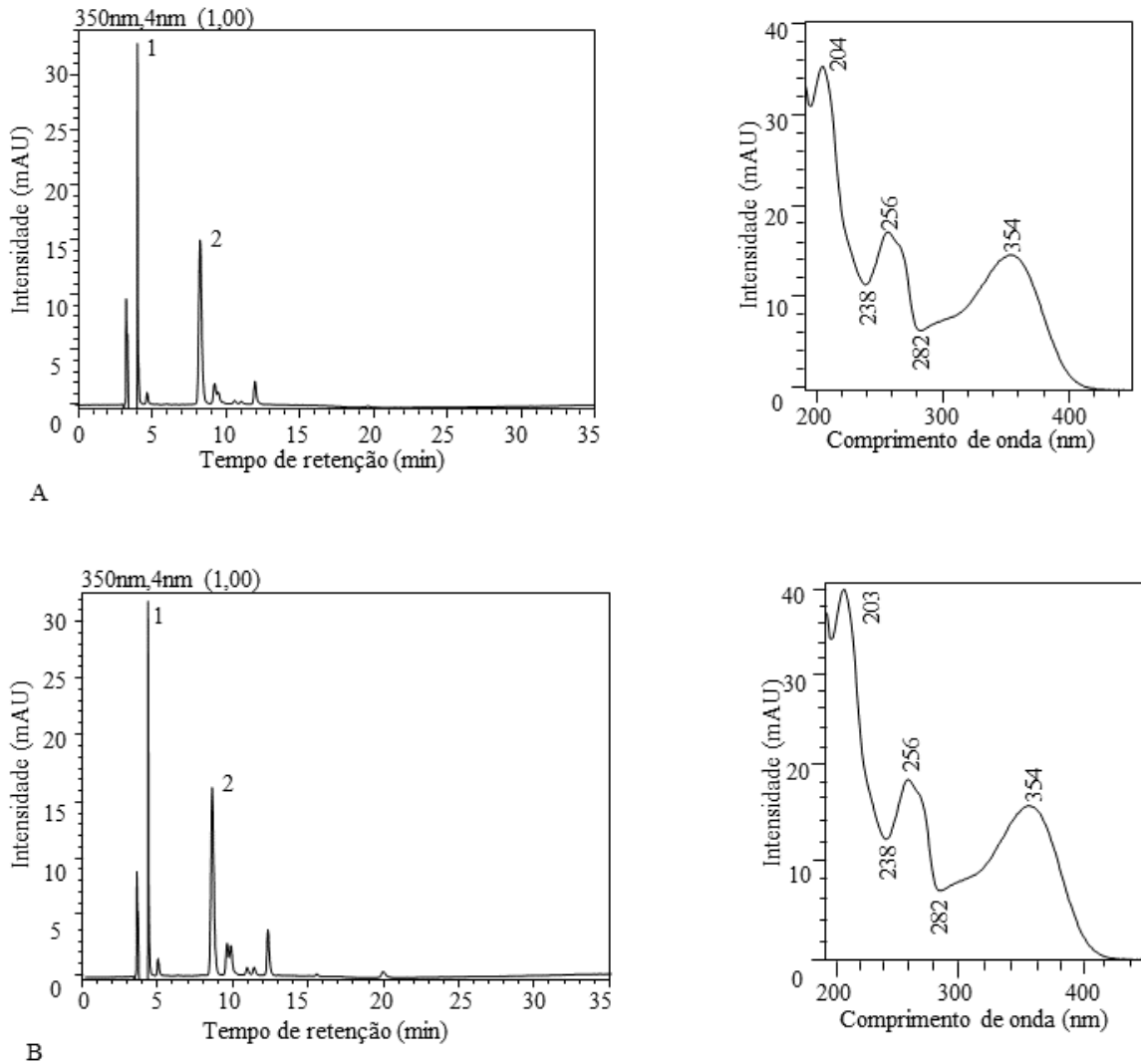
O NR (3,25 – 4,14) de trigo-mourisco, cultivado na China (Fang *et al.*, 2018), foi menor que no presente estudo. O NF (0 – 140), observado por Aubert, Konrádová, Kebbas, Barris e Quinet (2020), ao estudarem a resposta de trigo-mourisco, cultivado em Amsterdam, sob influência da temperatura, foi mais amplo que o encontrado neste trabalho. As contagens de folhas no trabalho desenvolvido por Aubert *et al.* (2020) foram realizadas a cada 10 dias e somadas no final do ciclo, por esse motivo, a média pode ter chegado a valores mais elevados e amplos. O NF das plantas do atual trabalho foi maior que o encontrado em linhagens de trigo-mourisco (23,93), cultivado em Uttarakhand, Índia (Bisht, Bhatt, & Singh, 2018). Os valores de NF encontrados por (Bisht, Bhatt, Jyoti, & Singh, 2018) foram entre 20 e 30, corroborando com os valores (NF = 18 a 28) do presente estudo.

Entre os flavonoides detectados pelos pesquisadores, na raiz, foram observados 9,29 mg g<sup>-1</sup> MS de rutina e, na parte aérea, entre 2,61 - 8,63 mg g<sup>-1</sup> MS (Gabr, Sytar, Ghareeb, & Brestic, 2019), valores inferiores aos deste trabalho. Em grãos de cultivares europeias de trigo-mourisco, foi detectado 0,5 – 4,5 mg g<sup>-1</sup> MS de flavonoides totais e 0,03 – 1,51 mg g<sup>-1</sup> MS de rutina (Kiproviski *et al.*, 2015), ambos mais baixos que os valores do presente estudo. Seguem os perfis químicos das cultivares ‘IPR 91’ e ‘IPR 92’, com os respectivos espectros de rutina na região ultravioleta (Figura 2). O estudo de flavonoides totais e



1 de rutina, em função da saturação por bases, é justificado porque esses compostos são antioxidantes e  
 2 atuam na defesa da planta, quando ela é submetida ao estresse (Vicente e Boscaiu, 2018).

3



4

B

5 **Figura 2.** Cromatogramas obtidos por cromatografia líquida de alta eficiência com arranjo de diodos,  $\lambda =$   
 6 350 nm, das cultivares 'IPR 91' (A) e 'IPR 92' (B) de *Fagopyrum esculentum* (Moench),  
 7 cultivadas em casa de vegetação em Minas Gerais, Brasil e os respectivos espectros de rutina na  
 8 região ultravioleta

9

10 Pico 1: solvente metanol e pico 2: rutina.

11

12 O TR corrobora com o trabalho de Bai *et al.* (2015) (0 - 13 mg g<sup>-1</sup> MS), que estudaram sementes  
 13 de 14 cultivares de trigo-mourisco e trigo-mourisco-tartárico do México, da Alemanha, da China, do  
 14 Butão e da República Tcheca. Outro estudo com folhas e flores de trigo-mourisco, provenientes da  
 15 Eslovênia, para validar um método de quantificação, utilizando a espectroscopia no infravermelho médio  
 16 por transformada de Fourier (FT-IR), o TR alcançou 112 mg g<sup>-1</sup> MS (Ladan, Straus, Benković, & Kreft,  
 17 2017), um valor extraordinário para a espécie. Por outro lado, o TR do presente trabalho foi maior que no

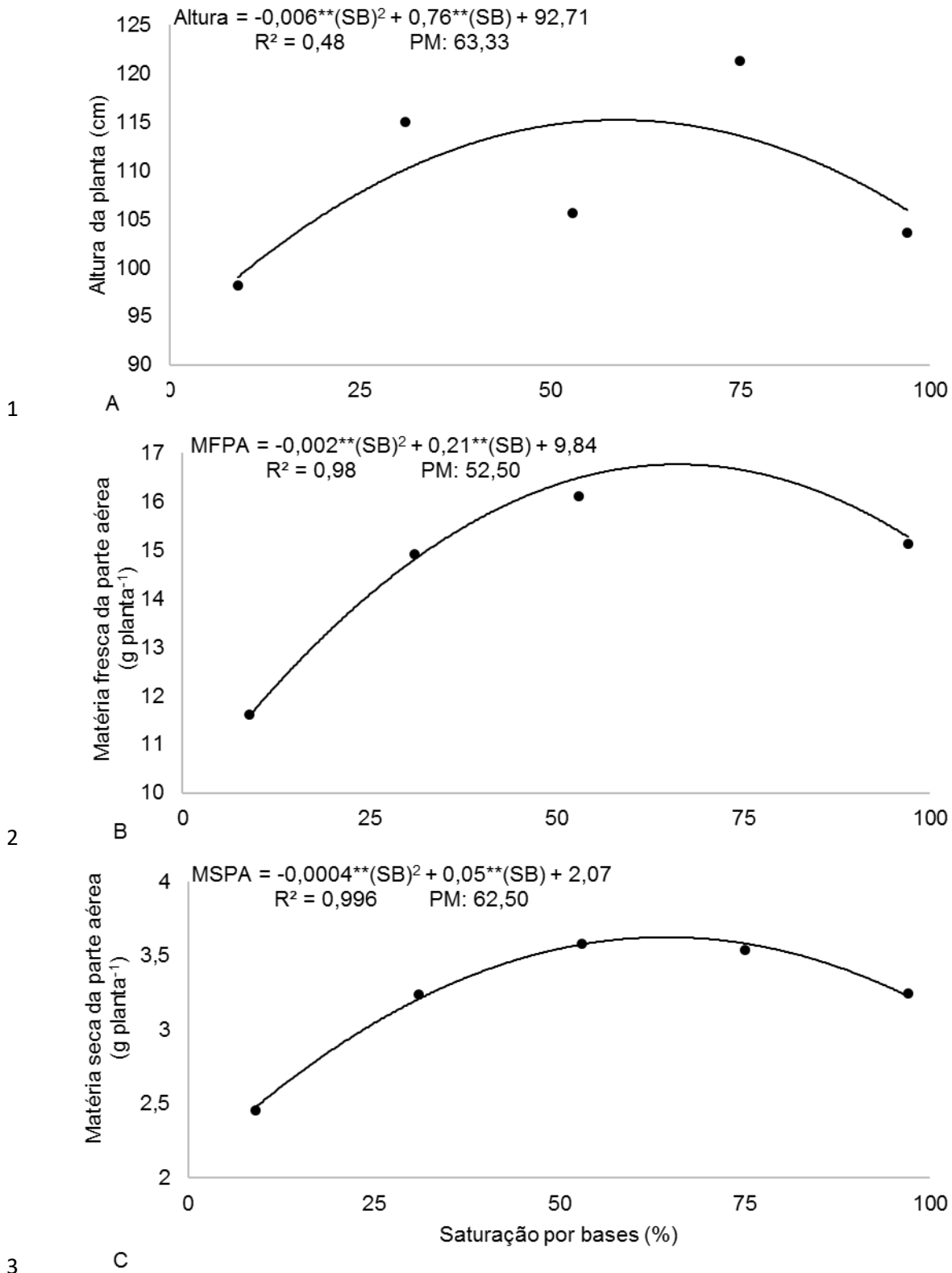
1 estudo de sementes de *Fagopyrum tataricum* ( $0 - 6 \text{ mg g}^{-1} \text{ MS}$ ), ao avaliar compostos a partir de novas  
2 metodologia de extração (Kalinová, Vrchotová, & Triska, 2018).

3 As cultivares estudadas no atual trabalho foram diferentes das estudadas na literatura, o que  
4 contribui para a variação dos resultados, bem como aos padrões para a curva de calibração utilizados em  
5 cada análise. No presente trabalho, foi usado o padrão rutina, em outros, o padrão quercetina. O TFT e a  
6 PF também variam de acordo ao órgão da planta avaliado (Xiaohua *et al.*, 2010). No atual trabalho, a  
7 parte aérea inteira foi objeto de estudo. Os fatores bióticos têm forte influência na produção de  
8 flavonoides (Siracusa *et al.*, 2017) e, por isso, cultivos realizados em diferentes localidades podem gerar  
9 resultados distintos.

10 A variação nos resultados pode ser também explicada pelos sistemas de CLAE e  
11 espectrofotometria que não são todos iguais, alguns são mais sensíveis que outros. Além disso, o padrão  
12 utilizado, para fazer a curva de calibração do TFT do presente trabalho, foi a rutina, em alguns dos  
13 trabalhos citados, foi a quercetina, podendo interferir nos resultados. A quantidade de flavonoides varia  
14 dependendo dos órgãos da planta analisados (Xiaohua *et al.*, 2010). No presente trabalho, o objeto de  
15 estudo foi a parte aérea completa.

16 O ambiente de produção também interfere na quantidade e qualidade de metabólitos secundários,  
17 em razão dos fatores abióticos, como radiação, disponibilidade de água e nutrientes, tipo de solo, umidade  
18 do ar e altitude (Gobbo-Neto; Lopes, 2007; Siracusa *et al.*, 2017). Como as plantas foram cultivadas em  
19 locais distintos, as condições ambientais e meteorológicas não foram as mesmas, o que é suficiente para  
20 os resultados apresentarem disparidades. A saturação por bases não influenciou no acúmulo da rutina e  
21 dos flavonoides totais e pouco influenciou nos aspectos agrônômicos, o que pode ser explicado pela  
22 tolerância ao alumínio que a espécie tem (Horbowicz *et al.*, 2011, Xu *et al.*, 2017).

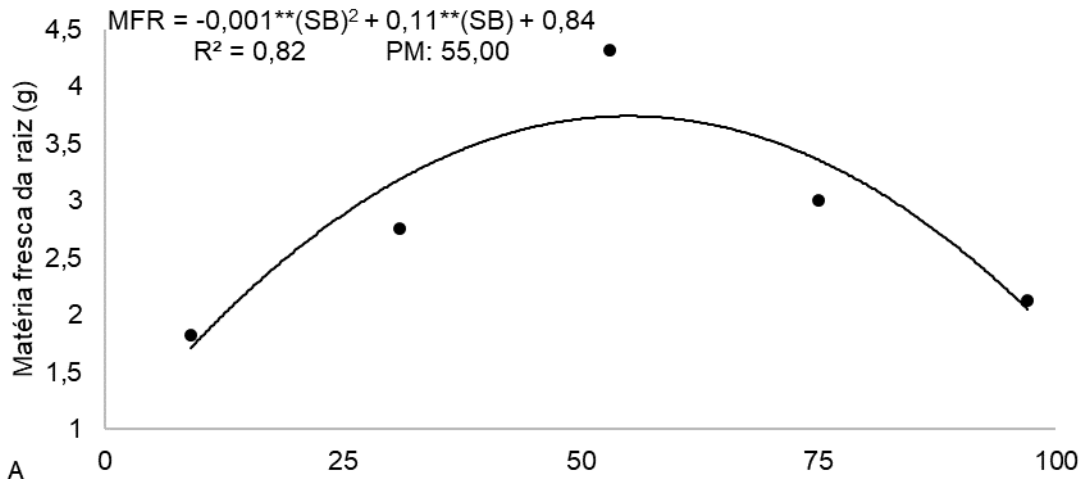
23 A altura da planta (AP), a matéria fresca (MFPA) e seca (MSPA) da parte aérea (Figura 3), o  
24 diâmetro da raiz (DR) e a matéria fresca (MFR) e seca da raiz (MSR) (Figura 4) tiveram resposta  
25 quadrática em função da saturação por bases. O diâmetro do caule (DC) e a produção de grãos por planta  
26 (PG) (Figura 5) tiveram interação entre a saturação por bases e as cultivares. A 'IPR 91' teve resposta  
27 quadrática e a 'IPR 92' teve resposta linear em função da saturação por bases para o DC. A 'IPR 91' não  
28 apresentou diferença significativa e a 'IPR 92' teve resposta linear em função da saturação por bases para  
29 a PG.



