

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

Janete Denardi Munareto

**TESE DE DOUTORADO**

**TEMPERATURA BASE, FILOCRONO E MÉTODOS PARA  
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FISIOLÓGICO EM SEMENTES DE  
QUINOA**

Santa Maria, RS.  
2020

Janete Denardi Munareto

**TEMPERATURA BASE, FILOCRONO E MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DO  
POTENCIAL FISIOLÓGICO EM SEMENTES DE QUINOA**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Agronomia**.

Orientador: Prof. Dr. Sandro Luis Petter Medeiros

Santa Maria, RS.  
2020

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

Munareto, Janete Denardi  
TEMPERATURA BASE, FILOCRONO E MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO  
DO POTENCIAL FISIOLÓGICO EM SEMENTES DE QUINOA / Janete  
Denardi Munareto.- 2020.  
66 p.; 30 cm

Orientador: Sandro Luis Petter Medeiros  
Coorientador: Leandro Galon  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós  
Graduação em Agronomia, RS, 2020

1. Chenopodium quinoa 2. necessidades térmicas 3.  
sementes 4. testes de vigor I. Petter Medeiros, Sandro  
Luis II. Galon, Leandro III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFEM. Dados fornecidos pelo autor(a). SOB supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Fatta CDB 10/1728.

Declaro, JANETE DENARDI MUNARETO, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Tese) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, esta ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

**Janete Denardi Munareto**

**TEMPERATURA BASE, FILOCRONO E MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DO  
POTENCIAL FISIOLÓGICO EM SEMENTES DE QUINOA**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia,  
da Universidade Federal de Santa Maria  
(UFSM, RS), como requisito parcial para  
obtenção do grau de **Doutora em Agronomia**.

Aprovado em 04 de junho de 2020:



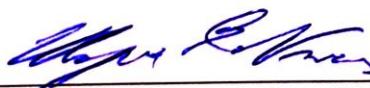
---

Prof. Dr. Sandro Luis Petter Medeiros.  
(Presidente/Orientador)



---

Prof. Dra. Juçara Terézinha Paranhos (UFSM) - Parecer



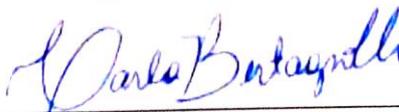
---

Prof. Dr. Ubirajara Russi Nunes (UFSM) - Parecer



---

Prof. Dr. Edmar Soares de Vasconcelos (UNIOESTE) - Parecer



---

Prof. Dra. Carla Medianeira Bertagnolli (IFFar-JC) - Parecer

Santa Maria, RS.  
2020

## DEDICATÓRIA

Ao anjo de olhos azuis, minha mãe Ironi, que voou para junto de Deus, na fase de conclusão do meu doutorado. Mãe, infelizmente você não está aqui para presenciar esse momento importante da minha vida, pelo qual lutei muito.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus e aos espíritos protetores, que me guiaram e me deram forças para seguir em frente.

À minha família, Geri (esposo) Jean, Geandra e Alexandre (filhos), por estar ao meu lado, me incentivando a buscar o meu espaço. Vocês foram determinantes para que eu voltasse a estudar e alcançasse tal conquista de ser doutora em agronomia.

Aos meus pais, Alvino e Ironi (*in memoriam*) pela vida, amor e ensinamentos que norteiam minha vida!

Às minhas irmãs, Cleni, Janes, Laurete e Silvana, todas vocês foram muito importantes nesta fase e em tantas outras da minha vida;

Ao meu orientador Sandro Medeiros pela disponibilidade e dedicação em me atender nas horas em que as dúvidas borbulhavam na minha cabeça, jamais serão esquecidas!

Ao professor Ubirajara Russi Nunes pelo apoio incondicional em uma etapa crucial da minha pesquisa;

Ao professor Edmar S. Vasconcelos pela generosidade em doar as sementes de quinoa, para realização deste trabalho, o meu muito obrigado de coração!

A meus amigos (estes sabem quem são) pelas experiências compartilhadas, pela torcida, e afeto;

Aos estagiários André Tischler e Lucas Drebes, pelo comprometimento com as atividades;

Aos funcionários do departamento de fitotecnia (João e Hilton) pelo apoio nas atividades de campo;

A Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e ao corpo docente do PPGA que contribuíram para minha formação acadêmica. Este foi um lugar que marcou na minha vida, tenho muito orgulho por ter passado por esta instituição;

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão de bolsa durante o curso;

Enfim, a todos aqueles que contribuíram de forma direta ou indireta para tornar esse sonho realidade.

*Ando devagar porque já tive pressa  
E levo esse sorriso por que já chorei demais  
Hoje me sinto mais forte mais feliz quem sabe  
Só levo a certeza de que muito pouco eu sei  
Ou nada eu sei...*

*Conhecer as manhas e manhãs  
O sabor das massas e das maçãs  
É preciso amar pra poder pulsar  
É preciso chuva para florir*

*Penso que cumprir a vida  
Seja simplesmente compreender a marcha  
E ir tocando em frente  
Como um velho boiadeiro  
Levando a boiada eu vou tocando os dias  
Pela longa estrada, eu vou  
Estrada eu sou*

*Todo mundo ama um dia todo mundo chora  
Um dia a gente chega e no outro vai embora  
Cada um de nós compõe a sua história  
Cada ser em si carrega o dom de ser capaz  
De ser feliz...*

Almir Sater e Ricardo Teixeira

## RESUMO

### TEMPERATURA BASE, FILOCRONO E MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FISIOLÓGICO EM SEMENTES DE QUINOA.

AUTORA: Janete Denardi Munareto  
ORIENTADOR: Sandro Luis Petter Medeiros

A quinoa pertencente à família Amaranthaceae é uma planta anual amplamente cultivada na região andina, onde as condições climáticas são severas devido à escassez de água e variações de temperaturas. Apesar do potencial agrônômico e alimentar, pouco se conhece a respeito das necessidades térmicas da cultura e não existem recomendações oficiais para a condução de testes de vigor. O objetivo deste trabalho foi determinar a temperatura base inferior ( $T_b$ ) e filocrono e estabelecer uma metodologia capaz de avaliar a qualidade fisiológica das sementes de quinoa através dos testes de envelhecimento acelerado (EA) e condutividade elétrica (CE). No período de 2016 a 2018, foram conduzidos três experimentos, um a campo e dois em laboratório que estão apresentados na forma de três capítulos. Os experimentos foram realizados na área experimental do Departamento de Fitotecnia e no Laboratório Didático e de Pesquisa em Sementes. Para determinar a  $T_b$  e filocrono e a soma térmica acumulada foi calculada a partir da germinação até o quinto par de folhas em oito datas de semeadura. O experimento em sementes foi conduzido com quatro lotes proveniente do experimento a campo, os quais foram caracterizados através dos testes de primeira contagem de germinação; germinação; emergência de plântulas em substrato; comprimento de parte aérea e radicular, massa de mil sementes e teor de água inicial. O teste de envelhecimento acelerado foi realizado com duas temperaturas (41 e 45 °C) por períodos 12, 24, 36, 48, 60 e 72 h. O de condutividade elétrica com 25, 50 e 75 sementes a 20 °C, em dois volumes de água deionizada: 25 e 50 mL. As leituras foram realizadas em cinco períodos de embebição: 1, 2, 3, 4, 5 h. Os resultados demonstraram que a  $T_b$  foi de 7 °C e o genótipo Q 13-31, necessitou de e 28 °C dia folha<sup>-1</sup>. O teste de envelhecimento acelerado conduzido a 45 °C, por 12 horas, e o teste de condutividade elétrica com 50 sementes embebidas em 50 mL de água deionizada, por 2 h são eficientes para detectar diferenças de vigor entre os lotes de sementes de quinoa.

**Palavras-chave:** *Chenopodium quinoa*. Necessidades térmicas. Sementes. Testes de vigor.

## ABSTRACT

### BASE TEMPERATURE, PHILOCHRON AND METHODS FOR ASSESSING PHYSIOLOGICAL POTENTIAL IN QUINOA SEEDS.

AUTHOR (a): Janete D. Munareto  
ADVISOR: Sandro Luis Petter Medeiros

Quinoa belonging to the Amaranthaceae family is an annual plant widely cultivated in the Andean region, where climatic conditions are severe due to water scarcity and temperature variations. Despite the agronomic and food potential, little is known about the thermal needs of the crop and there are no official recommendations for conducting vigor tests. The objective of this work was to determine the lower base temperature ( $T_b$ ) and phyllochron and to establish a methodology capable of evaluating the physiological quality of quinoa seeds through the tests of accelerated aging (EA) and electrical conductivity (CE). In the period from 2016 to 2018, three experiments were conducted, one in the field and two in the laboratory, which are presented in the form of three chapters. The experiments were carried out in the experimental area of the Department of Phytotechnics and in the Didactic and Seed Research Laboratory. To determine  $T_b$  and phyllochron and the accumulated thermal sum was calculated from the germination up to the fifth pair of leaves in eight sowing dates. The seed experiment was conducted with four batches from the field experiment, which were characterized by tests of first germination count; germination; emergence of seedlings in substrate; aerial and root length, thousand seed mass and initial water content. The accelerated aging test was carried out with two temperatures (41 and 45 °C) for periods 12, 24, 36, 48, 60 and 72 h. The electrical conductivity with 25, 50 and 75 seeds at 20 °C, in two volumes of deionized water: 25 and 50 mL. The readings were taken in five periods of imbibition: 1, 2, 3, 4, 5 h. The results showed that  $T_b$  was 7 °C and the genotype Q 13-31, required 28 °C leaf day<sup>-1</sup>. The accelerated aging test conducted at 45 °C, for 12 hours, and the electrical conductivity test with 50 seeds soaked in 50 mL of deionized water, for 2 h are efficient to detect differences in vigor between the quinoa seed lots.

**Keywords:** *Chenopodium quinoa*. Needs termal. Seeds. Vigor tests.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Teor de água inicial (TAI, %), massa de mil sementes (MMS, g), primeira contagem (PC, %), germinação (GER, %), emergência em substrato comercial (ESC, %), comprimento da radicular (CR, cm), comprimento da parte aérea (CPA, cm) e massa seca total de plântulas (MST, g), em quatro lotes de quinoa ( <i>C. quinoa</i> ), genótipo Q13-31, Santa Maria, RS, 2018.....	50
Tabela 4.2 - Teor de água (%) de sementes de quinoa ( <i>C. quinoa</i> ), cultivar Q13-31, após os períodos de envelhecimento acelerado. ....	51
Tabela 4.3 - Percentual de germinação obtido pelo teste de envelhecimento acelerado a 41 e 45 °C em seis períodos de exposição para cultivar de quinoa ( <i>C. quinoa</i> Willd) Q13-31. Santa Maria - RS, 2018.....	52
Tabela 4.4 - Correlações entre os dados obtidos no teste de envelhecimento acelerado e o teste de primeira contagem (PC), germinação (GER) e emergência de plântulas em substrato comercial (ESC) em sementes de quinoa ( <i>C. quinoa</i> Willd.). ....	54
Tabela 5.1 - Caracterização dos lotes de sementes de quinoa ( <i>C. quinoa</i> ). Teor de água inicial (TAI), massa de mil sementes (MMS), primeira contagem de germinação (PC), germinação (G) e emergência de plântulas (EP). ....	61
Tabela 5.2 - Condutividade elétrica em função do número de sementes e volume de água, períodos de embebição em genótipo de quinoa ( <i>C. quinoa</i> ) Q 13-31. ....	63
Tabela 5.3 - Coeficientes correlação de Pearson, entre os tratamentos de condutividade elétrica e os testes de primeira contagem de germinação (PC), germinação (G) e emergência de plântulas em substrato (ESC) com sementes de quinoa ( <i>C. quinoa</i> ). ....	64

