



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**CINÉTICA DE SECAGEM E PROPRIEDADES FÍSICAS DE QUINOA E
AMARANTO E QUALIDADE DE SEMENTES DE QUINOA**

EDER STOLBEN MOSCON

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

BRASÍLIA/DF
FEVEREIRO/2015



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**CINÉTICA DE SECAGEM E PROPRIEDADES FÍSICAS DE QUINOA E
AMARANTO E QUALIDADE DE SEMENTES DE QUINOA**

EDER STOLBEN MOSCON

ORIENTADOR: SAMUEL MARTIN
COORIENTADOR: CARLOS ROBERTO SPEHAR

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

PUBLICAÇÃO: 82 / 2015

BRASÍLIA/DF
FEVEREIRO/2015



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**CINÉTICA DE SECAGEM E PROPRIEDADES FÍSICAS DE QUINOA E
AMARANTO E QUALIDADE DE SEMENTES DE QUINOA**

EDER STOLBEN MOSCON

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDO AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.

APROVADA POR:

Samuel Martin

SAMUEL MARTIN, Doutor / UnB

(Orientador), CPF: 703.715.800-30 samuelmartin@unb.br

João Batista Soares

JOÃO BATISTA SOARES, Doutor / UnB

(Examinador interno), CPF: 329.265.106-91 jobat@unb.br

Ivano A. Devilla

IVANO ALESSANDRO DEVILLA, Doutor / UEG

(Examinador externo), CPF: 666.019.590-49 devilla@ueg.br

BRASÍLIA/DF, 26 DE FEVEREIRO DE 2015

Moscon, Eder Stolben

Cinética de secagem e propriedades físicas de quinoa e amaranto e qualidade de sementes de quinoa. / Eder Stolben Moscon, orientação de Samuel Martin. - Brasília, 2015.

85f.

Dissertação de Mestrado (M) - Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2015

1. modelagem matemática - dessecção - pseudocereal. 2. porosidade - teor de água - massa específica. 3. germinação - qualidade fisiológica - maturidade fisiológica.

CDD ou CDU

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MOSCON, E. S. **Cinética de secagem e propriedades físicas de quinoa e amaranto e qualidade de sementes de quinoa**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2015, 87p. Dissertação de Mestrado. 2015, 87p. Dissertação de Mestrado.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Eder Stolben Moscon

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Cinética de secagem e propriedades físicas de quinoa e amaranto e qualidade de sementes de quinoa / Eder Stolben Moscon, orientação de Samuel Martin. Brasília, 2015.

GRAU: ANO: Mestrado / 2015

É concedida à Universidade de Brasília de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado para única e exclusivamente propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais, de publicação. Nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada à fonte.



Nome: Eder Stolben Moscon

CPF: 00563934077

Endereço. Colina, Bloco K, Apto 105.

Tel. (61) 8334-1196

Email: hederstolben@hotmail.com

OFEREÇO,
A DEUS.

“Que proveito tira o homem de todo o trabalho com que se afadiga debaixo do sol? Uma geração vai, outra vem, mas a terra sempre subsiste. O sol se levanta, o sol se põe e se apressa a voltar a seu lugar onde renasce. O vento sopra para o sul, volta para o norte, volteia e gira nos mesmos circuitos.” (Eclesiastes 1, 3-7).

DEDICO,
a família e amigos, razão do meu existir.

AGRADECIMENTO

A Deus por me iluminar, estando sempre ao meu lado, me dando força, saúde e paz para prosseguir.

A minha mãe, Lidia Maria por todo amor, carinho, apoio, ensinamentos, valores éticos, e por sempre se dedicar a mim incondicionalmente.

A minha noiva Janaina, pelo carinho, compreensão, afeto, paixão, paciência e companheirismo.

A minha irmã, Caroline, a qual sempre está ao meu lado me orientando, demonstrando amizade, carinho e compreensão sem igual.

Aos meus primos Anderson e Micael que sempre me apoiaram e a exemplo de mim, estão encarando a bela jornada do estudo da Engenharia Agrônômica.

A Universidade de Brasília, que me possibilitou diversos aprendizados, os quais abrirão portas para conquistar o que almejo para o futuro.

Ao professor Samuel Martin, que acreditou na minha capacidade, pela confiança em mim conferida, por encarar o desafio de me orientar, permitindo liberdade de pensamento, conduzindo-me com paciência, confiança e amizade.

Aos professores Carlos Roberto Spehar e Marcelo Fagioli, pela amizade, apoio, orientação e conhecimentos compartilhados.

Aos demais professores da UnB que fizeram parte de minha trajetória educacional, transmitindo ensinamentos em geral e indicando caminhos corretos a seguir.

A todos os amigos que fazem parte de minha vida, em especial aos mais próximos como Francisco Rodolfo, André Ricardo, Iara Alencar, Luis Aramis, Mayco Werlen, Hernando Canizarez, Luis Contreras, José Lazaro e Bruno Mota.

Aos amigos Marcio, Glauber e Professor Luiz Antônio Borgo, do Laboratório de Análise de Alimentos da UnB. Também ao amigo Ricardo, do Laboratório de Sementes. Obrigado pelo carinho, compreensão, paciência e confiança.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de pesquisa.

E a todas as pessoas que por ventura eu de momento não citei, e que de certa forma contribuíram para esse momento.

A todos vocês, de todo meu coração, muito obrigado!

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema do critério de colheita e utilização de sementes de quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) cultivar BRS Syetetuba.....	11
Figura 2. Esquema do fracionamento e utilização das sementes de amaranto (<i>Amaranthus cruentus</i>) cultivar BRS Alegria.....	11
Figura 3. Curvas de secagem experimentais e estimadas de pelos modelos (a) Page, (b) Midilli e (c) Aproximação da Difusão para quinoa, Cultivar BRS Syetetuba, em diversas temperaturas.....	17
Figura 4. Curvas de secagem estimadas pelo modelo (a) Wang e Singh (b) Midilli, para amaranto, cultivar BRS Alegria, nas temperaturas de 30 a 70°C.....	18
Figura 5. Equipamento utilizado para determinação do ângulo de talude (a) de quinoa, cultivar BRS Syetetuba e amaranto, cultivar BRS Alegria.....	26
Figura 6. Proveta de 0,25 L e balança eletrônica, usadas para determinação da massa específica aparente (ρ_{ap}) de quinoa, cultivar BRS Syetetuba e amaranto, cultivar BRS Alegria.....	27
Figura 7. Equipamentos utilizados na determinação do volume unitário (ρ_u) de quinoa, cultivar BRS Syetetuba e amaranto, cultivar BRS Alegria.....	28
Figura 8. Valores Observados e estimados do ângulo de repouso (a), em função do teor de água, para (a) quinoa, cultivar BRS Syetetuba e (b) amaranto, cultivar BRS Alegria.....	30
Figura 9. Valores experimentais e estimados da massa específica aparente (ρ_{ap}) dos grãos de (a) quinoa, cultivar BRS Syetetuba e (b) amaranto, cultivar BRS Alegria, em função do teor de água.....	32
Figura 10. Valores experimentais e estimados da massa específica real (ρ_u) dos grãos de (a) quinoa; cultivar BRS Syetetuba e (b) amaranto, cultivar BRS Alegria, em função do teor de água.....	33
Figura 11. Valores observados e estimados da porosidade (ϵ) da massa de (a) quinoa, cultivar BRS Syetetuba e (b) amaranto, cultivar BRS Alegria, em função do teor de água.....	34
Figura 12. Valores experimentais e estimados da massa de mil grãos (m) de (a) quinoa, cultivar BRS Syetetuba e (b) amaranto, cultivar BRS Alegria, em função do teor de água.....	36
Figura 13. Classificação das panículas segundo coloração e abertura de perigônios, em quinoa, cultivar BRS Syetetuba, na ocasião da colheita.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para predizer o fenômeno de secagem de produtos agrícolas.....	11
Tabela 2. Teores de água inicial, final e de equilíbrio, tempos e temperaturas de secagem de grãos de quinoa, cultivar BRS Syetetuba e amaranto, cultivar BRS Alegria.....	13
Tabela 3. Coeficientes de determinação (R ²), erros médio relativo (P, decimal), desvio padrão estimado (SE, decimal) e distribuição dos resíduos (D.R.) dos treze modelos analisados para a secagem de quinoa, Cultivar BRS Syetetuba, nas temperaturas 40, 50, 60 e 70°C.....	14
Tabela 4. Coeficientes de determinação (R ²), erros médio relativo (P, decimal), desvio padrão estimado (SE, decimal) e distribuição dos resíduos (D.R.) dos treze modelos analisados para a secagem de amaranto, cultivar BRS Alegria, nas temperaturas 30, 50 e 70°C.....	15
Tabela 5. Coeficientes dos mais adequados modelos matemáticos ajustados da curva de secagem de quinoa, Cultivar BRS Syetetuba, sob diversas temperaturas.....	19
Tabela 6. Coeficientes dos mais adequados modelos matemáticos ajustados da curva de secagem de amaranto, cultivar BRS Alegria, sob diversas temperaturas.....	19
Tabela 7. Equações do modelo Page, selecionado para representar a cinética de secagem de quinoa, Cultivar BRS Syetetuba, em diferentes temperaturas.....	20
Tabela 8. Equações dos modelos com melhores ajustes estatísticos, selecionados para representar a cinética de secagem de amaranto, cultivar BRS Alegria, em diversas temperaturas.....	20
Tabela 9. Classes de maturação (estádios) de quinoa, cultivar BRS Syetetuba, em função da coloração da panícula e da abertura dos perigônios.....	43
Tabela 10. Teor de água (% , b.u.), na colheita e durante armazenamento, de sementes de quinoa, cultivar BRS Syetetuba, colhidas em diferentes estádios de maturação.....	47
Tabela 11. Resumo da análise de variância para o Teste Padrão de germinação de sementes de quinoa, cultivar BRS Syetetuba, colhidas em diferentes estádios de maturação e avaliadas durante o armazenamento.....	48
Tabela 12. Germinação (%) no teste padrão de germinação de sementes de quinoa, cultivar BRS Syetetuba, colhidas em diferentes estádios de maturação e avaliadas durante armazenamento.....	48

Tabela 13. Resumo da análise de variância para primeira contagem (PC), condutividade elétrica (CE1 e CE2) e envelhecimento acelerado (EA) de sementes de quinoa, cultivar BRS Syetetuba, colhidas em diferentes estádios de maturação e avaliadas durante o armazenamento.....	50
Tabela 14. Vigor (%), pelo teste de primeira contagem de germinação, de sementes de quinoa, cultivar BRS Syetetuba, colhidas em diferentes estádios de maturação e avaliadas durante o armazenamento.....	50
Tabela 15. Valores médios do teste de condutividade elétrica (CE1), em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$, das sementes de quinoa cultivar BRS Syetetuba, colhidas em diferentes estádios de maturação e avaliadas durante o armazenamento.....	52
Tabela 16. Valores médios do teste de condutividade elétrica (CE2), em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$, das sementes de quinoa cultivar BRS Syetetuba, colhidas em diferentes estádios de maturação e avaliadas durante o armazenamento.....	52
Tabela 17. Germinação (%) após o teste de envelhecimento acelerado, de sementes de quinoa cultivar BRS Syetetuba, colhidas em diferentes estádios de maturação e avaliadas durante o armazenamento.....	53

SUMÁRIO

RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUÇÃO GERAL	1
CAPÍTULO 1: CINÉTICA DE SECAGEM DE QUINOA (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) CULTIVAR BRS SYETETUBA E AMARANTO (<i>Amaranthus cruentus</i>) CULTIVAR BRS ALEGRIA	
ALEGRIA	4
RESUMO	4
ABSTRACT	5
1.1 INTRODUÇÃO	6
1.2 MATERIAL E MÉTODOS	8
1.2.1 Local e obtenção dos produtos	8
1.2.2 Colheita e limpeza da quinoa	8
1.2.3 Colheita e limpeza do amaranto	9
1.2.4 Secagem	9
1.2.5 Ajuste dos modelos matemáticos	11
1.2.6 Análise Estatística	12
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
1.3.1 Teores de água, tempos e temperaturas de secagem	13
1.3.2 Distribuição e valores dos resíduos	13
1.3.3 Curvas de secagem dos modelos considerados satisfatórios	17
1.3.4 Coeficientes dos modelos considerados satisfatórios	18
1.3.5 Equações dos modelos selecionados	20
1.4 CONCLUSÕES	21
CAPÍTULO 2: PROPRIEDADES FÍSICAS DAS SEMENTES DE QUINOA (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) CULTIVAR BRS SYETETUBA E AMARANTO (<i>Amaranthus cruentus</i>) CULTIVAR BRS ALEGRIA, DURANTE A SECAGEM	
CULTIVAR BRS ALEGRIA, DURANTE A SECAGEM	22
RESUMO	22
ABSTRACT	23
2.1 INTRODUÇÃO	24
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	26
2.2.1 Obtenção, colheita e secagem	26
2.2.2 Ângulo de repouso (α)	26
2.2.3 Massa específica aparente (ρ_{ap})	27
2.2.4 Massa específica real ou unitária (ρ_u)	28
2.2.5 Porosidade (ϵ)	29

2.2.6	Peso de 1000 sementes (m).....	29
2.2.7	Análise estatística.....	29
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
2.3.1	Ângulo de repouso (α).....	30
2.3.2	Massa específica aparente (ρ_{ap}).....	31
2.3.3	Massa específica real ou unitária (ρ_u).....	32
2.3.4	Porosidade (ϵ).....	34
2.3.5	Peso de 1000 sementes.....	35
2.4	CONCLUSÕES.....	37
CAPÍTULO 3: QUALIDADE DE SEMENTES DE QUINOA (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.)		
CULTIVAR BRS SYTETUBA COLHIDAS EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO,		
DURANTE ARMAZENAMENTO.....		
	RESUMO.....	38
	ABSTRACT.....	39
3.1	INTRODUÇÃO.....	40
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	43
3.2.1	Obtenção, limpeza e secagem.....	43
3.2.2	Determinação do teor de água (TA).....	44
3.2.3	Teste padrão de germinação (TPG).....	44
3.2.4	Testes de vigor.....	45
3.2.4.1	Primeira contagem (PC).....	45
3.2.4.2	Condutividade elétrica (CE).....	45
3.2.4.3	Envelhecimento acelerado (EA).....	45
3.2.5	Análise estatística.....	46
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
3.3.1	Teor de água.....	47
3.3.2	Germinação (TPG).....	48
3.3.3	Testes de vigor.....	49
3.3.3.1	Primeira contagem (PC).....	50
3.3.3.2	Condutividade elétrica (CE).....	51
3.3.3.3	Envelhecimento acelerado (EA).....	53
3.4	CONCLUSÕES.....	55
CONCLUSÕES GERAIS.....		56
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		57

RESUMO

MOSCON, Eder Stolben, Msc., Universidade de Brasília, Fevereiro de 2015. **Cinética de secagem e propriedades físicas de quinoa e amaranto e qualidade de sementes de quinoa.** Orientador: Samuel Martin. Coorientador: Carlos Roberto Spehar.

A necessidade de diversificação de cultivos se torna maior, principalmente em função da demanda por alimentos, tanto para humanos como para animais. Algumas culturas, como a quinoa e o amaranto já são produzidas há milênios e por apresentarem, dentre outros atributos, elevado potencial nutricional, se tornam alternativas interessantes. Porém, existem na literatura poucos trabalhos demonstrando técnicas que propiciem um produto final com qualidade. O processo de secagem, que é responsável pela remoção do excesso de água das sementes, colabora na manutenção da qualidade, estabilidade, poder germinativo, vigor, além de influenciar diretamente suas propriedades físicas. Objetivou-se, com esse trabalho, determinar e modelar as curvas de secagem por meio de modelos matemáticos e determinar e ajustar as propriedades físicas dos grãos de quinoa e amaranto, durante o processo de secagem; avaliar o efeito da colheita em diferentes estádios de maturação na qualidade de sementes de quinoa durante o armazenamento. O trabalho foi desenvolvido na Fazenda Água Limpa e nos laboratórios de Sementes e Análise de Alimentos da Universidade de Brasília/DF, utilizando as variedades de quinoa BRS Syetetuba e amaranto BRS Alegria, durante o período de Abril a Dezembro de 2014. A quinoa foi colhida em quatro estádios de maturação diferentes. O amaranto foi colhido sem distinção de estádios. Para o ajuste das curvas de secagem, os produtos foram secados em diferentes temperaturas. Para qualidade de sementes e para as propriedades físicas, foram secados apenas a 40°C. Page foi o modelo que melhor representou as curvas de secagem de quinoa em todas as temperaturas. Em amaranto nenhum foi totalmente eficiente, porém os modelos de Wang e Shing (30°C e 50°C) e Midilli (70°C) foram selecionados. A secagem afeta as propriedades físicas, causando redução do ângulo de repouso, peso de 1000 grãos e porosidade (quinoa), aumento da massa específica aparente e real (quinoa e amaranto). Tanto a maturação das panículas quanto o período de armazenamento influenciam na qualidade fisiológica das sementes de quinoa.

Palavras-chave: Dessorção; pseudocereal; porosidade; maturidade fisiológica.

ABSTRACT

MOSCON, Eder Stolben, Msc., Universidade de Brasília, February, 2015. **Drying kinetics and physical properties of quinoa and amaranth and quinoa seed quality.** Adviser: Samuel Martin. Co-Adviser: Carlos Roberto Spehar.

Diversification of cropping systems has become necessary to supply the increasing demand for food and raw materials to humans and livestock. Crops such as quinoa and grain amaranth have been grown for millennia, showing interesting attributes, especially their nutritional quality. This turns them into candidates to integrate world's agriculture. However, there is scarce work to define cultivation techniques leading into high seed and grain quality. Drying of seeds has been responsible to remove excess water, contributing to maintain their quality, stability, germination power and vigor, influencing directly their physical properties. This work aimed at determining and modeling drying curves by the use of mathematical models to define and adjust the physical properties during the process. It also aimed at measuring the effect of harvesting at different maturation phases on the quinoa seed quality during storage. Quinoa, cv. BRS Syetetuba, and grain amaranth, cv. BRS Alegria, were grown in Fazenda Água Limpa during April and December 2013, while the respective seeds were analyzed in the seed and food laboratories of the Universidade de Brasília. Quinoa was harvested at four maturation phases, while the harvest of grain amaranth was at physiological maturity. To adjust the drying curves and the physical properties, harvested seeds of both species were dried at different temperatures. The seed quality estimates were based on drying at 40°C. The model that best represented the drying curves for quinoa was the one by Page, whereas in grain amaranth there was no efficient model to represent the drying process. Drying has shown to affect the physical properties, by reducing the resting angle, 1,000 seed weight, and porosity (quinoa only), and increase in the specific and real seed mass (quinoa and amaranth). In quinoa, the panicle maturation phase and the storage period influenced the seed physiological quality.

Key words: Desorption; pseudocereal; porosity; physiological maturity.

INTRODUÇÃO GERAL

A demanda mundial por alimentos cresce anualmente, não só em virtude do aumento populacional, mas também da necessidade de produção de matéria prima exportável, principalmente pelo crescimento do agronegócio. Os caminhos para suprir essa necessidade são o aumento da produtividade, a expansão das fronteiras agrícolas e a diversificação de cultivos. Nos dois primeiros quesitos, o Brasil desponta entre os maiores do mundo. Porém, a diversificação do sistema produtivo ainda depende da introdução e melhoramento de espécies com rápido crescimento, tolerância ao déficit hídrico, produção elevada de biomassa, ciclagem de nutrientes e, sobretudo, propícias ao consumo animal e humano.

A quinoa (*Chenopodium quinoa* Willdenow) vem sendo produzida pela população Andina a milênios. É originária da zona do Altiplano Perú-boliviano, onde é conhecida como quinua. Na Colômbia leva o nome de quinua, suba, supha, pasca, uva, ulva, avala, juba e uca. No Chile é denominada daule e no Equador, quinua, juba, subacguque, ubaque e ubate. A quinoa se mostra uma cultura valorosa, pois além de fazer parte da dieta, garantindo com sua qualidade nutricional a segurança alimentar da população, é de suma importância para a diversidade de cultivos e renda (HANCCO, 2003).

Único alimento vegetal que fornece de forma balanceada todos os aminoácidos essenciais para a vida do ser humano, a quinoa é rica em minerais, vitaminas, é livre de glúten, sendo muito utilizada por pacientes celíacos. Suas proteínas podem ser comparada à caseína do leite (ASCHERI et al., 2002). Recentemente selecionada, a cultivar BRS Syetetuba apresenta grãos livres de saponina, permitindo seu uso direto na alimentação, sem a remoção do pericarpo do fruto, que contém tal substância (SPEHAR et al., 2011).

No Brasil, a história dessa cultura é recente. A quinoa foi introduzida na década de 90 como parte de um esforço para diversificar o sistema de produção no Cerrado. As primeiras tentativas de adaptá-la ao cultivo se deram por seleção em populações híbridas, provenientes de Cambridge, Inglaterra (SPEHAR; SOUZA, 1993). Nos últimos anos, parcerias entre Embrapa Cerrados, Universidade de Brasília e agricultores, têm estimulado a sua adaptação e cultivo no Brasil (SPEHAR 2007).

Recentemente lançada, a cultivar BRS Syetetuba apresentou, em experimentos de verão e entressafra, rendimentos de 2,3 t.ha⁻¹ de grãos e 7,5 t.ha⁻¹

de biomassa total, em 120 dias, da emergência à maturação. Estes resultados superaram aqueles alcançados pelas cultivares padrões BRS Piabiru e Kancolla. Os grãos são livres de saponina e têm peso médio de 2,9 mg. Os resultados indicam que a BRS Syetetuba reúne características favoráveis para desencadear a produção comercial de quinoa no Brasil (SPEHAR et al., 2011).

