

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE AGRONOMIA E ZOOTECNIA
Programa de Pós-graduação em Agricultura Tropical

CINÉTICA DE SECAGEM EM DIFERENTES TEMPERATURAS E
QUALIDADE DE SEMENTES DE *Amaranthus cruentus* BRS
ALEGRIA

PATRÍCIA MONIQUE CRIVELARI DA COSTA

CUIABÁ - MT
2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE AGRONOMIA E ZOOTECNIA
Programa de Pós-graduação em Agricultura Tropical

**CINÉTICA DE SECAGEM EM DIFERENTES TEMPERATURAS E
QUALIDADE DE SEMENTES DE *Amaranthus cruentus* BRS
ALEGRIA**

PATRÍCIA MONIQUE CRIVELARI DA COSTA

Engenheira Agrônoma

Orientador: Prof. Dr. ALOISIO BIANCHINI

Coorientadora: Prof^a Dr^a PATRÍCIA HELENA AZEVEDO

Dissertação apresentada à Faculdade de Agronomia e Zootecnia da Universidade Federal de Mato Grosso, Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, para obtenção do título de Mestre em Agricultura Tropical.

CUIABÁ - MT

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

C936c Crivelari Costa, Patricia Monique.
CINÉTICA DE SECAGEM EM DIFERENTES
TEMPERATURAS E QUALIDADE DE SEMENTES DE
Amaranthus cruentus BRS ALEGRIA / Patricia Monique
Crivelari Costa. -- 2020
81 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: ALOISIO BIANCHINI.
Co-orientadora: PATRÍCIA HELENA AZEVEDO.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato
Grosso, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária,
Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical,
Cuiabá, 2020.
Inclui bibliografia.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a)
autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE AGRONOMIA E ZOOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL
Av. Fernando C. da Costa, nº 2367 – Cidade Universitária- 78060-900 – Cuiabá – MT.
Telefone/Fax (65) 3615.8618. E-mail: agritrop@ufmt.br

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: SECAGEM DE *Amaranthus cruentus* BRS ALEGRIA: TEMPERATURAS DE SECAGEM E QUALIDADE FISIOLÓGICA

Autor (a): Patrícia Monique Crivelari da Costa

Orientador (a): Aloisio Bianchini

Aprovado (a) em 04 de MARÇO de 2020.

Comissão Examinadora:



Doutor Aloisio Bianchini
(Orientador - UFMT)



Doutora Patrícia Helena de Azevedo
(Coorientadora- UFMT)



Doutor Carlos Caneppele
(Examinador Interno - UFMT)



Doutor Paulo Afonso Rossignoli
(Examinador Interno - UFMT)



Doutora Cárta Rodrigues de Aquino Arantes
(Examinadora Externa – Analista Ambiental SEMA)

Agradecimentos

A Deus, pela vida e força para superar minhas dificuldades.

Aos meus pais Joelma Ap. da Costa e Valdinei E. da Costa por terem me criado e investido em mim por todos esses anos, numa expectativa de sempre me tornar uma pessoa melhor. Mãe, seu cuidado e dedicação foram que, em alguns momentos, me deram a esperança para seguir. Pai, sua presença significou segurança e certeza de que não estou sozinha nessa caminhada.

Ao meu irmão Patrick E. da Costa e à minha família por entenderem a minha ausência dedicada aos estudos.

Ao meu companheiro Theodomiro Garcia Neto, pelo apoio e incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço, por revisar inúmeras vezes este manuscrito com olhar minucioso e aguçado, por questionar meus dados, antecipar-me e preparar-me para as possíveis indagações e “brincas” da banca.

À Universidade Federal de Mato Grosso e ao Programa de Pós-graduação em Agricultura Tropical.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos, que possibilitou a eficiência e eficácia dos meus trabalhos na Universidade.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Aloisio Bianchini, mais uma vez, pelo apoio, dedicação e por toda ajuda durante a realização deste trabalho.

À minha coorientadora Profa. Dra. Patrícia Helena Azevedo, pela orientação, confiança, paciência e, principalmente, pelo profissionalismo e valiosas sugestões, que contribuíram para realização deste trabalho.

Aos professores da banca examinadora deste trabalho, pela disponibilidade, interesse em auxiliar no meu crescimento profissional, e sugestões tanto no exame de qualificação quanto na defesa.

A todos os professores por me proporcionarem o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e educação no processo de formação profissional, por terem me ensinado e feito aprender com tanta dedicação. A eles meus eternos agradecimentos.

A todas as pessoas que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para a concretização deste trabalho.

Epígrafe

“Se tiverem fé, mesmo que do tamanho de uma semente de “amaranto”, poderão dizer a este monte: ‘Saia daqui e vá para lá’, e ele irá. Nada lhes será impossível.”

Mt 17:20; Lc 17:6 (adaptado)

CINÉTICA DE SECAGEM EM DIFERENTES TEMPERATURAS E QUALIDADE DE SEMENTES DE *Amaranthus cruentus* BRS ALEGRIA

RESUMO– A colheita de sementes com teor de água acima do recomendado é frequentemente observada na prática, para diversas espécies, não diferindo para o amaranto. Esses teores podem ser próximos dos 40%, necessitando assim da secagem para preservação da qualidade fisiológica das sementes. A secagem pode ser feita com ventilação natural ou artificial. Há relatos de que o amaranto é resistente às altas temperaturas de secagem, mantendo a germinação acima de 70%. Isto é interessante, no ponto de vista técnico, por acelerar o processo. Deste modo, este trabalho teve por objetivo estudar a cinética de secagem de *Amaranthus cruentus* BRS em diferentes temperaturas e avaliar a qualidade fisiológica das sementes produzidas em dois tempos de armazenamento. Foram acompanhadas as temperaturas da massa de sementes de 30, 40, 50, 60 e 70°C, realizadas por secagem natural, a sombra e a pleno sol, e artificial, em estufa de circulação forçada para as temperaturas do ar de 60, 80 e 100°C, respectivamente. Ainda, analisou-se dois teores de água iniciais (8,44 e 11,48%) e dois tempos de armazenamento (63 e 463 dias após secagem). A cinética de secagem do amaranto ocorreu à taxa decrescente sendo fortemente influenciada pela temperatura. O modelo de Midilli modificado foi o que melhor se ajustou. A redução do teor de água de 21,1 para 11,5%, foi de 2,5, 3,5, e 7 horas para as temperaturas da massa de sementes de 70, 60 e 50°C, respectivamente, secas artificialmente. Para secagem natural, em pleno sol (30°C), o tempo foi de 15 horas, e para sombra foi de 164 horas até o teor de água de 13% (umidade de equilíbrio). Quanto a qualidade fisiológica das sementes, na secagem natural, sombra (30°C) foi melhor que pleno sol (40°C). Na secagem artificial, a temperatura na massa de sementes de 70°C foi prejudicial. As sementes foram melhor preservadas quando armazenadas com teor de água de 11,48% em relação a 8,44%. Tanto para secagem natural quanto artificial, o aumento da temperatura prejudicou a qualidade das sementes de *A. cruentus* BRS Alegria, sendo agravada com o maior tempo de armazenamento, em baixos teores de água inicial.

Palavras-chaves: armazenamento, secagem natural, secagem artificial.

.DRYING KINETICS IN DIFFERENT TEMPERATURES AND QUALITY OF SEEDS OF *Amaranthus cruentus* BRS ALEGRIA

ABSTRACT - The harvest of seeds with a water content above the recommended is often observed in practice, for several species, and for amaranth it is no different. These levels can be close to 40%, thus requiring drying to preserve the physiological quality of the seeds. Drying can be done with natural or artificial ventilation. There are reports that amaranth is resistant to high drying temperatures, maintaining germination above 70%. This is interesting from a technical point of view, as it speeds up the process. Thus, the objective was to study the drying kinetics of *Amaranthus cruentus* BRS at different temperatures and to evaluate the effect, in addition to the initial water levels and storage times, on the physiological quality of the seeds. Seed mass temperatures of 30, 40, 50, 60 and 70°C were monitored, carried out by natural, shaded and full sun, and artificial drying, in a forced circulation oven for air temperatures of 60, 80 and 100°C, respectively. In addition, two initial water contents (8.44 and 11.48%) and two storage times (63 and 463 days after drying) were analyzed. The drying kinetics of amaranth occurred at a decreasing rate and was strongly influenced by temperature. The modified Midilli model was the one that best fit. The reduction in water content from 21.1 to 11.5% was 2.5, 3.5, and 7 hours for seed mass temperatures of 70, 60 and 50°C, respectively, artificially dried. For natural drying, in full sun (30°C), the time was 15 hours, and for shade it was 164 hours until the water content was 13% (equilibrium humidity). As for the physiological quality of the seeds, in the natural drying, shade (30°C) was better than full sun (40°C). In artificial drying, the temperature in the seed mass of 70°C was harmful. The seeds were better preserved when stored with a water content of 11.48% compared to 8.44%. Both for natural and artificial drying, the increase in temperature affected the quality of the seeds of *A. cruentus* BRS Alegria, being aggravated with the longer storage time, in low initial water levels.

Keywords: storage, natural drying, artificial drying.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO GERAL	9
1.1 REFERÊNCIAS	11
2. REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 Características e Importância do <i>Amaranthus cruentus</i>	13
2.2 Fundamentos da Secagem de grãos	18
2.3 Fatores que influenciam a qualidade durante a secagem	21
2.4 REFERÊNCIAS	24
3. CINÉTICA DE SECAGEM DE SEMENTES DE <i>Amaranthus cruentus</i> BRS ALEGRIA	
RESUMO	32
ABSTRACT	32
3.1 INTRODUÇÃO	33
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	34
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
3.4 CONCLUSÃO	50
3.5 REFERÊNCIAS.....	50
4. QUALIDADE FISIOLÓGICA DE <i>Amaranthus cruentus</i> BRS ALEGRIA	
RESUMO	54
ABSTRACT	54
4.1 INTRODUÇÃO	55
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	56
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
4.4 CONCLUSÃO	76
4.5 REFERÊNCIAS.....	76
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	80
6. CONCLUSÕES	81

1. INTRODUÇÃO GERAL

A China é o principal produtor de amaranto, com 150 mil ha plantados, seguidos da Índia e Peru, com 1,8 mil ha, México, com 0,9 mil ha, e os Estados Unidos, com 0,5 mil ha. Quanto à participação de mercado nas exportações, a Argentina representa 49%, o Peru 45,24% e o México apenas 3,02%, seguido pela Bolívia com 0,36% e pelo Equador com 0,25%. Em 2014, no México, foram cultivados 5 mil ha, e obtidas 6,5 mil toneladas ($1,31 \text{ t ha}^{-1}$) que foram vendidas a um preço de mercado de US \$ 11.505,86 por toneladas (Lamsa, 2016).

Nos últimos anos, o mercado consumidor expandiu-se em países industrializados, incluindo Estados Unidos, Japão e Alemanha. No Brasil o amaranto ainda é considerado uma planta alimentícia não convencional (Kinupp e Lorenzi, 2014), porém com potencial para se tornar uma colheitada com a mesma importância agrícola e econômica que outras culturas importantes para a humanidade (Spehar e Cabezas, 2001; Lamsa, 2016). Ainda, a crescente exigência dos consumidores por produtos mais saudáveis, seguros e nutritivos faz do amaranto um produto promissor no mercado, por este apresentar alto valor nutricional (Pierotti, 2013).

No centro-oeste brasileiro, o curto ciclo, de 60 a 100 dias, e o rápido crescimento, possibilitam ao amaranto tolerar os estresses hídricos e produzir grãos e biomassa para a proteção do solo nas mesmas condições que outras culturas de segunda safra, permitindo ser uma alternativa viável (Spehar e Cabezas, 2001). A planta de amaranto pode apresentar até 2,0 m de altura, com a inflorescência de até 0,6 m, possui raiz pivotante vigorosa, com abundante ramificação, que cria condições favoráveis à absorção de água e nutrientes (Spehar, 2007), e, por isso, tem facilidade de se adaptar em locais de climas áridos, ou com períodos de seca

prolongados, o que demonstra compatibilidade da espécie para a região central do Brasil (Spehar et al., 2003; Teixeira et al., 2003).

A cultivar BRS Alegria foi selecionada por sua adaptação ao clima do Cerrado brasileiro (Spehar et al., 2003). Suas sementes são de aproximadamente 1,0 mm e são ricas em aminoácidos essenciais (Marcílio, 2003). Devido ao pequeno tamanho e por serem deiscentes (Spehar et al., 2003), a antecipação da colheita se faz necessária, geralmente com teor de água mais alto, próximo aos 40%, e a secagem das sementes se torna um processo indispensável (Weber, 1987; Abalone et al., 2006; Ronoh et al., 2009).

A redução do teor de água das sementes como resultado da secagem atua diretamente na diminuição do metabolismo, o que pode contribuir para diminuir a taxa de deterioração e aumentar o período em que podem ser armazenadas, sem perda da qualidade fisiológica (Zonta et al., 2011). Os cuidados para a manutenção da qualidade das sementes devem ser iniciados ainda no campo, colhendo-as no momento certo, e evitando a exposição à patógenos e intempéries climáticas (Fonseca et al., 1980). Além disso, para a preservação da qualidade das sementes, é essencial baixar os seus níveis de água o quanto antes, por meio de secagem (Peske e Vilella, 2003).

A secagem pode ser realizada de forma natural ou artificial. Quando em pequena escala, a secagem natural é a forma mais simples e barata, a qual é baseada nas ações do vento e do sol para a remoção da água das sementes, porém quando há a necessidade de secar grandes quantidades de sementes, é imprescindível a utilização de métodos artificiais, por garantir uma secagem mais rápida (Oliva, 2010; Zonta et al., 2011). Os custos de operação estão diretamente relacionados com o volume, a velocidade de secagem e a temperatura do ar (Garcia et al., 2004).

Um dos principais cuidados a serem tomados é em relação à temperatura do ar de secagem, que pode provocar danos nas sementes, o que leva a queda no vigor e germinação das sementes. No entanto, a temperatura máxima nas quais as sementes podem ser expostas, durante a secagem, depende do seu teor de água inicial e do tempo de exposição a essa condição.

Apesar dos avanços das pesquisas com a espécie, pouca informação se tem sobre a secagem e seus efeitos sobre a qualidade das sementes de *Amaranthus cruentus* (Abalone et al., 2006; Ronoh et al., 2009; Calzetta Resio et al., 2010).

Neste contexto, o objetivo com este trabalho foi avaliar a cinética de secagem de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria por meio de modelos matemáticos e observar o efeito da temperatura em dois métodos de secagem na qualidade fisiológica das sementes.

1.1 REFERÊNCIAS

ABALONE, R.; GASTÓN, A.; CASSINERA, A.; LARA, M.A. Thin layer drying of amaranth seeds. *Biosystems Engineering*, v. 93, n. 2, p. 179–188, 2006.

CALZETTA RESIO, A.N.C.; TOLABA, M.P.; SUAREZ, C. Effect of drying temperature and soaking conditions on wet-milling characteristics of amaranth grain. *International Journal of Food Engineering*, v. 6, n. 1, p. 1-12, 2010.

FONSECA, J.R.; FREIRE, A.B.; FREIRE, M.S.; ZIMMERMANN, F.J.P. Conservação de sementes de feijão sob três sistemas de armazenamento. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 2, p. 19-28, 1980.

GARCIA, D.C.; BARROS, A.C.S.A.; PESKE, S.T.; MENEZES, N.L. A secagem de sementes. *Revista Ciência Rural*, n. 34, p. 603-608, 2004.

KINUPP, V.F.; LORENZI, H. Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANC) no Brasil: guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas. Nova Odessa-SP: Editora Plantarum, 2014. 768p.

LAMSA. Amarantho, cultura com grande potencial de exportação. Disponível em: <<http://www.lamsa.com.mx/index.php/node/1451>>. Acesso em: 13 jan. 2020.

MARCÍLIO, R. Fracionamento do grão de *Amaranthus cruentus* brasileiro por moagem e suas características composicionais. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 23, n. 3, p. 511-516, 2003.

OLIVA, A.C.E. Qualidade das Sementes de Crambe Submetidas a Métodos de Secagem e Períodos de Armazenamento. 87f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Botucatu-SP, 2010.

PESKE, S.T.; VILLELA, F.A. Secagem de sementes. In: PESKE, S.T., ROSENTHAL, M.D., ROTA, G.R.M. (Ed). *Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos*. 1. ed. Pelotas, RS: Editora Rua, 2003, Cap. 5, p. 281-319.

PIEROTTI, S. M. Amarantho - Análises físico-químicas e funcionais - comparação com dados presentes na literatura. 2013. 38f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina-PR, 2013.

RONOH, E.K.; KANALI, C.L.; MAILUTHA, J.T.; SHITANDA, D. Modeling thin layer drying of amaranth seeds under open sun and natural convection solar tent dryer.

Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript 1420, v. 6, November, 2009.

SPEHAR, C.R.; CABEZAS, W.A.R.L. Introdução e seleção de espécies para a diversificação do sistema produtivo nos cerrados. In: CABEZAS, W.A.R.L.; FREITAS, P.L. (Ed.). Plantio direto na integração lavoura pecuária. Uberlândia: Ed. da Universidade Federal de Uberlândia, p. 179-189, 2001.

SPEHAR, C.R.; TEIXEIRA, D.L.; CABEZAS, W.; ERASMO, E.A.L. Amarantho BRS Alegria: Alternativa para diversificar os sistemas de produção. Brasília: Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 38, n. 5, p. 659-663, 2003.

SPEHAR, C.R. Amarantho: opção para diversificar a agricultura e os alimentos. Brasília, DF: Embrapa Informação e Tecnologia, 2007. 130 p.

TEIXEIRA, D.L.; SPEHAR, C.R.; SOUZA, L.A.R. Agronomic characteristics of amaranth for cultivation in the Brazilian Savannah. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 38, n. 1, p. 45-51, 2003.

WEBER, L.E. Amaranth grain production guide. Rodale Research Center: Rodale Press Inc., PA, USA, 1987.

ZONTA, J.B.; ARAUJO, E.F.; ARAUJO, R.F.; DIAS, L.A.S. Diferentes tipos de secagem: efeitos na qualidade fisiológica de sementes de Pinhão manso. Revista Brasileira de Sementes, v. 33, n. 4, p. 721-731, 2011.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Características e Importância do *Amaranthus cruentus*

O amaranto é um pseudocereal pertencente à classe das dicotiledôneas, família *Amaranthaceae*, gênero *Amaranthus* spp. (National Research Council, 1989). É uma planta de porte herbáceo, com inflorescência tipo capítulo, cacho ou panícula, com folhas inteiras, de disposição espiralada ou oposta cruzada, sem estípulas (Joly, 2002; Amaya-Farfan et al., 2005; Costa e Borges, 2006). Seu nome, de origem grega, significa “imortal” ou “não perecível” (Saunders e Becker, 1984), certamente devido a uma de suas principais características de tolerar solos áridos, o que geralmente não ocorre com a maioria das plantas cultivadas (Yanez et al., 1994).

Acredita-se que o amaranto é originário da região dos Andes (Teutonico e Knorr, 1985; Spehar et al., 2003). As espécies mais cultivadas são: *A. cruentus* (México, África, Caribe, Ásia e América do Sul), *A. caudatus* (América do Sul), *A. hypochondriacus* (Índia, México e Estados Unidos) e *A. tricolor* (China e Índia) (Saunders e Becker, 1984; Breene, 1991).

A planta do amaranto possui raiz pivotante vigorosa, com abundante ramificação, que causa condições favoráveis à absorção de água e nutrientes (Spehar, 2007), e por isso tem facilidade de se adaptar aos locais de climas áridos, ou em locais com período seco prolongado, o que explica o fato de, no Brasil, a maior produção ocorre no Cerrado (Spehar et al., 2003; Teixeira et al., 2003), e também na Caatinga (Costa e Borges, 2005; Costa et al., 2008). Além disso, seu ciclo de 60 a 100 dias nas condições do Brasil Central possibilita ao amaranto tolerar os estresses hídricos e produzir sementes e biomassa para a proteção do solo nas

mesmas condições que sorgo, milho e girassol, permitindo o amarantho ser uma alternativa para segunda safra no cerrado (Spehar, 1998; Spehar e Cabezas, 2001; Silva et al. 2019).

É uma das culturas que se adaptam bem às condições de alta insolação e temperaturas, típicas das regiões áridas e semi-áridas (Guillen-Portal et al., 1999). Também se adapta a altitudes que vão desde o nível do mar até altitudes superiores a 3.000 m (Coons, 1981; Costa et al., 2008). Existem variedades tolerantes a solos salinos ou ainda com presença de alumínio tóxico (Erasmus et al., 2004). Isso se deve ao amarantho ser uma das poucas dicotiledôneas com metabolismo C4 que, combinado com suas características anatômicas, resulta em eficácia aumentada do uso de CO₂ em ambientes de estresse de temperatura e umidade, e contribui para a adaptabilidade geográfica da planta a diversas condições ambientais (Stallknecht e Schulz-Schaeffer, 1993).

No início da fase vegetativa do amarantho cultivado o crescimento é lento até os 20 a 30 dias após sementeira e esta pode ser confundido com espécies de plantas daninhas do mesmo gênero, como o *A. hybridus*, *A. retroflexus*, *A. viridise* *A. spinosus* (Coons, 1981; Spehar, 2003). Após os estádios iniciais, as plantas se desenvolvem muito vigorosas e robustas e podem atingir até 2,0 m e inflorescência de até 0,6 m (Spehar, 2007).

Em condições ótimas de temperatura e umidade do solo, as sementes emergem em três dias após sementeira (Costa e Dantas, 2009; Minuzzi et al., 2013). O diâmetro das sementes varia de 1,0 a 1,5 mm e possui espessura entre 0,5 e 0,8 mm e apresentam coloração variada (National Research Council, 1984; Mendes, 2014). A massa média de mil sementes está entre 354,3 e 923,7 mg (Spehar, 2003; Costa e Dantas, 2009; Mendes, 2014; Guimarães et al., 2016), variando individualmente entre 0,49 a 0,93 mg (National Research Council, 1984).

Em relação a composição dos grãos, o amido é o polissacarídeo mais abundante, representando 50 a 60% do total da semente (Saunders e Becker, 1984) e, por isso, o amarantho é considerado um pseudocereal. Os grânulos de amido são os menores já encontrados na natureza, medindo de 1 a 3µm de diâmetro (Breene, 1991). O teor proteico na espécie *Amaranthus cruentus* está entre 13,2 a 18,2% (Saunders e Becker, 1984; Amaya-Farfan et al., 2005), variando devido a fatores como diferenças genéticas, condições ambientais e climáticas, estação do ano, disponibilidade de nutrientes (Spehar et al., 2003; Ascheri, 2004).

A proteína da semente contém 5,0% de lisina e 4,4% de aminoácidos sulfurados (Breene, 1991; Martirosyan et al., 2007); estes representam o que há de mais limitante em grãos para consumo humano (Teutonico e Knorr, 1985). Por sua vez, os aminoácidos limitantes no amaranto são a leucina e treonina (Saunders e Becker, 1984), presentes em grande quantidade em outras fontes de alimentos (Amaya-Farfan et al., 2005).

Os grãos também são ricos em minerais, como cálcio e ferro (Pandey e Singh, 2010; Pierotti, 2013). Na espécie *Amaranthus cruentus*, Yanez et al. (1994) encontrou teores de 0,14% de cálcio e 0,01% de ferro, enquanto que Amaya-Farfan et al. (2005), 0,17% de cálcio e 0,02% de ferro, ainda entre 6,3 e 8,1% de lipídeos totais e 3,4 e 5,3% de fibra bruta. Estes valores são superiores aos dos cereais comuns, como arroz integral, aveia, milho e trigo (Saunders e Becker, 1984).

O grão de amaranto possui teores de compostos fenólicos superiores aos descrito para aveia, trigo e ervilha (Queiroz et al., 2009; Chon et al., 2009), os quais apresentam efeitos antioxidantes, hipocolesterolêmicas, hipolipemiantes, anti-hipertensivos, antidiabéticos, antitrombótica, hiper-homocisteinêmica dentre outros (Hernández-Ledesma, 2009; Maldonado-Cervantes, 2010; Velarde-Salcedo et al., 2012; Quini et al., 2013).