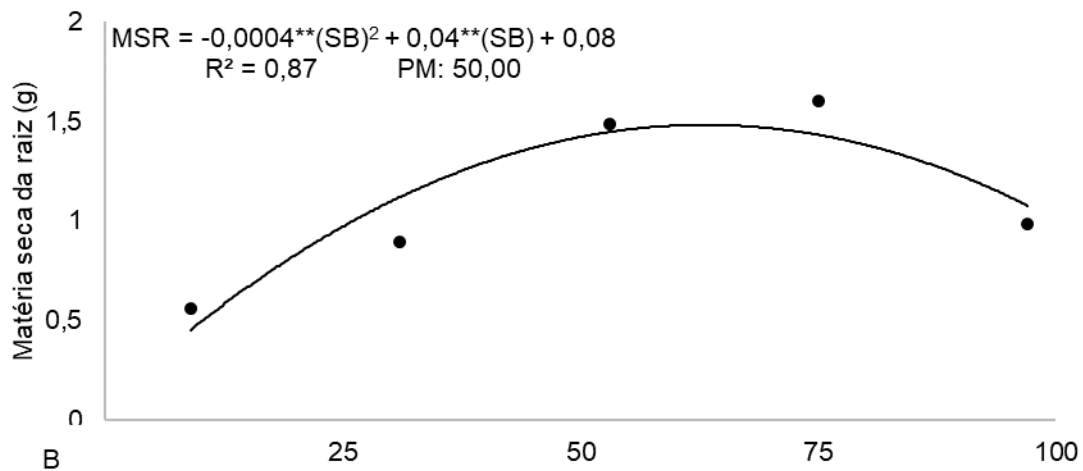
4 **Figura 3.** Altura da planta (A), matéria fresca da parte aérea (MFPA) (B) e matéria seca da parte aérea  
 5 (MSPA) (C) de cultivares ('IPR 91' e 'IPR 92') de *Fagopyrum esculentum* (Moench) em função  
 6 da saturação por bases (SB), em Minas Gerais, Brasil

8 PM: ponto de máxima em porcentagem. \*\*Coeficientes significativos pelo teste t a 1% de significância.

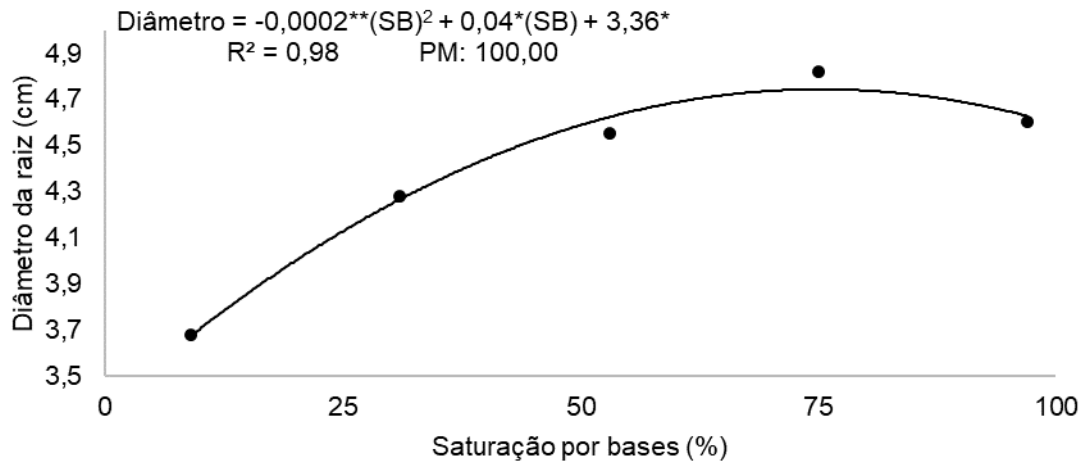
1



2



3



4

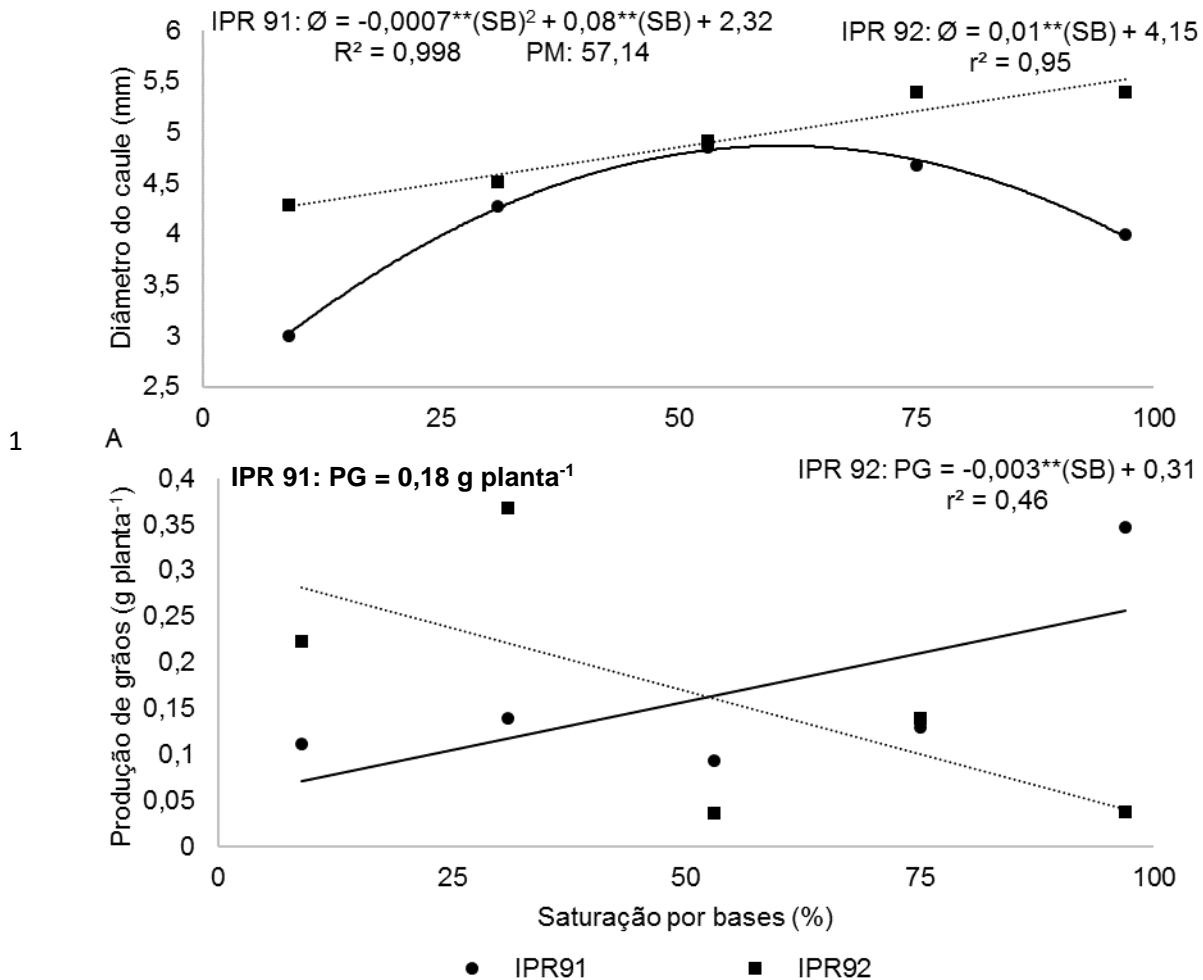
C

5 **Figura 4.** Matéria fresca da raiz (MFR) (A), matéria seca da raiz (MSR) (B) e diâmetro da raiz (C) de  
 6 cultivares ('IPR 91' e 'IPR 92') de *Fagopyrum esculentum* (Moench) em função da saturação  
 7 por bases (SB), em Minas Gerais, Brasil

8

9 PM: ponto de máxima em porcentagem. \*\*Coeficientes significativos pelo teste t a 1% de significância. \*Coeficientes significativos pelo teste t a  
 10 5% de significância.

11



**Figura 5.** Diâmetro do caule (Ø) (A) e produção de grãos a 13% de umidade por planta (PG) (B) de cultivares ('IPR 91' e 'IPR 92') de *Fagopyrum esculentum* (Moench) em função da saturação por bases (SB), em Minas Gerais, Brasil

PM: ponto de máxima em porcentagem. \*\*Coeficientes significativos pelo teste t a 1% de significância.

As raízes, como os resultados mostraram, são influenciadas pela saturação por bases. Justifica-se pelo fato do trigo-mourisco ser acumulador de alumínio (Horbowicz *et al.*, 2011, Xu *et al.*, 2017) e as raízes serem importantes nos processos de captação e transporte de elementos em plântulas e eficazes na defesa da planta contra o elemento (Horbowicz *et al.*, 2011). As raízes e a absorção de água de trigo-mourisco, submetido ao estresse de Al, diminuem e o alongamento das células são afetados (Xu *et al.*, 2017). Por isso, os parâmetros relacionados às raízes tendem a alterar dependendo da acidez potencial e trocável.

O parâmetro DC foi semelhante às plantas de *Fagopyrum tataricum* (4,14-5,88 mm), ao serem avaliadas em duas épocas de semeadura na China (Xiang *et al.*, 2019) e, em cultivares (3,43 – 4,49 mm) de trigo-mourisco, provenientes do Cazaquistão e da Turquia, cultivados na Turquia (Unal, Izli, Izli, & Asik, 2017). O DC está diretamente ligado à resistência do trigo-mourisco ao acamamento, em função do

1 acúmulo de lignina nas paredes celulares (Wang *et al.*, 2015). Os resultados de AP e de DC também  
2 corroboram (74,84 – 105,77 cm e 2,44 – 3,85 mm, respectivamente) com os resultados de Fang *et al.*  
3 (2018), ao estudarem adubação nitrogenada e densidade de plantio de trigo-mourisco na China. Plantas  
4 altas, com altura desuniforme e acamadas, prejudicam a colheita mecanizada e o pastejo.

5 O PG foi inferior ao resultado obtido por Jiang *et al.* (2018) (4,01 – 5,25 g planta<sup>-1</sup>). Os resultados  
6 de PG e de PMG do presente trabalho podem ter sido inferiores, porque a umidade dos grãos considerada  
7 foi de 13%, que é a umidade ideal da colheita de trigo comum (Empresa Brasileira de Pesquisa  
8 Agropecuária [EMBRAPA], 2014), cuja referência é utilizada por ainda não existir umidade pré-  
9 determinada para a colheita de trigo-mourisco. O PMG deste trabalho corrobora com os resultados (24,7 –  
10 28,1 g) de Jiang *et al.* (2018), ao estudar trigo-mourisco, cultivado em dois anos, em solos com e sem  
11 selênio na China, com Siracusa, Gresta, Sperlinga e Ruberto (2017) (16 e 26 g), ao estudarem grãos de  
12 cultivares de trigo-mourisco, avaliados em função da época de semeadura e estresse hídrico na Itália, com  
13 UNAL *et al.* (2017) (19,98 e 21,74 g), ao cultivar trigo-mourisco na Turquia e com Fang *et al.* (2018)  
14 (20,42 – 26,17 g), ao cultivar trigo-mourisco na China.

15 A MFPA e a MSPA foram mais elevadas neste trabalho que no estudo (1,62 g planta<sup>-1</sup> e 0,22 g  
16 planta<sup>-1</sup>, respectivamente) que avaliou semeadura e crescimento de mudas de trigo-mourisco em água  
17 magnetizada (Podsiadło e Skorupa, 2017). A maior produção de MSPA para ambas as cultivares é com  
18 nível de saturação por bases por volta de 62%. Com exceção do NF, NR, PMG, TR, da MFR, que não  
19 apresentaram diferença significativa entre as cultivares, do DC e da PG, que apresentaram interação, para  
20 os demais parâmetros a ‘IPR 92’ foi maior que a ‘IPR 91’ (Tabela 1).

1 **Tabela 1.** Características avaliadas em duas cultivares de *Fagopyrum esculentum* cultivadas em Minas  
 2 Gerais, Brasil

Características	Cultivares	
	‘IPR 91’	‘IPR 92’
Altura da planta (cm)	91,34b	126,08a
Nº de ramos planta <sup>-1</sup>	4,41a	4,78a
Nº de folhas planta <sup>-1</sup>	23,47a	26,13a
Matéria fresca da parte aérea (g planta <sup>-1</sup> )	11,98b	17,93a
Matéria seca da parte aérea (g planta <sup>-1</sup> )	2,71b	3,72a
Comprimento da raiz (cm)	18,90b	23,33a
Diâmetro da raiz (mm)	4,21b	4,57a
Matéria fresca da raiz (g)	2,33a	3,29a
Matéria seca da raiz (g)	0,85b	1,36a
Peso de mil grãos (g)	23,09a	34,65a
Teor de flavonoides (mg g <sup>-1</sup> )	10,26b	12,93a
Teor de rutina (mg g <sup>-1</sup> )	11,17a	12,16a
Produção de flavonoides (mg de rutina planta <sup>-1</sup> ) por espectrofotometria	28,94b	49,23a
Produção de rutina (mg de rutina planta <sup>-1</sup> ) por CLAE	31,52b	45,99a

3 CLAE: cromatografia líquida de alta eficiência. Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste F a 5% de  
 4 significância.

5  
 6 Os resultados mostram que a saturação por bases não foi determinante para a maioria dos  
 7 parâmetros avaliados. Para a produção de grãos e de flavonoides, não há necessidade de alterar a  
 8 saturação do solo, pois o solo utilizado é distrófico. Deste modo, os custos de produção são reduzidos,  
 9 além de proporcionar o ambiente para maior PG da ‘IPR 92’. Se o objetivo da produção for somente a  
 10 MSPA, como no caso de produção de forragens, o ideal é manter a saturação por bases próxima aos 62%.  
 11 A saturação mais baixa é insuficiente para atender o pico de produção da MSPA e a mais alta é tóxica, o  
 12 que também prejudica a produção.

13 Estudos de saturação por bases são necessários para entender como as plantas respondem a essa  
 14 variação e identificar faixas mais adequadas ao cultivo. Neste estudo, foi possível constatar que o trigo-  
 15 mourisco foi pouco influenciado pela saturação por bases e apresentou o resultado esperado da produção  
 16 de grãos e de flavonoides, compatíveis com a literatura. O trigo-mourisco tem alta capacidade de  
 17 acumular Al, sendo considerada tolerante (Yokosho, Yamaji, & Ma, 2014, Xu *et al.*, 2017). Corroborar  
 18 com o fato das cultivares não terem apresentado influência da saturação por bases, para a maioria dos  
 19 parâmetros, sugerindo que elas são tolerantes ao Al, assim como cultivares estudadas por Chen *et al.*  
 20 (2017).

1 **CONCLUSÕES**

2

3 A saturação por bases do solo não teve efeito no cultivo de trigo-mourisco na faixa entre 9% e  
4 97% em relação ao teor e à produção de flavonoides. Porém influenciou na produção de matéria seca da  
5 parte aérea, tendo o seu ponto de máxima por volta de 62% da saturação por bases e, na produção de  
6 grãos da 'IPR 92', tendo seu ponto de máxima na saturação por bases natural do solo (9,00%). A cultivar  
7 com maior produção é a 'IPR 92'. Esse é o primeiro relato publicado de saturação por bases na cultura do  
8 trigo-mourisco.

9

10 **AGRADECIMENTOS**

11

12 Ao Instituto de Desenvolvimento Rural IAPAR-EMATER, pela concessão das sementes. Ao  
13 Programa de Educação Tutorial – Agronomia, ao Núcleo de Estudos em Produção e Tecnologia de  
14 Cereais, ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal e ao Laboratório de Plantas Medicinais,  
15 todos da UFMG pela colaboração. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de  
16 Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior -Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001", da  
17 Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG e do Instituto de Ciências  
18 Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

19

20



## REFERÊNCIAS

- 1  
2  
3 Abbasi, R., Janjua, S., Rehman, A., William, K., & Khan, S. W. (2015). Some preliminary studies on  
4 phytochemicals and antioxidant potential of *Fagopyrum esculentum* cultivated in chitral, Pakistan. *The*  
5 *Journal of Animal & Plant Sciences*, 25 (3), 576-579. Recuperado de <http://bit.ly/2E39VgL>  
6  
7 Aubert, L., Konrádová, D., Kebbas, S., Barris, S., & Quinet, M. (2020). Comparison of high temperature  
8 resistance in two buckwheat species *Fagopyrum esculentum* and *Fagopyrum tataricum*. *Journal of*  
9 *Plant Physiology*, 251, 153222. doi: 10.1016/j.jplph.2020.153222  
10  
11 Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Moraes, G., Leonardo, J., & Sparovek, G. (2013). Köppen's  
12 climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22 (6), 711-728. doi: 10.1127/0941-  
13 2948/2013/0507  
14  
15 Bai, C. Z., Feng, M. L., Hao, X. L., Zhong, Q. M., Tong, L. G., & Wang, Z. H. (2015). Rutin, quercetin,  
16 and free amino acid analysis in buckwheat (*Fagopyrum*) seeds from different locations. *Genetics and*  
17 *Molecular Research*, 14 (4), 19040-19048. Recuperado de <https://bit.ly/2KpGvQv>  
18  
19 Barcaccia, G., Volpato, M., Gentili, R., Abeli, T., Galla, G., Orsenigo, S., Citterio, S., Sgorbati, S., &  
20 Rossi, G. (2016). Genetic identity of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) landraces  
21 locally cultivated in the Alps. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 63 (4), 639-651. doi:  
22 10.1007/s10722-015-0273-z  
23  
24 Bisht, A. S., Bhatt, A., Jyoti, B., & Singh, P. (2018). Studies on Morphological and Seed Quality  
25 Parameters in Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) Germplasm. *International Journal of Bio-*  
26 *resource and Stress Management*, 9 (1), 49-54. doi: 10.23910/IJBSM/2018.9.1.3C0698  
27  
28 Bisht, A. S., Bhatt, A., & Singh P. (2018). Studies on variability, correlation and path coefficient analysis  
29 for seed yield in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) germplasm. *Journal of Pharmacognosy*  
30 *and Phytochemistry*, Sp. 5, 35-39. Recuperado de <https://bit.ly/2Im2xor>  
31  
32 Chen, W. W., Xu, J. M., Jin, F. J., Lou, R. Q., Fan, W., & Yang, J. L. (2017). Genome-wide  
33 transcriptome analysis reveals conserved and distinct molecular mechanisms of Al resistance in  
34 buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) leaves. *International Journal of Molecular Sciences*, 18  
35 (9), 1859-19875 doi: 10.3390/ijms18091859  
36  
37 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2014). Cultivo de trigo: Colheita e pós-colheita.  
38 Recuperado de <https://bit.ly/3nb22MA>  
39  
40 Fang, X., Li, Y., Nie, J., Wang, C., Huang, K., Zhang, Y., Zhang, Y., She, H., Liu, X., Ruan, R., Yuan,  
41 X., & Yi, Z. (2018). Effects of nitrogen fertilizer and planting density on the leaf photosynthetic  
42 characteristics, agronomic traits and grain yield in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* M.).  
43 *Field Crops Research*, 219, 160-168. doi: 10.1016/j.fcr.2018.02.001  
44  
45 Fang, Z., Zhang, X., Gao, J., Wang, P., Xu, X., Liu, Z., Shen, S., & Feng, B. (2015). A buckwheat  
46 (*Fagopyrum esculentum*) DRE-binding transcription factor gene, FeDREB1, enhances freezing and  
47 drought tolerance of transgenic Arabidopsis. *Plant Molecular Biology Reporter*, 33 (5), 1510-1525.  
48 doi: 10.1007/s11105-015-0851-4  
49  
50 Gabr, A. M., Sytar, O., Ghareeb, H., & Brestic, M. (2019). Accumulation of amino acids and flavonoids  
51 in hairy root cultures of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum*). *Physiology and Molecular*  
52 *Biology of Plants*, 25 (3), 787-797. doi: 10.1007/s12298-019-00669-1  
53