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Arquitetura da planta de quinoa ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) .....	20
Figura 2.2 - Cores de panículas de quinoa ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) .....	20
Figura 2.3 - Abertura de flores de quinoa ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) .....	21
Figura 2.4 - Fruto da quinoa ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.). (A) parte dorsal, (B) parte ventral do fruto.....	21
Figura 2.5 - Semente de quinoa ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.).....	22
Figura 2.6 - Escala fenológica da quinoa ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.).....	23
Figura 3.1 - Normal climatológica e precipitação (mm), e valores médios mensais de temperatura mínima do ar (Tmin, °C) e temperatura máxima do ar (Tmax, °C) correspondentes aos períodos de condução do experimento de quinoa ( <i>C. quinoa</i> ) de dezembro de 2016 a abril de 2018. ....	38
Figura 3.2 - Determinação da temperatura base inferior (Tb °C) para o subperíodo germinação a emissão do primeiro (A), segundo (B), terceiro (C), quarto (D) e quinto (E) par de folhas pelo método do menor desvio padrão para o genótipo de quinoa ( <i>C. quinoa</i> ) Q 13-31 em Santa Maria (RS).....	39
Figura 3.3 - Determinação da Tb do subperíodo germinação a emissão do primeiro (A), segundo (B), terceiro (C), quarto (D) e quinto (E) par de folhas obtido pelo método de desenvolvimento relativo (DR) para o genótipo de quinoa ( <i>C. quinoa</i> ) Q 13-31 em Santa Maria (RS). ....	40
Figura 3.4 - Relação entre o número de folhas (NF) e a soma térmica acumulada (STa) utilizada para estimar o filocrono do genótipo ( <i>C. quinoa</i> ) Q 13-31.....	41

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>13</b>
REFERÊNCIAS.....	15
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>19</b>
2.1 ASPECTOS BOTÂNICOS E ECOFISIOLOGIA DA CULTURA .....	19
2.2 TESTE DE VIGOR .....	25
2.3 QUINOA NO BRASIL.....	27
2.4 TEMPERATURA BASE E FILOCRONO .....	28
REFERÊNCIAS.....	29
<b>3 CAPÍTULO I - ESTIMATIVA DE TEMPERATURA BASE E FILOCRONO EM QUINOA.....</b>	<b>33</b>
3.1 INTRODUÇÃO .....	34
3.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	35
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
3.4 CONCLUSÃO .....	42
REFERÊNCIAS.....	42
<b>4 CAPÍTULO II - TESTE DE ENVELHECIMENTO ACELERADO EM SEMENTES DE QUINOA .....</b>	<b>46</b>
4.1 INTRODUÇÃO .....	47
4.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	48
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
4.4 CONCLUSÃO .....	54
REFERÊNCIAS.....	54
<b>5 CAPÍTULO III - TESTE DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA PARA AVALIAÇÃO DO VIGOR EM SEMENTES DE QUINOA .....</b>	<b>57</b>
5.1 INTRODUÇÃO .....	58
5.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	59
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	60
5.4 CONCLUSÃO .....	65
REFERÊNCIAS.....	65

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) é um pseudocereal de origem Andina, onde é cultivada e utilizada como alimento há vários séculos. Possui capacidade adaptativa a diversas condições ambientais, desenvolvendo-se desde a altitude elevada na Bolívia até o nível do mar no Chile, tolerando seca, altas e baixas temperaturas (-8 a 38°C), salinidade e aridez do solo (BOIS et al., 2006; GEERTS et al., 2008; HARIADI et al. 2011; ADOLF et al., 2012).

A variedade de genótipos tem permitido o cultivo fora da zona de origem. Vários estudos conduzidos de forma experimental indicam o cultivo de quinoa em mais de 95 países (Ásia, África, Europa e América do Norte e Sul). Estes esforços para introduzir a quinoa como cultura alternativa tem apresentado respostas de produtividades diferenciadas nos ambientes testados, obtendo-se rendimentos iguais ou superiores aos da região andina (BAZILE et al., 2015, KATSUNORI, et al, 2016). A introdução de quinoa em diferentes locais contribui, não só para a sustentabilidade e diversificação dos sistemas agrícolas, mas também na identificação de variedades adaptadas a cada local de cultivo.

O grão possui elevado valor nutricional, com destaque para perfil de aminoácidos essenciais, minerais, vitaminas, ácidos graxos poli-insaturados e (VEGA-GÁLVEZ et al., 2010; REPO-CARRASCO-VALENCIA; SERNA, 2011) sendo considerada uma cultura importante para melhorar a segurança alimentar mundial.

Os efeitos benéficos do seu consumo foram extensivamente revisados (SIMNADIS et al., 2015; NAVRUZ-VARLI; SANLIER, 2016; MARADINI FILHO, 2017; TANG; TSAO, 2017; SUÁREZ-ESTRELLA et al., 2018). Pode ser consumida por humanos e animais, ou usada em rotação de culturas ou como planta de cobertura do solo. A saponina, presente nas sementes, em algumas variedades, pode ser utilizada nas indústrias farmacêuticas e químicas. (SPEHAR, 2007; RESTREPO, et al, 2005).

Devido essas razões têm-se observado um aumento significativo de produção de quinoa nos últimos anos. A prova disso é que a produção mundial teve um incremento superior a 268% na última década, partindo de 52.326 para 192.342 t entre 2004 e 2014. Nesse mesmo período houve um incremento na área plantada de 67.243 para 195.342 hectares e a produtividade aumentou 27%, variando de 778 para 985 kg ha<sup>-1</sup>. Os maiores produtores mundiais de quinoa são Peru com 78.657 t e Bolívia 66.792 t (FAOSTAT, 2017).

No Brasil, a pesquisa com a quinoa teve início em 1990 na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), com objetivo de adaptá-la ao cultivo no país, originando a cultivar BRS Piabiru e Syetetuba (SPEHAR; SANTOS, 2002; SPEHAR et al., 2011). O

desafio de produzir quinoa fora do cerrado brasileiro (SPEHAR; SANTOS, 2002), implica em expor as sementes e as plantas às condições climáticas de cada região (SPEHAR, 2007). Trabalhos de melhoramento com a cultura têm sido realizados na Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) visando selecionar genótipo, a fim de lançar cultivar adaptada ao clima da Região Sul (VASCONCELOS et al., 2013).

Sabe-se que as condições ambientais influenciam nos processos vitais das plantas, durante todo o processo de crescimento e desenvolvimento. Temperaturas do ar elevadas aceleram o metabolismo, enquanto que as baixas reduzem e prolongam o ciclo das plantas (BERGAMASCHI, 2017). Durante o período de crescimento, o tempo térmico decorrido entre o aparecimento de duas folhas sucessivas na haste principal denominado de filocrono (WILHELM; McMASTER, 1995). Este índice estima o desenvolvimento vegetativo das plantas, ou seja, até o florescimento em função da temperatura do ar.

Em geral, as plantas apresentam seu desenvolvimento influenciado pelo acúmulo térmico ( $^{\circ}\text{C}$  dia). Este representa a integração (tempo-dias) das temperaturas efetivas das plantas, considerando seus extremos de adaptação. Cada espécie apresenta limites térmicos de sobrevivência, representados pela temperatura base (inferior e superior), fora das quais seu metabolismo paralisa ou se torna negativo e as plantas passam a sofrer estresse por frio ou calor (BERGAMASCHI, 2017). A partir da temperatura basal inferior o desenvolvimento é considerado positivo. Conhecendo este limite é possível determinar as necessidades térmicas em todas as fases fenológicas. Além disso, baseados no zoneamento agrícola, é possível prever quais regiões ou locais estão aptos ao cultivo.

A qualidade das sementes é um fator determinante no desempenho da cultura. A germinação do grão na pré-colheita é um dos limitantes no cultivo da quinoa, principalmente quando altas temperaturas e excesso de umidade, coincidem com o período de maturação dos grãos (CECCATO et al., 2011). O pericarpo seco (BURRIEZA et al. 2014), altamente higroscópico, ocasiona a protrusão da radícula em um curto espaço de tempo, de 6 a 10 horas após absorver água (PARSONS, 2012; CECCATO et al., 2011).

O teste de germinação, que avalia o potencial germinativo de lote de sementes, é a principal parâmetro usado para a comercialização de sementes. A maioria das espécies cultivadas possuem especificações técnicas para esse teste (BRASIL, 2009). Entretanto, esse teste não é suficiente para informar potencial fisiológico das sementes, necessitando testes de vigor afim complementar o de germinação.

Dentre os testes de vigor, o de envelhecimento acelerado é o mais utilizado, devido à precisão e sensibilidade em detectar diferenças de qualidade entre lotes de sementes com

germinação semelhante (PEREIRA et al., 2015). O teste avalia a capacidade das sementes resistirem a fatores ambientais adversos (altas temperaturas e umidade) (MARCOS FILHO, 2015), condições que induzem reações oxidativas nos constituintes celulares da semente (MENEZES et al., 2014). Sementes vigorosas resistem melhor a essas condições e deterioram-se mais lentamente que as menos vigorosas e, apresentam germinação diferenciada após o teste (DELOUCHE, 2002, ALVES, SÁ, 2012).

O teste de condutividade elétrica é também utilizado para avaliar o vigor. O teste baseia-se no fato de que, a qualidade das sementes está diretamente relacionada com a integridade das membranas. Assim, os lotes de sementes que apresentam elevados índices de lixiviação (açúcares, aminoácidos, ácidos graxos, proteínas, enzimas e íons inorgânicos) para o meio externo apresentam baixa emergência no campo. Sementes vigorosas liberam menor quantidade de eletrólitos na água de embebição e emergem bem no campo (MARCOS FILHO, 2015; POWELL; MAVI, 2016).

Buscando gerar informações aos agricultores e as empresas produtoras de sementes, o objetivo deste estudo foi determinar a temperatura base e o filocrono e avaliar a capacidade dos testes de envelhecimento acelerado e condutividade elétrica a fim de detectar diferenças fisiológicas entre os lotes de sementes de quinoa.

## REFERÊNCIAS

- ADOLF, V, I. et al. Varietal differences of quinoa's tolerance to saline conditions. **Plant Soil**, v. 357, p.117-129, 2012
- ALVES, C. Z.; SÁ, M. E. Adequação da metodologia do teste de envelhecimento acelerado em sementes de rúcula. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, p. 2789-2798, 2012.
- BAZILE, D.; BERTERO, H. D.; NIETO, C. In; **State of the Art Report on Quinoa Around the World in 2013**, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD), Rome, 2015.
- BERGAMASCHI, H. Temperatura do ar. In: BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I. (ed.). **As Plantas e o Clima. Princípios e Aplicações**. Cap.7, p.137-181, 2017.
- BHARGAVA, A.; SHUKLA, S.; OHRI, D. *Chenopodium quinoa*: an Indian perspective. **Industrial Crops and Products**, v. 23, p. 73-87, 2006.
- BOIS, J. F. et al. Response of some Andean cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to temperature: Effects on germination, phenology, growth and freezing. **European Journal of Agronomy** v. 25, p. 299-308, 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento **Regras para análise de sementes**. Brasília. 2009. 359 p.

BURRIEZA, H. P.; LÓPEZ-FERNÁNDEZ, M. P.; MALDONADO, S. Analogous reserve distribution and tissue characteristics in quinoa and grass seeds suggest convergent evolution. **Front in Plant Science**, v. 5, p. 1-11, 2014.

CALLA, J. C. **Manejo agronómico del cultivo de la quinua**. 2012, 40 p.

CECCATO, D.; BERTERO, D.; BATLLA, D. Fuentes de tolerância al brotado pre-cosecha en quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Efecto de las condiciones ambientales sobre el nivel de dormición. **Análisis de semillas**, v. 5, p. 50-55, 2011.

DELOUCHE, J. C. Germinação, deterioração e vigor da semente. **Seed News**, v. 6, p.2. 2002.

FAOSTAT – Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#home>>. Acesso em: 24 set de 2019.

GEERTS S. et al. Crop water use indicators to quantify the flexible phenology of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in response to drought stress. **Field Crops Research**, v. 108, p. 150-156, 2008.