Segundo Kinupp e Lorenzi (2014), as plantas alimentícias não convencionais (PANC) são aquelas espécies que serviram para o sustento do homem antigamente, e que não são mais conhecidas hoje, não usa e não chegam aos seus pratos porque não são produzidas e não há comércio. Apesar das PANC não fazerem parte da cadeia produtiva e da alimentação habitual da população em geral, apresentam um grande potencial econômico e nutritivo, valorizando a agricultura familiar e respeitando os conceitos agroecológicos e de sustentabilidade (Kinupp, 2007; FAO, 2012).

Por este motivo, apesar das sucessivas pesquisas com o amaranto no Brasil (Spehar et al., 2003; Teixeira et al., 2003), este ainda é considerado uma PANC devido ao pouco conhecimento (Fonseca et al., 2018). Parte da falta de conhecimento se deve pela escassez de divulgação das informações acerca de seu valor nutricional, formas de cultivo, manejo e consumo (FAO, 2012). Apesar dos estudos serem conduzidos para avaliar a composição nutricional e os efeitos das PANC à saúde humana, as publicações existentes evidenciam alto valor nutritivo e ações terapêuticas promissoras (Mathieu e Meissa, 2007).

O amaranto, após 1975, ganhou destaque mundial depois que pesquisas revelaram o grande potencial nutricional da espécie, principalmente no que diz respeito ao teor e qualidade das proteínas presentes no grão (Caselato-Sousa e Amaya-Farfan, 2012). A partir de então, a National Academy of Science dos Estados Unidos incluiu o amaranto entre as 36 culturas mais promissoras para alimentar a humanidade (National Research Council, 1989). Em 1985, através do experimento de germinação de amaranto durante o voo orbital da nave Atlantis, esta planta passou a ser estudada e receber mais importância. O pioneiro desse feito foi o Dr. Rodolfo Néri Vela, primeiro astronauta mexicano (Guerra, 2015).

O amaranto tem sido pesquisado como fonte alimentar de diversas formas para inclusão em dietas especiais para celíacos, e também como uma alternativa à proteína animal, livre de colesterol (Spehar et al., 2003; Amaya-Farfan et al., 2005; Costa e Borges, 2006; Mendonça, 2006; Soares, 2008; Meo et al., 2011; Quini et al., 2013; Pagamuniciet al., 2014).

O *Amaranthus cruentus* foi a espécie que melhor se adaptou ao clima do cerrado, permitindo o desenvolvimento de uma cultivar genuinamente nacional: o BRS Alegria, cujo nome refere-se a um confeito preparado com grãos de amaranto expandidos e embebidos em caramelo, popularmente consumido na Páscoa pelo povo mexicano (Spehar et al., 2003; Teixeira et al., 2003). Este se originou através de seleção massal, a partir de 1998, da linhagem de *A. cruentus* AM 5189, procedente dos Estados Unidos (Spehar et al., 2003).

As principais características da cultivar BRS Alegria são: hipocótilo com coloração rósea, folhas grandes, alongadas e verdes, com coloração rósea na nervura abaxial. O caule é ereto, de coloração rósea. Inflorescência terminal, compacta e de coloração rósea, mesmo após atingir a maturação fisiológica (Figura 1). As sementes são arredondadas, de coloração bege e estão contidos em frutos do tipo pixídio, deiscente. As plantas demoram a secar após a maturação (Spehar et al., 2003).

Quando cultivada no Distrito Federal, a planta apresentou altura entre 1,20 e 1,80 m, da qual a inflorescência ocupa entre 0,33 e 0,51 m. A diferenciação floral ocorre aos 33 DAS e a antese, aos 45 DAS. O ciclo é de 90 dias (Spehar et al., 2003; Ferreira, 2014). No Mato Grosso, município de Campo Verde a planta apresentou altura entre 1,54 e 1,59 m, e a panícula entre 0,49 e 0,66 m; a emergência ocorre 3 dias após primeira chuva (Minuzzi et al., 2013). No município

de Santo Antônio do Leverger, a BRS Alegria apresentou ciclo de 91 DAS, com emergência de 5 DAS. A diferenciação floral ocorre aos 47 DAS e a antese, aos 59 DAS. A altura máxima é de 1,20 m, com panículas de 0,40 m (Silva et al., 2019).



Figura 1. Plantas de amarantho *Amaranthus cruentus* BRS Alegria (acervo particular).

Quando utilizada para produção de biomassa seca, esta obteve valores de 1,82 t ha⁻¹, no Piauí (Azevedo e Nascimento, 2002), 2,72 t ha⁻¹, em Tocantins (Erasmus et al., 2004), 2,89 t ha⁻¹, em Goiás (Boer et al., 2008), 5,65 t ha⁻¹, no Distrito Federal (Spehar et al., 2003), 6,12 t ha⁻¹, no Mato Grosso (Silva et al., 2019), e 15 t ha⁻¹, no Paraná (Brambilla et al., 2008). Domingos et al. (2005) estimaram valores de 6,9 t ha⁻¹ de biomassa seca e 3,0 t ha⁻¹ de biomassa residual, em Tocantins.

No Distrito Federal, encontrou-se produtividade de 2,6 t ha⁻¹ (Spehar et al., 2003), podendo chegar até 3,7 t ha⁻¹ (Ferreira et al., 2014). No Paraná, a produtividade chegou a 4,5 t ha⁻¹ (Brambilla et al., 2008). No Mato Grosso variou entre 0,70 e 2,01 t ha⁻¹ sob estresse hídrico e irrigado, respectivamente (Silva et al., 2019).

2.2 Fundamentos da secagem de sementes

A secagem é uma das etapas do processamento dos produtos agrícolas que tem por finalidade retirar parte da água neles contida, até um nível seguro para seu

armazenamento (Afonso et al, 2008). Essa remoção da água ocorre pela aplicação de calor, natural ou artificial, e a pressão de vapor causa o movimento da água do interior da semente até a superfície (Bala, 2017).

O conhecimento do conteúdo inicial e final de água do material, da relação da água com a estrutura sólida e do transporte da água do interior do material até a sua superfície, associadas às propriedades do ar de secagem e ao meio de transferência de calor adotado, possibilitam fundamentar o fenômeno da secagem e determinam diversas condições de secagem, que variam entre os materiais biológicos, pois possuem características específicas próprias, devido a sua forma, estrutura e suas dimensões, que podem sofrer importantes alterações durante a secagem (Park et al., 2001; Almeida et al., 2002).

A importância da secagem de produtos agrícolas aumenta à medida que cresce a produção (Afonso et al, 2008). A principal vantagem da secagem é a possibilidade de antecipar a colheita, que, por consequência, reduz as perdas no campo ocasionadas por condições climáticas adversas e ataques de pragas e microrganismos, disponibiliza a área para novos cultivos, permite aos produtores obterem melhores preços pelos produtos quando a comercialização ocorrer na entressafra e, também, forma estoque reguladores de mercado e fornece produtos de alta qualidade, como sementes com alta germinação e vigor, e grãos com melhores características organolépticas e nutricionais para consumo (Puzzi, 2000; Weber, 2001; Elias, 2007; Afonso et al, 2008). Assim, um processo de secagem eficiente aumenta seu potencial de conservação pós-colheita e preserva as características fisiológicas das sementes por maior período de tempo, atribuindo-lhes alto valor comercial (Athié et al., 1998).

Conforme Mata (1999), o ideal para manter a qualidade das sementes seria que a colheita, a debulha e a secagem fossem feitos sequencialmente, logo após atingirem seu ponto de maturidade fisiológica. No entanto, tanto para colheita quanto para debulha, existe um teor de água ideal no qual as sementes sofram menos injúrias mecânicas. Para *A. cruentus* BRS Alegria, Spehar (2003) e Spehar et al. (2003) associam a maturidade fisiológica com a coloração rósea do pecíolo, das nervuras e da inflorescência. Mendes (2014) estima a maturidade fisiológica entre 21 a 28 dias após a antese, em que se tem máxima germinação, máximo vigor e mínimo em deterioração. Nesta fase, as sementes apresentam teores de água entre 43,92 e 38,64%, iniciando-se sua desidratação, obtendo menor valor aos 56 dias

após antese, com 27,76% (Mendes et al., 2014). No entanto, Spehar et al. (2003) recomendam o teor de água de no máximo 22,0% como ponto de colheita.

Ao atingirem os 21 dias após a antese, as sementes de amaranto apresentam valores máximos de germinação, vigor (teste de envelhecimento acelerado) e índice de velocidade de germinação, atingindo 95%, 100% e 22,56, respectivamente, e mantendo-se elevados até 56 dias após a antese. A massa de mil sementes também se mantém depois de 21 dias após antese, com valores entre 870,0 e 743,0 mg. Já o conteúdo de matéria seca das plântulas normais de amaranto tem o maior valor em 49 dias após antese, com 28 mg plântula⁻¹(Mendes et al., 2014).

Apesar da variabilidade no tamanho das sementes (Guimarães et al., 2016), valores biométricos máximos são encontrados entre 28 e 35 dias após antese, com 1,24, 1,39 e 0,76 mm de largura, comprimento e espessura, respectivamente, os quais se mantem ou sofrem reduções mínimas até a colheita (Mendes et al., 2014).

O processo de secagem do amaranto produzido em diversos locais do mundo, geralmente em pequena escala, ocorre na própria planta ainda no campo porque as condições climáticas na época de colheita são favoráveis. Estas condições geralmente são em regiões tropicais, com temperatura média de 35°C a 40°C, boa radiação solar e baixa umidade relativa do ar (Celestino, 2010). E no geral, a secagem é finalizada com exposição ao sol em campo aberto, sem controle de tempo e temperatura.

Os fatores que determinam a secagem natural são a falta de capital disponível para investimento em infraestrutura de secagem, falta de energia e o desconhecimento de técnicas mais modernas, principalmente entre pequenos produtores onde a cultura é mais difundida (Afonso et al, 2008). Em adição, os raios solares têm ação germicida e não são poluentes (Corrêa et al., 2008). Assim, os meios utilizados para a secagem do amaranto são os mais simples e baratos.

A secagem natural é pouco segura, pois além das condições climáticas desfavoráveis a campo, em condições de alta temperatura o amaranto pode acelerar sua taxa de respiração e consumir parte de suas reservas, comprometendo sua qualidade, ou ainda pode desnaturar suas enzimas e entrar em colapso metabólico (Afonso et al, 2008; Taiz e Zeiger, 2013).

Quando cultivado em larga escala, o amaranto é colhido com até 40% de umidade, um teor de água, ainda, elevado para a armazenagem (Weber, 1987; Ronoh et al., 2009), porém com alta qualidade e alto teor de matéria seca (Elias,

2007). Neste sentido, a secagem de sementes em secadores artificiais é uma técnica que visa à preservação da qualidade do produto. No caso da secagem artificial, o ar que insufla na massa de sementes é aquecido, com o objetivo de garantir uma secagem mais rápida (Oliva, 2010).

Conforme Afonso et al. (2008), a secagem de grãos pode ser realizada por diversos tipos de secadores e sistemas de secagem. Quando bem manejados, secagem artificial com baixas temperaturas ou ar natural são os que mais contribuem para a manutenção das qualidades originais do produto e os mais adequados para secagem de sementes (Afonso et al., 2008; Oliva, 2010).

A secagem natural constitui em um método econômico, eficiente e apresenta alta aplicabilidade devido ao menor investimento inicial e por resultar em melhor qualidade do produto final, comparado aos sistemas que empregam altas temperaturas. Contudo, a principal limitação desse método é o elevados teores de água inicial das sementes, uma vez que o processo é lento e aumentaria a suscetibilidade das sementes à deterioração. Além disso, em regiões de alta umidade relativa implica na utilização de ventiladores mais potentes e inviabiliza economicamente o método (Afonso et al, 2008).

Para Corrêa et al. (2008), esse processo é recomendado para sementes colhidas com teor de água menor que 20%, apesar de poder ser utilizado para sementes com teor de água até 25% em alguns casos. Na literatura há relatos de colheita de amaranto com teores de água entre 13 e 40%, o que faz com que a escolha do método e do sistema de secagem utilizado para esta espécie seja criteriosa (Weber, 1987; Abalone et al., 2006; Ronoh et al., 2009).

Dentre os métodos de secagem artificial, a que emprega altas temperaturas é a mais rápida e independe das condições climáticas locais. Entretanto, é um dos métodos mais caros para a secagem de produtos agrícolas, e aumentamos o risco da perda de qualidade quando se trata de sementes, porém, ainda é o mais utilizado (Afonso et al, 2008).

Levando em consideração a eficiência da secagem das sementes para garantir a manutenção de suas propriedades físicas, químicas e germinativas deve-se analisar a cinética de secagem. Para tal, acompanha-se a perda de massa ao longo da secagem determinando-se a umidade ou razão de umidade em função do tempo.

O estudo de sistemas de secagem, seu dimensionamento, otimização e a determinação da viabilidade de sua aplicação comercial, podem ser feitos por meio de simulação matemática cujo princípio se fundamenta na secagem de camadas delgadas do produto, utilizando um modelo matemático que representa satisfatoriamente a perda de água (Resende et al., 2007).

Aos dados cinéticos são aplicados modelos de secagem amplamente citados na literatura para diversos tipos de sementes (Abalone et al., 2006; Ronoh et al., 2009; Corrêa et al., 2010; Vega-Gálvez et al., 2010; Costa et al., 2011; Morais et al., 2013; Mendonça et al., 2015; Coradi et al., 2016; Goneli et al., 2017; Smaniotto et al., 2017). Quando utilizado o modelo de Midilli modificado, o ajuste foi satisfatório na representação do fenômeno de secagem de café (*Coffea Arabica*), cultivar Catuaí Amarelo, para as temperaturas de 35, 45 e 55 °C e umidades relativas de 32,1, 15,7 e 10,2% (Corrêa et al., 2010). Para quinoa (*Chenopodium quinoa*), que possui características semelhantes ao amaranto Os modelos Logarítmico e Weibull obtiveram o melhor ajuste para os dados experimentais, entre as temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80°C (Vega-Gálvez et al., 2010).

Para amaranto (*Amaranthus cruentus*), Page foi o mais adequado em descrever a cinética de secagem, quando utilizado secador experimental em temperaturas de operação variando entre 30 e 60 °C e umidades relativas entre 30 e 60%, utilizando teor de água inicial de 13, 17, 20 e 24% (Abalone et al., 2006), e quando utilizado secador de tenda solar de convecção natural e sol aberto, de temperaturas entre 22,6 e 30,4°C e umidade relativa entre 25 e 52 %, e teor de água inicial das sementes de 39% (Ronoh et al., 2009).

2.3 Fatores que influenciam a qualidade das sementes durante a secagem

Pesquisas com fatores relacionados entre a secagem e a qualidade fisiológica das sementes são importantes para otimizar os processos de pós-colheita das sementes, mantendo suas características químicas, físicas e fisiológicas por maior tempo. Os principais parâmetros que podem estar associados à perda de qualidade das sementes durante o processo de secagem são a temperatura, a umidade relativa, a velocidade do ar de secagem, a taxa de secagem do produto, o teor de

água inicial e final do produto, o sistema de secagem empregado e o tempo de residência do produto na câmara de secagem (Brooker et al., 1992).

Em relação a temperatura do ar de secagem em sistemas de altas temperaturas, é necessário um controle sobre a temperatura atingida pela massa de sementes para a prevenção de danos, que podem ser causados por temperaturas excessivas (Afonso et al., 2008). Altas temperaturas podem reduzir o potencial fisiológico das sementes (Menezes et al., 2012). O ar aquecido pode provocar uma diferença de umidade muito grande entre a periferia e o centro da semente, gerando um gradiente de tensão que provocam fissuras (Peske et al., 2006).

A temperatura que pode danificar uma semente varia com a espécie e com o seu teor de água inicial. Recomenda-se, para a maioria das espécies, como a soja, temperatura de secagem de 32 °C, quando o seu teor de água for superior a 18% e 38 °C quando estiver entre 11 e 18%, sendo estes valores determinados na massa de sementes (Carvalho e Nakagawa, 1988). Para secagem em altas temperaturas, um teor de água inicial acima de 18% provoca aumento significativo na susceptibilidade a danos físicos (Berbert et al., 2006). Coradi et al. (2016) relataram que a alta temperatura do ar de secagem (acima de 105°C) e o maior teor de água inicial (25%) afetou a qualidade das sementes ao longo do tempo de secagem.

O teor de água das sementes de amaranto diminui exponencialmente com o aumento do tempo de secagem, com a taxa de secagem mais alta nas primeiras 2,5 horas de secagem (Ronoh et al., 2009; Abalone et al., 2006). Ronoh et al. (2009), secando sementes de amaranto ao sol, com teor de água inicial entre 38 e 40%, até o teor de equilíbrio de 6,5%, não relatou efeito deletério sobre a semente.

Ao longo do tempo, durante a secagem, à medida que a temperatura aumenta a umidade relativa diminui, levando consigo parte da água retirada das sementes (Basunia e Abe, 2001; Ronoh et al., 2009). A massa de sementes tende ao equilíbrio higroscópico com o ambiente. Assim, na secagem natural ou artificial em baixas temperaturas, em ambientes de maior umidade relativa, o produto em equilíbrio pode permanecer acima do recomendado para o armazenamento, gerando possibilidade para o ataque de pragas, fungos e outros microorganismos, enquanto que em baixa umidade relativa, o que ocorre em locais muito secos, pode ocorrer perdas econômicas para os produtores devido a menor massa total do lote (Weber, 2001; Afonso et al., 2006).

Na secagem em secador estacionário, empregando temperaturas do ar de 35 a 50°C, Navratil e Burris (1984), verificaram que as temperaturas de 45 e 50°C afetaram de forma adversa a germinação e vigor das sementes de milho, sendo o desenvolvimento radicular das plântulas mais suscetível a danos térmicos, do que o desenvolvimento da parte aérea. Já para Villela e Silva (1991), utilizando secador intermitente nas temperaturas de ar de secagem de 70, 80 e 90°C, relataram que não houve efeitos prejudiciais à qualidade fisiológica de sementes de milho.

Em secador intermitente, Rosa (1966) constatou que as temperaturas de 80 e 90°C causaram reduções na germinação, enquanto que as temperaturas de 60 e 70°C não ocasionaram efeitos imediatos e latentes sobre a qualidade fisiológica de sementes de arroz. Ainda, a temperatura da massa de sementes atingiu no máximo 42,2°C, utilizando ar aquecido a 70°C, sem prejudicar a qualidade fisiológica. Estes resultados foram corroborados por Luz (1986), utilizando temperaturas do ar de secagem de 70°C e variando o fluxo de ar, o teor de água inicial das sementes e o tempo de exposição ao ar aquecido, não observou reduções significativas na germinação e no vigor.

Barbedo et al. (2002) submeteram sementes de pau-brasil (*Caesalpinia echinata*) à secagem em estufas reguladas a 40 e 50°C e não constataram efeitos negativos da temperatura de secagem sobre a germinação das sementes.

Para sementes de pinhão manso (*Jatropha curcas*), Ullmann et al. (2010) citam que estas podem ser secadas artificialmente sob temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70°C sem haver prejuízo imediato na germinação, apresentando valores acima de 91%, contudo ocorre maior dano mecânico e a qualidade fisiológica das sementes é afetada pela temperatura de secagem mais elevada, de 70°C. No entanto, para Zonta et al. (2011), utilizando secagem em estufa de circulação forçada às temperaturas de 33 e 43°C, e ainda à sol e à sombra, relatam que a maior temperatura, de 43°C, proporciona menor tempo de secagem e melhor germinação e vigor das sementes, e que a secagem à sombra é prejudicial à qualidade de sementes de pinhão manso.

Donadon et al. (2013), avaliando as modificações morfológicas nos tecidos dos frutos e sementes de crambe (*Crambe abyssinica*) após secagem, utilizando temperaturas de 35, 45, 60, 75 e 90°C e umidade relativa do ar de 21,9, 7,5 e 2%, perceberam que a secagem a diferentes temperaturas não afetou a estrutura celular dos tecidos que compõem o pericarpo dos frutos, mas desorganizou a estrutura do

tegumento das sementes. As células do tegumento e cotilédones apresentaram contração em seus volumes, e as menores contrações nos volumes celulares do tegumento e cotilédones ocorreram após a secagem a 35 e 45°C. Não houve alterações nas paredes celulares dos embriões dos frutos secos a diferentes temperaturas; no entanto, ocorreu o descolamento da lamela média. Este dano ocorreu com maior intensidade após a secagem a temperaturas acima de 60°C.

Secando sementes de cevada na temperatura de 40, 60 e 80°C, Soares et al. (2016) observaram que quanto menor a temperatura de secagem, maior a energia de germinação das sementes e que a temperatura de secagem de 80°C foi alta, danificando a estrutura celular e prejudicando a germinação.

Afonso Júnior e Corrêa (2000) observaram que a germinação diminuiu com o aumento da temperatura do ar de secagem, do teor de água das sementes e do tempo de armazenagem. Para os autores, o efeito foi mais drástico para o teor de água inicial de 37,3% (em relação à 17 e 25%) e temperatura do ar de secagem de 50°C (em relação à 35, 40 e 45°C), quando se observou a morte de todas as sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris*).

Estudando a secagem de amaranto (*Amaranthus caudatus*) e quinoa (*Chenopodium quinoa*) em micro-ondas e secagem ao sol, Hernández Maqueda et al. (2018), observaram que à medida que se aumentou a potência do micro-ondas, a taxa de germinação das sementes de amaranto diminuiu ligeiramente (de 86%, em secagem ao sol, para 71%, na secagem em micro-ondas com temperaturas acima de 90°C), assim como a altura da planta (3,38 cm, em secagem ao sol, para 3,05 cm, na secagem em micro-ondas com temperaturas acima de 90°C), porém a taxa de sobrevivência no campo, 30 dias após a semeadura, permaneceu praticamente inalterada. Em contraste, a percentagem de germinação das sementes de quinoa, que possui composição semelhante ao amaranto, foi significativamente afetada pela secagem por micro-ondas, com percentagens de germinação inferiores a 25%.

2.4 REFERÊNCIAS

ABALONE, R.; GASTÓN, A.; CASSINERA, A.; LARA, M.A. Thin layer drying of amaranth seeds. *Biosystems Engineering*, v.93, n.2, p.179–188, 2006.

AFONSO, A.D.L.; DONZELLES, S.M.L.; SILVA, J.S. Secagem e secadores. In: SILVA, J.S. Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. Viçosa: Aprenda fácil, 2008. cap.5, p.108-138.

AFONSO JÚNIOR, P.C.; CORRÊA, P.C. Efeitos imediato e latente da secagem de sementes de feijão colhidas com diferentes níveis de umidade. Ciências agrotecnologia (Edição Especial), Lavras, v.24, p.33-40, 2000.

ALMEIDA, S.G.; SÁ, W.A.C. Amarantho (*Amaranthus* spp.) e quinoa (*Chenopodium quinoa*) alimentos alternativos para doentes celíacos. Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde, v.13, n.1, p.77-92, 2009.

AMAYA-FARFAN, J.; MARCÍLIO, R.; SPEHAR, C.R. Deveria o Brasil investir em novos grãos para a sua alimentação? A proposta do amarantho (*Amaranthus* sp.). Segurança alimentar e nutricional. Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde, v.12, n.1, p.47-56, 2005.

ASCHERI, J.L.R.; CARVALHO, C.W.P.; SPEHAR, C.R. A extrusão do amarantho no desenvolvimento de produtos: caracterização físico-química. Rio de Janeiro ed. [s.l.] EMBRAPA Agroindústria de Alimentos, 2004. p. 31

ATHIÉ, I.; CASTRO, M.F.P.M.; GOMES, R.A.R.; VALENTINI, S.R.T. Conservação de Grãos. Campinas: Fundação Cargill, p. 15-191, 1998.