- 1 Giménez-Bastida, J. A., Piskula, M., Zieliński, H., (2015). Recent advances in development of gluten-free  
2 buckwheat products. *Trends in Food Science & Technology*, 44 (1), 58-65. doi:  
3 1016/j.tifs.2015.02.013  
4
- 5 Gonçalves, F. M. F., Debiage, R. R., da Silva, R. M. G., Porto, P. P., Yoshihara, E., & Peixoto, E. C. T.  
6 M. (2016). *Fagopyrum esculentum* Moench: A crop with many purposes in agriculture and human  
7 nutrition. *African Journal of Agricultural Research*, 11 (12), 983-989. doi: 10.5897/AJAR2015.10747  
8
- 9 Görgen, A. V., Cabral Filho, S. L. S., Leite, G. G., Spehar, C. R., Diogo, J. M. S., & Ferreira, D. B.  
10 (2016). Productivity and forage quality of buckwheat ("*Fagopyrum esculentum*" Moench) and pearl  
11 millet ("*Pennisetum glaucum*" (L.) R. BR). *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 17 (4),  
12 599-607. doi: 10.1590/S1519-99402016000400004  
13
- 14 Gupta, N., Sharma, S. K., Rana, J. C., & Chauhan, R. S. (2011). Expression of flavonoid biosynthesis  
15 genes vis-à-vis rutin content variation in different growth stages of *Fagopyrum* species. *Journal of*  
16 *plant physiology*, 168, (17), 2117-2123. doi: 10.1016/j.jplph.2011.06.018  
17
- 18 Horbowicz, M., Kowalczyk, W., Grzesiuk, A., & Mitrus, J. (2011). Uptake of aluminium and basic  
19 elements, and accumulation of anthocyanins in seedlings of common buckwheat (*Fagopyrum*  
20 *esculentum* Moench) as a result increased level of aluminium in nutrient solution. *Ecological*  
21 *Chemistry and Engineering. S*, 18 (4), 479-488. Recuperado de <https://bit.ly/2X35osF>  
22
- 23 Jiang, Y., Feng, X., Yang Y., Qi, X., Ren, Y., Gao, Y., Liu, W., Hu, Y., & Zeng, Z. (2018). Performance  
24 of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* M.) supplied with selenite or selenate for selenium  
25 biofortification in northeastern China. *The Crop Journal*, 6 (4), 386-393. doi: 10.1016/j.cj.2018.03.003  
26
- 27 Kalinová, J. P., Vrchotová, N., & Tříška, J. (2018). Contribution to the study of rutin stability in the  
28 achenes of Tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum*). *Food Chemistry*, 258, 314-320. doi:  
29 10.1016/j.foodchem.2018.03.090  
30
- 31 Kiprovski, B., Mikulic-Petkovsek, M., Slatnar, A., Veberic, R., Stampar, F., Malencic, D., & Latkovic, D.  
32 (2015). Comparison of phenolic profiles and antioxidant properties of European *Fagopyrum*  
33 *esculentum* cultivars. *Food chemistry*, 185, 41-47. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.03.137  
34
- 35 Koyama, M., Nakamura, C., & Nakamura, K. (2013). Changes in phenols contents from buckwheat  
36 sprouts during growth stage. *Journal of Food Science and Technology*, 50 (1), 86-93. doi:  
37 10.1007/s13197-011-0316-1  
38
- 39 Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019). Montes Claros: Território e ambiente [dataset].  
40 Recuperado de <https://bit.ly/3oBYyVa>  
41
- 42 Instituto Nacional de Meteorologia (2019). Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa  
43 [dataset]. Recuperado de <http://bit.ly/2gTcwCu>  
44
- 45 Ladan, M. K., Straus, J., Benković, E. T., & Kreft, S. (2017). FT-IR-based method for rutin, quercetin and  
46 quercitrin quantification in different buckwheat (*Fagopyrum*) species. *Scientific Reports*, 7 (1), 7226.  
47 doi: 10.1038/s41598-017-07665-z  
48
- 49 Liu, Z., Liu, Y., Pu, Z., Wang, J., Zheng, Y., Li, Y., & Wei, Y. (2013). Regulation, evolution, and  
50 functionality of flavonoids in cereal crops. *Biotechnology Letters*, 35 (11), 1765-1780.  
51 <https://doi.org/10.1007/s10529-013-1277-4>  
52
- 53 Nagatomo, Y., Usui, S., Ito, T., Kato, A., Shimosaka, M., & Taguchi, G. (2014). Purification, molecular  
54 cloning and functional characterization of flavonoid C-glucosyltransferases from *Fagopyrum*  
55 *esculentum* M.(buckwheat) cotyledon. *The Plant Journal*, 80 (3), 437-448. doi: 10.1111/tpj.12645  
56

- 1 Pełkal, A. & Pyrzynska, K. (2014). Evaluation of aluminium complexation reaction for flavonoid content  
2 assay. *Food Analytical Methods*, 7 (9), 1776-1782 doi: 10.1007/s12161-014-9814-x  
3
- 4 R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R  
5 Foundation for Statistical Computing. Recuperado de <http://www.Rproject.org/>  
6
- 7 Trigo. *In: Relva Verde*. [Loja virtual]. Cereais, Grãos e Sementes. [2020]. Disponível em:  
8 <http://bit.ly/2EhsZrP>. Acesso em: 6 jan. 2020.  
9
- 10 Sedej, I., Sakač, M., Mandić, A., Mišan, A., Tumbas, V., & Čanadanović-Brunet, J. (2012). Buckwheat  
11 (*Fagopyrum esculentum* Moench) grain and fractio: antioxidant compounds and activities. *Journal of*  
12 *Food Science*, 77 (9), C954-C959. doi: 10.1111/j.1750-3841.2012.02867.x  
13
- 14 Siracusa, L., Gresta, F., Sperlinga, E., & Ruberto, G. (2017). Effect of sowing time and soil water content  
15 on grain yield and phenolic profile of four buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench.) varieties in a  
16 Mediterranean environment. *Journal of Food Composition and Analysis*, 62, 1-7. doi:  
17 10.1016/j.jfca.2017.04.005  
18
- 19 Unal, H., Izli, G., Izli, N., & Asik, B. B. (2017). Comparison of some physical and chemical  
20 characteristics of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) grains. *CyTA-Journal of Food*, 15 (2),  
21 257-265. doi: 10.1080/19476337.2016.1245678  
22
- 23 Tsurunaga, Y., Takahashi, T., Katsube, T., Kudo, A., Kuramitsu, O., Ishiwata, M., & Matsumoto, S.  
24 (2013). Effects of UV-B irradiation on the levels of anthocyanin, rutin and radical scavenging activity  
25 of buckwheat sprouts. *Food chemistry*, 141 (1), 552-556. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.03.032  
26
- 27 Vicente, O., & Boscaiu, M. (2018). Flavonoids: Antioxidant compounds for plant defence... and for a  
28 healthy human diet. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 46 (1), 14-21.  
29 <https://doi.org/10.15835/nbha46110992>  
30
- 31 Xiang, D., Song, Y., Wu, Q., Ma, C., Zhao, J., Wan, Y., & Zhao, G. (2019). Relationship between stem  
32 characteristics and lodging resistance of Tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum*). *Plant Production*  
33 *Science*, 22 (2), 202-210. doi: 10.1080/1343943X.2019.1577143  
34
- 35 Xu, J. M., Fan, W., Jin, J. F., Lou, H. Q., Chen, W. W., Yang, J. L., & Zheng, S. J. (2017). Transcriptome  
36 analysis of Al-induced genes in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) root apex: new insight  
37 into Al toxicity and resistance mechanisms in an Al accumulating species. *Frontiers in Plant Science*,  
38 8, 1141. doi: 10.3389/fpls.2017.01141  
39
- 40 Wang, C., Wu, R.R., Hui, Y.X., Hu, D., Yang, H., Li, Y., Lin, Yi, Z. (2015). Effects of nitrogen fertilizer  
41 and planting density on the lignin synthesis in the culm in relation to lodging resistance of buckwheat.  
42 *Plant Production Science*. 18 (2), 218-227. <https://doi.org/10.1626/pp.18.218>  
43
- 44 Yokosho, K., Yamaji, N., & MA, J. F. (2014). Global transcriptome analysis of Al-induced genes in an  
45 Al-accumulating species, common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). *Plant and Cell*  
46 *Physiology*, 55 (12), 2077-2091. doi: 10.1093/pcp/pcu135  
47
- 48 Zhai, K. F., Duan, H., Shi, S. X., Liu, L. L., Cao, W. G., Gao, G. Z., & Shan, L. L. (2018). Synchronised  
49 determination of chlorogenic acid and five flavonoids in mulberry leaves using HPLC with photodiode  
50 array detection. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 10 (2), 175-182. doi:  
51 10.3920/QAS2017.1202  
52
- 53 Zhao, J. L., Zou, L., Zhang, C. Q., Li, Y. Y., Peng, L. X., Xiang, D. B., & Zhao, G. (2014). Efficient  
54 production of flavonoids in *Fagopyrum tataricum* hairy root cultures with yeast polysaccharide  
55 elicitation and medium renewal process. *Pharmacognosy Magazine*, 10 (39), 234-240. doi:  
56 10.4103/0973-1296.137362

1 **ANEXO B – RESUMO DOS QUADRADOS MÉDIOS**

2

3 Tabela 1 – Resumo dos quadrados médios no estudo da influência da saturação por bases (SB), em  
 4 cultivares de *Fagopyrum esculentum* (trigo-mourisco), em Minas Gerais, Brasil

Fatores de Variação	SB	Cultivar	SB x Cultivar	Resíduo	Coefficiente de variação (%)
Altura da planta	683,50*	12066,90*	163,60	150,70	11,29
Diâmetro do caule	2,41*	5,44*	0,72*	0,16	8,84
Nº de ramos	0,78	1,30	0,73	0,50	15,37
Nº de folhas	74,98	70,67	132,59	65,76	32,37
Matéria fresca da parte aérea	33,84*	354,49*	19,48	8,03	18,95
Matéria seca da parte aérea	1,63*	10,16*	1,02	0,52	22,53
Comprimento da raiz	54,00	196,30*	48,07	26,06	24,18
Diâmetro da raiz	1,56*	1,27*	0,32	0,26	11,52
Matéria fresca da raiz	7,49*	9,32	0,48	2,58	57,15
Matéria seca da raiz	1,49*	2,64*	0,27	0,31	50,07
Produção de grãos	0,04	0,00	0,08*	0,02	90,53
Peso de 1000 grãos	1780,20	1337,60	1110,10	1323,80	126,02
Teor de flavonoides totais	7,90	53,74*	3,35	11,32	29,02
Teor de rutina	29,65	7,32	5,43	16,90	35,24
Produção de flavonoides totais	293,77	3088,62*	61,33	198,78	36,07
Produção de rutina	292,91	1571,28*	159,40	240,45	40,01

5 \*Significativo na análise de variância pelo teste F a 5% de significância.

1 **4.3 Artigo 3 – Época e densidade de semeadura na produção de flavonoides, biomassa e grãos e**  
2 **em descritores agronômicos de cultivares de trigo-mourisco em ambiente tropical**

3  
4 Este artigo foi elaborado conforme normas da Revista Agropecuária Brasileira.

5  
6 **Época e densidade de semeadura na produção de flavonoides, biomassa e grãos e em**  
7 **descritores agronômicos de cultivares de trigo-mourisco em ambiente tropical**

8  
9 **RESUMO**

10 *Fagopyrum esculentum* é uma espécie de alto valor econômico, em virtude dos flavonoides e por  
11 ser isenta de glúten. O objetivo do trabalho foi avaliar a produção de flavonoides, biomassa e  
12 grãos em cultivares de *F. esculentum* em função da densidade e época de semeadura. O  
13 experimento foi desenvolvido em campo. Os tratamentos consistiram nas cultivares ‘IPR 91’ e  
14 ‘IPR 92’, em densidades de semeadura (50, 100, 150, 200 e 250 sementes m<sup>-2</sup>), cultivadas no  
15 verão e inverno. Foram avaliados atributos agronômicos, flavonoides totais e rutina. Os cultivos  
16 duraram 71 (inverno) e 58 (verão) dias. A produtividade de flavonoides totais (42,63 kg ha<sup>-1</sup>) e  
17 de rutina (48,39 kg ha<sup>-1</sup>) não apresentaram diferenças estatísticas. A MSPA (2,78 – 6,28 t ha<sup>-1</sup>)  
18 superou a produção brasileira e mundial da espécie. O cultivo no inverno, a ‘IPR 92’ e 250  
19 sementes m<sup>-2</sup> são preferidos para obter maior biomassa e produtividade de grãos e ‘IPR 92’ e 50  
20 sementes m<sup>-2</sup> para flavonoides. Este estudo servirá como subsídio para o melhoramento da  
21 espécie e para seu cultivo.

22  
23 Termos para indexação: sazonalidade; *Fagopyrum esculentum*; pseudocereal; rutina; indústria  
24 nutracêutica.

25  
26  
27  
28  
29

## Introdução

O trigo-mourisco é uma cultura versátil, usada como forrageira, farinha enriquecedora de rações, bioacumuladora e halófita, na rotação de cultura e nas indústrias alimentícia, cosmética e farmacêutica. Estudos, para entender como a espécie responde em função das adversidades climáticas, de solo, ambientais e de manejo agrônomico, têm sido realizados em muitos países e estão em evidência. Esta pesquisa irá agregar informações relevantes à comunidade científica e demais interessados.

O *Fagopyrum esculentum* Moench pertence à família Polygonaceae (Koyama *et al.*, 2013), conhecido como trigo-mourisco, um pseudocereal (Nagatomo *et al.*, 2014; Fang *et al.*, 2015; Kiproviski *et al.*, 2015), por apresentar características semelhantes aos cereais verdadeiros, em especial, por ser fonte de carboidrato e não pertencer à mesma família deles, das gramíneas (Poaceae). Segundo Gonçalves *et al.* (2016), a cultura é de grande importância na nutrição humana, agricultura e produção zootécnica. Contém alto teor de rutina e outros flavonoides, responsáveis pela ação antioxidante da planta (Tsurunaga *et al.*, 2013; Abbasi *et al.*, 2015) e seus subprodutos são isentos de glúten (Giménez-Bastida *et al.*, 2015). Por conter alto teor de rutina, o trigo-mourisco é considerado um importante alimento fornecedor desse composto (Gupta *et al.*, 2011). Os flavonoides, incluindo a rutina, são antioxidantes e estão associados à diminuição do risco de doenças do coração (Panche *et al.*, 2016).

Os flavonoides têm sido estudados pelo potencial antioxidante e por estarem associados à diminuição do risco de doenças do coração (Panche *et al.*, 2016). Por conter grande quantidade de rutina na composição, o trigo-mourisco é considerado um importante alimento fornecedor desse composto (Gupta *et al.*, 2011). O Japão e alguns países europeus têm aumentado o cultivo do trigo-mourisco por suas múltiplas características potenciais como alimento nutracêutico, dietético e medicinal na alimentação humana (Görge *et al.*, 2016). Estudos envolvendo estratégias de manejo e a resposta do trigo-mourisco são fundamentais, pois há grande demanda mundial pela espécie. Densidade de semeadura, épocas de colheita e semeadura, fenologia, manejo hídrico e do solo e cultivares mais produtivas são estudos necessários para aumentar a produção e entrega de produtos de trigo-mourisco.

A densidade de semeadura está relacionada à qualidade e espessura do caule, à quantidade de lignina nas paredes secundárias, à resistência ao acamamento, à produção de grãos e às características da raiz (Xiang *et al.*, 2016; Zheng *et al.*, 2017). A densidade de semeadura ou de plantio, usada como manejo agrônomico, pode melhorar a capacidade fotossintética das plantas, aumentar a produção e, por consequência, diminuir o uso de fertilizantes (Fang *et al.*,

1 2018). O aumento da densidade de semeadura é uma estratégia que pode ser utilizada para  
2 diminuir o uso de fertilizantes nitrogenados nas lavouras sem prejuízos à produtividade e se  
3 mostrou eficiente para culturas como arroz e trigo-mourisco (Fang *et al.*, 2018; Tian *et al.*,  
4 2017). Além disso, densidades mais altas aumentam a condutância estomática, a taxa de  
5 transpiração, a eficiência do uso de água, a produtividade de grãos e o peso de mil grãos e  
6 diminui a altura de planta e a concentração intercelular de dióxido de carbono (Fang *et al.*,  
7 2018b).