HANCCO, J. **Cultivo de La Quinoa en Puno-Peru – Descripción, manejo y producción**. 2003. 5 p.

HARIADI, Y. et al. Ionic and osmotic relations in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants grown at various salinity levels. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, p. 185-193, 2011.

KATSUNORI, I. S. et al. Effects of sowing time on the seed yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in south Kanto, Japan. **Agricultural Sciences**, v. 7, p. 146-153, 2016.

MARADINI FILHO, A. M., Quinoa: nutritional aspects. **Journal of Nutraceuticals and Food Science**, v. 2, p.1-5, 2017.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas** (2ed.). Londrina, Abrates. 2015. 659p.

MENEZES, V. O. et al. Cytogenetic analysis of wheat seeds submitted to artificial aging stress. **Journal of Seed Science**, v. 36, p. 71-78, 2014.

MUJICA-SANCHEZ, A. et al. **Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Ancetral Cultivo Andino, Alimento Del Presente y Futuro**. FAO. Ed.: Santiago, Chile, 2001. 350p.

NAVRUZ-VARLI, S., SANLIER, N. Nutritional and health benefits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **Journal of Cereal Science**, v. 69, p. 371-376, 2016.

PANDO, L. G.; CASTELLANOS, E. A. **Guia de cultivo de la quinua**. FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura e Universidad Nacional Agraria La Molina, 2016. Disponível em: <[www.fao.org/3/a-i5374s.pdf](http://www.fao.org/3/a-i5374s.pdf)>. Acesso em: 14 jun. 2019.

PARSONS, R. F. Incidence and ecology of very fast germination. **Seed Science Research**, v. 22, p. 161-167, 2012.

PEREIRA, M. F. S.; TORRES, S. B.; LINHARES, P. C. F. Teste de envelhecimento acelerado para avaliação do potencial fisiológico em sementes de coentro. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, p. 595-606, 2015.

POWELL, A. A., MAVI, K. Application of the radicle emergence test to radish (*Raphanus sativus*) seed. **Internacional Seed Testing Association**, 2016.

REPO-CARRASCO-VALENCIA, R. A. M.; SERNA, L. A. Quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd.) as a source of dietary fiber and other functional components. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, p. 225-230, 2011.

RESTREPO, L. A. M.; VIANCHÁ, L. M., BALLESTEROS, J. P. Analisis de variables estratégicas para la conformación de una cadena productiva de quinua en Colombia. **INNOVAR**, v. 56, p. 103-120, 2005.

SIMNADIS, T. G., TAPSELL, L. C., BECK, E. J. Physiological effects associated with quinoa consumption and implications for research involving humans: a review. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 70, p. 238-249, 2015.

SPEHAR, C. R. **Quinoa: Alternativa para a Diversificação Agrícola e Alimentar**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007. 102p.

SPEHAR, C. R.; ROCHA, J. E. S.; SANTOS, R. L. B. Desempenho agrônomico e recomendações para cultivo de quinoa (BRS Syetetuba) no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, p. 145-147, 2011.

SPEHAR, C. R.; SANTOS, R. L. B. QUINOA (*Chenopodium quinoa* Willd.) BRS Piabiru: alternativa para diversificar os sistemas de produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 889-893, 2002.

SUÁREZ-ESTRELLA, D.; TORRI, L.; PAGANI, M. A.; MARTI, A. 2018. Quinoa bitterness: causes and solutions for improving product acceptability. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, p. 4033-4041, 2018.

TANG, Y.; TSAO, R. Phytochemicals in quinoa and amaranth grains and their antioxidant, anti-inflammatory, and potential health beneficial effects: a review. **Molecular Nutrition & Food Research**, v. 61, p. 1-16, 2017.

TAPIA, M. **Cultivos andinos sub explotados y sua porte ala alimentacin**. Santiago: FAO, 1997. 217 p.

VASCONCELOS, E. S. et al. Características agrônomicas de genótipos de quinoa **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 12, p. 371-376, 2013.

VEGA-GÁLVEZ, A. et al. Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), an ancient Andean grain: a review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, n. 90, p.2 541-2547, 2010.

WILHELM, W. W.; McMASTER, G. S. Importance of the phyllochron in studying development and growth in grasses. **Crop Science**, v.35, p.1-3, 1995.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 ASPECTOS BOTÂNICOS E ECOFISIOLOGIA DA CULTURA

A quinoa é uma planta eudicotiledônea, herbácea anual, família Amaranthaceae (APG III, 2009). É classificada como um pseudocereal, pois se assemelha aos cereais quanto a sua composição nutricional, porém sem fazer parte da mesma família.

Nas condições do Brasil Central seu ciclo varia de 80 a 150 dias e a estatura das plantas apresenta em média 1,90 m de altura. A diferenciação floral ocorre aos 30 dias após a emergência, e após 45 dias ocorre à antese (SPEHAR, SANTOS, 2002).

O sistema radicular é pivotante, vigoroso e profundo, podendo chegar a 1,80 m, bastante ramificado e fibroso, conferindo resistência a seca e estabilidade a planta. O caule é ereto, podendo ou não ser ramificado, dependendo do genótipo, densidade de sementeira, cilíndrico, de coloração verde ou roxa, com ou sem estrias. O crescimento e desenvolvimento das folhas segue um padrão simétrico até a formação de 10 pares de folhas verdadeiras, ou seja, as folhas crescem e se expandem em direções opostas simétricas e perpendiculares aos cotilédones. Das gemas axilares dessas folhas, as brotações laterais se iniciam e a planta perde a simetria na disposição das folhas (PANDO; CASTELLANOS, 2016).

As folhas são formadas por pecíolo e lâmina. O pecíolo é longo quando originado do caule, e mais curto quando oriundo do ramo. A coloração pode ser verde, purpura ou vermelha. As lâminas são polimórficas, ou seja, apresenta dois tipos de folha na mesma planta (Figura 2.1). As inferiores são maiores, dentadas, de 3 a 20 dentes por folha, e as superiores, ao redor da panícula são menores e lanceoladas com deposição de grânulos de oxalato de cálcio sobre as mesmas (MUJICA-SANCHEZ et al., 2001). A presença de grânulos de oxalato de cálcio é evidente e benéfico, pois regulam a temperatura foliar por reter à umidade e refletir os raios solares (MUJICA-SANCHEZ et al., 2001).

A inflorescência é classificada como glomerulada (grupos compactos e esféricos com pedicelos curtos e muito juntos) ou do tipo laxa ou amarantiforme (quando os glomérulos são alargados e o eixo central tem numerosos ramos secundários e terciários), formando a panícula. O comprimento varia de 30 a 80 cm e 5,0 a 30 cm de diâmetro (MUJICA-SANCHEZ et al., 2001). As panículas podem apresentar uma infinidade de cores (Figura 2.2), desde tonalidades verde, amarelo, alaranjado, rosada vermelha e violeta.

Figura 2.1 - Arquitetura da planta de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)

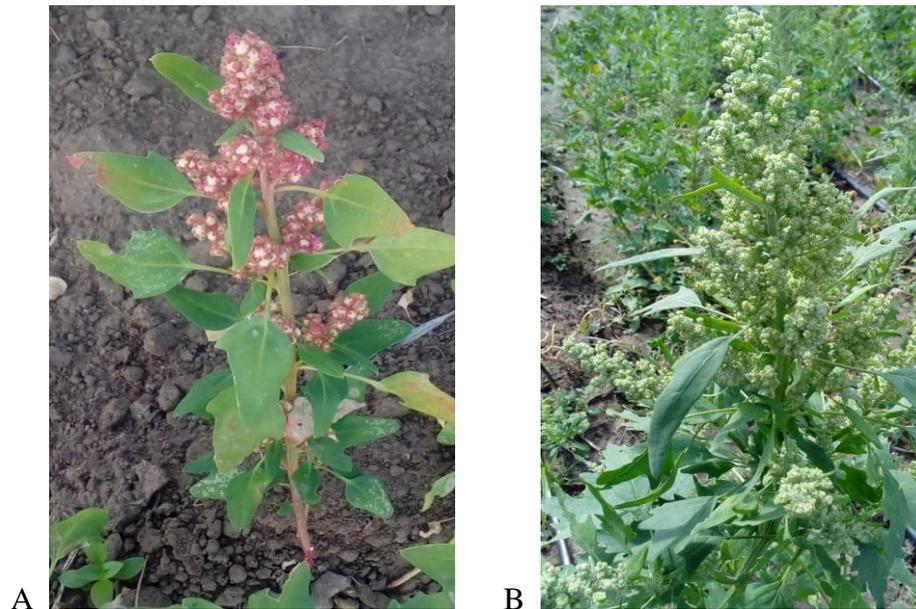


Foto: MUNARETO, J.D. (2017)

Figura 2.2 - Cores de panículas de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)



Foto: MUNARETO, J.D. (2017)

As flores são pequenas, incompletas, sésseis e de mesma cor que as sépalas, podem ser hermafroditas, pistiladas (Figura 2.3). As hermafroditas se localizam no ápice do glomérulo e são maiores que as pistiladas, com diâmetro de 3 a 5 mm, e as pistiladas se encontram ao redor e abaixo das hermafroditas com diâmetro de 2 a 3 mm, e permanecem abertas entre 5 e 7 dias (MUJICA; SANCHES, 2001).

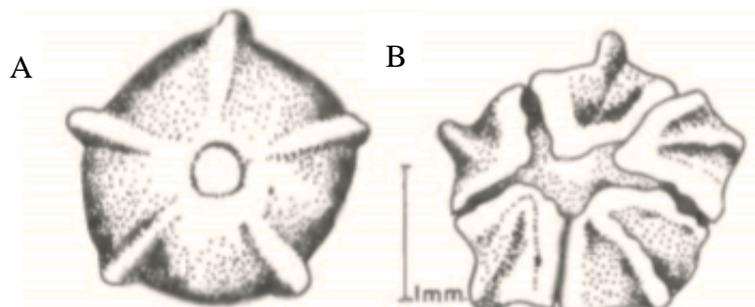
Figura 2.3 - Abertura de flores de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)



Foto: MUNARETO, J. D. (2017)

O fruto é um aquênio de forma lenticular, elipsoidal, cônico ou esferoidal, possui uma única semente envolvida por um pericarpo seco e indeiscente (BURRIEZA; LOPEZ-FERNANDEZ; MALDONADO, 2014), coberto pelo perigônio (Figura 2.4), formado pelo fechamento das cinco sépalas das flores, cobre a semente e se desprende com facilidade ao friccioná-las entre as mãos, quando maduro (TAPIA, 1997).

Figura 2.4 - Fruto da quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). (A) parte dorsal, (B) parte ventral do fruto.



Fonte: GANDARILLAS (1979)

O fruto é constituído do pericarpo (capa do fruto) e da semente. O pericarpo é constituído por células derivadas da epiderme externa do ovário e uma camada interna descontínua com células esticadas tangencialmente. O revestimento da semente consiste em

uma testa e um tegmen, cada um com duas camadas de espessura. Durante o desenvolvimento da semente, a camada endotesta e as duas camadas do tegmen são quase completamente consumidas e as células da exotesta aumentam e desenvolvem grossas paredes celulares tangenciais, essas células permanecem intactas e são desmontadas logo após a germinação (PREGO et al. 1998).

A semente de quinoa é constituída pelo episperma, embrião, endosperma e perisperma. O episperma é o tecido que cobre a semente e está aderido ao pericarpo. O embrião está formado por dois cotilédones e a radícula e constitui aproximadamente 30% do volume total da semente. O endosperma micropilar protege o meristema apical da raiz do embrião e inativa e controla a dormência da semente durante a germinação. O embrião e o endosperma armazenam proteínas, lipídios e minerais (BURRIEZA; LOPEZ-FERNANDEZ; MALDONADO, 2014). O perisperma ocupa todo centro da semente, sendo o principal tecido de armazenamento, sendo formado por células grandes e mortas, de paredes finas, cheias de grãos de amido em forma angular ocupando 60% da superfície da semente (PREGO et al., 1998; MUJICA-SANCHES et al., 2001).

