



JOÃO BARCELLOS XAVIER

**CHARACTERIZATION OF GRAINS AND PHYSIOLOGICAL
QUALITY OF SEEDS OF *Amaranthus* spp.**

**LAVRAS – MG
2018**

JOÃO BARCELLOS XAVIER

**CHARACTERIZATION OF GRAINS AND PHYSIOLOGICAL QUALITY OF SEEDS
OF *Amaranthus* spp.**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

Profa. Dra. Luciane Vilela Resende
Orientadora

Prof. Dr. Wilson Magela Gonçalves
Coorientador

**LAVRAS - MG
2018**

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

Xavier, João Barcellos.

Characterization of grains and physiological quality of seeds of
Amaranthus spp. / João Barcellos Xavier. - 2018.

77 p. : il.

Orientador(a): Luciane Vilela Resende.

Coorientador(a): Wilson Magela Gonçalves.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2018.

Bibliografia.

1. Composição centesimal. 2. Análise de imagens de sementes.
3. Espectroscopia de infravermelho próximo. I. Resende, Luciane
Vilela. II. Gonçalves, Wilson Magela. III. Título.

JOÃO BARCELLOS XAVIER

**CHARACTERIZATION OF GRAINS AND PHYSIOLOGICAL QUALITY OF SEEDS
OF *Amaranthus* spp.**

**CARACTERIZAÇÃO DE GRÃOS E QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES
DE *Amaranthus* spp.**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 17 de agosto de 2018.

Dra. Izabel Cristina dos Santos EPAMIG

Dra. Elisângela Elena Nunes Carvalho UFLA

Dra. Heloisa Oliveira dos Santos UFLA

Dr. Valter Carvalho de Andrade Júnior UFLA

Profª. Dra. Luciane Vilela Resende
Orientadora

**LAVRAS – MG
2018**

*Aos meus pais, pelo carinho e o
apoio necessário para eu realizar os meus estudos.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Agricultura (DAG), pela oportunidade concedida para a obtenção do título de Doutor.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo financiamento do projeto de pesquisa.

Aos professores e funcionários do Departamento de Agricultura, pelos ensinamentos transmitidos e pela harmoniosa convivência.

Ao Núcleo de Estudos em Olericultura e a toda a equipe que me auxiliou nestes anos de pesquisas e estudos.

À Dra. Luciane Vilela Resende, pela orientação, paciência, amizade, dedicação, e por seus ensinamentos, que foram de grande relevância para a realização deste trabalho e para o meu crescimento profissional.

Ao Dr. Wilson Magela Gonçalves, pela coorientação, paciência, amizade, dedicação e seus ensinamentos que foram de grande relevância para a realização deste trabalho e para o meu crescimento profissional.

A todos os meus familiares, principalmente aos meus queridos pais, irmãos e à minha namorada, que me auxiliaram em meus estudos. Aos meus amigos de Lavras e do Rio de Janeiro pelos momentos de felicidade e diversão proporcionados durante a universidade.

MUITO OBRIGADO!

RESUMO GERAL

O objetivo desta tese foi caracterizar grãos e verificar a qualidade de sementes de três espécies de *Amaranthus*. No primeiro artigo, os grãos colhidos foram transformados em farinha e a composição centesimal foi determinada, bem como macro e micronutrientes, teor de amido e nitrato. Pode-se inferir, que na maioria das análises para composição centesimal, as espécies *A. hybridus* e *A. viridis* apresentaram níveis mais elevados que a espécie comercial. *A. hybridus* tem o maior teor de N, Mg, B, Mn e Fe, a espécie comercial de P, K, S, Cu e Zn, enquanto *A. viridis* de Ca e Cu. O teor de amido nos grãos variou de 32,86 a 36,21%. O teor de nitrato não apresenta risco à saúde se consumido moderadamente. As espécies *A. hybridus* e *A. viridis* apresentam grande potencial para produção de grãos, cujas propriedades nutricionais da farinha, na maioria das análises realizadas, foram superiores às espécies comerciais. No segundo artigo, quantificou-se as características de geometria das sementes e de cor. As sementes foram analisadas com raios-X para avaliar a sua qualidade física. Foi realizado um teste de germinação. Amostras destas sementes foram avaliadas pela espectroscopia de infravermelho próximo (NIR). A espécie comercial apresentou em termos gerais os melhores resultados em relação à qualidade fisiológica de sementes. A utilização da solução de KNO_3 a 0,2% auxiliou no vigor das espécies *A. viridis* e *A. hybridus*. Por meio do NIR, foi possível distinguir as três espécies utilizadas no trabalho, de acordo com a sua predominância de componentes químicos. Diante do exposto, conclui-se que as espécies *A. viridis* e *A. hybridus* possuem potencial para a produção de grãos com qualidade nutricional, apesar das características inferiores de semente em relação à espécie comercial.

Palavras-chave: Composição centesimal. Macro e micronutrientes. Teor de amido. Teor de nitrato. Geometria. Groundeye[®]. Raios-X. Teste de germinação. KNO_3 . Espectroscopia de infravermelho próximo.

GENERAL ABSTRACT

The aim of this thesis was to characterize grains and verify the seed quality of three *Amaranthus* species. In the first article, the harvested grains were transformed into flour and the centesimal composition was determined, as well as macro and micronutrients, content of starch and nitrate. It can be inferred that in the majority of the analyzes for centesimal composition, the species *A. hybridus* and *A. viridis* presented higher levels than the commercial species. *A. hybridus* has the highest N, Mg, B, Mn and Fe content, the commercial species of P, K, S, Cu and Zn, while *A. viridis* of Ca and Cu. The starch content in the grains ranged from 32.86 to 36.21%. The nitrate content does not pose a health risk if consumed moderately. The species *A. hybridus* and *A. viridis* present great potential for grain production, whose nutritional properties of the flour in the majority of the analyzes performed were superior to commercial species. In the second article, characteristics of seed geometry and color were quantified. The seeds were analyzed with X-rays to evaluate their physical quality. A germination test was performed. Samples of these seeds were evaluated by near infrared spectroscopy (NIR). The commercial species presented in general terms the best results regarding the physiological quality of seeds. The use of the 0.2% KNO₃ solution assisted the vigor of *A. viridis* and *A. hybridus* species. Through the NIR, it was possible to distinguish the three species used in the work according to their predominance of chemical components. In view of the above, it is concluded that the *A. viridis* and *A. hybridus* species have the potential to produce grain of nutritional quality, despite the lower seed characteristics in relation to the commercial species.

Keywords: Centesimal composition. Macro and micronutrients. Starch content. Nitrate content. Geometry. Groundeye[®]. X ray. Germination test. KNO₃. Near infrared spectroscopy.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 2

- Figura 1 - Raios-X das espécies de *Amaranthus* nas distintas classes de tamanho de semente: A – *A. viridis* (classe 425 μm com 17% de sementes cheias, classe 600 μm com 96%, classe 850 μm com 100%); B – *A. hybridus* (classe 425 μm com 31% de sementes cheias, classe 600 μm com 100%, classe 850 μm com 99%); C – *Amaranthus* spp. material comercial (na classe 425 μm com 10% de sementes cheias, classe 600 μm com 98%, classe 850 μm com 100%)..... 63
- Figura 2 - Número de plântulas normais por tempo de germinação de A1-*Amaranthus viridis* (I), A2-*Amaranthus hybridus* (II) e A3-*Amaranthus retroflexus* (III), em relação ao uso de KNO_3 (C – com KNO_3 e S – sem KNO_3). 66
- Figura 3 - Espectros das sementes de *Amaranthus* das três espécies submetidas ao infravermelho próximo. 69
- Figura 4 - Comprimentos de onda (cm^{-1}) referentes às espécies estudadas, A) *A. viridis*, B) *A. hybridus* e C) Espécie comercial. 73

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

Table 1 - Grain yield analysis of three Amaranthus species.	37
Table 2 - Percent composition of grain flours of different Amaranthus species.	38
Table 3 - Macronutrient content in grain flour of three Amaranthus species.....	39
Table 4 - Micronutrient content in grain flour of three Amaranthus species.	39
Table 5 - Analysis of the starch content in grain flour of three Amaranthus species.	40
Table 6 - Analysis of nitrate in the grain flour of three Amaranthus species.	41

ARTIGO 2

Tabela 1 - Características geométricas das sementes das espécies de Amaranthus.	59
Tabela 2 - Porcentagem de cor nas sementes de Amaranthus spp nas diferentes classes de peneira.....	60
Tabela 3 - Porcentagem de sementes cheias das espécies de Amaranthus de acordo com a classe de peneira.....	62
Tabela 4 - Porcentagem de sementes germinadas no desdobramento de KNO ₃ dentro das espécies de Amaranthus segundo a avaliação de contagem (no 5° dia) e germinação (no 14° dia de avaliação).....	63
Tabela 5 - Índice de Velocidade de Germinação das espécies de Amaranthus dentro do KNO ₃	67
Tabela 6 - Tamanho de hipocótilo, raiz primária e tamanho total de plântulas das espécies de Amaranthus segundo a avaliação de contagem (no 5° dia) e germinação (no 14° dia de avaliação), e a influência do uso do KNO ₃ na média das espécies para cada característica.....	68
Tabela 7 - Parâmetros de desempenho do modelo PLS-DA (análise discriminante) para diferenciação de sementes de Amaranthus.	69
Tabela 8 - Sementes de Amaranthus oriundas de diferentes espécies classificadas pela técnica de infravermelho próximo segundo sua composição química.	70
Tabela 9 - Repetições utilizadas na validação do modelo criado a partir das espécies estudadas.	70
Tabela 10 - Grupo funcional químico e tipo de composto químico presente nas sementes das três espécies de Amaranthus determinado por meio das faixas espectrais.	72

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	
1	INTRODUÇÃO 13
2.1	Hortalças não convencionais..... 15
2.2	Aspectos botânicos das espécies de <i>Amaranthus</i> spp..... 16
2.2.1	<i>Amaranthus viridis</i> L..... 16
2.2.2	<i>Amaranthus hybridus</i> L. 17
2.3	Um breve relato histórico do <i>Amaranthus</i> spp. 17
2.4	Caracterização nutricional de espécies de <i>Amaranthus</i> spp. 18
2.5	Riscos toxicológicos das espécies de <i>Amaranthus</i> spp. 20
2.6	Caracterização fitotécnica de espécies de <i>Amaranthus</i> spp..... 21
2.7	Qualidade de sementes de <i>Amaranthus</i> spp..... 22
2.7.1	Análise de imagens em sementes..... 23
2.7.2	Espectroscopia de infravermelho próximo 24
	REFERÊNCIAS 26
	SEGUNDA PARTE – ARTIGOS* 31
	ARTIGO 1 – Nutritive potential of amaranth weed grains 32
1	INTRODUCTION 34
2	MATERIAL AND METHODS..... 35
3	RESULTS 37
4	DISCUSSION 41
5	CONCLUSION..... 47
	REFERENCES..... 48
	ARTIGO 2 - Qualidade Fisiológica de Sementes de <i>Amaranthus</i> Spp. 51
1	INTRODUÇÃO 53
2	MATERIAL E MÉTODOS 55
2.1	Obtenção de sementes 55
2.2	Limpeza e classificação de sementes em malhas de peneira 55
2.3	Determinação de característica geométrica e cor..... 55
2.4	Avaliação física de sementes cheias em raios-X 56
2.5	Teste de germinação 56

2.6	Índice de Velocidade de Germinação	57
2.7	Espectroscopia de infravermelho próximo.....	57
2.8	Análise de variância e teste de médias	58
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
4	CONCLUSÃO	73
	REFERÊNCIAS	75

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

O ser humano, no decorrer das últimas décadas, tem alterado os seus hábitos alimentares, reduzindo a diversidade de alimentos consumidos e dando preferência a alimentos de fácil confecção e com baixo valor nutritivo. Comumente, as pessoas têm substituído alimentos *in natura* por alimentos processados, com elevados teores de sódio e açúcares, promovendo distúrbios metabólicos que têm causado doenças cardíacas, diabetes, problemas de pressão sanguínea, altos níveis de colesterol, dentre outras.

A retomada de uma alimentação mais saudável é necessária para o bem-estar humano. Pesquisas que estudem novas culturas ou que resgatem hábitos alimentares saudáveis podem contribuir para a segurança alimentar e nutricional. O resgate e a valorização das hortaliças não convencionais condizem com estas questões.

As hortaliças não convencionais são plantas que foram cultivadas antigamente, porém, com a introdução de espécies exóticas e pela seleção das plantas que o homem fez, estas foram sendo subutilizadas e marginalizadas. Estas hortaliças sempre tiveram uma forte ligação com as questões culturais regionais, pois as pessoas possuíam como hábito se alimentar destas plantas. Sabe-se por meio de pesquisas que algumas destas espécies são altamente nutritivas, funcionais e medicinais, podendo ser potencialmente utilizadas para a nutrição do homem e dos animais.

Um exemplo de hortaliça não convencional são as espécies do gênero *Amaranthus*, que contêm quantidades significativas de minerais, nutrientes, vitaminas e aminoácidos. Apresentam atividades antidiabéticas e antioxidantes, contendo grandes teores de ferro, selênio, fósforo e baixos níveis de substâncias tóxicas. Apesar de ser uma planta considerada como daninha, existem diversos estudos que comprovam a versatilidade nutricional e funcional do amaranto, sendo necessário maior incentivo para a produção e a comercialização destas espécies, contribuindo assim, para o enriquecimento dos hábitos alimentares da sociedade.

Portanto, estudos científicos são importantes para compreender como estas espécies se comportam agronomicamente. Com a realização de estudos nutricionais e fitotécnicos será possível incentivar o cultivo destas espécies em maior escala e com qualidade, possibilitando a comercialização e, conseqüentemente, o consumo destas plantas pela população, resultando em benefícios econômicos, sociais e ambientais.

Diante do exposto, o presente trabalho teve por objetivo geral, caracterizar grãos e verificar a qualidade de sementes de três espécies de *Amaranthus*.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Hortaliças não convencionais

Hortaliças não convencionais são hortaliças que foram consumidas durante gerações seguindo hábitos alimentícios regionais e locais. São plantas cultivadas há muitos anos, principalmente pelas famílias agricultoras e nos quintais de casas nos centros urbanos, com o intuito de contribuir na dieta alimentar das famílias. São espécies que possuem um valor cultural muito forte, representando um hábito alimentar das distintas localidades do mundo (BRASIL, 2010).

Outro conceito utilizado para as hortaliças não convencionais é o de plantas alimentícias não convencionais (PANC). Conceitualmente, são as plantas que possuem uma ou mais partes, ou produtos que podem ser utilizadas na alimentação humana, incluindo também especiarias, espécies condimentares e aromáticas, substitutas do sal, amaciantes de carne, corantes, dentre outras (KINUPP; LORENZI, 2014).

Estas plantas popularmente são conhecidas como bem adaptadas e rústicas, normalmente não estão enquadradas em uma cadeia produtiva propriamente dita, representando uma autonomia dos mercados de insumos. São cultivadas normalmente por comunidades tradicionais, como povos indígenas, quilombolas, ribeirinhos, dentre outras populações que possuem vínculo de sobrevivência com o meio rural (BRASIL, 2010).

Porém, o consumo destas espécies tem sido reduzido em todas as regiões do país, independente das classes sociais da população rural e urbana. Este fato é devido principalmente, ao consumo de hortaliças convencionais, além dos alimentos industrializados, que têm criado um padrão alimentar em todo o mundo. O resgate das variedades tradicionais de hortaliças pode enriquecer novamente o cardápio alimentar mundial, representando ganhos positivos do ponto de vista cultural, econômico, social e nutricional (BRASIL, 2010).

Uma listagem completa de todas as espécies comestíveis no mundo é inexistente, porém, estudos apresentam uma lista de 12.500 espécies potencialmente alimentícias, perfazendo 3.100 gêneros e cerca de 400 famílias (KINUPP; LORENZI, 2014). Outros estudos relatam que existem aproximadamente 300.000 espécies descritas, sendo que 3.000 destas servem para a alimentação humana. Porém, apenas 15 são responsáveis por 90% de

toda a alimentação do ser humano. Sendo que o arroz, a batata, o milho e o trigo, representam 60% deste total (NASS, 2012).

2.2 Aspectos botânicos das espécies de *Amaranthus* spp.

O gênero *Amaranthus* pertence à família Amaranaceae, compreendendo 170 gêneros, sendo pelo menos 20 gêneros de ocorrência comum no Brasil. Existe cerca de 60 espécies classificadas botanicamente, sendo 10 destas nativas no Brasil (SAMARTINI, 2015). Amaranaceae é uma família cosmopolita, com cerca de 2.360 espécies, sendo que 145 delas são encontradas no Brasil, e 71 são endêmicas de diferentes regiões e biomas brasileiros (ALBINO, 2015).

O amaranto é uma planta dicotiledônea, anual, herbácea e arbustiva, possui inflorescência tipo panícula, com cores que variam de verde a dourado passando pelo roxo. É um pseudocereal, sendo comumente classificado como um ‘falso cereal’, as cores predominantes nas sementes são a branca e a preta (AMAYA-FARFÁN et al., 2005; SPHEAR, 2003).

As plantas são monoicas na maior parte das espécies de amaranto (BRENNER, 2000), porém, são predominantemente autógamias, com variações no percentual de polinização cruzada nas cultivares. As flores são unissexuais muito pequenas, staminadas no ápice e pistiladas na base, completando o glomérulo. O androceu é formado por cinco estames coloridos que mantêm as anteras por um ponto próximo da base; tornam-se bastante visíveis por ocasião da antese. O gineceu apresenta ovário esférico, súpero, coroado por três estigmas filiformes e pilosos que aloja uma semente (TAPIA, 1990).

Em amaranto, considera-se que a autogamia seja predominante, entretanto, há relatos de polinização cruzada em até 34%, variando conforme o ambiente, coincidência de floração e distância entre plantas de genótipos diferentes (MUJICA; BERTI; IZQUIERDO, 1997).

2.2.1 *Amaranthus viridis* L.