8 A época de semeadura influencia na altura da planta de trigo-mourisco, no período  
9 fenológico – diminuindo ou prolongando o ciclo – e na produtividade dos grãos, podendo gerar  
10 incremento de 1,9 g de grãos por planta entre uma estação e outra (Arduini, Masoni e Mariotti,  
11 2015). Já foram constatadas alterações de flavonoides quanto à irradiação (Tsurunaga *et al.*,  
12 2013), época de semeadura, genética, disponibilidade de água (Siracusa *et al.* 2017), ano de  
13 cultivo e altitude (Dražić *et al.*, 2016). Os flavonoides estão relacionados aos fatores genéticos  
14 das plantas e com a adaptação delas ao ambiente de cultivo (Singh, Kumar e Malik, 2016).

15 Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de grãos, flavonoides  
16 totais, rutina e biomassa de cultivares de *Fagopyrum esculentum* Moench em função da época e  
17 densidade de semeadura.

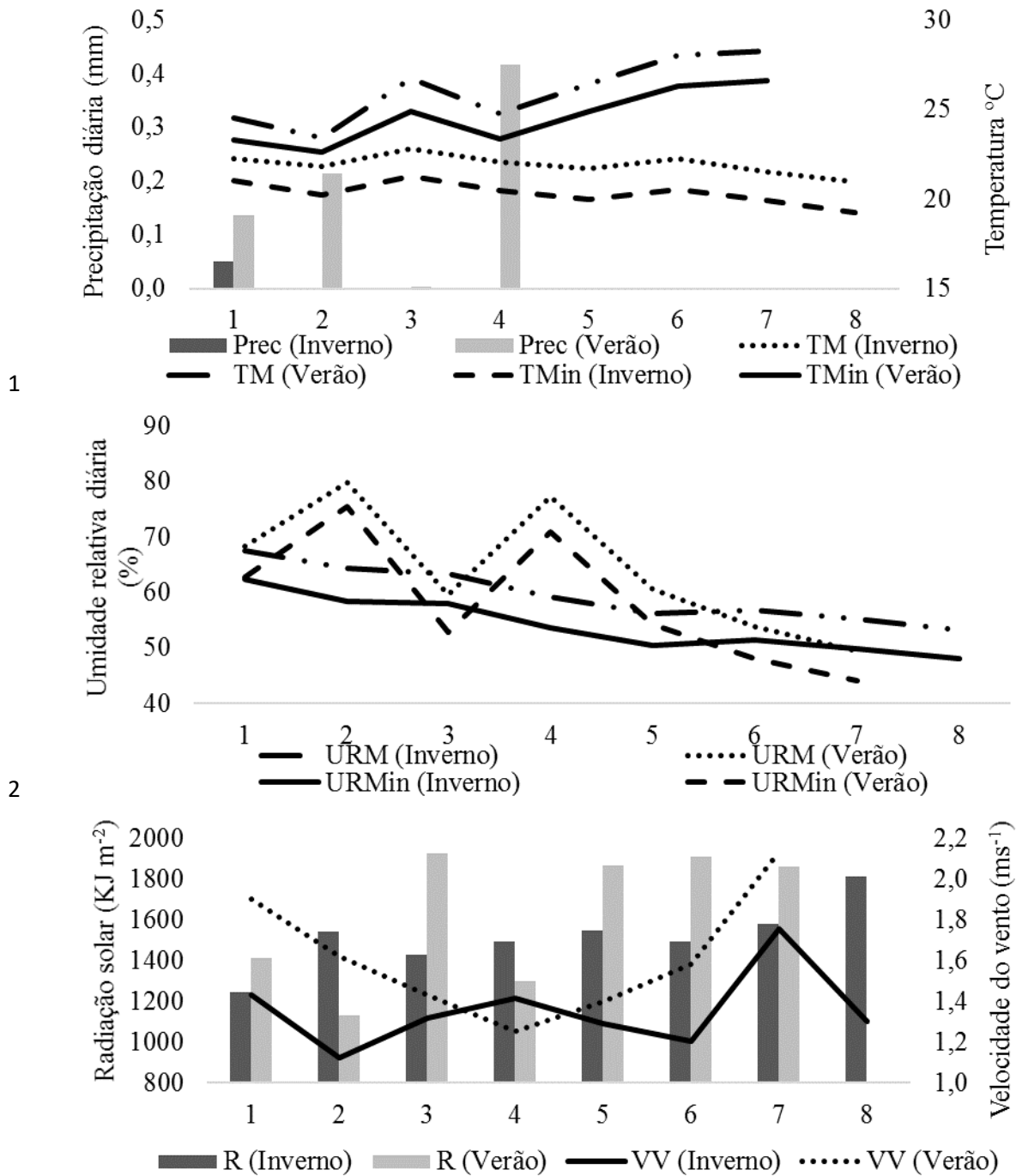
## Material e Métodos

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13

### Descrição do local do experimento

Foram realizados dois experimentos, um no inverno e outro no verão. O primeiro foi implantado em 19 de maio de 2018 e o segundo foi em 23 de novembro de 2018. Eles foram conduzidos em campo, no Instituto de Ciências Agrárias (ICA) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), em Montes Claros, Minas Gerais, Brasil, nas coordenadas 16°40'58,5"S e 43°50'25,6"W, com altitude de 645,87 m, em áreas adjacentes. O clima da região é classificado como tropical (Aw) (Alvares *et al.*, 2013), quente e semiúmido, com estações bem determinadas, tendo período de seca prolongado e período de chuva curto, temperatura média anual de 22,7° C e precipitação de 1029 mm (INMET, 2019), pertence aos biomas Cerrado e Caatinga (IBGE, 2019). Os dados meteorológicos foram coletados durante os experimentos (Figura 1).





**Figura 1** – Dados meteorológicos do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, por decêndio, 19 de maio a 30 de julho de 2018 (inverno) e 23 de novembro de 2018 a 28 de janeiro de 2019 (verão), em Montes Claros, Minas Gerais, Brasil

Prec: precipitação; TM: temperatura máxima; TMín: temperatura mínima; URM: umidade relativa máxima; URMín: umidade relativa mínima; R: radiação; VV: velocidade do vento. Fonte: INMET, 2019.

1 As características dos solos onde os experimentos foram implantados estão descritas na  
2 tabela 1.

3  
4 **Tabela 1** – Características dos solos de duas áreas adjacentes, um para cada época de cultivo,  
5 utilizados para a semeadura de cultivares de *Fagopyrum esculentum* (Moench), em Minas  
6 Gerais, Brasil

Características do solo	Época de semeadura			
	Maio/2018	Interpretação	Nov/2018	Interpretação
pH em água	7,00	Alto	7,20	Alto
P (mg dm <sup>-3</sup> )	6,07	Baixo	13,48	Alto
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	7,20	Muito baixo	7,50	Muito baixo
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,80	Muito baixo	2,90	Muito baixo
K (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,31	Médio	0,41	Médio
Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,00	Muito baixo	0,00	Muito baixo
H+ Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,19	Muito baixo	0,95	Muito baixo
CTC a pH 7	10,50	Médio	11,76	Médio
Matéria orgânica (g kg <sup>-1</sup> )	55,80	Bom*	27,80	Médio*
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	260	-	220	-
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	500	-	420	-
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	240	Textura média	360	Textura argilosa

7 -: não se aplica. Interpretação baseada na cultura de trigo comum (Wiethölter, 2011). \*Alvarez *et al.* (1999).

## 1 **Procedimento experimental e avaliações**

2

3 O delineamento foi em blocos casualizados, em esquema fatorial (2 x 5), com três  
4 repetições. Os tratamentos consistiram em duas cultivares ('IPR 91' e 'IPR 92') de *Fagopyrum*  
5 *esculentum*, cedidas pelo Instituto de Desenvolvimento Rural IAPAR-EMATER, e cinco  
6 densidades de semeadura (50, 100, 150, 200 e 250 sementes m<sup>-2</sup>), somando 30 parcelas de 3 x 5  
7 m (15 m<sup>2</sup>), compostas por seis linhas de 5 m. Como o cultivo foi realizado em duas épocas (maio  
8 e novembro), a análise conjunta foi feita ao final dos experimentos.

9 O solo foi adubado com 100 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato reativo, antes da semeadura e com duas  
10 adubações nitrogenadas em cobertura, usando sulfato de amônio (15 e 30 dias após a  
11 emergência, com 20 kg ha<sup>-1</sup> e 40 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, respectivamente). A semeadura foi  
12 manual e a lanço e a irrigação por aspersão foi feita durante todo o ciclo nas duas épocas.

13 A colheita da parte aérea completa (amostra) foi realizada, quando 80% das plantas  
14 estavam com flores abertas e com menos de 15% dos frutos maduros e dos frutos, quando 70%  
15 das plantas estavam com, pelo menos, 80% dos frutos maduros. Foram colhidas todas as plantas  
16 dentro da área de 2 m<sup>2</sup>; um quadrado de 1 m<sup>2</sup> foi lançado duas vezes, ao acaso, no meio da  
17 parcela para excluir o efeito das bordas. Posteriormente, as amostras e os frutos foram pesados  
18 em balança com precisão de 0,0001g e levados à estufa de circulação forçada (60° C) até atingir  
19 peso constante para a determinação da matéria seca. Em seguida, as amostras foram moídas e  
20 armazenadas na geladeira (5° C). Foram avaliados a matéria seca da parte aérea e o teor e a  
21 produção de flavonoides totais e rutina e aspectos agronômicos: matéria fresca e seca, diâmetro  
22 do caule, altura da planta, número de ramos e folhas da planta, produção de grãos maduros a  
23 13% de umidade e peso de 1000 grãos maduros a 13% de umidade.

24

## 25 **Preparação dos extratos para a determinação do teor de flavonoides totais e rutina**

26

27 O extrato foi preparado com metanol (10 mL, 80% v/v em água) e amostra de trigo  
28 previamente pulverizada em moinho (2 g). A mistura foi mantida em agitação por 6 h, no  
29 agitador orbital, em temperatura ambiente e no escuro. Posteriormente, o material foi  
30 centrifugado a 4000 rpm por 10 min. O sobrenadante foi retirado, filtrado em papel filtro (11 cm  
31 e 4-12µM) e armazenado na geladeira (5° C).

32

33

34

## 1 **Determinação do teor e produção de flavonoides totais**

2

3 A metodologia foi adaptada de Pękal e Pyrzyka (2014). A amostra foi preparada  
4 adicionando solução aquosa de  $\text{AlCl}_3$  (5 mL 1% v/v em água), água destilada (7 mL) extrato  
5 metanólico (1 mL). A mistura foi agitada em vórtex por 20 segundos, deixada em repouso por 10  
6 min, no escuro sob temperatura ambiente. A leitura foi realizada no espectrofotômetro ( $\lambda = 430$   
7 nm), sendo o branco a água destilada.

8 O teor de flavonoides foi determinado em mg de rutina por g de matéria seca da amostra  
9 ( $\text{mg g}^{-1}$  MS), a partir da equação obtida pela leitura do padrão de rutina:  $y = 29,62x + 0,05$  ( $r^2 =$   
10  $0,995$ ), sendo “y” a absorbância e “x” a concentração de rutina ( $\text{mg mL}^{-1}$ ). E a produção de  
11 flavonoides por planta foi estimada, a partir da equação:  $y$  ( $\text{mg planta}^{-1}$ ) = teor de flavonoides  
12 ( $\text{mg g}^{-1}$  MS) x matéria seca (g), sendo “y” a produção de flavonoides por planta.

13

## 14 **Determinação do teor e produção de rutina por CLAE-DAD**

15

16 O teor de rutina foi determinado a partir da adaptação de Zhai *et al.* (2018). Os extratos  
17 metanólicos foram diluídos para a concentração de 1 mg de matéria seca por mL de metanol,  
18 filtrados em membrana de TEFLON, (0,22  $\mu\text{m}$ ), estéril e hidrofóbica. Posteriormente, foram  
19 injetados no sistema de cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) Shimadzu Technologies,  
20 com detector de compostos de arranjo de diodos (DAD), em coluna VP-ODS C18 (250 x 4,6 mm  
21 d.i, 5  $\mu\text{m}$ ). Foram utilizadas duas fases móveis: acetonitrila (A) e água acidificada com ácido  
22 fosfórico a 0,5% (B). A fase móvel inicial foi de 80% de B, em gradiente linear, com 70% de B  
23 em 10 min, aos 25 min retomou à composição inicial até os 35 min, quando as corridas foram  
24 encerradas. O volume caudal foi de  $0,9 \text{ mL min}^{-1}$ , com temperatura da coluna de  $30^\circ \text{C}$  e volume  
25 de injeção da amostra de 1  $\mu\text{L}$ . As corridas foram realizadas entre 190 e 450 nm. Os picos dos  
26 cromatogramas foram integrados ao  $\lambda = 350 \text{ nm}$ . A comparação foi feita com padrão de rutina,  
27 baseando-se no tempo de retenção e no espectro ultravioleta.

28 O teor foi medido em mg de rutina por g de matéria seca da amostra ( $\text{mg g}^{-1}$  MS),  
29 baseado na equação obtida pela leitura do padrão de rutina:  $y = 20000000x - 793,71$  ( $r^2=0,998$ ),  
30 sendo “y” a absorbância e “x” a concentração de rutina ( $\text{mg mL}^{-1}$ ). E a produção de rutina foi  
31 estimada, a partir da equação:  $y$  ( $\text{mg planta}^{-1}$ ) = teor de rutina ( $\text{mg g}^{-1}$  MS) x matéria seca (g),  
32 sendo “y” a produção de rutina por planta.

33

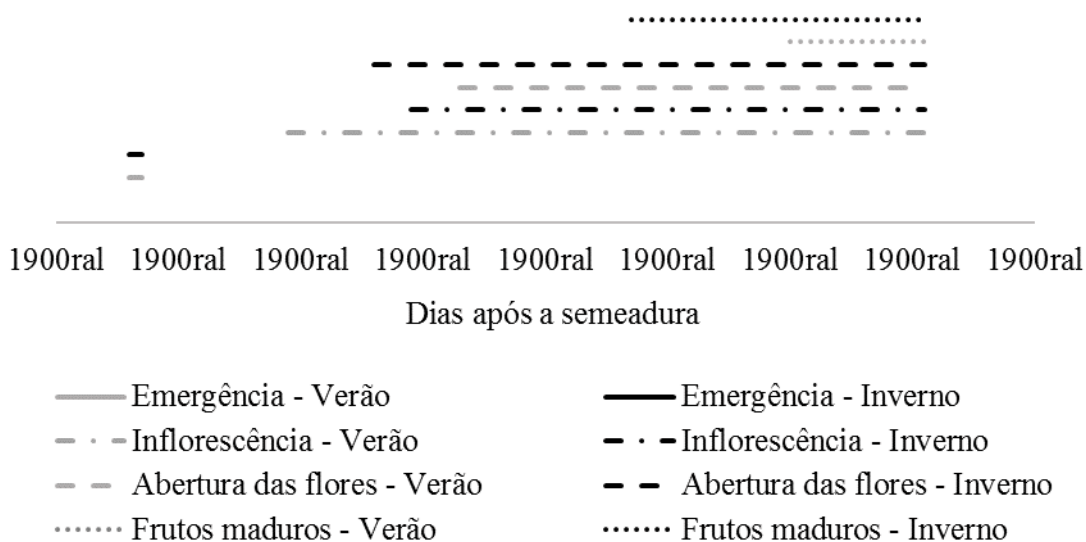
34

## 1 **Análises estatísticas**

2  
3 Foi realizada análise conjunta, usando o modelo de esquema fatorial simples,  
4 considerando a análise de variância a 5% de significância pelo teste F e, quando significativa, foi  
5 conduzida à análise de regressão em função da densidade de semeadura. Foram ajustadas  
6 regressões lineares e quadráticas. Para a seleção do modelo, foram consideradas as significâncias  
7 dos coeficientes de regressão a 5% e 1% de significância pelo teste t para as épocas, utilizando o  
8 pacote ExpDes.pt no software R-3.2.2 (2014).