Figura 2.5 - Semente de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)



Foto: MUNARETO, J.D. (2017)

As plantas de quinoa suportam a amplitude térmica entre -8 a 38° C, dependendo do estágio de desenvolvimento (BOIS et al., 2006, PANDO; CASTELLANOS, 2016). No período vegetativo toleram geadas e altas temperaturas de 38 °C. Na germinação requer temperaturas mínimas entre -1,9 e 3 °C (JACOBSEN; BACH, 1998, BOIS et al. 2006), no

estabelecimento, de 5 °C (HANCCO, 2003) e na floração entre 1 e 3,4 °C (BERTERO, 2003) e precipitação mínima de 400 mm (CALLA, 2012). Tem seu desenvolvimento ótimo entre 15 a 25 °C (PANDO; CASTELLANOS, 2016).

Dependendo da origem da quinoa respondem ao fotoperíodo, sendo considerada uma planta de dia curto (BERTERO, 2003). Cultivares originadas nos trópicos possui maior sensibilidade ao fotoperíodo; as do planalto peruano e boliviano e as quinoas ao nível do mar, menor sensibilidade (PANDO; CASTELLANOS, 2016). O ciclo fenológico da quinoa (Figura 2.6) depende do genótipo, das condições de solo e dos fatores ambientais (temperatura, radiação solar, disponibilidade hídrica) na área de cultivo (PANDO; CASTELLANOS, 2016).

Figura 2.6 - Escala fenológica da quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)

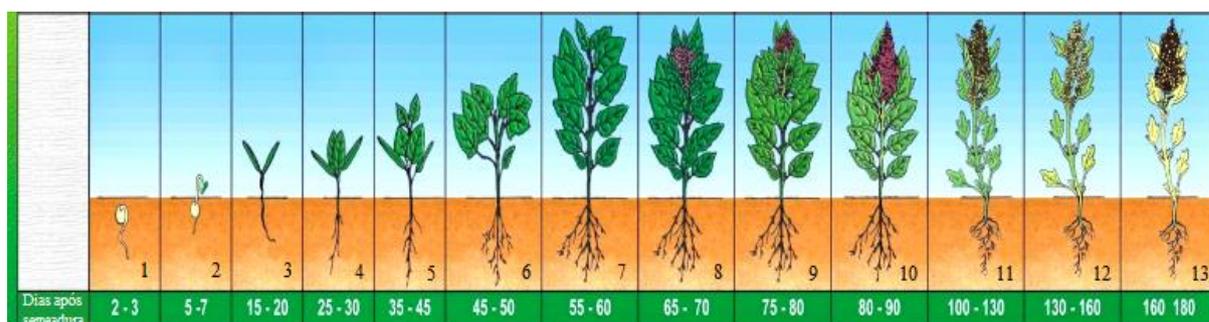


Foto: Organic Life Peru (2015)

1. **Emergência:** quando a plântula emerge do solo. Esta fase ocorre de 5 a 7 dias após a semeadura, em condições adequadas de umidade.

2. **Doas folhas** verdadeiras: quando aparecem duas folhas completamente estendida. Este estágio pode ser observado entre 15 e 20 dias depois da semeadura.

3. **Quatro folhas verdadeiras:** entre 25 e 30 dias após a semeadura. A planta apresenta dois pares de folhas verdadeiras completamente estendidas. Nesta fase a planta apresenta resistência a seca e frio.

4. **Seis folhas verdadeiras:** pode ocorrer entre 35 a 45 dias depois da semeadura, a planta apresenta três pares de folhas verdadeiras estendidas e as folhas cotiledonares amarelas e flácidas.

5. **Ramificação:** Entre 45 a 50 dias após a semeadura observa-se a presença de 8 folhas verdadeiras totalmente estendidas, as folhas cotiledonares caem. Nesta fase se nota a presença de cristais de oxalato de cálcio nas folhas.

6. **Início da emissão da panícula:** dos 55 a 60 dias após a sementeira, nota-se a emergência da panícula no ápice da planta e aglomeração de folhas pequenas. Pode-se observar o amarelecimento do primeiro par de folhas verdadeiras. A partir desta fase até o grão leitoso a cultura apresenta sensibilidade a geadas.

7. **Panícula formada:** a panícula se sobressai com nitidez no ápice da planta, nota-se a presença de glomérulos florais na base da panícula. Esta etapa ocorre dos 65 a 70 dias depois da sementeira.

8. **Início de floração:** ocorre em aproximadamente 75 a 80 dias após a sementeira, quando as flores dos glomérulos basais da panícula se abrem mostrando os estames separados. Fase muito sensível à seca e à geada. Queda das primeiras folhas emitidas.

9. **Floração plena:** considera-se que a cultura esteja em plena floração, quando 50% das flores nas panículas encontram-se abertas, pode ocorrer aproximadamente entre 80 a 90 dias após a sementeira. Em algumas espécies existe uma assincronia na floração e pode durar de 12 a 15 dias.

10. **Grão leitoso:** em torno dos 100 a 130 dias após a sementeira, ao ser pressionado entre os dedos o fruto expele um líquido esbranquiçado. Nesta fase a planta é sensível à geada e ao estresse hídrico. Observa-se também a queda de 2/3 das folhas da base da planta.

11. **Grão pastoso:** Ao ser pressionado entre as unhas, o fruto, apresenta uma consistência pastosa. Inicia-se o processo de perda de umidade dos grãos, ocorre entre 130 a 160 dias após a sementeira.

12. **Maturação fisiológica:** O grão ao ser pressionado entra as unhas apresenta resistência à penetração, dependendo da cultivar pode ocorrer dos 160 a 180 dias após a sementeira. Nesta fase observa-se uma mudança na coloração das folhas e posteriormente ocorre a desfolha completa da planta.

A cultura se adapta a vários tipos de solos, especialmente os ricos em matéria orgânica e bem drenados, as raízes não toleram encharcamento, sendo suscetível a podridões radiculares. O pH do solo deve estar na faixa de 4,5 a 9,0 (PANDO; CASTELLANOS, 2016).

## 2.2 TESTE DE VIGOR

A qualidade fisiológica das sementes é fundamental para alcançar sucesso em uma lavoura. Deste modo, faz-se necessária a utilização de testes que detectem diferenças de vigor entre lotes de sementes, não identificadas pelo teste de germinação. A qualidade das sementes é a soma dos atributos genético, físico, sanitário e fisiológico (FRANÇA-NETO, 2009). No entanto, alguns fatores influenciam estes atributos que definem a qualidade das sementes, os quais podem ocorrer em diferentes fases da produção de sementes, como na operação de colheita, na secagem, no beneficiamento, no armazenamento, transporte e na semeadura, e por esta razão deve-se estabelecer um controle de qualidade tal que possibilite informações precisas especialmente acerca do vigor (FRANÇA-NETO, 2009).

O vigor da semente pode ser entendido como nível energético que a semente possui para realizar o processo germinativo, manifestando-se de diferentes formas no campo e no armazenamento (CARVALHO, 1986). Para a Assotiation of Oficial Seed Analyst (AOSA, 1983) o vigor é caracterizado por um conjunto de características que determinam o potencial para emergência rápida e uniforme de plântulas normais, sob ampla diversidade de condições ambientais. Segundo a International Seedd Testing Association (ISTA, 1981) As diferentes definições evidenciam as dificuldades em definir o vigor, devido à complexidade envolvida nesse processo.

O vigor está relacionado com a deterioração da semente que ocorre com o passar do tempo, causando danos as funções vitais diminuindo o desempenho da semente. A deterioração da semente começa depois que a semente alcança à maturidade fisiológica a perda do vigor acontece gradativamente até a perda do poder germinativo (DELOUCHE, 2002).

Assim, os testes de vigor são parâmetros de referência, cada vez mais utilizados nos programas internos de controle da qualidade dos lotes, pela indústria de sementes. Laboratórios oficiais e empresas produtoras de sementes têm incluído esses testes no monitoramento da qualidade do lote a ser comercializado. O objetivo dos testes de vigor é identificar diferenças consistentes no potencial fisiológico entre os lotes de valor comercial complementando o teste de germinação, que é limitado por não avaliar a natureza progressiva da deterioração da semente (MARCOS FILHO, 2015).

É frequente observar, que, lotes de sementes com germinação semelhante, apresentam comportamento diferenciado quando expostas a condições de campo. Este comportamento

pode ser explicado, pelo fato de que as sementes iniciam o processo de deterioração (perda de vigor) antes que sejam observados declínio na capacidade germinativa (DELOUCHE, 2002).

Os testes de vigor avaliam os efeitos da deterioração sobre o potencial de desempenho das sementes e são avaliados por testes físicos (tamanho das sementes, coloração e teste de raios-X), fisiológicos (primeira contagem de germinação, velocidade germinação de plântulas), bioquímicos (condutividade elétrica, respiração e tetrazólio) e teste de resistência (imersão em água quente, envelhecimento acelerado e teste de frio) e recentemente a biologia molecular, biotecnologia, biofísica e análise de imagens de sementes (MARCOS FILHO, 2015).

Dentre os testes de vigor mais utilizados, destaca-se o envelhecimento acelerado e condutividade elétrica (CE). O teste de envelhecimento acelerado é um dos mais estudados e recomendados para sementes de espécies cultivadas, fornecendo informações com alto grau de consistência acerca do armazenamento e do potencial de emergência de plântulas em campo, com alto grau de consistência (MARCOS FILHO, 2015). O teste leva em consideração fatores determinante que aceleram a velocidade da deterioração, como exposição das sementes a níveis elevados de temperatura (40 a 45 °C) e umidade relativa do ar (cerca de 100%) durante determinado período e, posteriormente submetidas ao teste de germinação; sementes de baixa qualidade deterioram-se de forma mais rápida que as mais vigorosas, apresentando queda no potencial germinativo (BAALBAKI et al., 2009).

O teste de condutividade elétrica avalia indiretamente o grau de estruturação das membranas celulares, em decorrência da deterioração das sementes, através da quantidade de íons lixiviados em uma solução de embebição. Na fase inicial do processo de embebição, a capacidade da semente reorganizar o sistema de membranas celulares e reparar os danos físicos ou fisiológicos que podem ter ocorrido no processo de produção, poderá influenciar na quantidade de lixiviados para o meio externo (VIEIRA; KRZYZANOWSKI, 1999).

O teste CE parte do princípio que em sementes menos vigorosas, a velocidade de reparo da membrana celular é menor durante a absorção de água para germinação e, portanto, liberam maiores quantidades de solutos para o ambiente externo. A perda de lixiviado inclui açúcares, aminoácidos, ácidos graxos, proteínas, enzimas e íons inorgânicos ( $K^+$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Na^+$ ,  $Mn^{+2}$ ) e o teste avalia a quantidade de lixiviação desses íons (MARCOS FILHO, 2015).

As manifestações mais evidentes da extrusão dos exsudatos são reduções na velocidade e emergência total, desuniformidade de emergência, menor tamanho inicial de plântulas, presença de fungos, entre outros. (HÖFS et al., 2004; KOLCHINSKI et al., 2006).

Uma semente pode ser considerada vigorosa quando ela apresenta o potencial para uma germinação rápida e sob ampla diversidade de condições ambientais.