É uma planta anual, herbácea, muito ramificada, variavelmente pigmentada, ereta, de 40-100 cm de altura, originária do Caribe. Apresenta como característica diferencial uma mancha violácea no centro das folhas. Sua hibridação natural fácil com outras espécies resulta

numa população com características mistas de difícil separação no campo. Propaga-se apenas por sementes. É uma planta daninha muito frequente na maioria dos solos agrícolas com bom teor de matéria orgânica. É particularmente frequente em lavouras de café. Muito prolífica e de ciclo curto, suas folhas são comestíveis, preparadas na forma de salada (LORENZI, 1949).

2.2.2 *Amaranthus hybridus* L.

É uma planta anual, herbácea, ramificada, ereta, pigmentada, de 40-100 cm de altura, nativa da América Tropical. Propaga-se apenas por sementes. É uma planta daninha relativamente frequente no sul do Brasil, infestando principalmente solos cultivados de lavouras anuais, em geral, pomares, cafezais e terrenos baldios. Possui grande capacidade reprodutiva, chegando uma única planta a produzir 117 mil sementes. Tem sido utilizada como alimento na forma de saladas e refogados e, ocasionalmente, na terapêutica popular (LORENZI, 1949).

2.3 Um breve relato histórico do *Amaranthus* spp.

O amaranto é uma espécie cultivada há muitos anos, existindo cerca de 60 espécies dentro do gênero *Amaranthus* e, apesar da sua existência e importância, tem sido negligenciada. Costa e Borges (2005), ao realizarem uma revisão bibliográfica, reuniram a contribuição de diversos autores sobre a história dos amarantos.

Originado nas Américas do Sul e Central, foi cultivado durante cinco séculos pela sociedade Asteca e outros povos no México. Na América Central, evidências indicam que o uso desta espécie data de pelo menos 6.000 anos atrás. As civilizações Pré-Colombianas cultivaram milhares de hectares de amaranto, existindo relatos de que alguns povos indígenas plantavam estes grãos em conjunto com milho e feijão. Este pseudocereal de folha larga foi utilizado amplamente como fonte de grãos com alto teor proteico e como forragem para a alimentação animal. Além da sua função alimentar, os astecas utilizavam os grãos para práticas religiosas, ressaltando-os como ‘grãos místicos’ ou como ‘grãos dourados dos Deuses’, uma forma de reconhecer a importância nutricional deste alimento, que provia energia e força aos soldados. Porém, com a conquista espanhola de parte do continente americano, ocorreu o declínio da produção de amarantos. Se o cultivo continuasse a ser

incentivado, o amaranto poderia ser hoje, um dos principais produtos agrícolas do mundo (PUTNAM et al., 1989; BELISLE, 1990; HENDERSON et al., 1993; MYERS, 1996; NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, 1984; SAUER, 1993; STALLKNECHT; SCHULZ-SCHAEFFER, 1993).

O cultivo de amarantos como grão foi ampliado em diversas regiões do mundo como: Estados Unidos, Índia, México, Caribe, América Central, Itália, Rússia, Nepal, África oriental e China. Os Estados Unidos têm liderado a produção mundial do amaranto como grão, porém, a maior área de cultivo encontra-se na China, que utiliza esta espécie como forragem para a alimentação de suínos. Os amarantos mais cultivados são os de semente branca, enquanto que, os de semente preta, são considerados plantas invasoras. A espécie mais recomendada para a produção de grãos é *Amaranthus hypochondriacus*, devido a sua razoável produtividade. Esta espécie está em uso desde 1.500 anos atrás, sendo esta a espécie que foi utilizada pelos astecas. A sociedade levou aproximadamente seis séculos para reconhecer as propriedades nutritivas dos amarantos, que já era sabido pelas antigas civilizações (SEARLY et al., 1990; SAUER, 1993; STALLKNECHT; SCHULZ-SCHAEFFER, 1993; MYERS, 1996).

2.4 Caracterização nutricional de espécies de *Amaranthus* spp.

As hortaliças não convencionais, apesar de não serem cultivadas em larga escala, são espécies de amplo interesse nutricional. O *Amaranthus* spp., conhecido popularmente como caruru ou amaranto, é uma espécie amplamente conhecida e consumida pelo mundo, porém, é quase desconhecida no Brasil, como alimento, sendo reconhecida como planta daninha de importância. Apesar de quase não ser explorada, esta planta pode representar uma excelente fonte alternativa de nutrientes para as populações carentes (COSTA; BORGES, 2005).

Os seus resíduos podem ainda servir como matéria-prima para a confecção de rações para animais. O amaranto tem sido reconhecido como um importante alimento, tanto como grão e como folha, por órgãos internacionais e por países da Europa, Estados Unidos, Canadá e Japão (AMAYA-FARFAN et al., 2005).

Uma das propriedades nutricionais mais interessantes do amaranto é o conteúdo de proteínas de qualidade biológica em seus grãos (aproximadamente 15%), possuindo lisina (representando 5% da proteína) e outros aminoácidos essenciais (sendo 4,4% aminoácidos sulfurados). E estas características são os fatores mais limitantes dos outros grãos cultivados.

Estudos constaram que os grãos do amaranto possuem valores maiores de proteínas, gorduras e fibras do que cereais como trigo, milho, arroz e aveia (AMAYA-FARFAN et al., 2005).

Os grãos dos *Amaranthus* são excelente fonte de alimento, com propriedades funcionais e nutricionais de importância. Possui benefícios como a diminuição do colesterol plasmático, atividade antitumoral, redução dos níveis de glicose no sangue e anemia (MAURYA; ARYA, 2018).

O teor de óleos no grão de amarantos varia de 6 a 10%, dos quais 76% são insaturados, contendo teores significativos de ácido linoleico. Apresentam 7% de esqualeno, quantidade esta superior a de outros vegetais. Outro fator importante é a presença de tocotrienóis, substâncias oxidantes que se assemelham à vitamina E, que diminuem o teor de colesterol LDL, apresentam atividades anticancerígenas, protegem do envelhecimento da pele e previnem o surgimento de doenças cardíacas e obstrutivas (COSTA; BORGES, 2005).

Jiménez-Aguilar et al. (2017), ao avaliarem as folhas de 15 espécies de *Amaranthus* obtiveram como resultado entre as espécies, as faixas de concentração de Ca (1,5-3,5 mg/g), K (5,5-8,8 mg/g), Mg (1,8-4,5 mg/g), P (0,5-0,9 mg/g), fenólicos (3,2-5,5 mg equivalentes de ácido gálico/g) e as faixas de atividade antioxidante nas folhas de amaranto foram de 38-90 µmol equivalentes de Trolox/g (todos os valores numa base de peso fresco). Os autores concluíram que as folhas de amaranto são potenciais fontes vegetais de macronutrientes e fitoquímicos, que podem contribuir para a nutrição e saúde humana.

Um estudo realizado para avaliar a prospecção fitoquímica do extrato etanólico das inflorescências e folhas de *Amaranthus viridis* L. (ALBINO, 2015), concluiu que a espécie apresenta metabólitos secundários de grande valor medicinal, contendo alcaloides, glicosídeos, cardiotônicos, taninos e triterpenos, que podem servir como matéria-prima para a produção de fármacos. Outro estudo realizado com *A. viridis*, apresenta como resultado, que esta espécie possui atividades antidiabéticas, anti-hiperlipidêmico e antioxidante. Contendo grandes teores de ferro, selênio e fósforo (ASHOK KUMAR, 2012).

Estudo revela que as folhas do *Amaranthus hybridus* contêm quantidades significativas de minerais, nutrientes, vitaminas, fitoquímicos, aminoácidos e baixos níveis de substâncias tóxicas (AKUBUGWO et al., 2007). Outro estudo, também observou elevada quantidade de proteína nas folhas desta espécie, recomendando o seu uso para enriquecer alimentos com baixo valor proteico (ALETOR et al., 2002).

Gorinstein et al. (2007) relatam que os amarantos possuem elevados teores de antocianinas, polifenóis, flavonoides, e atividade antioxidante.

De acordo com estudos preliminares realizados por Samartini (2015), avaliando o potencial antioxidante das folhas de cinco espécies de amarantos, *A. spinosus*, *A. deflexus* e *A. retroflexus*, apresentam maior eficiência na captura de radicais livres. Os valores obtidos por estas espécies podem ser equivalentes a outras culturas convencionalmente cultivadas como a batata, a couve-flor e o tomate.

Portanto, diversos estudos comprovam a versatilidade nutricional e funcional do amaranto, sendo necessário maior incentivo para a produção e a comercialização destas espécies, contribuindo assim, para o enriquecimento dos hábitos alimentares da sociedade.

2.5 Riscos toxicológicos das espécies de *Amaranthus* spp.

Autores relatam que algumas espécies de *amaranthus* podem ser tóxicas ao serem disponibilizadas no trato de animais. Espécies como *Amaranthus hybridus*, *A. blitum*, *A. spinosus*, *A. retroflexus*, *A. caudatus*, *A. viridi* e *A. quitensis* têm ocasionado distúrbios em bovinos, suínos e ovinos, sendo desconhecido o princípio ativo responsável pela ação nefrotóxica. A planta é altamente palatável e a intoxicação é rara, ocorrendo principalmente com altas dosagens do alimento. Um fator conhecido é que as espécies de *Amaranthus* são acumuladoras de nitratos e nitritos, podendo ocasionar intoxicação pela ingestão destas plantas (STIGGER et al., 2013).

Para ovinos, a ingestão de plantas do gênero *Amaranthus* pode ocasionar dois tipos de intoxicação: por nefrose tubular tóxica, podendo estar associado a cristais de oxalatos, ou por altos níveis de nitratos e nitritos presentes na planta (PEIXOTO et al., 2003).

Estes mesmos autores ainda discutem que, apesar dos casos de intoxicação por *Amaranthus spinosus* serem escassos, há fatores envolvidos na epidemiologia da intoxicação que não são bem esclarecidos, como por exemplo, a microbiota gastrintestinal dos animais, o ciclo da planta, organismos associados (como fungos), que podem tornar a planta tóxica em determinadas ocasiões. No surto em estudo, os autores associaram que a adubação do solo com fosfato de rocha pode ter determinado a toxidez da planta, sendo os seus princípios ativos ainda desconhecidos.

2.6 Caracterização fitotécnica de espécies de *Amaranthus* spp.

As espécies de amaranto apresentam características fitotécnicas interessantes, são plantas rústicas e resistentes ao estresse hídrico, se desenvolvendo em ambientes desfavoráveis a outros cereais e leguminosas, devido principalmente ao seu sistema radicular profundo que lhe assegura a sobrevivência em períodos de seca. O amaranto tem grande capacidade de aproveitamento de água, luz e nutrientes. Possui a capacidade de se desenvolver e frutificar em ambientes com altas temperaturas (35 a 45°C) e intensa luminosidade. Espécies desse gênero são também caracterizadas por sua ampla adaptação climática, sendo cultivadas desde o nível do mar até altitudes de 3500 metros. Possui crescimento rápido e vigoroso, mostrando elevada capacidade de produção de biomassa (SPEHAR; TRECENTI, 2011).

O ciclo do amaranto é anual e varia de 85 a 100 dias. A altura das plantas varia de acordo com a espécie e as condições ambientais, podendo atingir de 1,0 a 2,5 metros. Estudos realizados no Peru com *A. caudatus* indicam que na densidade de 450.000 plantas/ha e níveis de fertilização de 100 N – 138 P - 180 K, obtém-se ótima produção de grãos (COSTA; BORGES, 2005). Ao avaliar diferentes doses de fertilizantes organominerais, Romano et al. (2017) chegaram a conclusão de que o melhor tratamento foi 80-20-00 kg ha⁻¹ de N-P-K mais uma tonelada de composto.

Segundo estudos de Spehar et al. (2003), o amaranto BRS Alegria pode ser cultivado em diversas épocas do ano. Recomenda-se para a produção de grãos as semeaduras de safrinha (outono) e de entressafra (inverno) e, para a produção de forragem a semeadura de verão é a ideal. A semeadura do amaranto BRS alegria pode ser feita em sulcos espaçados em 40 cm ou a lanço, utilizando-se de 2 a 8 kg de sementes por hectare. A cultivar BRS Alegria alcança uma produtividade média de grãos de 2.359 kg por hectare e de 5.650 kg de biomassa por hectare, em sucessão ao cultivo de soja e precipitação de 250-300 mm.

Apesar dos poucos estudos realizados no Brasil, testes agronômicos realizados no nordeste brasileiro indicam que é possível obter, em locais sem restrição hídrica, rendimentos médios de 3 t/ha. (AMAYA-FARFAN et al., 2005).

No trabalho de Spehar et al. (2003) a incidência de pragas e doenças típicas da espécie não representaram grandes problemas, pois o clima do cerrado é significativamente distinto daquele em que a espécie foi domesticada. Observou-se a incidência do lepidóptero

Herpetogramma phaecopectalis, mas este não causou danos econômicos; da vaquinha, *Diabrotica speciosa*, que no período inicial da cultura, causou algum dano; e da traça dos cereais, *Ephestia elutella*, na fase dos grãos armazenados, em baixa incidência.

2.7 Qualidade de sementes de *Amaranthus* spp.

A qualidade de sementes está associada a fatores genéticos, fisiológicos, físicos e sanitários. A soma destes fatores possibilita a obtenção de plantas vigorosas, produtivas e uniformes em campo. A conservação, o armazenamento, a temperatura, a umidade do ambiente, pragas e doenças, a deteriorização e envelhecimento são os principais motivos da perda de qualidade em sementes, tendo como consequências, menor germinação, menor velocidade de emergência de plântulas, menor uniformidade e maior suscetibilidade a intempéries, ocasionando baixas produtividades nos empreendimentos agrícolas. A qualidade fisiológica reflete na capacidade de desempenho das funções vitais das sementes, caracterizada pelo vigor, germinação e longevidade (ROCHA et al., 2017).

Estudo evidencia que a utilização de sementes com alto potencial fisiológico é aspecto importante a ser considerado para o aumento da produtividade da cultura e, por isso, o controle de qualidade de sementes deve ser cada vez mais eficiente, incluindo testes que avaliem rapidamente o potencial fisiológico e que permitam a diferenciação precisa entre lotes (FESSEL et al., 2010).

Guimarães (2017), ao avaliar a germinação de progênies de *A. cruentus*, *A. viridis* e híbridos de *A. cruentus* x *A. viridis*, observou uma faixa de germinação de 86 a 100% das sementes brancas, e de 35 a 93,5% nas sementes pretas, encontrando o valor de 62,5% para o *A. viridis*. Martins et al. (2017), ao avaliarem 5 lotes de sementes brancas de *A. cruentus*, encontraram valores de germinação que variaram de 89 a 91%.

Segundo estudos de Donazzolo et al. (2017) o processo de germinação das sementes consiste em um complexo processo bioquímico e fisiológico. Em seu experimento com *Amaranthus caudatus* L., testaram sua germinação em diferentes temperaturas (18 e 25°C), luz (ausência de luz e fotoperíodo de 12/12 horas) e substratos (entre papel, sobre papel, rolo de papel e entre areia). Os autores concluíram que a melhor condição para a germinação das sementes de *Amaranthus caudatus* L. foi à 25°C, na ausência de luz e em substrato rolo de papel, com 87% de germinação.

Estudos têm sido realizados com a proposta do uso do KNO_3 para a superação da dormência de sementes. Ruttanaruangboworn (2017), ao avaliar o uso desta substância em sementes de arroz, observou melhores resultados com o KNO_3 em baixas concentrações, pois além de melhorar a germinação, melhorou a sua velocidade e uniformidade. Porém, o uso desta substância em altas concentrações pode ocasionar atraso no tempo de embebição das sementes.

As sementes do gênero *Amaranthus* têm diâmetro de 1,0 a 1,5 mm e espessura de 0,5 mm. Apresentam coloração variada e o peso dos grãos varia de 0,49 a 0,93 mg. As sementes devem ser plantadas a uma profundidade de aproximadamente 1,3 cm e poderão germinar dentro de 4 a 6 dias, dependendo das condições de temperatura e de umidade do solo (COSTA; BORGES, 2005).

Zapotoczny et al. (2006), ao estudarem o tamanho e o formato de sementes de *Amaranthus* da variedade comercial MT-3, na classe de peneira de 0,80 a 1,00 mm de diâmetro, observaram que as sementes possuem em média $1,07 \text{ mm}^2$ de área, 0,36 cm de perímetro, 0,12 cm de comprimento, 0,10 cm de largura, 1,00 para fator de forma de compactação e 1,00 de coeficiente médio de circularidade.

No gênero *Amaranthus* são encontradas sementes de coloração variada como: Preta, vermelha, cinza, rosada, amarela, bege e branca. A coloração é um fator importante para separar as espécies de *Amaranthus* comerciais das espécies espontâneas, normalmente as sementes claras não possuem dormência, já as sementes pretas ficam armazenadas no solo e germinam gradualmente (GUIMARÃES, 2017).

2.7.1 Análise de imagens em sementes

A utilização de imagem digital tem se tornado uma ferramenta de grande importância na avaliação da qualidade de lotes de sementes em substituição da avaliação visual subjetiva humana (VENORA et al., 2009). Para fins comerciais e tecnológicos, a utilização de imagens de sementes busca facilitar, agilizar e automatizar a categorização das características das sementes, como: tamanho, cor, forma, textura, preenchimento, medição de plântulas e a identificação de cultivares (GRANITTO; VERDES; CECCATO, 2005). A análise de imagens de sementes é um método rápido, objetivo, pouco oneroso, compacto e não destrutivo. Estudos têm sido realizados com equipamentos de GROUND EYE[®] (antigo Sistema de

Análise de Sementes – SAS) e Raios-X, para avaliar a qualidade de lotes de sementes (ANDRADE, 2014).

O processamento da imagem digital pode ser dividido em 4 etapas: a aquisição da imagem, o pré-processamento, a segmentação e a análise. A aquisição da imagem pode ser feita com o auxílio de câmera fotográfica e escâner, e é nesta etapa que ocorre a digitalização da imagem (GONZALEZ; WOODS, 2007).