## 10 **Resultados e Discussão**

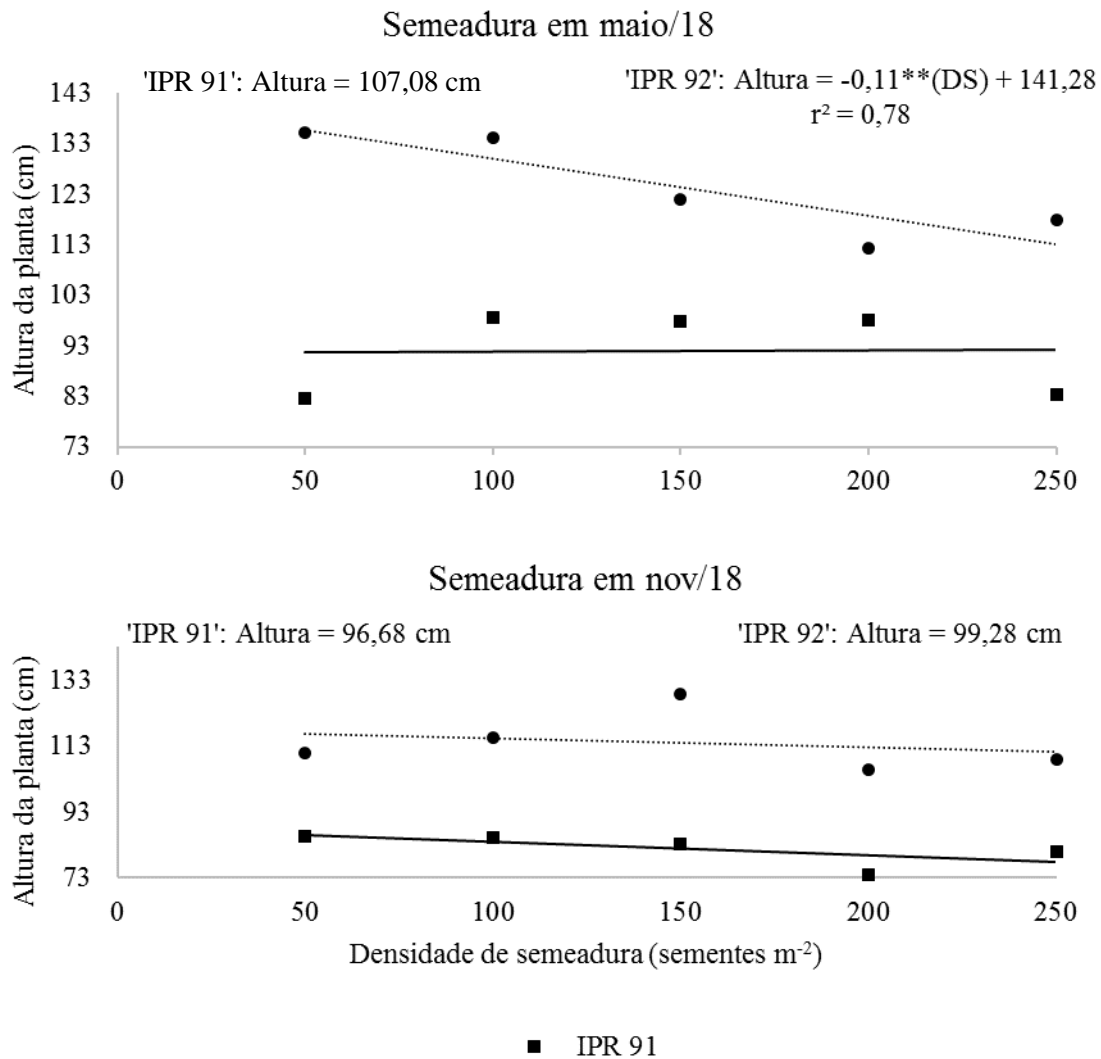
11  
12 O primeiro experimento, para a avaliação da parte aérea completa, de flavonoides e  
13 rutina, foi colhido em julho de 2018 (68 dias) e o segundo em janeiro de 2019 (55 dias). Para a  
14 avaliação dos frutos, o primeiro experimento foi colhido em julho de 2018 (71 dias) e o segundo  
15 em janeiro de 2019 (58 dias), portanto a semeadura em novembro diminui em 13 dias a colheita.  
16 O cultivo de trigo-mourisco no Brasil teve o ciclo mais curto em comparação ao cultivo, no  
17 inverno e verão, do Sul da Itália (Siracusa *et al.*, 2017). De toda forma, os ciclos de trigo-  
18 mourisco, cultivados no Brasil nas duas épocas, foram menores. Cultivares canadenses,  
19 cultivadas na Argentina sob temperaturas variando entre 14° C e 30° C, tiveram ciclos similares  
20 (69 – 78 dias) (Guglielmini *et al.*, 2019). A duração das fenofases estão na Figura 2.



21  
22 **Figura 2** – Duração das fenofases das cultivares ‘IPR 91’ e ‘IPR 92’ de *Fagopyrum esculentum*,  
23 cultivadas em duas épocas (inverno e verão de 2018), em Montes Claros, Minas Gerais, Brasil

1 A altura de plantas (AP) apresentou interação entre a variedade (Anexo 1a), a densidade  
 2 das sementes e a época de semeadura, porém os coeficientes angulares não foram significativos  
 3 (Figura 3). A cultivar ‘IPR’ 92 é mais alta que a ‘IPR’ 91, corroborando com a descrição  
 4 comercial das cultivares. A AP (74,84 – 105,77 cm) de trigo-mourisco cultivado em diferentes  
 5 densidades de semeadura na China, sob adubação nitrogenada (Fang *et al.*, 2018); foi  
 6 semelhante à AP apresentada neste trabalho (57,36 – 144,80 cm).

7



8

9

10 **Figura 3** – Altura da planta de cultivares de *Fagopyrum esculentum* (‘IPR 91’ e ‘IPR 92’),  
 11 cultivadas no verão (novembro) e inverno (maio) de 2018, em Minas Gerais, Brasil

12

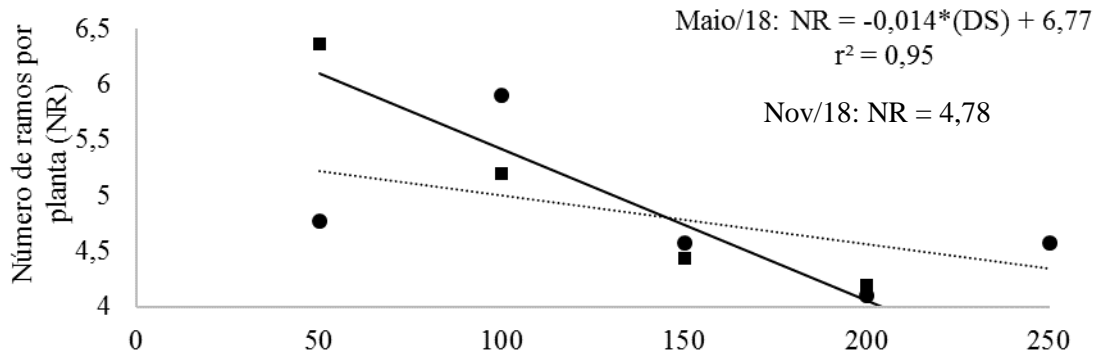
13 DS: densidade de semeadura. \*Coeficiente significativo pelo teste t ( $p \leq 0,01$ ).

14

15 O peso de mil grãos (PMG) ( $18,25 \pm 9,16$  g) não apresentou diferença estatística  
 16 significativa (Anexo 1a), assim como aconteceu no estudo conduzido por Xiang *et al.* (2016), ao  
 17 avaliarem trigo-mourisco, cultivado em épocas e densidades de semeadura diferentes na

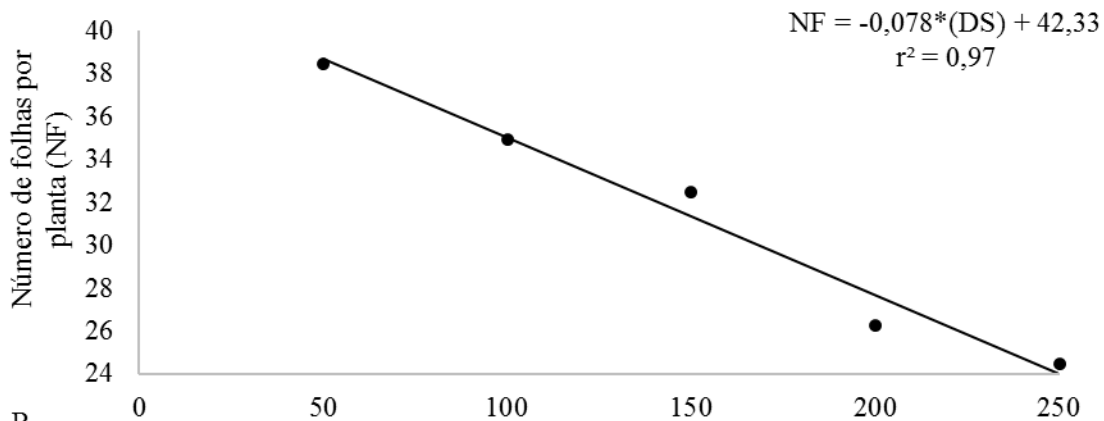
1 Província de Sichuan, China. O número de ramos por planta (NR), na semeadura de novembro  
 2 ( $4,78 \pm 1,33$ ) (Figura 4), a produtividade de grãos (PG) ( $1,09 \pm 1,21 \text{ t ha}^{-1}$ ) e o acamamento (AC)  
 3 ( $35,87 \pm 29,12\%$ ) não apresentaram diferenças estatísticas significativas em função da densidade  
 4 de semeadura (Anexo 1a).

5



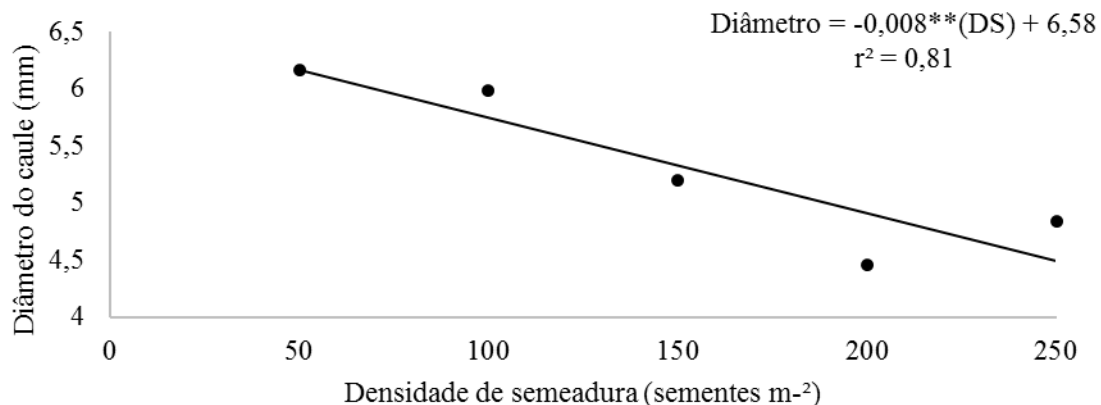
6

A ■ mai/18 ● nov/18



7

B



8

C

9 **Figura 4** – Atributos agrônômicos das cultivares ‘IPR 91’ e ‘IPR 92’ de *Fagopyrum esculentum*  
 10 (Moench), cultivadas em Minas Gerais, Brasil, em função da densidade de semeadura  
 11 (DS) e época de semeadura (maio e novembro de 2018). Número de ramos por planta  
 12 (NR) (A), número de folhas por planta (NF) (B) e diâmetro do caule (C)

1  
2 \*\*\*Coeficientes significativos pelo teste t ( $p \leq 0,01$ ).  
3

4 O PMG (2,01 – 2,15 g) do trigo-mourisco, cultivado na Província de Sichuan, China  
5 (Xiang *et al.* 2016), foi menor que o obtido no presente estudo. Em contrapartida, o PMG do  
6 atual trabalho foi inferior ao PMG de trigo-mourisco obtido em outros cultivos na China, ao ser  
7 cultivado em solos adubados com selênio (PMG = 24,7 – 28,1 g) (Jiang *et al.*, 2018) e sob  
8 adubação nitrogenada, com densidades de semeadura diferentes (PMG = 20,42 – 26,17 g) (Fang  
9 *et al.*, 2018). Também, os resultados foram inferiores aos observados em variedades de trigo-  
10 mourisco cultivadas na Turquia (PMG = 19,98 e 21,74 g) (Unal *et al.*, 2017) e, em duas épocas  
11 do ano, sob estresse hídrico na Itália (PMG = 16 e 26 g) (Siracusa *et al.*, 2017). Os resultados de  
12 PG (entre 1,41 e 1,13 t ha<sup>-1</sup>) do estudo realizado por Fang *et al.* (2018) foram maiores que os  
13 resultados deste trabalho. A PG e o PMG podem ter se diferido dos demais, pela metodologia  
14 utilizada, pois a umidade dos grãos considerada neste estudo foi de 13%, que é a ideal  
15 estabelecida para o trigo comum (EMBRAPA, 2014), uma vez que a umidade ideal para trigo-  
16 mourisco ainda não foi determinada. Os trabalhos usados, para a comparação, não especificaram  
17 o teor de umidade, sugerindo que ela não foi padronizada, portanto diferentes.

18 A altura e produtividade de grãos por planta de trigo-mourisco são influenciadas pela  
19 época de semeadura, com incrementos de até 1,9 g de grãos por planta, assim como a duração  
20 entre os estágios fenológicos, provavelmente pela diferença do fotoperíodo entre as estações  
21 (Arduini, Masoni e Mariotti, 2015). Esse fato justifica as diferenças nos parâmetros que foram  
22 influenciados pela época de colheita e o adiantamento da colheita em 13 dias. Porém um estudo  
23 com trigo-mourisco sugere que a transmitância de luz está relacionada à resistência das plantas  
24 ao AC, aumentá-la pode também aumentar a resistência ao AC ou o AC acontecer, após a  
25 maturidade das plantas, implicando na não influência no resultado do AC e da PG, como teria se  
26 tivesse acontecido no estágio anterior (Xiang *et al.*, 2016). Ou seja, a densidade das plantas pode  
27 não ter sido suficiente para que a transmitância luminosa causasse efeito nos resultados do AC e  
28 na PG e PMG.

29 No atual estudo, o diâmetro do caule (DC) e o número de folhas (NF) foram  
30 influenciados pela densidade de semeadura (Figura 4). O DC, o NF e o NR da semeadura, em  
31 maio, tiveram comportamentos lineares significativos em função da densidade de semeadura. Em  
32 um estudo com trigo, o DC diminuiu, à medida que a densidade de semeadura aumentou, o que  
33 se deve, principalmente, à diminuição de lignina na parede celular (Zheng *et al.*, 2017).

34 O DC (2,44 – 3,85 mm) relatado por (Fang *et al.*, 2018) foi inferior. O DC de *Fagopyrum*  
35 *tataricum* (4,14-5,88 mm), cultivado em duas épocas de semeadura na China (Xiang *et al.*, 2019)



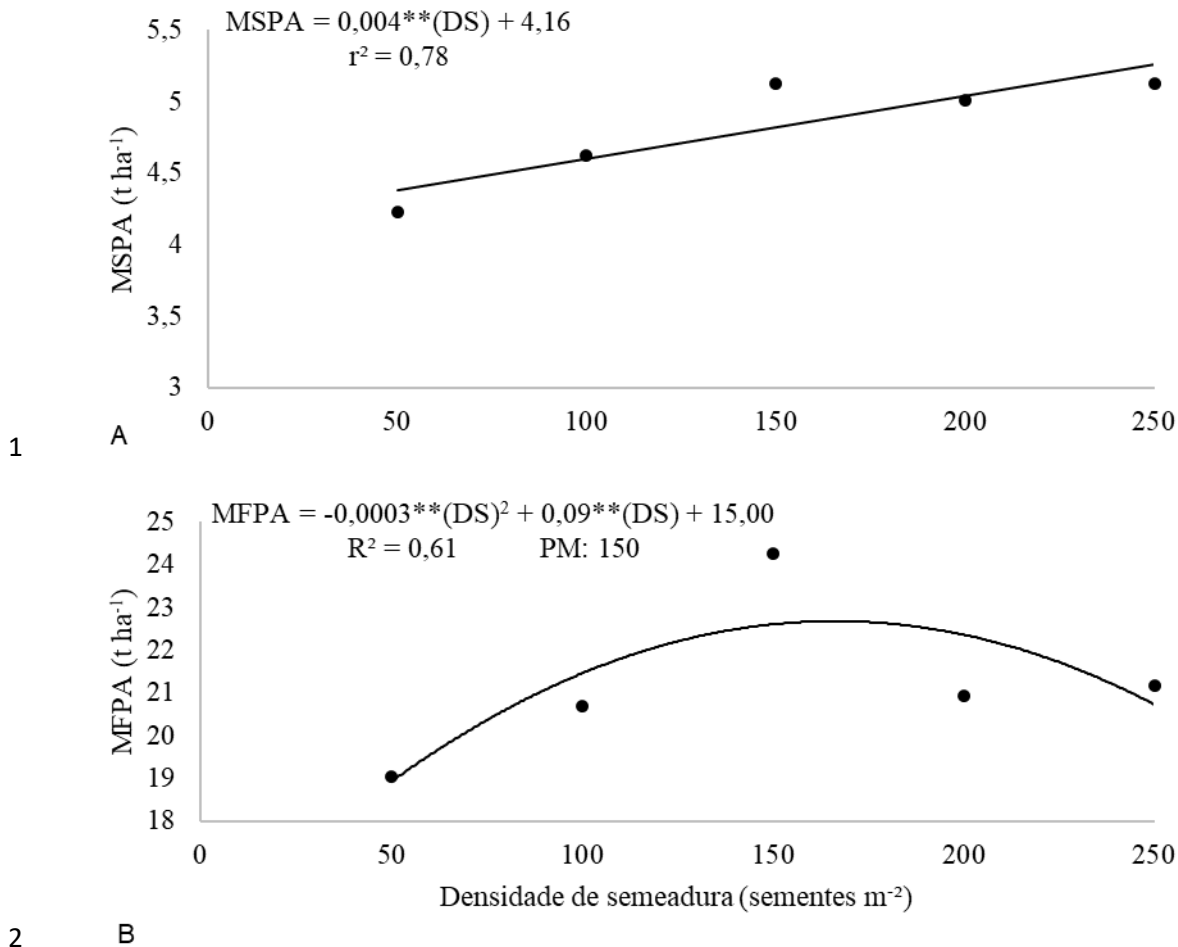
1 e de trigo-mourisco (3,43 – 4,49 mm), proveniente do Cazaquistão e da Turquia, cultivados na  
2 Turquia (Unal *et al.*, 2017), foram semelhantes aos resultados do presente estudo.