### 2.3 QUINOA NO BRASIL

As pesquisas com cultura em território brasileiro iniciaram na década de 90, pela Embrapa Cerrados em conjunto com a Universidade de Brasília (UnB) e da Universidade de Goiás, a fim de diversificar o sistema produtivo do Cerrado. Durante o processo de seleção, foi preconizado crescimento rápido, insensibilidade ao fotoperíodo, tolerância ao estresse (seca, acidez do solo, baixas temperaturas), elevados rendimentos de grãos e de biomassa. Em 2002, foi lançada à primeira cultivar de quinoa, BRS Piabiru com estatura média de 190 cm, diferenciação floral 30 dias após a emergência, a floração inicia aos 45 dias, ciclo de 145 dias e produtividade média de  $2,8 \text{ t ha}^{-1}$  (SPEHAR; SANTOS, 2002). A segunda cultivar desenvolvida foi a BRS Syetetuba, a diferenciação floral e o florescimento coincidiram com a BRS Piabiru, porém com ciclo menor, em torno de 120 dias. (SPEHAR et al, 2011).

Devido à interação genótipo ambiente, as épocas de semeadura variam, segundo a zona climática e sistema de cultivo. No cerrado, a semeadura, vem sendo realizada de janeiro a junho, período de entressafra/safrinha, possibilitando sua colheita antes da estação chuvosa, pois suas sementes não possuem dormência germinando facilmente com a umidade (SPEHAR; SANTOS, 2002). Na região Sul, no Estado do Paraná, os melhores resultados em produtividade  $1884 \text{ Kg ha}^{-1}$ , com a cultivar Piabiru, foram alcançados quando a semeada em março, (VASCONCELOS et al., 2012). Visando avaliar a adaptação da BRS Piabiru, na região de Pelotas, RS, em quatro épocas de semeadura de outubro a abril. Soares et al, (2017), observaram grande variabilidade na altura de plantas, coloração das inflorescências (panículas), desuniformidade na maturação das sementes, ou seja, plantas em diferentes estádios fenológicos. Além disso, evidenciaram a necessidade do melhoramento genético selecionar genótipos de quinoa mais adaptados ao cultivo na região Sul do Brasil.

No Rio grande do Sul, para o cultivo da quinoa, há necessidade de muitas informações como data de semeadura, densidade de plantas, adubação exigências térmicas da cultura e sobre sua produção, bem como do estudo de metodologias para avaliação do potencial fisiológico das sementes.

## 2.4 TEMPERATURA BASE E FILOCRONO

As espécies vegetais se desenvolvem em uma ampla faixa de temperatura do ar. Nesta faixa encontram-se os limites térmicos, nos quais as plantas se desenvolvem definidos pelas temperaturas inferior e superior, denominadas de temperatura base, abaixo e acima das quais, os processos biológicos cessam ou ocorrem em taxas muito lentas que, para fins de simulação do desenvolvimento vegetal, podem ser desconsideradas (LOZADA, ANGELOCCI, 1999; PRELA, RIBEIRO, 2002).

Cada espécie apresenta limites térmicos de sobrevivência, fora dos quais o metabolismo da planta paralisa ou passa a sofrer estresse por frio ou calor (BERGAMASCHI, 2017). Isso porque a temperatura do ar interfere na velocidade das reações bioquímicas e na ação de enzimas envolvidas na divisão, diferenciação e crescimento celular.

A temperatura base se relaciona com a adaptação das espécies vegetais. Espécies de clima temperado tem os valores abaixo de 8 °C, e, acima de 12 °C em espécies tropicais. A estimativa correta da temperatura base possibilita a escolha do material genético (precoce ou tardio), possibilita à avaliação do potencial produtivo de uma determinada área, em diferentes épocas do ano, programação dos manejos culturais (adubação, tratamentos fitossanitários), estimar a época de colheita, assim como identificar etapas críticas da cultura (BERGAMASCHI, 2017)

A temperatura base pode ser descrita fisiologicamente ou estatisticamente. Fisiologicamente pressupõe que abaixo de uma determinada temperatura não ocorre crescimento e desenvolvimento. Estatisticamente pode ser determinada por diversos métodos

O desenvolvimento vegetal refere-se a eventos que envolvem desde diferenciação celular, aparecimento de órgãos e estende-se até a senescência da planta (HODGES, 1991). O desenvolvimento depende de vários fatores ambientais, sendo que a temperatura do ar o principal elemento meteorológico que afeta o desenvolvimento dos vegetais (STRECK, 2002; GRAMIG; STOLTENBERG, 2007).

Para relacionar desenvolvimento com temperatura do ar, é muito utilizado o conceito filocrono. O filocrono está descrito como o intervalo tempo entre a emissão de duas folhas sucessivas em um mesmo colmo (McMASTER et al., 1991; XUE et al., 2004), permitindo estimar a duração do período vegetativo das plantas.

As interações entre os fatores genéticos e ambientais influenciam o filocrono e, conseqüentemente, a formação das folhas (PRŽULJ; MOMČILOVIĆ, 2013). O número de folhas está associado à evolução da área foliar da planta, a qual intercepta radiação solar

usada na fotossíntese para produção de fitomassa (STRECK, 2002; XUE et al., 2004). Entre os principais fatores ambientais que regulam o filocrono estão a temperatura do ar, o fotoperíodo e a interação entre eles (McMASTER, 2005).

## REFERÊNCIAS

- APG III. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 161, p. 105-121, 2009.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS (AOSA). Seed Vigor Test Committee. **Seed vigor testing handbook**. Lincoln, 1983. 88p.
- BAALBAKI, R.; **Seed vigor testing handbook**, AOSA, (Contribution to the Handbook on Seed Testing, 32), 2009, 341 p.
- BERGAMASCHI, H. Temperatura do ar. In: BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I. (ed.). **As Plantas e o Clima. Princípios e Aplicações**. Cap.7, p.137-181, 2017.
- BERTERO, H. D. Response of developmental processes to temperature and photoperiod in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **Food Reviews International**, v. 19, p.87-97, 2003.
- BERTERO, H. D.; KING, R. W.; HALL, A. J. Modelling photoperiod and temperature responses of flowering in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **Field Crops Research**, v. 63, p. 19-34, 1999.
- BERTERO, H. D.; MEDAN, D.; HALL, A. J. Changes in Apical Morphology during Floral Initiation and Reproductive Development in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) **Annals of Botany**, v. 78, p. 317-324, 1996.
- BOIS, J. F. et al. Response of some Andean cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to temperature: Effects on germination, phenology, growth and freezing. **European Journal of Agronomy**, v. 25, p.299-308, 2006.
- BURRIEZA, H. P. et al. High salinity induces dehydrin accumulation in *Chenopodium quinoa* cv. Hualhuas embryos. **Plant and Soil**, v.354, p.69-79, 2012.
- BURRIEZA, H. P.; LÓPEZ-FERNÁNDEZ, M. P.; MALDONADO, S. Analogous reserve distribution and tissue characteristics in quinoa and grass seeds suggest convergent evolution. **Frontiers in Plant Science**, v.5, p.1-11, 2014.
- CARJUZAÁ, P. et al. Detection and subcellular localization of dehydrin-like proteins in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) embryos. **Protoplasma**, v. 233, p.149-156, 2008.
- CARVALHO, N. M. Vigor de sementes. In: CÍCERO, S. M.; MARCOS FILHO, J.; SILVA, W. R. **Atualização em produção de sementes**. Campinas, Fundação Cargill, 1986. p.207-223.

DELOUCHE, J.C. Germinação, deterioração e vigor da semente. **Seed News**, v.6, p.24-31, 2002.

FRANÇA-NETO, J. B. **Evolução do conceito de qualidade de sementes**. In: Embrapa Soja-Artigo em anais de congresso. Informativo Abrates, v. 19, p. 76-80, 2009.

GOYNE, P. J.; WOODRUFF, D. R.; CHURCHETT, J.D. Prediction of flowering in sunflowers. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, v. 17, p. 475-481, 1977.

GRAMIG, G.G.; STOLTENBERG, D.E. Leaf appearance base temperature and phyllochron for common grass and broad leaf weed species. **Weed Technology**, v. 21, p. 249-254, 2007.

HANCCO, J. M. L. Cultivo de la quinua en puno-perú descripción, manejo y producción. 2003. Disponível em: <<http://www.monografias.com/trabajos-pdf/cultivo-quinua-puno-peru/cultivo-quinuapuno-peru.pdf>> Acesso em: 29 de nov de 2019.

HODGES, T.F. **Predict crop phenology**. Boca Raton: CRC, 1991. 233p.

HÖFS, A. et al. Emergência e crescimento de plântulas de arroz em resposta à qualidade fisiológica de sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 26, p. 92-97, 2004.

INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION (ISTA). **Handbook of vigour test methods**. Zurich, 1981. 72p.

JACOBSEN, S.E.; BACH, A. P. The influence of temperature on seed germination rate in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **Seed Science and Technology**, v. 26, p. 515-523, 1998.

KOLCHINSKI, E. M.; SCHUCH, L. O. B.; PESKE, S. T. Crescimento inicial de soja em função do vigor de sementes. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 12, p. 163-166, 2006.

LÓPEZ-FERNÁNDEZ, M. P.; MALDONADO, S. Quinoa ricinosomes early mark suspensor and endosperm cells destined to die during late seed development. **Annals of Botany**, v. 112, p. 1253-1262. 2013.

LOZADA, B.I.; ANGELOCCI, L.R. Determinação da temperatura-base e de graus-dia para a estimativa do subperíodo da semeadura à floração de um híbrido de milho (*Zea mays*). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 7, p. 31- 36, 1999.

LUCAS, D. D. P. et al. Temperatura base para emissão de nós e plastocrono de plantas de melancia. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, p. 288-292, 2012.

MAKINEN, O. E.; HAGER, A. S.; ARENT, E. Localization and development of proteolytic activities in quinoa (*Chenopodium quinoa*) seeds during germination and early seedling growth. **Journal of Cereal Science**, v. 1, p. 1-6, 2014.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Londrina: ABRATES, 2015. 659 p.

McMASTER, G.S. et al. Simulation of shoot vegetative development and growth of unstressed winter wheat. **Ecological Modelling**, v. 53, p. 189-204, 1991.

McMASTER, G.S. Phytomers, phyllochrons, phenology and temperate cereal development. **Journal of Agricultural Science**, v. 43, p. 1-14, 2005.

MUJICA-SANCHEZ, A. et al. **Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.): Ancestral Cultivo Andino, Alimento Del Presente y Futuro**. FAO (Ed) Santiago, Chile, 2001. 350p.

MÜLLER, L. et al. Temperatura base inferior e estacionalidade de produção de genótipos diploides e tetraploides de azevém. **Ciência Rural**, v. 39, p. 1343-1348, 2009.

Organic Life Perú- **Fenología del Cultivo de Quinoa**. Disponível em:

<<http://organiclifeperu.blogspot.com/2015/05/fenologia-del-cultivo-de-quinoa.html>> Acesso em: 11 dez. 2019.

PANDO, L. G.; CASTELLANOS, E. A. **Guia de cultivo de la quinoa**. FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura e Universidad Nacional Agraria La Molina, 2016. Disponível em: < [www.fao.org/3/a-i5374s.pdf](http://www.fao.org/3/a-i5374s.pdf)>. Acesso em: 14 set. 2019.

PARSONS, R. F. Incidence and ecology of very fast germination. **Seed Science Research**, v. 22, p. 161-167, 2012.

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

PRELA, A.; RIBEIRO, A.M. de A. Determinação de graus-dia acumulados e sua aplicação no planejamento do cultivo de feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) para Londrina-PR. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 10, p. 83-88, 2002.

PRZULJ, N.M.; MOMCILOVIC, V.M. Effect of cultivar and year on phyllochron in winter barley. **Journal of Nature and Science**, v. 125, p. 93-100, 2013.

ROBINSON, R. A. et al. Sunflower development at latitudes ranging from 31 to 49 degrees. **Crop Science**, v. 7, p. 134-136, 1967.

ROJAS, W. et al. In In: BAZILE, D. et al. (Eds.). **Estado de la arte de la quinoa en el mundo en 2013**. FAO: Santiago, Chile e CIRAD: Montpellier, Francia, 2014. p. 65-94.

SINCLAIR, T. R. et al. Sugarcane leaf area development under field conditions in Florida, USA. **Field Crops Research**, v. 88, p. 171-178, 2004.