O amaranto granífero foi domesticado na América há mais de 2000 anos pelas civilizações que nela se desenvolveram (SAUER, 1993), e, com a chegada dos espanhóis, foi disseminado pela Europa, África e Ásia (BRENNER, 2000). O amaranto foi introduzido no Brasil visando à adaptação de espécies de plantas para diversificar o sistema produtivo. A planta pode ser utilizada na proteção do solo e como forragem, no período de entressafra. Além disso, inúmeros alimentos podem ser produzidos a partir dos grãos, tanto para animais como para humanos, especialmente para atender à demanda por dietas especiais, como farinhas, cereais matinais, massas e biscoitos, livres de glúten. São também úteis para pessoas que buscam alternativa à proteína animal, livre de colesterol, e a pessoas celíacas.

A cultivar BRS Alegria (*Amarantus cruentus*) originou-se da linhagem de *A. cruentus* AM 5189, procedente dos Estados Unidos. Após dois anos de ensaios, a partir de 1998, realizou-se seleção massal em AM 5189 e uniformizou-se em relação as características agrônômicas (SPEHAR et al., 2003).

Porém, para que essas culturas possam assegurar o retorno do investimento do produtor, além de todos os cuidados necessários na condução da lavoura, devem ser adotadas técnicas que propiciem um produto final com qualidade superior. Dessa forma, a colheita deve ser feita quando as plantas apresentam grãos/sementes na sua melhor qualidade, buscando evitar perdas, como, por exemplo, com debulha. Nas culturas de quinoa e amaranto, os grãos estão contidos em frutos deiscentes e, no momento da maturação fisiológica, a umidade dos grãos é elevada, necessitando serem secados.

A secagem é uma das etapas do pré-processamento e tem por finalidade retirar o excesso de água do produto, levando a um equilíbrio do mesmo com o ar ambiente onde será armazenado. Durante a secagem, as propriedades físicas e mecânicas do produto são influenciadas diretamente por este fenômeno. Assim, a correta determinação e modelagem destas características são de suma importância na otimização dos processos industriais, projeto e dimensionamento de

equipamentos utilizados nas operações de colheita e pós-colheita (RESENDE, 2006).

Existem muitas maneiras de se realizar a secagem de produtos agrícolas, desde a exposição ao ar livre ou mediante o uso de equipamentos que realizam a retirada do excesso de água de forma rápida e eficiente. Esse procedimento deve ser feito de modo a preservar a aparência, a qualidade nutritiva dos grãos e a viabilidade como semente (SILVA et al., 2008).

Portanto, embora que se tenha evoluído no melhoramento, seleção e adaptação de quinoa e amaranto às condições edafoclimáticas do cerrado Brasileiro, existem poucos estudos relativos ao processamento e beneficiamento dos grãos. Diante do exposto, o presente trabalho teve como finalidade modelar a cinética de secagem e avaliar as variações das propriedades físicas nas sementes de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivar BRS Syetetuba e amaranto (*Amaranthus cruentus*) cultivar BRS Alegria, além de estudar o efeito da colheita em diferentes estádios de maturação na qualidade de sementes de quinoa, durante o armazenamento.

Para se alcançar estes objetivos o trabalho foi dividido em três etapas distintas e complementares:

- Determinação e modelagem das curvas de secagem utilizando modelos matemáticos, para grãos de quinoa e amaranto;
- Determinação e ajuste das propriedades físicas dos grãos de quinoa e amaranto, durante a secagem;
- Avaliação do efeito da colheita em diferentes estádios de maturação na qualidade de sementes de quinoa, durante o armazenamento.

CAPÍTULO 1: CINÉTICA DE SECAGEM DE QUINOA (*Chenopodium quinoa* Willd.) CULTIVAR BRS SYTETUBA E AMARANTO (*Amaranthus cruentus*) CULTIVAR BRS ALEGRIA

RESUMO

A secagem de produtos agrícolas é largamente utilizada no mundo, para o controle e a manutenção da sua qualidade. O estudo de sistemas de secagem, seu dimensionamento, otimização e a determinação da viabilidade de sua aplicação comercial podem ser feitos por simulação matemática. Assim, o presente trabalho objetivou analisar a secagem de quinoa e amaranto e ajustar modelos matemáticos existentes aos valores experimentais de razão de umidade. Os grãos de quinoa e amaranto estavam inicialmente com teor de água de 29,4% e 67,47% (b.s.), respectivamente, sendo submetidos à secagem em estufa com circulação forçada de ar, nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C para quinoa e 30, 50 e 70°C para amaranto, até atingirem teores de água entre 10,34 a 5,76% (b.s.). Treze modelos matemáticos citados na literatura e utilizados para a representação do processo de secagem de produtos agrícolas foram ajustados aos dados experimentais. Com base nos resultados obtidos, concluiu-se que os modelos de Page, Midilli e Aproximação da Difusão foram os que apresentaram os coeficientes estatísticos mais satisfatórios para descrever as curvas de secagem de quinoa, em todas as temperaturas estudadas. O modelo de Page foi selecionado para descrever as curvas de secagem de quinoa devido à facilidade de uso e simplicidade. Entre os modelos testados para descrever as curvas de secagem de amaranto, nenhum modelo obteve coeficientes estatísticos satisfatórios em todas as temperaturas estudadas. O modelo de Wang e Singh foi o que melhor representou os dados experimentais de amaranto, nas temperaturas de 30 e 50°C e na temperatura de 70°C, o modelo Midilli foi selecionado devido à aleatoriedade dos resíduos e a simplicidade de uso.

Palavras-chave: Modelagem matemática; Dessorção; Pseudocereal.

ABSTRACT

Drying of agricultural products is commonly used worldwide for the control and the maintenance of its quality. The study of drying systems, their design, optimization and determining the viability of its commercial application may be made by mathematical simulation. This study aimed to evaluate drying quinoa and amaranth seeds and to fit mathematical models at different experimental moisture ratio values. The grains of quinoa and amaranth were initially with a water content of 29.4 and 67.47% (bs), respectively, and subjected to oven drying with forced air at temperatures of 40, 50, 60 and 70 ° C for quinoa and 30, 50 and 70 ° C for amaranth until they reached different water contents. Thirteen mathematical models used to represent the drying process of agricultural products were fitted to experimental data. The models by Page, Midilli and Approximation of Diffusion presenting the most satisfactory statistical coefficients to describe quinoa drying curves in all temperatures studied. Page model was selected to describe quinoa drying curves because of its ease and simplicity. Among the tested models to describe amaranth drying curves, no model statistical coefficients obtained satisfactory at all temperatures studied. The Wang and Singh model was represented to improve the experimental data of amaranth at temperatures of 30 to 50 ° C and 70 ° C, the Midilli model was chosen because of the randomness of residue and simplicity of use.

Key Words: Mathematical modeling; Desorption; pseudocereal

1.1 INTRODUÇÃO

O componente principal da maioria dos produtos agrícolas é a água e esta tem uma ampla influência em suas propriedades. A diminuição da quantidade de água do material reduz a atividade biológica e as mudanças químicas e físicas que ocorrem durante o armazenamento. A secagem é o processo responsável pela remoção de água e o mais utilizado para assegurar a qualidade e a estabilidade dos grãos (RESENDE, 2006).

Conceitualmente, a secagem é definida como processo simultâneo de transferência de calor e massa (umidade) entre o produto e o ar de secagem. Essa transferência ocorre devido à diferença de pressão de vapor de água entre a superfície do produto a ser secado e o ar que o envolve. A principal condicionante para que ocorra a secagem é a de que a pressão de vapor na superfície do produto seja maior que a do ar de secagem (SILVA et al., 2008).

Entre a classificação dos os métodos de secagem, estão o artificial e o natural (GARCIA et al., 2004), A secagem artificial é dividida em duas categorias, sendo a secagem em baixa temperatura, aquela onde se utiliza o ar natural ou aquecido de 1 a 8°C acima da temperatura ambiente. A secagem em alta temperatura consiste em aquecer o ar a temperaturas iguais ou superiores a 8 - 10°C acima da temperatura ambiente (VILLELA, 1991).

Para a investigação do processo de secagem, a abordagem adequada deve ser feita pelo uso da análise de leito em camada delgada, o qual pode ser considerado um elemento de volume do leito de camada espessa, em que a temperatura e a umidade relativa do ar de secagem que atravessa a massa de produto podem ser consideradas constantes (CORRÊA et al., 2003).

O estudo de sistemas de secagem, seu dimensionamento, otimização e a determinação da viabilidade de sua aplicação comercial podem ser feitos por simulação matemática, cujo princípio se fundamenta na representação da secagem de sucessivas camadas delgadas do produto com a utilização de um modelo matemático que represente satisfatoriamente a redução da água contida no produto (ANDRADE; BORÉM, 2008).

Existem na literatura três métodos propostos para analisar a secagem de produtos higroscópicos em camadas finas: os teóricos, os semiempíricos e os

empíricos (BRUCE, 1985; MOHAPATRA; RAO, 2005; SIMAL et al., 2005; AKPINAR, 2006; DOYMAZ, 2007; COSTA, 2011; BOTELHO, 2012; MORAIS et al., 2013).

Os métodos teóricos normalmente consideram, além das condições externas sob as quais ocorreu a operação, como também os mecanismos internos de transferência de energia e massa e seus efeitos (ISQUIERDO, 2011). A segunda lei de Fick tem sido utilizada por estabelecer a difusão de água, em termos do gradiente de concentração (ERBAY; ICIER, 2010).

O mecanismo da difusão líquida é muito complexo devido à diversidade da composição química e estrutura física dos produtos. Os dados disponíveis na literatura apresentam elevada variação nos seus valores, não só devido à complexidade dos produtos, como também em função dos diferentes métodos de estimação, tipo de material, teor de água, processo de secagem e metodologia utilizada para sua obtenção (RESENDE, 2006).

Os modelos semi-teóricos e empíricos, baseados na lei de resfriamento de Newton, oferecem, frequentemente, facilidade de uso, porém são válidos somente para as faixas de temperatura, umidade relativa, velocidade do ar e teor de água em que eles foram obtidos. Entre os modelos de secagem em camada fina, citam-se de Henderson e Pabis, Dois Termos e de Page (SOUZA et al., 2011), Exponencial, Thompson e Wang e Singh (MOHAPATRA; RAO, 2005), utilizados nos estudos de secagem de produtos agrícolas e de alimentos (MARTINAZZO et al., 2007).

Recentemente, têm-se realizados inúmeros trabalhos com o objetivo de identificar as características de diversos produtos agrícolas durante a secagem: Morais et al. (2013), para grãos de feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.); Martinazzo et al. (2007) para folhas de capim limão (*Cymbopogon citratus* (DC) Stapf); Goneli et al. (2014), para folhas de erva baleeira (*Cordia verbenacea* DC.); Tunde-Akintunde (2014), para banana e Sousa et al. (2011) para sementes de nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.).

Portanto, considerando a importância do estudo teórico do processo de secagem dos produtos agrícolas e a limitação de informações a respeito dos fenômenos que ocorrem durante a secagem, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de analisar a secagem de quinoa e amaranto e ajustar diferentes modelos matemáticos aos valores experimentais.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 Local e obtenção dos produtos

A obtenção dos grãos de quinoa, Cultivar BRS Syetetuba e de amaranto, cultivar BRS Alegria, foi realizada na Fazenda Água Limpa (FAL), área experimental da Universidade de Brasília, localizada em Brasília-DF, nas coordenadas 15°56' S 47°56'W e altitude média de 1.080 m. O cultivo foi sob irrigação, sendo a água necessária para o desenvolvimento das plantas disponibilizada por aspersão convencional. Dentre os tratos culturais, foram realizadas apenas duas capinas em ambas as culturas, sendo a primeira aos 15 e 60 dias após a emergência. Os nutrientes foram supridos pelo estoque existente no solo, como resíduo de cultivos anteriores.

1.2.2 Colheita e limpeza da quinoa

A quinoa foi implantada em Abril de 2014 e colhida em Agosto de 2014, em período de entressafra, segundo Spehar et al. (2011). As panículas foram colhidas de forma manual, quando os grãos já haviam atingido na maturação fisiológica.

Depois de debulhadas as panículas e limpos os grãos em máquina de ar, os mesmos foram peneirados para uniformizar o tamanho, a fim de se obter uma secagem mais homogênea. Como os grãos de quinoa apresentaram forma cilíndrica e tamanhos variados, foram classificados como grandes os grãos com diâmetro maior de 2,38 mm, intermediários os grãos com diâmetro entre 2,38 e 2 mm; pequenos os de diâmetro menor de 2 mm (PUMACAHUA-RAMOS et al., 2011, adaptado). As peneiras empregadas para classificação dos grãos foram as mesmas usadas para granulometria de solos, sendo as malhas com abertura de 2,38 mm (ABNT 8, TYLER 8), 2,00 mm (ABNT 10, TYLER 9). Neste trabalho foram utilizados os grãos de quinoa de tamanho intermediário (2,38 a 2 mm).

As panículas de quinoa foram colhidas conforme seu estágio de maturação (Figura 1). Para o presente capítulo, foram usadas apenas grãos do estágio E4, pois se obteve maior volume de produto e estes estavam com menor teor de água (29,4 % (b.s)).

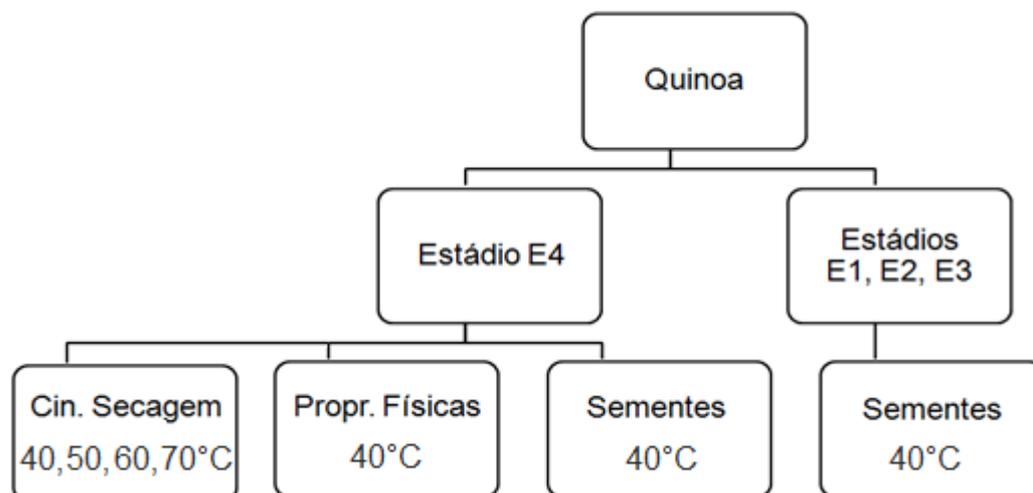


Figura 1. Esquema do critério de colheita e utilização de grãos/semantes de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivar BRS Syetetuba.

1.2.3 Colheita e limpeza do amaranto

O amaranto foi implantado em Março de 2014 e colhido em Julho de 2014, em período de entressafra, segundo Spehar et al. (2003). As panículas foram colhidas de forma manual, com os grãos na maturação fisiológica e apresentando teor de água inicial de 67,47% (b.s.). Os grãos de amaranto foram limpos com o uso da máquina de ar. A Figura 2 mostra como foram separadas as frações colhidas e quais foram suas destinações.

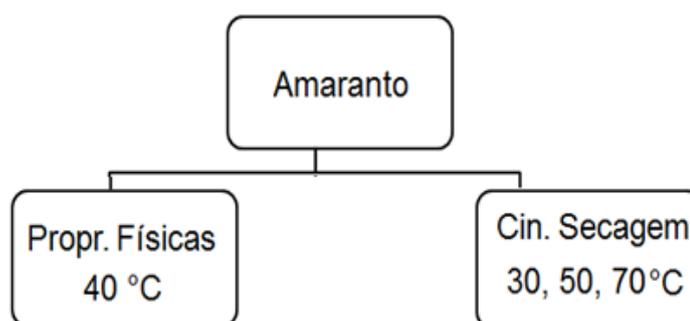


Figura 2. Esquema do fracionamento e utilização dos grãos de amaranto (*Amaranthus cruentus*) cultivar BRS Alegria.

1.2.4 Secagem

Após a classificação, os grãos foram acondicionados em Câmara Incubadora para Demanda Bioquímica de Oxigênio (B.O.D.) à $5 \pm 0,5$ °C, em embalagens semipermeáveis (sacos plásticos), até se proceder a secagem. Porém, antes de serem levados a secagem, os grãos foram retirados da B.O.D e deixados expostos à

temperatura ambiente, dentro da embalagem, durante aproximadamente 12 h, visando atingir o equilíbrio térmico com o ambiente.

O procedimento de secagem foi realizado no Laboratório de Análise de Alimentos (LAA) da Faculdade de Agronomia e Veterinária (FAV), Universidade de Brasília (UnB), em Brasília/DF.

A secagem dos grãos de quinoa foi realizada na primeira semana de Setembro de 2014, em estufa com ventilação forçada, em camadas finas (0,01 m, de camada inicial). As temperaturas do ar de secagem foram de 40, 50, 60 e $70\pm 2^{\circ}\text{C}$. Foram utilizadas 4 bandejas com aproximadamente 200 g de grãos cada.

Para amaranto, as temperaturas de secagem foram de 30, 50 e $70\pm 2^{\circ}\text{C}$, sendo também 04 bandejas, com aproximadamente 250 g de grãos em cada (0,01 m, de camada inicial). A secagem foi realizada na segunda semana de Agosto de 2014.

O acompanhamento da redução do teor de água com o decorrer do tempo de secagem foi realizada pelo método gravimétrico (perda de peso), conhecendo-se o teor de água inicial do produto. Além disso, foram retiradas das bandejas em cada pesagem, 2 amostras de 5 g de produto e estas levadas a estufa, $105\pm 1^{\circ}\text{C}$ (Brasil, 2009) para aferição do teor de água.

Os intervalos de pesagem foram de 60, 45, 30 e 20 min nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C , respectivamente, para a quinoa. Para o amaranto, os intervalos foram de 120 min nas temperaturas de 30 e 50°C e 60 min para a temperatura de 70°C . As diferenças nos intervalos de pesagem de se deram em função da umidade inicial de cada produto bem como da temperatura de secagem utilizada. Foram adotados intervalos menores, para temperaturas maiores, baseado em estudo preliminar feito pelos autores e para que houvesse semelhante número de observações em todos os tratamentos.

Para o teor de água de equilíbrio, 3 amostras de 6 g de quinoa e 2 amostras de 3 g de amaranto foram colocadas em recipientes metálicos e levadas a estufa. Foram realizadas pesagem em intervalos de 1 h, até que a variação da massa das amostras nas últimas três pesagens fossem inferiores ou igual a 0,001 g. Em seguida foi determinado o teor de água em estufa a 105°C (BRASIL, 2009), obtendo-se, assim, a umidade de equilíbrio higroscópico do produto para cada condição de secagem.

A partir dos dados de perda de massa das amostras durante a secagem e dos teores de água final, foram calculadas as razões de umidade e construídas as curvas de razão de umidade em função do tempo de secagem, conforme Equação 1.

$$RU = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} \quad (1)$$

onde: RU = razão de umidade do produto (adimensional); X = teor de água absoluto do produto (% b.s.); X_i = teor de água inicial do produto (% b.s.); X_e = teor de água de equilíbrio (% b.s.).

1.2.5 Ajuste dos modelos matemáticos

Aos dados observados da secagem dos grãos de quinoa e amaranto foram ajustados diferentes modelos matemáticos (Tabela 1). Os parâmetros dos modelos foram estimados em função da variável tempo, para cada temperatura.

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

Designação	Modelo	Equação
Page	$RU = \exp(-kt^n)$	(2)
Midilli	$RU = a \exp(-kt^n) + bt$	(3)
Dois Termos	$RU = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$	(4)
Exp. de Dois Termos	$RU = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kat)$	(5)
Aproxim. da Difusão	$RU = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kbt)$	(6)
Henderson e Pabis	$RU = a \exp(-kt)$	(7)
Henderson e Pabis Modificada	$RU = a \exp(-kt) + b \exp(-k_0t) + c \exp(-k_1t)$	(8)
Wang e Singh	$RU = 1 + at + bt^2$	(9)
Verma	$RU = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-k_1t)$	(10)
Thompson	$RU = \exp\left(-a - (a^2 + 4bt)^{0,5}\right) / 2b$	(11)
Newton	$RU = \exp(-kt)$	(12)
Logarítmico	$RU = a \exp(-kt) + c$	(13)
Page Modificada	$RU = \exp(-kt)^n$	(14)

onde: RU = razão de umidade, adimensional; t = tempo de secagem (min); k , k_0 , k_1 = constantes de secagem (s^{-1}); a , b , c , n = coeficientes dos modelos.

Estes modelos são tradicionalmente utilizados para prever o fenômeno da secagem de produtos agrícolas (BRUCE, 1985; MOHAPATRA; RAO, 2005; SIMAL et al., 2005; AKPINAR, 2006; DOYMAZ, 2007; RADÜNZ et al., 2011; COSTA, 2011; BOTELHO, 2012; MORAIS et al., 2013).

1.2.6 Análise Estatística

Para o ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais de secagem, realizou-se análise de regressão não linear, pelo método Quasi-Newton, por meio de programa computacional. Foram consideradas as magnitudes do coeficiente de determinação (R^2), a magnitude do erro médio relativo (P) e do desvio padrão da estimativa (SE) e ainda a facilidade de uso do modelo. Considerou-se que, quanto menores foram as magnitudes desses índices, melhor o ajuste do modelo aos dados observados experimentalmente. Os valores de P e SE para cada modelo foram estimados pelas Equações 15 e 16, respectivamente:

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad (15)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (16)$$

onde: Y : valor observado experimentalmente; \hat{Y} : valor estimado pelo modelo; n : número de dados observados; e GLR : graus de liberdade do resíduo (número de observações menos o número de parâmetros do modelo).

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.3.1 Teores de água, tempos e temperaturas de secagem

A Tabela 2 mostra os tempos, teores de água e temperaturas de secagem utilizadas no presente trabalho.