3 O NR do trigo-mourisco referente ao presente estudo foi maior que o NR (3,25 – 4,14) de  
4 plantas cultivadas na China por Fang *et al.* (2018). O NF teve menor variação, em relação aos  
5 resultados relatados (0 – 140) por Aubert *et al.* (2020), ao cultivar a espécie em Amsterdam, sob  
6 influência de diferentes temperaturas, porém as contagens das folhas foram realizadas, a cada 10  
7 dias e somadas na colheita, o que pode justificar a amplitude dos dados. Linhagens de trigo-  
8 mourisco, plantadas em Uttarakhand, Índia, apresentaram menor NF (23,93) que no atual  
9 trabalho (Bisht *et al.*, 2018a). A maioria dos resultados, referentes ao NF no presente estudo,  
10 corroborou com o NF (20 e 30) de cultivares de trigo-mourisco, plantadas também em  
11 Uttarakhand, Índia por (Bisht *et al.*, 2018b).

12 Usar maior densidade de sementeira é uma estratégia para aumentar a PG, mas,  
13 geralmente, diminui a resistência ao AC, o que pode atrapalhar o rendimento (Xiang *et al.*,  
14 2016). Quanto maior a densidade de sementeira, menor a transmitância luminosa e o DC e maior  
15 a competição entre as plantas, a AP, o AC e a PG (Xiang *et al.*, 2016). Em estudo com trigo-  
16 mourisco cultivado em Chongqing, China, ao diminuir a densidade de sementeira, aumentou o  
17 teor de lignina nas paredes celulares e a resistência do trigo-mourisco ao acamamento (Wang *et*  
18 *al.*, 2015).

19 Quanto à produção de biomassa, a matéria fresca da parte aérea (MFPA) teve  
20 comportamento quadrático em função da densidade de sementeira e a matéria seca da parte aérea  
21 teve comportamento linear (Figura 5).

22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33



3 **Figura 5** – Atributos agrônômicos das cultivares ‘IPR 91’ e ‘IPR 92’ de *Fagopyrum esculentum*  
 4 (Moench), cultivadas em Minas Gerais, Brasil, em função da densidade de semeadura  
 5 (DS). Matéria seca da parte aérea (MSPA) (A) e Matéria fresca da parte aérea (MFPA)  
 6 (B)

7  
 8 \*\*Coeficientes significativos pelo teste t ( $p \leq 0,01$ ).

9  
 10 A produtividade de MSPA deste trabalho foi superior ao do estudo realizado por  
 11 Guglielminia *et al.* (2019) (4,05 - 4,10 t ha<sup>-1</sup>), ao estudar o desenvolvimento do trigo-mourisco  
 12 sombreado em dois ciclos na Argentina e à MSPA (2,90 – 4,67 t ha<sup>-1</sup>) do trigo-mourisco  
 13 cultivado na Província de Sichuan, China (Xiang *et al.* 2016). Além disso, a produtividade de  
 14 MSPA, apresentada no presente trabalho, foi maior que a média nacional e mundial. A  
 15 produtividade de trigo-mourisco mundial, em 2017/2018, foi de 1,11 t ha<sup>-1</sup>, com a França (3,52 t  
 16 ha<sup>-1</sup>) liderando a lista de países mais produtivos e a República da Maldivas (0,36 t ha<sup>-1</sup>) como o  
 17 país menos produtivo. O Brasil (1,36 t ha<sup>-1</sup>) está na 5<sup>a</sup> posição. Considerando a produção em  
 18 toneladas, o Brasil (131177 t) ocupa a 9<sup>a</sup> posição, sendo a China (2582280 t) o primeiro país da  
 19 lista (FAO, 2019). Os resultados deste trabalho reforçam que o trigo-mourisco tem condições

1 favoráveis, para ser cultivado no Brasil com alta performance de rendimento e reforça também a  
 2 importância de estudar e melhorar a espécie, para que o Brasil seja referência de produção de  
 3 trigo-mourisco e que ela seja mais eficiente, pois é possível obter maior produtividade em  
 4 condições tropicais. Melhora, assim, a economia e o agronegócio no país, exportando mais e  
 5 contribuindo para que a espécie seja mais uma “commodity”, com a possibilidade de agregar  
 6 valor ao produzir flavonoides e a farinha sem glúten no país.

7 A MSPA das duas cultivares e a PG da ‘IPR 91’ foram maiores no cultivo do inverno. O  
 8 NF e o NR da ‘IPR 92’ foram maiores no cultivo do verão. A MSPA, em ambas as épocas de  
 9 semeadura, e o NF, referentes à cultivar ‘IPR 92’, foram maiores que os valores da cultivar ‘IPR  
 10 91’ (Tabela 2). Para melhor aproveitamento da PG e da MSPA, o cultivo no inverno e a ‘IPR 92’  
 11 são mais recomendados.

12  
 13 **Tabela 2** – Avaliação de parâmetros de cultivares de *Fagopyrum esculentum* (Moench)  
 14 cultivadas em duas épocas em Minas Gerais, Brasil

Época de semeadura	Número de folhas		Matéria seca da		Número de ramos		Produtividade de grãos	
	planta <sup>-1</sup>		parte aérea (t ha <sup>-1</sup> )		planta <sup>-1</sup>		(t ha <sup>-1</sup> )	
	‘IPR 91’	‘IPR 92’	‘IPR 91’	‘IPR 92’	‘IPR 91’	‘IPR 92’	‘IPR 91’	‘IPR 92’
Maio/18	29,33Aa	24,37Ba	5,50Ab	6,28Aa	5,28Aa	4,19Bb	2,38Aa	0,87Ab
Nov/18	32,31Ab	39,28Aa	2,78Bb	4,73Ba	4,56Aa	5,00Aa	0,71Ba	0,43Aa

15 Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas, dentro da mesma variável, não diferem entre si pelo teste F  
 16 ( $p \leq 0,05$ ).

17  
 18 O DC e a MFPA da ‘IPR 92’ foram maiores em comparação à ‘IPR 91’ e o AC e a  
 19 MFPA foram mais elevados nas plantas cultivadas no inverno (Tabela 4).

20  
 21 **Tabela 3** – Avaliação de parâmetros de cultivares de *Fagopyrum esculentum* (Moench)  
 22 cultivadas em duas épocas em Minas Gerais, Brasil

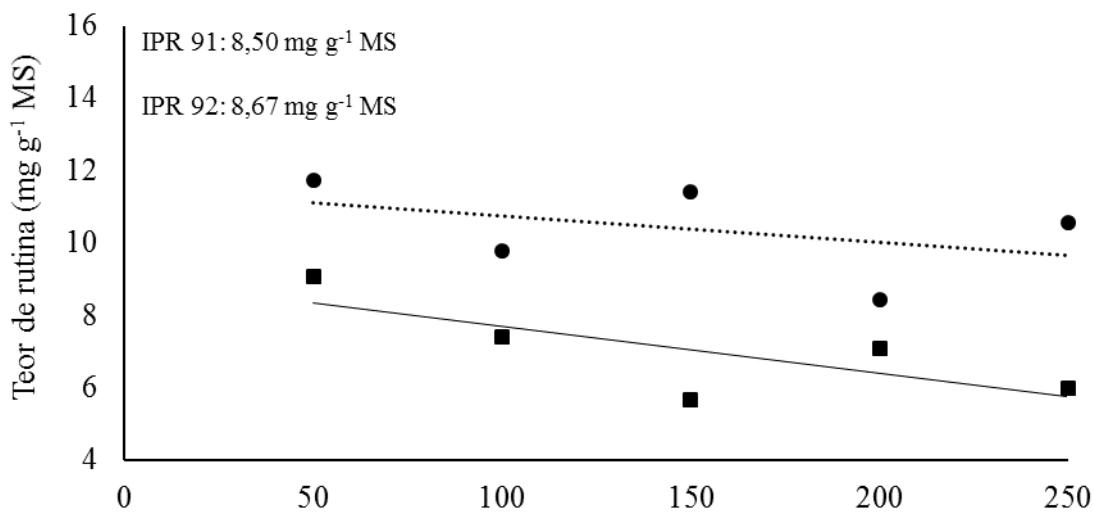
Parâmetros	Época de semeadura		Cultivares	
	maio/18	nov/18	‘IPR 91’	‘IPR 92’
Diâmetro do caule (mm)	5,13a	5,53a	5,02b	5,63a
Matéria fresca da parte aérea (t ha <sup>-1</sup> )	25,74a	16,68b	15,80b	26,62a
Acamamento (%)	57,61a	14,13b	32,28a	39,47a
Peso de mil grãos (g)	19,42a	17,08a	19,48a	17,02a

23 Médias seguidas de mesma letra nas linhas dentro do mesmo fator não diferem entre si pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ).

24

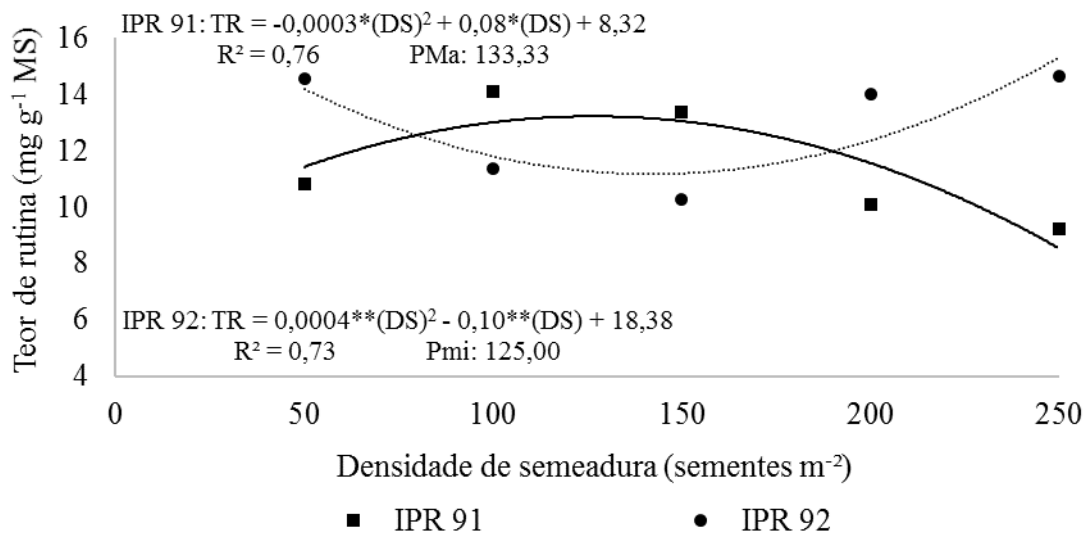
1 O teor de flavonoides totais (TFT) e o teor de rutina (TR) tiveram interação entre época e  
 2 densidade de sementeira e cultivares (Anexo 1a). A resposta do TR das duas cultivares semeadas  
 3 em novembro foi quadrática (Figura 6) e ambas as cultivares, semeadas em maio, não  
 4 apresentaram diferença significativa ( $8,70 \pm 2,82$  mg de rutina por  $\text{g}^{-1}$  de matéria seca). A  
 5 resposta do TFT de ambas as cultivares, semeadas em maio, e da 'IPR 92', semeada em  
 6 novembro, foi quadrática e da 'IPR 91', semeada em novembro, não houve diferença  
 7 significativa ( $9,90 \pm 1,72$  mg de rutina por  $\text{g}^{-1}$  de matéria seca) (Figura 7).  
 8

### Semeadura em maio/2018



9

### Semeadura em nov/18

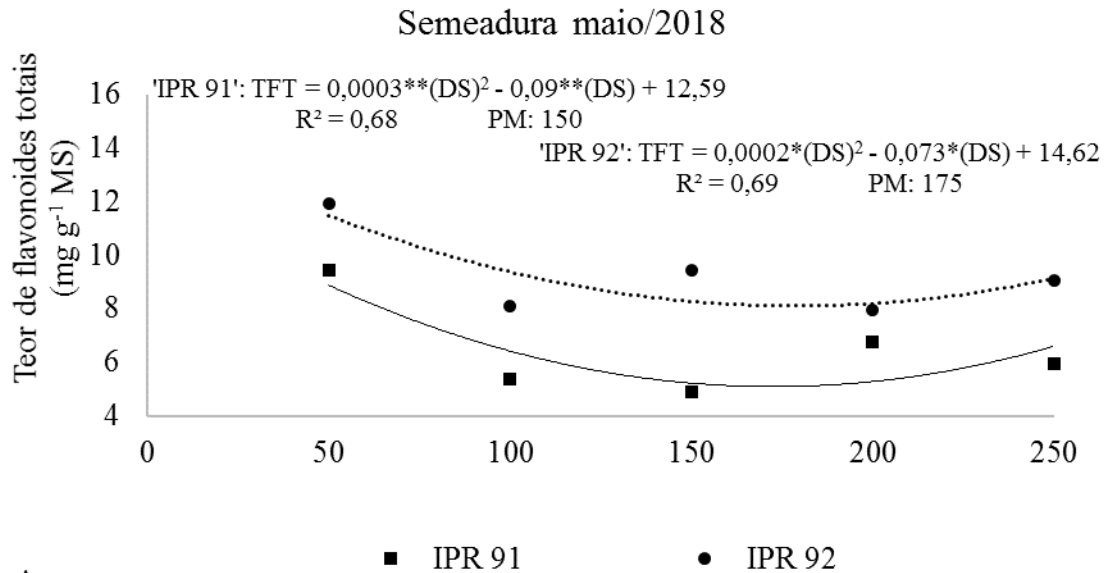


10

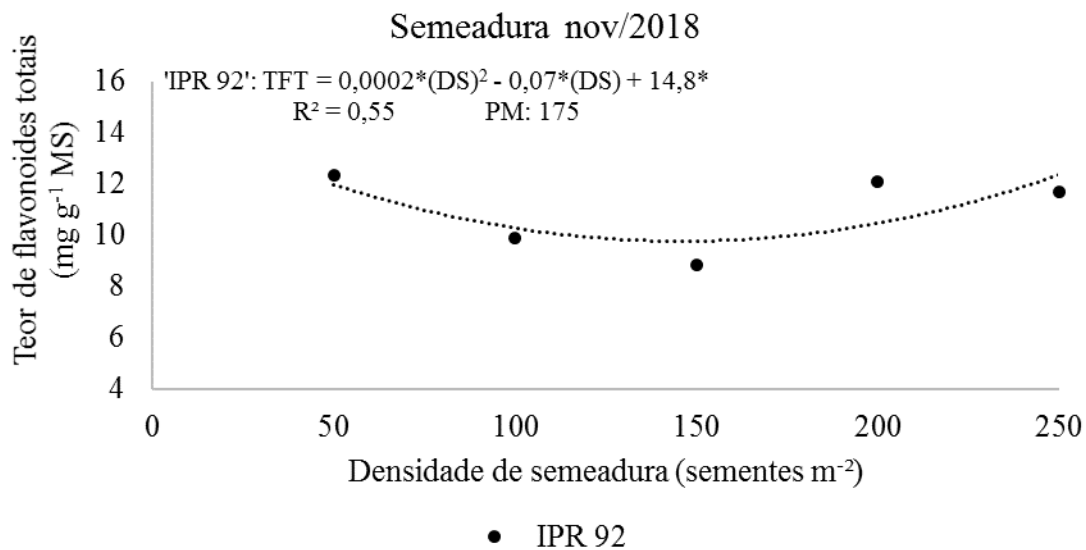
11 **Figura 6** – Teor de rutina (TR) em função da densidade de sementeira de cultivares ('IPR 91' e  
 12 'IPR 92') de *Fagopyrum esculentum* (Moench) cultivadas no verão e inverno em Minas  
 13 Gerais, Brasil  
 14

1 MS: matéria seca. PMi: ponto de mínima em sementes por metro quadrado. PMA: ponto de máxima em sementes por metro quadrado.  
 2 \*\*Coeficientes significativos pelo teste t a 1% de significância. \*Coeficientes significativos pelo teste t a 5% de significância.

3  
4



5 A



6 B

7 **Figura 7** – Teor de flavonoides totais (TFT) em função da densidade de semeadura (DS) de  
 8 cultivares de *Fagopyrum esculentum* (Moench) semeadas em maio (A) e novembro (B) de 2018  
 9 em Minas Gerais, Brasil

10

11 MS: matéria seca. PM: ponto de mínima em sementes por metro quadrado. \*\*Coeficientes significativos pelo teste t a 1% de significância.  
 12 \*Coeficientes significativos pelo teste t a 5% de significância.