SOARES, V. N. et al. **Produção de Sementes de Quinoa no Sul do Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2017, 10p. (Embrapa Clima Temperado. Comunicado Técnico, 348).

SOUZA, F. F. J. et al. Physiological quality of quinoa seeds submitted to different storage conditions. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, p. 1299-1308, 2016.

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

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

- SPEHAR, C. R.; SANTOS, R. L. B. Quinoa BRS Piabiru: alternativa para diversificar os sistemas de produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 889-893, 2002.
- STRECK, N. A. et al. Filocrono de genótipos de arroz irrigado em função da época de semeadura. **Ciência Rural**, v. 37, p. 323-329, 2007.
- STRECK, N. A. et al. Temperatura base para aparecimento de folhas e filocrono da variedade de milho BRS Missões. **Ciência Rural**, v. 39, p. 224-227, 2009.
- STRECK, N.A. A generalized non linear air temperature response function for node appearance rate in muskmelon (*Cucumis melo* L.). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 10, p.105-111, 2002.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.
- TAPIA, M. **Cultivos andinos subexplorados y su aporte a la alimentación**. Santiago: FAO, 1997. 217 p.
- VASCONCELOS, F. S. et al. Desenvolvimento e produtividade de quinoa semeada em diferentes datas no período safrinha. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, p. 510-515, 2012.
- XUE, Q. et al. Predicting leaf appearance infield grown winter wheat: evaluating linear and non – linear models. **Ecological Modelling**, v. 175, p. 261-270, 2004.
- YANG S.; LOGAN J.; COFFEY D. L. Mathematical formulae for calculating the base temperature for growing degree days. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 75, p. 61-74, 1995.

### 3 CAPÍTULO I

#### ESTIMATIVA DE TEMPERATURA BASE E FILOCRONO EM QUINOA

##### RESUMO

Os modelos de simulação do desenvolvimento vegetal utilizam o intervalo de tempo entre a emissão de duas folhas consecutivas na haste principal para a alocação do aparato foliar. Esse intervalo é denominado de filocrono e representa a soma térmica acumulada a partir da temperatura base. O objetivo deste trabalho foi determinar a temperatura-base e o filocrono da quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). O experimento foi realizado em Santa Maria, RS, em datas de semeadura: 01/12/2016, 19/01/2017, 01/04/2017, 01/05/2017, 07/10/2017, 09/11/2017, 07/12/2017 e 02/01/2018. As plantas foram cultivadas em canteiros, no delineamento de blocos ao acaso, sendo as parcelas constituídas por quatro linhas de um metro em três repetições. A soma térmica diária (STd, °C dia) foi calculada a partir da data da emissão do primeiro ao quinto par de folhas e, o filocrono foi estimado pelo inverso do coeficiente angular da regressão entre número de folhas e soma térmica acumulada. A contagem do número de folhas foi realizada, a cada três dias, até a emissão do quinto par de folhas na haste principal e a temperatura base foi estimada usando o método da menor variabilidade e pela combinação dos métodos de desenvolvimento relativo e de regressão linear. Para o genótipo Q 13-31de quinoa, o valor do filocrono é 28 °C dia folha<sup>-1</sup> enquanto que a temperatura base para a emissão de folhas é de 7°C.

**Palavras- chave:** *Chenopodium quinoa*. Aparecimento de folhas. Temperatura do ar. Desenvolvimento vegetal.

### 3.1 INTRODUÇÃO

Em cenários de mudanças climáticas que preveem aumentos de temperatura e períodos de seca, a produção de alimentos para uma população crescente, demanda pesquisas, a fim de, identificar culturas que sejam tolerantes a essas condições ambientais. A quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), um pseudocereal milenar, nativa da Região Andina é caracterizada por tolerar condições ambientais extremas como a seca, geada, salinidade do solo e alta radiação solar (RISI; GALWEY, 1984; GONZÁLEZ et al., 2015). O cultivo em diferentes ambientes da Colômbia até o sul do Chile capacitou a planta, que se desenvolve com características agronômicas e adaptativas específicas de cada região em altitudes variadas desde o nível do mar até 4.000 m (GONZÁLEZ et al. 2011).

A quinoa vem ganhando notoriedade no cenário mundial, não somente pela sua variabilidade genética e plasticidade fenotípica, mas também pela qualidade nutricional dos seus grãos, vem sendo considerada uma cultura importante para melhorar a segurança alimentar mundial. Seus grãos que são fonte de proteína de alta qualidade, minerais, vitaminas, ácidos graxos poli-insaturados e aminoácidos essenciais (VEGA-GÁLVEZ et al., 2010; REPO-CARRASCO; SERNA, 2011) a tornam um alimento quase completo.

A variedade de genótipos existentes, na região andina, tem permitido o cultivo fora desse ambiente. Diversos centros de pesquisas espalhados em mais de 95 países estão testando diferentes materiais genéticos de quinoa (BAZILE et al., 2015; PETERSON; MURPHY, 2015). O objetivo principal dessas pesquisas é introduzir o cultivo de quinoa nesses ambientes avaliando o desempenho produtivo de diversas variedades, identificando as mais aptas em cada região testada. Resultados preliminares relatam genótipos com desempenho igual ou superior aos encontrados na região andina (JACOBSEN et al., 2012, HIRICH et al., 2012, 2014).

A disponibilidade térmica de cada região de cultivo tem influência direta no crescimento e no desenvolvimento das plantas. Um modelo utilizado para determinar as necessidades térmicas das plantas é o acúmulo térmico em graus-dia. Este modelo leva em consideração as temperaturas efetivas para o crescimento das plantas, delimitadas pela temperatura basal inferior ( $T_b$ ) e superior ( $T_B$ ) (BERGAMASCHI 2017). O limite inferior ( $T_b$ ) corresponde à temperatura a partir da qual o metabolismo vegetal é acionado, e o limite superior ( $T_B$ ) corresponde à temperatura máxima de adaptação. Fora desses limites térmicos as plantas paralisam seu metabolismo e passam a sofrer estresse por frio ou calor (BERGAMASCHI, 2017).

Embora os modelos de desenvolvimento atendam os limites térmicos (Tb e TB), a maioria dos trabalhos leva em consideração apenas o limite inferior (Tb), independente da fase fenológico, pois a TB dificilmente é atingida a campo (MÜLLER et al., 2009). Existem vários métodos para estimar a Tb, sendo este parâmetro importante no zoneamento agroclimático otimizando a produção das culturas (ARNOLD, 1959; LOZADA; ANGELOCCI, 1999; BRUNINI et al., 1976, e GBUR et al., 1979). Estudos sobre a estimativa da Tb são amplamente usados em diferentes culturas como: triticale (PEDRO Jr. et al., 2004), azevém (MÜLLER et al., 2009), arroz (LAGO et al., 2009), canola (LUZ et al., 2012) e oliveira (MARTINS et al., 2012).

O filocrono é uma medida de desenvolvimento definido como o tempo térmico necessário para o aparecimento de folhas sucessivas na haste principal da planta (XUE et al., 2004; STRECK et al., 2005), tendo como unidade de tempo a soma térmica, °C dia, que pode ser usada para avaliar como a planta responde às condições ambientais ou para prever como vai responder a elas. O filocrono é resultado da combinação de fatores genéticos e ambientais, que interagem para produzir folhas nas plantas (McMASTER, 2005; PRŽULJ; MOMČILOVIĆ, 2013). Este modelo de desenvolvimento tem sido amplamente aceito pelos pesquisadores nas culturas anuais, como: trigo (ROSA et al., 2009) tomate (PIVETTA et al., 2007), milho (STRECK et al., 2009), cevada (PRŽULJ; MOMILOVI, 2013) e para culturas perenes, por exemplo, oliveira (MARTINS et al., 2012).

O conhecimento das necessidades térmicas do desenvolvimento como, temperatura base e emissão de folhas, é determinante, pois auxiliam no planejamento agrícola, na escolha de cultivares mais adaptadas às condições climáticas de cultivo e na tomada de decisão quanto ao melhor momento para a execução de diferentes práticas agrícolas (irrigação, fertilização e tratamentos fitossanitários) melhorando a produção e o aproveitamento dos insumos (MONTEIRO, 2009). Por isso, a tomada de decisão deve ser precisa, o que representa eficiência econômica e competitividade, dentro da atividade de risco como a agricultura. Com o propósito de aportar informações agrônômicas pertinentes às exigências térmicas da cultura da quinoa, o objetivo deste trabalho foi estimar a temperatura base e determinar o filocrono do genótipo Q 13-31.

### 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na área do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), RS, situada na Depressão Central do Rio Grande do Sul,

latitude: 29°43'S, longitude: 53°43'W e altitude: 95 m. Pela classificação de Köppen, o clima pertence ao tipo Cfa, subtropical úmido, com verões quentes e sem estação seca definida. O solo da área classificado como Argissolo Vermelho Distrófico arênico (EMBRAPA, 2018).

O experimento a campo foi composto por um genótipo de quinoa e oito datas de semeadura, em três repetições, seguindo o delineamento de blocos ao acaso em parcelas de 2x2 m. O genótipo utilizado foi o Q13-31, oriundo do Programa de Melhoramento de Quinoa da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE)- PR.

As datas da semeadura foram 01/12/2016, 19/01/2017, 01/04/2017, 01/05/2017, 07/10/2017, 09/11/2017, 07/12/2017 e 02/01/2018. A semeadura foi realizada de forma manual, em quatro fileiras de um metro, espaçadas a 0,5 m entre si com densidade de 40 plantas m<sup>2</sup>. As duas fileiras centrais de cada unidade experimental foram consideradas como área útil da parcela. O preparo do solo foi realizado de forma convencional, com duas gradagens. A partir da análise química do solo, foi realizada a adubação de base de 250 kg ha<sup>-1</sup>, da fórmula 05-20-20, depositado a 5 cm abaixo das sementes; e estas de 1,0 a 2,0 cm de profundidade. A adubação de cobertura foi 150 kg de nitrogênio (N) na forma de ureia, dividida em duas aplicações, sendo a primeira aos 20 dias após a emergência (DAE) e a segunda, no início da emissão da panícula. Foi realizado o controle das plantas daninhas (capina manual) doenças e pragas sempre que necessário.

A data da emergência (EME) foi considerada quando 50% das plântulas estavam com cotilédones acima do nível do solo. Após a emergência foram marcadas, de forma aleatória, três plantas por parcela. Posteriormente, foram realizadas observações a cada três dias, registrando o número de folhas visíveis na haste principal, a partir da emergência até o quinto par de folhas da haste principal.

Para o cálculo da soma térmica acumulada (STa), acumulou-se a STd a partir da data de emergência, em cada época de semeadura.

$$STd = (Tmed - Tb) \text{ } ^\circ\text{C dia} \quad (3.1)$$

STd = 0, quando Tb > tmed

$$STa = \sum STd \text{ } ^\circ\text{C dia} \quad (3.2)$$

Em que: STd é a soma térmica diária (°C dia) Tmed é a temperatura média do ar (°C), e Tb é a temperatura base (°C).

A temperatura base ( $T_b$ ) foi estimada pelos métodos da menor variabilidade propostas por Arnold (1959) e pela combinação dos métodos do desenvolvimento relativo e de regressão linear, proposto por BRUNINI et al.(1976) e GBUR et al. (1979).

A soma térmica diária (STd) foi calculada com valores de  $T_b$  no intervalo de 0 a 15°C, com incremento de 0,5°C. Após calcular a soma térmica no referido intervalo escolhido, foi determinado o desvio-padrão em graus-dia (DPgd), para cada época de cultivo. Foi considerado como valor de  $T_b$  da cultura, aquela que correspondeu ao menor valor de desvio-padrão em dias (DPd), calculado a partir da equação:

$$DPd = DPgd / (T_{med} - T_b) \quad (3.3)$$

em que: DPd é o desvio padrão em dias,  $T_{med}$  é a temperatura média de todas as épocas de cultivo, o DPgd é o desvio padrão em graus dias, para a série de épocas de semeadura, para cada valor de  $T_b$ .