A análise de imagens de plântulas representa uma técnica potencial para a avaliação do vigor de lotes de sementes. A avaliação de imagens de plântulas digitalizadas permite diferenciar lotes em diferentes níveis de vigor (MCDONALD; CHEN, 1990; HOFFMASTER et al., 2003; MARCOS FILHO; KIKUTI; LIMA, 2009; SAKO et al., 2001).

A Tbit tecnologias e Sistemas, empresa incubada na Universidade Federal de Lavras (UFLA), lançou no mercado um sistema de análise de imagem computadorizado, o GROUNDEYE[®], composto por uma câmera de captação da imagem e um *software* de análise. A câmera é constituída de uma bandeja com fundo de acrílico transparente, no qual é disposto o objeto de análise, e uma, ou duas câmeras fotográficas de alta resolução (PINTO, 2014).

O GROUNDEYE[®] analisa imagens de sementes e de plântulas extraindo informações de cor, textura e geometria de cada indivíduo da imagem. Além de analisar individualmente a plântula, esse sistema de análise de imagens computadorizado fornece informações sobre vigor, uniformidade e crescimento de cada amostra (PINTO, 2014).

O teste de Raios-X permite identificar danos mecânicos internos e externos das sementes de maneira eficaz. Tem sido utilizado, inclusive, para avaliação da morfologia interna de sementes, danos por insetos, por umidade e pelo processo de secagem (PINTO, 2012).

2.7.2 Espectroscopia de infravermelho próximo

A espectroscopia de infravermelho próximo é um processo de medição baseado na absorção e emissão de energia eletromagnética em alguma região do espectro eletromagnético. É baseada na absorção de radiação eletromagnética em comprimentos de onda na faixa de 780 – 2500 nm. O principal objetivo desta técnica, é determinar grupos funcionais de componentes químicos em lotes de sementes, de acordo com a absorbância da

amostra. Este equipamento tem sido utilizado para identificação de constituintes em alimentos, como: óleo, determinação de organismos geneticamente modificados, seleção/identificação de genótipos, dentre outros (SILVERSTEIN; WEBSTER, 1998; MITTELMANN et al., 2006; CONCEIÇÃO et al., 2006; LEMONS; SILVA et al., 2008; GUIMARÃES, 2016).

REFERÊNCIAS

- AKUBUGWO, I. E. et al. Nutritional and chemical value of *Amaranthus hybridus* L. leaves from Afikpo, Nigeria. **African Journal of Biotechnology**, v. 6, n. 24, p. 2833-2839, Dec 2007.
- ALBINO, A. M. et al. Prospecção fitoquímica do extrato etanólico das inflorescências e folhas de *Amaranthus viridis* L. (AMARANTHACEAE). **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 2, n. 2, p. 74-83, 2015.
- ALETOR, O.; OSHODI, A. A.; IPINMOROTI, K. Chemical composition of common leafy vegetables and functional properties of their leaf protein concentrates. **Food Chemistry**, v. 78, n. 1, p.63-68, 2002.
- AMAYA-FARFAN, J.; MARCÍLIO, R.; SPEHAR, C. R. Deveria o Brasil investir em novos grãos para a sua alimentação? A proposta do amaranto (*Amaranthus sp.*). **Segurança alimentar e nutricional**, Campinas, v. 12, n. 1, p. 47-56, 2005.
- ANDRADE, D. B. de. **Sistema de análises de sementes (SAS) na detecção de misturas varietais e de sementes esverdeadas em soja**. 2014. 78 P. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2014.
- ASHOK KUMAR, B. S. et al. Antidiabetic, antihyperlipidemic and antioxidant actives of methanolic extract of *Amaranthus viridis* Linn in alloxan induced diabetic rats. **Experimental and Toxicologic Pathology**, v. 64, n. 1-2, p. 75-79, 2012.
- BELISLE, D. A. **Saskatchewan Agriculture, Food and Rural Revitalization**. 3085 Albert Street, Regina, Saskatchewan, Canada S4S 0B1. February, 1990.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de hortaliças não-convencionais**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. Brasília: Mapa/ACS, 2010. 92 p.
- BRENNER, D. Genetic resources and breeding of *Amaranthus*. **Plant Breeding Reviews**, v. 19, p. 227-285, jul. 2010.
- CONCEIÇÃO, F. R.; MOREIRA, A. N.; BINSFELD, P. C. Detecção e quantificação de organismos geneticamente modificados em alimentos e ingredientes alimentares. **Ciência Rural**, v. 36, n. 1, p. 315-324, 2006.
- COSTA, D. M. A. D.; BORGES, A. S. Avaliação da produção agrícola do amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*). **Holos**, ano 21, maio, 2005.
- DONAZZOLO, J.; POSSENTI, J. C.; GUOLLO, K.; DANNER, M. A.; BELLE, I. C. Germinação de sementes de amaranto sob influência da luz, substrato e temperatura. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.16, n. 2, 2017.

FESSEL, S.A.; PANOBIANCO, M.; SOUZA, C.R.; VIEIRA, R.D. Teste de condutividade elétrica em sementes de soja armazenadas sob diferentes temperaturas. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 207-214, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/brag/v69n1/26.pdf>>. Acesso em 12 ago. 2017.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Digital image processing**. 3 ed. Reading: A. Wesley, 2007. 988 p.

GORINSTEIN, S. et al. The total polyphenols and the antioxidant potentials of some selected cereals and pseudocereals. **European Food Research and Technology**, v. 255, n. 3-4, p. 321-328, 2007.

GRANITTO, P. M.; VERDES, P. F.; CECCATO, H. A. Large-scale investigation of weed seed identification by machine vision. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 47, p. 15-24, 2005.

GUIMARÃES, G. C. **Estimativa da germinação e pureza genética de sementes de café por espectroscopia no infravermelho próximo**. 2016. 75 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2016.

GUIMARÃES, V. N. **Caracterização de sementes, determinação do tamanho do genoma e contagem cromossômica de *Amaranthus cruentus*, *A. viridis* e do híbrido interespecífico**. 2017. 72 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2017.

HENDERSON, T. L.; SCHNEITER, A. A.; RIVELAND, N. **Row Spacing and Population Effects on Yield of Grain Amaranth in North Dakota**. In: JANICK J.; J. SIMON E. (Eds.) New York: New Crops Wiley. 1993. p. 219-221.

HOFFMASTER, A. L. et al. An automated system for vigor testing three-day old soybean seedlings. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 31, n. 3, p. 701-713, 2003.

JIMÉNEZ-AGUILAR, DULCE M.; GRUSAK, M. A. Minerals, vitamin C, phenolics, flavonoids and antioxidant activity of *Amaranthus* leafy vegetables. **Journal of Food Composition and Analysis**, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2017.01.005>>. Acesso em 12 ago. 2017.

KINUPP, V. F.; LORENZI, H. **Plantas alimentícias não convencionais (PANC) no Brasil: guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas**. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2014.

LEMONS e SILVA, C. F.; MILACH, S. C. K.; ANJOS e SILVA, S. D.; MONTERO, C. R. Near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to assess protein and lipid contents in Avena sativa L. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, n. 8, p. 127-133, 2008.

MARCOS FILHO, J.; KIKUTI, A. L. P.; LIMA, L. B. Métodos para avaliação do vigor de sementes de soja, incluindo a análise computadorizada de imagens. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 102-112, jan./fev. 2009.

MARTINS, A. B. N.; XAVIER, F. da M.; DIAS, L. W.; MENEGUZZO, M. R. R.; VERA, M. J. G.; DE MORAES, D. M. Qualidade fisiológica de lotes de sementes de amaranto. In: JORNADA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA, REVISTA DA JORNADA DA PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA – CONGREGA. 14.; 2017. 2017. **Anais...** São Paulo, CONGREGA, 2017. p. 1982-2960.

MAURYA, N. M.; ARYA, P. Amaranthus grain nutritional benefits: A review. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 7, n. 2, p. 2258-2262, 2018.

MCDONALD, T.; CHEN, Y. R. Application of morphological image processing in agriculture. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, Saint Joseph, v. 33, n. 4, p. 1346-1352, 1990.

MITTELMANN, A.; MIRANDA FILHO, J. B.; LIMA, G. J. M. M.; HARA-KLEIN, C.; SILVA, R. M.; TANAKA, R. T. Análise dialéctica do teor de óleo em milho. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 12, n. 1, p. 139-143, 2006.

MUJICA, A.; BERTI, M.; IZQUIERDO, J. **El cultivo del amaranto (*Amaranthus spp.*):** producción, mejoramiento genético y utilización. Santiago de Chile: FAO, 1997.

MYERS, R. L. A. New Crop Opportunity. In: JANICK, J. (Ed.). **Progress in New Crops**. Alexandria: ASHS Press, 1996. p. 207-220.

NASS, L. L. et al. Genetic resources: the basis for sustainable and competitive plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 12, dec. 2012. p. 75-86.

NAOC. National Academy of Sciences. Amaranth Modern Prospects for an Ancient Crop. **Nat. Acad. Sci.**, Washington, DC. 1984.

PEIXOTO, P. V.; BRUST, L. A. C.; BRITO, M. DE F.; FRANÇA, T. DO N.; DA CUNHA, B. R. M.; DE ANDRADE, G. B. Intoxicação natural por *Amaranthus spinosus* (Amaranthaceae) em ovinos no Sudeste do Brasil. **Pesq. Vet. Bras.**, v. 23, n. 4, p. 179-184, out./dez. 2003.

PINTO, C. A. G. Análise de imagens na avaliação do potencial fisiológico de sementes de milho. 2014. 52 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2014. 52 p.

PINTO, T. L. F.; MONDO, V. H. V.; GOMES-JÚNIOR, F. G.; CICERO, S. M. Análise de imagens na avaliação de danos mecânicos em sementes de soja. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 42, n. 3, p. 310-316, jul./set. 2012.

PUTNAM, D. H.; OPLINGER, E. S.; DOLL, J. D.; SCHULTE, E. M. Amaranth. **Center for Alternative Plant & Animal Products, Minnesota Extension Service, University of Minnesota**, St. Paul, MN 55108. Departments of Agronomy and Soil Science, College of Agricultural and Life Sciences and Cooperative Extension Service, University of Wisconsin – Madison, WI 53706. Nov. 1989.

ROCHA, G. C.; NETO, A. R.; CRUZ, S. J. S.; CAMPOS, G. W. B.; CASTRO, A. C. DE O.; SIMON, G. A. Physiological quality of treated and stored soybean seeds. **Revista científico@**, n.5 v.1, 2017.

ROMANO, C. O. R.; MENDOZA, J. O.; CASTRO, E. S.; GARZA, H. N.; MORA, O. F.; SÁNCHEZ, F. C. Fertilización orgánica-mineral del cultivo de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus L.*). **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, v. 8, n. 8 12 e noviembre - 31 de diciembre, 2017. p. 1759-1771.

RUTTANARUANGBOWORN, A.; CHANPRASERT, W.; TOBUNLUEPOP, P.; ONWIMOL, D. Effect of seed priming with different concentrations of potassium nitrate on the pattern of seed imbibition and germination of rice (*Oryza sativa L.*). **Journal of Integrative Agriculture**, v. 16, n. 3, p. 605-613, 2017.

SAKO, Y. et al. A system for automated seed vigour assessment. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 29, n. 3, p. 625-636, 2001.

SAMARTINI, C. Q. **Conteúdo de DNA nuclear, número cromossômico e compostos de interesse nutricional em *Amaranthus* spp.** 2015. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras: UFLA, MG, 2015.

SAUER, J. D. **Historical Geography of Crop Plants: a Select Roster.** CRC Press, Boca Raton, FL. 1993.

SEARLY, R. L.; MCWILLIAMS, E. L.; J. NOVAK, F. F.; KENERLEY, C. M. Vegetable Amaranths: Cultivar Selection for Summer Production in the South. P. 396-398. In: JANICK, J.; SIMO, J. E. (Eds.). **Advances in New Crops.** Portland, OR: Tember Press, 1990.

SILVERSTEIN, R, M.; WEBSTER, F. X. **Spectrometric Identification of Organic Compounds**, 6. Ed. New York: Wiley, 1998.

SPEHAR, C. R. et al. NOVAS CULTIVARES Amarantho BRS Alegria: alternativa para diversificar os sistemas de produção. **Pesq. agropec. bras.**, v. 3, n. 5, p. 659-663, maio 2003.

SPEHAR, C. R.; TRECENTI, R. Agronomic performance of traditional and innovative species for double and dry season cropping in the brazilian savannah high lands. **Biosci. J.**, v. 27, n. 1, p.102-111, 2011.

STALLKNECHT, G. F.; SCHULZ-SCHAEFFER, J. R. **Amaranth Rediscovered.** In: JANICK, J.; SIMON, J. E. (Eds.). New York: New Crops, Wiley, 1993. p. 211-218.

STIGGER, A. L. et al. Intoxicação espontânea por *Amaranthus hybridus* (Amaranthaceae) em bovinos no sul do Rio Grande do Sul. **Pesq. Vet. Bras.**, v. 33, n. 8, p. 1004-1008, ago. 2013.

TAPIA, M. E. **Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación.** Santiago de Chile: FAO, 1990.

VENORA, G. et al. Identification of Italian landraces of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) using an image analysis system. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 121, p. 410-418, 2009.

ZAPOTOCZNY, P.; MARKOWSKI, M.; MAJEWSKA, K.; RATAJSKI, A.; KONOPKO, H. Effect of temperature on the physical, functional, and mechanical characteristics of hot-air-puffed amaranth seeds. **Journal of Food Engineering**, v. 76, p. 469-476, 2006.

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS*

ARTIGO 1**NUTRITIVE POTENTIAL OF AMARANTH WEED GRAINS**

Publicado na revista African Journal of Agricultural Research (Vol. 13(22), pp. 1140-1147, 31 May, 2018. DOI: 10.5897/AJAR2018.13151)

João Barcellos Xavier^{1*}, Douglas Correa de Souza¹, Leticia Cavalheiro de Souza¹, Thiago Sampaio Guerra¹, Luciane Vilela Resende¹, Joelma Pereira².

¹ Universidade Federal de Lavras (UFLA), Departamento de Agricultura, Campus universitário, 37200-000, Lavras, MG/Brasil. bxjoao@yahoo.com.br, douglascorrea@ymail.com, leticia-cavalheiro@hotmail.com, thiagosampaioguerra@hotmail.com, luciane.vilela@dag.ufla.br

² Universidade Federal de Lavras (UFLA), Departamento de Ciência dos Alimentos, Campus universitário, 37200-000, Lavras, MG/Brasil, joper@dca.ufla.br

* Author for correspondence: bxjoao@yahoo.com.br

Abstract: *Amaranthus* is a species with immense potential, however information on its nutritional properties is limited, although widely cultivated in some countries. The objective of this work is to characterise the grains of three species of *Amaranthus* sp. aiming at their food potential, comparing two species considered weed with a commercially grown species. The selected materials were cultivated and submitted to the same culture method, the experiment was performed as a randomized block design with three replicates. Harvested grains were transformed into flour and centesimal composition was determined, as well as macro and micronutrients, starch content and non-nitrogenous. The results were submitted to analysis of variance and compared in Tukey's test. It can be inferred that in the majority of the analyses for centesimal composition, the species *A. hybridus* and *A. viridis* presented higher levels than the *A. retroflexus* (commercial cultivar). *A. hybridus* has the highest amount of N, Mg, B, Mn and Fe, *A. retroflexus* of P, K, S, Cu and Zn whereas *A. viridis* of Ca and Cu. The content of starch in the grains of the species ranged from 32.86% to 36.21%. Regarding the anti-nutritional constituents, the nitrate content present in these three species does not pose a health risk if consumed moderately. Invasive species *A. hybridus* and *A. viridis* present great potential for grain production, whose nutritional properties of flour in most of the analyses performed in this study were superior to the commercial species.

Key words: *Amaranthus hybridus*, *Amaranthus retroflexus*, *Amaranthus viridis*, organic agriculture, unconventional vegetables.

1 INTRODUCTION

Amaranthus sp. are relevant in the agricultural environment as invasive species in a majority of crops, being found mainly on soils with good fertility and high content of organic matter, causing damages in several crops. Although considered a weed, studies prove the nutritional and functional versatility of *Amaranthus* sp. (Kinupp & Lorenzi, 2014).

The genus *Amaranthus* is composed of approximately 70 species, among them there is an enormous morphological variety, with annual or short-lived perennial species. The species already cultivated, are used for the production of grains, leaves and for ornamentation of gardens. The most commonly cultivated species for grain production in the Americas and Asia are: *Amaranthus caudatus*, *A. hypochondriacus*, and *A. cruentus*. The grains of these species are rich in nutrients and provide a complete diet of amino acids (Singh, 2017).

Species from this genus are commonly classified as "pseudocereals" and are examples of so-called under-utilised crops that have evolved after centuries of selection and are currently among the 36 most promising crops to feed humans. They contain significant amounts of minerals, nutrients, vitamins and amino acids, besides antidiabetic and antioxidant activities, containing high levels of iron, selenium, phosphorus and low levels of toxic substances (Amaya-Farfán *et al.*, 2005; Ferreira *et al.*, 2007).

Preliminary studies performed in Brazil, e.g. by Samartini (2015), when carrying out the bromatological characterisation and evaluating the antioxidant potential in the leaves of five *Amaranthus* species considered as invasive, with emphasis for *A. spinosus*, *A. deflexus* and *A. retroflexus* showed higher efficiency in free radical scavenging, thus proving the antioxidant activity of these species. The values obtained by these species can be equated with other crops, such as potato, cauliflower and tomato.

Although studies have already been performed verifying the economic and alimentary potential of the amaranth, few are conducted with such species that are considered as rustic and highly efficient in the production of seeds.

Therefore, scientific studies are important to understand how these species can contribute to the human diet and in the prevention of diseases. Bromatological and phytotechnical studies can encourage the amaranth cultivation on a larger scale and with quality, allowing their commercialisation and hence the consumption of these plants by the population, resulting in economic, social and environmental benefits. In view of the above,

the objective of the present study was to characterize the grains of three *Amaranthus* species, aiming at the food and commercial potential of species considered as invasive non-cultivated.