Tabela 2. Teores de água inicial, final e de equilíbrio, tempos e temperaturas de secagem de grãos de quinoa, cultivar BRS Syetetuba e amaranto, cultivar BRS Alegria

Cultura	Teor de água inicial (% b.s.)	Teor de água final (% b.s.)	Teor de água de equilíbrio (% b.s.)	Tempo (min)	Temperatura (°C)
Quinoa	29,4	8,95	8,95	540	40
		6,95	6,85	450	50
		6,43	5,01	300	60
		5,76	3,96	200	70
Amaranto	67,47	10,34	10,31	1320	30
		7,28	6,82	720	50
		5,01	4,60	420	70

Notou-se que com o aumento da temperatura, o tempo gasto para secagem foi menor para ambas as culturas. O teor de água teve redução acentuada no início do processo de secagem, vindo a se tornar parcialmente constante no decorrer do tempo. Isso tem sido verificado em diversos produtos agrícolas, como para Almeida et al. (2009), ao secarem feijão adzuki; Santos et al. (2010) com frutos de carambola; Dioymaz, (2010) com fatias de berinjela; Costa et al. (2011) com sementes de crambe; Diógenes et al. (2013) com de grãos de abóbora.; Moraes Filho et al. (2014) na secagem de resíduo de acerola.

1.3.2 Distribuição e valores dos resíduos

Na Tabela 3 são apresentados os valores dos erros e das tendências de distribuição dos resíduos dos treze modelos analisados por meio de regressão não linear, aos dados experimentais utilizados para descrever o processo de secagem de quinoa.

Tabela 3. Coeficientes de determinação (R^2), erros médio relativo (P, decimal), desvio padrão estimado (SE, decimal) e distribuição dos resíduos (D.R.) dos treze modelos analisados para a secagem de quinoa, cultivar BRS Syetetuba, nas temperaturas 40, 50, 60 e 70°C

Modelo	40°C			50°C		
	R ²	P	SE	R ²	P	SE
Page	0,9996	0,0441	0,0073	0,9994	0,0652	0,0088
Henderson e Pabis	0,9911	0,2856	0,0345	0,9933	0,2254	0,0289
Midilli	0,9998	0,0521	0,0064	0,9994	0,0652	0,0098
Wang e Singh	0,9950	0,2165	0,0258	0,9878	0,2627	0,0391
Verma	0,9974	0,1382	0,0198	0,9915	0,2644	0,0347
Thopson	0,9893	0,3197	0,0378	0,9915	0,2647	0,0327
Newton	0,9893	0,3196	0,0357	0,9915	0,2644	0,0310
Henderson e Pabis Modificado	0,9911	0,2856	0,0488	0,9933	0,2254	0,0388
Logarítmico	0,9970	0,1404	0,0214	0,9965	0,1050	0,0223
Exponencial de Dois Termos	0,9892	0,3191	0,0380	0,9914	0,2663	0,0329
Dois termos	0,9996	0,0503	0,0087	0,9933	0,2254	0,0328
Aproximação da Difusão	0,9996	0,0505	0,0081	0,9996	0,0657	0,0070
Page Modificada	0,9893	0,3196	0,0378	0,9915	0,2644	0,0327
	60°C			70°C		
Page	0,9994	0,0182	0,0087	0,9994	0,0281	0,0083
Henderson e Pabis	0,9890	0,1285	0,0369	0,9909	0,0949	0,0326
Midilli	0,9997	0,0222	0,0068	0,9998	0,0177	0,0054
Wang e Singh	0,9971	0,0396	0,0190	0,9988	0,0296	0,0120
Verma	0,9840	0,1586	0,0472	0,9996	0,0244	0,0070
Thopson	0,9840	0,1588	0,0445	0,9872	0,1166	0,0387
Newton	0,9840	0,1586	0,0422	0,9873	0,1166	0,0367
Henderson e Pabis Modificado	0,9945	0,1285	0,0496	0,9909	0,0949	0,0437
Logarítmico	0,9945	0,0469	0,0277	0,9954	0,0658	0,0245
Exponencial de Dois Termos	0,9836	0,1608	0,0450	0,9872	0,1168	0,0387
Dois termos	0,9890	0,1285	0,0419	0,9909	0,0949	0,0369
Aproximação da Difusão	0,9999	0,0176	0,0043	0,9996	0,0244	0,0070
Page Modificada	0,9840	0,1586	0,0445	0,9873	0,1166	0,0386

Na Tabela 4 são apresentados os valores dos erros e das tendências de distribuição dos resíduos dos treze modelos analisadas para descrever o processo de secagem de amaranto, em diversas temperaturas.

Tabela 4. Coeficientes de determinação (R^2), erros médio relativo (P, decimal), desvio padrão estimado (SE, decimal) e distribuição dos resíduos (D.R.) dos treze modelos analisados para a secagem de amaranto, cultivar BRS Alegria, nas temperaturas 30, 50 e 70°C.

Modelo	30±2°C			50±2°C		
	R ²	P	SE	R ²	P	SE
Page	0,9955	0,2861	0,0333	0,9959	0,4028	0,0368
Henderson e Pabis	0,9894	0,6217	0,0510	0,9903	1,1633	0,0569
Midilli	0,9977	0,1312	0,0267	0,9968	0,4450	0,0419
Wang e Singh	0,9985	0,0757	0,0191	0,9981	0,2101	0,0254
Verma	0,9978	0,1501	0,0245	0,9898	1,2180	0,0652
Thopson	0,9885	0,6610	0,0530	0,9898	1,2186	0,0584
Newton	0,9885	0,6608	0,0505	0,9898	1,2180	0,0533
Henderson e Pabis Modificado	0,9894	0,6222	0,0658	0,9903	1,1636	0,1273
Logarítmico	0,9975	0,1715	0,0261	0,9963	0,7018	0,0392
Exponencial de Dois Termos	0,9884	0,6676	0,0533	0,9898	1,2185	0,0584
Dois termos	0,9894	0,6217	0,0570	0,9903	1,1633	0,0735
Aproximação da Difusão	0,9955	0,3340	0,0350	0,9957	0,5223	0,0423
Page Modificada	0,9885	0,6608	0,0529	0,9898	1,2180	0,0584
	70±2°C					
Page	0,9998	0,1844	0,0092			
Henderson e Pabis	0,9880	1,3278	0,0683			
Midilli	0,9998	0,1180	0,0117			
Wang e Singh	0,9977	1,0656	0,0303			
Verma	0,9880	1,3278	0,0764			
Thopson	0,9880	1,3266	0,0684			
Newton	0,9880	1,3278	0,0624			
Henderson e Pabis Modificado	0,9894	1,2112	0,1440			
Logarítmico	0,9998	0,1424	0,0102			
Exponencial de Dois Termos	0,9880	1,3283	0,0683			
Dois termos	0,9995	0,1064	0,0180			
Aproximação da Difusão	0,9995	0,1064	0,0156			
Page Modificada	0,9880	1,3278	0,0683			

O coeficiente de determinação (R^2) varia de 0 a 1 e mostra da força da relação entre os dados observados e estimados, sendo que quanto mais próximo da unidade, maior é a relação (VIEIRA, 2012). De acordo com as Tabelas 3 e 4, tanto para quinoa como amaranto, nos modelos e faixas de temperaturas estudados, os

valores de R^2 variaram entre 0,98 a 0,99. Isso evidencia uma representação satisfatória do processo de secagem (CHAYJAN; SHADIDI, 2014). Porém, Madamba et al. (1996) apud Costa et al. (2011) e Goneli (2008), afirmam que para modelos não lineares, apenas o valor de R^2 não constitui um bom critério de seleção.

Verifica-se que quanto melhor foi o ajuste do modelo, em relação aos dados observados, menor foi o valor encontrado para desvio padrão da estimativa (SE). A capacidade de um modelo para descrever, com fidelidade, um determinado processo físico é inversamente proporcional ao valor de SE (DRAPER; SMITH, 1998 apud GONELI et al., 2014b). Também valores inferiores a 10% do erro médio relativo (P) indicam, de acordo com Mohapatra e Rao (2005), que o modelo se mostra adequado para a descrição do processo de secagem.

Para quinoa os modelos Page, Midilli e Aproximação da Difusão apresentaram valores do erro médio relativo (P) inferior a 10% e menores magnitudes de SE em todas as temperaturas estudadas (Tabela 3). A seleção e a recomendação do melhor modelo se fundamentam na simplicidade de aplicação e no número de coeficientes favoráveis (RESENDE, 2006). Embora os modelos de Page, Midilli e Aproximação da Difusão possam ser recomendados para a representação da cinética de secagem em camadas finas de grãos de quinoa, neste trabalho o modelo selecionado foi o de Page, tendo por base a facilidade de uso e simplicidade do mesmo.

A secagem em camada fina de diversos produtos tem sido representadas pelo modelo de Page, como em sementes de milho doce (CORRÊA et al., 2005), grãos de feijão (CORRÊA et al., 2007), carambola (SANTOS et al., 2010), tomate (SANJINEZ-ARGANDONA et al., 2011), sementes de mamão (VENTURINI et al., 2012), massa fibrosa de mandioca (CASTIGLIONI et al., 2013), abacaxi (OLANIPEKUN et al., 2014), e mandioca (TORREGROZA-ESPINOSA et al., 2014).

Nota-se que para amaranto (Tabela 4) apenas o modelo Wang e Singh (30°C) atingiu valores de P inferiores a 10%. Para a temperatura de 50°C o modelo Wang e Singh foi o de melhor ajuste. Os modelos de Midilli (30°C e 70°C), Dois Termos e Aproximação da Difusão (70°C) apresentaram os menores valores de P, variando entre 10% e 12%. Não se obteve um modelo com unanimidade de resultados estatísticos satisfatórios em todas as temperaturas avaliadas para descrever o processo de secagem em camadas finas de sementes de amaranto, mas sim um ou

mais de um dentro de cada faixa de temperatura. Portanto, para 30°C e 50°C foi selecionado o modelo de Wang e Singh e para 70°C, o modelo de Midilli.

1.3.3 Curvas de secagem dos modelos considerados satisfatórios

As curvas de secagem foram representadas em função da razão de umidade e do tempo de secagem (Figura 3); Os modelos de Page(a), Midilli (b) e Aproximação da Difusão (c) mostraram-se satisfatórios, com elevada concordância entre valores observados e estimados para cada faixa de temperatura.

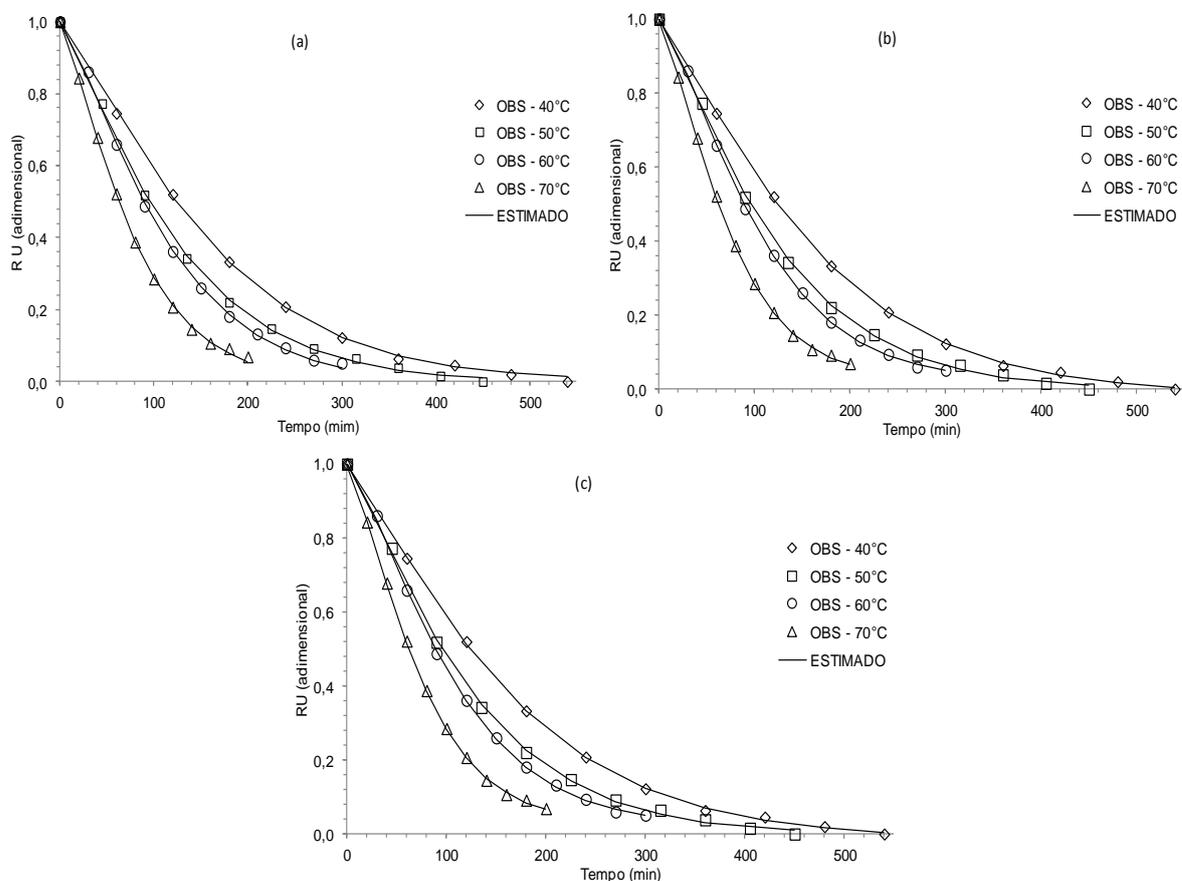


Figura 3. Curvas de secagem experimentais e estimadas de pelos modelos (a) Page, (b) Midilli e (c) Aproximação da Difusão para grãos de quinoa Cultivar BRS Syetetuba, em diversas temperaturas.

Para amaranto, os modelo de (a) Wang e Singh a 30 e 50°C e (b) Midilli, a 70°C, representaram os valores observados e estimados pelo para amaranto, em função do tempo (Figura 4).

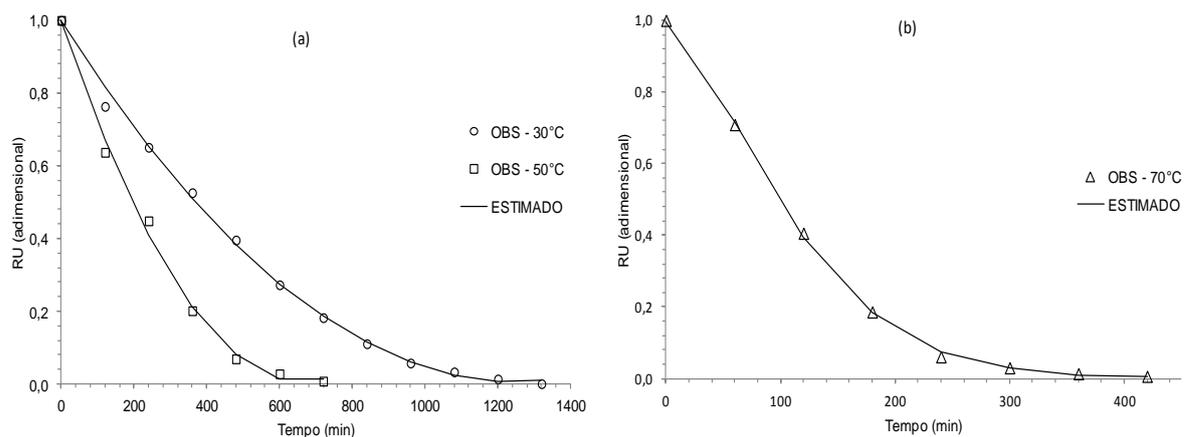


Figura 4. Curvas de secagem estimadas pelo modelo (a) Wang e Singh (b) Midilli, para grãos de amaranto, cultivar BRS Alegria, nas temperaturas de 30 a 70°C.

Constatou-se o efeito da temperatura sobre a curva de secagem dos produtos (Figuras 3 e 4). Notou-se que, com a elevação da temperatura do ar de secagem, ocorreu maior taxa de remoção de água das grãos (GONELI, 2008). Esse comportamento tem sido verificado por diversos autores para diversos produtos agrícolas, como para Fiorentin et al. (2010) com bagaço de laranja, Reis et al. (2011) com pimenta, Diógenes et al. (2013) com grãos de abóbora, Moraes Filho et al. (2014) com resíduo de acerola, Ayadi et al. (2014) com hortelã, Darvishi et al. (2014) com pimenta.

1.3.4 Coeficientes dos modelos considerados satisfatórios

A constante de secagem (k) pode ser utilizada como aproximação para caracterizar o efeito da temperatura e está relacionada à difusividade efetiva no processo de secagem no período decrescente e à difusão líquida que controla o processo (MADAMBA et al., 1996; BABALIS; BELESSIOTIS, 2004). Essa constante pode ter comportamento variado. A exemplo, Botelho et al. (2011), quando estudaram secagem de fatias de cenoura (*Daucus carota* L) por infravermelho, o valor aumentou linearmente com a elevação da temperatura do ar de secagem. Outros valores encontrados por Corrêa et al. (2007), buscando estimar e avaliar as curvas de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e Sousa et al. (2014) estudando a cinética de secagem de morango (*Fragaria* sp.), corroboram com a condição encontrada no presente trabalho, uma vez que o valor diminuiu ou variou com o aumento da temperatura.

Os coeficientes dos modelos matemáticos ajustados aos dados observados na modelagem das curvas de secagem em camada fina dos grãos de quinoa e amaranto, estão expressos na Tabela 5 e na Tabela 6, respectivamente.

Tabela 5. Coeficientes dos mais adequados modelos matemáticos ajustados da curva de secagem de grãos de quinoa, Cultivar BRS Syetetuba, sob diversas temperaturas

Temperatura	Modelo	Coeficientes Ajustados			
		a	b	k	n
40°C	Page	-	-	0,001681	1,249729
	Midilli	0,998625	-0,000022	0,001891	1,223198
	Aprox. da Difusão	-44,330595	0,984780	0,010986	-
50°C	Page	-	-	0,002729	1,213575
	Midilli	1,004437	-6,98E-08	0,002831	1,207182
	Aprox. da Difusão	-0,283147	0,269056	0,036322	-
60°C	Page	-	-	0,002236	1,276278
	Midilli	1,004337	0,000068	0,001948	1,313228
	Aprox. da Difusão	-0,392459	0,317865	0,035329	-
70°C	Page	-	-	0,004163	1,236439
	Midilli	0,996414	-0,000168	0,003145	1,322601
	Aprox. da Difusão	-0,525050	0,445393	0,036453	-

Temp. = temperatura; k: constantes de secagem (min^{-1}); a b e n: coeficientes dos modelos.

Tabela 6. Coeficientes dos mais adequados modelos matemáticos ajustados da curva de secagem de grãos de amaranto, cultivar BRS Alegria, sob diversas temperaturas

Temperatura	Modelo	Coeficientes Ajustados			
		a	b	k	n
30°C	Wang e Singh	-0,001589	6,35E-07	-	-
50°C		-0,003001	2,26E-06	-	-
70°C	Midilli	0,997568	5,58E-06	0,000746	1,488363

Temp. = temperatura; k: constante de secagem (min^{-1}); a b e n: coeficientes dos modelos.

Como a constante k representa as condições externas de secagem (AFONSO JÚNIOR, 2001), a oscilação no presente trabalho pode ter ocorrido devido a diferenças ambientais (temperatura e umidade relativa do ar) no momento da secagem, haja visto que a mesma não aconteceu no mesmo período para todas as temperaturas.

A variação nos valores das constantes disponíveis na literatura, não só se deve à complexidade dos produtos, mas também em função dos diferentes métodos de estimação, metodologia e processo de secagem, tipo de material, teor de água, composição química e a estrutura física dos produtos (GONELI et al., 2014b).

1.3.5 Equações dos modelos selecionados

Nas Tabelas 7 e 8 estão plotadas as equações dos modelos selecionados para representar as curvas de secagem em camada fina dos grãos de quinoa e amaranto, respectivamente.

Tabela 7. Equações do modelo Page, selecionado para representar a cinética de secagem de grãos de quinoa, Cultivar BRS Syetetuba, em diferentes temperaturas

Modelo	Temperatura	Equação	Número
Page	40°C	$RU = \exp(-0,001681 t^{1,2497})$	(17)
	50°C	$RU = \exp(-0,002729 t^{1,2136})$	(18)
	60°C	$RU = \exp(-0,002236 t^{1,2763})$	(19)
	70°C	$RU = \exp(-0,004163 t^{1,2364})$	(20)

Ru = razão de umidade (adimensional); t = tempo de secagem (min).

Tabela 8. Equações dos modelos com melhores ajustes estatísticos, selecionados para representar a cinética de secagem de grãos de amaranto, cultivar BRS Alegria, em diversas temperaturas

Modelo	Temperatura	Equação	Número
Wang e Singh	30°C	$RU = 1 - 0,001589t + 6,35e^{-7}t^2$	(21)
Singh	50°C	$RU = 1 - 0,003001t + 2,26e^{-6}t^2$	(22)
Midilli	70°C	$RU = 0,9976 \exp(-0,000746t^{1,4884}) + 5,58e^{-6}t$	(23)

Ru = razão de umidade (adimensional); t = tempo de secagem (min).

1.4 CONCLUSÕES

Os modelos de Page, Midilli e Aproximação da Difusão foram, apresentam os coeficientes estatísticos mais satisfatórios para descrever as curvas de secagem de grãos de quinoa, em todas as temperaturas estudadas.

O modelo de Page é eficiente e descreve de forma simplificada as curvas de secagem de grãos de quinoa.

O modelo de Wang e Singh melhor representa os dados experimentais de amaranto, nas temperaturas de 30 e 50°C.

Na temperatura de 70°C, o modelo Midilli mostra-se mais eficiente, com simplicidade de uso.