13

14 Essas diferenças podem ser explicadas pela intensidade luminosa e capacidade protetora  
 15 dos flavonoides quando à radiação UV-B. Quando submetidas a diferentes densidades de

1 semeadura, plantas que estão em menor densidade tendem a receber maior radiação em  
2 comparação àquelas que estão em maior densidade, o que pode interferir no acúmulo de  
3 flavonoides totais e rutina. Os compostos secundários são defesas das plantas quando recebem  
4 estímulos bióticos e abióticos (Zhao *et al.*, 2014). Os flavonoides são como o filtro solar nas  
5 plantas e aumentam quando elas são submetidas à alta radiação UV-B (Stracke *et al.*, 2010). Por  
6 isso, quando há radiação luminosa, os flavonoides totais e a rutina aumentam nas plantas (Hao *et*  
7 *al.*, 2009; Tsurunaga *et al.*, 2013). A rutina age como absorvente ultravioleta e antioxidante,  
8 suavizando os efeitos negativos causados pela radiação UV-B (Suzuki *et al.*, 2002; Zhao *et al.*,  
9 2014).

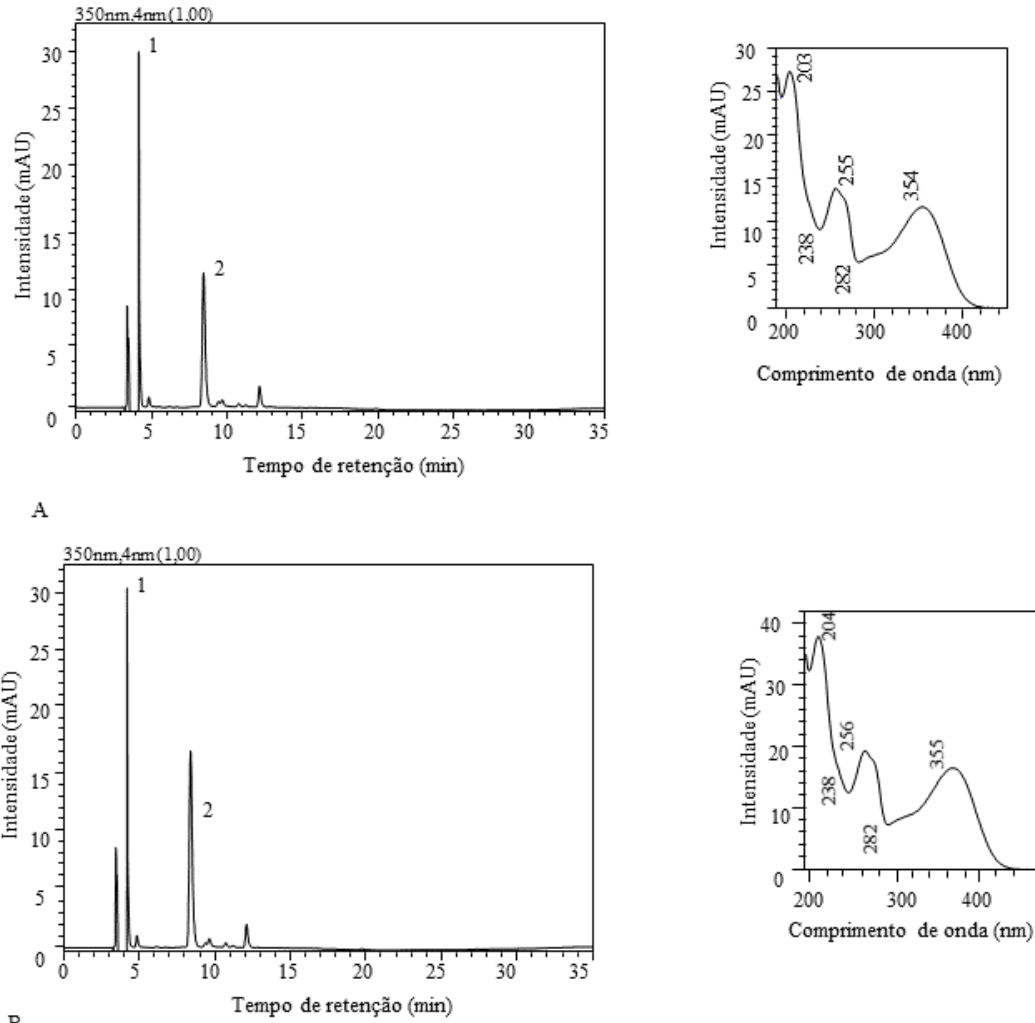
10       Maior radiação solar causa o aumento da rutina em *F. esculentum* (Dražić *et al.*, 2016),  
11 assim como maiores temperaturas diminuem o ciclo da espécie (Guglielmini *et al.*, 2019). A alta  
12 temperatura induz o aumento de flavonoides, por causa do estresse oxidativo sofrido pela planta  
13 e pelo aumento da quantidade de flores e inflorescências (Aubert *et al.*, 2020), que são os órgãos  
14 com maior quantidade de flavonoides (Xiaohua *et al.*, 2010).

15       Além desses fatores, a cultivar e a época de plantio do trigo-mourisco interferem na  
16 composição dos flavonoides e na atividade antioxidante (Oomah & Mazza, 1996). Estudos como  
17 esse são importantes para que sejam desenvolvidas cultivares e formas de cultivo para alcançar  
18 alto teor e produção de flavonoides e que eles sejam estáveis ao longo do ano e por sucessivas  
19 plantações (Oomah & Mazza, 1996).

20       Os perfis químicos das cultivares de *F. esculentum*, cultivadas em 2018, em função  
21 densidade de semeadura, e o espectro de rutina, na região ultravioleta, estão na Figura 8. Os  
22 perfis e o espectro obtidos foram semelhantes para as duas cultivares e apresentaram poucos  
23 ruídos e picos bem definidos.

24

25



1  
2 **Figura 8** – Cromatogramas obtidos por cromatografia líquida de alta eficiência com arranjo de  
3 diodos,  $\lambda = 350$  nm, das cultivares ‘IPR 91’ (A) e ‘IPR 92’ (B) de *Fagopyrum*  
4 *esculentum* (Moench), cultivadas em Minas Gerais, Brasil e os respectivos espectros de  
5 rutina na região ultravioleta

6  
7 Pico 1: solvente metanol e pico 2: rutina.  
8

9 A produtividade de flavonoides totais (PFT) ( $42,63 \pm 17,87$  kg ha<sup>-1</sup>) e de rutina (PR)  
10 ( $48,39 \pm 20,71$  kg ha<sup>-1</sup>), em função da densidade de semeadura, não apresentaram diferença  
11 significativa em função da densidade de semeadura. A PFT e a PR também apresentaram  
12 diferença estatística, em relação às cultivares, visto que a ‘IPR 92’ apresentou maior produção  
13 em comparação à ‘IPR 91’ (Tabela 4).  
14  
15  
16

1 **Tabela 4** – Avaliação de parâmetros de cultivares de *Fagopyrum esculentum* (Moench)  
 2 cultivadas em duas épocas em Minas Gerais, Brasil

Parâmetros	Época de semeadura		Cultivares	
	Mai/18	Nov/18	‘IPR 91’	‘IPR 92’
Produtividade flavonoides totais (kg ha <sup>-1</sup> MS)	46,42a	38,85a	30,91b	54,36a
Produtividade rutina (kg ha <sup>-1</sup> MS)	51,67a	45,12a	34,36b	62,43a

3 Médias seguidas de mesma letra nas linhas dentro do mesmo fator não diferem entre si pelo teste F a 5% de significância. MS: matéria seca.

4  
 5 Considerando a PFT e a PR, a densidade de sementes não interferiu na produção (Anexo  
 6 1a), portanto o mais indicado é semear 50 sementes m<sup>-2</sup>, pois resultará em menor quantidade de  
 7 sementes e menor mão de obra, o que reduz os custos de produção. Em relação às cultivares,  
 8 para esses parâmetros, a ‘IPR 92’ teve melhor desempenho que a ‘IPR 91’. Se for necessário  
 9 escolher somente uma época de cultivo, baseando-se na PFT e na PR, em cultivo não irrigado ou  
 10 com irrigação, com o intuito de diminuir custos, o ideal é fazer o plantio no verão (semeadura em  
 11 novembro), para aproveitar as chuvas, uma vez que não houve diferença estatística entre as  
 12 épocas para esses parâmetros, além da colheita ter sido adiantada em 13 dias.

13 O TFT deste trabalho foi menor que em outro estudo, com raízes da espécie, inoculadas  
 14 com *Agrobacterium rhizogenes*, por Gabr *et al.* (2019) (20 - 50 mg g<sup>-1</sup> MS), entre eles, a rutina  
 15 (9,29 mg g<sup>-1</sup> MS). Esse composto também foi detectado, na parte aérea (2,61 - 8,63 mg g<sup>-1</sup> MS),  
 16 sendo menor que o TR neste trabalho (Fig. 2). No trabalho avaliando grãos de origem europeia,  
 17 houve 0,5 – 4,5 mg g<sup>-1</sup> MS de flavonoides totais e 0,03 – 1,51 mg g<sup>-1</sup> MS de rutina (Kiproviski *et*  
 18 *al.*, 2015), valores inferiores aos deste trabalho (Fig.1 e Fig.2). O TR neste trabalho corrobora  
 19 com o estudo feito por Bai *et al.* (2015) (1 – 13 mg g<sup>-1</sup> MS), em sementes de *Fagopyrum spp.*  
 20 provenientes do México, da Alemanha, da China, do Butão e da República Tcheca.

21 Em estudo de quantificação de flavonoides de flores e folhas de cultivares eslovenas de  
 22 trigo-mourisco, o TR (10 e 120 mg g<sup>-1</sup> MS) foi maior (Ladan *et al.*, 2017). Em sementes de  
 23 *Fagopyrum tataricum* foi observada variação de 0,16 – 6,01 mg g<sup>-1</sup> MS de TR (Kalinová *et al.*,  
 24 2018). Os flavonoides são produtos entre os mais exportados do Brasil, para a indústria  
 25 farmacêutica, correspondendo a 50% de toda a produção do mundo (Sudré *et al.*, 2011). A rutina  
 26 e seus derivados, exportados e importados, custaram, em média, 35,47 USD kg<sup>-1</sup> entre 2015 e  
 27 2019 (MDIC, 2020).

28 O TR foi maior que o TFT, por causa do método de quantificação de ambos. O TR foi  
 29 medido pela CLAE e o TFT foi medido pela espectrofotometria; o primeiro é um método mais  
 30 sensível que o segundo, que ainda foi otimizado para a quantificação de rutina (composto de



1 maior importância econômica da espécie). Assim, por mais que o TFT abranja maior número de  
2 flavonoides e esperava-se ser maior que o TR, o TR foi medido por uma técnica mais específica  
3 e sensível para o composto, por isso, o TFT não foi maior que o TR.

4 Em frutos de *Dimorphandra gardneriana* do Cerrado, o TFT foi de  $38,87 \pm 0,51 \text{ mg g}^{-1}$   
5 MS (Nunes *et al.*, 2018); em outro estudo, de nutrição, o TFT foi de  $0,05 - 0,5 \text{ mg g}^{-1}$  MS na  
6 parte aérea das mudas de *Dimorphandra mollis* (Leite *et al.*, 2012). *Dimorphandra* spp. tem o  
7 maior TR comercial entre os vegetais. Porém o gênero é composto por espécies florestais e o  
8 manejo dessas plantas é extrativista, tornando-se necessária a busca por mais fontes vegetais  
9 desse composto e demais flavonoides, para que seja possível atender à demanda industrial. O *F.*  
10 *esculentum* pode ser a alternativa, pois, além de possuir esses compostos, é uma cultura anual e  
11 pode ser produzida o ano inteiro ou em rotação de culturas, sendo possível facilitar o  
12 melhoramento e aumentar a produção de rutina em menor espaço tempo. É importante comparar  
13 o TFT e o TR do *F. esculentum* com o da *Dimorphandra* spp., para direcionar quanto deve ser  
14 produzido da espécie para equivaler ao que pode ser produzido pela *Dimorphandra* spp.  
15 Ressalta-se que os flavonoides obtidos da *Dimorphandra* spp. são apenas dos frutos, em função  
16 do manejo adequado, enquanto os flavonoides do trigo-mourisco, por ser espécie cultivada,  
17 podem ser extraídos de toda a planta, aproveitando melhor a matéria seca e melhorando a  
18 produtividade.

19 Mesmo sendo uma espécie que se desenvolve melhor em climas úmidos e frios com solos  
20 distróficos (Hore & Rathi, 2002, Siracusa *et al.*, 2017), o trigo-mourisco se desenvolveu como o  
21 esperado no Brasil, quanto à produção de flavonoides totais e de rutina e superou as expectativas  
22 quanto à produção da MSPA, ainda que tenha sido adubado somente com fósforo e nitrogênio.  
23 Justifica-se sua domesticação, melhoramento e cultivo, em climas tropicais com estação seca  
24 prolongada e dias mais longos, mesmo que seja irrigado. Outra vantagem do cultivo do trigo-  
25 mourisco é que ele não é atrativo a pragas e doenças (Joshi *et al.*, 2019) e não é originário do  
26 Brasil, diminuindo as chances de pragas que podem atacá-lo. O hábito de crescimento  
27 determinado da espécie e o florescimento sincronizado das plantas tornaria o cultivo mais viável  
28 (Fesenko *et al.*, 2016; Joshi *et al.*, 2019).

29 O trigo-mourisco se desenvolveu melhor que o esperado, quando comparado aos dados  
30 da literatura e da FAO, porém mais estudos são necessários para entender a relação entre os  
31 aspectos agrônômicos e a densidade de semeadura do trigo-mourisco, especialmente, em um país  
32 tropical, como o Brasil, onde há muita variação climática. Os resultados apresentados são  
33 valiosos e este trabalho deve ser usado como referência para futuras investigações a respeito do  
34 melhoramento e manejo de lavouras de trigo-mourisco.

## Conclusões

1. As duas épocas de semeadura (verão e inverno), as cinco densidades de semeadura (50, 100, 150, 200 e 250 sementes  $m^{-2}$ ) e as duas cultivares ('IPR 91' e 'IPR 92') proporcionaram excelentes resultados de trigo-mourisco, tanto para a produção de flavonoides e rutina, quanto para a produção de grãos e biomassa.
2. Os resultados de biomassa obtidos no cultivo estão acima da média brasileira e mundial.
3. Para melhor aproveitamento da produtividade de biomassa, é preferível o cultivo em maio (inverno), utilizar a cultivar 'IPR 92' e semear 250 sementes  $m^{-2}$ .
4. Para maior produtividade de grãos e redução de custo, o ideal é usar a 'IPR 91' e cultivar no inverno, com a densidade de 50 sementes  $m^{-2}$ .
5. Para melhores resultados de flavonoides totais e rutina e redução de custo, é recomendado utilizar a cultivar 'IPR 92' e semear 50 sementes  $m^{-2}$ .

## Agradecimentos

Ao Instituto de Desenvolvimento Rural IAPAR-EMATER pela concessão das sementes. Ao Programa de Educação Tutorial – Agronomia, ao Núcleo de Estudos em Produção e Tecnologia de Cereais, ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal e ao Laboratório de Plantas Medicinais, todos da UFMG pela colaboração. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior -Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001", da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG e do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

## Referências

- ABBASI, R. *et al.* Some preliminary studies on phytochemicals and antioxidant potential of *Fagopyrum esculentum* cultivated in chitral, Pakistan. **The Journal of Animal & Plant Sciences**, v. 25, n. 3, p. 576-579, 2015. Disponível em: <<http://bit.ly/2E39VgL>>. Acessado em: 21 dez. 2017.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.
- ALVAREZ, V. V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em minas gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 25-32p.
- ARDUINI I.; MASONI A.; MARIOTTI M. A growth scale for the phasic development of common buckwheat. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science**, 66:3, 215-228, 2015. <https://doi.org/10.1080/09064710.2015.1087587>
- AUBERT, L.; KONRÁDOVÁ, D.; KEBBAS, S.; BARRIS, S.; QUINET, M. Comparison of high temperature resistance in two buckwheat species *Fagopyrum esculentum* and *Fagopyrum tataricum*. **Journal of Plant Physiology**, 251, 153222, 2020. DOI: 10.1016/j.jplph.2020.153222.
- GABR, A. M.; SYTAR, O.; GHAREEB, H.; BRESTIC, M. Accumulation of amino acids and flavonoids in hairy root cultures of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum*). **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v.25, n.3, p.787-797, 2019. DOI: 10.1007/s12298-019-00669-1.
- BAI, C. Z. *et al.* Rutin, quercetin, and free amino acid analysis in buckwheat (*Fagopyrum*) seeds from different locations. **Genetics and Molecular Research**, v. 14, n. 4, p. 19040-19048, 2015. Disponível em: <<https://bit.ly/2KpGvQv>>. Acessado em: 31 maio 2019.
- BISHT, A. S.; BHATT, A.; JYOTI, B.; SINGH, P. Studies on Morphological and Seed Quality Parameters in Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) Germplasm. **International Journal of Bio-resource and Stress Management**, v. 9, n. 1, p. 49-54, 2018b. 10.23910/IJBSM/2018.9.1.3C0698
- BISHT, A. S.; BHATT, A.; SINGH, P. Studies on variability, correlation and path coefficient analysis for seed yield in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) germplasm. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, Sp. 5, p. 35-39, 2018a. Disponível em: <<https://bit.ly/2Im2xor>>. Acessado em: 31 maio 2019.
- BRANT, R. S.; PINTO, J. E. B. P.; BERTOLUCCI, S. K. V.; ALBUQUERQUE, C. J. B. Teor do óleo essencial de cidrão [*Aloysiatriphylla* (LHér) Britton] em função da variação sazonal. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 10, n. 2, p. 83-88, 2008. Disponível em: <<http://bit.ly/2CNBIFJ>>. Acessado em: 5 jan. 2018.