2 MATERIAL AND METHODS

The evaluated materials were obtained from the germplasm collection of non-conventional vegetables (2015/2016 harvest). In this collection of germplasm, there are about sixty species of unconventional food plants, with propagation materials available for scientific research. Seeking to rescue food species that may contribute to the nutritional enrichment of humanity eating habits.

The work began with seven species of amaranth, with different characteristics, remembering that amaranthus is not cultivated in Brazil. The materials went through a screening process and were previously selected in the field in function of their potential for grain production. Among the seven species, three were selected. Both species present interesting phenotypic characteristics, such as panicle size and high grain yield. Two species considered invasive and of common occurrence in Brazil and another one selected as standard of comparison, being acquired in the local food market as grain (imported from another country), representing a commercial cultivar. The others did not have these characteristics, presenting no commercial interest, such as the presence of spines, small panicles, difficulty in separating the straw from the grain, low rusticity and low productivity.

The materials were identified through exsiccates by EPAMIG (Agricultural research agency of the state of Minas Gerais), being recorded and included in the PAMG herbarium collection. The records of the *Amaranthus* species are 57999, 58002 and 58003, which refer to the species *A. retroflexus* L., *A. viridis* L. and *A. hybridus* L., respectively. The *A. retroflexus* L. species is the commercial cultivar and the other two are considered as invasive species.

After identification, seeds were sown for on-field evaluation of each species (*A. viridis*, *A. hybridus* and *A. retroflexus*) when subjected to the same cultivation method. The experiment was performed as a randomized block design (RDB) with three replicates, being each replicate as one block. Each plot had 78 plants with the purpose of selecting for breeding, besides quantifying the yield of each species through a sample within the plot, composing three useful plants per plot. The edge effect was considered in order to prevent the influence of neighbouring plots. Moreover, a physical barrier was also used with maize

culture in order to avoid crossing between species, since polyploidy with interspecific hybridizations is common in these species, masking its characteristics (Olusanya, 2017).

The experiment was carried out in two agricultural years, sown in October 2016/2017 and harvested in April 2017/2018 in the experimental area in Lavras, south of the State of Minas Gerais, Brazil, located at 21° 14' S, 45° 00' W and 918.8 m altitude. The climate of the region is Cwa (mesothermal) with dry winter and rainy summer, according to Köppen classification (Brasil, 1992). The seeds were sown directly in the field in shallow pits, and then thinned in a spacing of 0.5 m x 0.5 m, with a density of 40,000 plants per hectare, without using irrigation.

By means of the soil analysis, the soil corrections were chosen, opting for the organic management of plants, avoiding influence in their bromatological characteristics. A total of 1 t of dolomitic limestone ha⁻¹, 15 t of poultry manure ha⁻¹ (before sowing) and 15 t of compound ha⁻¹ (after 40 days of sowing). The phytosanitary management was performed from biofertilisers and plant extracts of *Ricinus communis* L. with insecticidal and fungicidal principles.

The grains were harvested at 74, 78 and 137 days after planting in *A. viridis*, *A. hybridus* and *A. retroflexus*, respectively, being harvested manually every 15 days, and the final harvest at 149, 108 and 167 days after planting, accounting for the total yield of each *Amaranthus* species.

The samples were sent to the laboratory and consisted of a grain mixture of each species, making a composite sample. The grains were milled up to the flour point. In the laboratory analyses, the experimental design was completely randomized (CRD), with three replicates for each treatment.

The percent composition of the flour was performed: moisture by the gravimetric method, based on the weight loss of the material subjected to the oven heating at 65 °C until constant weight. The ether extract was determined using the continuous extraction method in Soxhlet apparatus using diethyl ether as solvent. The fixed mineral residue (ash) was determined by calcination of the sample in muffle at 550 °C until clear ash was obtained. The crude protein value was obtained by the Kjeldahl method by determining the nitrogen of food and multiplied by 6.25. The fiber fraction was determined according to the gravimetric method, after digestion in acidic medium (HOROWITZ, 2016), and the carbohydrate fraction was obtained by 100% difference of the sum of the other components, according to the

equation: $CHF = 100 - (M + EE + P + CF + A)$, where: CHF: carbohydrate fraction; M: moisture; EE: ether extract; P: protein; CF: crude fiber and A: ash.

For analysis of macro and micronutrients, the samples were subjected to the method of analysis of vegetal tissues for fertility evaluation, through wet digestion (Malavolta et al., 1997), determining the percentage of macro and micronutrients.

The starch content of amaranth grain flour was identified by washing through sugar removal, autoclaving, neutralization, deproteinisation and determination by spectrophotometer reading at 510 nm, following the standards of the Instituto Adolfo Lutz (2008).

The anti-nutritional analysis of nitrate was done according to the methodology of Cataldo et al. (1975). The nitrate calculation was made by comparing the results from the standard curve, being expressed in $\text{mg NO}_3^- \text{kg}^{-1}$ dry sample. The standard curve used in this study was represented by the equation $y = 0.0054x + 0.0212$ and $R^2 = 0.9945$.

The results were submitted to analysis of variance and the averages were compared by Tukey test ($P < 0.05$). The experimental accuracy was analysed using the coefficient of variation (CV), and the statistical analysis was performed using the SISVAR® software (Ferreira, 2011).

3 RESULTS

According to the analysis of variance (Table 1), there was a significant difference for yield among the *Amaranthus* species in the two years of cultivation.

Table 1 . Grain yield analysis of three *Amaranthus* species.

Species	First Year Yield (t ha^{-1})	Second Year Yield (t ha^{-1})	Standard Deviation
<i>A. viridis</i>	1.96 b	1.96 b	$\pm 0,00$
<i>A. hybridus</i>	2.56 a	2,61 a	$\pm 1,85$
<i>A. retroflexus</i>	0.13 c	0,26 c	$\pm 0,18$
CV (%)	30.22	17.55	

Averages followed by the same letter on the column do not differ significantly among themselves by Tukey test ($P < 0.05$).

On average, *A. hybridus* showed higher yield in the field, being 92.45% higher than the commercial cultivar. *A. viridis* obtained a yield of 90.05% greater than this same species. *A. retroflexus* (commercial) had the lowest average yield, with 0.195 t ha⁻¹.

The species had a very uneven behaviour in the field when dealing with invasive species (*A. viridis* and *A. hybridus*), which is well understood, since these plants did not undergo a genetic improvement process and were not subjected to crops for grain yield. However, the commercial species had a good uniformity in relation to the emergence of plants and a rapid growth in the field.

Data on the grain composition of *Amaranthus* are presented in Table 2.

Table 2 . Percent composition of grain flours of different *Amaranthus* species.

Percent composition	<i>A. retroflexus</i>	<i>A. hybridus</i>	<i>A. viridis</i>	CV (%)
Moisture (%)	12.30 c	13.34 b	14.23 a	1.31
Ether extract (%)	5.58 b	6.46 a	5.58 b	4.45
Ash (%)	2.51 b	2.79 b	3.21 a	4.42
Protein (%)	12.79 a	13.75 a	12.60 a	7.47
Crude fibre (%)	2.05 b	3.32 a	2.45 b	9.91
Non-nitrogenous extract (%)	65.85 a	61.22 b	61.65 b	2.21

Averages followed by the same letter on the row do not differ significantly among themselves by Tukey test (P<0.05).

The *A. viridis* showed the highest moisture percentage in the grain flour (14.23%), followed by *A. hybridus* (13.34%) and *A. retroflexus* with the lowest percentage (12.30%).

For the ether extract contents, *A. hybridus* obtained the highest value (6.46%), and the other species did not differ statistically among themselves, with a value of 5.58% for both species.

In relation to ash percentage, *A. viridis* showed the highest value (3.21%) and the other two species did not differ statistically among themselves, with 2.79% for *A. hybridus* and 2.51% for *A. retroflexus*.

When evaluating the nutritional quality of macro and micronutrients of the amaranth grain flours, the following results were obtained (Table 3 and 4).

Table 3 . Macronutrient content in grain flour of three *Amaranthus* species.

Species	%N	%P	%K	%Ca	%Mg	%S
<i>A. viridis</i>	2.42b	0.42c	0.52b	0.49a	0.32b	0.14b
<i>A. hybridus</i>	2.48a	0.46b	0.45c	0.37b	0.35a	0.19a
<i>A. retroflexus</i>	2.42b	0.54a	0.76a	0.20c	0.31b	0.18a
CV (%)	0.41	2.11	1.73	2.83	3.06	5.88

Averages followed by the same letter on the column do not differ significantly among themselves by Tukey test ($P < 0.05$).

The *A. retroflexus* had the highest macronutrient contents, such as phosphorus (0.54%), potassium (0.76%) and sulfur (0.18%). The *A. hybridus* showed the highest contents of nitrogen (2.48%), magnesium (0.35%) and sulfur (0.19%), not statistically differing from the sulfur content of *A. retroflexus*. The *A. viridis* was the species with the lowest overall macronutrient contents, obtaining only the highest calcium content (0.49%) among the three species. Although it is the species with the highest ash content in the percent composition (Table 2), there are other minerals not quantified in this study that influence the total ash content.

Table 4 . Micronutrient content in grain flour of three *Amaranthus* species.

Species	B (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Fe (ppm)
<i>A. viridis</i>	7.88b	2.77a	20.90b	26.75c	137.65c
<i>A. hybridus</i>	8.54a	1.91b	27.26a	29.71b	457.52a
<i>A. retroflexus</i>	6.56c	2.86a	15.92c	49.95a	339.97b
CV (%)	0.13	4.93	0.27	0.03	0.02

Averages followed by the same letter on the column do not differ significantly among themselves by Tukey test ($P < 0.05$).

The species *A. hybridus* showed the highest micronutrient contents boron (8.54 ppm), manganese (27.26 ppm) and iron (457.52 ppm). The *A. retroflexus* species had the highest contents of copper (2.86 ppm) and zinc (49.95 ppm). For *A. viridis* species, the highest micronutrient content in relation to the other species was copper (2.77 ppm), which did not differ statistically from *A. retroflexus*.

Protein contents in amaranth grains did not differ statistically (Table 2).

The *A. hybridus* had the highest crude fiber content (3.32%), and the other two species did not differ statistically from each other, with 2.45% for *A. viridis* and 2.05% for *A. retroflexus* (Table 2).

The *A. retroflexus* (commercial cultivar) grains have white color as major characteristic, but the other used species are black colored and are recognized as invasive plants in Brazil. It can be suggested that in the majority of the analyses, the species *A. hybridus* and *A. viridis* showed higher contents and dark colored seeds. Therefore, the seed color does not affect the bromatological characteristics of the species.

In relation to the starch content obtained from the species under study, the following results were obtained (Table 5).

The flour of the species *A. retroflexus* and *A. viridis* showed a higher starch percentage, 36.21% and 35.72%, respectively. The *A. hybridus* contains the lowest starch percentage, 32.86%. However, the *A. hybridus* obtained a grain yield higher than the other two species, being this practical factor very important for large-scale cultivation with the intention to obtain starch.

Table 5 . Analysis of the starch content in grain flour of three *Amaranthus* species.

Species	% starch
<i>A. viridis</i>	35.72 a
<i>A. hybridus</i>	32.86 b
<i>A. retroflexus</i>	36.21 a
CV (%)	1.77

Averages followed by the same letter on the column do not differ significantly among themselves by Tukey test (P<0.05).

In relation to the antinutritional nitrate constituent, this study presented the following results for the three amaranth species (Table 6).

Table 6 . Analysis of nitrate in the grain flour of three *Amaranthus* species.

Species	mg NO ₃ ⁻ /kg
<i>A. viridis</i>	1093.32 b
<i>A. hybridus</i>	1597.51 a
<i>A. retroflexus</i>	1452.29 ab
CV (%)	14.54

Averages followed by the same letter on the column do not differ significantly among themselves by Tukey test (P<0.05).

The *A. hybridus* was the species with the highest nitrate value among the species (1597.51 mg NO₃⁻ kg⁻¹), followed by *A. retroflexus* (1452.29 mg NO₃⁻ kg⁻¹) and *A. viridis* (1093.32 mg NO₃⁻ kg⁻¹).

4 DISCUSSION

Although the crop management was similar, there was a great difference between the species. The *A. retroflexus* underwent great injuries due to the environment, suffering several pest attacks, which certainly hindered its development, showing less adaptability and rusticity for cultivation in the southern Minas Gerais, in Brazil. A larva with a curculioniform shape from the Coleoptera family was observed in all blocks. This pest was difficult to identify because the symptoms resembled to a nutritional deficiency, precluding the control action. In contrast, the other species did not show a single specimen of this larva. The *Diabrotica speciosa* and the *Epicauta atomaria* were common to all species, mainly affecting the leaves, but were not difficult to control.

The amaranth species show very interesting plant characteristics such as rustic plants and resistant to water stress, developing in environments unfavourable to other cereals and legumes. Moreover, it contains great capacity of using water, light and nutrients, mainly due to its deep root system that assures its survival in dry periods. They have the capacity to develop and fruit in environments at high temperatures (35 to 45 °C). Species from this genus are also characterized by their wide climatic adaptation. It has fast and vigorous growth, showing high biomass production capacity (Spehar & Trecenti, 2011).

Despite the few studies performed in Brazil, agronomic tests carried out in the northeastern Brazil indicate that it is possible to obtain, in sites without water restriction,

average yields of 3 t ha⁻¹ and 1 t ha⁻¹ under low humidity conditions (Amaya-Farfan et al., 2005).

Another study performed in Slovenia using the cultivar "G6" (*A. cruentus*) discusses that the amaranth grain yield depends on the environment, weather conditions, species, genotypes and production techniques, thus widely varying from 500 to 2,000 kg of grains ha⁻¹. With suitable varieties and production techniques, yields from 1,500 to 3,000 kg of grains ha⁻¹ can be expected. In Europe, there are reports of grain yields between 2,000 and 3,800 kg ha⁻¹ (MLAKAR et al., 2010).

Despite the scarcity of scientific knowledge regarding the yield of the species used in this study (Table 1), the yields were similar to those found in the literature for other widely cultivated species. It is noteworthy that, in the present study, the plants were cultivated in the organic system and in the dry farming, without genetic improvement of the species, indicating a good grain yield in relation to the other studies.

In percent composition of grain flours, the lower moisture percentage in the flour represents a trend towards better food conservation. According to the Brazilian legislation that determines that flours, cereal starch and bran should have a maximum moisture content of 15.0 g 100 g⁻¹ (Brasil, 2005), thus, the three studied species meet the requirements of this legislation (Table 2).

A study performed by Marcílio et al. (2003) obtained moisture of 9.2% of *A. cruentus*, which is lower than the found in this study, which can be caused by being from different species. The increase of moisture allows a greater interaction between grain sub-structures (germ, bark, fiber and starchy endosperm).

Fujita & Figueroa (2003) evaluated the ether extract content present in cereals and derivatives, such as oat, wheat, triticale and barley showed average values of 5.27%, 1.89%, 2.07% and 2.26%, respectively. The amounts of oils and fats found in the amaranth composition were higher than the cereals of wheat, triticale and barley. Therefore, the intake period for this food will be lower when in relation to the other cereals, due to the rancidification process. However, these values indicate a higher amaranth potential for oil production.

The oil content in this grain ranges from 6 to 10%, from which 76% are unsaturated, containing interesting linoleic acid contents. They show 7% esquilant, which is superior to that from other vegetables. Another important factor is the presence of tocotrienols,

antioxidant substances that resemble vitamin E, which reduce the LDL cholesterol content, have anticancer activities, protect against skin aging and prevent the onset of cardiac and obstructive diseases (Costa & Borges, 2005). When comparing the amaranth oil content with the maize, it is possible to observe lower values in the maize kernels. Studies show values that range according to the cultivar genetics, and Cazares-Sanchez (2015) evaluated oil content in a collection of Mexican maize populations and found values between 3.37 and 4.52%.

Generally, the mineral fraction in ash is composed of macro and micronutrients in large part of their constitution (HOROWITZ, 2016), and these are fundamental for the maintenance of the proper functioning of organism. The qualification and quantification of the minerals present in these amaranth species is suggested by the research because the availability of each mineral can be evaluated (Table 3 and 4). Recommendations for mineral intake vary according to the demand of each organism, and each element is required at different quantities.

In the literature, different results regarding ash content among some amaranth species, such as 2.28% ($\pm 0,5$) in the *A. cruentus* L. flour (Capriles et al., 2006), 2.2% and 1.7% (± 0.1) in the whole and refined flour of the *A. cruentus* L. grain, respectively (Marcílio, 2003). The ash contents found in the flours were consistent with this study, being superior to the studied species (Table 2).

Buratto (2012) studied contents of minerals and proteins in common bean grains and presented values from 8.9 to 161.50 ppm iron and from 11.5 to 69.9 ppm zinc in the grains. These values are closely related to the cultivar genotype. The deficiency of these nutrients in the human diet is considered as challenging, affecting the health of thousands of people worldwide. The values found in the literature for iron are much lower than found in the three amaranth species under study (Table 4), whereas for zinc, the contents were similar to the beans.

A study quantified the nutrients present in 100 g of *Amaranthus* grain, comparing with the wheat grain, demonstrating the nutritional superiority of amaranths. Regarding the found nutrients, the potassium content was 101% higher than wheat, with 0.366 g per 100 g of the grain; the calcium content was 528%, with 0.153 g per 100 g of the grain; the phosphorus content was 158%, with 0.455 g per 100 g of the grain; the magnesium content was 211%, with 0.266 g per 100 g of the grain; the iron content was 238%, with 7.59 mg 100 g⁻¹ of the

grain; the zinc content was 120%, with 3.18 mg 100 g⁻¹ of the grain; and copper was 179%, with 0.777 mg 100 g⁻¹ of the grain (Costa & Borges, 2005).

Although amaranth grain flour is an important source of nutrients, it is worth mentioning that the concentration of a certain nutrient in the food is not necessarily a reliable indicator of the value to be absorbed by the organism. Studies are needed to understand the bioavailability of these nutrients, thus quantifying the nutrient portion that will be available for use by the body in metabolic processes (Chitarra & Chitarra, 2005).