CAPÍTULO 2: PROPRIEDADES FÍSICAS DAS SEMENTES DE QUINOA (*Chenopodium quinoa* Willd.) CULTIVAR BRS SYETETUBA E AMARANTO (*Amaranthus cruentus*) CULTIVAR BRS ALEGRIA, DURANTE A SECAGEM

RESUMO

A secagem influencia diretamente nas propriedades físicas dos produtos agrícolas e sua correta determinação são de suma importância na otimização dos processos industriais, projeto e dimensionamento de equipamentos utilizados nas operações de colheita e pós-colheita. Assim, buscou-se com o presente trabalho, determinar e avaliar as propriedades físicas das sementes de quinoa e amaranto ao decorrer da secagem. Os teores iniciais de água eram de 27,48% e 64,78% (b.s.) para quinoa e amaranto, respectivamente. As sementes foram submetidas à secagem, em estufa com ventilação forçada de ar, na temperatura de 40°C, até atingirem teores médios de 11,58% (b.s.) para amaranto e 11,21% (b.s.) para quinoa. Durante a secagem, em diferentes teores de água, foram determinadas as seguintes propriedades físicas: ângulo de repouso, massa específica aparente, massa específica real, porosidade e peso de 1000 sementes. Os dados observados foram submetidos à análise de regressão, sendo considerada a significância da equação, pelo teste F e a magnitude do coeficiente de determinação ajustado (R^2). A secagem afetou diretamente as propriedades físicas das sementes de quinoa, proporcionando a diminuição do ângulo de repouso, do peso de 1000 sementes e da porosidade, além de proporcionar o aumento da massa específica aparente e da massa específica real; quanto ao amaranto, a secagem causou a diminuição do ângulo de repouso e do peso de 1000 sementes, além do aumento na massa específica real e da massa específica aparente. Em relação à porosidade, esta apresentou decréscimo até atingir 22,04% (b.s.) e após isso, acréscimo; o modelo de regressão linear simples descreveu satisfatoriamente todas as propriedades físicas de quinoa e algumas de amaranto, apenas não satisfazendo a massa específica real e a porosidade, que foram explicadas por modelo exponencial.

Palavras-chave: Porosidade; Teor de água; Massa específica.

ABSTRACT

Drying directly influences the physical properties of agricultural products and correct determination of the physical properties is of paramount importance in the optimization of industrial processes, project and design of equipment used in harvesting and post-harvest operations. Therefore, our objective with this study, determine and evaluate the physical properties of quinoa and amaranth seeds the course of drying. The initial water content of seed were 27.48 and 64.78% (bs) for quinoa and amaranth, respectively. The grits were dried in an oven with forced air ventilation, temperature 40 ° C to achieve average content of 11.58% (bs) and 11.21% for amaranth (bs) for quinoa. During drying at different water contents were determined the following physical properties: angle of repose, specific apparent mass, real density, porosity and weight of 1,000 seeds. The data observed were submitted to regression analysis to determinate the significance of the equation, the F test and the magnitude of the adjusted coefficient of determination (R^2). Drying directly affect the physical properties of quinoa seeds, providing the decrease in angle of repose, of 1,000 seeds weight and porosity, in addition to providing increased bulk density and the specific mass; as to amaranth, drying caused the decrease in angle of repose and 1000 seeds weight, and increased in the actual density and the bulk density. With respect to porosity, it showed a decrease to reach 22.04% (db) after this addition; the simple linear regression model satisfactorily described all the physical properties of quinoa and amaranth some, just not satisfying the real density and porosity, which were explained by exponential model.

Key boards: Porosity; Water content; Density.

2.1 INTRODUÇÃO

Os estudos envolvendo secagem, sobretudo no transporte de calor e massa e movimentação de ar em massas granulares, requerem o conhecimento de algumas características físicas dos produtos, sejam grãos ou sementes. A correta determinação das propriedades físicas é de suma importância na otimização dos processos industriais, projeto e dimensionamento de equipamentos utilizados nas operações de colheita e pós-colheita (CORRÊA et al., 2006).

A porosidade e a massa específica, o teor de água e o peso de um determinado número de sementes são também parâmetros básicos para o estudo das condições de secagem e armazenagem de produtos agrícolas (GONELI et al., 2011). A quantificação das propriedades físicas possibilita a predição de perdas de qualidade do material, partindo da colheita até o momento de sua comercialização (SILVA et al., 2003).

Segundo Monsenin (1986) apud Dias (2007), a massa específica de um material é a razão entre sua massa e seu volume. Existem diferenças entre massa específica aparente e massa específica real. A massa específica aparente compreende não só o volume dos produtos, mas também o volume ocupado pelo ar nos espaços intergranulares. Quando considerado apenas o volume ocupado pela massa granular do material, tem-se a massa específica real. Estas duas podem ser determinadas por meio de equipamentos (método indireto), tais como balança de peso hectolítrico e picnômetro, ou deslocamento de líquido (método direto).

A massa específica aparente é a razão entre a massa do sólido e o volume do sólido contendo poros. Quando há maior quantidade de poros, ou seja, menor massa de produto em dado volume constante, tem-se menores valores de massa específica aparente (OLIVEIRA et al., 2014).

A porosidade é descrita como sendo a relação entre o volume ocupado pelo ar existente na massa granular e o volume total ocupado por esta massa (SASSERON, 1984; DIAS, 2007). A sua determinação é importante, pois tem grande influência sobre a pressão de ar que atravessa determinada massa de produto e, conseqüentemente, no dimensionamento de ventiladores e potência de motores, sistemas de secagem e aeração (SILVA et al., 2000).

O ângulo de talude, ou ângulo de repouso, é aquele descrito como sendo o ângulo formado pelo produto, ao escoar através de um fluxo constante, com o plano horizontal, sendo altamente influenciado pelo teor de água, forma, tamanho e constituição externa do grão (BAJAY et al., 2011). Pelo fato de afetar a capacidade estática e a descarga nos silos e armazéns (PUZZI, 2000), da capacidade de correias transportadoras e do dimensionamento de moegas, dutos e rampas de descarga (CORRÊA; SILVA, 2003), sua determinação é de suma importância.

Durante o processo de secagem, a redução do teor de água influencia diretamente as propriedades físicas das sementes, além de provocar o encolhimento das mesmas (RESENDE et al., 2005). Siqueira et al. (2012) afirmam que cada produto se comporta de forma diferente durante o processo de secagem devido a suas características particulares de geometria e composição química.

Na literatura são encontrados muitos estudos sobre propriedades físicas de produtos, como Magalhães et al. (2000) para café; Amin et al. (2004) para lentilha; Ribeiro et al. (2005); Resende et al. (2006); Corrêa et al. (2006a) para trigo; Mwithiga e Sifuna (2006) para sorgo; Altuntas e Yildiz (2007) para feijão fava; Ixtainaa et al. (2008) para chia; Nunes (2009) com quinoa; Siqueira et al. (2012) para pinhão manso; Ren et al. (2014) para aveia.

Considerando o exposto e a grande importância e variabilidade existente nas propriedades físicas dos produtos agrícolas, o presente trabalho teve como objetivo determinar e avaliar as propriedades físicas das sementes de quinoa e amaranto ao decorrer da secagem.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Obtenção, colheita e secagem

A obtenção dos produtos e sua limpeza estão descritos nos subitens 1.2.1, 1.2.2 e 1.2.3. A secagem foi realizada conforme subitem 1.2.4, sendo que a diferença principal foi o emprego da temperatura única de 40°C (SARAIVA et al., 2007; Menezes et al., 2012) para determinação das propriedades físicas em ambas as culturas. O teor de água inicial médio observado foi de 27,48% (b.s.) para quinoa e 64,78% (b.s.) para amaranto. As sementes de quinoa foram secas até atingir teor de água médio de 11,21% (b.s.) e amaranto até 11,58% (b.s.).

2.2.2 Ângulo de repouso (a)

Para a determinação do ângulo de repouso utilizou-se o equipamento apresentado na Figura 5, baseado em Magalhães et al. (2000) para pequenas sementes.

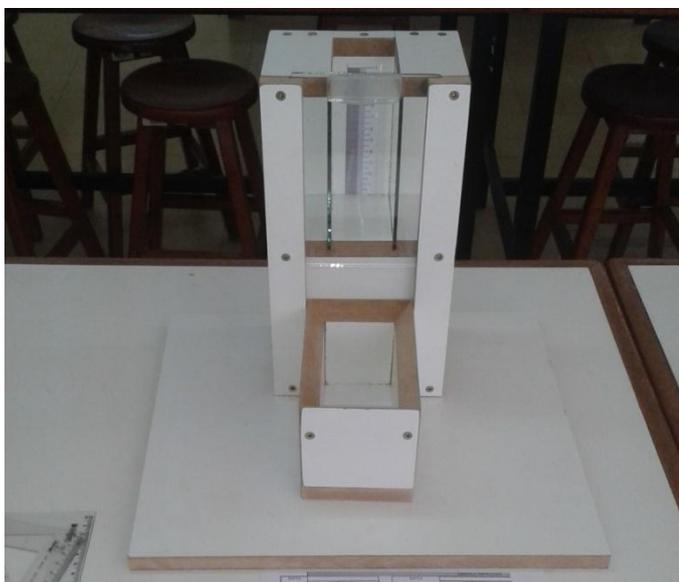


Figura 5. Equipamento utilizado para determinação do ângulo de talude de sementes de (a) quinoa, cultivar BRS Syetetuba e amaranto, cultivar BRS Alegria (Fonte: Autor).

O equipamento consiste em uma caixa retangular construída em vidro e MDF com uma escala afixada na parede oposta a descarga na qual foram plotados distâncias de milímetro em milímetro. As sementes foram colocados no interior do

equipamento utilizando-se um becker de 1 L, que ficava sempre apoiado na lateral do equipamento, visando manter a altura de descarga semelhante em todas as repetições. Foram feitas duas repetições para cada amostragem (NETO et al., 2012 e SOUZA et al., 2013, adaptado).

O ângulo de repouso foi calculado pela Equação 24 e os resultados transformados em graus.

$$\text{arc tan} = \frac{\text{cat.op.}}{\text{cat.adj.}} \quad (24)$$

onde arc tan = tangente; cat. op. = cateto oposto, representado pela leitura na escala afixada na parede oposta a descarga (mm); cat. adj. = base interna do equipamento (mm).

2.2.3 Massa específica aparente (ρ_{ap})

Utilizou-se uma balança eletrônica com resolução de 0,01 g e uma proveta graduada com capacidade de 0,25 L, (Figura 6), em três repetições (SIQUEIRA et al., 2012). Para garantir a acomodação natural das sementes, além da homogeneidade entre repetições, foi utilizado um funil apoiado ao recipiente onde as mesmas foram despejados.

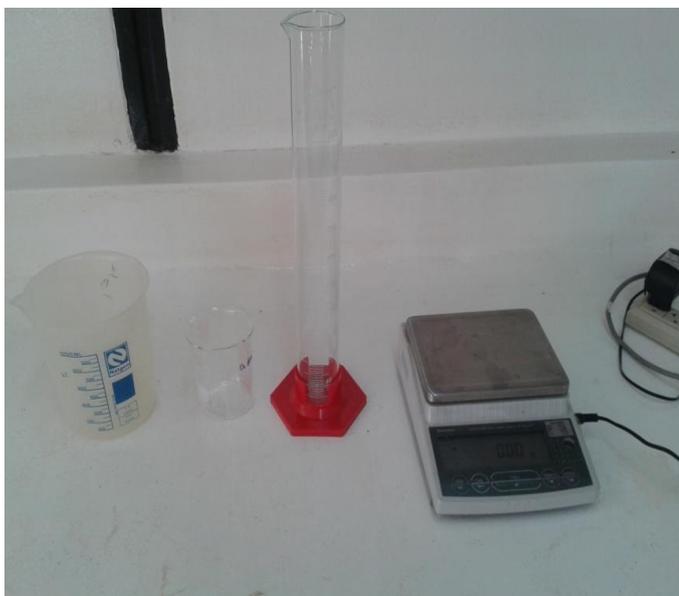


Figura 6. Proveta de 0,25 L e balança eletrônica, usadas para determinação da massa específica aparente (ρ_{ap}) de sementes de quinoa, cultivar BRS Syetetuba e amaranto, cultivar BRS Alegria (Fonte: Autor).

Em seguida, calcularam-se os valores da massa específica aparente (ρ_{ap}) das sementes com o uso da Equação 25.

$$\rho_{ap} = \frac{m_{sementes}}{V_{sementes}} \quad (25)$$

onde: ρ_{ap} = massa específica aparente, (kg.m^{-3}); $V_{sementes}$ = volume das sementes, (m^3); $m_{sementes}$ = massa das sementes (kg).

2.2.4 Massa específica real ou unitária (ρ_u)

A massa específica real ou unitária das sementes foi determinada por meio da relação entre a massa e o volume ocupado pelas mesmas. Para isso, usou-se uma balança analítica (0,001 g), e amostra de 2 g de sementes retiradas aleatoriamente do montante de produto, em três repetições. A Figura 7 ilustra os equipamentos utilizados.



Figura 7. Equipamentos utilizados na determinação do volume unitário de sementes de quinoa, cultivar BRS Syetetuba e amaranto, cultivar BRS Alegria (Fonte: Autor).

O volume unitário foi determinado usando-se a metodologia de complementação de volume (MOREIRA et al., 1985; RUFFATO et al., 1999; CORRÊA; SILVA, 2003; RUFFATO et al., 2011; SOUZA et al., 2013). As sementes foram colocadas em balões volumétricos de 0,025 L e o volume completado com óleo de soja, com o auxílio de bureta graduada de 0,025 L. Pela diferença entre o

volume ocupado pelo óleo e as sementes, no interior do balão, foi calculada a massa específica unitária, conforme Equação 26:

$$\rho_u = \frac{m \text{ sementes}}{V_{\text{balão}} - V_{\text{óleo}}} \quad (26)$$

onde: ρ_u = massa específica real ou unitária, (kg.m^{-3}); $V_{\text{balão}}$ = volume do balão, (m^3); $V_{\text{óleo}}$ = volume de óleo utilizado, (m^3); m sementes = massa das sementes (kg).

2.2.5 Porosidade (ϵ)

A determinação da porosidade foi feita indiretamente por meio da Equação 27 descrita por Mohsenin (1986), apud Ruffato et al. (2011), Siqueira et al. (2012), Souza et al. (2013) e Araujo et al. (2014).

$$\epsilon = \left[1 - \left(\frac{\rho_{ap}}{\rho_u} \right) \right] * 100 \quad (27)$$

onde: ϵ = porosidade, (%); ρ_{ap} = massa específica aparente, (kg.m^{-3}); ρ_u = massa específica real ou unitária, (kg.m^{-3}).

2.2.6 Peso de 1000 sementes (m)

O peso de 1000 sementes foi determinado a partir da contagem aleatória de 500 sementes, em três repetições, para cada teor de água ao longo da secagem (BRASIL, 2009, adaptado). Posteriormente, utilizou-se uma balança analítica com resolução de 0,001 g para pesagem da massa do produto.

2.2.7 Análise estatística

Os resultados experimentais de porosidade, massa específica real e aparente, peso de 1000 sementes e ângulo de repouso foram submetidos à análise de regressão em programa estatístico. Foram consideradas a significância da equação, pelo teste F e a magnitude do coeficiente de determinação ajustado (R^2). O R^2 pode ser entendido como a proporção de variação de uma variável que é explicada pela variação da outra variável, e quanto mais perto da unidade, mais relação entre as variáveis ele expressa (VIEIRA, 2012).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos subitens abaixo são encontrados os valores estimados e observados para todas as variáveis estudadas. Os resultados estatísticos estão apresentados de forma simplificada.

2.3.1 Ângulo de repouso (a)

Nas Figuras 8(a) e 8(b) apresenta-se o comportamento linear dos valores experimentais e estimados do ângulo formado pelas sementes de quinoa e amaranto, respectivamente, em função do teor de água.

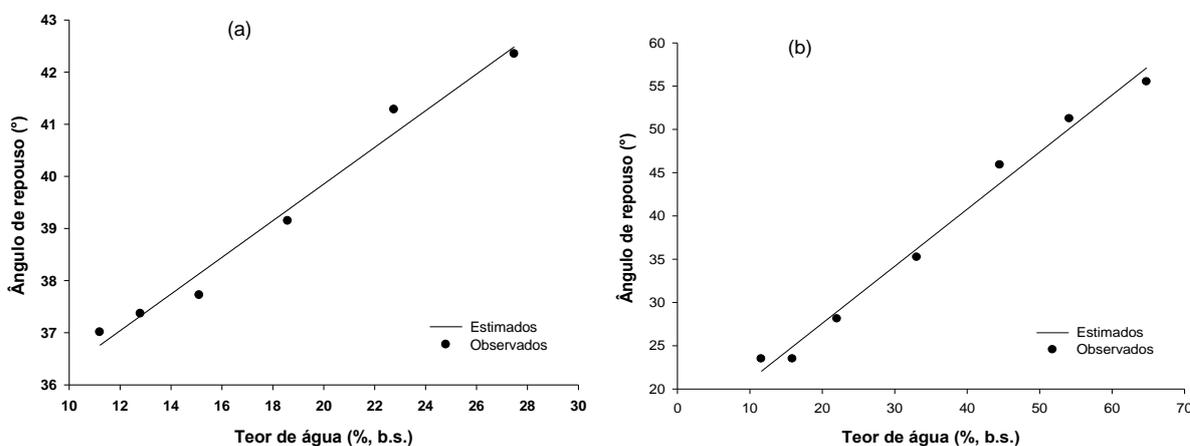


Figura 8. Valores observados e estimados do ângulo de repouso (a), em função do teor de água, para sementes de (a) quinoa, cultivar BRS Syetetuba e (b) amaranto, cultivar BRS Alegria.

Verificou-se que o valor do ângulo decresceu linearmente com a diminuição do teor de água (secagem) nas sementes, apresentando elevado coeficiente de determinação. Silva e Corrêa (2000) afirmam ser o ângulo de repouso altamente influenciado pelo teor de água do produto. Verificou-se ainda que, com a redução do teor de água de 27,48% a 11,21% (b.s.) para quinoa, o talude diminuiu linearmente de 42,35° para 37,01°. Os teores inicial e final de água para amaranto foram de 64,87% e 11,58% (b.s.), respectivamente. Já seu talude de repouso inicial foi de 55,52° e o final de 23,49°.

A relação entre o ângulo de repouso e o teor de água nas sementes de quinoa pôde ser descrita pela Equação 28. Para amaranto, pela Equação 29.

$$a = 32,8176 + 0,3518 U \quad R^2 = 0,9794^{**} \quad (28)$$

$$a = 14,3963 + 0,6596 U \quad R^2 = 0,9933^{**} \quad (29)$$

U: teor de água (%; b.s.); ** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

Essa relação de linearidade entre ângulo de repouso (a) e teor de água (U) foi observada para quinoa por Vilche et al. (2003), quando obtiveram valores de 21° e 25° para os teores de água de 4,6% e 25,8% (b.s.), respectivamente. Constatada também em outros produtos agrícolas por outros autores, como Coskuner e Karababa (2007) para a linhaça (33,4° a 16,81%, b.s. e 21,6° a 6,09%, b.s.); Ixtainaa et al. (2008) para chia (17.1±0.4° a 7%, b.s.); Souza et al. (2013) para arroz cultivar BR IRGA 409 (21°) e BRS Primavera (17°), ambos a 10,62% (b.s.).

Outra observação importante é a diferença no talude final formado por cada grão. Certamente, o tamanho das sementes influenciou no resultado, uma vez que ambos estavam próximos a 11% (b.s.). Medeiros et al. (2000) afirmam que o tamanho, a forma, o teor de água e a orientação das partículas exercem influência no ângulo de repouso.

Logo, esse resultado de aumento no ângulo de repouso é esperado em grande parte dos produtos agrícolas, principalmente pelo incremento do teor de água. Isso se deve à aglomeração, quando se trata de materiais moídos, e ao aumento da área de contato produto/produto, no caso de produtos inteiros (OLIVEIRA et al., 2014).

2.3.2 Massa específica aparente (ρ_{ap})

Nas Figuras 9(a) e 9(b) são apresentados os valores estimados e observados da massa específica aparente (ρ_{ap}) para as sementes de quinoa e de amaranto, respectivamente.

Conforme a Figura 9(a) notou-se um aumento linear da massa específica aparente com a redução do teor de água nas sementes. Os valores experimentais para a quinoa variaram de 624 a 687 Kg.m⁻³, para os teores de água (U) entre 27,48 e 11,21% (b.s.), respectivamente.

Notou-se também o comportamento linear e decrescente em função do aumento no teor de água nas sementes, em amaranto, na Figura 9(b). O amaranto detinha inicialmente 640 Kg.m⁻³ de ρ_{ap} com 64,78% (b.s.), atingindo 800 Kg.m⁻³ no final da secagem aos 11,85% (b.s.). Relação linear entre ρ_{ap} e teor de água, além de

maiores valores de ρ_{ap} , foram encontrados por Abalone et al., (2004), sendo 840 e 720 Kg.m^{-3} para 7,7% e 34,9% (b.s.), respectivamente, para *Amaranthus cruentus*.

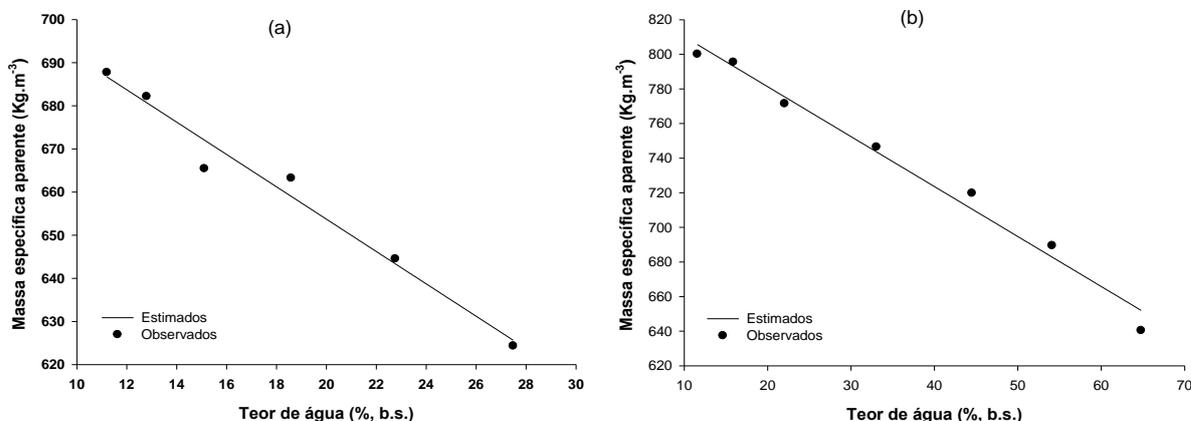


Figura 9. Valores observados e estimados da massa específica aparente (ρ_{ap}) das sementes de (a) quinoa, cultivar BRS Syetetuba e (b) amaranto, cultivar BRS Alegria, em função do teor de água.