AZEVEDO, D.M.P.; NASCIMENTO, H.T.S. Potencial forrageiro de espécies para cultivo no período de safrinha em solos de tabuleiros costeiros. Teresina: Embrapa, 2002. Comunicado Técnico 148, 4 p.

BALA, B.K. Drying and storage of cereal grains. 2 Ed. Bangladesh: Wiley Blackwell, 2017. 334 p.

BARBEDO, C.J.; BILIA, D.A.C.; FIGUEIREDO-RIBEIRO, R.C. Tolerância à dessecação e armazenamento de sementes de *Caesalpinia chinata* Lam. (pau-brasil), espécie da Mata Atlântica. Revista Brasileira de Botânica, v. 25, n. 4, p. 431-439, 2002.

BASUNIA, M.A.; ABE, T. Thin-layer solar drying characteristics of rough rice under natural convection. Journal of Food Engineering, v. 47, n. 4, p. 295-301, 2001.

BERBERT, P.A.; AFONSO, A.D.L.; RUFATO, S.; SILVA, J.S. Indicadores de Qualidade dos grãos. In: SILVA, J. S. Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. Viçosa: Aprenda fácil, 2008. cap. 4, p. 63-107.

BOER, C.A.; ASSIS, R.L.; SILVA, G.P.; BRAZ, A. J.B.P.; BARROSO, A.L.L.; FILHO, A.C., PIRES, F.B. Biomassa, decomposição e cobertura do solo ocasionada por resíduos culturais de três espécies vegetais na região centro-oeste do Brasil. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 843-851, 2008.

BOTELHO, F. Caracterização de amarantho cultivado em Santa Catarina e sua utilização na produção de pães. 2006. 60f. Dissertação (Mestrado em ciências de alimentos), Universidade de Santa Catarina, 2006.

BRAMBILLA, T.R.; CONSTANTINO, A.P.; OLIVEIRA, P.S. Efeito da adubação nitrogenada na produção de amaranto. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v.29, n.4, p.761-768, 2008.

BREENE, W.M. Food uses of grain amaranth. *St. Paul: Cereal Foods World*, v. 36, n. 5, p. 426-429, 1991.

BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. Drying and storage of grains and oilseeds. New York: van Nostrand Reinhold, 1992. 450 p.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. Secagem de sementes. In: *Sementes: ciência tecnologia e produção*. Campinas: FUNDAÇÃO CARGILL, p. 273-295, 1988.

CASELATO-SOUSA V.M.; AMAYA-FARFAN, J. State of knowledge on amaranth grain: a comprehensive review. *Journal of Food Science*, v. 77, n. 4, p. 93-104, 2012.

CELESTINO, S.M.C. Princípios de secagem de alimentos. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010. 51 p.

CHON, S.U. Total phenolics level, antioxidant activities and cytotoxicity of young sprouts of some Traditional Korean salad plants. *Plant Foods for Human Nutrition*, v. 64, n. 1, p. 25-31, 2009.

COONS, M.P.O gênero *Amaranthu* sem Minas Gerais. *Experientiae*, Viçosa, MG, v. 27, n. 6, p. 115-158, 1981.

CORADI, P.C.; FERNANDES, C.H.P.; HELMICH, J.C. Adjustment of mathematical models and quality of soybean grains in the drying with high temperatures. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.20, n.4, p.385-392, 2016.

CORRÊA, P.C.; DONZELLES, S.M.L.; SILVA, J.S. Secagem de grãos com energia solar. In: SILVA, J.S. *Secagem e armazenagem de produtos agrícolas*. Viçosa: Aprenda fácil, cap. 7, p. 171-189, 2008.

CORRÊA, P.C.; OLIVEIRA, G.H.H.; BOTELHO, F.M.; GONELI, A.L. D.; CARVALHO, F.M.C. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 57, n.5, p. 595-601, 2010.

COSTA, D.M.A.; BORGES, A.S. Avaliação da produção agrícola do amaranto (*Amaranthushypochondriacus*). *Holos*, v. 3, n. 1, p. 97-111, 2006.

COSTA, D.M.A.; DANTAS, J. Efeitos do substrato na germinação de sementes de amaranto (*Amaranthusspp*). *Revista Ciência Agrônômica*, v.40, n.4,p.498-504, 2009.

COSTA, D. M. A.; MELO, H. N. S.; FERREIRA, S. R. Crescimento e desenvolvimento do amaranto (*Amaranthus spp.*) sob estresse salino e cobertura morta. Viçosa: *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 1, p. 43-48, 2008.

COSTA, L.M.; RESENDE, O.; SOUSA, K.A.; GONÇALVES, D.N. Coeficiente de difusão efetivo e modelagem matemática da secagem de sementes de cambre. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15,n.10,p.1089-1096, 2011.

DOMINGOS, V.D.; ERASMO, E.A.L.; SILVA, J.I.C.; CAVALCANTE, G.D.; SPEHAR, C.R. Crescimento, produção de grãos e biomassa de variedades de amaranto (*Amaranthuscruentus*) em função de adubação com NPK. Bioscience Journal, v. 21, p. 29-39, 2005.

DONADON, J.R.; RESENDE, O.; TEIXEIRA, S.P.; SANTOS, J.M.; MORO, F.V. Effect of hot air drying on ultrastructure of crambe seeds. Drying Technology, v. 31, n. 3, p. 269-276, 2013.

ELIAS, M.C. Pós-Colheita de Arroz: Secagem, Armazenamento e Qualidade. Pelotas: Ed. UFPEL, 2007. 422 p.

ERASMO, E.A.L.; DOMINGOS, V.D.; SPEHAR, C.R.; DIDONET, J.; SARMENTO, R.A.; CUNHA, A.M. Avaliação de cultivares de amaranto (*Amaranthus* spp.) em sistema plantio direto no sul de Tocantins. Bioscience Journal, Uberlândia, v. 20, n. 1, p. 171-176, 2004.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Sustainable Diets and Biodiversity Directions and Solutions For Policy, Research And Action. FAO, 2012.

FERREIRA, C.C.; RIBEIRO JÚNIOR, W.; RAMOS, M.; SPEHAR, C. Efeito da densidade de semeadura e doses de nitrogênio sobre a produtividade e biometria de Amaranto, no Cerrado do Planalto Central. Bioscience journal, v. 30, n. 534, 2014.

FITTERER, S.A.; JOHNSON, B.L., SCHNEITER, A.A. Grain Amaranth Jarvest Timeliness in Eastern North Dakota. In: J, Janick (ed.), Progress in New Crops. ASHS Press, Alexadria, VA. p. 220-223, 1996.

FONSECA, C.; LOVATTO, P.; SCHIEDECK, G.; HELLWIG, L.; GUEDES, A.F. A importância das Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANCS) para a sustentabilidade dos sistemas de produção de base ecológica. In: Cadernos de Agroecologia. Anais... Brasília, DF, v. 13, n. 1, 2018.

GONELI, A.L.D.; ARAUJO, W.D.; HARTMANN FILHO, C.P.; MARTINS, E.A.S.; OBA, G.C. Drying kinetics of peanut kernels in thin layers. Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering, v.37, n.5, p. 994-1003, 2017.

GUERRA, D. Dr. Rodolfo Neri Vela: Entrevista exclusiva con el primer astronauta mexicano. Taratara, 22 set. 2015. Disponível em: <<http://www.taratara.com.mx/neri-vela>>. Acesso em: 7 mar. 2019

GUILLEN-PORTAL, F.R.; BALTENSPERGER D.D.; NELSON L.A. Plant population influence on yield and agronomic traits in Plainsman grain amaranth. In: Janick J. (Ed.): Perspectives on New Crops and New Uses. ASHS Press, Alexandria, p.190-193, 1999.

GUIMARÃES, V.N.; SCHERWINSKI-PEREIRA, J.E.; CAMILLO, J.; MORAIS, T.B.R.; SPEHAR, C.R. Biometria de sementes de *Amaranthuscruentus*, *A. viridise* seu híbrido interespecífico. Anais... IV Congresso Brasileiro de Recursos Genéticos, v. 6, p. 239, 2016.

HERNÁNDEZ-LEDESMA, B.; HSIEH, C.C.; LUMEN, B.O. Lunasin, a novel seed peptide for cancer prevention. *Peptides*, v. 30, n. 2, p. 426-430, 2009.

HERNÁNDEZ MAQUEDA, R.; BALLESTEROS REDONDO, I.; JIMÉNEZ JÁCOME, S.J.; MORENO, A.H. Microwave drying of amaranth and quinoa seeds: effects of the power density on the drying time, germination rate and seedling vigour. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, p.1-13,2018.

JOLY, A.B. *Botânica: introdução à taxonomia vegetal*. 13 ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2002.

KINUPP, V.F. *Plantas alimentícias não-convencionais da região metropolitana de Porto Alegre, RS*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007. 562 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

KINUPP, V.F.; LORENZI, H. *Plantas Alimentícias não Convencionais (PANC) no Brasil: guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas*. Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2014. 767 p.

LUZ, C.A.S. *Secagem de sementes de arroz em secador intermitente lento*. 103f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pelotas. Pelotas-RS, 1986.

MALDONADO-CERVANTES, E. *Amaranthlunasin-like peptide internalizes intothecellnucleusandinhibitschemicalcarcinogen-inducedtransformationof NIH-3T3 cells*. *Peptides* 2, v. 31, n. 9, p. 1635-1642, 2010.

MARTIROSYAN, D.M. *Amaranth oil application for coronary heart disease and hypertension*. *Lipids in Health andDisease*, v. 6, 2007.

MATA, A.C.; FARONI, L.R.D.; BERBERT, P.A.; DHINGRA, O.D. *Utilização da fosfina no controle de *Aspergillusflavus* em milho armazenado*. *Revista Brasileira de Armazenamento, Viçosa*, v. 24, n. 1, p. 3-8, 1999.

MATHIEU, G.; MEISSA, D. *Traditionalleafyvegetables in Senegal diversity: diversityand medical uses*. *African Journal of Tradicional, Complementary and Alternative Medicines*, v. 4, n. 4, p. 469–475, 2007.

MENDES, L.D. *Maturação fisiológica em amaranto (*Amaranthuscruentus* L.)*. 57f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2014.

MENDONÇA, A.P.; SAMPAIO, P.T.B.; ALMEIDA, F.A.C; FERREIRA, R.F.F.; NOVAIS, J.M. *Determinação das curvas de secagem das sementes de andiroba em secador solar*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, n.4, p.382-387, 2015.

MENEZES, N.L.; PASQUALLI, L.L.; BARBIERI, A.P.P.; VIDAL, M.D.; CONCEIÇÃO, G.M. *Temperaturas de secagem na integridade física, qualidade fisiológica e composição química de sementes de arroz*. *PesquisaAgropecuária Tropical, Goiânia*, v. 42, n. 4, p. 430-436, 2012.

MEO, B.; FREEMAN, G.; MARCONI, O.; BOOER, C.; PERRETTI, G.; FANTOZZI, P. *Behaviour of Malted Cereals and Pseudo-Cereals for Gluten-Free Beer Production*.

The Institute of Brewing & Distilling, [s.l.] Publication n. G-2011-1122-1159. v. 117, n. 4, 2011.

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A new model for single layer drying. *Drying Technology*, v. 20, p. 1503-1513, 2002.

MINUZZI, R.D.; REIS, R.H.P.; ABREU, J.G; BIANCHINI, A.; FUJII, I.A. Forage potential of amaranth for ensilage. *Global Science and Technology*, Rio Verde, v. 6, n. 3, p. 90-98, 2013.

MORAIS, S.J.S.; DEVILLA, I.A.; FERREIRA, D.A.; TEIXEIRA, I.R. Modelagem matemática das curvas de secagem e coeficiente de difusão de grãos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.)Walp.). *Revista Ciência Agronômica*, v.44,n.3,p.455-463,2013.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Lost crops of the incas: little know plants of the Andes with promise for worldwide cultivation. Washington: National Academy Press, p. 124-147, 1989.

NAVRATIL, R.J.; BURRIS, J.S. The effect of drying temperature on corn seed quality. *Canadian Journal of Plant Science*. Ottawa, v. 64, p. 487-96, 1984.

OLIVA, A.C.E. Qualidade das Sementes de Crambe Submetidas a Métodos de Secagem e Períodos de Armazenamento. 87f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Botucatu-SP, 2010.

PAGAMUNICI, L.M.; SOUZA, A.H.P.; GOHARA, A.K.; SOUZA, N.E.; GOMES, S.T.M.; MATSUSHITA, M. Development, characterization and chemometric analysis of a gluten-free food bar containing whole flour from a new cultivar of amaranth. *Ciência e agrotecnologia*, [s.l.], v. 38, n. 3, p. 270-277, 2014.

PANDEY, R.M.; SINGH, R. Genetic studies for biochemical and quantitative characters in grain amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.). *PlantOmics*, v. 3, n. 4, p. 129-134, 2010.

PARK, K.J.; YADO, M.K.M.; BROD, F.P.R. Estudo de secagem de pêraBartlett (*Pyrus* sp.) em fatias. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, v.21, n.3, p.288-292, 2001.

PESKE, S.T.; LUCCA FILHO, O.A.; BARROS, A.C.S.A. Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos. 2. ed. Pelotas: Ed Universitária/UFPel, 2006. 470 p.

PIEROTTI, S.M. Amarantho - Análises físico-químicas e funcionais - comparação com dados presentes na literatura. 2013. 38f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2013.

PUZZI, D. Abastecimento e armazenamento de grãos. Campinas: Ed. atualizada. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 2000. 666 p.

QUEIROZ, Y.S. Efeito do processamento na atividade antioxidante do grão de amaranto (*Amaranthus cruentus* L. BRS-Alegria). *Archivos Latino americanos de Nutrición*, v. 59, n. 4, 2009.

QUINI, A.R.; DELAZARI, D.S.; FARINAZZI-MACHADO, F.M.V.; BARBALHO, S.M. Revisão de literatura: Importância nutricional de algumas espécies de *Amaranthus* sp. Revista Eletrônica de Biologia, v. 6, p. 69-81, 2013.

RESENDE, O.; ARCANJO, R.V.; SIQUEIRA, V.C.; RODRIGUES, S.; KESTER, A.N.; LIMA, P. P. Influência do tipo de pavimento na secagem de clones de café (*Coffea canephora* Pierre) em terreiros de concreto e chão batido. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, v. 9, p. 171-178, 2007.

RONOH, E.K., KANALI, C.L., MAILUTHA, J.T., SHITANDA, D. Modeling thin layer drying of amaranth seeds under open sun and natural convection solar tent dryer. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript 1420, v.6,2009.

ROSA, O.S. Temperaturas recomendadas para a secagem de sementes de trigo e arroz utilizando o método intermitente. In: Seminário Panamericano de semillas, Maracay, v. 5, 27 p., 1966.

SAUNDERS, R.M.; BECKER, R. Amaranth: a potential food and feed resource. Advances in Cereal Science and Technology, v. 6, p. 357-396, 1984.

SILVA, J.G.; BIANCHINI, A.; CRIVELARI COSTA, P.M.; LOBO, F.A.; ALMEIDA, J.P. M.; MORAES, M.F. Amaranth Response to Water Stress. Journal of Experimental Agriculture International, v. 40, n. 1, p. 1-9, 2019.

SMANIOTTO, T.A.D.; RESENDE, O.; SOUSA, K.A.; OLIVEIRA, D.E.C.; CAMPO, R.C. Drying kinetics of sunflower grains. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 21, n. 3, p. 203-208, 2017.

SOARES, R. Identificação de peptídeos hipocolesterolemizantes do isolado protéico do grão de amaranto (*Amaranthus cruentus* L. BRS Alegria). [s.l.] Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

SOARES, M.A.B.; JORGE, L.M.M.; MONTANUCI, F.D. Drying kinetics of barley grains and effects on the germination index. Food Science and Technology, Campinas, v. 36, n. 4, p. 638-645, 2016.

SPEHAR, C.R. Diferenças morfológicas entre *Amaranthus cruentus*, cv. BRS Alegria e as plantas daninhas *A. hybridus*, *A. retroflexus*, *A. viridis* e *A. spinosus*. Planta Daninha, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 481-485, 2003.

SPEHAR, C.R. Production systems in the savannas of Brazil: key factors to sustainability. In: LAL, R. (Ed.). Soil quality and agricultural sustainability. Chelsea: Ann Arbor Press, p. 301-318, 1998.

SPEHAR, C.R.; CABEZAS, W.A.R.L. Introdução e seleção de espécies para a diversificação do sistema produtivo nos cerrados. In: CABEZAS, W. A. R. L.; FREITAS, P.L. (Ed.). Plantio direto na integração lavoura pecuária. Uberlândia: Ed. da Universidade Federal de Uberlândia, p. 179-189, 2001.

SPEHAR, C.R.; TEIXEIRA, D.L.; CABEZAS, W.; ERASMO, E.A.L. Amarantho BRS Alegria: Alternativa para diversificar os sistemas de produção. Brasília: Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 38, n. 5, p. 659-663, 2003.

SPEHAR, C.R. Amarantho: opção para diversificar a agricultura e os alimentos. Brasília, DF: Embrapa Informação e Tecnologia, 130 p., 2007.

STALLKNECHT, G.F.; SCHULZ-SCHAEFFER, J.R. AmaranthRediscovered. In: J. Janick and J. E. Simon (eds.), *New Crops*. Wiley, New York, p. 211-218, 1993.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 5. ed., Artmed, 2013. 918 p.

TEIXEIRA, D.L.; SPEHAR, C.R.; SOUZA, L.A.R. Agronomic characteristics of amaranth for cultivation in the Brazilian Savannah. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 38, n. 1, p. 45-51, 2003.

TEUTONICO, R.A.; KNORR, D. Amaranth: composition, properties and applications of rediscovered food crop. *Food Technol.*, v. 10, n. 5, p. 49-60, 1985.

ULLMANN, R.; RESENDE, O.; SALES, J.F.; CHAVES, T.H. Qualidade das sementes de pinhão manso submetidas à secagem artificial. *Revista Ciência Agronômica*, v. 41, n. 3, p. 442-447, 2010.

VEGA-GÁLVEZ, A.; MARTÍN, R.S.; SANDERS, M.; MIRANDA, M.; LARA, E. Characteristics and Mathematical modeling of convective drying of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Influence of temperature on the kinetic parameters. *Journal of Food Processing and Preservation*, v. 34, p. 945-963, 2010.

VELARDE-SALCEDO, A.J.; BARRERA-PACHECO, A.; LARA-GONZÁLEZ, S.; MONTERO-MORÁN, G.M.; DÍAZ-GOIS, A.; GONZÁLEZ DE MEJIA, E.; BARBA DE LA ROSA, A.P. In vitro inhibition of dipeptidyl peptidase IV by peptides derived from the hydrolysis of amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.) proteins. *Food Chemistry*, v. 136, n. 2, p. 758-764, 2012.

VILLELA, F.A.; SILVA, W.R. Efeitos da secagem intermitente sobre a qualidade de sementes de milho. In: *Anais ESALQ...* Piracicaba, SP, v. 48, p. 185-209, 1991.

WEBER, L.E. *Amaranth grain production guide*. Rodale Research Center: Rodale Press Inc., PA, USA, 1987.

WEBER, E.A. Secadores. In: Weber, E. A., *Armazenagem e conservação dos grãos*, Livraria e editora Agropecuária Ltda. Guaíba - RS, p. 93-186, 2001.

YANEZ, E.; ZACARÍAS, I.; GRANGER, D.; VÁSQUEZ, M.; ESTÉVEZ, A.M. Caracterización química y nutricional del amaranto. *Archivos latino americanos de nutrición*, v. 44, n. 1, p. 57-62, 1994.

ZONTA, J.B.; ARAUJO, E.F.; ARAUJO, R.F.; DIAS, L.A.S. Diferentes tipos de secagem: efeitos na qualidade fisiológica de sementes de Pinhão manso. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 33, n. 4, p. 721-731, 2011.

CAPÍTULO I

3. CINÉTICA DE SECAGEM DE SEMENTES DE *Amaranthus cruentus* BRS ALEGRIA

RESUMO - Frequentemente as sementes das culturas são colhidas com teor de água acima do recomendado, no entanto para o amaranto, próximos aos 40%, sendo a secagem necessária para preservação da qualidade, a qual pode ser feita com ventilação natural ou artificial. Deste modo, objetivou-se estudar a cinética de secagem de sementes de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria. Foram acompanhadas as temperaturas da massa de sementes de 30, 40, 50, 60 e 70°C, realizadas por secagem natural, à sombra e a pleno sol e, artificial, em estufa de circulação forçada para as temperaturas do ar de 60, 80 e 100°C, respectivamente. A cinética de secagem do amaranto ocorreu no período de taxa decrescente sendo fortemente influenciada pela temperatura. As equações polinomiais encontradas foram ajustadas eficientemente para valores dentro da faixa de temperatura de secagem estudada, sendo a de Midillia que melhor se ajustou. A redução do teor de água de 21,1 para 11,5%, foi de 2,5, 3,5, e 7 horas para as temperaturas da massa de sementes de 70, 60 e 50°C, respectivamente, secas artificialmente. Para secagem natural, em pleno sol (30°C na massa de sementes), o tempo foi de 15 horas. A alta umidade relativa do ar influenciou a secagem em pleno sol e aumentou o tempo de secagem. A secagem a sombra não foi adequada para secagem de sementes de amaranto e não secou até o teor de água desejado e o tempo de secagem foi de 164 horas até o teor de água de 13%.

Palavras-chaves: secagem natural, secagem artificial, tempo de secagem.

ABSTRACT - Often the seeds of the crops are harvested with water content above the recommended, for amaranth, close to 40%, and drying is necessary to preserve the quality, which can be done with natural or artificial ventilation. Thus, the objective was to study the drying kinetics of *Amaranthus cruentus* BRS Alegria seeds. The seed mass temperatures of 30, 40, 50, 60 and 70°C were monitored, carried out by natural drying, shaded and full sun, and artificial drying, in a forced circulation oven for air temperatures of 60, 80 and 100°C, respectively. The drying kinetics of amaranth occurred in the period of decreasing rate and was strongly influenced by

temperature. The polynomial equations found are adjusted efficiently to values within the studied drying temperature range, with the modified Midilli equation being the best. The reduction in water content from 21.1 to 11.5% was 2.5, 3.5, and 7 hours for seed mass temperatures of 70, 60 and 50°C, respectively, artificially dried. For natural drying, in full sun (30°C in the seed mass), the time was 15 hours. The high relative humidity of the air influenced the drying in full sun and increased the drying time. The shade drying was not suitable for drying amaranth seeds and did not dry to the desired water content and the drying time was 164 hours until the water content was 12.3%.

Keywords: natural drying, artificial drying, drying time.

3.1 INTRODUÇÃO

As sementes de amaranto, em pequena escala, podem ser secas naturalmente com a exposição ao ar ambiente (Abalone et al., 2006; Ronoh et al., 2009) sendo o método que mais contribui para a manutenção das qualidades originais e os mais adequados para secagem de sementes (Afonso et al., 2008; Oliva, 2010), além de serem meios simples e baratos para o produtor, com menor disponibilidade de investimento. Este método ainda tem como vantagem a ação germicida dos raios solares e a não poluição (Corrêa et al., 2008). Porém, a secagem natural é pouco segura, pois depende das condições climáticas (Afonso et al., 2008).

O amaranto quando cultivado em grande escala, deve ser colhido com teor de água próximo dos 22% (Spehar et al., 2003). Porém, com frequência, colhe-se com teores de água bem maiores, próximos dos 40%. Neste caso, torna-se necessária a secagem artificial para reduzir o teor de água e garantir a boa conservação destas sementes (Weber, 1987; Ronoh et al., 2009). Neste sentido, a secagem de sementes em secadores artificiais é uma técnica imprescindível, a qual visa a preservação da qualidade do produto e a manutenção de suas propriedades físicas, químicas e fisiológicas. Para isso, deve-se analisar a cinética de secagem.