One of the most interesting nutritional properties of *Amaranthus* is the content of biological quality proteins in its grains (approximately 15%), having lysine (representing 5% protein) and other essential amino acids (being 4.4% sulfur-containing amino acids). Another study shows that amaranth has between 12 and 17% proteins, containing well-balanced amino acids, a characteristic not found in other cereals, including a large amount of lysine, ranging between 0.73 and 0.84% of the total protein content. This species also has carbohydrates, fats and minerals. These characteristics are the most limiting factors from the other cultivated grains. Studies show that amaranth has values of proteins, fats and fibers higher than cereals such as wheat, maize, rice and oats (Amaya-Farfan et al., 2005).

Research on cereals show different crude fiber contents for white oats (8.88%), common black oats (8.76%), rye (3.34%), barley (3.89%), triticale (2.50%) and wheat (2.19%) (Guarienti et al., 2001). Based on these data, it can be said that the amaranth has similar contents to other cereals, such as rye, barley, triticale and wheat in relation to the crude fiber percentage present in its food composition (Table 2).

For the non-nitrogenous extract (NNE), the largest value was found in *A. retroflexus* (65.85%), but *A. hybridus* (61.22%) and *A. viridis* (61.65%) did not differ statically (Table 2). The Brazilian food composition table (TACO) (Lima, 2012) does not contemplate this analysis; however, it can be calculated through the difference between carbohydrates and dietary fiber. It is known that NNE constitutes the carbohydrate portion of the food, i.e., it provides energy readily available to humans.

Zhu (2017) performed a review on the starch characteristics from different amaranth species and reached the following result; the starch yield, the contents of amylose, total lipid and protein of amaranth starches from different studies in the last five decades were reported between 2.0 - 65.2%, 0.0 - 34.3%, 0 - 1.8% and 0.02 - 0.98%, respectively. The species with

the highest starch yields are *A. hypochondriacus*, *A. cruentus* and *A. hypochondriacus* x *A. hybridus*.

When a study quantified the starch content of quinoa, amaranth (*A. caudatus*) and wheat, found values between 66.3 - 68.1%, and did not differ statistically among themselves (Srichuwong et al., 2017). Pilat et al. (2016) evaluated the starch content in *A. cruentus* and found the value of 55.53%. The values of starch content found in the literature were higher than in this study (Table 5), this may be an effect of the different species studied and the environmental conditions in which the plants were submitted.

Costa & Borges (2005) concluded that due to the nutritional characteristics of the amaranth, it is possible to substitute other cereals without causing any food deficiency, whether this grain be adopted as basic morning food, through flours, cakes, pancakes etc. Moreover, amaranth can be consumed by people who have allergy to gluten and with high cholesterol rates. The grains of this plant represent a more balanced and energetic diet than other grains, such as maize, wheat or rice, being nutritionally comparable to milk, meat and egg. Due to its agronomical, nutritional and medicinal characteristics, amaranth can minimize food deficiencies in poor or developing regions of the world.

The accumulation of nitrates in raw vegetables, herbs and fruits has a wide range of accumulation. There are a number of factors that influence nitrate accumulation as: plant species and their genotypes, agronomic factors, environmental conditions prevailing during plant growth (such as light intensity, spectral quality, photoperiod, air temperature and concentration of carbon dioxide), harvesting phase, as well as harvesting time during the day. In addition, post-harvest factors in particular, storage conditions may also cause or inhibit the conversion of nitrates into nitrites (Colla et al., 2018).

Human exposure to nitrate is mainly exogenous, due to the consumption of raw vegetables (80%). Nitrate is relatively harmless since the fatal dose for adults is considered to be greater than 7-35 g, which is about 100 times higher than the acceptable daily dose of NO₃ as defined by the European Union (3.7 mg / kg body weight per day), equivalent to 222 mg NO₃ - per day for individual 60 kg. The EU regulatory commission has set maximum nitrate values for fresh vegetables such as spinach, lettuce and rucula between 2,000 to 7,000 mg of NO₃ kg⁻¹ fresh matter (Colla et al., 2018). These values are much higher than those found in the grains of the three amaranthus species in this study, these grains were consumed moderately and did not represent an ant nutritional risk for

humans. It should be emphasized that nitrogenous chemical fertilizers can alter the nitrate content of grains from these plants (Colla et al., 2018), and further studies are necessary to establish the food safety of these foods in the conventional system of cultivation.

A diet with nitrate is mainly obtained by the intake of vegetables. Older literature shows nitrate in the diet as a contaminant associated with increased risks of stomach cancer and methemoglobinemia. Consequently, nitrate levels for human intake have always sought to be restricted, being the exposure levels of an acceptable daily intake is 3 - 7 mg kg⁻¹. The average intake of nitrates in the UK is approximately 70 mg/day, although some population groups such as vegetarians can consume three times this value. When assessed clinically, they did not present health-related problems with nitrate (Ashworth & Bescos, 2017).

More recent studies suggest that dietary nitrate can significantly reduce blood pressure and may reduce the incidence of hypertension and mortality from stroke. There is a lack of data demonstrating the actual chronic effect from high nitrate intake in humans. However, due to potential health benefits, some authors recommend that nitrate be considered as a necessary nutrient for health rather than as a contaminant that needs to be restricted. Although nitrate toxicity is low, the oral lethal dose of nitrate to humans has been reported at about 330 mg/kg per day (equivalent to about 23,100 mg for an adult of 70 kg day⁻¹). However, further studies are necessary for the actual understanding of nitrate in the human body (Ashworth & Bescos, 2017).

As final considerations, amaranth plants considered as invasive have a high nutritional and productive potential in relation to other cereals commonly consumed by Brazilians. The present study aimed to demonstrate the possibility of using amaranth as an alternative source for human or even animal feeding.

Borneo & Aguirre (2008) reported that the potential of *Amaranthus* species has been rediscovered along the years, and since then, several studies have been performed emphasizing high protein quality, the presence of unsaturated oil and other valuable components, besides several uses, including high quality roasts, edible films, functional ingredients, among others.

Based on the obtained results, it can be suggested that in the majority of the analyses related to the percent composition, the species *A. hybridus* and *A. viridis* showed contents higher than the commercial cultivar (Table 2).

It was possible to observe that the species showed different amounts of nutrients. The *A. hybridus* has the highest amount of N, Mg, B, Mn and Fe, the *A. retroflexus* of P, K, S, Cu and Zn, and *A. viridis* of Ca and Cu (Table 3 and 4). This result indicates a food potential of the species considered as weeds, obtaining results as interesting as the commercial cultivar *A. retroflexus*.

Regarding the starch content found in the three species (Table 5), these values were lower than found in the literature, and this difference could be correlated with the species under study and the environmental conditions to which they were subjected.

In relation to the antinutritional constituents, the nitrate content present in these species did not represent a health risk whether consumed moderately for the three studied species (Table 6).

5 CONCLUSION

The invasive species *A. hybridus* and *A. viridis* showed great potential for grain yield, whose nutritional properties of flour in most of the analyses performed in this study were superior to the commercial species (*A. retroflexus*).

REFERENCES

- Ashworth, A. & Bescos, R. (2017). Dietary nitrate and blood pressure: evolution of a new nutrient? *Nutrition Research Reviews* 30, 1-12. <https://doi.org/10.1017/S0954422417000063>
- Amaya-Farfan, J., Marcílio, R., & Spehar, C. R. (2005). Deveria o Brasil investir em novos grãos para a sua alimentação? A proposta do amaranto (*Amaranthus* sp.). *Segurança alimentar e nutricional* 12, 47-56. <https://doi.org/10.20396/san.v12i1.1838>
- Brasil, (1992). Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária. Departamento Nacional de Meteorologia. *Normais climatológicas: 1961-1990*. Brasília, DF. 465p.
- Brasil, (2005). Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005. *Regulamento Técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos*. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 6p.
- Borneo, R. & Aguirre, A. (2008). Chemical composition, cooking quality, and consumer acceptance of pasta made with dried amaranth leaves flour. *LWT - Food Science and Technology* 41,1748-1751. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.02.011>
- Buratto, J. S. (2012). *Teores de minerais e proteínas em grãos de feijão e estimativas de parâmetros genéticos*. Dissertation; Universidade Federal de Lavras. Brasil.
- Capriles, V. D., Coelho, K. D., Matias, A. C. G., & Arêas, J. A. G. (2006). Effect of amaranth on nutritional value and sensory acceptability of cookie and sandwich bread. *Alim. Nutr.*, 17:269-274.
- Cataldo, D. A., Haroon, M., Schrader, L. E., & Youngs, V. L. (1975). Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Commun Soil Science and Plant Analysis* 6, 71-80. <https://doi.org/10.1080/00103627509366547>
- Cazares-Sanchez, E., Chavez-Servia, J. L., Salinas-Moreno, Y., Castillo-Gonzalez, F., & Ramirez-Vallejo, P. (2015). Grain composition variation among native maize (*Zea mays* l.) of Yucatan, Mexico. *In Agrociencia* 49,15-30.
- Chitarra, M. I. F. & Chitarra, A. B. (2005). *Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio*. 785p.
- Colla, G., Kim, H., Kyriacou, M. C., & Roupael, Y. (2018). Nitrate in fruits and vegetables. *Scientia Horticulturae* 237, 221–238. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.016>
- Costa, D. M. A. & Borges, A. S. (2005). Avaliação da produção agrícola do Amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*). *Holos* 21, 97-111.
- Ferreira, D. F. (2011). Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. *Ciênc. agrotec.* 35, 1039-1042.

- Ferreira, T. A. P. C., Matias, A. C. G., & Arêas, J. A. G. (2007). Características nutricionais e funcionais do Amarantho (*Amaranthus* spp.). *Nutrire: revista da Sociedade Brasileira Alimentação e Nutrição* 32, 91-116.
- Fujita, A. H. & Figueroa, M. O. R. (2003). Composição centesimal e teor de beta-glucanas em cereais e derivados. *Ciênc. Tecnol. Aliment. Campinas* 23, 116-120.
- Guarienti, E. M., Del Duca, L. J., Fontaneli, R. S., & Zanotto, D. L. (2001). Composição química dos principais cereais de inverno do Brasil. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha* 7,7-14.
- Horowitz, W. (2016). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 20th ed., 3rd rev. Gaithersburg, Maryland: AOAC, 3100 p.
- Instituto Adolfo Lutz (2008). *Métodos físico-químicos para análise de alimentos*. São Paulo, 1020p.
- Kinupp, V. F. & Lorenzi, H. (2014). Plantas alimentícias não convencionais (PANC) no Brasil: guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas. *São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora*.
- Lima, D. M. (2012). Tabela brasileira de composição de alimentos-TACO. *NEPAUNICAMP*.
- Malavolta, E., Vitti, G. C., & Oliveira, S. A. (1997). Avaliação do estado nutricional das plantas. Princípios e aplicações. *POTAFOS*, 2, 319.
- Marcílio, R., Farfán, J. A., Ciacco, C. F., & Spehar C. R. (2003). Fracionamento do grão de amarantho (*A. cruentus*) brasileiro e suas características composicionais. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 23, 511-516.
- Mlakar, G. S., Turinek, M., Jakop, M., Bavec, M., & Bavec, F. (2010). Grain amaranth as an alternative and perspective crop in temperate climate. *Revija za geografijo - Journal for Geography*, 5(1), 135-145.
- Olusanya, A. C. (2017). A multi-species assessment of genetic variability in Nigerian *Amaranthus* accessions: potential for improving intra-and interspecies hybridization breeding. *Archives of Agronomy and Soil Science*. <http://dx.doi.org/10.1080/03650340.2017.1384817>
- Pilat, B., Ogródowska, D., & Zadernowski, R. (2016). Nutrient Content of Puffed Proso Millet (*Panicum miliaceum* L.) and Amaranth (*Amaranthus cruentus* L.) Grains. *Czech Journal of Food Science* 34(4), 362-369.
- Samartini, C. Q. (2015). Conteúdo de DNA nuclear, número cromossômico e compostos de interesse nutricional em *Amaranthus* spp. *Master's thesis, Universidade Federal de Lavras. Lavras (MG)*.
- Singh, A. K. (2017). Early History of Crop Introductions into India: II. *Amaranthus* (L.) spp. *Asian Agri-History* 21(4), 319-324.

Spehar, C. R. & Trecenti, R. (2011) Agronomic performance of traditional and innovative species for double and dry season cropping in the Brazilian savannah high lands. *Biosci. J.*, 27(1), 102-111.

Srichuwong, S., Curti, D., Austin, S., King, R., Lamothe, L., & Gloria-Hernandez, H. (2017). Physicochemical properties and starch digestibility of whole grain sorghums, millet, quinoa and amaranth flours, as affected by starch and non-starch constituents. *Food Chemistry* 233, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.019>

Zhu, F. (2017). Structure, Physicochemical Properties, and Applications of Amaranth Starch. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 57, 313-325. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.862784>

**Artigo 2 - Qualidade Fisiológica de Sementes de *Amaranthus* Spp.
Physiological Quality of Seeds Of *Amaranthus* Spp.**

João Barcellos Xavier^{1*}, Dayliane Bernardes de Andrade¹, Gabriel Castanheira Guimarães¹,
Douglas Correa de Souza¹, Luciane Vilela Resende¹, Renato Mendes Guimarães¹.

¹ Universidade Federal de Lavras (UFLA), Departamento de Agricultura, Campus universitário, 37200-000, Lavras, MG/Brasil. bxjoao@yahoo.com.br, dayliandrade@gmail.com, guimaraes.gabrielc@gmail.com, douglascorrea@ymail.com, luciane.vilela@dag.ufla.br, renatomg@dag.ufla.br .

* Author for correspondence: bxjoao@yahoo.com.br

RESUMO

Amaranthus é um gênero com grande potencial para a produção de grãos e folhas para alimentação humana, porém, existem espécies que possuem poucos estudos fitotécnicos. O objetivo neste estudo foi determinar a qualidade de três lotes de sementes das espécies *A. viridis*, *A. hybridus* e a espécie comercial (*Amaranthus* spp.). O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado com esquema fatorial de acordo com a análise realizada. As sementes foram limpas e classificadas em três malhas de peneira. Avaliou-se características de geometria e cor das sementes das três espécies. As sementes foram analisadas com raios-X para avaliar a sua qualidade física. Foi realizado um teste de germinação (avaliando-se o Índice de Velocidade de Germinação, o comprimento de plântulas, do hipocótilo e raiz primária, por meio de imagens capturadas pelo Groundeye®). Amostras destas sementes foram avaliadas pela espectroscopia de infravermelho próximo (NIR). O material comercial apresenta maiores valores para as características geométricas quando comparada às outras espécies em estudo. Observou-se que as sementes de *A. hybridus* e *A. viridis*, possuem coloração com predominância preta e o material comercial amarela. Os resultados dos raios-X, indicam interação com a classe de tamanho entre as espécies. Houve diferença na germinação de sementes entre as espécies e ao longo do tempo de germinação. Constatou-se que o KNO_3 tem efeito positivo para *A. viridis* e *A. hybridus*. Ao realizar a análise no NIR, pela observação visual dos espectros, observou-se que as bandas foram semelhantes entre as espécies. As sementes oriundas das três espécies foram classificadas corretamente em 100% das repetições, estas apresentam distintas características químicas que as diferenciaram. Concluiu-se que o material comercial apresentou em termos gerais os melhores resultados em relação à qualidade fisiológica de sementes. A utilização da solução de KNO_3 a 0,2% auxilia no vigor das espécies *A. viridis* e *A. hybridus*. Por meio do NIR, foi possível distinguir as três espécies utilizadas no trabalho de acordo com a sua predominância de componentes químicos.

Palavras-chave: Geometria. Raios-x. Teste de germinação. Groundeye®. KNO_3 . Espectroscopia de infravermelho próximo.

ABSTRACT

Amaranthus is a genus with great potential for the production of grains and leaves for human consumption, but there are species that have few phytotechnical studies. The aim of this work was to determine the quality of three seed lots of *A. viridis*, *A. hybridus* and commercial species (*Amaranthus* spp.). The experimental design was completely randomized with a factorial scheme according to the analysis. The seeds were cleaned and classified into three sieve screens. Seed geometry and color characteristics of the three species were evaluated. The seeds were analyzed with X-rays to evaluate their physical quality. A germination test (germination speed index, seedlings, hypocotyl and primary root length, using images captured by Groundeye®) was performed. Samples of these seeds were evaluated by near infrared spectroscopy (NIR). The commercial material presents higher values for the geometric characteristics when compared to the other species under study. It was observed that the seeds of *A. hybridus* and *A. viridis*, have predominantly black staining and the

commercial yellow material. The X-ray results indicate interaction with the size class between species. There was a difference in seed germination between the species and along the germination time. It was found that KNO_3 has a positive effect on *A. viridis* and *A. hybridus*. When performing the analysis in the NIR, by the visual observation of the spectra, it was observed that the bands were similar among the species. The seeds from the three species were classified correctly in 100% of the repetitions, these have different chemical characteristics that differentiate them. It was concluded that the commercial material presented in general terms the best results regarding the physiological quality of seeds. The use of the 0.2% KNO_3 solution assists in the vigor of *A. viridis* and *A. hybridus* species. Through the NIR, it was possible to distinguish the three species used in the work according to their predominance of chemical components.

Keywords: Geometry. X-ray. Germination test. Groundeye[®]. KNO_3 . Near infrared spectroscopy.

1 INTRODUÇÃO

A globalização e outros processos dinâmicos tão presentes no século XXI vêm afetando a sociedade em diversos setores, e na alimentação não tem sido diferente. Existe uma busca por fontes de alimentos alternativos que visem suprir as necessidades alimentares da população, visto que há uma grande dependência energética de 4 culturas - milho, batata, arroz e trigo - responsáveis por mais de 50% da necessidade energética da humanidade (BRASIL, 2013).

O gênero *Amaranthus* tem sido considerado como o alimento do futuro, em virtude de suas propriedades nutricionais e funcionais como o alto conteúdo de antioxidantes, podendo esta cultura ser uma alternativa para a diversificação dos alimentos consumidos pela sociedade (AMAYA-FARFAN et al., 2005).