O método do desenvolvimento relativo (DR) foi estimado a partir da equação:

$$DR = a + b * T_{med} \quad (3.4)$$

em que  $T_{med}$  é a temperatura média do ar (°C) da série de datas de emergências; a e b são respectivamente os coeficientes linear e angular da regressão linear simples.

O DR é calculado por:

$$DR = 100/n \quad (3.5)$$

em que: DR a determinada temperatura média do ar (°C); 100 representa um valor arbitrário de ponderação; n são os dias decorridos da emergência até a emissão do quinto par de folhas.

Quando DR for igual à zero,  $T_{med}$  será igual a  $T_b$ ; sendo obtida por:

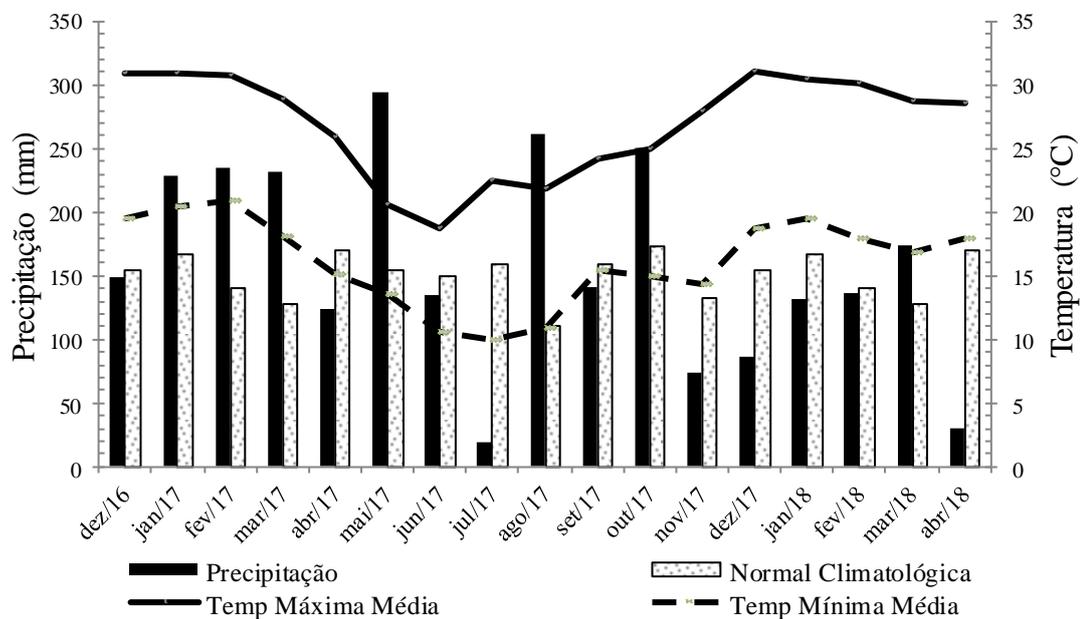
$$T_b = -a/b \quad (3.6)$$

Posteriormente, realizou-se uma regressão linear simples entre número de folhas na haste principal e a soma térmica acumulada. A estimativa do filocrono foi realizada através do inverso do coeficiente angular (1/a), da regressão linear (XUE et al., 2004; STRECK et al., 2005).

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias das temperaturas mínimas e máximas absolutas do ar durante a condução do experimento foram respectivamente, 16,3 °C e 26,5 °C (Figura 3.1). Esses valores de temperaturas ficaram dentro da faixa de 15 a 25 °C, considerada como ideal para o crescimento e desenvolvimento da cultura por Pando e Castellanos (2016).

Figura 3.1 - Normal climatológica e precipitação (mm), e valores médios mensais de temperatura mínima do ar (Tmin, °C) e temperatura máxima do ar (Tmax, °C) correspondentes aos períodos de condução do experimento de quinoa (*C. quinoa*) de dezembro de 2016 a abril de 2018.



O total pluviométrico registrado no ano de 2017 foi de 2080,6 mm (Figura 3.1), ficando acima da normal climatológica esperado para o período de 1712,4 mm (HELDWEIN et al., 2009). Os excessos hídricos ocorreram nos meses de janeiro (62,9 mm), fevereiro (95 mm), março (104,7 mm), maio (139,6 mm), agosto (150,6 mm) e outubro (76,5 mm). Durante esses meses foi observado alta incidência de fungos de solo (*Rhizoctonia* sp., *Fusarium* sp., *Pythium* sp.) causando morte de plantas, podridão do talo (*Phoma* sp.) e um complexo de doenças foliares. Segundo Calla (2012), a planta de quinoa se desenvolve bem em ambientes secos com precipitações anuais entre 300 a 500 mm, pois não tolera solos saturados de água.

As médias das temperaturas mínimas e máximas absolutas do ar durante a condução do experimento foram respectivamente, 16,3 °C e 26,5 °C (Figura 3.1). Esses valores de

temperaturas ficaram dentro da faixa de 15 a 25 °C, considerada como ideal para o crescimento e desenvolvimento da cultura (PANDO; CASTELLANOS, 2016).

Verificou-se que as estimativas dos valores de  $T_b$  variaram com os métodos utilizados, sendo que pelo DPd oscilaram entre 5 e 7 °C, e pelo método do DR entre 6,8 a 9,5 °C (Figuras 3.2 e 3.3). Diferenças entre valores de  $T_b$ , também foram observados por Müller et al. (2009), Luz et al. (2012) e Souza e Martins (2014) em azevém, canola e oliveira, respectivamente, utilizando as mesmas metodologias.

Figura 3.2 - Determinação da temperatura base inferior ( $T_b$ , °C) para o subperíodo germinação a emissão do primeiro (A), segundo (B), terceiro (C), quarto (D) e quinto (E) par de folhas pelo método do menor desvio padrão para o genótipo de quinoa (*C.quinoa*) Q 13-31 em Santa Maria (RS).

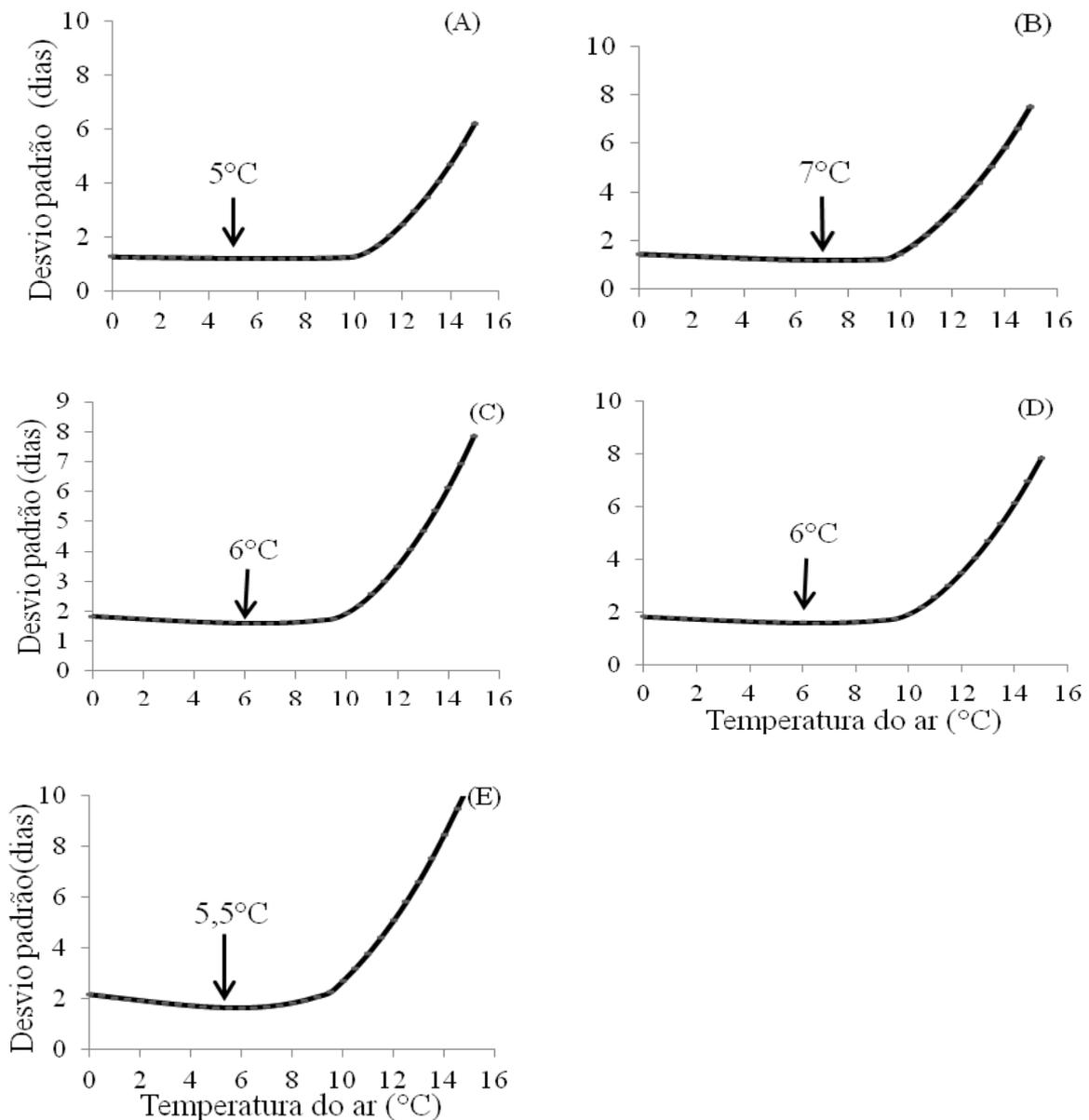
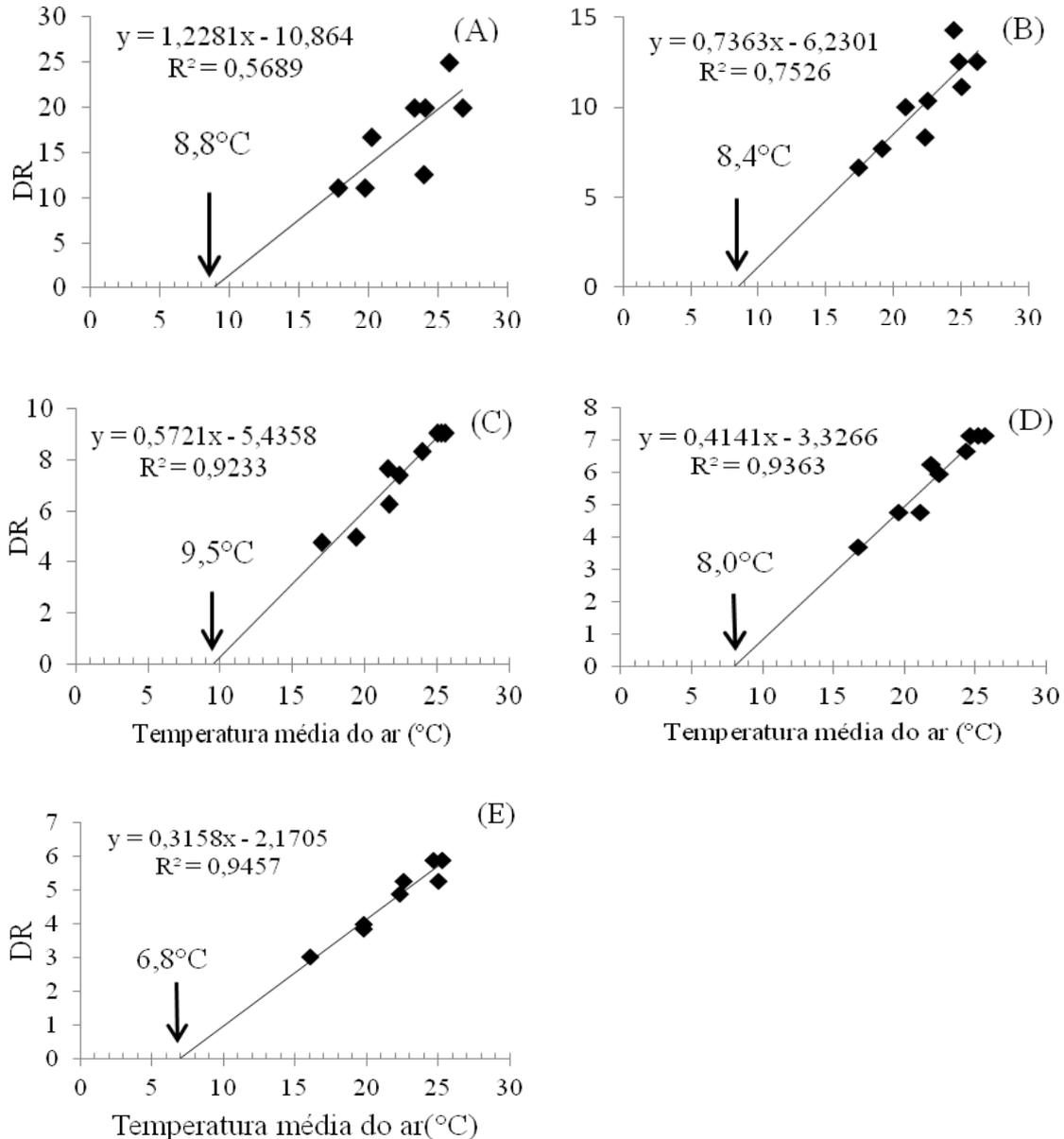