O estudo de sistemas de secagem, seu dimensionamento, otimização e a determinação da viabilidade de sua aplicação comercial, podem ser feitos por meio de simulação matemática cujo princípio se fundamenta na secagem de camadas delgadas do produto, utilizando um modelo matemático que representa satisfatoriamente a perda de água (Resende et al., 2007). Em virtude da sua importância, o estudo sobre a cinética de secagem das sementes do amaranto tem

despertado interesse de vários pesquisadores (Abalone et al., 2006; Ronoh et al., 2009; CalzettaResio et al., 2010). Objetivou-se estudar a cinética de secagem em camada fina de sementes de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria, em diferentes temperaturas de secagem.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Máquinas e Motores (LAMAM), na Faculdade de Agronomia e Zootecnia (FAAZ), localizado na Universidade Federal de Mato Grosso, *Campus* de Cuiabá, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil (UFMT - *Campus* Cuiabá). Foram utilizadas sementes de amaranto (*Amaranthus cruentus*), cultivar BRS Alegria, oriundas da safra 2018. As plantas foram cultivadas durante estação seca (julho a setembro), sob irrigação, na Fazenda Experimental da UFMT, no município Santo Antônio do Leverger, coordenadas geográficas 15°50'48" S e 56°03'52" W, altitude de 140 m, conforme descrito por Silva (2019).

A colheita foi realizada aos 90 dias após semeadura. As panículas foram colhidas manualmente, com 37% de teor de água, logo após atingirem o ponto de maturação fisiológica (Mendes et al., 2014; Silva, 2019), para diminuir a possibilidade de perdas por deiscência (Spehar et al., 2003). A maturação fisiológica foi identificada pela mudança da coloração da panícula, de verde para amarelo-dourada ou avermelhadas. Ainda, com sementes apresentando fácil desprendimento das panículas, quando submetidas à agitação, no mínimo em dois terços da panícula, da base para a ponta (Mendes et al., 2014; Silva, 2019).

No dia seguinte, as panículas foram dispostas a pleno sol sobre lona plástica de cor preta por duas horas, nas condições climáticas de 28,6°C e 70,8% de umidade relativa (INMET, 2020), para facilitar o desprendimento das sementes e reduzir danos por amassamento durante a trilha. Logo após, as sementes foram trilhadas mecanicamente em debulhadora de cereais adaptada. Estas foram acondicionadas em sacos de rafia e transportadas da Fazenda Experimental para o laboratório onde foram manuseadas.

Devido a quantidade de palha que apresenta, as sementes foram passadas em soprador de ventilação forçada com fluxo de contracorrentes na velocidade de 4,5 ms⁻¹ e temperatura do ar de 30°C. Foram necessários quatro dias para realizar este procedimento em razão da quantidade de sementes.

Durante o período de preparação das sementes para a realização do teste de secagem, estas ficaram armazenadas em condições de laboratório, observadas conforme dados de tempo obtidos pelo INMET, estação convencional de Cuiabá do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (INMET, 2020). O período em que as sementes ficaram nessas condições foi entre 01 a 22 de outubro de 2018 (Figura 1).

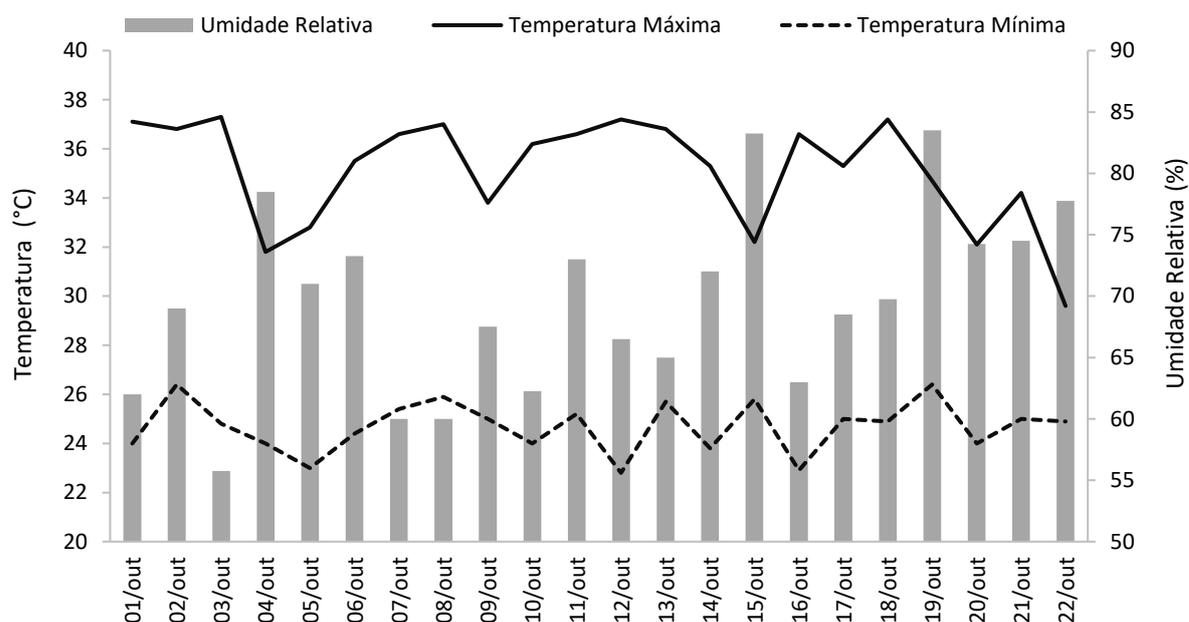


Figura 1. Temperatamaxima e mínima e umidade relativa para Cuiabá, durante o período de armazenamento das sementes em condições de laboratório. Fonte: INMET, 2020.

Amostras representativas foram retiradas durante os processos pós-colheita para determinação do teor de água das sementes. Este foi realizado pelo método de estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ por 24 horas conforme o Manual de Regras para a Análise de Sementes (Brasil, 2009).

A secagem foi realizada com massa de sementes estáticas, espessura média de 25 ± 2 mm, sobre peneiras de aço inox, com 200 mm de diâmetro e malha inferior a um milímetro, para que permitisse a passagem de ar entre a massa de sementes. A massa média de cada amostra foi de 620 g. Durante a secagem foram feitas pesagens das peneiras, em balança semi-analítica (Shimadzu) com precisão de duas casas decimais, para verificar a perda de água nas sementes por diferença de peso, como descrito por Celestino (2010). Para fins de modelagem matemática,

considerou-se a secagem do amaranto até que o produto atingisse o teor de água de 8,5%, estabelecido como ponto final da secagem.

Foram utilizados os sistemas de secagem com ventilação natural, a sombra e pleno sol, e artificial, forçada, com temperaturas, de 60, 80 e 100°C. Nesse sentido, utilizou-se a temperatura da massa de sementes para cada condição, em sequência, 30, 40, 50, 60 e 70°C.

Para o sistema de ventilação forçada, utilizou-se uma estufa-secadora de circulação forçada de ar, com controle eletrônico de temperatura. A circulação de ar no secador é feita por um ventilador situado atrás do equipamento, com resistências elétricas usadas para o aquecimento do ar de entrada. O controle da temperatura foi realizado por um controlador e sensor de temperatura tipo PT-100.

Foram realizadas durante o processo de secagem, tais determinações: temperatura de secagem, em °C; umidade relativa do ar, em %; velocidade média do vento e do fluxo de ar na estufa-secadora, em ms^{-1} . Estas variáveis foram determinadas utilizando-se um termo higroanemômetro troportátil (Icel, modelo WN-1800). A temperatura da massa de sementes, em °C, foi determinada com termômetro de bulbo de mercúrio. Para secagem a pleno sol, também foi observado os dados de insolação, computados em 5,9 e 7,1 horas para os dias 6 e 7 de outubro de 2018, respectivamente (INMET, 2020).

O tempo de leitura para temperaturas do ar de secagem maiores, de 100 e 80°C, foram a cada 15 minutos (0,25 horas), inicialmente, aumentando em seguida, para cada 30 minutos (0,5 horas) até o final do processo. Para a temperatura de 60°C iniciou-se leitura a cada meia hora, com leituras mais espaçadas ao final do processo. Para as sementes secas a pleno sol, as primeiras leituras foram realizadas a cada uma hora, seguidas de duas leituras de 1,5 horas e as demais foram realizadas a cada três horas até o final da secagem. Fez-se secagem durante 15 horas, divididas em dois períodos de 7,5 horas cada um (dois dias), devido a períodos nublados durante o dia da realização do teste. Entre um período e outro, as sementes foram mantidas em dissecador, sem sílica gel, para manter o teor de água. Para sementes secas a sombra, as primeiras leituras foram a cada hora, e passou-se a realizá-las duas (nos segundo ao quinto dia) e uma vez ao dia até o equilíbrio com o ambiente. O tempo necessário para obter cada leitura foi, em média, entre 5 e 15 minutos, e considerou-se parte do processo de secagem, não sendo descontado do tempo total de secagem.

A umidade de equilíbrio (U_e) foi obtida pela equação de Henderson modificada (Equação 1), indicada por Pagano e Mascheroni (2005) como uma das que melhor representa o fenômeno da dessecção nas sementes de *Amaranthus cruentus* para uma ampla gama de temperaturas e umidades relativas, e também recomendada por Abalone et al. (2006).

$$U_e = \left[\frac{\ln(1-RH)}{-1,1499 \times (T+24,2105)} \right]^{1/1,9639} \quad (1)$$

Em que: U_e é umidade de equilíbrio, decimal; T é a temperatura do ar de secagem, em °C; e, RH é a umidade relativa medida na saída do secador, decimal.

As razões de umidade (RU) do *Amaranthus cruentus* BRS Alegria, nas diferentes condições de ar foram determinadas pela Equação 2:

$$RU = \frac{U-U_e}{U_i-U_e} \quad (2)$$

Em que: U é o teor de água do produto no tempo T , decimal base seca; U_e é o teor de água de equilíbrio do produto, decimal base seca; e, U_i é o teor de água inicial do produto, decimal base seca.

As curvas de secagem foram obtidas pela conversão dos dados referentes à perda de água no parâmetro adimensional razão de teor de água (RU). A razão do teor de água é essencial para descrever diferentes modelos de secagem em camada delgada. A cada tempo de secagem um teor de água é correlacionado com o teor de água inicial e o teor de água de equilíbrio, para condições específicas de secagem. Dessa forma, em todos os modelos matemáticos testados os valores de razão de umidade em função do tempo de secagem foram ajustados aos modelos, descrevendo a cinética de secagem.

Aos dados de secagem foram ajustados os modelos matemáticos para prever a cinética de secagem de sementes de *Amaranthus cruentus* em camada delgada propostos na literatura (Abalone et al., 2006; Ronoh et al, 2009; Calzetta Resio et al, 2010) e outros grãos (Corrêa et al., 2010; Vega-Gálvez et al., 2010; Costa et al., 2011; Morais et al., 2013; Mendonça et al., 2015; Coradi et al., 2016; Goneli et al., 2017; Smaniotto et al., 2017), cujas expressões estão apresentadas na Tabela 1.

Os critérios usados para determinação do melhor ajuste dos modelos aos dados experimentais basearam-se nos parâmetros estatísticos: coeficiente de determinação (R^2), desvio padrão da estimativa (SE), magnitude do erro médio relativo (P) e a tendência de distribuição dos resíduos (aleatória ou tendenciosa).

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para prever o fenômeno de secagem

Nome do modelo	Equação do modelo	Referências	Equação
Aproximação de Difusão	$RU = A \exp(-kT) + (1 - A) \exp(-k \cdot B \cdot T)$	Corrêa et al. (2010)	(3)
Doistermos	$RU = A \exp(-k_0T) + B \exp(-k_1T)$	Vega-Gálvez et al. (2010)	(4)
Doistermosexponencial	$RU = A \exp(-kT) + (1 - A) \exp(-k \cdot A \cdot T)$	Moraes et al. (2013)	(5)
Henderson e Pabis	$RU = A \exp(-kT)$	Henderson e Pabis (1969)	(6)
Henderson e PabisModificado	$RU = A \exp(-kT) + B \exp(-k_0T) + C \exp(-k_1T)$	Morais et al. (2013)	(7)
Logarítmico	$RU = A \exp(-kT) + B$	Mendonça et al. (2015)	(8)
Midilli	$RU = A \exp(-kT^c) + BT$	Midilli et al. (2002)	(9)
MidilliModificado	$RU = \exp(-kT^c) + BT$	Corrêa et al. (2010)	(10)
Newton	$RU = \exp(-kT)$	Vega-Gálvez et al. (2010)	(11)
Page	$RU = \exp(-kT^c)$	Page (1949); Abalone et al. (2006)	(12)
Page Modificado	$RU = \exp[-(kT)^c]$	Vega-Gálvez et al. (2010)	(13)
Thompson	$RU = \exp\{-A - (A^2 + 4BT)^{0,5}\}/2B\}$	Thompson et al. (1968)	(14)
Verna	$RU = A \exp(-kT) + (1 - A) \exp(-k_1T)$	Moraes et al. (2013)	(15)
Wang-Singh	$RU = kT^2 + AT + 1$	Wang e Sing (1978)	(16)

Em que: RU é a razão de umidade, adimensional; T é o tempo, em horas; A , B e C são coeficientes dos modelos, adimensionais; e k , k_0 e k_1 são constantes de secagem, em h^{-1} .

Os resíduos constituem a diferença entre os valores observados pelos valores estimados pelos modelos (Mendonça et al., 2015). Considera-se um modelo aceitável se os valores residuais se encontrarem próximos à faixa horizontal em torno de zero, não indicando tendenciosidade dos resultados. Se o modelo apresentar distribuição tendenciosa dos seus resíduos, o modelo será considerado inadequado para representar a cinética de secagem (Goneli, 2008). Ainda, se forma figuras geométricas ou acumula-se em um ponto fora do eixo, também é considerado que a distribuição é tendenciosa. Esta distribuição tem sido utilizada para seleção de modelos matemáticos de secagem (Costa et al., 2011; Mendonça et al., 2015; Coradi et al., 2016; Goneli et al., 2017).

O desvio padrão da estimativa (SE) e o erro médio relativo (P) para cada um dos modelos foram calculados conforme equações 17 e 18.

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y - Y_0)^2}{N-2}} \quad (17)$$

$$P = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{|Y - Y_0|}{Y} \right) \quad (18)$$

Em que: Y é o valor observado experimentalmente; Y₀ é o valor calculado pelo modelo; e N é o número de dados observados.

Para o ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais de secagem, realizou-se análise de regressão não linear, através do programa CurveExpert Professional 2.4.0 Trial version.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, é observada a perda do conteúdo de água das sementes após a colheita, durante os procedimentos após a colheita, até o início da secagem. O teor de água, após as panículas colhidas serem expostas ao sol por duas horas, obteve diferença de 10,2 pontos percentuais. Com a trilha, reduziu-se mais 3,7 pontos percentuais do teor de água. A retirada das impurezas, com a utilização do soprador à 30 °C, fez com que houvesse perda de 1,1 pontos percentuais no teor de água (Tabela 2). Foi calculada uma retirada de 4,5% de impurezas das sementes, constituída principalmente de palha, sementes leves e chochas.

Tabela 2. Perda de água das sementes durante os processos de pós-colheita do *Amaranthus cruentus* BRS Alegria.

Procedimento	Teor de água	Condições climáticas
Colheita	37,0%	T 29,4 °C; UR 62,5% ¹
Sol 2h (panícula)	26,8%	T 28,6 °C; UR 70,8%
Trilha	23,1%	-
Soprador	22,0%	-
Estoque em laboratório	22,2%	T 26,8 °C; UR 56,4%

¹T=Temperatura; UR=Umidade Relativa (Fonte: INMET, 2020).

A maior parte da água evaporada, durante a secagem, é “água livre”, como relatado por Berbert et al. (2008), que é facilmente retirada na presença de ar com baixa umidade relativa, sendo menor a perda do conteúdo de água quanto menor for o teor de água na semente. Isso é observado com a rápida perda de água, que ocorre inicialmente, nos processos após a colheita das sementes.

Ronoh et al. (2009), secando sementes de amaranto utilizando secador de tenda solar de convecção natural e sol aberto, nas temperaturas entre 22,6 e 30,4°C e umidade relativa entre 25,0 e 52,0%, observou uma redução do teor de água inicial das sementes de 39,1% para valores próximos à 25,9% com 0,5 horas. Tal diferença no tempo de exposição ao sol em relação à perda de água está relacionada à proteção das sementes pelas panículas, que contém maior teor de água que as sementes.

Foi observado que quanto menor a temperatura do ar de secagem, maior foi a amplitude da mesma, de 4, 6, 4, 12 e 14°C para as temperaturas do ar de secagem de 100, 80 e 60°C, a pleno sol e a sombra, em ordem. No entanto, para a temperatura da massa de semente ocorreu o contrário, com 11, 10, 5, 7 e 7°C para as temperaturas da massa de semente de 70, 60, 50, 40 e 30°C, respectivamente (Tabela 3).

Esta diferença se deve, principalmente, no fato de que no início da secagem a temperatura é menor e tem um acréscimo gradual, dentro da câmara de ar ou do ambiente em que a massa de sementes está envolvida. Neste sentido, na ventilação forçada é maior o controle da temperatura do ar de secagem, porém a massa de semente sofre maiores variações de temperatura, sendo menor ao início do processo e maior no final. Quanto maior a temperatura do ar de secagem, maior a

velocidade, mantendo a massa de sementes por menos tempo na câmara de ar, ainda com temperatura menor que a temperatura do ar de secagem.

Tabela 3. Determinações realizadas durante o processo de secagem das sementes de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria, em diferentes temperaturas de secagem.

Secagem	100°C	80°C	60°C	Sol	Sombra
Temperaturas do ar de secagem (°C)					
Máxima	102	83	62	41	37
Mínima	98	77	58	29	23
Média	100	80	60	35	30
Temperaturas da massa de sementes (°C)					
Máxima	75	65	52	44	32
Mínima	64	55	47	37	27
Média	70	60	50	40	30
Umidade relativa do ar de secagem (%)					
Máxima	23,4	24,9	40,3	73,3	83,5
Mínima	17,3	20,6	26,5	60,0	60,0
Média	20,3	22,8	33,4	66,6	70,2
Velocidade do fluxo de ar (m s ⁻¹)					
Máxima	0,7	0,7	0,7	2,0	0,0
Mínima	0,5	0,6	0,5	0,2	0,0
Média	0,6	0,7	0,6	1,1	0,0

Já para ventilação natural ocorre o contrário, pois esta sofre variações durante o processo e a temperatura da massa de semente tende a um equilíbrio, sofrendo menores amplitudes que a do próprio ambiente em que está envolta. A temperatura do ar de secagem a sombra, teve amplitude bem maior que sua massa de sementes, apesar de na média apresentarem valores iguais (Tabela 3).

Durante a realização da secagem a pleno sol a insolação média foi de 6,5 horas (INMET, 2020), com períodos nublados de até uma hora (tempo de secagem 7,5 h dia⁻¹). O efeito da insolação aumentou a temperatura da massa de ar em relação a temperatura de secagem (Tabela 3). É importante lembrar que o período de tempo em que as sementes ficaram em dissecador não foi considerado.

Outro fator a ser levado em consideração nesse período é a umidade relativa alta, o que pode ter influenciado na secagem de ventilação natural, principalmente por ser realizada a céu aberto, como foi o caso da secagem a pleno sol (Celestino, 2010) e acarreta aumento no tempo de secagem. Este fato pode causar aceleração

da deterioração das sementes, agravado com o armazenamento (Weber, 2001; Afonso et al., 2006).

O ensaio de secagem, com objetivo de remover parcialmente a água das sementes do *Amaranthus cruentus* BRS Alegria, em diferentes condições de temperatura, expressos através do teor de água (%), em função do tempo de secagem (horas) foi executado e os resultados estão apresentados na Figura 2.

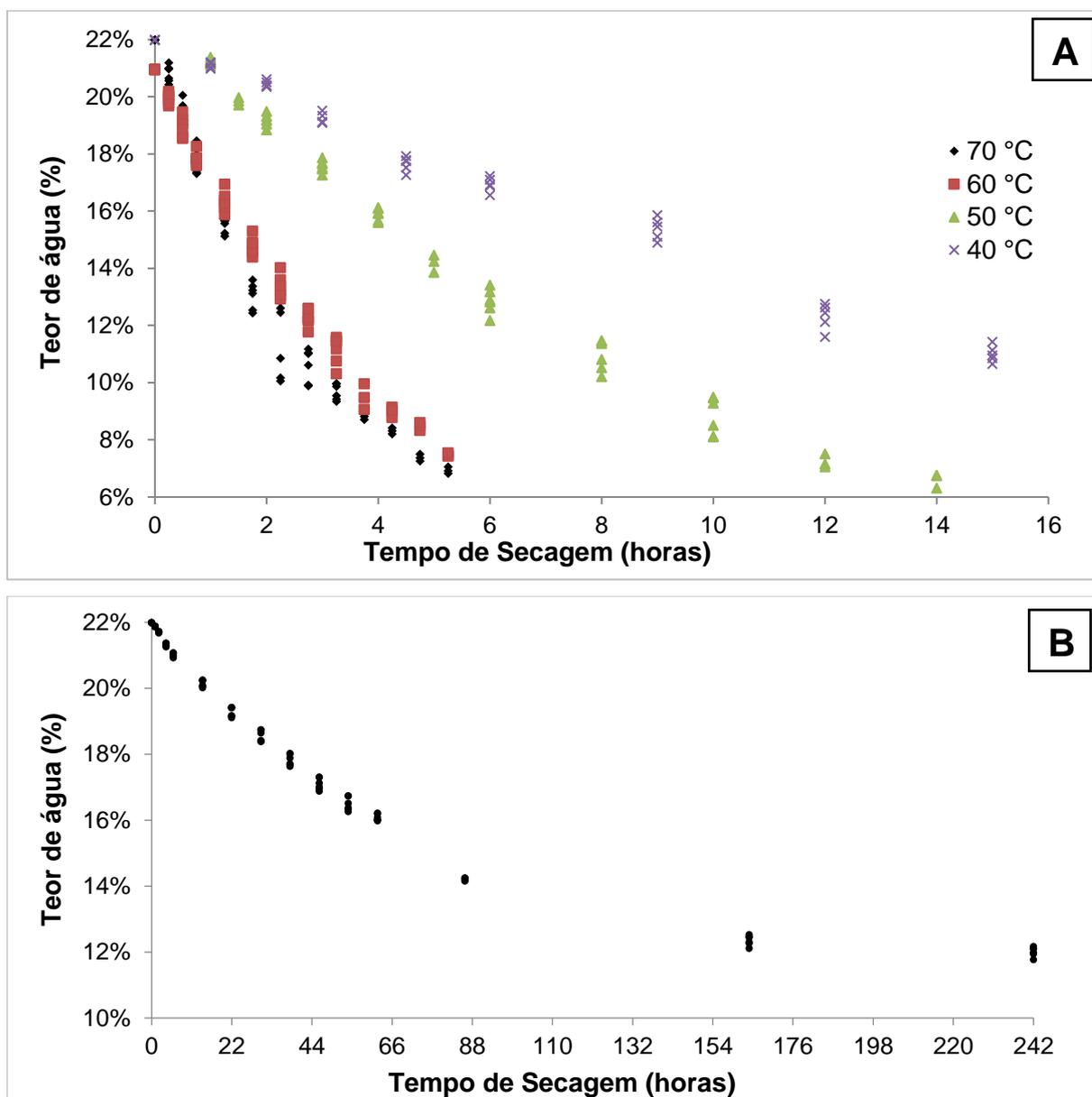


Figura 2. Curvas de secagem do *Amaranthus cruentus* BRS Alegria nas temperaturas da massa de semente de 70, 60, 50 e 40 °C (A) e 30 °C (sombra) (B).

Foi constatado que o tempo de secagem de amaranto, considerando a redução do teor de água de 21,1 para 11,5%, em média, foi de 2,5, 3,5 e 7,0 horas

para as temperaturas de 70, 60 e 50°C, respectivamente. Já para a secagem ao sol, a 40°C, e como relatado anteriormente, a maior umidade relativa e períodos nublado afetou no tempo de secagem, sendo este realizado em dois dias. O tempo necessário corrigido foi de 15 horas (Figura 2A).