No Brasil, o *Amaranthus* é considerado uma hortaliça não convencional, e seu consumo como alimento na atualidade é incipiente, assim como estudos sobre as propriedades nutricionais e fitotécnicas destas espécies. Embora estudos já tenham sido realizados verificando o potencial econômico e alimentar dos *Amaranthus*, poucos são realizados com as espécies encontradas no Brasil e que, popularmente, são consideradas rústicas e altamente eficientes na produção de sementes. Apesar dos amarantos serem considerados como plantas invasoras no Brasil, nos últimos anos foi incluído entre as hortaliças não convencionais, também denominadas de PANC (Plantas Alimentícias Não Convencionais) (KINUPP; LORENZI, 2014).

Estudos evidenciam que a utilização de sementes com alto potencial fisiológico é aspecto importante a ser considerado para o aumento da produtividade da cultura e, por isso, o controle de qualidade de sementes deve ser cada vez mais eficiente, incluindo testes que avaliem rapidamente o potencial fisiológico e que permitam a diferenciação precisa entre lotes (FESSEL et al., 2010).

A utilização de imagem digital tem se tornado uma ferramenta de grande importância na avaliação da qualidade de lotes de sementes em substituição à avaliação visual subjetiva humana (VENORA et al., 2009). Para fins comerciais e tecnológicos a utilização de imagens de sementes busca facilitar, agilizar e automatizar a categorização das características das sementes, como: tamanho, cor, forma, textura, preenchimento, medição de plântulas e a identificação de cultivares (GRANITTO; VERDES; CECCATO, 2005). A análise de imagens de sementes é um método rápido, objetivo, pouco oneroso, compacto e não destrutivo. Estudos têm sido realizados com equipamentos de Raios-X e GROUNDEYE[®] (antigo Sistema de Análise de Sementes – SAS) para avaliar a qualidade de lotes de sementes (ANDRADE, 2014).

A espectroscopia de infravermelho próximo é um processo de medição baseado na absorção e emissão de energia eletromagnética em alguma região do espectro eletromagnético. É baseada na absorção de radiação eletromagnética em comprimentos de onda na faixa de 780 – 2500 nm. O principal objetivo desta técnica é determinar grupos funcionais de componentes químicos em lotes de sementes, de acordo com a absorbância da amostra. Este equipamento tem sido utilizado para identificação de constituintes em alimentos, como: óleo, determinação de organismos geneticamente modificados, seleção/identificação de genótipos, dentre outros (SILVERSTEIN; WEBSTER, 1998; MITTELMANN et al., 2006; CONCEIÇÃO et al., 2006; LEMONS; SILVA et al., 2008; GUIMARÃES, 2016).

Diante do exposto, objetivou-se com este estudo, determinar a qualidade de três lotes de sementes das espécies *A. viridis*, *A. hybridus* e a espécie comercial (*Amaranthus* spp.).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Obtenção de sementes

Os lotes de sementes avaliados neste trabalho foram obtidos da Coleção de Germoplasma de Hortaliças Não Convencionais da Universidade Federal de Lavras - UFLA (21° 14' S e 45° O). Foram estudadas três espécies de amarantos, *A. viridis* L., *A. hybridus* L. e *Amaranthus* spp. L. (material comercial). O clima da região, segundo a classificação climática de Köppen, é Cwa (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso (BRASIL, 1992; DANTAS et al., 2007).

2.2 Limpeza e classificação de sementes em malhas de peneira

Em laboratório as sementes foram limpas com soprador DeLeo[®] com abertura de ar entre 1 e 2 cm, eliminando a palha e a sujeira mais grosseira proveniente do campo. Posteriormente, estas sementes passaram em peneiras com três malhas (850 µm, 600 µm e 425 µm), dividindo-as desta forma em 3 classes de tamanho de sementes. O restante das impurezas foi retirado de forma manual, com auxílio de lupa.

2.3 Determinação de característica geométrica e cor

Esta análise foi conduzida em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) em fatorial 3x3 - 3 espécies (*A. viridis*, *A. hybridus* e *Amaranthus* ssp.) x 3 Peneiras (850 µm, 600 µm e 425 µm), com três repetições para cada tratamento, cada repetição com 100 sementes.

As espécies foram analisadas no Groundeye[®] que, através de imagens retiradas das amostras de sementes, quantificou características de geometria (área, circularidade, circularidade por fator de forma circular modificada - FFCm, esfericidade da forma, deformação do contorno, diâmetro máximo, diâmetro mínimo, perímetro e afinamento) e de cor das três espécies de *Amaranthus* nas distintas classes de peneira, utilizando-se o modelo para identificação das cores CIE L*a*b (configuração Groundeye[®] L: 0,0 e 100,0; a: -17,8 e 42,2; b: -50,3 e -24,7; Tipo: Sementes de hortaliças). A fórmula utilizada pelo equipamento Groundeye[®] para calcular a circularidade por FFCm foi:

$$\overline{FFC}_m = \frac{4.A}{P.F_{max}^3} \quad (1)$$

Onde A representa área, P o perímetro e Fmax é o diâmetro máximo de Ferret (Fator de calibração) da imagem.

2.4 Avaliação física de sementes cheias em raios-X

Posteriormente, as sementes foram analisadas com raios-X para avaliar a sua qualidade física. Esta análise foi conduzida em DIC em fatorial 3x3 - 3 espécies (*A. viridis*, *A. hybridus* e *Amaranthus* ssp.) x 3 Peneiras (850 µm, 600 µm e 425 µm), com quatro repetições para cada tratamento, cada repetição com 100 sementes.

As sementes foram fixadas em folhas de acetato transparente com fita dupla face, localizadas na prateleira superior do equipamento, devido ao pequeno tamanho das sementes, sendo expostas aos raios-X com kV de 35 pelo tempo de 19 segundos. Foram obtidas imagens, quantificando-se a porcentagem de sementes cheias para cada amostra.

2.5 Teste de germinação

Posteriormente, realizou-se o teste de germinação das sementes utilizando-se uma mistura das classes de 850 µm e 600 µm para cada lote de semente de cada espécie, tendo-se em vista que a classe 425 µm apresentou sementes chochas e com baixa qualidade física, segundo a análise, de raios-X. Esta análise foi conduzida em DIC em fatorial 3x2 - 3 espécies (*A. viridis*, *A. hybridus* e *Amaranthus* ssp.) x 2 KNO₃ a 0,2% (Com e Sem), com quatro repetições para cada tratamento, cada repetição com 50 sementes. Foi avaliado o comprimento das plântulas, do hipocótilo (sendo a parte do eixo da plântula situada imediatamente acima do colo e abaixo do ponto de inserção dos cotilédones) e da raiz primária por meio de imagens capturadas pelo Groundeye[®], em duas avaliações distintas: a contagem (no 5º dia) e a germinação (no 14º dia de análise).

Para o teste de germinação foram seguidas as recomendações da RAS - Regra de Análise de Sementes (BRASIL, 2009), utilizando a recomendação para a espécie *A. hybridus*, pois não há uma recomendação padrão para as outras espécies foco deste estudo. As sementes foram acondicionadas em Gerbox e incubadora BOD (Biochemical Oxygen Demand). Optou-

se pelo fotoperíodo de 8 horas de luz / 16 horas de escuro, com temperatura alternada de 30 - 20°C. A germinação foi feita sobre papel mata borrão de coloração branca (tamanho: 10,5 x 10,5 cm; espessura: 2 mm e gramatura: 250g/m²) umedecendo o papel com um volume de água em quantidade equivalente de 2,5 vezes o peso do substrato. No teste de germinação avaliou-se a presença e a ausência da solução de KNO₃ a 0,2% para superação da dormência (o substrato foi umedecido inicialmente com nitrato de potássio diluído em água a 0,2%). A primeira contagem foi feita no 5º dia e a germinação no 14º dia de análise.

2.6 Índice de Velocidade de Germinação

Esta análise foi conduzida em DIC em fatorial 3x2 - 3 espécies (*A. viridis*, *A. hybridus* e *Amaranthus* ssp.) x 2 KNO₃ a 0,2% (Com e Sem), com quatro repetições para cada tratamento, cada repetição com 50 sementes. Avaliou-se o Índice de Velocidade de Germinação (IVG) para cada espécie pela fórmula de Maguire (1962):

$$IVG = \frac{\text{Número de Plântulas Germinadas}}{\text{Número de Dias}} + \frac{N}{Nd} \quad (2)$$

Foi realizada a contagem diária das sementes germinadas, consideradas como uma plântula normal (sendo esta, a que apresenta capacidade de continuar seu desenvolvimento e dar origem a uma planta normal, com a emissão do primeiro par de folhas primárias) no intervalo do 3º ao 14º dia de germinação. Foram realizadas regressões para cada espécie.

2.7 Espectroscopia de infravermelho próximo

Amostras destas sementes também foram avaliadas pela espectroscopia de infravermelho próximo (NIR), que é uma técnica de obtenção de dados sobre os componentes químicos das sementes através da radiação infravermelha incidente na amostra, obtendo resultados relacionados aos constituintes presentes nas sementes das espécies de *Amaranthus* e a diferenciação das espécies. O espectrômetro utilizado foi o modelo TENSOR 27, fabricado pela BRUKER®, e o software foi o OPUS_Spectroscopy Version 6, do mesmo fabricante. Esta análise foi conduzida em DIC com 8 repetições para cada espécie, 48 scans para cada repetição e uma resolução de 4 cm⁻¹. Posteriormente, os dados foram analisados por

uma PLS-DA (Partial least squares – discriminant analysis) utilizando o software PIROUETTE®.

2.8 Análise de variância e teste de médias

Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). A precisão experimental foi analisada por meio do coeficiente de variação (CV), e a análise estatística realizada com auxílio do software SISVAR® (FERREIRA, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a análise de variância houve diferença significativa para as interações, sendo necessário realizar o desdobramento para todas as características apresentadas na Tabela 1, havendo diferença significativa para as características geométricas das sementes entre as espécies de *Amaranthus*.

A espécie comercial, de forma geral, apresentou características geométricas maiores quando comparada as outras espécies em estudo, como área, circularidade por FFCm, deformação do contorno, diâmetro máximo, diâmetro mínimo, perímetro e afinamento. Enquanto que *A. viridis* e *A. hybridus* apresentam valores estatisticamente semelhantes para a área, esfericidade da forma, deformação do contorno, diâmetro máximo, perímetro e afinamento.

Tabela 1 - Características geométricas das sementes das espécies de *Amaranthus*.

Característica	Peneira (µm)	<i>A. viridis</i>	<i>A. hybridus</i>	Espécie comercial	CV (%)
Área (mm ²)	425	0,49bC	0,51bC	0,62aC	2,69
	600	0,76bB	0,71cB	0,99aB	
	850	0,87bA	0,86bA	1,25aA	
Circularidade	425	0,89aB	0,83cB	0,85bB	0,76
	600	0,91aA	0,88bA	0,92aA	
	850	0,91bA	0,90bA	0,93aA	
Circularidade por FFCm*	425	0,90aA	0,87bA	0,88bB	0,85
	600	0,89bAB	0,88bA	0,92aA	
	850	0,88bB	0,88bA	0,92aA	
Esfericidade da forma	425	13,63aB	13,84aB	13,73aA	1,41
	600	14,27aA	14,37aA	13,58bA	
	850	14,61aA	14,63aA	13,62bA	
Deformação do contorno	425	14,67bC	14,88abC	15,39aC	1,48
	600	17,51bB	17,24bB	19,21aB	
	850	18,06bA	18,25bA	21,31aA	
Diâmetro máximo (cm)	425	0,08cC	0,08bC	0,09aC	1,99
	600	0,10bB	0,09bB	0,12aB	
	850	0,11bA	0,11bA	0,13aA	
Diâmetro mínimo (cm)	425	0,07bC	0,06bC	0,07aC	1,47
	600	0,08bB	0,08cB	0,10aB	
	850	0,09bA	0,09bA	0,12aA	
Perímetro (cm)	425	0,26bC	0,26bC	0,29aC	2,11
	600	0,33bB	0,32bB	0,36aB	
	850	0,35bA	0,35bA	0,41aA	
Afinamento	425	0,92aA	0,90aA	0,91aA	1,06
	600	0,88bB	0,87bB	0,92aA	
	850	0,86bB	0,86bB	0,92aA	

As médias seguidas pela mesma letra minúscula, na linha, e maiúscula, na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). *FFCm – Fator de Forma Circular modificada.

Observa-se, de forma geral, que a classe de sementes de 425 µm obteve os menores valores para todas as características geométricas, tendo valor superior apenas na característica afinamento, indicando desta forma, que possivelmente esta é uma classe de sementes com formação ruim e com baixo potencial germinativo. Já as classes 850 µm e 600 µm não diferiram estatisticamente para as características circularidade, circularidade FFCm e esfericidade da forma. Nas demais características (área, deformação do contorno, diâmetro máximo, diâmetro mínimo e perímetro) a classe 850 µm apresentou os maiores valores.

Zapotoczny et al. (2006) ao estudarem o tamanho e o formato de sementes de *Amaranthus* da variedade comercial MT-3, na classe de peneira de 0,80 a 1,00 mm de diâmetro, observaram que as sementes possuem em média 1,07 mm² de área, 0,36 cm de perímetro, 0,12 cm de diâmetro máximo, 0,10 cm de diâmetro mínimo, 1,00 para fator de forma de compactação e 1,00 de circularidade.

Os resultados obtidos neste trabalho são muito próximos aos valores citados por Zapotoczny et al. (2006). Para a espécie comercial obteve-se em média 0,95mm² de área, 0,35cm de perímetro, 0,11cm de diâmetro máximo, 0,09cm de diâmetro mínimo e 0,90 de circularidade, *A. viridis* (0,71mm²; 0,31cm; 0,09cm; 0,08cm; 0,91) e *A. hybridus* (0,69mm²; 0,31cm; 0,09cm; 0,07cm; 0,87), valores estes, bem próximos ao da literatura.

Os resultados apresentados na Tabela 1, sobre a geometria das sementes de *Amaranthus* podem ser muito úteis para a confecção de máquinas que auxiliem na produção comercial destas espécies. A partir destes dados podem ser feitos trabalhos para o desenvolvimento de semeadoras, limpadoras de grãos e o desenvolvimento da peletização destas pequenas sementes.

Na Tabela 2 são apresentadas as cores identificadas pelo Groundeye[®] nas sementes das espécies de *Amaranthus* de acordo com a classe de peneira.

Tabela 2 - Porcentagem de cor nas sementes de *Amaranthus* spp nas diferentes classes de peneira.

Espécie	Classe de peneira (µm)	Preta (%)	Amarela (%)	Laranja (%)	Celestial (%)	Cinza escuro (%)	Outros (%)
<i>A. viridis</i>	425	65,93b	-	-	11,95a	2,24b	19,87a
	600	83,41a	-	-	8,44b	5,89a	2,20b
	850	83,10a	-	-	8,68ab	5,46a	2,78b
CV(%)		3,55	-	-	14,00	6,78	19,92
<i>A. hybridus</i>	425	67,35b	-	-	10,71a	3,17b	18,75a
	600	79,74a	-	-	9,56a	5,53a	5,15b
	850	80,50a	-	-	11,58a	4,36ab	3,55b
CV(%)		5,48	-	-	17,09	11,79	24,5
Espécie Comercial	425	-	28,84b	28,75a	19,24a	18,89a	4,27a
	600	-	50,72a	10,09b	16,70b	18,26a	4,22a
	850	-	57,13a	8,70b	14,54c	15,79a	3,83a
CV (%)		-	9,04	16,42	4,91	9,36	10,51

As médias seguidas pela mesma letra, nas colunas e entre as espécies, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Observa-se que as sementes das espécies *A. viridis* e *A. hybridus* apresentam coloração com predominância escura nas três classes de tamanho. Na classe 850 μm , 83,10% das sementes de *A. viridis* e 80,50% das sementes de *A. hybridus* são pretas. Visualmente, as sementes de *A. hybridus* apresentam um tom avermelhado ou púrpura, mas o equipamento Groundeye[®] não identificou esta coloração nas sementes. As sementes do material comercial têm cor predominantemente amarela, com 57,1% de presença desta cor na classe 850 μm .

Estudos afirmam que a coloração é um fator importante para separar as espécies de *Amaranthus* comerciais das espécies espontâneas, normalmente, as sementes claras não possuem dormência, já as sementes pretas ficam no solo e germinam gradualmente. No gênero *Amaranthus* são encontradas sementes de coloração variada como: preta, vermelha, cinza, rosada, amarela, bege e branca (GUIMARÃES, 2017). Estudos realizados por Vasundhara et al. (2017) apresentam que a coloração dos grãos, folhas e caules dos *Amaranthus* podem representar uma importante fonte de pigmentos vegetais, podendo ser utilizados como corantes. A antocianina é um desses pigmentos responsáveis pela variação da coloração vermelha a azul, normalmente com rica atividade antioxidante. Outra substância presente nas espécies de *Amaranthus* é a betacianina, que também tem aplicação industrial como corante natural de gelatinas, sorvetes e bebidas (ARUNACHALAM et al., 2016).

Observa-se um decréscimo da cor preta na classe de menor tamanho de semente, embora essa continue sendo a cor predominante. Associada à diminuição da incidência da cor preta nas sementes, observou-se coloração e brilho menos intenso, o que pode estar relacionado à perda de qualidade dessas sementes, como é observado na Tabela 2. Consequentemente, há um acréscimo nas outras cores.

Considerando o percentual de sementes cheias, os resultados dos raios-X indicam interação com a classe de tamanho entre as espécies (TABELA 3). Observa-se que a classe de 425 μm apresentou o menor percentual de sementes cheias. Nesta peneira, *A. hybridus* apresentou o maior valor (27,75%), porém, ainda considerado baixo. Já nas outras classes de 850 μm e 600 μm não se observou diferença estatística entre as peneiras.

Tabela 3 - Porcentagem de sementes cheias das espécies de *Amaranthus* de acordo com a classe de peneira.