A massa específica decresce linearmente com o aumento do teor de água, tanto para quinoa como para amaranto e tal fato pode ser comprovado com base nos elevados valores dos coeficientes de determinação das equações e suas significâncias estatísticas ajustadas aos dados experimentais. Essa relação da ρ_{ap} em função da secagem também foi observada por: Özarşlan (2002), para sementes de algodão; Vilche et al. (2003), para quinoa; Corrêa et al. (2006a), para trigo; Mwithiga e Sifuna (2006), para três variedades de sorgo; Yalçın (2007) e Bajay et al. (2011), para feijão caupi; Karaj e Müller (2010), para pinhão manso; Helmich et al. (2014), para sementes de girassol; Ren et al. (2014), para aveia.

A relação descrita na Figura 9(a) pôde ser expressa pela Equação 30 e na Figura 9(b), pela Equação 31.

$$\rho_{ap} = 728,7345 - 3,7509 U \quad R^2 = 0,9758^{**} \quad (30)$$

$$\rho_{ap} = 839,0624 - 2,8874 U \quad R^2 = 0,9843^{**} \quad (31)$$

U: teor de água (% b.s.); ** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

2.3.3 Massa específica real ou unitária (ρ_u)

Na Figura 10(a) estão representados os valores observados e estimados da massa específica real de sementes de quinoa. Observou-se uma redução linear de ρ_u com o aumento do teor de água. A Figura 10(b) mostra o comportamento

exponencial da massa específica real que os dados mensurados de amaranto apresentaram, em função do teor de água nelas contida.

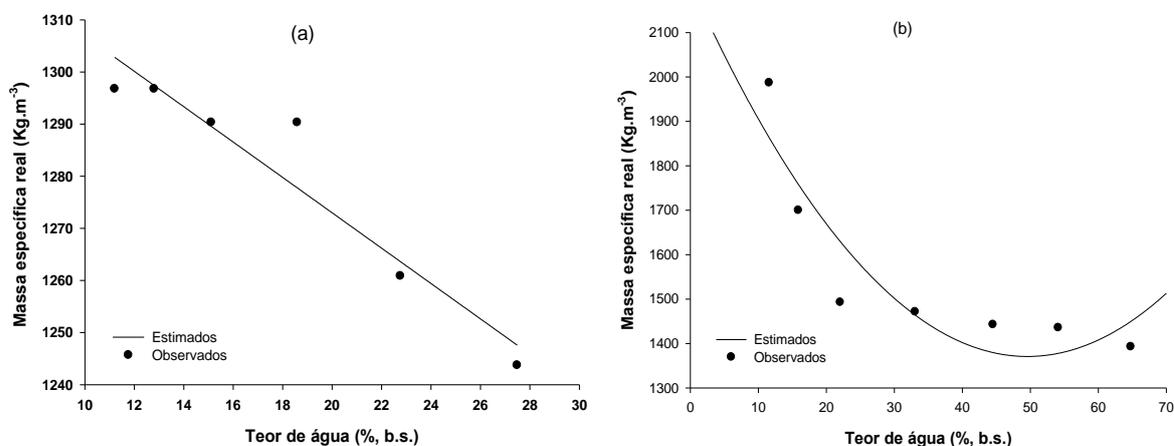


Figura 10. Valores observados e estimados da massa específica real ou unitária (ρ_u) nas sementes de (a) quinoa, cultivar BRS Syetetuba e (b) amaranto, cultivar BRS Alegria, em função do teor de água.

Os valores experimentais de ρ_u em quinoa variaram de 1243,75 a 1296,77 Kg.m^{-3} , em um intervalo de umidade de 27,48 a 11,21% (b.s.), respectivamente. Os maiores valores obtidos para ρ_u , em relação a ρ_{ap} , podem ser explicados pelo fato de que a densidade real, absoluta ou verdadeira representa apenas o volume único da massa de sementes, excluindo os poros abertos e os fechados, assim como, demais espaços vazios. É a densidade absoluta dos materiais do qual o sólido é formado (BRITO et al., 2012).

Os valores de ρ_u iniciais e finais em amaranto foram de 1392,86 e 1987,27 Kg.m^{-3} , para os teores de água de 64,78 e 11,58% (b.s), respectivamente. Mendoza et al. (2003), para *Amaranthus hypochondriacus*, encontraram valores médios de ρ_u em torno de 1370 Kg.m^{-3} em um intervalo de teor de água de 5 a 20% (b.s.).

Nota-se que, diferentemente da quinoa, para amaranto o comportamento de ρ_u não foi linear. Abalone et al. (2004) também encontraram comportamento não linear de ρ_u para amaranto, mas sim quadrático, corroborando com o presente trabalho. A redução na massa específica real ou unitária com o aumento do teor de água da semente é explicada pela menor densidade da água em relação aos demais componentes da mesma (Bajay et al., 2011).

Uma possível explicação para a mudança abrupta nos valores de ρ_u pode ser a contração volumétrica. A desidratação dos grãos reduz os espaços intercelulares, modificando as dimensões e o volume, alterando positivamente a massa específica

real do produto (AFONSO JUNIOR; CORRÊA, 2000). Embora não se tenha determinado o tamanho das sementes, percebeu-se durante a realização da secagem que estas começaram a se contrair depois de terem atingido um determinado teor de água. Cabe então um futuro estudo buscando a explicação deste fenômeno.

Comportamento muito semelhante para a massa específica real deste trabalho foi encontrado por Sharanagat e Goswami (2014) buscando determinar algumas propriedades físicas e mecânicas de sementes de coentro (*Coriandrum sativum*) em função do teor de água. Também encontrada para sementes de romã (KINGSLY, 2006) e linhaça (SELVI, 2006).

A relação linear entre o teor de água (U) e a massa específica real (ρ_u) nas sementes pôde ser estimada com o uso da Equação 32 (quinoa) e Equação 33 (amaranto).

$$\rho_u = 1340,8405 - 3,3928 U \quad R^2 = 0,9116^{**} \quad (32)$$

$$\rho_u = 2209,9255 - 33,8434 U + 0,3413 U^2 \quad R^2 = 0,8230^{**} \quad (33)$$

U: teor de água (% b.s.); ** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

2.3.4 Porosidade (ϵ)

Nas Figuras 11(a) e 11(b) são apresentados os valores observados e estimados da porosidade da massa das sementes de quinoa e amaranto, respectivamente, em função do teor de água.

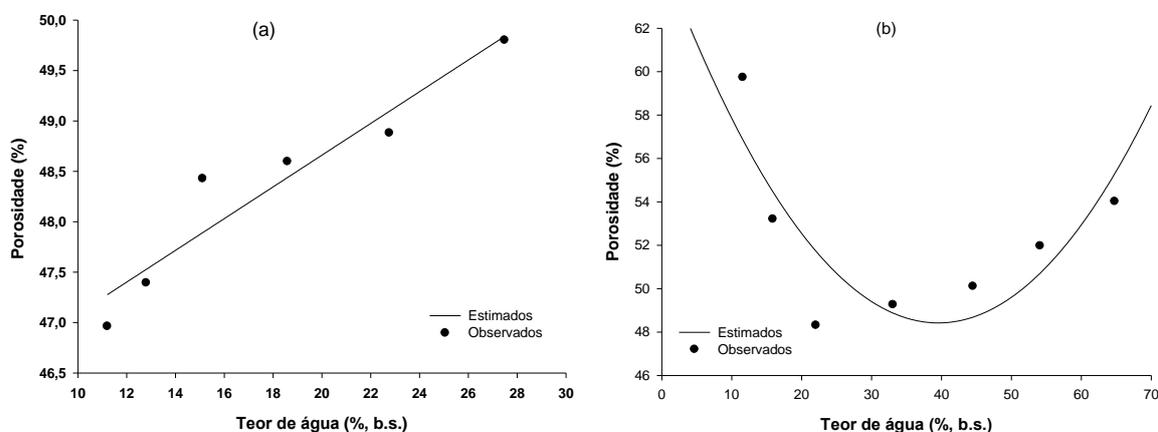


Figura 11. Valores observados e estimados da porosidade (ϵ) da massa de sementes de (a) quinoa, cultivar BRS Syetetuba e (b) amaranto, cultivar BRS Alegria, em função do teor de água.

A porosidade da massa de sementes de quinoa decresceu com o decorrer da secagem, apresentando valores entre 49,80% e 46,96% para a faixa de teor de água estudada, tendo elevado valor do coeficiente de determinação (R^2). A porosidade das sementes de quinoa apresentou comportamento semelhante ao da maioria dos produtos agrícolas.

A porosidade em amaranto variou, iniciando em 54,02% e decrescendo até 48,32%, quando veio a crescer até atingir 59,74%. A redução do teor de água foi de 64,78% para 11,58%. O comportamento não linear da porosidade para o amaranto se deu possivelmente em função de que esta propriedade física foi calculada indiretamente, através da relação entre a massa específica aparente e a real, sendo que a última também teve comportamento quadrático.

Corroboram com estes resultados Siqueira et al. (2012), que também não encontraram linearidade na porosidade de pinhão manso, vindo a afirmarem que as divergências nos valores de porosidade podem estar relacionadas com a diversidade genética das variedades e o manejo adotado durante os períodos pré-colheita e/ou pós-colheita. Corrêa et al. (2006) também encontraram comportamento não-linear da porosidade em trigo, principalmente quando o trigo estava com baixo teor de água, vindo a atribuir tal comportamento ao erro experimental. Para Oliveira et al. (2014), a porosidade de café variou de modo evidente entre diferentes níveis de granulometria.

A regressão linear simples expressada pela Equação 34 representou os valores experimentais mostrados na Figura 11(a) para quinoa. A Equação 35 expressou os valores observados na Figura 11(b) para amaranto.

$$\varepsilon = 45,5132 + 0,1574 U \qquad R^2 = 0,9100^{**} \qquad (34)$$

$$p = 65,1063 - 0,8542 U + 0,0108 U^2 \qquad R^2 = 0,6977^{**} \qquad (34)$$

U: teor de água (%; b.s.); ** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

2.3.5 Peso de 1000 sementes

Com relação ao peso de mil sementes, observa-se na Figura 12(a) que a redução do teor de água durante a secagem resultou na redução do peso das sementes de quinoa. Para amaranto, o peso de 1000 sementes em função da redução no teor de água está expressa na Figura 12(b).

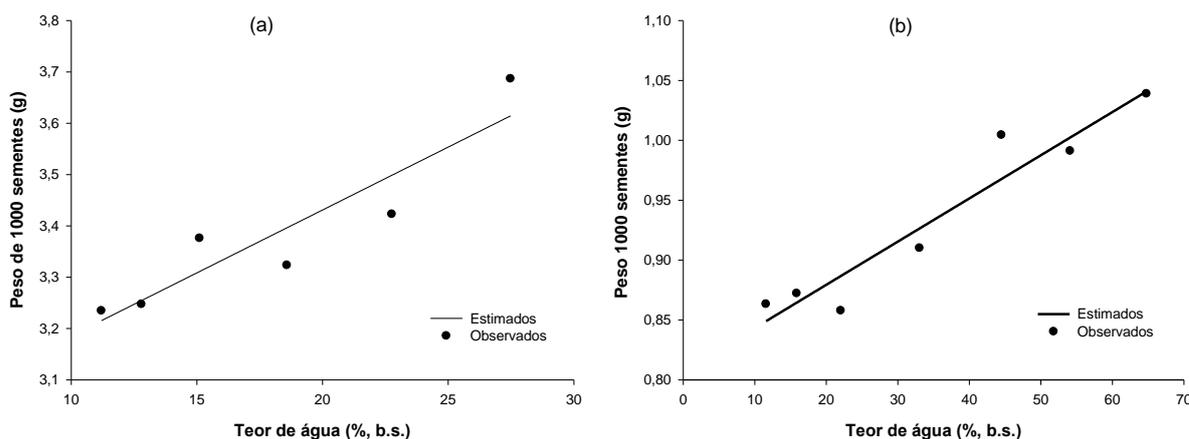


Figura 32. Valores experimentais e estimados da massa de mil sementes (m) de (a) quinoa, cultivar BRS Syetetuba e (b) amaranto, cultivar BRS Alegria, em função do teor de água.

Observou-se que com o decorrer do processo de secagem, o peso de 1000 sementes de quinoa reduziu de 3,69 g para 3,23 g (12,47%). Percebeu-se um aumento de 0,0527 g no peso das sementes quando estas estavam com 15,11% (b.s.), em relação ao peso anterior. Esta variação pode ser atribuída a diferença existente no tamanho ou ao erro experimental.

Em amaranto, com a redução do teor de água de 64,78% para 11,58% (b.s.), o peso variou de 1,04 g para 0,8633 g, respectivamente. Teixeira et al. (2003) afirmam que as sementes de amaranto têm de 1 mm a 1,5 mm de diâmetro e 0,5 mm de espessura e peso varia entre 0,49 mg e 0,93 mg, com grande parte de seu volume preenchida pelo embrião.

Assim, os resultados para quinoa e amaranto concordam com os obtidos por outros pesquisadores, que observaram comportamento semelhante para diversos produtos agrícolas, como linhaça (COSKUNER; KARABABA, 2007), feijão (RESENDE et al., 2008), melão (BANDE et al., 2012), e amendoim (ARAUJO et al., 2014).

A redução de peso na massa de sementes em função do teor de água (U) durante a secagem foi satisfatoriamente representada modelo de regressão linear para quinoa (Equação 36) e para amaranto (Equação 37).

$$m = 2,9408 + 0,0245 U \quad R^2 = 0,8480^{**} \quad (36)$$

$$m = 0,8073 + 0,0036 U \quad R^2 = 0,9172^{**} \quad (37)$$

U: teor de água (% b.s.); ** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

2.4 CONCLUSÕES

A secagem influencia diretamente as propriedades físicas das sementes de quinoa, proporcionando a diminuição do ângulo de repouso, do peso de 1000 sementes e da porosidade, aumento da massa específica aparente e da massa específica real.

Em amaranto, a secagem causa diminuição do ângulo de repouso e do peso de 1000 sementes, aumento na massa específica real e da massa específica aparente, com a porosidade apresentando decréscimo até atingir 22,04% (b.s.) e após isso, acréscimo.

O modelo de regressão linear simples descreve satisfatoriamente todas as propriedades físicas de quinoa e algumas de amaranto, apenas não satisfazendo a massa específica real e a porosidade, ambas explicadas por modelo quadrático.

CAPÍTULO 3: QUALIDADE DE SEMENTES DE QUINOA (*Chenopodium quinoa* Willd.) CULTIVAR BRS SYTETUBA COLHIDAS EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO, DURANTE ARMAZENAMENTO

RESUMO

A necessidade de utilizar sementes de alta qualidade se apresenta como base para aumento da produtividade agrícola. O momento adequado de colheita, associado à maturidade fisiológica, são eventos importantes na produção de sementes. O presente trabalho objetivou avaliar a qualidade fisiológica e o armazenamento de sementes de quinoa colhidas em diferentes estádios de maturação. Para tal, foram colhidas panículas em quatro estádios de maturação, com base na sua coloração e abertura dos perigônios, sendo: totalmente verdes sem perigônios abertos (E1), parcialmente verdes com alguns perigônios abertos (E2), parcialmente secas com aproximadamente metade dos perigônios abertos (E3) e secas com todos os perigônios abertos (E4). As sementes foram submetidas a secagem até atingirem teor de água de $10 \pm 1\%$ (b.u.), armazenadas em embalagens semipermeáveis e levadas a ambiente refrigerado (10°C). As avaliações ocorreram com 1, 30, 71 e 104 dias de armazenagem. O delineamento adotado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 (estádios) x 4 (períodos), com 4 repetições. Foi medido o teor de água. A qualidade das sementes foi avaliada pelos testes padrão de germinação, primeira contagem, condutividade elétrica e envelhecimento acelerado. Concluiu-se que a melhor qualidade fisiológica (germinação e vigor) de sementes de quinoa ocorre quando as panículas encontram-se parcialmente ou totalmente secas com todos ou a maioria dos perigônios abertos. A maturação das panículas na colheita e o período de armazenagem influenciam na qualidade fisiológica das sementes de quinoa.

Palavras-chave: Germinação; qualidade fisiológica; maturidade fisiológica.

ABSTRACT

The need to use high quality seeds is presented as a basis for increasing agricultural productivity. The timing of harvest, associated to physiological maturity are important events in seed production. This study aimed to evaluate the physiological quality and quinoa seed storage harvested at different maturity stages. To this end, panicles were harvested at four stages of maturity based on color and their opening perigônios being: green without fully open perigônios (E1), partially open with some green perigônios (E2), partially dried to about half of perigônios open (E3) and dried with all open perigônios (E4). The seeds have been dried to moisture content of $10 \pm 1\%$ (db), stored in semi-permeable containers and taken the refrigerator ($\pm 10^\circ \text{C}$). The evaluations were performed at 1 (P1), 30 (P2), 71 (P3) and 104 (P4) days of storage. The experimental design was completely randomized, a factorial of 4 (stages) x 4 (periods), with 4 replications. Seed quality was evaluated by the standard germination test, water content, first count, electrical conductivity and accelerated aging. It was concluded that the best physiological quality (germination and vigor) of quinoa seeds occurs when the panicles are partially or totally dried over all or most of the open perigônios. The maturation of panicles at harvest and storage period on the physiological quality of quinoa seeds.

Key words: Germination; Physiological quality.; Physiological maturity.

3.1 INTRODUÇÃO

A necessidade de utilizar sementes de alta qualidade se apresenta como base para aumento da produtividade agrícola. Para isso, uma condição essencial que visa assegurar a formação de um estande bem desenvolvido e adequado, com plantas uniformes, vigorosas e saudáveis é a emergência uniforme e rápida das plântulas.

O conceito de qualidade de sementes tem sido modificado, agrupando-se em três categorias, como: descrição (pureza física, genética; uniformidade de tamanho, forma e peso); higiene (sanidade e contaminação por espécies silvestres) e; potencial de desempenho (germinação, vigor, armazenagem, percentagem e uniformidade de emergência de plântulas) (Hampton, 2002).

Um aspecto importante da produção de sementes de qualidade é a determinação da maturidade fisiológica e do momento adequado de colheita, visando minimizar a sua deterioração no campo (PEREIRA et al., 2014), aumentar o potencial de produção e aproveitamento de sementes (PESKE et al., 2009).

A maturação fisiológica, que compreende as transformações morfológicas, fisiológicas e funcionais que se sucedem no óvulo fertilizado, também é a fase de máxima qualidade da semente. A maturação é atingida quando a semente apresenta máximo conteúdo de matéria seca e acentuada redução no teor de água, com alterações visíveis no aspecto externo de frutos e sementes, culminando com a máxima capacidade germinativa e vigor das mesmas (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000).

Entretanto, quando na maturidade fisiológica e/ou no momento da colheita, muitas espécies de plantas apresentam sementes com elevado teor de água, sendo necessária então a secagem das mesmas. A secagem se faz necessária pois uma das principais causas da perda do poder germinativo e do vigor das sementes é o elevado teor de água durante o armazenamento (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000). Contudo, Dependendo da espécie, tempo de exposição e método de secagem, temperaturas elevadas podem causar danos às sementes (NUNES et al., 2012).

O vigor de sementes, segundo definição da *International Seed Testing Association* (ISTA, 2006), compreende um conjunto de características que determinam o potencial para a emergência e o rápido desenvolvimento de plântulas normais, sob ampla diversidade de condições de ambiente. Ainda, segundo a

Associação Oficial de Analistas de Sementes (AOSA,1983), vigor pode ser definido como aquela propriedade das sementes que determina o potencial para uma emergência rápida e uniforme e para o desenvolvimento de plântulas normais sob uma ampla faixa de condições de campo. Marcos Filho (2008) definiu vigor como um conjunto de características que determinam seu valor para sementeira. Isso leva a concluir que o conceito de qualidade é obtido em função de um conjunto de atributos (MARCOS FILHO, NOVEMBRE, 2009).

Uma ferramenta usada cada vez com mais frequência pelas empresas produtoras de sementes são os testes de vigor (TORRES; PEREIRA, 2010). Os testes de vigor têm sido utilizados principalmente para identificar diferenças associadas ao desempenho de lotes de sementes durante o armazenamento ou após a sementeira, procurando destacar lotes com maior eficiência para o estabelecimento do estande sob ampla variação das condições de ambiente (MARCOS FILHO et al., 2009).

Entre os objetivos básicos dos testes de vigor estão o de avaliar ou detectar diferenças no potencial fisiológico de lotes de sementes com germinação semelhante, visando complementar as informações fornecidas pelo teste de germinação. Também, distinguir com segurança os lotes quanto ao alto ou baixo vigor. Ainda, classificar os lotes em níveis de vigor diferentes, em proporção ao comportamento na emergência, potencial de armazenamento e resistência ao transporte (MARCOS FILHO; NOVEMBRE, 2009).

Os testes utilizados para avaliação do vigor já foram classificados por vários autores, mas a classificação de McDonald (1975) é uma das mais completas pois tem permitido, apesar de precisa, a inclusão de novos métodos, sem se tornar desatualizada. Assim, de acordo com essa classificação, os testes são agrupados como físicos (massa unitária, densidade, tamanho, coloração das sementes e teste de raio X), fisiológicos (primeira contagem de germinação, velocidade de germinação ou emergência e crescimento de plântulas, classificação do vigor das plântulas), bioquímicos (condutividade elétrica, tetrazólio, respiração e lixiviação de potássio), resistência a estresses (envelhecimento acelerado, deterioração controlada, teste de frio e germinação a baixa temperatura) (MARCOS FILHO; NOVEMBRE, 2009).

Para avaliar do potencial fisiológico de sementes, o teste padrão de germinação tem sido usado a muito tempo. Porém, quando conduzido em condições ideais, geralmente superestima o potencial fisiológico dos lotes, o que torna necessário o aprimoramento dos testes para a avaliação do vigor (DUTRA; VIEIRA, 2006).