DRAŽIĆ, S. *et al.* Effect of environment of the rutin content in leaves of *Fagopyrum esculentum* Moench. **Plant Soil and Environment**, v. 62, n. 6, p. 261-265, 2016. Disponível em: <<http://bit.ly/2m5cmsm>>. Acessado em: 5 jan. 2018.

EMBRAPA, 2014. Cultivo de trigo: Colheita e pós-colheita. Disponível em: <<https://bit.ly/3nb22MA>>. Acessado em: 11 nov. 2020.

FANG, X. M.; *et al.* Effects of fertilizer application rate and planting density on photosynthetic characteristics, yield and yield components in waxy wheat. **Cereal Research Communications**, v. 46, n. 1, p. 169-179, 2018b. 10.1556/0806.45.2017.058.

FANG, X.; LI, Y.; NIE, J.; WANG, C.; HUANG, K.; ZHANG, Y.; ... & YI, Z. Effects of nitrogen fertilizer and planting density on the leaf photosynthetic characteristics, agronomic traits and grain yield in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* M.). **Field Crops Research**, v. 219, p. 160-168, 2018.

FANG, Z. *et al.* A buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) DRE-binding transcription factor gene, FeDREB1, enhances freezing and drought tolerance of transgenic Arabidopsis. **Plant Molecular Biology Reporter**, v. 33, n. 5, p. 1510-1525, 2015. Disponível em: <<http://bit.ly/2qpcesB>>. Acessado em: 21 dez. 2017.

FAO. **Global Area and Production of Buckwheat**. Disponível em: <<https://bit.ly/3g0p4Ua>>. Acessado em: 02 dez. 2020.

FESENKO, A. N; FESENKO, N. N.; ROMANOVA, O. I.; FESENKO, I. N. Crop evolution of buckwheat in eastern Europe: micro evolutionary trends in the secondary center of buckwheat genetic diversity. In: ZHOU, M.; KREFT, I.; WOO, S-H.; CHRUNGGOO, N.; WIESLANDER, G. (Ed.). **Molecular breeding and nutritional aspects of buckwheat**. Academic Press: Cambridge, 2016. p.99–108. Disponível em: <<https://bit.ly/3nqeTuD>>. Acessado em: 15 nov. 2020.

GIMÉNEZ-BASTIDA, J.A.; PISKUŁA, M.; ZIELIŃSKI, H. Recent advances in development of gluten-free buckwheat products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 44, n.1, p.58-65, 2015. Disponível em: <<http://bit.ly/2EPXXs9>>. Acessado em: 21 dez. 2017.

GONÇALVES, F. M. F. *et al.* *Fagopyrum esculentum* Moench: A crop with many purposes in agriculture and human nutrition. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, n.12, p.983-989, 2016. Disponível em: <<http://bit.ly/2lRQxN1>>. Acessado em: 21 dez. 2017.

GÖRGEN, A. V. *et al.* Productivity and forage quality of buckwheat ("*Fagopyrum esculentum*" Moench) and pearl millet ("*Pennisetum glaucum*" (L.) R. BR). **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.17, n.4, p.599-607, 2016. Disponível em: <<http://bit.ly/2l0otqh>>. Acessado em: 22 dez. 2017.

GUGLIELMINI, A. C.; FORCAT, J.I.; MIRALLES, D.J. The critical period for yield determination in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). **European Journal of Agronomy**, 110, 125933, 2019. DOI: 10.1016/j.eja.2019.125933.

GUPTA, N. *et al.* Expression of flavonoid biosynthesis genes vis-a-vis rutin content variation in different growth stages of *Fagopyrum* species. **Journal of plant physiology**, v.168, n.17, p.2117-2123, 2011. Disponível em: <<http://bit.ly/2lWnV4D>>. Acessado em: 3 jan. 2018.

HORE, F. & RANBIR, S. R. Collection, cultivation and characterization of buckwheat in Northeastern Region of India. **Fagopyrum**, v.19, p.11-15, 2002. Disponível em: <<https://bit.ly/3noPod6>>. Acessado em: 15 nov. 2020.

IBGE. **Montes Claros: Território e ambiente** [dataset]. Disponível em: <<https://bit.ly/3oBYyVa>>. Acessado em: 12 out. 2019.

INMET. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa** [dataset]. Disponível em: <<http://bit.ly/2gTcwCu>>. Acesso em: 07 dez. 2019.

JIANG, Y.; FENG, X.; YANG Y.; QI, X.; REN, Y.; GAO, Y.; LIU, W.; HU, Y.; & ZENG, Z. Performance of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* M.) supplied with selenite or selenate for selenium biofortification in northeastern China. **The Crop Journal**, v. 6, n. 4, p. 386-393, 2018. 10.1016/j.cj.2018.03.003

JOSHI, D. C. *et al.* Revisiting the versatile buckwheat: reinvigorating genetic gain through integrated breeding and genomics approach. **Plant**, v.250, n.3, p.783-801, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00425-018-03080-4>.

KALINOVÁ, J. P.; VRCHOTOVÁ, N.; TRÍSKA, J. Contribution to the study of rutin stability in the achenes of Tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum*). **Food Chemistry**, v.258, p.314-320, 2018. Disponível em: <<https://bit.ly/2MlcyUg>>. Acessado em: 11 maio 2019.

KIPROVSKI, B. *et al.* Comparison of phenolic profiles and antioxidant properties of European *Fagopyrum esculentum* cultivars. **Food chemistry**, v.185, p.41-47, 2015. Disponível em: <<http://bit.ly/2CyKHK5>>. Acessado em: 21 dez. 2017.

KOYAMA, M.; NAKAMURA, C.; NAKAMURA, K. Changes in phenols contents from buckwheat sprouts during growth stage. **Journal of food science and technology**, v.50, n.1, p. 86-93, 2013. Disponível em: <<http://bit.ly/2Coaod2>>. Acessado em: 21 dez. 2017.

LADAN, M. K. *et al.* FT-IR-based method for rutin, quercetin and quercitrin quantification in different buckwheat (*Fagopyrum*) species. **Scientific Reports**, v.7, n.1, p.7226, 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/2WyLIvV>>. Acessado em: 31 maio 2019.

LEITE, G. L. D.; SILVA, F. W. S.; GUANABE, R. E. M.; FERNANDES, L. A.; FIGUEIREDO, L. S.; SILVA, L. F. NPK and flavonoids affecting insect populations in *Dimorphandra mollis* seedlings. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.34, n.1, p.17-22, 2012. DOI: 10.1590/S1807-86212012000100003.

MDIC. **Exportação e Importação Geral – Rutsosídio (rutina) e seus derivados** [S.I.]. Disponível em: <<https://bit.ly/3lB3d7U>>. Acessado em: 15 nov. 2020.

NAGATOMO, Y. *et al.* Purification, molecular cloning and functional characterization of flavonoid C-glucosyltransferases from *Fagopyrum esculentum* M. (buckwheat) cotyledon. **The Plant Journal**, v.80, n.3, p.437-448, 2014. Disponível em: <<http://bit.ly/2CBF51r>>. Acessado em: 21 dez. 2017.

- NUNES, A. R. *et al.* Photoprotective potential of medicinal plants from Cerrado biome (Brazil) in relation to phenolic content and antioxidant activity. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v.189, p.119-123, 2018. DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2018.10.013.
- OOMAH, B. D. & MAZZA, G. Flavonoids and antioxidative activities in buckwheat. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.44, n.7, p.1746-1750, 1996. Disponível em: <<http://bit.ly/2DhGo2i>>. Acessado em: 22 dez. 2017.
- PANCHE, A. N.; DIWAN, A. D.; CHANDRA, S. R. Flavonoids: an overview. **Journal of Nutritional Science**, v.5, 2016. Disponível em: <<https://bit.ly/2JL4R7u>>. Acessado em: 31 maio 2019.
- PEKAL, A. & PYRZYNSKA, K. Evaluation of aluminium complexation reaction for flavonoid content assay. **Food Analytical Methods**, v.7, n.9, p.1776-1782, 2014. Disponível em: <<https://bit.ly/2VObk3a>>. Acessado em: 27 maio 2019.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2014. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acessado em: 21 Nov. 2020.
- SINGH, B., KUMAR, A., & MALIK, A. K. Flavonoids biosynthesis in plants and its further analysis by capillary electrophoresis. *Electrophoresis*, v.38, n.6, p.820-832, 2017. <https://doi.org/10.1002/elps.201600334>
- SIRACUSA, L. *et al.* Effect of sowing time and soil water content on grain yield and phenolic profile of four buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench.) varieties in a Mediterranean environment. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.62, p.1-7, 2017. Disponível em: <<http://bit.ly/2qu4RjG>>. Acessado em: 5 jan. 2018.
- SUDRÉ, C. P.; RODRIGUES, R.; GONÇALVES, L. S.A.; MARTINS, E.R.; PEREIRA, M.G.; SANTOS, M. H. Genetic divergence among *Dimorphandra* spp. accessio using RAPD markers. **Ciência Rural**, v.41, n.4, p.608- 613, 2011. DOI: 10.1590/S0103-84782011005000024.
- SUZUKI, T. *et al.* Purification and characterization of flavonol 3-glucosidase, and its activity during ripening in tartary buckwheat seeds. **Plant Science**, v.163, n.3, p.417-423, 2002. Disponível em: <<https://bit.ly/2ENTIEI>>. Acessado em: 31 maio 2019.
- TSURUNAGA, Y. *et al.* Effects of UV-B irradiation on the levels of anthocyanin, rutin and radical scavenging activity of buckwheat sprouts. **Food chemistry**, v.141, n.1, p.552-556, 2013. Disponível em: <<http://bit.ly/2E5GwCq>>. Acessado em: 21 dez. 2017.
- UNAL, H.; IZLI, G.; IZLI, N.; & ASIK, B. B. Comparison of some physical and chemical characteristics of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) grains. **CyTA-Journal of Food**, v. 15, n. 2, p. 257-265, 2017. <https://doi.org/10.1080/19476337.2016.1245678>.
- WANG, C.; WU, R. R.; HUI, Y. X.; HU, D.; YANG, H.; LI, Y.; LIN; YI, Z. Effects of nitrogen fertilizer and planting density on the lignin synthesis in the culm in relation to lodging resistance of buckwheat. **Plant Production Science**, v. 18, n. 2, p. 218-227, 2015. <https://doi.org/10.1626/pps.18.218>.

WIETHÖLTER S. Fertilidade do solo e a cultura do trigo no Brasil. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. da. **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. p.135-184.

XIANG, D. B.; ZHAO, G.; WAN, Y.; TAN, M. L.; SONG, C.; SONG, Y. Effect of planting density on lodging-related morphology, lodging rate, and yield of tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum*). **Plant Production Science**, v. 19, n. 4, p. 479-488, 2016. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2016.1188320>.

XIAOHUA, L. I. *et al.* Differential expression of flavonoid biosynthesis genes and accumulation of phenolic compounds in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum*). **Journal of agricultural and food chemistry**, v.58, n.23, p.12176-12181, 2010. Disponível em: <<http://bit.ly/2E527Ly>>. Acessado em: 3 jan. 2018.

YANG, J.; GUO, J.; YUAN, J. In vitro antioxidant properties of rutin. **LWT-Food Science and Technology**, v.41, n.6, p.1060-1066, 2008. Disponível em: <<http://bit.ly/2E7gMpo>>. Acessado em: 3 jan. 2018.

ZHAI, K. -F. *et al.* Synchronised determination of chlorogenic acid and five flavonoids in mulberry leaves using HPLC with photodiode array detection. **Quality Assurance and Safety of Crops & Foods**, v.10, n.2, p.175-182, 2018. DOI: 10.3920/QAS2017.1202

ZHAO, J. L.; ZOU, L.; ZHANG, C. Q.; LI, Y. Y.; PENG, L. X.; XIANG, D. B.; ZHAO, G. Efficient production of flavonoids in *Fagopyrum tataricum* hairy root cultures with yeast polysaccharide elicitation and medium renewal process. **Pharmacognosy magazine**, v.10, n.39, 234, 2014. DOI: <https://doi.org/10.4103/0973-1296.137362>.

ZHENG, M., *et al.* Manipulation of lignin metabolism by plant densities and its relationship with lodging resistance in wheat. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1-12, 2017. 10.1038/srep41805

## ANEXO C – RESUMO DOS QUADRADOS MÉDIOS

Tabela 1 – Resumo dos quadrados médios no estudo da influência da época de semeadura (ES), da densidade de semeadura (DS) e das cultivares (C) de *Fagopyrum esculentum* (trigo-mourisco) em Minas Gerais, Brasil

FV	ES	Cultivar	DS	C x DS	ES x C	ES x DS	ES x C x DS	Resíduo
AP	1578,94 <sup>ns</sup>	15603,12*	339,78*	105,24 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	92,13 <sup>ns</sup>	296,08*	95,76
DC	2,41 <sup>ns</sup>	5,57*	6,43*	1,50 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	2,28 <sup>ns</sup>	0,96 <sup>ns</sup>	0,90
NRP	0,03 <sup>ns</sup>	1,59 <sup>ns</sup>	6,81*	1,43 <sup>ns</sup>	8,79*	3,21*	2,36 <sup>ns</sup>	1,18
NFP	1199,05*	15,22 <sup>ns</sup>	414,89*	87,04 <sup>ns</sup>	533,88*	98,97 <sup>ns</sup>	58,18 <sup>ns</sup>	46,8
MFPA	1231,07 <sup>ns</sup>	1756,21*	43,03*	22,30 <sup>ns</sup>	13,33 <sup>ns</sup>	20,02 <sup>ns</sup>	26,26 <sup>ns</sup>	10,86
MSPA	68,74 <sup>ns</sup>	28,07*	1,86*	0,87 <sup>ns</sup>	5,07*	1,64 <sup>ns</sup>	1,52 <sup>ns</sup>	0,70
AC	28352,34*	775,60 <sup>ns</sup>	291,56 <sup>ns</sup>	294,76 <sup>ns</sup>	664,82 <sup>ns</sup>	345,94 <sup>ns</sup>	171,56 <sup>ns</sup>	406,61
PG	16,68*	12,06*	1,62 <sup>ns</sup>	0,64 <sup>ns</sup>	5,68*	0,81 <sup>ns</sup>	0,53 <sup>ns</sup>	0,92
PMG	82,08 <sup>ns</sup>	90,95 <sup>ns</sup>	46,57 <sup>ns</sup>	85,61 <sup>ns</sup>	259,44 <sup>ns</sup>	66,45 <sup>ns</sup>	25,14 <sup>ns</sup>	88,93
TFT	97,64*	56,40*	7,53*	2,81 <sup>ns</sup>	11,44*	8,53*	9,59*	2,37
TR	188,87*	86,78*	5,24 <sup>ns</sup>	11,42*	13,40 <sup>ns</sup>	1,91 <sup>ns</sup>	17,77*	4,06
PFT	860,24 <sup>ns</sup>	8251,34*	152,64 <sup>ns</sup>	109,85 <sup>ns</sup>	1,43 <sup>ns</sup>	199,09 <sup>ns</sup>	183,35 <sup>ns</sup>	111,20
PR	642,04 <sup>ns</sup>	11819,58*	21,21 <sup>ns</sup>	85,68 <sup>ns</sup>	24,40 <sup>ns</sup>	110,86 <sup>ns</sup>	276,72 <sup>ns</sup>	177,69

FV: fatores de variação; AP: altura da planta; DC: diâmetro do caule; NRP: número de ramos por planta; NFP: número de folhas por planta; MFPA: matéria fresca da parte aérea; MSPA: matéria seca da parte aérea; AC: acamamento; PG: produção de grãos; PMG: peso de mil grãos; TFT: teor de flavonoides totais; TR: teor de rutina; PFT: produção de flavonoides totais e PR: produção de rutina.

Quadrado médio \*significativo e <sup>ns</sup>não significativo na análise de variância pelo teste F a 5% de significância.



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A saturação por bases do solo não apresenta efeito no cultivo de trigo-mourisco na faixa entre 9% e 97% na produção de flavonoides, mas influencia na produção de matéria seca da parte aérea (62%) e na produção de grãos da 'IPR 92' (9,00%). O ideal é colher trigo-mourisco, aos 86 dias após a emergência (DAE), visando à maior produção de rutina, aos 56 DAE da 'IPR 91' e 98 DAE da 'IPR 92', visando à maior produção de flavonoides totais e aos 72 DAE, visando à produção de grãos. Ótimos resultados são obtidos, acima da média nacional e mundial, das cultivares 'IPR 91' e 'IPR 92' de trigo-mourisco cultivadas no verão e inverno e em cinco densidades de semeadura (50, 100, 150, 200 e 250 sementes m<sup>-2</sup>), tanto para produção de biomassa e grãos. A cultivar com maior produção é a 'IPR 92'. No entanto a 'IPR 91' é mais precoce.