Espécie	425 μm	600 μm	850 μm
<i>A. viridis</i>	11,50bB	96,00aA	99,25aA
<i>A. hybridus</i>	27,75bA	99,75aA	98,50aA
Espécie comercial	8,25bB	96,00aA	99,50aA

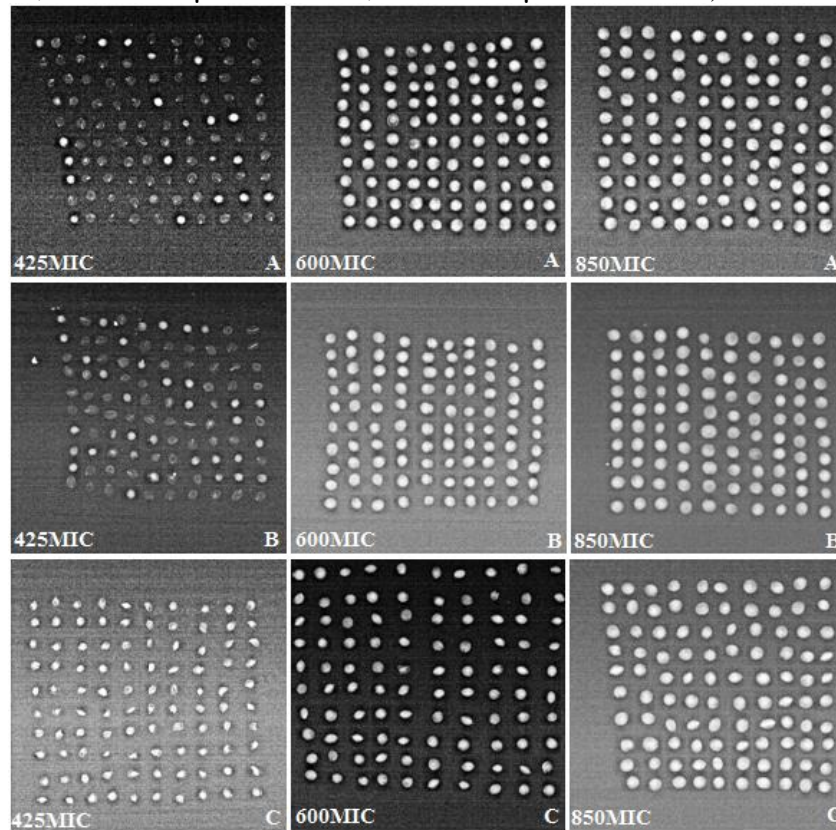
As médias de mesma letra maiúscula, na coluna, e minúscula na linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Todas as espécies apresentaram percentual de sementes cheias mais baixo na classe de 425 μm (TABELA 3). Em média, apenas 15,83% das sementes pertencentes a esta classe foram classificadas como cheias. As classes de 850 e 600 μm das três espécies obtiveram elevada porcentagem de sementes cheias, não diferindo estatisticamente entre si.

Verifica-se na Figura 1 algumas imagens feitas por meio de raios-X das sementes das espécies de *Amaranthus*, em distintas classes de peneira. Percebe-se uma grande diferença na formação das sementes da classe 425 μm , em relação às demais, sendo estas, mal formadas, de pequeno tamanho, deformadas e sem padrão.

Portanto, recomenda-se que, ao se realizar o plantio das sementes destas espécies, seja realizada uma limpeza das sementes, eliminando aquelas que passarem pela malha de 600 μm .

Figura 1 - Raios-X das espécies de *Amaranthus* nas distintas classes de tamanho de semente: A – *A. viridis* (classe 425 μm com 17% de sementes cheias, classe 600 μm com 96%, classe 850 μm com 100%); B – *A. hybridus* (classe 425 μm com 31% de sementes cheias, classe 600 μm com 100%, classe 850 μm com 99%); C – *Amaranthus* spp. material comercial (na classe 425 μm com 10% de sementes cheias, classe 600 μm com 98%, classe 850 μm com 100%).



Após verificar as sementes cheias utilizando raios-X, foi realizado o teste de germinação com KNO_3 . Houve diferença estatística na germinação de sementes entre as espécies (TABELA 4). Na contagem a espécie comercial sem o uso de KNO_3 apresentou a maior porcentagem de sementes germinadas, sendo seguida pela espécie *A. hybridus* e *A. viridis*. Porém, na germinação a espécie *A. hybridus* alcançou uma porcentagem intermediária de sementes germinadas entre *A. viridis* e a espécie comercial, sendo estatisticamente igual às duas espécies.

Tabela 4 - Porcentagem de sementes germinadas no desdobramento de KNO_3 dentro das espécies de *Amaranthus* segundo a avaliação de contagem (no 5º dia) e germinação (no 14º dia de avaliação).

Avaliação	Uso do KNO ₃	Espécie		
		<i>A. viridis</i>	<i>A. hybridus</i>	Espécie comercial
Contagem	Sem KNO ₃	21,00bC	36,00bB	58,00aA
	Com KNO ₃	34,00aB	63,50aA	60,50aA
Germinação	Sem KNO ₃	65,00aB	78,50aAB	83,50aA
	Com KNO ₃	77,00aA	86,50aA	83,50aA

As médias de mesma letra maiúscula, na linha, e minúscula, na coluna, dentro de cada tempo de germinação não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Ao avaliar a germinação de progênes de *A. cruentus*, *A. viridis* e híbridos de *A. cruentus* x *A. viridis*, Guimarães (2017) observou uma faixa de germinação de 86 a 100% das sementes brancas e de 35 a 93,5% nas sementes pretas, encontrando o valor de 62,5% para o *A. viridis*. Martins et al. (2017) ao avaliarem 5 lotes de sementes brancas de *A. cruentus*, encontraram valores de germinação que variaram de 89 – 91%.

Os valores encontrados na literatura são semelhantes ao deste estudo, apesar da espécie comercial de semente branca ter uma porcentagem de germinação inferior (83,50%), porém, se aproxima ao da literatura. Já para as espécies de sementes pretas *A. viridis* e *A. hybridus*, os valores são próximos aos encontrados na literatura, de 65% e 78,5% respectivamente (TABELA 4, na germinação e sem o KNO₃).

Ao avaliar a utilização do KNO₃ na contagem (5° dia de avaliação), em relação ao número de plântulas germinadas, constata-se que o KNO₃ tem um efeito positivo para *A. viridis* e *A. hybridus*. Apesar do efeito positivo do tratamento, o *A. viridis* continuou tendo o menor percentual de plântulas germinadas, podendo esta espécie dispor de fatores desconhecidos que prejudiquem o seu vigor, visto que a análise com o raios-X mostrou um alto percentual de sementes cheias nesta espécie, aproximadamente 100% para as sementes de tamanho 600 e 850 µm.

Observa-se na contagem, que a espécie *A. hybridus*, ao ser tratada com KNO₃ obteve valor estatisticamente igual ao da espécie comercial, sendo mais responsiva do que o *A. viridis*. No entanto, na germinação, todas as espécies tratadas com KNO₃ obtiveram resultados estatisticamente iguais (TABELA 4).

Diversos estudos têm sido realizados com a proposta do uso do KNO₃ para a superação da dormência de sementes. Estudo realizado por Ruttanaruangboworn (2017), ao avaliar o uso desta substância em sementes de arroz, observou melhores resultados com o KNO₃ em baixas concentrações, além de melhorar a germinação, melhorou a sua velocidade e

uniformidade. Porém, o uso desta substância em altas concentrações pode ocasionar em atraso no tempo de embebição das sementes por fitotoxicidade.

A concentração de KNO_3 utilizada neste experimento pode ser um dos motivos pelo qual houve diferença entre as espécies em resposta ao tratamento, tendo-se em vista que o valor utilizado foi o recomendado pela RAS (BRASIL, 2009) para a espécie *A. hybridus*.

Verifica-se que para o material comercial, o tratamento não influenciou o número de sementes germinadas nas duas análises (TABELA 4). Estes resultados mostram que esta espécie não apresenta problemas de vigor das sementes, ao contrário das demais espécies cujo tratamento aumentou significativamente o percentual de sementes germinadas na contagem (5º dia de avaliação). Já na avaliação da germinação (no 14º dia de avaliação) não se observa efeito do KNO_3 em *A. viridis* e *A. hybridus*. A diferença observada está entre as espécies, onde *A. viridis* apresentou o menor percentual de sementes germinadas, embora sem diferença estatística. A incoerência entre os resultados observados na análise de raios-X e o teste de germinação pode ser atribuída às condições específicas de germinação exigida para cada espécie, portanto, as sementes cheias de *Amaranthus* podem estar inviáveis mesmo tendo uma boa formação.

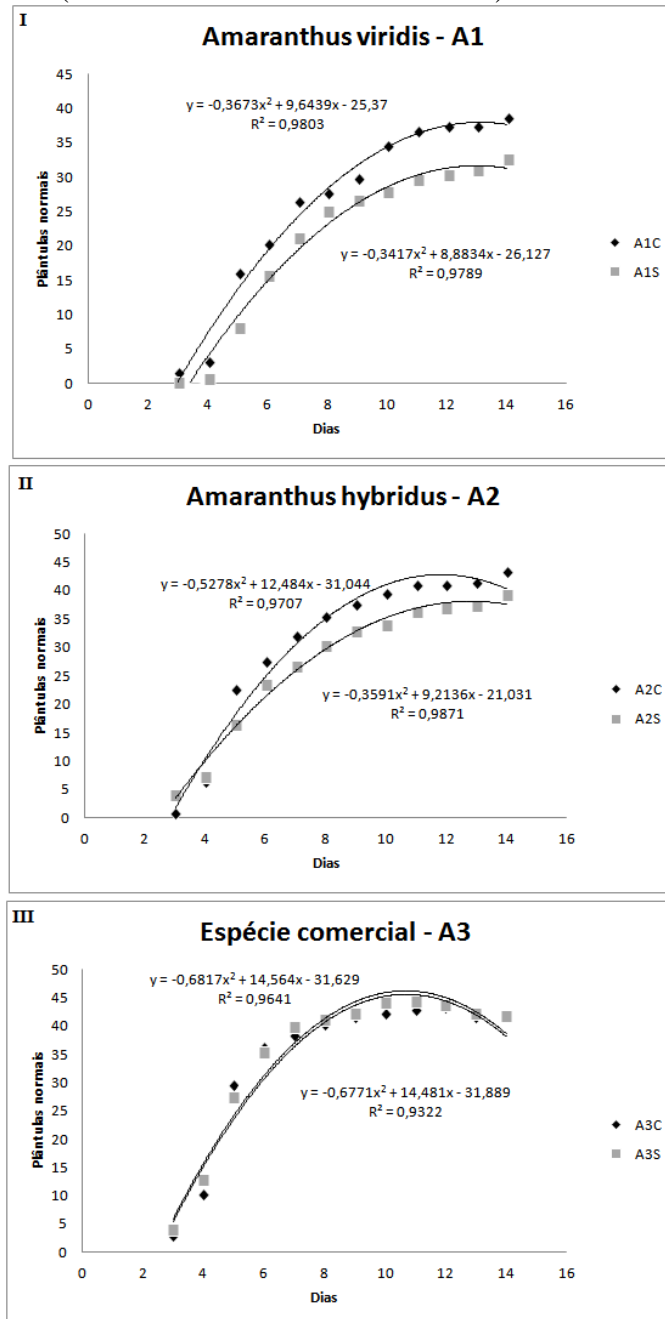
Segundo estudos de Donazzolo et al. (2017), o processo de germinação das sementes consiste em um complexo processo bioquímico e fisiológico. Em seu experimento com *Amaranthus caudatus* L., testaram sua germinação em diferentes temperaturas (18 e 25 °C), luz (ausência de luz e fotoperíodo de 12/12 horas) e substratos (entre papel, sobre papel, rolo de papel e entre areia). Os autores concluíram que a melhor condição para a germinação das sementes de *Amaranthus caudatus* L. é na temperatura de 25°C, na ausência de luz e em substrato rolo de papel, com 87% de germinação.

Portanto, estes resultados apresentam a importância desta substância no período inicial de germinação das espécies *A. viridis* e *A. hybridus*. O uso desta substância auxilia no vigor destas sementes, podendo potencializar e uniformizar o estande em campo, possibilitando desta forma, uma maior concorrência com as plantas espontâneas e, conseqüentemente, uma maior produtividade.

Nota-se na Figura 2, este exato fenômeno dentro de cada espécie. As espécies *A. viridis* e *A. hybridus*, apresentam um crescimento acentuado nos primeiros dias de germinação quando embebidos na solução de KNO_3 , e com o passar do tempo o número de plântulas sem a influência desta substância, alcançam patamares muito semelhantes de germinação. Porém,

para a espécie comercial, independente do tratamento de KNO_3 , o processo de germinação é semelhante em qualquer momento do intervalo de análise.

Figura 2 - Número de plântulas normais por tempo de germinação de A1-Amaranthus viridis (I), A2-Amaranthus hybridus (II) e A3-Amaranthus retroflexus (III), em relação ao uso de KNO_3 (C – com KNO_3 e S – sem KNO_3).



Ao avaliar o Índice de Velocidade de Germinação (IVG), observa-se na Tabela 5, que o material comercial obteve o melhor resultado sem o tratamento para quebra de dormência, sendo seguido por *A. hybridus* e *A. viridis*. Este resultado representa uma maior velocidade de germinação da espécie comercial, tornando-a mais competitiva ao se estabelecer no campo

em comparação com as outras espécies, tendo um estande mais uniforme. Guimarães (2017) também observou a superioridade no IVG das espécies comerciais de semente branca em relação às espécies de semente preta.

Tabela 5 - Índice de Velocidade de Germinação das espécies de *Amaranthus* dentro do KNO₃.

Espécie	Sem KNO ₃	Com KNO ₃
<i>A. viridis</i>	4,83bA	6,25aA
<i>A. hybridus</i>	6,89abA	7,50aA
Espécie comercial	8,69aA	8,50aA

As médias de mesma letra maiúscula, na linha, e minúscula, na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Ocorreu interação entre as espécies e o uso de KNO₃. Para as espécies *A. viridis* e *A. hybridus*, o KNO₃ contribui para aumentar o IVG, similares estatisticamente ao material comercial que não apresentou diferença significativa no IVG com ou sem o KNO₃.

A espécie comercial tem uma germinação mais rápida e mais uniforme, enquanto que as espécies *A. viridis* e *A. hybridus* são mais lentas e desuniformes. Fator este, também observado no estudo de Guimarães (2017), onde as sementes de coloração escura possuem um processo mais lento de germinação, possivelmente devido à relativa impermeabilidade das mesmas, em razão da casca ou da testa.

Nas avaliações de contagem (5º dia) e germinação (14º dia de avaliação) procedeu-se a análise com Groundeye[®], quantificando o comprimento do hipocótilo, da raiz primária e o comprimento total das plântulas, não ocorrendo diferença significativa na interação. Segundo a Tabela 6, observa-se que o material comercial foi a espécie que mais se desenvolveu neste curto período de tempo, obtendo os maiores valores significativos de tamanho de hipocótilo, tamanho de raiz primária e tamanho total. Este fato provavelmente se deve a essa espécie já ser comercialmente cultivada em outros países, tendo características de crescimento e desenvolvimento de uma cultivar já melhorada.

Porém, as espécies *A. viridis* e *A. hybridus*, obtiveram resultados inferiores à espécie comercial, mas iguais estatisticamente entre si para os quesitos avaliados. A média das espécies apresentaram resultados significativamente superiores nestas características quando embebidas com KNO₃.

Ao realizar esta mesma análise aos 14 dias de germinação, observa-se (Tabela 6) um aumento geral do tamanho das plântulas das espécies. A espécie comercial continuou obtendo os maiores valores, sendo seguida pelas espécies *A. viridis* e *A. hybridus*. A espécie *A. viridis*

no 14º dia de germinação conseguiu superar em tamanho nas três características analisadas a espécie *A. hybridus* apesar de serem estatisticamente iguais. Este fato não é observado no 5º dia de avaliação, apresentando uma melhor resposta de crescimento posterior, podendo este resultado, estar ligado a características genéticas da espécie. No 14º dia, ao avaliar a influência de KNO_3 , observou-se a mesma tendência do 5º dia de avaliação. As sementes embebidas com a solução foram significativamente superiores as que não absorveram KNO_3 , exceto para o tamanho de raiz aos 14 dias, onde o tratamento com KNO_3 obteve resultado estatisticamente igual na ausência do tratamento.

Tabela 6 - Tamanho de hipocótilo, raiz primária e tamanho total de plântulas das espécies de *Amaranthus* segundo a avaliação de contagem (no 5º dia) e germinação (no 14º dia de avaliação), e a influência do uso do KNO_3 na média das espécies para cada característica.

Avaliação	Espécies	Tamanho do hipocótilo (cm)	Tamanho da raiz primária (cm)	Tamanho total (cm)
Contagem	<i>A. viridis</i>	0,98b	0,98b	1,97b
	<i>A. hybridus</i>	0,97b	0,92b	1,89b
	Espécie comercial	1,57a	1,57a	3,14a
	Com KNO_3	1,37a	1,29a	2,66a
	Sem KNO_3	0,98b	1,02b	2,01b
	CV(%)	21,97	16,33	18,49
Germinação	<i>A. viridis</i>	1,58ab	1,18ab	2,76ab
	<i>A. hybridus</i>	1,39b	1,03b	2,42b
	Espécie comercial	1,74a	1,33a	3,07a
	Com KNO_3	1,73a	1,20a	2,93a
	Sem KNO_3	1,41b	1,16a	2,57b
	CV(%)	15,56	10,53	12,61

As médias de mesma letra, na coluna entre o mesmo dia de germinação, entre as espécies ou entre as médias, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

O K^+ pode ser o principal fator de influência no crescimento das plântulas de *Amaranthus*, segundo estudos de Fry (2017), o K^+ é o principal estimulante do crescimento do hipocótilo de *A. caudatus*. Este pode ser mais um motivo para a utilização de KNO_3 no aumento do vigor das sementes de *Amaranthus*.