Dentre os testes usados na avaliação do potencial fisiológico de sementes está o teste de condutividade elétrica. O teste avalia indiretamente a qualidade fisiológica de sementes através da determinação da quantidade de lixiviados na solução de embebição das sementes. Os menores valores, correspondentes à menor liberação de exsudatos, indicam alto potencial fisiológico, ou seja, maior vigor. Isso revela menor intensidade de desorganização dos sistemas de membranas das células (AZEVEDO; NETO, 2014). Simplificadamente, quanto maior a quantidade de lixiviados na água de embebição, maior será a degradação das membranas e menor será o vigor da semente (KULCZYNSKI et al., 2014).

O teste de envelhecimento acelerado foi inicialmente desenvolvido para estimar a longevidade de sementes em condições de armazenamento. Pesquisas adicionais têm mostrado que esse teste de vigor correlaciona-se, também, com a emergência a campo e com o estabelecimento de estande para um grande número de espécies. Nesse teste, as sementes são expostas a condições adversas de alta temperatura (40 a 45°C) e umidade relativa elevada por diferentes períodos, dependendo da espécie, antes de submetê-la ao teste de germinação. Lotes de sementes com alto vigor irão resistir a essas condições extremas e deteriorar a uma taxa mais lenta do que lotes de sementes de baixo vigor, apresentando maior germinação após a aplicação do teste (TILLMANN et al., 2003; PEREIRA et al., 2012).

Na literatura são encontrados trabalhos sobre qualidade fisiológica de sementes em diversas culturas, como para a abobrinha (VIEIRA; DUTRA, 2006), cebola (DIAS et al., 2006), pimenta (VIDIGAL et al., 2008), gergelim (TORRES et al., 2009), mamona (SOUZA et al., 2009), azevém (LOPES; FRANKE, 2010), rúcula (TORRES; PEREIRA, 2010), pimenta (PEREIRA et al., 2014).

Nesse contexto, o presente trabalho objetivou avaliar a qualidade fisiológica e o armazenamento de sementes de quinoa colhidas em diferentes estádios de maturação..

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Obtenção, limpeza e secagem

A obtenção do produto está descrita no subitem 1.2.1 e sua colheita no subitem 1.2.2. A classificação no momento da colheita se deu em função do estágio de maturação das sementes, baseada na coloração da panícula e abertura dos perigônios (Tabela 9).

Tabela 9. Classes de maturação (estádios) de quinoa, cultivar BRS Syetetuba, em função da coloração da panícula e da abertura dos perigônios

Estádio	Descrição
E1	Panículas totalmente verdes, sem perigônios abertos.
E2	Panículas parcialmente verdes, com alguns perigônios abertos.
E3	Panículas parcialmente secas, com aproximadamente metade dos perigônios abertos.
E4	Panículas secas, com todos os perigônios abertos.

A Figura 13 representa como ocorreu a classificação no momento da colheita.

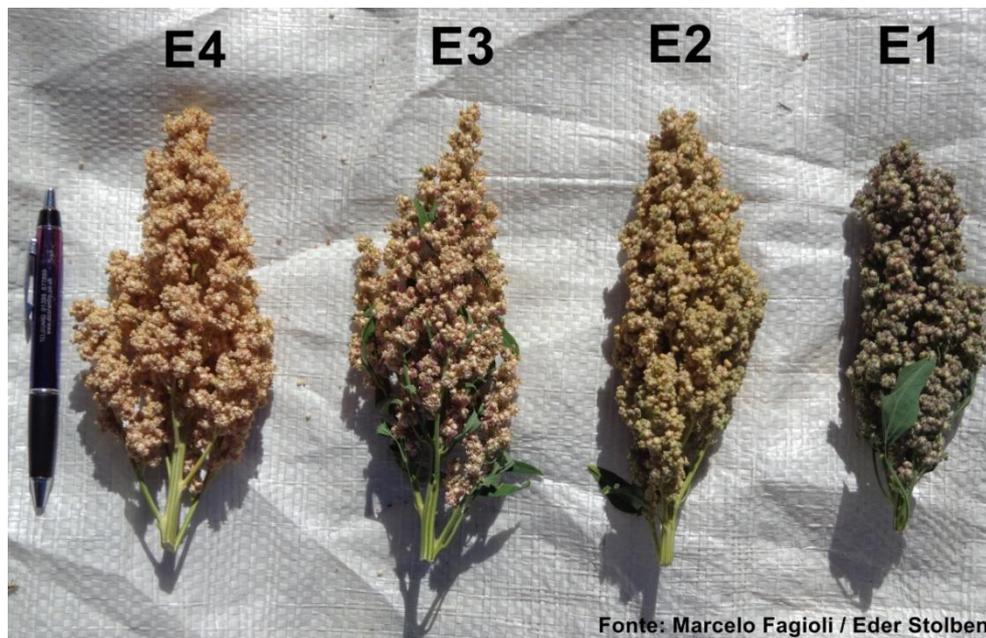


Figura 43. Classificação das panículas segundo coloração e abertura de perigônios, em quinoa, cultivar BRS Syetetuba, na ocasião da colheita.

Foram colhidas apenas as panículas principais da parte apical das plantas, separadamente, estádio por estádio, armazenadas em sacos de rafia e conduzidas ao laboratório para beneficiamento. A limpeza e classificação das sementes de quinoa, em cada estádio, se deram conforme subitem 1.2.2.

A metodologia de secagem foi realizada conforme subitem 1.2.4, sendo que a diferença principal foi o emprego da temperatura única de 40 ± 2 °C. Utilizou-se esta temperatura por ela ser empregada com grande frequência para secagem de sementes de hortaliças em camada fina, em estufa (PESKE; VILIELA, 2003).

Após a secagem, as sementes foram mantidas a temperatura ambiente por um período médio de 12 horas e então foram acondicionadas em embalagens de papel, que por sua vez foram colocadas em embalagens semipermeáveis (sacos plásticos). Então, foram armazenadas em ambiente refrigerado, com temperatura aproximada de 10 °C e aproximadamente 56% de UR (medidas feitas com auxílio de psicrômetro). Antes da realização dos testes, as embalagens contendo as sementes foram retiradas do ambiente refrigerado e deixadas no ambiente por aproximadamente 12 horas, até atingirem temperatura de equilíbrio com o ambiente.

O experimento foi realizado no Laboratório de Análise de Sementes (LASE), da Faculdade de Agronomia e Veterinária (FAV), Universidade de Brasília (UnB), em Brasília/DF, no período de agosto a dezembro de 2014, sendo que as análises ocorreram com 1, 30, 71 e 104 dias após armazenagem (P1, P2, P3 e P4, respectivamente).

3.2.2 Determinação do teor de água (TA)

O teor de água das sementes, na ocasião da colheita e durante o armazenamento, foi determinado pelo método estufa a 105 ± 3 °C por 24 horas, conforme as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), utilizando-se três repetições de 5 gramas. Os resultados foram expressos em porcentagem de teor de água (% b.u).

3.2.3 Teste padrão de germinação (TPG)

Foram distribuídas sob substrato de papel Germitest, previamente umedecido com água no volume de 2,5 vezes o peso do papel seco, em caixas gerbox, 4 réplicas de 50 sementes para cada tratamento e mantidas em câmara de

germinação a temperatura de $25\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ por 10 dias. Foram contabilizadas as plântulas normais, anormais e não germinadas aos 5 e 10 dias. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais (BRASIL, 2009).

3.2.4 Teste de vigor

3.2.4.1 Primeira contagem (PC)

Utilizaram-se as plântulas do teste de germinação. Foi registrada a porcentagem de plântulas normais verificadas na primeira contagem aos 5 dias da instalação do teste de germinação em substrato papel (BRASIL, 2009).

3.2.4.2 Condutividade elétrica (CE)

As sementes foram pesadas em balança com precisão de 0,001g, colocadas em copos plásticos (200 mL) e adicionados 75 mL de água destilada deionizada (Metodologia 1 - CE1) e 50 mL (Metodologia 2 - CE2). Após, foram levadas a BOD à temperatura de 25°C por 20 horas (VIEIRA, KRZYZANOWSKI 1999, adaptado). Utilizaram-se quatro repetições com 50 sementes para cada tratamento. Ao término desse período, a condutividade elétrica da solução foi medida por meio de condutivímetro CG2500 com eletrodo de constante 1.0. Os dados obtidos para cada parcela foram expressos em $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ de sementes.

3.2.4.3 Envelhecimento acelerado (EA)

Foram utilizadas 2 caixas plásticas transparentes (11x11x3,5 cm) com tampa, dentro das quais foram adicionados 40 mL de água destilada em cada uma. As sementes foram distribuídas em camada única sobre tela metálica, evitando-se o contato das sementes com a água. Em seguida, as caixas contendo as sementes foram tampadas e acondicionadas em BOD, a 41°C , onde permaneceram por 20 horas (MARCOS FILHO, 1999, adaptado). Após este período, as sementes foram submetidas ao teste padrão de germinação (BRASIL, 2009), sendo que a avaliação foi realizada aos 5 dias após a instalação do teste. Foram consideradas apenas as plântulas normais e os resultados foram expressos em porcentagem.

3.2.5 Análise estatística

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 4x4 (4 estádios de maturação x 4 períodos de armazenamento), com 4 repetições. Os dados obtidos em todas as avaliações foram submetidos aos testes de normalidades (teste de Lilliefors) e homogeneidade (teste de Cochran), que evidenciaram não ser necessário submetê-los a transformação (ZIMMERMANN, 2004; OLIVEIRA et al., 2014). Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade. Para a realização da análise estatística foi utilizado o programa Assistat 7.7 beta (SILVA; AZEVEDO, 2009). Os valores de teor de água das sementes não foram submetidos à análise estatística.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Teor de água

Os teores de água das sementes, na ocasião da colheita e durante o armazenamento, podem ser visualizados na Tabela 10. Observou-se que no momento da colheita os teores de água foram diferentes em cada estágio de maturação, sendo maiores para os estádios mais verdes. A variação após a secagem ocorreu, provavelmente, em virtude da variação na umidade do ambiente de armazenamento (equilíbrio higroscópico).

Tabela 10. Teor de água (% b.u.), na colheita e durante armazenamento, de sementes de quinoa, cultivar BRS Syetetuba, colhidas em diferentes estádios de maturação.

Estádio	Período				
	Colheita	P1	P2	P3	P4
	Teor de água (% b.u.)				
E1	40,77	9,04	10,36	10,18	10,26
E2	30,42	10,08	11,29	11,02	11,20
E3	26,20	10,69	10,32	10,07	10,12
E4	22,69	9,19	10,40	10,54	10,50

E1 = Panículas totalmente verdes, sem perigônios abertos; E2 = Panículas parcialmente verdes, com alguns perigônios abertos; E3 = Panículas parcialmente secas, com aproximadamente metade dos perigônios abertos; E4 = Panículas secas, com todos os perigônios abertos; P1, P2, P3 e P4 = 1, 30, 71 e 104 dias de armazenamento após secagem, respectivamente.

O mesmo foi observado por Marques et al. (2014), que verificaram, durante o armazenamento de sementes de arroz, a variação do teor de água inferior a 1%, sugerindo que as sementes estavam próximo ao equilíbrio higroscópico com o ar do ambiente de armazenamento.

A variação nos teores de água na ocasião da colheita é explicada pelo fato de que, de maneira geral, quando a semente atinge a maturidade fisiológica, o teor de água ainda é elevado (30 a 50% b.u.). Nesse momento pode ter início um processo de deterioração das mesmas. Para evitar esse problema, a planta aciona um mecanismo de remoção rápida do teor de água das sementes. Assim, a partir da maturidade fisiológica o teor de água decresce rapidamente até um ponto onde começa a oscilar em função da umidade relativa do ar (equilíbrio higroscópico), o que indica que a planta-mãe não exerce mais influência sobre o teor de água (DIAS; NASCIMENTO, 2009).

3.3.2 Germinação (TPG)

A análise de variância (Tabela 11) para o TPG apontou que não houve diferença significativa para a interação entre os fatores (estádios x períodos), mas sim o efeito simples para cada variável. Os resultados de germinação para cada estágio estão na Tabela 12.

Tabela 11. Resumo da análise de variância para o Teste Padrão de Germinação de sementes de quinoa, cultivar BRS Syetetuba, colhidas em diferentes estádios de maturação e avaliadas durante o armazenamento

F.V.	Quadrado Médio
Estádios (E)	79,39583*
Períodos (P)	95,22917**
E x P	24,22917 ^{ns}
Tratamentos	49,46250*
Resíduo	20,60417
C.V (%)	5,2

** significativo a 1% de probabilidade; ** significativo a 5% de probabilidade; ns não significativo ($p \geq .05$)

Tabela 12. Germinação (%) no teste padrão de germinação de sementes de quinoa, cultivar BRS Syetetuba, colhidas em diferentes estádios de maturação e avaliadas durante armazenamento

Estádio	Germinação (%)
E1	86 ab ¹
E2	85 b
E3	90 a
E4	89 ab

Teste F	3,85 *
DMS (5%)	4,27
Períodos	Germinação (%)
P1	86 b
P2	85 b
P3	91 a
P4	88 ab

Teste F	4,62 **
DMS (5%)	4,27
CV (%)	5,20

E1 = Panículas totalmente verdes, sem perigônios abertos; E2 = Panículas parcialmente verdes, com alguns perigônios abertos; E3 = Panículas parcialmente secas, com aproximadamente metade dos perigônios abertos; E4 = Panículas secas, com todos os perigônios abertos; P1, P2, P3 e P4 = 1, 30, 71 e 104 dias de armazenamento após secagem, respectivamente.

¹ As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Verificou-se que as maiores germinações foram para o estágio E3, vindo a diferir apenas de E2, que por sua vez apresentou a menor germinação. Os outros estádios ficaram com valores intermediários, não diferindo estatisticamente dos demais. Quanto a variável períodos, a germinação foi maior em P3 e P4 e menor em P1 e P2, respectivamente. Tal variação entre os períodos pode ser explicada por erros de aplicação do teste ou algum outro fator ainda não elucidado para esta espécie, haja visto que sementes de quinoa não possuem dormência (SPEHAR, 2006) Apesar de diferirem estatisticamente, a germinação foi elevada (acima de 85%) e o CV(%) foi baixo, indicando precisão na condução do teste.

A temperatura e a umidade relativa do ar do local de armazenamento são os principais fatores que afetam a qualidade fisiológica da semente (GOLDFARB e QUEIROGA, 2013). Para as sementes de quinoa, a baixa temperatura durante o armazenamento, associado à colheita com baixo teor de água nas sementes, manteve a qualidade fisiológica por maior tempo.

Souza (2013) armazenando sementes de quinoa em diferentes ambientes, observou que a germinação se manteve ao longo do armazenamento, quando as sementes estiveram acomodadas em câmara B.O.D. a 4,4°C e concluiu ser esta temperatura eficiente na conservação da qualidade fisiológica das sementes.

Porém, embora se encontre distinção dos estádios de maturação, o teste de germinação (TPG) não consegue distinguir diferenças sutis na qualidade entre os lotes de sementes, havendo necessidade da utilização de testes de vigor (TEKRONY, 2003). Ainda, é recomendável a comparação do vigor entre lotes que apresentem semelhança e elevada germinação (KRYZANOWSKI; VIEIRA, 1999).

3.3.3 Testes de vigor

O resumo da análise de variância dos testes empregados para analisar o vigor das sementes de quinoa colhidas em diferentes estádios de maturação e avaliadas durante armazenamento estão na Tabela 13. Notou-se que o efeito dos estádios de maturação das sementes obteve significância estatística ($p < 0,01$), pelo teste F, para todos os testes de vigor. Não houve interação entre os fatores na primeira contagem (PC). Houve interação significativa apenas no teste de condutividade elétrica, em ambas as metodologias (CE1 e CE2). No teste de envelhecimento acelerado (EA), apenas o efeito dos estádios foi significativo estatisticamente.

Tabela 13. Resumo da análise de variância para primeira contagem (PC), condutividade elétrica (CE1 e CE2) e envelhecimento acelerado (EA) de sementes de quinoa, cultivar BRS Syetetuba, colhidas em diferentes estádios de maturação e avaliadas durante o armazenamento

F.V.	GL	Quadrado Médio			
		PC	CE1	CE2	EA
Estádios (E)	3	87,42**	42662,49**	103235,02**	624,23**
Períodos (P)	3	104,08**	41388,13**	105461,88**	46,56 ^{ns}
E x P	9	26,58 ^{ns}	2047,81**	4865,72**	47,06 ^{ns}
Tratamentos	15	54,25**	18254,81**	44658,81**	161,79**
Resíduo	48	14,79	160,82	589,07	26,65
CV (%)		4,49	4,32	5,52	5,97

(**) significativo ao nível de 1% de probabilidade; (*) significativo ao nível de 5% de probabilidade.; ns = não significativo.

3.3.3.1 Primeira contagem (PC)

Encontram-se, na Tabela 14, os resultados de vigor, pela primeira contagem de germinação, das sementes de quinoa.

Tabela 2. Vigor (%), pelo teste de primeira contagem de germinação, de sementes de quinoa, cultivar BRS Syetetuba, colhidas em diferentes estádios de maturação e avaliadas durante o armazenamento

Estádio	Germinação (%)
E1	84 bc ¹
E2	83 c
E3	88 a
E4	87 ab
Teste F	5,91 *
DMS (5%)	3,62
Períodos	Germinação (%)
P1	85 b
P2	83 b
P3	89 a
P4	86 ab
Teste F	7,04 **
DMS (5%)	4,49
CV (%)	5,20

E1 = Panículas totalmente verdes, sem perigônios abertos; E2 = Panículas parcialmente verdes, com alguns perigônios abertos; E3 = Panículas parcialmente secas, com aproximadamente metade dos perigônios abertos; E4 = Panículas secas, com todos os perigônios abertos; P1, P2, P3 e P4 = 1, 30, 71 e 104 dias de armazenamento após secagem, respectivamente
¹ As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Notou-se, para o fator estádios, comportamento estatístico muito semelhante aos obtidos no TPG. As sementes germinaram, em sua maioria, durante o período dos 5 dias iniciais do teste, nos quais ocorreu a PC (5º dia), justificando tal equivalência. Porém, através da PC, foi possível notar mais claramente o efeito dos estádios de maturação, uma vez que as sementes do E3 e E4 obtiveram maiores valores de germinação, tendo E3 diferido estatisticamente de E1 e E2. Isso demonstra que a colheita em estádios de maturação mais precoces afetou primeiramente o vigor e depois a viabilidade (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000; MARCOS FILHO, 2005). Verificou-se então, através da PC, o efeito negativo dos estádios de maturação mais precoces na qualidade de sementes de quinoa.

Quanto aos períodos de armazenamento, o comportamento estatístico da PC foi semelhante ao do TPG. A possibilidade da manutenção da qualidade fisiológica e da baixa deterioração das sementes, com redução da atividade metabólica, pode ser alcançada pelo baixo teor de água das mesmas durante o armazenamento (CARDOSO et al., 2012), sendo que isso foi observado aqui para quinoa.

Os resultados deste trabalho corroboram com os obtidos por Queiroz et al. (2011) com sementes de pimenta Hebanero Yellow, Lucena et al. (2013) com sementes de gergilim, Azevedo e Neto (2014) com sementes de mamão formosa (*Carica papaya* L.) e Pereira et al. (2014) com sementes de pimenta (*Capsicum baccatum* L.) variedade Dedo-de-Moça.

3.3.3.2 Condutividade elétrica (CE)

O desdobramento da interação entre estádios de maturação e períodos de armazenamento para a CE1 está na Tabela 15. Comparando-se dentro de cada do período de armazenamento, nota-se que os estádio E4 foi o que obteve os menores valores de CE, vindo a se diferem estatisticamente dos demais estádios a partir de P2. Considerando-se individualmente cada estádio ao longo do armazenamento, é possível observar que houve diferença estatística, quando analisadas pelo teste de CE1, demonstrando assim o efeito da colheita em diferentes estádios de maturação das sementes na sua qualidade fisiológica.

Tabela 15. Valores médios do teste de condutividade elétrica (CE2), em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$, das sementes de quinoa cultivar BRS Syetetuba, colhidas em diferentes estádios de maturação e avaliadas durante o armazenamento

Estádio	Período			
	P1	P2	P3	P4
E1	243.48 aC	376.54 aB	409.52 aA	427.46 aA
E2	239.44 aC	287.13 bB	333.81 bA	315.37 bA
E3	207.25 bC	275.05 bB	316.58 bA	303.00 bA
E4	202.05 bB	225.10 cB	275.05 cA	265.14 cA

E1 = Panículas totalmente verdes, sem perigônios abertos; E2 = Panículas parcialmente verdes, com alguns perigônios abertos; E3 = Panículas parcialmente secas, com aproximadamente metade dos perigônios abertos; E4 = Panículas secas, com todos os perigônios abertos; P1, P2, P3 e P4 = 1, 30, 71 e 104 dias de armazenamento após secagem, respectivamente; Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste Tukey ($p > 0,05$).

Na Tabela 16, estão descritos os dados de condutividade elétrica de semente de quinoa obtidos pela CE2 (0,050 L). O comportamento estatístico foi semelhante a CE1 para cada estágio ao longo e em cada período do armazenamento.

Tabela 16. Valores médios do teste de condutividade elétrica (CE2), em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$, das sementes de quinoa cultivar BRS Syetetuba, colhidas em diferentes estádios de maturação, avaliadas durante o armazenamento

Estádio	Período			
	1	2	3	4
E1	367.76 aC	548.08 aB	637.82 aA	650.42 aA
E2	359.71 aC	423.99 bB	487.75 bA	499.24 bA
E3	302.06 bC	375.60 cB	440.94 cA	462.22 bcA
E4	299.62 bB	339.01 cB	408.57 cA	429.43 cA

E1 = Panículas totalmente verdes, sem perigônios abertos; E2 = Panículas parcialmente verdes, com alguns perigônios abertos; E3 = Panículas parcialmente secas, com aproximadamente metade dos perigônios abertos; E4 = Panículas secas, com todos os perigônios abertos; P1, P2, P3 e P4 = 1, 30, 71 e 104 dias de armazenamento após secagem, respectivamente; Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste Tukey ($p > 0,05$);

A análise das duas tabelas anteriores mostra que houveram resultados estatísticos distintos entre CE1 e CE2. Porém, a CE2 conseguiu separar melhor a qualidade de sementes para vigor. Estudos de variações na metodologia do teste de condutividade elétrica para várias culturas agrícolas são também observados na literatura, como Dias et al. (2006) em cebola, Dutra e Vieira (2006) em abobrinha, Goneli et al. (2007) em pipoca, Carvalho et al. (2009); Machado et al., (2011) em ervilha, Lopez et al. (2012) em jiló, Silva et al. (2013) em feijão, Silva et al. (2014) em feijão.