Para a secagem à sombra, devido às influências das condições do tempo (temperatura x umidade relativa), a secagem foi estendida. Neste processo, o tempo necessário para reduzir o teor de água de 22% para 13% foi de 164 horas, quando se admitiu equilíbrio com o ambiente, com variações no teor de água devido à umidade relativa mais alta. Este fato foi corroborado pela leitura de 242 horas, com o teor de água mantido em 12% (Figura 2B).

Foi observado que a secagem à sombra (30 °C na massa de sementes) demandou maior tempo para a secagem de sementes de amaranto e não atingiu o teor de água desejado, de 8,5%. Ainda causou maior exposição das sementes às intempéries do ambiente. Contudo, é possível realizá-la em agricultura familiar ou produção de pequena escala (13% de teor de água), assim como a secagem em pleno sol (40 °C), demandando menores investimentos e custos (Abalone et al., 2006; Ronoh et al., 2009).

O tempo de secagem encontrado neste trabalho foi superior ao tempo de secagem realizado por Abalone et al. (2006), para temperatura do ar de 60°C, que teve um tempo de apenas 0,5 horas, com umidades relativas entre 30 e 60%, utilizando teor de água inicial de 13, 17, 20 e 24% de sementes de amaranto até a umidade de equilíbrio (entre 6 e 7%), e de 1,5 horas, para 30°C, nas mesmas condições. Os autores não relatam sobre a espessura da massa de sementes.

Ronoh et al. (2009), realizando a secagem de sementes de amaranto em temperaturas entre 22,6 e 30,4°C, através da energia solar, com umidade relativa do ar variando entre 25 e 52%, e teor de água inicial das sementes de 39%, observaram que a umidade de equilíbrio, próxima de 9,0%, identificada a 3,5 horas de duração da secagem. Apesar de ser encontrado umidade de equilíbrio semelhante para secagem com energia solar, o tempo maior encontrado neste trabalho se deve principalmente a diferença de metodologia utilizada.

Ainda, o tempo de secagem ao sol foi menor neste trabalho comparado ao de secagem em secador solar (33,6 °C e umidade relativa de 51,1%) de sementes de andiroba para a espécie *Carapa surinamensis* Miq, com tempo necessário de 14 dias para reduzir o teor de água de 30,5% para 12,3% (umidade de equilíbrio), e,

para *Carapa guianensis* Aubl, de 20 dias, de 30,5% para 13,9% (Mendonça et al. 2015).

A secagem de sementes de Crambe (*Crambe abyssinica*), em estufa de circulação forçada de ar, obteve tempos de desidratação de 20,5, 8,5, 5,0, 5,0 e 2,75 horas para as temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70°C, respectivamente (Costa et al., 2011). Estas sementes, apesar de ter um teor de lipídeos maior, de 38%, possuem diâmetros, entre 0,8 a 2,6 mm (Desai et al., 1997), semelhantes às sementes aqui estudadas. É possível perceber que para as temperaturas da massa de sementes, os tempos de secagem foram próximos quando secas em ventilação artificial.

O tempo de secagem é função, além da temperatura de secagem e teor inicial das sementes, também, do tamanho das sementes e da camada utilizada no secador. Assim, comparações entre mesmas espécies, ou até mesmo espécies diferentes, carecem de mais informações.

Observa-se que o binômio tempo x temperatura apresenta relação estreita com o processo de secagem (Figura 2). Este fato também foi evidenciado por Abalone et al. (2006), Ronoh et al. (2009) e Calzetta Resio et al. (2010) para sementes de amaranto. Todas as curvas para cada critério em particular, representaram curvas características de teores de água similar, variando amplamente com os valores absolutos da temperatura. E, portanto, a maior temperatura foi também a de menor tempo de secagem.

Observa-se que o aumento da temperatura promoveu diminuição do teor de água em um menor tempo de secagem para diversas espécies, como de sementes de café por Corrêa et al. (2010), de quinoa por Vega-Gálvez et al. (2010), de crambe por Costa et al. (2011), de feijão-caupi por Morais et al. (2013), de andiroba por Mendonça et al. (2015), de soja por Coradi et al. (2016), de amendoim por Goneli et al. (2017), e de girassol por Smaniotto et al. (2017).

Ainda é possível notar, com o contínuo processo de secagem, por meio da diminuição do teor de água inicial, que os comportamentos das curvas de secagem são semelhantes, diferindo-se no tempo e na velocidade de secagem. As curvas de secagem apresentaram-se de forma bem definida, ou seja, sem flutuações nos pontos, indicando uma condição de homogeneidade no secador, com um *outlier* apenas para secagem a sol devido a interrupção do processo.

Verificou-se que a perda do conteúdo de água é mais rápida no início do processo de secagem, com uma região ligeiramente linear. Contudo, a tendência

polinomial é evidenciada para todas as condições de temperatura estudadas. Santos et al. (2013) também relata comportamento polinomial na cinética de secagem de farinha de sementes de urucum.

Na Tabela 4 são apresentados os coeficientes dos modelos matemáticos da cinética de secagem de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria, com respectivas constantes de secagem e seus parâmetros estatísticos.

Em todas as condições de secagem, o valor do coeficiente de determinação foi superior a 0,98, sinalizando uma representação satisfatória do processo de secagem, excetuando-se para o modelo de Dois termos exponencial, para a maior temperatura (70 °C) e o de Page modificado para os dois menores (30 e 40 °C). Salienta-se que apenas o coeficiente de determinação não constitui um bom critério para a seleção de modelos não lineares tornando imprescindíveis avaliações de outros parâmetros (Madamba et al., 1996).

O modelo de Midilli et al. (2002) e Midilli modificado foram os que tiveram os menores valores do desvio padrão da estimativa para todas as condições e que melhor se ajustaram aos dados (Tabela 4), considerando-se que a capacidade de um modelo descrever com fidelidade determinado processo físico é inversamente proporcional ao valor do desvio padrão da estimativa (Draper e Smith, 1998).

Analisando os valores do erro médio relativo (P), as equações utilizadas se ajustaram adequadamente, pois apresentam baixos desvios dos valores observados em relação à curva estimada pelo modelo (Kashaninejad et al., 2007), exceto o modelo de Page modificado, para 50 °C, devido ao erro médio relativo superior a 10% (Mohapatra e Rao, 2005) (Tabela 4).

A razão mais provável pela qual o modelo de Page modificado não ter sido adequado para as temperaturas de 40 e 30 °C (a pleno sol e a sombra) se deve principalmente à forma do modelo, em que se espera uma queda acentuada no início da secagem, o que não ocorreu. Observou-se também que o parâmetro C não foi possível de ser calculado, seguindo o mesmo princípio (Tabela 4).

Considerando valores elevados para o coeficiente de determinação e mínimos para desvio padrão da estimativa, somente foi possível eleger os melhores modelos utilizando-se as menores magnitudes para erro médio relativo, que foi, então, utilizado para selecionar o modelo mais adequado para as condições de secagem estudadas neste trabalho.

Tabela 4. Ajuste dos modelos matemáticos aos dados de cinética de secagem de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria, e seus respectivos parâmetros estatísticos, para as temperaturas da massa de sementes de 30, 40, 50, 60 e 70°C.

Equação	A	B	C	K	k ₀	k ₁	R ²	SE	P	Res.
70°C										
(3)	1,000	1,000	-	0,408	-	-	0,993	0,025	5,845	T
(4)	0,981	0,036	-	-	0,466	-0,088	0,995	0,021	3,890	T
(5)	1,000	-	-	1,000	-	-	0,438	0,222	61,694	T
(6)	1,000	-	-	0,409	-	-	0,993	0,024	6,000	T
(7)	10,039	-24,989	15,966	0,216	0,256	0,293	0,995	0,021	3,948	T
(8)	0,953	0,065	-	0,480	-	-	0,995	0,021	3,844	T
(9)	1,008	0,013	1,051	0,444	-	-	0,995	0,021	4,096	T
(10)	-	0,014	1,072	0,435	-	-	0,995	0,021	4,127	T
(11)	-	-	-	0,408	-	-	0,993	0,024	5,845	T
(12)	-	-	0,971	0,418	-	-	0,994	0,024	5,014	T
(13)	-	-	0,971	0,408	-	-	0,994	0,024	6,263	T
(14)	-8,315	1,906	-	-	-	-	0,994	0,023	4,099	T
(15)	0,006	-	-	-0,352	-	0,430	0,995	0,022	3,872	T
(16)	-0,354	-	-	0,037	-	-	0,991	0,029	7,380	T
60°C										
(3)	1,000	1,000	-	0,310	-	-	0,993	0,025	3,929	T
(4)	0,418	0,588	-	-	0,312	0,312	0,995	0,021	3,888	T
(5)	1,457	-	-	0,365	-	-	0,995	0,019	3,511	A
(6)	1,006	-	-	0,312	-	-	0,995	0,020	3,888	T
(7)	0,319	0,366	0,321	0,312	0,312	0,312	0,995	0,021	3,888	T
(8)	1,073	-0,076	-	0,272	-	-	0,995	0,019	3,356	A
(9)	1,000	-0,010	0,984	0,288	-	-	0,995	0,019	3,324	A
(10)	-	-0,010	0,983	0,288	-	-	0,995	0,019	3,324	A
(11)	-	-	-	0,310	-	-	0,994	0,020	3,929	T
(12)	-	-	1,038	0,298	-	-	0,995	0,020	3,591	A
(13)	-	-	1,038	0,311	-	-	0,995	0,020	5,084	A
(14)	-1020,31	17,782	-	-	-	-	0,994	0,020	3,924	T
(15)	5,410	-	-	0,407	-	0,434	0,995	0,019	3,500	A
(16)	-0,269	-	-	0,022	-	-	0,994	0,021	4,034	T
50°C										
(3)	1,000	1,000	-	0,141	-	-	0,996	0,021	4,887	T
(4)	0,512	0,512	-	-	0,146	0,146	0,997	0,018	4,093	A
(5)	1,527	-	-	0,173	-	-	0,997	0,017	3,283	A
(6)	1,024	-	-	0,146	-	-	0,997	0,018	4,093	T
(7)	7,938	8,560	-15,484	0,187	0,195	0,195	0,997	0,017	3,356	A
(8)	1,029	-0,007	-	0,143	-	-	0,997	0,018	3,968	A
(9)	1,001	0,002	1,116	0,119	-	-	0,998	0,015	3,125	A
(10)	-	0,002	1,119	0,118	-	-	0,998	0,015	3,099	A
(11)	-	-	-	0,141	-	-	0,996	0,021	4,887	T
(12)	-	-	1,071	0,123	-	-	0,997	0,017	3,255	A
(13)	-	-	1,071	0,142	-	-	0,997	0,017	10,943	A
(14)	-1534,10	14,720	-	-	-	-	0,996	0,021	4,882	A
(15)	1,055	-	-	0,151	-	1,251	0,998	0,016	3,390	A
(16)	-0,112	-	-	0,003	-	-	0,994	0,025	5,753	T

Equação	A	B	C	k	k ₀	k ₁	R ²	SE	P	Res.
40°C (Sol)										
(3)	1,000	1,000	-	0,068	-	-	0,988	0,025	3,226	T
(4)	0,513	0,498	-	-	0,070	0,070	0,988	0,025	3,165	T
(5)	1,556	-	-	0,088	-	-	0,989	0,023	2,753	T
(6)	1,011	-	-	0,070	-	-	0,988	0,024	3,167	T
(7)	0,337	0,337	0,337	0,070	0,070	0,070	0,988	0,025	3,165	T
(8)	1,255	-0,255	-	0,050	-	-	0,990	0,023	2,673	T
(9)	1,003	-0,009	0,947	0,059	-	-	0,990	0,023	2,711	T
(10)	-	-0,008	0,968	0,057	-	-	0,990	0,023	2,682	T
(11)	-	-	-	0,068	-	-	0,988	0,025	3,226	T
(12)	-	-	1,067	0,059	-	-	0,989	0,023	2,801	T
(13)	-	-	0,000	0,428	-	-	0,000	0,353	7,801	T
(14)	-1047,54	8,447	-	-	-	-	0,988	0,025	3,226	T
(15)	5,553	-	-	0,101	-	0,110	0,989	0,023	2,726	T
(16)	-0,061	-	-	0,001	-	-	0,990	0,023	2,665	T
30°C (Sombra)										
(3)	1,000	1,000	-	0,009	-	-	0,987	0,009	0,733	T
(4)	0,968	0,035	-	-	0,007	0,187	0,994	0,006	0,556	T
(5)	0,077	-	-	0,079	-	-	0,994	0,006	0,536	T
(6)	0,994	-	-	0,009	-	-	0,989	0,008	0,780	T
(7)	0,442	0,526	0,035	0,007	0,007	0,187	0,994	0,006	0,556	T
(8)	0,402	0,597	-	0,027	-	-	0,994	0,006	0,566	T
(9)	1,002	0,001	0,887	0,015	-	-	0,994	0,006	0,575	T
(10)	-	-0,014	1,279	-0,002	-	-	0,994	0,006	0,563	T
(11)	-	-	-	0,009	-	-	0,987	0,009	0,733	T
(12)	-	-	0,867	0,013	-	-	0,994	0,006	0,589	T
(13)	-	-	0,000	0,507	-	-	0,000	0,519	6,634	T
(14)	-3,405	0,199	-	-	-	-	0,994	0,006	0,540	T
(15)	0,037	-	-	0,145	-	0,007	0,994	0,006	0,550	T
(16)	-0,010	-	-	0,000	-	-	0,993	0,007	0,574	T

A, B e C são coeficientes dos modelos, adimensionais; k, k₀ e k₁ são constantes de secagem, em h⁻¹. R²: coeficiente de determinação, SE: desvio padrão da estimativa, P: erro médio relativo; Res.: tendência de distribuição dos resíduos (A - aleatória; T - tendenciosa).

Assim, verifica-se que os modelos mais adequados para descrever a cinética de secagem, levando em consideração a temperatura da massa de semente de 70 °C, foram o Logarítmico, Dois termos, Henderson e Pabis Modificado, Midilli e Millidi modificado, com P de 3,84, 3,89, 3,94, 4,09 e 4,12, em ordem; para a temperatura de 60 °C, os melhores modelos foram os de Midilli, Millidi modificado, Logarítmico, Verna e Dois termos exponencial, com P de 3,32, 3,32, 3,35, 3,50, 3,51, respectivamente; os modelos de Midilli modificado, Millidi, Verna, Page e Dois termos exponencial, foram os que apresentaram os melhores ajustes para a temperatura de 50 °C, com P de 3,09, 3,12, 3,39, 3,25, 3,28, respectivamente; Wang-Singh, Logarítmico, Midilli modificado, Millidi, e Verna, para 40 °C (sol), com P

de 2,66, 2,67, 2,68, 2,71 e 2,72, respectivamente; e, Dois termos exponencial, Thompson, Verna, Dois termos e Henderson e Pabis Modificado, para 30 °C(sombra), com P de 0,53, 0,54, 0,55, 0,55 e 0,55, respectivamente.

Quanto a distribuição dos resíduos, os modelos de Midilli et al. (2002) e Midilli modificado obtiveram distribuição dos resíduos aleatória quando ajustados aos dados de secagem a 60 e 50 °C, promovendo melhores ajustes (Goneli, 2008).

Os valores dos parâmetros estatísticos semelhantes para os modelos de Midilli et al. (2002) e Midilli modificado se devem ao parâmetro "A", o qual foi muito próximo de 1,0, tornando idêntico os resultados de ambas equações. Por este motivo, ambas podem ser igualmente utilizadas, porém, para fins de representação, será aqui utilizado o modelo de Midilli modificado, conforme ilustra a Figura 3, por ser mais simples, com menor número de fatores.

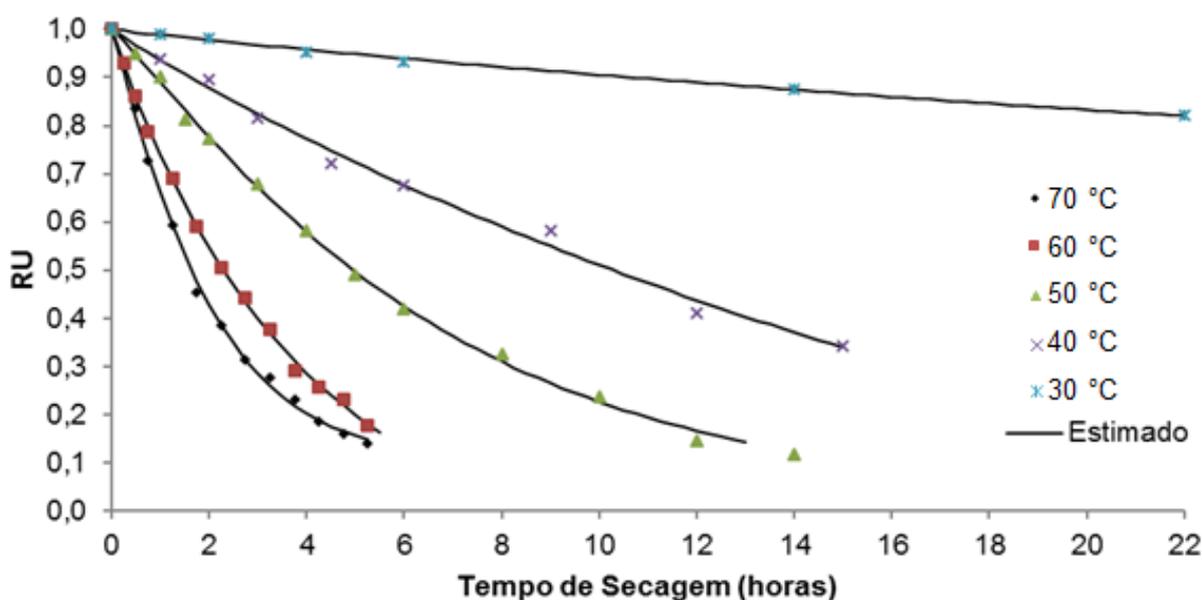


Figura 3. Curvas de secagem das sementes de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria, experimentais e estimados pelo modelo de Midilli modificado, nas temperaturas da massa de sementes de 70, 60, 50, 40, 30 °C, durante o processo de secagem. Nota: para fins de comparação, utilizou-se o tempo de secagem até 22h para 30 °C.

Outros autores relatara que o modelo de Midilli também teve bom ajuste aos dados experimentais de secagem de sementes de amendoim, utilizando temperaturas de secagem de 40, 50, 60 e 70°C (Goneli et al, 2017), de andiroba,

com secador solar (Mendonça et al., 2015), e de feijão-caupi, nas temperaturas de 45 e 55 °C. (Morais et al., 2013).

Para amaranto (*Amaranthus cruentus*), diferente do presente trabalho, para outras condições de secagem, o modelo de Page foi o mais adequado. Este modelo foi eficiente para representar tanto quando utilizado secador experimental em temperaturas de 30 e 60 °C e umidades relativas entre 30 e 60% (Abalone et al., 2006), como quando utilizado secador de tenda solar de convecção natural e sol aberto, de temperaturas entre 22,6 e 30,4 °C e umidade relativa entre 25 e 52 % (Ronoh et al., 2009).

Em relação ao parâmetro “k” dos modelos matemáticos, é possível perceber, de forma geral, que os valores foram menores com a diminuição da temperatura de secagem (Tabela 4). Isso por que maiores temperaturas, com menores umidades relativas do ar, acarretam maiores taxas de secagem, o qual é representado por “k”, chegando ao teor de água de equilíbrio em menor tempo de submissão do produto ao ar de secagem (Corrêa et al., 2010).

O mesmo ocorre com os parâmetros k_0 e k_1 . Assim, a cinética de secagem do amaranto ocorreu no período de taxa decrescente sendo fortemente influenciada pela temperatura. Em congruência, é evidenciado que a aplicação de temperatura mais elevada reduz significativamente o tempo necessário para secar as sementes de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria, ou seja, para um mesmo tempo de processo, quanto mais elevada for a temperatura, maior é a taxa, ou velocidade, de secagem.

Comportamento oposto foi verificado por Santos et al. (2013) que, ao ajustar o modelo de Page e Midilli aos dados da secagem de farinha de sementes de urucum observaram a diminuição no valor de “k” com o aumento da temperatura. Os autores também relataram aumento no parâmetro “C” com o acréscimo da temperatura de secagem para os modelos de Page e Midilli, concordando com outros autores (Sousa et al., 2006; Pacheco et al.; 2011). Tal comportamento não foi verificado neste trabalho.

Ainda para “k”, observou-se uma linearidade na equação do modelo de Henderson e Pabis Modificado, os quais foram semelhantes, juntamente com os parâmetros “A”, “B” e “C”, excetuando-se para 70 °C. Este fato é evidente para 40°C, em que tais parâmetros foram idênticos. Isso porque o comportamento da cinética de secagem ao sol foi mais próximo a função polinomial de primeiro grau, assim como na secagem a sombra.

Outra observação importante a ser relatada se referem aos parâmetros “A” e “B” do modelo Aproximação de Difusão, o que faz com que a equação fique exatamente igual ao modelo de Newton, portanto, ambos os modelos obtiveram mesmos valores para “k”.

É válido lembrar que, por serem de natureza empírica, essas equações só podem ser utilizadas para prever dados de secagem para as condições de temperaturas e velocidades do ar de secagem estudadas.

3.4 CONCLUSÃO

A cinética de secagem das sementes de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria ocorre no período de secagem em taxa decrescente;

A temperatura de secagem influencia fortemente a cinética de secagem;

As equações polinomiais encontradas são ajustadas, eficientemente, para valores dentro da faixa de temperatura do ar de secagem estudada, sendo a equação de Midilli modificado a que melhor se ajustou;

A redução do teor de água de 21,1 para 11,5% foi de 2,5, 3,5, e 7 horas para as temperaturas da massa de sementes de 70, 60 e 50°C, respectivamente, secas artificialmente;

Para secagem natural, em pleno sol (30°C na massa de sementes), o tempo foi de 15 horas;

A alta umidade relativa do ar influenciou a secagem em pleno sol e aumentou o tempo de secagem;

A secagem a sombra não foi adequada para secagem de sementes de amaranto e não secou até o teor de água desejado (8,5%).

O tempo de secagem à sombra foi de 164 horas até o teor de água de 13% (umidade de equilíbrio);

3.5 REFERÊNCIAS

ABALONE, R.; GASTÓN, A.; CASSINERA, A.; LARA, M. A. Thin layer drying of amaranth seeds. *Biosystems Engineering*, v. 93, n. 2, p. 179–188, 2006.

AFONSO, A.D.L.; DONZELLES, S.M.L.; SILVA, J.S. Secagem e secadores. In: SILVA, J.S. Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. Viçosa: Aprenda fácil, 2008. cap. 5, p. 108-138.

BERBERT, P.A.; AFONSO, A.D.L.; RUFATO, S.; SILVA, J.S. Indicadores de Qualidade dos grãos. In: SILVA, J. S. Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. Viçosa: Aprenda fácil, 2008. cap. 4, p. 63-107.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: MAPA/ACS, 2009. 395 p.

CALZETTA RESIO, A.N.; TOLABA, M.P.; SUÁREZ, C. Effect of drying temperature and soaking conditions on wet-milling characteristics of amaranth grain. *International Journal of Food Engineering*: v. 6, n. 1, 2010.

CELESTINO, S.M.C. Princípios de secagem de alimentos. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010. 51 p.

CORADI, P.C.; FERNANDES, C.H.P.; HELMICH, J.C. Adjustment of mathematical models and quality of soybean grains in the drying with high temperatures. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.20, n.4, p.385-392, 2016.

CORRÊA, P.C.; DONZELLES, S.M.L.; SILVA, J.S. Secagem de grãos com energia solar. In: SILVA, J. S. Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. Viçosa: Aprenda fácil, cap. 7, p. 171-189, 2008.

CORRÊA, P.C.; OLIVEIRA, G.H.H.; BOTELHO, F.M.; GONELI, A.L.D.; CARVALHO, F.M.C. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 57, n.5, p. 595-601, 2010.