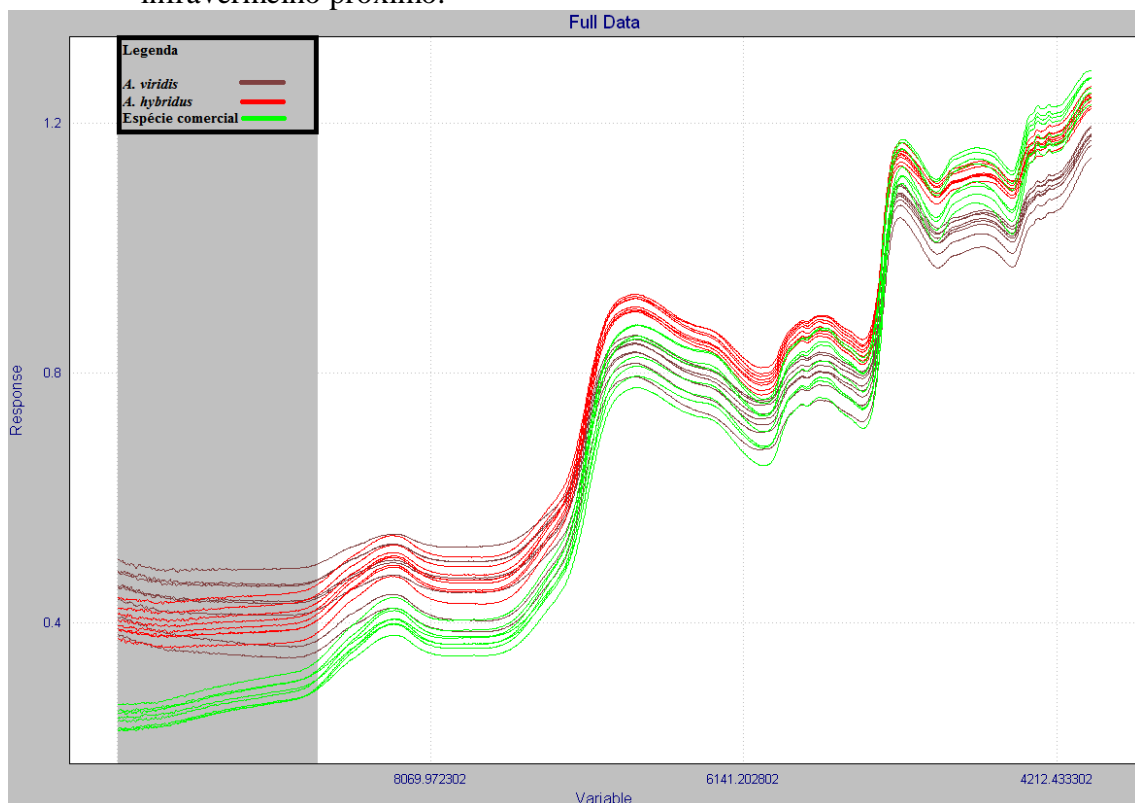
Ao realizar a análise no NIR, pela observação visual dos espectros, quando as sementes das espécies de *Amaranthus* foram submetidas ao infravermelho próximo, as bandas foram semelhantes (FIGURA 3).

Por meio dessa observação pode-se inferir que a composição química observada entre todas as espécies é semelhante, já que a forma dos espectros não foi discrepante entre as

sementes analisadas. No entanto, a técnica discerniu distintamente as três espécies analisadas (TABELA 8).

Santos et. al. (2014) ao estudarem diferentes cultivares de mamona, também não encontraram discrepâncias entre os espectros, mas conseguiram identificar diferenças com uso de outras ferramentas para se obter mais informações sobre o espectro.

Figura 3 - Espectros das sementes de *Amaranthus* das três espécies submetidas ao infravermelho próximo.



Para a análise de espectroscopia, no modelo utilizado para a diferenciação da composição química das sementes, verificou-se alto percentual de acerto para r calculado, r validado, erro de calibração e erro de validação. Com esses resultados de calibração, conclui-se que a análise teve uma acurácia satisfatória na diferenciação das sementes pelos constituintes químicos presentes em cada espécie. Os resultados da calibração e validação do modelo estão representados na Tabela 7. Foram utilizados 5 fatores (novas variáveis construídas pelo cálculo da estatística) para avaliação cruzada para cada espécie.

Tabela 7 - Parâmetros de desempenho do modelo PLS-DA (análise discriminante) para diferenciação de sementes de *Amaranthus*.

Estatística	<i>A. viridis</i>	<i>A. hybridus</i>	Espécie comercial
r calculado (%)	98,51	96,80	99,62
r validado (%)	97,12	92,90	99,11
erro de calibração (%)	9,12	13,30	4,59
erro de validação (%)	11,24	17,51	6,28

Dessa forma, as sementes oriundas das três espécies foram classificadas corretamente em 100% das repetições (TABELA 8), não ocorrendo ambiguidade em sua classificação, ou seja, as espécies apresentaram distintas características químicas que as segregaram. Este resultado leva a concluir que embora o espectro de absorção não tenha sido diferente para ambas as espécies, existem componentes químicos diferentes ou em quantidades diferentes que determinaram a diferenciação entre as espécies pela técnica do infravermelho próximo.

Este resultado leva a inferir que não houve um cruzamento entre as três espécies no campo, possivelmente devido à barreira de milho estabelecida entre as parcelas, mesmo sendo comum a poliploidia com hibridações interespecíficas nas espécies deste gênero, encobrendo muitas vezes as características específicas de cada espécie (OLUSANYA, 2017).

Tabela 8 - Sementes de *Amaranthus* oriundas de diferentes espécies classificadas pela técnica de infravermelho próximo segundo sua composição química.

	Lotes utilizados	Classificação realizada			Não classificadas / Total
		<i>A. viridis</i>	<i>A. hybridus</i>	Espécie comercial	
Espécie	<i>A. viridis</i>	6	0	0	0/6
	<i>A. hybridus</i>	0	6	0	0/6
	Espécie comercial	0	0	6	0/6

Para validação do modelo utilizado para classificar as sementes quanto à sua espécie (TABELA 9), observa-se o mesmo padrão de classificação do modelo. Todas as espécies foram corretamente classificadas em 100% das repetições.

Tabela 9 - Repetições utilizadas na validação do modelo criado a partir das espécies estudadas.

Espécie	Lotes utilizados	Classificação realizada			Não classificadas/ Total
		<i>A. viridis</i>	<i>A. hybridus</i>	Espécie comercial	
<i>A. viridis</i>		2	0	0	0/2

<i>A. hybridus</i>	0	2	0	0/2
Espécie comercial	0	0	2	0/2

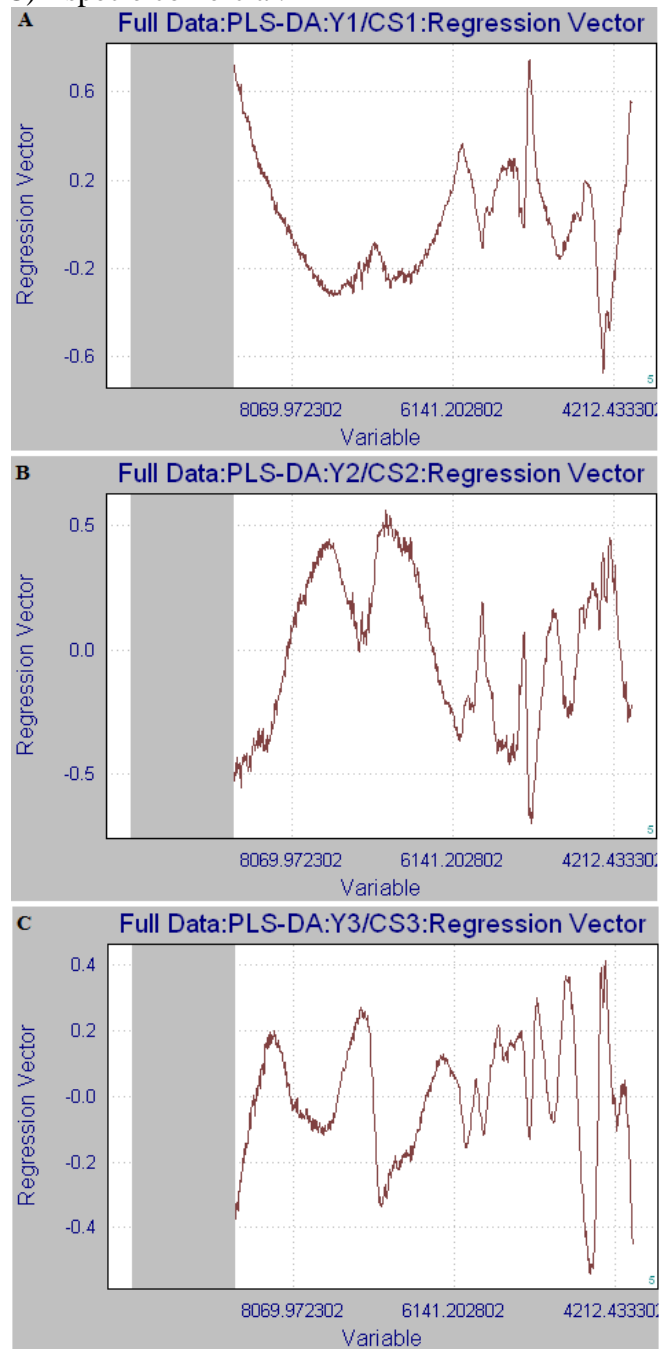
Na Figura 4 observou-se os comprimentos de onda mais importantes para classificar cada espécie. Para *A. viridis* (FIGURA 4a), os principais comprimentos para sua classificação foram de 4332, 5219 e 8764 cm^{-1} que correspondem à hidrocarbonos/composto alifático, amida e hidrocarboneto/compostos aromáticos respectivamente (TABELA 10). Para *A. hybridus* (FIGURA 4b) os principais comprimentos para sua classificação foram de 5200, 6912, 8764 cm^{-1} que corresponde à água molecular, amina aromática e hidrocarboneto/compostos aromáticos (TABELA 10). Para a espécie comercial (FIGURA 4c) os principais comprimentos para sua classificação foram de 4509, 4324 e 4802 cm^{-1} que corresponde a N-H de uréia, lipídio, N-H/C-N da proteína ovalbumina, conforme Tabela 10 (WORKMAN; WEYER, 2012).

Tabela 10 - Grupo funcional químico e tipo de composto químico presente nas sementes das três espécies de *Amaranthus* determinado por meio das faixas espectrais.

Espécies	Faixa espectral (cm ⁻¹)	Grupo funcional	Tipo de composto
<i>A. viridis</i>	4332	C-H Methylene C-H, associated with linear aliphatic R(CH ₂) _N R	Hidrocarbonos, composto alifático
	5219	C=O Amide(.C=ONH)	Amida
	8764	C-H Aromatic (ArCH)	Hidrocarboneto/compostos aromáticos
<i>A. hybridus</i>	5200	O-H assigned to molecular water [O-H (.O-H & HOH)]	O-H água molecular
	6912	N-H primary aromatic amine (o-OCH ₃)	Amina aromática
	8764	C-H Aromatic (ArCH)	Hidrocarboneto/compostos aromáticos
Espécie comercial	4509	N-H combination band from urea (NH ₂ -C=O - NH ₂)	N-H de uréia
	4324	CHO - Classic filter instrument	Lipídio/óleo
	4802	O-H related combination from water change in phase and N-H/C-N combination band from urea (NH ₂ -C=O- NH ₂) from ovalbumin	N-H/C-N da proteína ovalbumina

Fonte: (WORKMAN; WEYER, 2012).

Figura 4 - Comprimentos de onda (cm-1) referentes às espécies estudadas, A) *A. viridis*, B) *A. hybridus* e C) Espécie comercial.



4 CONCLUSÃO

O material comercial, apresenta em termos gerais, os maiores resultados em relação à qualidade fisiológica de sementes.

As três espécies estudadas não possuem dormência. A utilização da solução de KNO_3 a 0,2% auxilia no vigor das espécies *A. viridis* e *A. hybridus* nos primeiros dias de germinação.

Por meio da espectroscopia de infravermelho próximo, foi possível distinguir as três espécies utilizadas no trabalho, de acordo com a sua predominância de componentes químicos.

REFERÊNCIAS

- AMAYA-FARFAN, J.; MARCÍLIO, R.; SPEHAR, C. R. Deveria o Brasil investir em novos grãos para a sua alimentação? A proposta do amaranto (*Amaranthus sp.*). **Segurança alimentar e nutricional**, Campinas, v. 12, n. 1, p. 47-56, 2005.
- ANDRADE, D. B. de. **Sistema de análises de sementes (SAS) na detecção de misturas varietais e de sementes esverdeadas em soja**. 2014. 78 P. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2014.
- ARUNACHALAM, V.; DHARGALKAR, S. D.; VAINGANKAR, J. D.; KEVAT, N. Pigment Rich Amaranth by Tri-Stimulus Colorimetry and Progeny Test. **Natl. Acad. Sci. Lett.**, 2016.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Normais climatológicas: 1961-1990**, Brasília: MAPA 1992. 84 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA. 2009. 399 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento: Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. **Manual de Hortaliças Não Convencionais**. Brasília: MAPA/ACS, 2013. 99 p.
- CONCEIÇÃO, F. R.; MOREIRA, A. N.; BINSFELD, P. C. Detecção e quantificação de organismos geneticamente modificados em alimentos e ingredientes alimentares. **Ciência Rural**, v. 36, n. 1, p. 315-324, 2006.
- DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G. de; FERREIRA, E. Climatic classification and tendencies in Lavras region, MG. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 31, n. 6, nov./dez, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542007000600039>>. Acesso em: 10 jul. 2017.
- DONAZZOLO, J.; POSSENTI, J. C.; GUOLLO, K.; DANNER, M. A.; BELLE, I. C. Germinação de sementes de amaranto sob influência da luz, substrato e temperatura. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.16, n. 2, 2017.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p.1039-1042, 2011.
- FESSEL, S. A.; PANOBIANCO, M.; SOUZA, C. R.; VIEIRA, R. D. Teste de condutividade elétrica em sementes de soja armazenadas sob diferentes temperaturas. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 207-214, 2010.
- FRY, S. C. Potassium, not lepidimoide, is the principal ‘allelochemical’ of cress-seed exudate that promotes amaranth hypocotyl elongation. **Annals of Botany**, v.120, p. 511-520, 2017.

GRANITTO, P. M.; VERDES, P. F.; CECCATO, H. A. Large-scale investigation of weed seed identification by machine vision. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 47, p. 15-24, 2005.

GUIMARÃES, G. C. **Estimativa da germinação e pureza genética de sementes de café por espectroscopia no infravermelho próximo**. 2016. 75 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2016.

GUIMARÃES, V. N. **Caracterização de sementes, determinação do tamanho do genoma e contagem cromossômica de *Amaranthus cruentus*, *A. viridis* e do híbrido interespecífico**. 2017. 72 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2017.

KINUPP, V. F.; LORENZI, H. **Plantas alimentícias não convencionais (PANC) no Brasil: guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas**. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2014.

LEMONS e SILVA, C. F.; MILACH, S. C. K.; ANJOS E SILVA, S. D.; MONTERO, C. R. Near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to assess protein and lipid contents in Avena sativa L. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. n. 8, p. 127-133, 2008.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination - aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, p. 176-177, 1962.

MARTINS, A. B. N.; XAVIER, F. da M.; DIAS, L. W.; MENEGUZZO, M. R. R.; VERA, M. J. G.; DE MORAES, D. M. Qualidade fisiológica de lotes de sementes de amaranto. In: JORNADA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA, REVISTA DA JORNADA DA PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA – CONGREGA. 14.; 2017. 2017. **Anais...** São Paulo, CONGREGA, 2017. p. 1982-2960.

MITTELMANN, A.; MIRANDA FILHO, J. B.; LIMA, G. J. M. M.; HARA-KLEIN, C.; SILVA, R. M.; TANAKA, R. T. Análise dialéctica do teor de óleo em milho. **Revista Brasileira de Agrociência**. Pelotas, v. 12, n. 1, p. 139-143, 2006.

OLUSANYA, A. C. A multi-species assessment of genetic variability in Nigerian *Amaranthus* accessions: potential for improving intra-and interspecies hybridization breeding. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 64, 2017.

RUTTANARUANGBOWORN, A.; CHANPRASERT, W.; TOBUNLUEPOP, P.; ONWIMOL, D. Effect of seed priming with different concentrations of potassium nitrate on the pattern of seed imbibition and germination of rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Integrative Agriculture**, v. 16, n. 3, p. 605-613, 2017.

SANTOS, M. B. H.; GOMES, A. A.; VILAR, W. T. S.; ALMEIDA, P. B. A.; MILANI, M.; NÓBREGA, M. B. M.; MEDEIROS, E. P.; GALVÃO, R. K. H.; ARAÚJO, M. C. U.; Non-destructive NIR spectrometric cultivar discrimination of castor seeds resulting from breeding programs. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 25, n. 5, p. 969-974. 2014,

SILVERSTEIN, R. M.; WEBSTER, F. X. **Spectrometric Identification of Organic Compounds**, 6. ed. New York: Wiley, 1998.

VASUNDHARA, M.; GUJARAN, S. R.; MARAPPA, N.; MURTHY, N.; PRIYANKA, R. Screening and Identification of Genotypes for Natural Color from Grain Amaranth (*Amaranth* sp.). **International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology**, v. 10, n. 4. P. 443-447, ago, 2017.

VENORA, G. et al. Identification of Italian landraces of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) using an image analysis system. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 121, p. 410-418, 2009.

WORKMAN, J.; WEYER, L. **Practical Guide and Spectral Atlas for Interpretive Near Infrared Spectroscopy**, second ed., CRC Press, Boca Raton, 2012.

ZAPOTOCZNY, P.; MARKOWSKI, M.; MAJEWSKA, K.; RATAJSKI, A.; KONOPKO, H. Effect of temperature on the physical, functional, and mechanical characteristics of hot-air-puffed amaranth seeds. **Journal of Food Engineering**, 76, p. 469–476, 2006.