Pode-se inferir então, com base nos resultados, que o decorrer do tempo de armazenamento contribuiu com o aumento da perda de integridade das membranas celulares, acarretando aumentando os valores de CE. Também, a colheita das sementes em estádios menos jovens de desenvolvimento contribuiu para a diminuição dos valores de CE, ou seja, com o avanço dos estádios de maturação ocorreu maior organização estrutural das membranas celulares e, conseqüentemente, redução nos valores de condutividade elétrica.

Deste modo, redução da condutividade elétrica durante o processo de maturação das sementes foi observada também por Silva (2006) em soja, Silva (2010) em sorgo, Barbosa et al. (2014) em amendoim, Jacob Junior et al. (2014) em milho, Figueiredo Neto et al. (2014) em abóbora, Pereira et al. (2014) em pimenta Dedo-de-Moça.

3.3.3.3 Envelhecimento acelerado (EA)

Analisando os valores da Tabela 17, observou-se que os maiores percentuais de germinação foram para E4, mesmo este não tendo diferido estatisticamente dos E2 e E3. O E1 foi o que apresentou menor germinação, sendo este 15% inferiores a E4 e diferindo estatisticamente dos demais.

Tabela 17. Germinação (%) após o teste de envelhecimento acelerado, de sementes de quinoa cultivar BRS Syetetuba, colhidas em diferentes estádios de maturação e avaliadas durante o armazenamento

Estádio	Germinação (%)
E1	78 b
E2	87 a
E3	91 a
E4	92 a
Teste F	23,43**
DMS (5%)	4,86
CV (%)	5,97

E1 = Panículas totalmente verdes, sem perigônios abertos; E2 = Panículas parcialmente verdes, com alguns perigônios abertos; E3 = Panículas parcialmente secas, com aproximadamente metade dos perigônios abertos; E4 = Panículas secas, com todos os perigônios abertos; (**) significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Comprovou-se novamente, porém agora pelo teste de EA, o efeito positivo do avanço dos estádios de maturação na qualidade de sementes de quinoa. Percebeu-se também a eficiência do teste de EA, pois o mesmo separa os estádios em

números de níveis de vigor, indicando quais tem maior potencial fisiológico. O teste de EA, dentre os testes de vigor utilizados para avaliar a qualidade das sementes, é capaz de proporcionar informações consistentes com desempenho de lotes de sementes no campo e após o armazenamento (KIKUTI; MARCOS FILHO, 2012).

Resultados semelhantes a este, através do teste de EA, foram encontrados por Freitas et al.(2007) avaliando o efeito do estágio de maturação das síliquas sobre o potencial fisiológico de sementes de repolho da cultivar União, e por Nascimento e Freitas (2008) quando avaliaram o efeito do estágio de maturação das umbelas sobre o potencial fisiológico de sementes de cebola. Os autores de ambos os trabalhos encontraram valores crescente nos resultados de EA, indicando aumento de vigor das sementes com o avanço dos estádios de maturação.

Na literatura são encontrados muitos trabalhos de avaliação de vigor em diversas culturas, baseados no teste de EA, tais como Barbieri et al. (2013) em aveia preta, David et al. (2013) em mamona, Cruz-Silva et al. (2014) em crambe, Yagushi et al. (2014) em soja e Oliveira et al. (2014b) em pinhão manso.

Outro aspecto importante a ser considerado no teste de envelhecimento acelerado é a diferença na absorção de água pelas sementes, pois, quando expostas à atmosfera úmida podem ocorrer variações acentuadas no grau de umidade destas (TUNES et al., 2011).

Nesse trabalho, após saírem do EA, os valores médios de teor de água (% b.u.) nas sementes de quinoa, para cada período avaliado foram: $29,21 \pm 2,33\%$ (b.u) no E1; $28,26 \pm 1,57\%$ (b.u) no E2; $27,28 \pm 0,25\%$ (b.u) no E3 e $25,73 \pm 1,2\%$ (b.u) no E4. A variação média no teor de água das sementes entre os estádios em cada período foi de aproximadamente 3,48%, estando esse valor entre o limite de 3 e 4% sugerido como seguro para a realização do teste de EA (MARCOS FILHO, 2005).

O aumento da germinação após o armazenamento provavelmente pode estar relacionado com alguma substância inibidora de germinação que é volatilizada com a secagem das sementes. Ainda, a secagem - armazenamento podem ter contribuído, criando fissuras, vindo a facilitar a penetração de água pela estrutura protetora (tegumento). Portanto, se faz necessário maior aprofundamento e estudos na maturidade, secagem e armazenamento de sementes de quinoa.

3.4 CONCLUSÕES

A melhor qualidade fisiológica (germinação e vigor) de sementes de quinoa ocorre quando as panículas encontram-se parcialmente ou totalmente secas com todos ou a maioria dos perigônios abertos.

A maturação das panículas na colheita e o período de armazenamento influenciam na qualidade fisiológica das sementes de quinoa

CONCLUSÕES GERAIS

Dentre os treze modelos testados, três obtiveram bom ajuste e coeficientes estatísticos satisfatórios em todas as temperaturas, sendo escolhido apenas um para representar a cinética de secagem de quinoa.

Para amaranto não houve escolha de um modelo único para representar a cinética de secagem todas as temperaturas, mas sim para cada temperatura.

As propriedades físicas, durante a secagem, foram determinadas e seus comportamentos foram representados por equações lineares e exponenciais.

A colheita das panículas em estádios diferentes de maturação, somada ao armazenamento, afeta a qualidade fisiológica das sementes de quinoa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABALONE, R.; CASSINERA, A.; GASTON, A.; LARA, M. A. Some Physical Properties of Amaranth Seeds. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, 89, p. 109–117, 2004.

AFONSO JÚNIOR, P. C.; CORRÊA, P. C. Comparação de modelos matemáticos para descrição da cinética de secagem em camada fina de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 03, n. 03, p. 349-353, 1999.

AFONSO JUNIOR, P. C.; CORRÊA, P. C. Cinética da contração volumétrica dos grãos de duas cultivares de milho-pipoca durante o processo de secagem. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 2, n. 1, p.61-65, 2000.

AFONSO JÚNIOR, P.C.: **Aspectos físicos, fisiológicos e de qualidade do café em função da secagem e do armazenamento**. 2001. 400f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2001.

AKPINAR, E.K.: Determination of suitable thin layer drying curve model for some vegetables and fruits. **Journal of Food Engineering**, London, n. 73, pg.75-84, 2006.

ALMEIDA, D. P.; RESENDE, O.; COSTA, L. M.; MENDES, U. C.; SALES, J. F. Cinética de secagem do feijão adzuki (*Vigna angularis*). **Global Science and Technology**, Rio Verde, v.2, p.72-83. 2009.

ALTUNTAS, E.; YILDIZ, M. Effect of moisture content on some physical and mechanical properties of faba bean (*Vicia faba* L.) grains. **Journal of Food Engineering**, London, n. 78, p. 64-70, 2007.

AMIN, M. N.; HOSSAIN, M. A.; ROY, K. C. Effects of moisture content on some physical properties of lentil seeds. **Journal of Food Engineering**, London, n. 65, p.45-53 2004.

ANDRADE, E. T.; CORRÊA, P. C.; TEIXEIRA, L. P.; PEREIRA, R. G.; CALOMENI, J. F. Cinética de secagem e qualidade de sementes de feijão. **ENGEVISTA**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 2, p. 83-95, 2006.

ANDRADE, E. T.; BORÉM, F. M. Modelagem matemática e simulação aplicados na secagem do café. In: BORÉM, F. M. (Ed.). **Pós-colheita do café**. Lavras: UFLA, 2008. p. 301-347.

AOSA - ASSOCIATION OF OFICIAL SEED ANALYSTS. **Seed vigor testing handbook**. Handbook on Seed Testing. East Lansing: AOSA, 1983. 88p. (Contribution, 32).

ARAUJO, W. D.; GONELI, A. L. D.; DE SOUZA, C. M. A.; GONÇALVES, A. A.; VILHASANTI, H C. B. Propriedades físicas dos grãos de amendoim durante a secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.3, p.279–286, 2014.

ARAÚJO, E. F.; CORRÊA, P. C.; SILVA, R. F. Comparação de modelos matemáticos para descrição das curvas de dessecamento de sementes de milho doce. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 7, p. 991-995, 2001.

ASCHERI, J.; NASCIMENTO, R.; SPEHAR, C.: Composição química comparativa de farinha instantânea de quinoa, arroz e milho. Embrapa, Rio de Janeiro, **Comunicado Técnico**, p.1-4,. 2002.

AZEVEDO, T. P.; NETO, A. F. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de *Carica papaya* L. em função do estágio de maturação. **Revista Verde**, Pombal, v. 9, n. 2, p. 68 - 72, 2014.

AYADI, M.; MABROUK, S. B.; ZOUARI, I.; BELLAGI, A. Kinetic study of the convective drying of spearmint. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, Riyadh, v. 13, p. 1–7, 2014.

BABALIS, S. J.; BELESSIOTIS, V. G. Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. **Journal of Food Engineering**, London, v. 65, n. 3, p. 449-458, 2004.

BAJAY, L. B.; DI LANARO, N.; QUEIROZ, V. M. P.; PINTO, R. C. S.; LEITÃO, I. G. A.; LESSIO, B. C.; AUGUSTO, P. E. D. Determinação de propriedades físicas do feijão fradinho. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 13, n. 1, p. 27-35, 2011.

BANDE, Y. M.; ADAM, N. M.; AZNI, Y.; JAMAREI, O. Moisture dependent physical and compression of bitter melon (*Citrullus colocynthis lanatus*) seeds. **International Journal of Agricultural Research**, London, v. 7, p. 243-254, 2012.

BARBIERI, M.; ÁVILA, V. S.; MACIEL, C. G.; NOAL, G.; MUNIZ, M. F. B.; DÖRR, A. C. Qualidade sanitária de sementes de aveia preta cv. brs 139 (*Avena strigosa* SCHREB) submetidas ao envelhecimento acelerado. **REMOA – Revista Monografias Abertas**, Santa Maria, v. 13, n. 13, p. 2828 – 2836, 2013.

BARBOSA, R. M.; VIEIRA, B. G. T. L.; MARTINS, C. C.; VIEIRA, R. D. Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de amendoim durante o processo de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 12, p. 977-985, 2014.

BASUNIA, M. A.; ABE, T. Moisture desorption isotherms of medium-grain rough rice. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v. 37, n. 3, p. 205-219, 2001.

BIHAIN, A. L. J. **Modelagem Matemática da Influência da umidade do ar, sobre a dinâmica de secagem de grãos de Soja em camada fina**. 2011. 138f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - Ijuí, 2011.

BRITO, J. G.; SILVA, E. F. M.; COSTA, T. L.; ROCHA, A. P. T.; SILVA, O. S. Propriedades físicas do cominho em pó comercializado nas feiras livres da Paraíba. **Revista Verde**, Pombal, v. 7, n. 1, p. 206-211, 2012.

BOTELHO, F. M.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; MARTINS, M. M.; MAGALHÃES, F. E. A.; CAMPOS, S. C. Periods of constant and falling-rate for infrared drying of carrot slices. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 8, p. 845–852, 2011.

BOTELHO, F. M. **Cinética de secagem, propriedades físicas e higroscópicas dos frutos e caracterização do processo de torrefação dos grãos de *Coffea canephora***. 2012. 129f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Viçosa – Viçosa, 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNAD/DNPV/CLAV, 1992. 365p.

BRUCE, D.M. Exposed-layer barley drying, three models fitted to new data up to 150 °C. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 32, p. 337-347, 1985.

CAETANO, G.S.; SOUSA, K.A.; RESENDE, O.; SALES, J.F.; COSTA, L.M.: Higroscopicidade de sementes de caju-de-árvore-do-cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 4, p. 437-445, 2012.

CARDOSO, R. B.; BINOTTI, F. F. S.; CARDOSO, E. D. Potencial fisiológico de sementes de crambe em função de embalagens e armazenamento. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, p. 272-278. 2012.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4.ed. Campinas: FUNEP, 2000. 588p.

CARVALHO, L. F.; SEDIYAMA, C. S.; REIS, M. S.; DIAS, D. C. F. S.; MOREIRA, M. A. Influência da temperatura de embebição da semente de soja no teste de condutividade elétrica para avaliação da qualidade fisiológica. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 9-17, 2009.

CASTIGLIONE, G. L.; SILVA, F. A.; CALIARI, M.; SOARES JUNIOR, M.S. Modelagem matemática do processo de secagem da massa fibrosa de mandioca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 9, p. 987-994, 2013.

CATELAM, K. T.; TRINDADE, C. S. F.; ROMERO, J. T. Isotermas de adsorção e calor isostérico de sorção de polpa de maracujá desidratada por spray dryer e liofilizador com aditivos e leite desnatado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1196-1203, 2011.

CHAYJAN, R. A.; SHADIDI, B. Modeling high-moisture faba bean drying in fixed and semi-fluidized bed condition. **Journal of Food Processing and Preservation**, Hoboken, v. 38, p. 200–211, 2014.

COMAI, S., BERTAZZO, A., BAILONI, L., ZANCATO, M., COSTA, C.V.L. E ALLEGRI, G. **The content of proteic and nonproteic (free and protein-bound) tryptophan in quinoa and cereal flours**. Food Chemistry 100: p. 1350-1355, 2007
Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814605010551>
Acesso em: 28 out. 2013.

CORRÊA, P. C.; VITAL, R. B.; MARTINS, J. H. Higroscopicidade e entalpia de vaporização para madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 555-561, 1998a.

CORRÊA, P.C.; MARTINS, J.H.; CHRIST', D.; MANTOVANI, B.H.M.: Curvas de desorção e calor latente de vaporização para as sementes de milho pipoca (*Zea mays*). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 1, p.75-79, 1998b.

CORRÊA, P.C.; ALMEIDA, F.A.C. Comparação de modelos matemáticos de equilíbrio higroscópico para semente e fibra de algodão herbáceo, cultivar redenção. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 3, n.1, p. 1-6, 1999.

CORRÊA, P.C.; MACHADO, P.F.; ANDRADE, E.T. Cinética de secagem e qualidade de grãos de milho-pipoca. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 25, n. 1, p. 134-142, 2001.

CORRÊA, P.C.; AFONSO JÚNIOR, P.C.; ANDRADE, E.T.: Modelagem matemática da atividade de água em polpa cítrica peletizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 2, p. 283-287, 2001.

CORRÊA, P. C.; ARAÚJO, E. F.; AFONSO JÚNIOR, P. C. Determinação dos parâmetros de secagem em camada delgada de Sementes de milho doce (*Zea mays* L.). **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 2, n. 2, p. 110-119, 2003.

CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; RIBEIRO, D. M. Isotermas de sorção das espigas de milho: obtenção e modelagem. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 4, n. 1, p. 126-134, 2005

CORRÊA, P. C.; RIBEIRO, D. M.; RESENDE, O.; BOTELHO, F. M. Determinação e modelagem das propriedades físicas e da contração volumétrica do trigo, durante a secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.3, p.665–670, 2006a.

CORRÊA, P. C.; AFONSO JÚNIOR, P. C.; RIBEIRO, D. M.; SILVA, F. S. Equilíbrio higroscópico de milheto, alpiste e painço: obtenção e modelagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 162-167, 2006b.

CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; ANA P. MARTINAZZO, A. P.; GONELI, A. L. D.; BOTELHO, F. M. Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 501-510, 2007.

COSKUNER, Y.; KARABABA, E. Some physical properties of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.). **Journal of Food Engineering**, London, n. 78, p. 1067–1073, 2007.

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

CRUZ-SILVA, C. T. A.; SIMONETTI, A. P. M. M.; NÓBREGA; L. H. P.; PACHECO, F. P. Envelhecimento acelerado em sementes de crambe. **Anais...In: XLII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 2014, Campo Grande.

DARVISHI, H.; ASL, A. R.; ASGHARI, A.; AZADBAKHT, M. NAJAFI, G.; KHODAEI, J. Study of the drying kinetics of pepper. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, Riyadh, v. 13, p. 130-138, 2014.

DAVID, A. M. ARAÚJO, E. F.; ARAÚJO, R. F.; DIAS, D. C. F. S.; NOBRE, D. A.C.; NETA, I. C. S. Envelhecimento acelerado na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de *Ricinus communis* L.. **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 8, n. 4, p. 517-521, 2013.

DIAS, D. C. F. S.; NASCIMENTO, W; M. Desenvolvimento, maturação e colheita de sementes de hortaliças. IN . NASCIMENTO, W. M. **Tecnologia de sementes de hortaliças**. Embrapa Hortaliças, Brasília, 2009. p. 11-76.

DIAS, L. F. L. **Avaliação de algumas propriedades físicas de grãos de café (*Coffea arabica*) orgânico e convencional**. 2007. 44f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Unioeste, Marechal Cândido Rondon, 2007.

DIAS, D. C. F. S.; BHERING, M. C.; TOKUHISA, D.; HILST, P. C. Teste de condutividade elétrica para avaliação do vigor de sementes de cebola. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 28, n. 1, p. 154-162, 2006.

DIÓGENES, A. M. G.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; SANTOS, D. C. Cinética de secagem de grãos de abóbora. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 26, n. 1, p. 71-80, 2013.

DOYMAZ, I.: Influence of pretreatment solution on the drying of sour cherry. **Journal of Food Engineering**, London, v. 78, p. 591–596, 2007.

DOYMAZ, I.: Drying of eggplant slices in thin layers at different Air temperatures. **Journal of Food Processing and Preservation**, Hoboken, n. 35. p. 280–289, 2011.

DUTRA, A.S.; VIEIRA, R.D. Teste de condutividade elétrica para a avaliação do vigor de sementes de abobrinha. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 28, n. 2, p. 117-122, 2006.

ERBAY, Z.; ICIER, F. A review of thin layer drying of foods: theory, modeling, and experimental results. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. Cleveland, v. 50, n. 5, p. 441-464, 2010.

FIORENTIN, L. D.; MENON, B. T.; ALVES, J. A.; BARROS, S. T. D.; PEREIRA, N. C.; MÓDENES, A. N. Determinação da cinética e das isotermas de secagem do bagaço da laranja. **Acta Scientiarum: Technology**, Maringá, v. 32, n. 2, p. 147-152, 2010.

FREITAS, R. A; NASCIMENTO, W. M; COIMBRA, K. G. Maturação e qualidade de sementes de repolho de verão sob condições tropicais. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 4, p. 586-589, 2007.

GOLDFARB, M.; QUEIROGA, V. P. Considerações sobre o armazenamento de sementes. **Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v. 7, n. 3, p. 71-74, 2013.

GONELI, A. L. D.; NASU, A. K.; GANCEDO, R.; ARAÚJO, W. D.; SARATH, K. L. L. Cinética de secagem de folhas de erva baleeira (*Cordia verbenacea* DC.). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Campinas, v. 16, n. 2, supl. I, p. 434-443, 2014.

GONELI, A. L. D.; VIEIRA, M. C.; VILHASANTI, A. C. B.; GONÇALVES, A. A. Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 1, p. 56-64, 2014b.

GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; MAGALHÃES, F. E. A.; BAPTESTINI, F. M. Contração volumétrica e forma dos frutos de mamona durante a secagem. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 1-8, 2011.

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

GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; RESENDE, O. REIS NETO, S. A. Electrical conductivity for quality evaluation of popcorn kernels subjected to mechanical damage. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, n. 96 v. 3, p. 361-367, 2007.

GONZÁLES, J., ROLDMAN, A., GALLARDO, M., ESCUDERO, T. E PRADO, F. **Quantitative determination of chemical compounds with nutritional value from Inca crops: *Chenopodium quinoa* (quinoa)**. *Plant Foods Human Nutrition*, v. 39: p. 331-337, 1989. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007/BF01092070> Acesso em: 28 out. 2013.

GRATÃO, P.T.S.; DEVILLA, I.A., FERREIRA, D.A.; NUNES, D.C.: Isotermas de sorção de grãos de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivar BRS Piabiru. **Anais...XXXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, Vitória-ES, 2010.

HANCCO, J.M.L.: **Cultivo de la quinua en puno-perú descripción, manejo y producción**. Puno, Peru, 2003. Disponível em: <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/cultivo-quinua-puno-peru/cultivo-quinua-puno-peru.pdf>. Acesso em: 15 de Outubro de 2013.

ISQUIERDO, E. P. **Cinética de secagem de café natural e suas relações com a qualidade para diferentes temperaturas e umidades relativas do ar**. 2011. 157f. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

ISTA. INTERNATIONAL RULES FOR SEED TESTING, **International Seed Testing Association**, Zurich: ISTA, 2006. 303 p.

IXTAINAA, V. Y.; NOLASCOA, S. M.; TOMÁS, M. C. Physical properties of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. **Industrial crops and products**, Elsevier, Amsterdam, v. 28, p. 286-293, 2008.

JACOB JUNIOR, E. A.; MERTZ, L. M.; HENNING, F. A.; PESKE, S. T.; VILELLA, F. A.; LABBÉ, L. M. B.; Ideal seeds harvest moment of different maize hybrids. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 2, p.253-260, 2014.

KARAJ, S., MÜLLER, J. Determination of physical, mechanical and chemical properties of seeds and kernels of *Jatropha curcas* L. **Industrial Crops and Products**, Elsevier, Amsterdam, v. 32, p. 129–138, 2010.

KIKUTI, A. L. P.; MARCOS FILHO, J. Testes de vigor em sementes de alface. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 1, p. 44-50, 2012.