COSTA, L.M.; RESENDE, O.; SOUSA, K.A.; GONÇALVES, D.N. Coeficiente de difusão efetivo e modelagem matemática da secagem de sementes de cambre. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.10, p. 1089-1096, 2011.

DESAI, B.B.; KOTTECHA, P.M.; SALUNKHE, D.K. *Seeds handbook: biology, production processing and storage*. New York: Marcel Dekker, 1997.

DRAPER, N.R.; SMITH, H. *Applied regression analysis*. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1998. 712. DOI: 10.1002/9781118625590

GONELI, A.L.D. Variação das propriedades físicas mecânicas e da qualidade da mamona (*Ricinus communis* L.) durante a secagem e o armazenamento. 2008. 186 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

GONELI, A.L.D.; ARAUJO, W.D.; HARTMANN FILHO, C.P.; MARTINS, E.A.S.; OBA, G.C. Drying kinetics of peanut kernels in thin layers. *Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering*, v.37, n.5, p. 994-1003, 2017.

HENDERSON, S.M.; PABIS, S. Grain drying theory: Temperature effect on drying coefficient. *Journal of Agriculture Engineering Research*, v. 6, n. 3, p. 169–174, 1969.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa, Dados históricos. Disponível em: <www.inmet.gov.br>. Acesso em: 14 jan. 2020.

KASHANINEJAD, M.; MORTAZAVI, A.; SAFEKORDI, A.; TABIL, L.G. Thin - Layer drying characteristics and modeling of pistachionuts. *Journal of Food Engineering*, v.78, p.98-108, 2007. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.09.007

KÖPPEN, W. *Grundriss der Klimakunde: Outline of climate science*. Berlin: Walter de Gruyter, 1931. 388p.

MADAMBA, P.S.; DRISCOLL, R.H.; BUCKLE, K.A. Thin layer drying characteristics of garlic slices. *Journal of Food Engineering*, v.29, n.1, p.75-97, 1996.

MENDONÇA, A.P.; SAMPAIO, P.T.B.; ALMEIDA, F.A.C; FERREIRA, R.F.F.; NOVAIS, J.M. Determinação das curvas de secagem das sementes de andiroba em secador solar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, n.4, p.382-387, 2015.

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A new model for single layer drying. *Drying Technology*, v. 20, p. 1503-1513, 2002.

MOHAPATRA, D.; RAO, P.S.A. A thin layer drying model of parboiled wheat. *Journal of Food Engineering*, v.66, p.513-518, 2005.

MORAIS, S.J.S.; DEVILLA, I.A.; FERREIRA, D.A.; TEIXEIRA, I.R. Modelagem matemática das curvas de secagem e coeficiente de difusão de grãos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). *Revista Ciência Agronômica*, v. 4, n.3, p.455-463, 2013.

OLIVA, A.C.E. Qualidade das sementes de crambe submetidas a métodos de secagem e períodos de armazenamento. 87f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Botucatu-SP, 2010.

PACHECO, A.C.W.; LUZ, G.R.; POLON, P.E.; JORGE, L.M.M.; PARAÍSO, P.R. Modeling of drying and adsorption isotherms of the fish feed. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v.54, p.577-588, 2011.

PAGANO, A.M.; MASCHERONI, R.H. Sorption isotherms for amaranth grains. *Journal of Food Engineering*, v. 67, p. 441-450, 2005.

PAGE, G.E. Factors influencing the maximum rates of air-drying shelled corn in thin layers. West Lafayette: Purdue University, 1949.

RESENDE, O.; ARCANJO, R.V.; SIQUEIRA, V.C.; RODRIGUES, S.; KESTER, A.N.; LIMA, P.P. Influência do tipo de pavimento na secagem de clones de café (*Coffea canephora* Pierre) em terreiros de concreto e chão batido. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v. 9, p. 171-178, 2007.

RONOH, E.K.; KANALI, C.L.; MAILUTHA, J.T.; SHITANDA, D. Modeling thin layer drying of amaranth seeds under open sun and natural convection solar tent dryer. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript 1420, v. 6, 2009.

SANTOS, D.C.; QUEIROZ, A.J.M.; FIGUEIRÊDO, R.M.F.; OLIVEIRA, E.N.A. Cinética de secagem de farinha de grãos residuais de urucum. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 2, p. 223-231, 2013.

SILVA, A.L. Desempenho agrônômico e fisiológico do amaranto sob restrição hídrica. 114f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT, 2019.

SMANIOTTO, T.A.D.; RESENDE, O.; SOUSA, K.A.; OLIVEIRA, D.E.C.; CAMPO, R.C. Drying kinetics of sunflower grains. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 21, n. 3, p. 203-208, 2017.

SOUSA, M.B.; PEDROZA, J.P.; BELTRÃO, N.E.M.; SEVERINO, L.S.; DANTAS, F.P. Cinética de secagem do farelo de mamona. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.8, p.135-146, 2006.

SPEHAR, C.R.; TEIXEIRA, D.L.; CABEZAS, W.; ERASMO, E.A.L. Amaranto BRS Alegria: Alternativa para diversificar os sistemas de produção. Brasília: Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 38, n. 5, p. 659-663, 2003.

THOMPSON, T.L.; PEART, R.M.; FOSTER, G.H. Mathematical simulation of corn drying: A new model. *Transactions of ASAE*, v. 11, p. 582-586, 1968.

VEGA-GÁLVEZ, A.; MARTÍN, R.S.; SANDERS, M.; MIRANDA, M.; LARA, E. Characteristics and Mathematical modeling of convective drying of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Influence of temperature on the kinetic parameters. *Journal of Food Processing and Preservation*, v. 34, p. 945–963, 2010.

WANG, C.Y.; SING, R.P. Use of variable equilibrium moisture content in modeling rice drying. *Transactions of ASAE*, v. 11, p. 668-672, 1978.

WEBER, L.E. Amaranth grain production guide. Rodale Research Center: Rodale Press Inc., PA, USA, 1987.

CAPÍTULO II

4. QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE *Amaranthus cruentus* BRS ALEGRIASUBMETIDAS A DIFERENTES CONDIÇÕES DE SECAGEM

RESUMO - Há relatos de que as sementes do amaranto são tolerantes à secagem à altas temperaturas, mantendo o potencial de germinação acima de 70%. Objetivou-se avaliar o efeito de diferentes temperaturas de secagem, teores de água inicial e tempos de armazenamento na qualidade fisiológica de sementes de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria. Foram acompanhadas as temperaturas da massa de sementes de 30, 40, 50, 60 e 70°C, realizadas por secagem natural, a sombra e pleno sol, e artificial, em estufa de circulação forçada nas temperaturas do ar de 60, 80 e 100°C, respectivamente. Ainda, analisou-se dois teores de água inicial (8,44 e 11,48%) e tempos de armazenamento (63 e 463 dias após secagem). Na secagem natural, sombra (30°C) foi melhor que pleno sol (40°C). Na secagem artificial, a temperatura do ar de secagem de 100°C, média de 70°C na massa de sementes, foi prejudicial a qualidade das sementes de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria. As sementes foram mais bem preservadas quando armazenadas com teor de água de 11,48% em relação a 8,44%. O tempo de armazenamento de 463 dias não foi suficiente para visualizar perda de qualidade nas sementes. Tanto para secagem natural quanto artificial, o aumento da temperatura prejudicou a qualidade das sementes, sendo agravada com o maior tempo de armazenamento, em baixos teores de água inicial.

Palavras-chaves: germinação, secagem natural, secagem artificial.

ABSTRACT - There are reports that amaranth seeds are tolerant to drying at high temperatures, maintaining the germination potential above 70%. The objective of this study was to evaluate the effect of different drying temperatures, initial water levels and storage times on the physiological quality of *Amaranthus cruentus* BRS Alegria

seeds. Seed mass temperatures of 30, 40, 50, 60 and 70°C were monitored, carried out by natural, shade and full sun, and artificial drying, in a forced circulation oven at air temperatures of 60, 80 and 100°C, respectively. In addition, two initial water contents (8.44 and 11.48%) and storage times (63 and 463 days after drying) were analyzed. In natural drying, shade (30°C) was better than full sun (40°C). In artificial drying, the drying air temperature of 100°C, an average of 70°C in the seed mass, was detrimental to the quality of *Amaranthus cruentus* BRS Alegria seeds. The seeds were better preserved when stored with a water content of 11.48% compared to 8.44%. The storage time of 463 days was not enough to visualize loss of quality in the seeds. Both for natural and artificial drying, the increase in temperature affected the quality of the seeds, being aggravated with the longer storage time, in low initial water contents.

Keywords: germination, shade, natural drying, artificial drying.

4.1 INTRODUÇÃO

O amaranto (*Amaranthus cruentus*) tem facilidade de se adaptar em locais com período seco prolongado, o que a torna uma cultura promissora para o cerrado brasileiro (Spehar et al., 2003; Teixeira et al., 2003). O ciclo médio é de 90 dias nas condições do Brasil Central. Seu rápido crescimento e tolerância ao estresse hídrico permitem ao amaranto produzir sementes e biomassa para a proteção do solo nas mesmas condições que o sorgo, milho e girassol, tornando-o uma alternativa viável para segunda safra (Spehar, 1998; Spehar e Cabezas, 2001).

Os cuidados para a manutenção da qualidade das sementes devem ser iniciados ainda no campo, colhendo-as no momento certo e evitando exposição a patógenos e intempéries climáticas (Fonseca et al., 1980). Entretanto, devido ao pequeno tamanho das sementes, entre 1,0 e 2,0 mm, e por serem deiscentes (Spehar et al., 2003), a antecipação da colheita do amaranto se faz necessária e geralmente é realizada com teor de água mais alto, próximo dos 40% (Weber, 1987; Abalone et al., 2006; Ronoh et al., 2009). Desse modo, para a preservação da qualidade das sementes, é essencial baixar os níveis de água o quanto antes, por meio de secagem (Peske e Vilella, 2003).

A redução do teor de água das sementes como resultado da secagem atua diretamente na diminuição do metabolismo, o que pode contribuir para diminuir a taxa de deterioração e aumentar o período em que podem ser armazenadas, sem perda da qualidade fisiológica (Zonta et al., 2011). É conhecido que a germinação

diminui com o aumento da temperatura do ar de secagem, do teor de água inicial das sementes na colheita e do tempo de armazenagem (Afonso Júnior e Corrêa, 2000).

O *Amaranthu scruentus* possui sementes claras e sem dormência. Estas germinam rapidamente em presença de umidade, após atingirem a maturação fisiológica. Distinguem-se das espécies de amaranto invasoras de culturas, que possuem sementes escuras e dormentes (Spehar et al., 2003). Contudo, sabe-se que para esta espécie, maiores percentagens de germinação ocorre quando as sementes são expostas a temperaturas altas, geralmente acima de 25°C, e menor germinação, às vezes nula, a temperaturas baixas (Carvalho e Christoffoleti, 2007; Cristaudo et al., 2007; Liu et al., 2011). Até 30 dias após colheita, a germinação em temperatura menor que 25°C pode ser nula enquanto para temperaturas superiores a 30°C, a germinação é quase máxima (Cristaudo et al., 2007).

Também é conhecido que para a espécie *A.cruentus*, um período de armazenamento é requerido para obter máxima germinação (Cristaudo et al., 2007; Cristaudo et al., 2014). A germinação em temperatura de 25°C, aos 30 dias após colheita, é menor que 5%, aos 90 dias, maior que 75%, e aos 270 dias, superior à 90%; todavia, em condições adequadas, é possível obter germinação máxima até os 540 dias de armazenamento (Cristaudo et al., 2007).

Há relatos de que o amaranto é resistente à secagem a altas temperaturas, próximas à 90°C, tendo germinação acima de 70% e taxa de sobrevivência semelhantes a sementes secas em baixas temperaturas (Hernández Maqueda et al., 2018). No entanto, em condições de alta temperatura o amaranto pode acelerar sua taxa de respiração e consumir parte de suas reservas, comprometendo sua qualidade, ou ainda pode desnaturar suas enzimas e entrar em colapso metabólico, fazendo com que estas levem mais tempo para formar uma nova plântula (Afonso et al, 2008; Taiz e Zeiger, 2013).

Devido a escassez de informações relevantes sobre o processo de secagem em sementes de amaranto, desenvolveu-se este trabalho com o objetivo de avaliar os efeitos das temperaturas de secagem na qualidade fisiológica de sementes de *Amaranthus cruentus* com a cultivar BRS Alegria.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Sementes da Faculdade de Agronomia e Zootecnia (FAAZ) da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Utilizaram-se sementes de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria, cultivar desenvolvida pela Embrapa Cerrados, originada do *Amaranthus cruentus* AM 5189, procedente dos Estados Unidos (Spehar et al., 2003). Esta foi replicada desde 2004, para reposição de material genético. As multiplicações foram realizadas na Fazenda Experimental da UFMT, em Santo Antônio do Leverger, coordenadas geográficas 15°50'48" S e 56°03'52" W, altitude média de 140 m, clima tropical (Aw), segundo a classificação de Köppen-Geiger (Peel et al., 2007). As sementes selecionadas foram da última replicação, safra 2018, sob irrigação (Silva et al., 2019).

A colheita foi realizada aos 90 dias após semeadura. As panículas foram colhidas manualmente, quando apresentaram teor de água de 37%, próximas ao ponto de maturidade fisiológica (Mendes et al., 2014). Estas foram beneficiadas, realizou-se a debulha sem imecanizada, envolvendo as etapas de pré-secagem em panícula, ao sol por duas horas; trilha; e, separação de impurezas, com utilização de soprador adaptado (velocidade de 4,5 ms⁻¹ e temperatura do ar de 30°C), o qual foi retirado 4,5% de impurezas (palha e sementes chochas).

A secagem foi realizada sete dias após a colheita e beneficiamento das sementes, com massa de sementes estáticas em camada de 25 ± 2 mm de espessura, sobre peneiras de aço inox de malha inferior a um milímetro. Utilizou-se a temperatura da massa de sementes para cada condição, em sequência, 30, 40, 50, 60 e 70°C, para secagem natural (sombra e pleno sol), e artificial (com estufa-secadora de circulação forçada, com temperaturas de 60, 80 e 100°C).

Ainda, durante a secagem, as sementes foram separadas em dois lotes de teores de água ao final da secagem, com média de 8,44 e 11,48%, exceto para o tratamento de 30 °C, pois a secagem a sombra teve equilíbrio higroscópico com 13,02%. O teor de água das sementes foi determinado pelo do método da estufa a 105±3°C por 24 horas, conforme o Manual de Regras para a Análise de Sementes (Brasil, 2009).

Para o teste de germinação, 50 sementes foram distribuídas uniformemente em caixas plásticas de germinação (*gerbox*) transparentes (11x11x3 cm). O substrato utilizado foi sobre papel, com dois papéis "mata-borrão", umedecidos 2,5

vezes a sua massa seca. Para umedecer os substratos foi utilizado KNO_3 a 0,2 (tratamento de dormência) para permitir uma germinação mais regular, rápida e completa. Quatro repetições foram colocadas em estufa incubadora tipo BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), à temperatura alternada de 30-20°C com foto período de 12 h, conforme a recomendação do Manual de Regras para a Análise de Sementes (Brasil, 2009).

Realizou-se um pré-teste de germinação, no momento do armazenamento, sem a utilização de KNO_3 (para conferir poder germinativo) e o resultado foi de 20%, com valores de 8, 20 e 52%, para anormais, deterioradas e duras, respectivamente.

O armazenamento das sementes foi realizado sete dias após a secagem, acondicionadas à vácuo em embalagens plásticas de polipropileno (5x11x0.008) e colocadas em câmara fria, conforme recomendado por Nobre et al. (2013), com médias de 18°C de temperatura e 60% de umidade relativa.

Foram realizados o teste aos 63 dias após secagem, devido à baixa germinação inicial (Cristaudo et al., 2007; Cristaudo et al., 2014), para avaliação de efeitos imediatos, e aos 463 dias após secagem para avaliar efeitos latentes.

A primeira contagem de germinação (PCG) foi realizada em conjunto com o teste de germinação, considerando a avaliação no terceiro dia após a instalação, contabilizando a quantidade de plântulas saudas (NAKAGAWA, 1999);

A leitura de germinação foi dividida em germinação da raiz primária (GRP), adotando-se como critério a protrusão inicial da raiz primária com aproximadamente um milímetro de comprimento; e, contagem de formação de plântulas saudas (FPS), contabilizando plântulas com cotilédone totalmente aberto, raízes pivotante com ramificações e saudas, ambas no oitavo dia (estabilização). Também foram realizadas as contagens de plântulas anormais, deterioradas e duras (Brasil, 2009);

Índice de velocidade de germinação (IVG): foi realizado junto com o teste de germinação, computando-se o número de plântulas diariamente, e cujo índice foi calculado de acordo com a fórmula apresentada por Maguire (1962); Tempo médio de germinação (TMG): foi realizado junto com o teste de germinação, calculando-se o tempo médio para formação de plântulas, segundo proposto por Labouriau (1983).

Comprimento de plântula: utilizou-se quatro amostras de dez plântulas normais, avaliadas no oitavo dia após semeadura, mensurando o comprimento da raiz (XR), da extremidade da raiz primária até a base, onde inicia o hipocótilo, e o comprimento da parte aérea (XP), da base da raiz até região de inserção dos

cotilédones, ou hipocótilo (NAKAGAWA, 1999). As medidas foram realizadas em milímetros e somadas para comprimento total de plântula (CTP).

Após as medições de comprimento de plântula, as plântulas foram postas para secar em estufa regulada a 60 °C por 24 horas (NAKAGAWA, 1999), decorrido esse período foram pesadas em balança analítica com precisão de quatro casas decimais para aferição da massa seca (MS).

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC), fatorial 4x2x2, com quatro temperaturas da massa de sementes (40, 50, 60 e 70°C), dois teores de água ao final da secagem (8,44 e 11,48%) e dois tempos de armazenamento (63 e 463 dias após secagem), com 4 repetições, e total de 64 parcelas. Foi realizada análise descritiva, para que a secagem a sombra (30 °C) fosse analisada conjuntamente com os outros dados. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey ($p < 5\%$). A análise foi gerada por meio do programa computacional Sisvar (Ferreira, 2011).

Também se realizou análise de variância para os teores de água inicial e ao final do tempo de armazenamento, em delineamento inteiramente casualizado (DIC), fatorial 4x2x2, com quatro temperaturas da massa de sementes (40, 50, 60 e 70°C), dois teores de água ao final da secagem (8,44 e 11,48%) e dois tempos de armazenamento (63 e 463 dias após secagem). No entanto, houve apenas 3 repetições com total de 48 parcelas. As médias foram comparadas pelo teste Tukey ($p < 5\%$), considerando as diferenças mais importantes.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 5 é apresentado o resumo da análise de variância da primeira contagem de germinação, germinação da raiz primária, formação de plântulas saudias, plântulas anormais, sementes deterioradas e duras, índice de velocidade de germinação, tempo médio de germinação, comprimento da raiz, comprimento da parte aérea, comprimento total de plântula e massa seca de plântula de sementes de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria nas diferentes temperaturas atingida pela massa de sementes na secagem, teores de água ao final da secagem e tempos de armazenamento.

Tabela 5. Resumo da análise de variância das sementes da primeira contagem de germinação (PCG), germinação da raiz primária (GRP), formação de plântulas saudias (FPS), plântulas anormais (ANOR), sementes deterioradas (DET) e duras (DURA), índice de velocidade de germinação (IVG), tempo médio de germinação (TMG), comprimento da raiz (XR), comprimento da parte aérea (XP), comprimento total de plântula (CTP) e massa seca de plântula (MS) de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria nas diferentes temperaturas atingida pela massa de sementes na secagem (T), teores de água ao final da secagem (U) e tempo de armazenamento (A).

Causas da variação	GL	Valores de F											
		PCG (%)	GRP (%)	FPS (%)	ANOR (%)	DET (%)	DURA (%)	IVG	TMG (dias)	XR (mm)	XP (mm)	CTP (mm)	MS (mg)
T	3	44,10*	31,66*	28,79*	2,57 ^{NS}	19,01*	16,36*	52,38*	67,83*	2,24 ^{NS}	4,81*	4,45*	1,56 ^{NS}
U	1	4,17*	0,64 ^{NS}	0,37 ^{NS}	1,09 ^{NS}	5,19*	5,42*	3,28 ^{NS}	11,02*	3,09 ^{NS}	2,78 ^{NS}	0,04 ^{NS}	0,08 ^{NS}
A	1	19,71*	24,66*	10,09*	48,31*	14,54*	7,85*	0,25 ^{NS}	8,74*	4,55*	60,84*	47,44*	0,99 ^{NS}
TxU	3	4,95*	0,72 ^{NS}	1,56 ^{NS}	0,28 ^{NS}	7,16*	3,32*	4,92*	5,66*	1,32 ^{NS}	5,35*	1,12 ^{NS}	0,00 ^{NS}
TxA	3	4,05*	3,44*	2,86*	2,31 ^{NS}	10,84*	2,21 ^{NS}	5,41*	11,66*	2,47 ^{NS}	7,33*	5,54*	1,06 ^{NS}
AxU	1	1,07 ^{NS}	1,86 ^{NS}	0,49 ^{NS}	0,00 ^{NS}	2,53 ^{NS}	0,82 ^{NS}	1,62 ^{NS}	3,52 ^{NS}	0,32 ^{NS}	0,52 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,81 ^{NS}
TxUxA	3	1,14 ^{NS}	2,33 ^{NS}	2,21 ^{NS}	0,84 ^{NS}	3,60*	1,80 ^{NS}	2,20 ^{NS}	1,68 ^{NS}	0,42 ^{NS}	2,90*	1,29 ^{NS}	2,41 ^{NS}
CV (%)		26,04	8,17	10,67	44,41	62,53	89,27	11,93	6,12	17,48	7,72	7,63	14,22
Média		50	87	79	7,53	4,14	3,44	23,01	3,69	17,17	34,27	51,44	0,53
n		64											

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste Tukey, ^{NS} não significativo. CV: coeficiente de variação; n: número amostral.

Foi observado que houve interação entre os três fatores, isto é, a temperatura atingida pela massa de sementes na secagem, o teor de água inicial e o tempo de armazenamento, somente nas variáveis “sementes deterioradas” e “comprimento de parte aérea”. Não houve interação entre tempo de armazenamento e teor de água nas variáveis analisadas. A interação entre temperatura de secagem x tempo de armazenamento foi significativo para todas variáveis, exceto para plântulas anormais, sementes duras, comprimento da raiz e massa seca (Tabela 5).

A interação entre temperatura de secagem x teor de água foi significativo para primeira contagem, índice de velocidade, tempo médio e sementes duras, ainda para sementes deterioradas e comprimento de parte aérea, as quais interagiram com todas as variáveis independentes. Plântulas anormais e comprimento da raiz apresentaram diferença somente no tempo de armazenamento e a variável massa seca não apresentou diferença estatística (Tabela 5).

Quando se avaliou tempos de armazenamento como fatores isolados, os efeitos foram significativos para todas as variáveis avaliadas, exceto para índice de velocidade de germinação e massa seca. Já para teor de água, apenas primeira contagem de germinação, sementes deterioradas e duras e tempo médio de germinação foram significativos isoladamente. E para temperatura de secagem, apenas plântulas anormais e comprimento da raiz e massa seca não foram significativos isoladamente (Tabela 5).

Observando os dados de primeira contagem de germinação, na interação entre temperatura de secagem x tempo de armazenamento, houve maior número de plântulas aos 463 dias que aos 63 dias quando nas temperaturas de 40 e 60°C e não diferiu os tempos de armazenamento nas temperaturas de 50 e 70°C; somente na temperatura de 70°C a qualidade fisiológica das sementes foi afetada, tanto em 63 dias quanto em 463 dias de armazenamento (Tabela 6).

Já para interação entre temperatura de secagem x teor de água inicial, 8,44% obteve menores valores que 11,48% para as temperaturas de 50 e 60°C e não se observou diferença entre os teores de água para as temperaturas de 40 e 70°C; para o teor de água de 11,48%, a temperatura de 50°C produziu maiores valores,

seguidos de 60, 40 e 70°C e para 8,44%, apenas 70°C afetou o vigor das sementes, produzindo menor número de plântulas ao terceiro dia (Tabela 6).

Tabela 6. Primeira contagem de germinação de sementes de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria em diferentes temperaturas atingidas pela massa de sementes na secagem, teores de água e tempos de armazenamento e suas interações.

Tempo de armazenamento	63 dias		463 dias		Médias gerais				
	Teor de água inicial				Média TxA		Média TxU		Média T
Temperatura de secagem	11,48%	8,44%	11,48%	8,44%	63 dias	463 dias	11,48%	8,44%	
30°C	82	-	68	-	82	68	75	-	75
40°C	51	54	57	75	53 Ba	66 Aa	54Ab	65 Aa	59 a
50°C	63	49	83	55	56 Aa	69 Aa	73 Aa	52 Ba	62 a
60°C	60	34	82	75	47 Ba	78 Aa	71Aab	54 Ba	62 a
70°C	20	17	16	19	18Ab	18Ab	18 Ac	18Ab	18 b
Média UxA	48	38	59	56	Média U		54 A	47 B	
Média A	43 B		58 A						

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade.

Isoladamente, a temperatura de 70°C foi o pior tratamento, pois teve menores valores na primeira contagem de plântula. O teor de água de 11,48% foi melhor que 8,44% e o tempo de armazenamento de 463 dias foi melhor que 63 dias, com médias superiores a 50%. Comparativamente, e utilizando de estatística descritiva, observou-se que a secagem a sombra (30°C) teve valores superiores às demais temperaturas. Na interação temperatura de secagem x tempo de armazenamento, foi a melhor aos 63 dias (Tabela 6).

Na primeira contagem de plântulas foi possível observar a rápida germinação do amaranto, com percentagens maiores que 50%, exceto para a temperatura de 70°C, mesmo no terceiro dia após a sementeira. Esse fator é importante uma vez que a semente, quanto mais tempo ao solo, maior sua suscetibilidade à deterioração.

Na interação entre temperatura de secagem x tempo de armazenamento foi observado que aos 63 dias a germinação foi superior à de 463 dias, exceto para temperatura de 60°C, com valores iguais. Ainda, somente a temperatura de 70°C teve germinação menor aos 63 dias, de 80%. Para o tempo de armazenamento de 463 dias, a melhor temperatura foi de 60°C, seguidas de 50, 40 e 70°C (Tabela 7).

Tabela 7. Germinação da raiz primária de sementes de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria em diferentes temperaturas atingidas pela massa de sementes na secagem, teores de água e tempos de armazenamento e suas interações.

Tempo de armazenamento	63 dias		463 dias		Médias gerais				
	Teor de água inicial				Média TxA		Média TxU		Média T
Temperatura de secagem	11,48%	8,44%	11,48%	8,44%	63 dias	463 dias	11,48%	8,44%	
30°C	99	-	99	-	99	99	99		99
40°C	95	96	75	87	95 Aa	81Bb	85	91	88 b
50°C	95	98	91	86	97 Aa	88 Bab	93	92	92ab
60°C	96	96	97	96	96 Aa	96 Aa	96	96	96 a
70°C	84	76	62	71	80Ab	67Bc	73	74	73 c
Média UxA	92	91	81	85	Média U		87	88	
Média A	92 A		83 B						

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade.

Quando os fatores foram comparados isoladamente, a melhor temperatura foi de 60°C, seguidas de 50, 40 e 70°C. O tempo de armazenamento de 63 dias foi melhor que 463 dias. Observou-se, também que para sementes secas a sombra, estas tiveram germinação máxima, superiores aos demais tratamentos, demonstrando viabilidade das sementes após a colheita (Tabela 7).

De forma geral, para até a temperatura de 60°C aos 63 dias de armazenamento, os valores de germinação foram superiores à 95%; e, ainda para maior temperatura, de 70°C, a germinação foi superior à 80% (Tabela 7). Isto é interessante no ponto de vista técnico, uma vez que aumentando a temperatura de secagem acelera a operação (Afonso et al, 2008; Oliva, 2010).

Na formação de plântulas saudáveis foram encontrados comportamentos semelhantes aos observados para germinação da raiz primária. Na interação entre temperatura de secagem x tempo de armazenamento foi observado que aos 63 dias os valores foram superiores aos de 463 dias, e para temperaturas de 50 e 60°C os valores foram estatisticamente iguais. Ainda, somente a temperatura de 70°C teve germinação menor aos 63 dias. Já para o tempo de armazenamento de 463 dias, a melhor temperatura foi de 60°C, seguidas de 50, 40 e 70°C (Tabela 8).

Quando os fatores foram comparados isoladamente, a melhor temperatura foi de 60°C, seguidas de 50, 40 e 70°C. O tempo de armazenamento de 63 dias foi melhor que 463 dias. Para sementes secas a sombra (30°), a germinação superior foi aos demais tratamentos no tempo de armazenamento de 63 dias, e ficou entre os melhores tratamentos aos 463 dias. Avaliando as temperaturas, independentemente

dos teores de água e tempos de armazenamento, a secagem a sombra foi a melhor, junto com a temperatura de 60°C (Tabela 8).

Tabela 8. Formação de plântulas sadias de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria em diferentes temperaturas atingidas pela massa de sementes na secagem, teores de água e tempos de armazenamento e suas interações.

Tempo de armazenamento	63 dias		463 dias		Médias gerais				
	Teor de água inicial				Média TxA		Média TxU		Média T
Temperatura de secagem	11,48%	8,44%	11,48%	8,44%	63 dias	463 dias	11,48%	8,44%	T
30°C	94	-	83	-	94	83	88	-	88
40°C	84	83	66	80	83 Aa	73Bb	75	81	78 b
50°C	86	88	85	75	87 Aa	80Aab	86	82	84ab
60°C	90	86	94	88	88 Aa	91 Aa	92	87	89 a
70°C	74	66	55	58	70Ab	57Bc	65	62	63 c
Média UxA	83	81	75	75	Média U		79	78	
Média A	82 A		75 B						

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade.

A formação de plântulas sadias foi maior que 70%, exceto para maior temperatura atingida pela massa de sementes na secagem, de 70°C, assim como observado por Hernández Maqueda et al. (2018), demonstrando a capacidade do amaranto em resistir altas temperaturas. Os autores observaram que a taxa de germinação das sementes de amaranto foi superior a 70%, na secagem em micro-ondas com temperaturas acima de 90°C.

No entanto, a queda na germinação devido ao aumento da temperatura de secagem, de 70°C, foi observada em ambos teores de água, e agravada com o aumento no tempo de armazenamento (Tabelas 7 e 8). Resultados semelhantes foram encontrados por Afonso Júnior e Corrêa (2000), avaliando os efeitos de secagem de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris*), onde foi observado que a germinação diminuiu com o aumento da temperatura de secagem e com o tempo de armazenamento.

Para a variável “plântulas anormais”, o tempo de armazenamento de 463 dias foi melhor que 63 dias, independente da temperatura atingida pela massa de sementes na secagem e do teor de água inicial. O valor para 463 dias foi menor que a metade de que aos 63 dias (Tabela 9).

Tabela 9. Plântulas anormais de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria em diferentes temperaturas atingidas pela massa de sementes na secagem, teores de água e tempos de armazenamento e suas interações.

Tempo de armazenamento	63 dias		463 dias		Médias gerais				
	Teor de água inicial				Média TxA		Média TxU		Média T
Temperatura de secagem	11,48%	8,44%	11,48%	8,44%	63 dias	463 dias	11,48%	8,44%	T
30°C	1,3	-	8,3	-	1,3	8,3	4,8	-	4,8
40°C	11,5	13,5	5,3	3,3	12,5	4,3	8,4	8,4	8,4
50°C	10,5	9,5	2,8	5,0	10,0	3,9	6,6	7,3	6,9
60°C	8,5	10,0	1,3	4,0	9,3	2,6	4,9	7,0	5,9
70°C	9,5	10,5	7,5	8,0	10,0	7,8	8,5	9,3	8,9
Média UxA	10,0	10,9	4,2	5,1	Média U		7,1	8,0	
Média A	10,4 B		4,6 A						

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade.

Foi observado que nem todas as sementes viáveis (germinação maior que 95%) (Tabela 7) geraram uma plântula normal (Tabela 8) e que ambas tiveram menor germinação com o aumento do tempo de armazenamento. No entanto, essa diferença não foi percebida na variável “plântulas anormais”, cujo tempo de armazenamento maior favoreceu a redução de anomalias nas plântulas (Tabela 9).

Para secagem a sombra, por exemplo, isto pode ter ocorrido devido ao prolongado tempo demandado para o método de secagem, favorecendo a perda da capacidade de formação de plântulas normais e saudáveis, como relatado por Zonta et al. (2011), uma vez que quanto menor a temperatura de secagem maior o tempo de secagem.

Observando a interação tripla (temperatura atingida pela massa de sementes na secagem x teores de água ao final da secagem x tempos de armazenamento) das variáveis sementes deterioradas, tem-se que: para o armazenamento em 63 dias, o teor de água de 11,48% não diferiu do de 8,44%, exceto para a temperatura de 70°C, em que 8,44% foi pior; a melhor temperatura foi de 60°C, seguidas de 50, 40 e 70°C, para teor de água de 11,48%, e a temperatura de 70°C foi a pior para teor de água de 8,44%. Para o tempo de armazenamento de 463 dias, não houve diferença tanto entre os teores de água, quanto entre as temperaturas, sendo este o melhor tempo de armazenamento em relação há 63 dias, principalmente para temperatura de 70°C (Tabela 10).

Tabela 10. Sementes deterioradas de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria em diferentes temperaturas atingidas pela massa de sementes na secagem, teores de água e tempos de armazenamento e suas interações.

Tempo de armazen.	63 dias		463 dias		Médias gerais				
	Teor de água inicial				Média TxA		Média TxU		Média T
Temp. de secagem	11,48%	8,44%	11,48%	8,44%	63 dias	463 dias	11,48%	8,44%	T
30°C	1,0	-	0,3	-	1,0	0,3	0,7	-	0,7
40°C	4,5Aab'	3,5 Aa'	4,3 Aa'	4,0 Aa'	4,0 Aa	4,1 Aa	4,4Aab	3,8 Aa	4,1 a
50°C	3,5Aab'	1,5 Aa'	2,8 Aa'	2,8 Aa'	2,5 Aa	2,8 Aa	3,1Aab	2,1 Aa	2,6 a
60°C	1,5 Aa'	3,5 Aa'	1,0 Aa'	1,0 Aa'	2,5 Aa	1,0 Aa	1,3 Aa	2,3 Aa	1,8 a
70°C	7,0Ab''	18,0Bb''	2,8 Aa'	4,8 Aa'	12,5Bb	3,8 Aa	4,9Ab	11,4Bb	8,1 b
Média UxA	4,1	6,6	2,7	3,1	Média U		3,4 A	4,9 B	
Média A	5,4 B		2,9 A						

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade. ' e'' representação da interação TxUxA, para mesmo teor de água, dentro de temperatura de secagem x tempo de armazenamento.

Quanto às temperaturas, apenas em 70°C houve diferença estatística entre o teor de água e o tempo de armazenamento, sendo pior a situação aos 63 dias, no teor de água de 8,44%, em que se obteve maior valor de sementes deterioradas em relação a 11,48%. Também, para os teores de água ao final da secagem, apenas em 70°C houve diferença estatística entre a temperatura de secagem e o tempo de armazenamento, sendo que aos 63 dias tiveram maior valor de sementes deterioradas que 463 dias; o teor de água de 11,48% foi melhor que 8,44%, principalmente para temperatura de 70°C, para os dois tempos de armazenamento (Tabela 10).

Observou-se que a secagem a sombra (30°C) teve o melhor resultado para todas as condições estudadas, pois teve menores valores de sementes deterioradas em relação aos outros tratamentos. Em relação ao tempo de armazenamento, 463 dias foram melhores que 63 dias para secagem a sombra (Tabela 10).

Foi observado na interação apresentada entre a temperatura atingida pela massa de sementes na secagem, o teor de água inicial e o tempo de armazenamento para a variável "sementes deterioradas" afetou somente quando estas estavam em condições de alta temperatura (70 °C), teor de água mais baixo (8,44%) e menor período de armazenamento (63 dias) (Tabela 10).

Isso mostra que não é aconselhável diminuir o teor de água das sementes para menos que 11,48%, principalmente em secagens a altas temperaturas, pois há uma maior propensão de deterioração das sementes imediatamente após a

secagem. Crivelari Costa et al. (2019), estudando sementes de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria, armazenadas por 13 meses, relatam que o menor teor de água inicial, de 8%, foi prejudicial as sementes em relação ao maior teor de água, de 10%.

Sementes armazenadas por maior período de armazenamento apresentaram as menores porcentagens de deterioração. Certamente, o fato de estas sementes obterem maior temperatura em sua massa na secagem, e a retirada de água ocorrer de forma acentuada, suas estruturas podem ter sido prejudicadas, aumentando o nível de deterioração inicialmente (Afonso et al, 2008; Taiz e Zeiger, 2013).

Outro fator que pode ter ocorrido é a contaminação durante o experimento, o que justifica o fato de inicialmente as sementes apresentarem maior quantidade de deterioração que com o maior tempo de armazenamento. Cristaudo et al. (2007) relataram que, em alguns casos, o maior tempo de armazenamento pode ser benéfico para sementes de amaranto.

Na interação entre temperatura de secagem x teor de água foi observado que apenas para 70°C houve diferença entre os teores de água finais, sendo 11,48% pior que 8,44%, pois apresentou maior quantidade de sementes duras. Para o teor de 11,48%, a pior temperatura foi de 70°C, e para 8,44%, a melhor foi de 60°C, seguidas de 50, 40 e 70°C (Tabela 11).

Tabela 11. Sementes duras de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria em diferentes temperaturas atingidas pela massa de sementes na secagem, teores de água e tempos de armazenamento e suas interações.

Tempo de armazenamento	63 dias		463 dias		Médias gerais				
	Teor de água inicial				Média TxA		Média TxU		Média T
Temperatura de secagem	11,48%	8,44%	11,48%	8,44%	63 dias	463 dias	11,48%	8,44%	T
30°C	0,8	-	0,0	-	0,8	0,0	0,4	-	0,4
40°C	0,5	0,5	9,0	2,8	0,5	5,9	4,8 Aa	1,6Aab	3,2 a
50°C	1,0	0,5	2,0	4,8	0,8	3,4	1,5 Aa	2,6Aab	2,1 a
60°C	1,0	0,5	0,8	1,0	0,8	0,9	0,9 Aa	0,8 Aa	0,8 a
70°C	9,5	6,0	12,0	5,0	7,8	8,5	10,8Bb	5,5Ab	8,1 b
Média UxA	3,0	1,9	5,9	3,4	Média U		4,5 B	2,6 A	
Média A	2,4 A		4,7 B						

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade.

Isoladamente, a temperatura de 70°C teve pior desempenho em relação aos outros tratamentos. O teor de água inicial de 8,44% foi melhor que 11,48% e o tempo de armazenamento de 63 dias foi melhor que 463 dias. Para secagem a

sombra (30°C), os menores valores de sementes duras foram encontrados, sendo nulo para tempo de armazenamento aos 463 dias (Tabela 11).

Na interação temperatura de secagem x tempo de armazenamento, o índice de velocidade de germinação diferiu apenas para temperatura de 60°C, sendo o tempo de 463 dias melhor que o de 63 dias, e para temperatura de 70°C, sendo o tempo de 63 dias melhor que o de 463 dias. Em relação às temperaturas, aos 63 dias, a temperatura de 70°C foi a pior entre todos os tratamentos, os quais não diferiram estatisticamente entre si. Aos 463 dias, a temperatura de 60°C foi a melhor, seguidas de 50, 40 e 70°C. Na interação temperatura de secagem x teor de água inicial, no teor de água de 11,48% as temperaturas de 50 e 60°C foram as melhores, seguidas de 40 e 70°C. No teor de água de 8,44%, apenas a temperatura de 70°C foi pior e os outros tratamentos não diferiram entre si (Tabela 12).

Tabela 12. Índice de velocidade de germinação de sementes de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria em diferentes temperaturas atingidas pela massa de sementes na secagem, teores de água e tempos de armazenamento e suas interações.

Tempo de armazenamento	63 dias		463 dias		Médias gerais				
	Teor de água inicial				Média TxA		Média TxU		Média T
Temperatura de secagem	11,48 %	8,44 %	11,48 %	8,44 %	63 dias	463 dias	11,48%	8,44%	
30°C	29,7	-	25,7	-	29,7	25,7	27,7	-	27,7
40°C	24,2	24,7	20,9	26,4	24,4 Aa	23,6Ab	22,5Bb	25,5 Aa	24,0 b
50°C	26,8	25,2	28,1	22,4	26,0 Aa	25,3Aab	27,4 Aa	23,8 Ba	25,6ab
60°C	26,9	22,6	29,7	27,5	24,7 Ba	28,6 Aa	28,3 Aa	25,1 Ba	26,7 a
70°C	19,2	16,1	13,4	14,3	17,7Ab	13,8Bc	16,3 Ac	15,2Ab	15,7 c
Média UxA	24,2	22,1	23,0	22,7	Média U		23,6	22,4	
Média A	23,2		22,8						

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade.

Comparando as temperaturas atingidas pela massa de sementes durante a secagem, independente dos teores de água ao final da secagem e os tempos de armazenamento, a temperatura de 60°C foi a melhor, seguida de 50, 40 e 70°C. Descritivamente, a secagem a sombra proporcionou índice de velocidade de germinação superiores aos outros tratamentos para ambos os tempos de armazenamento (Tabela 12).

O resultado observado de velocidade de germinação, que é uma medida direta do vigor da semente (Khan et al., 2003b), mostrou que as sementes secas à

70 ° estavam pouco vigorosas, pelo fato de apresentarem menor velocidade de germinação em relação às outras temperaturas (Khan et al., 2003a). E, que o aumento da temperatura tem efeito negativo na aceleração do processo de germinação, uma vez que provocou diminuição da germinação.

Os resultados de velocidade de germinação encontrados neste trabalho foram superiores aos encontrados por Ologundudu et al. (2013) em sementes de *Amaranthus cruentus* e Crivelari Costa et al. (2019), para a cultivar BRS Alegria, sendo este último com resultados semelhantes à maior temperatura.

Para o tempo médio de germinação, na interação entre temperatura de secagem x tempo de armazenamento, o tempo de armazenamento de 463 dias foi melhor para temperatura de 40 e 60°C, pois teve menor tempo para formar plântulas, enquanto aos 63 dias foi melhor apenas para 70°C. Em relação às temperaturas, 70°C foi pior em ambos os tempos de armazenamento, e os outros tratamentos não diferiram entre si (Tabela 13).

Tabela 13. Tempo médio de germinação de sementes de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria em diferentes temperaturas atingidas pela massa de sementes na secagem, teores de água e tempos de armazenamento e suas interações.

Tempo de armazenamento	63 dias		463 dias		Médias gerais				
	Teor de água inicial				Média TxA		Média TxU		Média
Temperatura de secagem	11,48%	8,44%	11,48%	8,44%	63 dias	463 dias	11,48%	8,44%	T
30°C	3,3	-	3,3	-	3,3	3,3	3,3	-	3,3
40°C	3,6	3,5	3,3	3,1	3,6 Ba	3,2 Aa	3,5 Aa	3,3 Aa	3,4 a
50°C	3,4	3,7	3,1	3,6	3,5 Aa	3,3 Aa	3,2 Aa	3,7 Bb	3,4 a
60°C	3,5	4,1	3,3	3,3	3,8 Ba	3,3 Aa	3,4 Aa	3,7 Bb	3,5 a
70°C	4	4,4	4,6	4,6	4,2 Ab	4,6 Bb	4,3 Ab	4,5 Ac	4,4 b
Média UxA	3,6	3,9	3,6	3,6	Média U		3,6 A	3,8 B	
Média A	3,8 B		3,6 A						

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade.

De forma isolada, para tempo médio de germinação, a pior temperatura de secagem foi de 70°C, pois teve valor maior. O melhor teor de água foi 11,48% e o melhor tempo de armazenamento foi 463 dias, pois tiveram valores menores. Como relatado anteriormente, os valores para secagem a sombra foram superiores, tendo mesmo valor em ambos os tempos de armazenamento (Tabela 13).

Como observado em primeira contagem, em que se obteve germinação maior que 50% ao terceiro dia, com exceção para temperatura de secagem de 70°C

(Tabela 6), verificou-se que o amaranto germina relativamente rápido entre 3,3 e 4,0 dias (Tabela 13). Resultados semelhantes foram encontrados na literatura para *Amaranthus cruentus* (Costa e Dantas, 2009; Ologundudu et al., 2013), reforçando a rápida germinação desta espécie.

A maior temperatura de secagem, de 70°C, em combinação com o maior tempo de armazenamento, de 463 dias, diminuiu a velocidade de germinação (Tabela 12) e, por consequência, aumentou o tempo médio de germinação (Tabela 13), uma vez que estes fatores são correlacionados.

Assim como na variável sementes anormais, o comprimento da raiz diferiu apenas entre os tempos de armazenamento, como fator isolado, sendo que 463 dias produziu maiores raízes que 63 dias (Tabela 14).

Tabela 14. Comprimento da raiz de plântulas de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria em diferentes temperaturas atingidas pela massa de sementes na secagem, teores de água e tempos de armazenamento e suas interações.

Tempo de armazenamento	63 dias		463 dias		Médias gerais				
	Teor de água inicial				Média TxA		Média TxU		Média T
Temperatura de secagem	11,48%	8,44%	11,48%	8,44%	63 dias	463 dias	11,48%	8,44%	
30°C	17,7	-	20,6	-	17,7	20,6	19,2	-	19,2
40°C	17,5	14,9	18,5	14,8	16,2	16,6	18,0	14,8	16,4
50°C	16,7	15,8	23,2	19,1	16,3	21,2	19,9	17,5	18,7
60°C	17,0	16,1	17,7	18,4	16,5	18,1	17,3	17,3	17,3
70°C	16,2	16,9	16,0	16,0	16,5	16,0	16,1	16,4	16,3
Média UxA	16,8	15,9	18,8	17,1	Média U		17,8	16,5	
Média A	16,4 B		18,0 A						

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade.

No comprimento da parte aérea, observando a interação tripla (temperatura atingida pela massa de sementes na secagem x teores de água ao final da secagem x tempos de armazenamento), para o tempo de armazenamento em 63 dias, não houve diferença estatística entre temperaturas de secagem e teores de água; para o tempo de armazenamento de 463 dias, o teor de água de 11,48% diferiu do de 8,44% apenas na temperatura de 40°C; no teor de água de 11,48%, a melhor temperatura foi de 60°C, e os demais tratamentos não diferiram entre si; no teor de água de 8,44%, a temperatura de 60°C também foi melhor, seguidas de 40, 50 e 70°C (Tabela 15).

Tabela 15. Comprimento da parte aérea de plântulas de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria em diferentes temperaturas atingidas pela massa de sementes na secagem, teores de água e tempos de armazenamento e suas interações.

Tempo de armazen.	63 dias		463 dias		Médias gerais				
Temp. de secagem	Teor de água inicial				Média TxA		Média TxU		Média T
	11,48%	8,44%	11,48%	8,44%	63 dias	463 dias	11,48%	8,44%	
30°C	41,5	-	38,1	-	41,5	38,1	38,1	-	38,1
40°C	31,8Aa'	33,1Aa'	31,7Bb'	40,4Aab"	32,5Ba	36,0 Aa	31,8Bb	36,8 Aa	34,3ab
50°C	31,4Aa'	32,4Aa'	36,2Ab"	36,2Abc"	31,9Ba	36,2 Aa	33,8Aab	34,3Aab	34,0ab
60°C	29,5Aa'	32,4Aa'	41,5Aa"	41,2Aa"	31,0Ba	41,4 Aa	35,5 Aa	36,8 Aa	36,2 a
70°C	32,8Aa'	30,1Aa'	34,9Ab'	32,8Ac'	31,5Aa	33,8Ab	33,9Aab	31,4Ab	32,6 b
Média UxA	31,4	32,0	36,1	37,6	Média U		33,7	34,8	
Média A	31,7 B		36,9 A						

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade. ' e" representação da interação TxUxA, para mesmo teor de água, dentro de temperatura de secagem x tempo de armazenamento.