KINGSLY, A. R. P.; SINGH, D. B.; MANIKANTAN, M. R.; JAIN, R. K. Moisture dependent physical properties of dried pomegranate seeds (Anardana). **Journal of Food Engineering**, London, v. 75, n. 4, p. 492-496, 2006.

KOZIOL, M.J. 1993. **Quinoa: A potential new oil crop**. p. 328-336. In: J. Janick and J.E. Simon (eds.), *New crops*. Wiley, New York. Disponível em : <https://www.hort.purdue.edu/newcrop/proceedings1993/v2-328.html>. Acesso em: 25 de Setembro de 2014.

KOZIOL, M. J. Composición química. In: WAHLI, C. **Quinoa hacia su cultivo comercial**. Quito: Latinreco, 1990. p. 137-159

KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D. Deterioração Controlada. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.) **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. p. 1-13.

KULCZYNSKI, S. M.; MACHADO, E. C.; BELLÉ, C.; SANGIOGO, M.; KUHN, P. R.; SORATTO, R. P. Teste de Condutividade Elétrica para Avaliação da Qualidade Fisiológica de Sementes de Gergelim (*Sesamun indicum* L.). **Revista agrarian**, dourados, v. 7, n. 23, p. 72-81, 2014.

LOPES, R.R.; FRANKE, L.B. Teste de condutividade elétrica para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de azevém (*Lolium multiflorum* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 1 p. 123-130, 2010.

LOPES, M.M.; BARBOSA, R.M.; VIEIRA, R.D. Methods for evaluating the physiological potential of Scarlet eggplant (*Solanum aethiopicum*) seeds. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 40, n. 1, p. 86-94, 2012.

LUCENA, A. M. A; CAVALCANTI, N. T. F.; FARIAS, A. L.; SANTOS, K. S.; ARRIEL, N. H. C.; ALBUQUERQUE, F. A. Qualidade de sementes de gergelim colhidas de frutos em diferentes estádios de maturação. **Revista Scientia Plena**, Aracajú, v. 9, n. 6, 2013.

MACHADO, C. G.; MARTIND, C. C.; SANTANA, D. G.; CRUZ, S. C. S.; OLIVEIRA, S. S. C. Adequação do teste de condutividade elétrica para sementes de *Pisum sativum* subsp. Arvense. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 6, p. 988-995, 2011.

MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. Enthalpy-entropy compensation models for sorption and browning of garlic. **Journal of Food Engineering**, Londres, v. 28, n. 1, p. 109-119, 1996.

MAGALHÃES, A. C.; COUTO, S. M.; QUEIROZ, D. M.; ANDRADE, E. T. Dimensões principais, massa e volume unitários, esfericidade e Ângulo de repouso de frutos de café. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.2, n.2, p.39-56, 2000.

MARCOS FILHO, J. Testes de vigor: importância e utilização. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina, 1999. p. 1-21.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2005. 495 p.

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

MARCOS FILHO, J.; NOVENBRE, A. D. L. C. Avaliação do potencial fisiológico de sementes de hortaliças. IN: NASCIMENTO, W. M. **Tecnologia de sementes de hortaliças**. Embrapa Hortaliças, Brasília, 2009. p. 185-246.

MARQUES, E. R.; ARAÚJO, E. F.; ARAÚJO, R. F.; MARTINS FILHO, S.; SOARES, P. C. Seed quality of rice cultivars stored in different environments. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 36, n. 1, p. 032-39, 2014.

MARTINAZZO, A. P. Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 03, p. 301-306, 2007.

McLAUGHLIN, C. P.; MAGEE, T. R. A. The determination of sorption isotherm and the isosteric heats of sorption for potatoes. **Journal of Food Engineering**, London, v. 35, p. 261-280, 1998.

MEDEIROS, L. T.; SALES, J. F.; SOUZA, R. G.; ALVES, B. A.; FREITAS, N. F. Qualidade fisiológica de sementes de amendoim forrageiro submetidas a diferentes tempos e ambientes de armazenamento. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 14, n. 3, p. 472-477, 2013.

MENDOZA, M. G. V.; VERA, C. M.; DOMÍNGUEZ, F. V. C. Thermal and Moisture Diffusion Properties of Amaranth Seeds. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, v. 86, p. 441-446, 2003.

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

MWITHIGA, G.; SIFUNA, M. M. Effect of moisture content on the physical properties of three varieties of sorghum seeds. **Journal of Food Engineering**, London, v.75, p. 480-486, 2006.

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

MOHSENIN, N.N. **Physical properties of plant and animal materials**. New York: Gordon and Breach Publishers, 1986. 841p.

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**, Fortaleza, v. 44, n. 3, p. 455-463, 2013.

MORAES FILHO, F. C.; OLIVEIRA, E.L.; NÓBREGA, E. M. M. A.; OLIVEIRA, J. A.; CORREIA, R. T. P. Secagem convectiva da acerola (*Malpighia emarginata* DC.): aplicação de modelos semiteóricos. **HOLOS**, Natal, Ano 30, v. 01, p. 86-95, 2014.

MOREIRA, S. M. C.; CHAVES, M. A.; OLIVEIRA, L. M. Comparação da eficiência de líquidos na determinação da massa específica aparente de grãos agrícolas. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 9, n. 1 e 2, p. 22-24, 1984/85.

MWITHIGA, G.; SIFUNA, M. M. Effect of moisture content on the physical properties of three varieties of sorghum seeds. **Journal of Food Engineering**, London, v. 75, 2006.

NASCIMENTO, W. M.; FREITAS, R. A. Qualidade fisiológica de sementes de cebola em função do estágio de maturação das umbelas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 1, p. 078-082, 2008.

NELLIST, M. E.; HUGUES, M. Physical and biological processes in the drying of seed. **Seed Science & Technology**. Zurich, v. 1, n. 3, p. 613-643, 1973.

NETO, M. C. O.; REIS, R. C.; DEVILLA, I. A. Propriedades Físicas de Sementes de Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) Variedade “Emgopa 201-Ouro”. **Revista Agrotecnologia**, Lavras, v. 01, n. 01a07, p. 99-109, 2012.

NUNES, D. M. C. **Propriedades físicas, térmicas e aerodinâmicas de grãos de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd)**. 2009, 68p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2009.

OLANIPEKUN, B. F.; TUNDE-AKINTUNDE, T. Y.; OYELADE, O. J.; ADEBISI, M. G.; ADENAYA, T. A. Mathematical modeling of thin-layer Pineapple drying. **Journal of Food Processing and Preservation**, Hoboken, DOI: 10.1111/jfpp.12362, 2014.

OLIVEIRA, G.H.H.; CORRÊA, P.C SANTOS; F. L.; VASCONCELOS; W. L.; CALIL JÚNIOR; C.; BAPTESTINI; F. M.; ELÍAS G. A. V. Caracterização física de café após torrefação e moagem. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 4, p. 1813-1828, 2014.

OLIVEIRA, G. L.; DIAS, L. A. S.; DIAS, D. C. F. S.; SOARES, M. M.; SILVA, L. J. Accelerated ageing test to evaluate vigour in *Jatropha curcas* L. seeds. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 1, p. 120-127, 2014b.

OLIVEIRA, G.H.H.; CORRÊA, P.C; SANTOS, E.S.S.; TRETO, P.C.; DINIZ, M.D.M.S.: Evaluation of thermodynamic properties using GAB model to describe the desorption process of cocoa beans. **Journal of Food Science and Technology**, Mysore, v. 46, p. 2077-2084, 2011.

ÖZARSLAN, C. Physical Properties of Cotton Seed. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, v. 83, p. 169-174, 2002.

PARK, K. J. B.; PARK, K. J.; ALONSO, L. F. T.; CORNEJO, F. E. P.; DAL FABBRO, I. M. Secagem: fundamentos e equações. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.16, n.1, p.93-127, 2014.

PESKE, S. T.; VILLELA, F. A.; LABBÉ-BAUDET, F. Secagem de sementes de hortaliças. IN. NASCIMENTO, W. M. **Tecnologia de sementes de hortaliças**. Embrapa Hortaliças, Brasília-DF, 2009. P. 137-154.

PREGO, I., MALDONADO, S. E OTEGUI, M.: Seed structure and localization of reserves in *Chenopodium quinoa*. **Annals of Botany**, Oxford, v. 82, p. 481-488. 1998.

PEREIRA, F. E. C. B.; TORRES, S. B.; SILVA, M. I. L.; GRANGEIRO, L. C.; BENEDITO, C. P. Qualidade fisiológica de sementes de pimenta em função da idade e do tempo de repouso pós-colheita dos frutos. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 45, n. 4, p. 737-744, 2014.

PUMACAHUA-RAMOS, A., LOPES FILHO, J. F., LIMAYLLA-GUERRERO, K. M.: Determinacion del coeficiente de difusion del agua durante maceracion de dos variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willdenow) **Anais...** In: VIII CONGRESO IBEROAMERICANO DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS, 8., 2011, Lima: Editora da UNALM, 2011.

PUZZI, D. **Abastecimento e armazenamento de grãos**. Campinas: ICEA, 2000. 604p.

QUEIROZ, L. A. F.; VON PINHO, É. V. R.; OLIVEIRA, J. A.; FERREIRA, V. F.; CARVALHO, B. O.; BUENO, A. C. R. Época de colheita e secagem na qualidade de sementes de pimenta habanero yellow. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina v. 33, n. 3, p. 472-481, 2011.

RADÜNZ, L. L.; AMARAL, A. S.; MOSSI, A.J.; MELO, E. C.; ROCHA, R. P. Avaliação da cinética de secagem de carqueja. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 19, n. 1, p. 19-27, 2011.

RADÜNZ, L. L.; MELO, E. C.; ROCHA, R. P.; BARBOSA, F. F.; SANTOS, R. H. S.; BERBET, P. A. Avaliação das curvas de secagem de guaco (*Mikania glomerata* Spreng.) em secador de bandejas. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Campinas, v. 16, n. 2, supl. I, p. 378-387, 2014.

REIS, R. C.; BARBOSA, I. S.; LIMA, M. L.; REIS, J. S.; DEVILLA, I. A.; ASCHERI, D. P. R. Modelagem matemática da secagem da pimenta Cumari do Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 4, p. 347-353, 2011.

REN, G.; YAO, P.; FU, N.; LI, D.; LAN, Y.; CHEN, X. D. Physical Properties of Naked Oat Seeds (*Avena nuda* L.). **Journal of Food Engineering**; London, v. 10, n. 2, p. 339–345, 2014.

RESENDE, O.: **Variação das propriedades físicas e mecânicas e da qualidade do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) durante a secagem e o armazenamento**. 2006. 197f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

RESENDE, O.; CORRÊA, P.C.; GONELI, A.L.D.; RIBEIRO, D.M.: Propriedades físicas do feijão durante a secagem: determinação e modelagem. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 225-230, jan./fev., 2008.

RESIO, A. N. C.; AGUERRE, R. J.; SUAREZ, C. Drying characteristics of amaranth grain. **Journal of Food Engineering**. London, v. 65, p. 197–203, 2004.

RIBEIRO, D. M.; CORRÊA, P. C.; RODRIGUES, D. H.; GONELI, A.L.D. Análise da variação das propriedades físicas dos grãos de soja durante o processo de secagem. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 3, p. 611-617, 2005.

ROCHA, J.E.S.: **Controle genético de caracteres agronômicos em quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)**. 2006. 164f. Tese (Doutorado em Agronomia) Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2011

RODO, A. B.; PANOBIANCO, M.; MARCOS FILHO, J. Metodologia alternativa do teste de envelhecimento acelerado para sementes de cenoura. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 2, p. 289-292, 2000.

RODOVALHO, R.S.; DEVILLA, I.A.; ASCHERI, D.P.R.; BASSINELLO, P.Z.; FERREIRA, D.A.: Isotermas de sorção do arroz-vermelho em casca (*Oryza sativa* L.). **Revista Brasileira de Armazenagem**, Viçosa, v.34, n.2, p. 144-152, 2009.

SANJINEZ-ARGANDONA, E. J.; BRANCO, I. G.; BITTENCOURT, T. U.; MUNHOZ, C. L. Influência da geometria e da temperatura na cinética de secagem de tomate (*Lycopersicon esculentum*). **Ciencia e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 31, p. 308-312, 2011.

SANTANA, M. F. S.; BRAGA, M. E. D. Parâmetros aerodinâmicos que influenciam na separação de amendoim. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.1, n.1, p.67-73, 1999.

SANTOS, R. L. B.: **Estudos iniciais para o cultivo de quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) nos Cerrados**. 1996. 135f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade de Brasília, UnB, Brasília, 1996.

SANTOS, C. T.; BONOMO, R. F.; CHAVES, M. A.; FONTAN, R. C. I.; BONOMO, P. Cinética e modelagem da secagem de carambola (*Averrhoa carambola* L.) em secador de bandeja. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 32, n. 3, p. 309-313, 2010.

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

SARAVIA, C. T.; PERES, W. B.; RISSO, J. Manejo da temperatura do ar na secagem intermitente de sementes de Arroz irrigado. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 2, p.23-27, 2007.

SAUER, J. D. The grain amaranthus. A survey of their history and classification. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v.37, n. 4, p. 561-632. 1950.

SASSERON, J.L. **Características dos grãos armazenados**. Viçosa: CENTREINAR, 1980. 65p.

SELVI, K. Ç.; PINAR, Y.; YEŞİLOĞLU, E. Some physical properties of linseed. **Biosystem Engineering**, Amsterdam, v. 95, n. 4, p. 607-612, 2006.

SHARANAGAT, V. S.; GOSWAMI, T. K. Effect of moisture content on physio-mechanical properties of coriander seeds (*Coriandrum sativum*). **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, Kyoto, v. 16, n. 3, p. 166-172, 2014.

SILVA, J. S.; CORRÊA, P. C., Estrutura, composição e propriedades dos grãos In: SILVA, J. S., **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**, Viçosa: UFV, 2000. p. 21-37.

SILVA, J. S.; LACERDA FILHO, A. F.; DEVILLA, I. A.; LOPES, D. C. Aeração de grãos armazenados In: SILVA, J. S., **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**, Viçosa, MG, 2000. p. 269-295.

SILVA, F. S.; CORRÊA, P. C.; AFONSO JÚNIOR, P. C.; GONELI, A. L. D. Influência do teor de água na velocidade terminal de grãos de sorgo e milheto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 2, n. 3, p. 143-147, 2003.

SILVA, P. A. **Estudo da qualidade fisiológica, bioquímica e ultra-estrutura, durante o desenvolvimento e a secagem de sementes de soja**. 2006. 66f. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal de Lavras, UFLA, Lavras, 2006.

SILVA, J.S.; AFONSO, A.D.L; DONZELLES, S.M.L; NOGUEIRA, R.M.: Secagem e secadores. IN: SILVA, J. S. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Editora UFV, Viçosa, 2008. 560p.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance. In: **WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE**, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009

SILVA, T. T. A. **Qualidade de sementes de sorgo (*Sorghum bicolor* L.) durante a maturação, secagem e armazenamento**. 2010. 126f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, UFLA, Lavras, 2010.

SILVA, S. S.; VIEIRA, R. D.; GRZYBOWSKI, C. R. S.; CARVALHO, T. C.; PANOBIANCO, M. Electrical conductivity of different common bean seeds genotypes. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 35, n. 2, p. 216-224, 2013.

SILVA, V. N.; ZAMBIASI, C. A.; TILLMANN, M. A.; MENEZES, N. L.; VILELLA, F. A. Condução do teste de condutividade elétrica utilizando partes de sementes de feijão. **Revista de Ciências Agrárias**, Recife, v. 37, n. 2, p. 206-213, 2014.

SIMAL,S.; FEMENIA, A.; GARAU, M.C.; ROSSELL, C.: Use of exponential, Page's and diffusional models to simulate the drying kinetics of kiwi fruit. **Journal of Food Engineering**, London, v. 66, p. 323–328, 2005.

SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Propriedades físicas das sementes de pinhão-mansão ao longo da secagem em diferentes temperaturas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, suplemento 1, p. 2705-2714, 2012.

SMANIOTTO, T. A. S.; RESENDE, O.; MARÇAL, K. A. F.; OLIVEIRA, D. E. C.; SIMON, G. Qualidade fisiológica das sementes de soja armazenadas em diferentes condições. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 4, p. 446-453, 2014.

SOUSA, K. A.; RESENDE, O.; CHAVES, T. O.; COSTA, L. M. Cinética de secagem do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 4, p. 883-892, 2011.

SOUSA, F. A.; ANDRADE, E. T.; FIGUEIRA, V. G.; D'ANDREA, E. M.; CORRÊA FILHO, L. C. Estudo da cinética de secagem, contração volumétrica e análise da difusão líquida do Morango (*Fragaria* sp.). **ENGEVISTA**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 1, p. 8-18, 2014.

SOUZA, A. B. M.; SOUZA, F. F. J.; SOUZA, R. T. G.; MELO, P. C.; DEVILLA, I. A.: Propriedades físicas, térmicas e aerodinâmicas de grãos das cultivares de arroz BR IRGA 409 e BRS Primavera. **Current Agricultural Science and Technology**, Pelotas, v. 19, p. 67-72, 2013.

SOUZA, F. F. J. **Qualidade fisiológica de sementes de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) armazenadas em diferentes ambientes e embalagens**. 2013. 64f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual de Goiás-UEG, Anápolis, 2013.

SOUZA, L. A.; CARVALHO, M. L. M.; KATAOKA, V. Y.; OLIVEIRA, J. A. Teste de condutividade elétrica para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de mamona. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 60-67, 2009.

SPEHAR, C. R.; SOUZA, P. I. M. Adaptação da quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) ao cultivo nos cerrados do Planalto Central: resultados preliminares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 5, p. 635-639, 1993.

SPEHAR, C.R., SANTOS, R. Quinoa BRS Piabiru: alternativa para diversificar os sistemas de produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37: p. 889-893. 2002.

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

SPEHAR, C. R. Adaptação da quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) para incrementar a diversidade agrícola e alimentar no Brasil. **Cadernos de Ciências e Tecnologia**, Brasília, v. 23, n. 1, p. 41-62, 2006.

SPEHAR, C. R. **Quinoa**: alternativa para a diversificação agrícola e alimentar. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007. 103p.

SPEHAR, C.R.; ROCHA, J.E.S.; SANTOS, R.L.B.: Desempenho agrônômico e recomendações para cultivo de quinoa (BRS Syetetuba) no cerrado. **Comunicação científica. Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 145-147, 2011.

TAPIA, M.: **Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación**. Santiago, Chile: Oficina Regional de la FAO para la América Latina y Caribe, 1997. 217p.

TEIXEIRA, D. L.; SPEHAR, C. R.; SOUZA, L. A. C. Caracterização agrônômica de amaranto para cultivo na entressafra no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 45-51, 2003.

TEKRONY, D. M. Precision is an essential component in seed vigour testing. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 31, n. 2, p. 435- 447, 2003.

TILLMANN, M. A. A.; MELLO, V. D. C.; ROTA, G. R. M. Análise de Sementes. In: PESKE, S.T.; ROSENTHAL, M. D.; ROTA, G.R.M. **Sementes**: fundamentos científicos e Tecnológicos. Pelotas, 2003. p. 138-223.

TORREGROZA-ESPINOSA, A. M.; MONTES-MONTES, E. J.; ÁVILA-GÓMEZ, A. E. REMOLINA-LOPEZ, J. F. Kinetic modelling of drying of three varieties of yucca industrial. **DYNA**, Bogotá, v. 81, p. 184-192, 2014.

TORRES, S .B.; MEDEIROS, M. A.; TOSTA, M. S.; COSTA, G. M. M. Teste de condutividade elétrica em sementes de gergelim. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 31, n. 3, p. 70-77, 2009.

TORRES, S. B.; PEREIRA, R. A. Condutividade elétrica em sementes de rúcula. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 58-70, 2010.

TUNDE-AKINTUNDE, T. Y. Effect of pretreatments on drying characteristics and energy requirements of plantain (*musa* AAB). **Journal of Food Processing and Preservation**. Hoboken, v. 38, p. 1849–1859, 2014.

TUNES, L. M.; PEDROSO, D. C.; BARBIERI, A. P. P.; CONCEIÇÃO, G. M.; ROETHING, E.; MUNIZ, M. F. B.; BARROS, A. C. S. A. Envelhecimento acelerado modificado para sementes de coentro (*Coriandrum sativum* L.) e sua correlação com outros testes de vigor. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 12-17, 2011.

TUNES, L. M.; PEDROSO, D. C.; BARDINELLI, P. G.; TAVAREZ, L. C.; RUFINO, C. A.; BARROS, A. C. S. A.; MUNIZ, M. F. B. Envelhecimento acelerado em sementes de azevém com e sem solução salina e saturada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 1, p. 33-37, 2011.

VENTURINI, T.; BENCHIMOL, L. R.; BERTUOL, D. A.; ROSA, M. B.; MEILI, L. Estudo da secagem e extração de sementes de mamão (*Carica papaya* L.). *Revista*

Eletronica em Gestao, Educacao e Tecnologia Ambiental, Santa Maria, v. 5, n. 5, p. 950-959, 2012.

VIDIGAL, D. S.; LIMA, J. S.; BHERING, M. C.; DIAS, D. C. F. S. Teste de condutividade elétrica para sementes de pimenta. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 30, n. 1, p. 168-174, 2008.

VIEIRA, S. **Estatística básica**. São Paulo: Cengage Learning, 2013. 173p.

VIEIRA, R. D.; KRZYZANOWSKI, F. C. Teste de Condutividade Elétrica. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.) **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. p. 4-1.

VILCHE, C.; GELY, M.; SANTALLA, E. Physical Properties of Quinoa Seeds. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, 86, p. 59–65, 2003.

YAGUSHI, J. T.; COSTA, D. S.; FRANÇA-NETO, J. B. Saturated salt accelerated aging and computerized analysis of seedling images to evaluate soybean seed performance. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 36, n. 2, p. 213-221, 2014.

YALÇIN, .I. Physical properties of cowpea (*Vigna sinensis* L.) seed. **Journal of Food Engineering**, London, v. 79, p. 57–62, 2007.