Quanto às temperaturas, em 40°C, teores de água de 8,44% teve maiores comprimento que 11,48%, sendo maior aos 463 dias de armazenamento; em 50 e 60°C, não houve diferença entre os teores de água, e o tempo de armazenamento de 463 dias foi melhor eu o de 63 dias; em 70°C, não houve diferença estatística entre o teor de água e o tempo de armazenamento. Para os teores de água ao final da secagem, em ambos, a temperatura de secagem de 60°C e o tempo de armazenamento de 463 dias teve melhor resultado (Tabela 15).

Ainda, para comprimento da parte aérea, na interação temperatura de secagem x tempo de armazenamento, a temperatura de 70°C prejudicou o crescimento das plântulas aos 463 dias, sendo pior entre os tratamentos. O tempo de armazenamento de 463 dias teve valores superiores aos de 63 dias, excetuando apenas para 70°C, que não diferiu. Na interação temperatura de secagem x teor de água, apenas na secagem em pleno sol (40°C), o teor de água de 8,44% foi superior ao de 11,48%. Para o teor de água de 11,48%, a melhor temperatura foi de 60°C, seguidas de 70 e 50°C e a pior foi a secagem em pleno sol. Para 8,44%, as melhores temperaturas de secagem foram de 60 e 40°C, seguidas de 50 e 70°C (Tabela 15).

A temperatura de secagem de 60°C também foi melhor isoladamente dos outros fatores, seguidos de 50 e 40°C e o pior foi 70°C. Ainda, o tempo de armazenamento de 463 dias proporcionou maiores alturas de plântulas em relação

ao de 63 dias. A secagem a sombra foi o melhor tratamento aos 63 dias de armazenamento e teve valor menor apenas ao tratamento de 60°C aos 463 dias. Na média geral de temperatura, a secagem a sombra sobressaiu aos demais tratamentos (Tabela 15).

Em relação ao comprimento total de plântulas, na interação temperatura de secagem x tempo de armazenamento, observa-se que não houve diferença entre as temperaturas no tempo de armazenamento de 63 dias e aos 463 dias a melhor temperatura foi 60°C, seguida de 50, 40 e 70°C. O tempo de armazenamento de 463 dias produziu maiores plântulas que aos 63 dias, exceto para temperatura de 70°C, que não diferiu entre si (Tabela 16).

As melhores temperaturas de secagem foram 50 e 60°C, seguidas de 40 e 70°C, comparadas como fator isolado. Também, o tempo de armazenamento de 463 dias proporcionou plântulas maiores que aos 63 dias. A secagem a sombra proporcionou maiores plântulas em todas as condições estudadas (Tabela 16).

Tabela 16. Comprimento total de plântulas de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria em diferentes temperaturas atingidas pela massa de sementes na secagem, teores de água e tempos de armazenamento e suas interações.

Tempo de armazenamento	63 dias		463 dias		Médias gerais				
	Teor de água inicial				Média TxA		Média TxU		Média T
Temperatura de secagem	11,48%	8,44%	11,48%	8,44%	63 dias	463 dias	11,48%	8,44%	
30°C	59,2	-	58,7	-	59,2	58,7	59,0	-	59,0
40°C	49,3	48,0	50,2	55,2	48,6 Ba	52,7 Abc	49,7	51,6	50,7ab
50°C	48,0	48,2	59,4	55,3	48,1 Ba	57,3Aab	53,7	51,8	52,7 a
60°C	46,5	48,6	59,2	59,7	47,5 Ba	59,4 Aa	52,8	54,1	53,5 a
70°C	49,0	46,9	50,9	48,8	48,0 Aa	49,8 Ac	50,0	47,9	48,9 b
Média UxA	48,2	47,9	54,9	54,7	Média U		51,6	51,3	
Média A	48,1 B		54,8 A						

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade.

Em relação ao comprimento total de plântulas, o tamanho destas aumentou com o aumento do tempo de armazenamento (Tabela 16).

Para massa seca de plântulas, não houve diferença estatística para nenhuma das variáveis independentes, e esta teve média geral de 0,53 miligramas (Tabela 17).

Estes valores encontrados podem não serem representativos, uma vez que o *Amaranthus cruentus* BRS Alegria tem crescimento lento até os 30 dias após

semeadura (Spehar, 2003) e sua massa seca pode não representar uma boa variável para avaliar vigor ao oitavo dia após semeadura.

Tabela 17. Massa seca de plântulas (mg) de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria em diferentes temperaturas atingidas pela massa de sementes na secagem, teores de água e tempos de armazenamento e suas interações.

Tempo de armazenamento	63 dias		463 dias		Médias gerais				
	Teor de água inicial				Média TxA		Média TxU		Média T
Temperatura de secagem	11,48%	8,44%	11,48%	8,44%	63 dias	463 dias	11,48%	8,44%	
30°C	0,60	-	0,53	-	0,60	0,53	0,57	-	0,57
40°C	0,62	0,52	0,51	0,60	0,57	0,55	0,57	0,56	0,56
50°C	0,51	0,48	0,50	0,53	0,50	0,51	0,51	0,51	0,51
60°C	0,47	0,51	0,60	0,54	0,49	0,57	0,53	0,53	0,53
70°C	0,54	0,53	0,54	0,53	0,54	0,54	0,54	0,53	0,54
Média UxA	0,54	0,51	0,54	0,55	Média U		0,54	0,53	
Média A	0,52		0,54						

As principais diferenças que foram observadas quanto ao teor de água no início do armazenamento, aos 63 dias, e ao final, em 463 dias, foi a perda de conteúdo de água durante o armazenamento, principalmente para o teor de água inicial de 11,48%, observada pela interação teor de água x tempo de armazenamento. Na interação temperatura de secagem x teor de água, houve diferença entre as temperaturas de secagem na manutenção do teor de água durante o armazenamento, mesmo embaladas em ambiente modificado (vácuo), mostrando que as sementes podem ter sofrido alguma interferência do ambiente (Tabela 18).

Tabela 18. Teor de água inicial e final de sementes de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria em diferentes temperaturas atingidas pela massa de sementes na secagem e tempos de armazenamento e suas interações.

Tempo de armazenamento	63 dias		463 dias		Médias gerais				
	Teor de água final				Média TxA		Média TxU		Média T
Temperatura de secagem	11,48%	8,44%	11,48%	8,44%	63 dias	463 dias	11,48%	8,44%	
30°C	13,02	-	11,90	-	13,02	11,90	12,46	-	12,46
40°C	10,76	8,95	10,11	9,22	9,86	9,67	10,44 c	9,09 a	9,76
50°C	11,88	8,38	11,04	8,58	10,13	9,81	11,46 a	8,48 b	9,97
60°C	11,73	8,00	10,88	7,78	9,87	9,33	11,31 a	7,89 c	9,60
70°C	11,54	8,42	10,57	8,19	9,98	9,38	11,06 b	8,31 b	9,68
Média UxA	11,48 a	8,44 a	10,65 b	8,44 a	Média U		11,06 A	8,44 B	
Média A	9,96 A		9,55 B						

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade.

Mesmo que na secagem a sombra (30°C), as sementes tenham permanecido por mais tempo expostas às intempéries do ambiente (Fonseca et al., 1980), com umidade relativa mais alta, de 70,2% (INMET, 2020), os resultados obtidos foram satisfatórios para todas as variáveis analisadas. É possível observar que a secagem a sombra obteve valores superiores às demais temperatura de secagem, ou seja, germinou em percentagem maior (Tabelas 7 e 8), apresentando menor número de sementes duras (Tabela 11) e em menor tempo (Tabela 13).

A umidade relativa do ar foi o principal influenciador no teor de água das sementes, não permitindo uma secagem a níveis mais baixos como desejado inicialmente. Para as sementes secas a sombra, as condições climáticas do ambiente não permitiram a secagem até o nível de 8,44% e, assim, as sementes apresentaram 13,02% de teor de água.

Com sementes de pinhão manso (*Jatropha curcas*), Zonta et al. (2011), também relata ter dificuldades em diminuir o teor de água em secagem a sombra, contudo consegue um teor de água de 10%.

Dentre as condições de secagem, na secagem artificial, recomenda-se a temperatura na massa de secagem até 60°C, que foi obtida com a temperatura do ar de secagem de 80°C, pois apresentam maiores percentuais de germinações (Tabela 7 e 8), velocidade (Tabela 12) e comprimento de parte aérea (Tabela 15).

Não é aconselhável temperaturas do ar de secagem superiores a 100°C, médias de 70°C na massa de semente, pois proporciona queda na qualidade fisiológica das sementes de amaranto. Contudo, é possível utilização destes como grãos na indústria, e ainda assim manter qualidade, pois não apresentou diferença nas plantulas quando avaliadas suas anormalidades (Tabela 9), comprimento das raízes (Tabela 14) e massa seca (Tabela 17).

Hernández Maqueda et al. (2018) também relataram que a temperatura do ar de secagem acima de 90°C podem prejudicar a qualidade fisiológica do amaranto e reduzir a altura de plantas. Os autores ainda relatam que é possível, nesta temperatura, ainda ter germinações superiores a 70% e a taxa de sobrevivência no campo, 30 dias após a semeadura, permanecer inalterada, em relação a temperaturas mais baixas.

Na secagem natural, a secagem a sombra, que teve médias de 30°C na massa de sementes, apresentou melhores resultados que a secagem ao sol, com

médias de 40°C na massa de sementes. A secagem a sol prejudicou a qualidade das sementes, pois teve menor percentagens de germinação e formação de plântulas (Tabelas 7 e 8), queda na velocidade de germinação (Tabela 12), e menores alturas de plântulas (Tabela 16). Ainda assim, a germinação foi de 88% para a secagem em pleno sol (Tabela 7), valor semelhante ao encontrado por Hernández Maqueda et al. (2018), de 86%, em secagem a pleno sol.

Quanto ao teor de água, recomenda-se o teor de água inicial de 11,48%, pois permitiu melhor qualidade das sementes de amaranto, com maiores percentagens de germinações ao terceiro dia (Tabela 6) e menores número de sementes deterioradas (Tabela 10) e tempo de germinação (Tabela 13).

Desse modo, não é necessário maiores reduções no teor de água das sementes de amaranto, pois, além de não manter a qualidade fisiológica, inviabilizaria e encareceria o produto final, uma vez que os custos para esta operação estão diretamente relacionados com o maior volume e tempo de secagem (Garcia et al., 2004). Ainda seriam necessário melhores condições de armazenamento, como por exemplo, embalagens impermeáveis e controle da umidade relativa.

Apenas para a secagem em pleno sol, o menor teor de água, de 8,44%, permitiu melhor manutenção da qualidade, com maiores velocidade de germinação (Tabela 12) e altura da plântulas (Tabela 15). Provavelmente este fato foi devido a diferença entre o maior e menor teor de água, que tiveram menor amplitude, de apenas 0,65 pontos percentuais (Tabela 18). Isto porque há maiores dificuldades no controle em ambientes abertos e estes sofrem maiores influências do ambiente e das condições climáticas (Afonso et al, 2008).

Em relação ao tempo de armazenamento, observou-se os efeitos imediatos na qualidade fisiológica de sementes aos 63 dias, sendo a secagem artificial na temperatura do ar de 100°C (70°C na massa de sementes) prejudicial as sementes (Tabelas 6, 7, 8, 10, 12 e 13), assim como para a secagem natural a pleno sol (40°C na massa de sementes) (Tabelas 6, 15 e 16).

No entanto, observou-se os efeitos latentes na qualidade fisiológica das sementes de amaranto, aos 463 dias de armazenamento, e não foi encontrada diferença estatística para as secagens artificiais nas temperaturas do ar de secagem até 80°C (com médias de 60°C na massa de sementes) (Tabelas 6, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15 e 16). Na secagem natural a sombra, apesar de este processo ser mais lento

e sofrer as intempéries do ambiente (Afonso et al, 2008), além das limitações quanto a redução no teor de água das sementes (Zonta et al., 2011), este foi melhor para a maioria das variáveis analisadas.

Cristaudo et al. (2007) obtiveram percentagens de germinação próximo a máxima até os 540 dias de armazenamento, e concorda com os resultados encontrados neste trabalho.

4.4 CONCLUSÃO

Na secagem natural, a secagem a sombra (30°C) foi melhor que pleno sol (40°C). Na secagem artificial, a temperatura do ar de secagem de 100°C, média de 70°C na massa de sementes, foi prejudicial a qualidade das sementes de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria.

As sementes de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria foram melhor preservadas quando armazenadas com teor de água de 11,48% em relação a 8,44%.

O tempo de armazenamento de 463 dias não foram suficientes para visualizar perda de qualidade nas sementes de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria.

Tanto para secagem natural quanto artificial, o aumento da temperatura prejudicou a qualidade das sementes de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria, sendo agravada com o maior tempo de armazenamento, em baixos teores de água inicial.

4.5 REFERÊNCIAS

ABALONE, R.; GASTÓN, A.; CASSINERA, A.; LARA, M.A. Thin layer drying of amaranth seeds. *Biosystems Engineering*, v. 93, n. 2, p. 179–188, 2006.

AFONSO, A.D.L.; DONZELLES, S.M.L.; SILVA, J.S. Secagem e secadores. In: SILVA, J.S. Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. Viçosa: Aprenda fácil, 2008. cap. 5, p. 108-138.

AFONSO JÚNIOR, P.C.; CORRÊA, P.C. Efeitos imediato e latente da secagem de sementes de feijão colhidas com diferentes níveis de umidade. *Ciênc. agrotec. (Edição Especial)*, Lavras, v.24, p. 33-40, dez. 2000.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: MAPA/ACS, 2009. 395 p.

CALZETTA RESIO, A.N.C.; TOLABA, M.P.; SUAREZ, C. Effect of drying temperature and soaking conditions on wet-milling characteristics of amaranth grain. *International Journal of Food Engineering*, v. 6, n. 1, p. 1-12, 2010.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. Sementes: ciência, tecnologia e produção. 5 ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012. 588p

CARVALHO, S.J.P.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Influência da luz e da temperatura na germinação de cinco espécies de plantas daninhas do gênero *Amaranthus*. *Bragantia*, Campinas, v.66, n.4, p.527-533, 2007.

COSTA, D.M.A.; DANTAS, J. Efeitos do substrato na germinação de sementes de amaranto (*Amaranthus* spp). *Revista Ciência Agronômica*, v.40, n.4, p. 498-504, 2009.

CRISTAUDO, A.; GRESTA, F.; LUCIANI, F.; RESTUCCIA, A. Effects of after-harvest period and environmental factors on seed dormancy of *Amaranthus* species. *Weed Research*, v. 47, p. 327–334, 2007.

CRISTAUDO, A.; GRESTA, F.; CATARA, S.; MINGO, A. Assessment of daily heat pulse regimes on the germination of six *Amaranthus* species. *Weed Research*, v. 54, p. 366–376, 2014.

CRIVELARI COSTA, P.M.; BIANCHINI, A.; CANEPPELE, C.; AZEVEDO, P.H.; SILVA, A.L.; SANTOS, M.A.; PEREIRA, P.S.X. Moisture Content and Packaging Condition on the Germination of Amaranth BRS Alegria Seeds. *Journal of Experimental Agriculture International*, v. 38, p. 1-8, 2019.

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

FONSECA, J.R.; FREIRE, A.B.; FREIRE, M.S.; ZIMMERMANN, F.J.P. Conservação de sementes de feijão sob três sistemas de armazenamento. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 2, p. 19-28, 1980.

GARCIA, D.C.; BARROS, A.C.S.A.; PESKE, S.T.; MENEZES, N.L.A secagem de sementes. *Revista Ciência Rural*, n. 34, p. 603-608, 2004.

HERNÁNDEZ MAQUEDA, R.; BALLESTEROS REDONDO, I.; JIMÉNEZ JÁCOME, S.J.; MORENO, A.H. Microwave drying of amaranth and quinoa seeds: effects of the power density on the drying time, germination rate and seedling vigour. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, p. 1-13, 24 Oct. 2018.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa, Dados históricos. Disponível em: <www.inmet.gov.br>. Acesso em: 14 jan. 2020.

LABOURIAU, L.G. A germinação das sementes. Washington: Secretaria da OEA, 1983. 173 p.

LIU, X.; DENG, Z.; CHENG, H.; HE, X.; SONG, S. Nitrite, sodium nitroprusside, potassium ferricyanide and hydrogen peroxide release dormancy of *Amaranthus*

retroflexus seeds in a nitric oxide-dependent manner. *Plant Growth Regul*, v. 64, p.155–161, 2011.

MAGUIRE, J.D. Speed of germination aid in selection and evaluation for seeding emergence and vigor. *Crop Science*, v. 2, n. 2, p. 76-177, 1962.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.). *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Londrina: ABRATES, 1999. p.2.1-2.24.

NOBRE, D.A.C., DAVID, A.M.S.S., SOUZA, V.N.R., GOMES, A.A.M., AGUIAR, P.M., MOTA, W.F., OLIVEIRA NETO, D.A. Influência do ambiente de armazenamento na qualidade fisiológica de sementes de amaranto. *Comunicata Scientiae*, v.4, n. 2, p. 216-219,2013.

OLIVA, A.C.E. Qualidade das Sementes de Crambe Submetidas a Métodos de Secagem e Períodos de Armazenamento. 87f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Botucatu-SP, 2010.

OLOGUNDUDU, A.F.; ADELUSI, A.A.; ADEKOYA, K.P. Effect of light stress on germination and growth parameters of *Corchorus olitorius*, *Celosia argentea*, *Amaranthus cruentus*, *Abelmoschus esculentus* and *Delonix regia*. *Notulae Scientia Biologicae*, v. 5, n. 4, p. 468-475, 2013.

PEEL, M.C.; FINLAYSON, B.L.; MCMAHON, T.A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 11, p. 1633-1644, 2007.

PESKE, S.T.; VILLELA, F.A. Secagem de sementes. In: PESKE, S.T.; ROSENTHAL, M.D.; ROTA, G.R.M. (Ed). *Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos*. 1. ed. Pelotas, RS: Editora Rua, 2003, Cap. 5, p. 281-319.

RONOH, E.K.; KANALI, C.L.; MAILUTHA, J.T.; SHITANDA, D. Modeling thin layer drying of amaranth seeds under open sun and natural convection solar tent dryer. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript 1420, v. 6, November, 2009.

SILVA, A.L. Desempenho agrônômico e fisiológico do amaranto sob restrição hídrica. 114f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT, 2019.

SPEHAR, C.R. Production systems in the savannas of Brazil: key factors to sustainability. In: LAL, R. (Ed.). *Soil quality and agricultural sustainability*. Chelsea: Ann Arbor Press, p. 301-318, 1998.

SPEHAR, C.R. Diferenças morfológicas entre *Amaranthus cruentus*, cv. BRS Alegria e as plantas daninhas *A. hybridus*, *A. retroflexus*, *A. viridis* e *A. spinosus*. *Planta Daninha*, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 481-485, 2003.

SPEHAR, C.R.; CABEZAS, W.A.R.L. Introdução e seleção de espécies para a diversificação do sistema produtivo nos cerrados. In: CABEZAS, W. A. R. L.;

FREITAS, P.L. (Ed.). Plantio direto na integração lavoura pecuária. Uberlândia: Ed. da Universidade Federal de Uberlândia, p. 179-189, 2001.

SPEHAR, C.R.; TEIXEIRA, D.L.; CABEZAS, W.; ERASMO, E.A.L. Amaranho BRS Alegria: Alternativa para diversificar os sistemas de produção. Brasília: Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 38, n. 5, p. 659-663, 2003.

SPEHAR, C.R. Amaranho: opção para diversificar a agricultura e os alimentos. Brasília, DF: Embrapa Informação e Tecnologia, 130 p., 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 5. ed., Artmed, 2013. 918 p.

TEIXEIRA, D.L.; SPEHAR, C.R.; SOUZA, L.A.R. Agronomic characteristics of amaranth for cultivation in the Brazilian Savannah. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 38, n. 1, p. 45-51, 2003.

WEBER, L.E. Amaranth grain production guide. Rodale Research Center: Rodale Press Inc., PA, USA, 1987.

ZONTA, J.B.; ARAUJO, E.F.; ARAUJO, R.F.; DIAS, L.A.S. Diferentes tipos de secagem: efeitos na qualidade fisiológica de sementes de Pinhão manso. Revista Brasileira de Sementes, v. 33, n. 4, p. 721-731, 2011.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Todas as equações polinomiais se comportaram de maneira adequada aos ajustes dos dados, as quais poderiam ser utilizadas dependendo do software disponível e de sua programação, excetuando-se as de Page modificado, para secagem natural, e de Dois Termos exponencial, para secagem artificial na temperatura do ar de secagem de 100°C, representada por 70°C na massa de sementes.

Apesar de a secagem à sombra (30 °C na massa de sementes) demandar longo período de tempo para a secagem de amaranto, devido a maior umidade relativa do ambiente, foi a que obteve melhores resultados de qualidade de sementes tanto imediatos quanto latentes. Do ponto de vista prático, esta cultura seria recomendada para agricultura familiar, uma vez que os custos para a secagem a sombra são mínimos.

Ainda que a umidade relativa do ambiente se apresentasse alta, de 70%, não alterou a qualidade das sementes, não sendo um impeditivo para pequenos agricultores. Todavia, para secagem em pleno sol, a umidade relativa afeta fortemente neste método de secagem, podendo inviabilizá-lo principalmente em épocas chuvosas.

O teor de água de 11,48% foi adequado para manter a qualidade das sementes, não sendo necessário maiores retiradas do conteúdo de água das sementes, o que, do ponto de vista técnico é benéfico, diminuindo custos e tempo.

O *Amaranthus cruentus* BRS Alegria apresentou-se tolerante à secagem em altas temperaturas, e, apesar de não recomendado temperaturas de 70°C, ou superiores, na massa de sementes durante a secagem, ainda assim é possível que seja utilizado na indústria para fabricação de novos produtos, como farinhas, pois manteriam grande parte de suas propriedades, pois, os valores de formação de plântulas saudias foram superiores a 55%.

6. CONCLUSÕES

A cinética de secagem das sementes de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria ocorre no período de secagem em taxa decrescente, sendo fortemente influenciada pela temperatura de secagem.

O modelo de Midilli modificado foi a que melhor se ajustou aos dados de secagem de *Amaranthu scruentus* BRS Alegria.

A redução do teor de água de 21,1 para 11,5%, foram de 2,5, 3,5, e 7 horas para as temperaturas da massa de sementes de 70, 60 e 50°C, respectivamente, secas artificialmente.

Para secagem natural, em pleno sol (30°C na massa de sementes), o tempo foi de 15 horas, sendo afetada pela influência da alta umidade relativa do ar que aumentou o tempo de secagem. O tempo de secagem a sombra foi de 164 horas até o teor de água de 13% (umidade de equilíbrio).

Quanto a qualidade fisiológica de sementes de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria, na secagem natural, sombra (30°C) foi melhor que pleno sol (40°C). Na secagem artificial, a temperatura na massa de sementes de 70°C, foi prejudicial, e isso deu a temperatura do ar de secagem de 100°C.

As sementes de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria foram melhor preservadas quando armazenadas com teor de água de 11,48% em relação a 8,44%. E o tempo de armazenamento de 463 dias não foram suficientes para visualizar perda de qualidade nas sementes de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria.

Tanto para secagem natural quanto artificial, o aumento da temperatura prejudicou a qualidade das sementes de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria, sendo agravada com o maior tempo de armazenamento, em baixos teores de água inicial.