Figura 3.3 - Determinação da Tb do subperíodo germinação a emissão do primeiro (A), segundo (B), terceiro (C), quarto (D) e quinto (E) par de folhas obtido pelo método de desenvolvimento relativo (DR) para o genótipo de quinoa (*C. quinoa*) Q 13-31 em Santa Maria (RS).



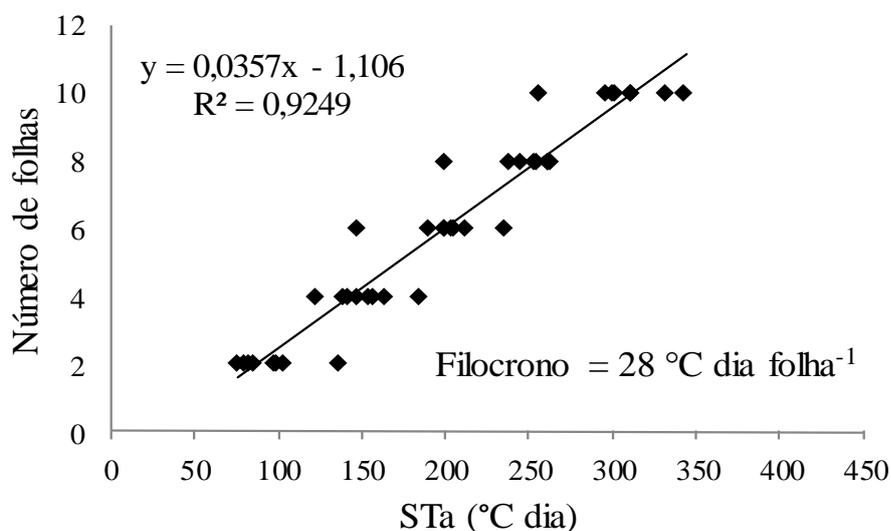
Para Andrade et al. (2006) e Lago et al. (2009), as variações nos valores de  $T_b$  podem estar relacionadas à metodologia das estimativas, que desconsideram fatores ambientais importantes como temperatura radiação solar e fotoperíodo.

Em virtude da variabilidade nas  $T_b$  estimadas pelos dois modelos utilizados, assumiu-se a média dos valores obtidos, portanto considerando-se o valor de  $T_b$  igual a  $7^\circ\text{C}$ . O limiar de  $7^\circ\text{C}$  assumido para o genótipo Q13-31 é superior aos  $3,7$  e próximo a  $6,4^\circ\text{C}$  relatadas por Bertero et al. (1996) para as cultivares Amarilla de Maranganí, (Peru) e Baer, (Chile).

Conforme observado cada genótipo possui uma Tb, o que possibilita que a cultura se desenvolva em condições ambientais distintas. Como o desenvolvimento do genótipo Q 13 31 não ocorre abaixo de 7 °C, pode ser semeado na entre safra das culturas principais (soja e milho) e alcançar produtividade de 1884 kg ha<sup>-1</sup> (VASCONCELOS et al., 2012). Estes índices podem ser melhorados, pois a cultura possui potencial para produzir até 7000 kg ha<sup>-1</sup> (PANDO; CASTELLANOS, 2016) melhorando o manejo da cultura e usando variedades adaptadas a região Sul.

O número de folhas apresentou uma relação linear positiva com a soma térmica acumulada (Figura 4). O elevado coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) de 0,92 demonstrou a forte associação entre a temperatura e a emissão de folhas, fato que também foi verificado por Streck et al. (2007), Pivetta et al. (2007) e Maldaner et al. (2009) para as culturas de arroz, tomate e berinjela, respectivamente.

Figura 3.4 - Relação entre o número de folhas (NF) e a soma térmica acumulada (STa) utilizada para estimar o filocrono do genótipo (*C.quinoa*) Q 13-31.



O filocrono de  $28 \text{ } ^\circ\text{C dia folha}^{-1}$  encontrado para o genótipo Q 13-31 (Figura 3.4), está próximo aos  $22 \text{ } ^\circ\text{C dia folha}^{-1}$  obtidos por Bertero et al. (2003) em cultivares de quinoa cultivadas em Clima tropical. Entretanto, valores inferiores, ( $12,9$  e  $17,2 \text{ } ^\circ\text{C dia folha}^{-1}$ ), foram encontrados por Bois et al (2006).

Acrescenta-se que outros fatores podem influenciar o filocrono, inibindo parcialmente o efeito da temperatura do ar. É o caso, do fotoperíodo e da radiação solar (BERTERO, 2001).

Estudando os efeitos do fotoperíodo, da emergência ao início do período reprodutivo, no filocrono usando de fotoperíodos crescentes, Curti et al. (2016) observaram que, à medida que, o fotoperíodo foi aumentado a duração do período vegetativo foi prolongado, respondendo quantitativamente a dias curtos (PANDO; CASTELLANOS, 2016). Como o cultivo das plantas ocorreu sob fotoperíodos crescente e temperaturas do ar elevadas (Figura 1), fato que antecipou a indução à floração, reduzindo a taxa de emissão de folhas e como consequência aumentou o filocrono.

Em trigo (ROSA et al., 2009; BASSU et al., 2009) e canola (DALMAGO et al., 2013) relatam que o filocrono variou entre cultivares e épocas de semeadura. Acrescentam que quando a semeadura ocorreu dentro do zoneamento agroclimático, os genótipos tardios apresentaram maior valor de filocrono que os precoces.

### 3.4 CONCLUSÃO

Para o genótipo Q 13-31 de quinoa, o valor do filocrono é  $28\text{ }^{\circ}\text{C dia folha}^{-1}$  enquanto que a temperatura base para a emissão de folhas é de  $7^{\circ}\text{C}$ .

### REFERÊNCIAS

ANDRADE, R.G. et al. Avaliação dos modelos beta, rcm e GDD para diferentes subperíodos Linear Heat Unit System. **American Society for Horticulture Science**, v. 74, p. 430-445, 1959.

ARNOLD, C. Y. The Determination and Significance of the Base Temperature in a Linear Heat Unit System. **American Society for Horticulture Science**, v. 74, p. 430-445, 1959.

BASSU, S. et al. Optimising sowing date of durum wheat in a variable Mediterranean environment. **Field Crops Research**, v.111, p.109-118, 2009.

BAZILE, D.; BERTERO, H.D.; NIETO, C. In; **State of the Art Report on Quinoa Around the World in 2013**, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), 2015, 589 p.

BERGAMASCHI, H. Temperatura do ar em **As Plantas e o Clima - Princípios e aplicações** eds. HOMERO BERGAMASCHI, JOÃO ITO BERGONCI- Guaíba: Agrolivros, p. 137-184, 2017.

BERTERO, D.; MEDAN, D.; HALL, A. J. Changes in apical morphology during floral initiation and reproductive development in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **Annals of Botany**, v.78, p.317-324, 1996.

BERTERO, H. D. Response of developmental processes to temperature and photoperiod in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **Food Reviews Intemational**. v. 19, p. 87-97, 2003.

BERTERO, H.D. Effects of photoperiod, temperature and radiation on the rate of leaf appearance in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under field conditions. **Annals of Botany**, v.87, p.495-502, 2001.

BOIS, J. F. et al. Response of some Andean cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to temperature: Effects on germination, phenology, growth and freezing. **European Journal of agronomy**, v.25, p. 299-308, 2006.

BRUNINI, O. et al. Temperatura-base para alface cultivar "White Boston", em um sistema de unidades térmicas. **Bragantia**, v.35, p. 213-219, 1976.

CALLA, J. **Manejo. Agronómico del Cultivo de la Quinoa**. Perú: Agrobanco. Guía Técnica. 2012, 40 p.

CURTI, R.N. et al. Adaptive responses of quinoa to diverse agro-ecological environments along an altitudinal gradient in North West Argentina. **Field Crops Research**, v.189, p. 10-18, 2016.

DALMAGO, G. A. et al. Filocrono e número de folhas da canola em diferentes condições ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, p. 573-581, 2013.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos** / Humberto Gonçalves dos Santos [et al.]. – 5. ed., Brasília, DF, 2018.

GBUR, E. E. et al. Use of segmented regression in determination of the base-temperature in heat accumulation models. **Agronomy Journal**, v.71, p.949-953, 1979.

GONZÁLEZ, J. A. et al. “Quinoa: an Incan crop to face global changes in agriculture,” em **Quinoa: Improvement and Sustainable Production**, eds. K. M. MURPHY; J. MATANGUIHAN (Hoboken, NJ: John Wiley & Sons), p.1-18, 2015.

GONZÁLEZ, J.A. et al. Genotypic variation of gas exchange parameters and leaf stable carbon and nitrogen isotopes in ten quinoa cultivars grown under drought. **Journal of Agronomy and Crop Science**, n.197, p.81-93, 2011.

HELDWEIN, A. B. et al. A. O clima de Santa Maria. **Ciência & Ambiente**, v. 38, p. 43-58, 2009.

HIRICH, A. et al. Using deficit irrigation with treated waste-water in the production of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in Morocco. **Revista Científica UDO Agrícola**, v.12, p.570-583, 2012.

HIRICH, A.; CHOUKR-ALLA, R.; JACOBSEN, S. E. Quinoa in Morocco – Effect of Sowing Dates on Development and Yield. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.200, p. 371-377, 2014.

JACOBSEN, S.E.; JENSEN, C.R.; LIU, F. Improving crop production in the arid Mediterranean climate. **Field Crop Research**, v.128, p.34-47, 2012.

- LAGO, I. et al. Estimativa da temperatura base do subperíodo emergência-diferenciação da panícula em arroz cultivado e arroz vermelho. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 56, p. 288-295, 2009.
- LOZADA, B. I.; ANGELOCCI, L. R. Determinação da temperatura-base e de graus-dia para estimativa da duração do subperíodo da sementeira à floração de um híbrido de milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, RS, v.7, n. 1, p.31-36, 1999.
- LUZ, G. L. et al. Temperatura base inferior e ciclo de híbridos de canola. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 42, n. 9, 2012.
- MALDANER, I.C. et al. Filocrono, área foliar e produtividade de frutos de berinjela conduzidas com uma e duas hastes por planta em estufa plástica. **Ciência Rural**, v.39, p.671-677, 2009.
- MARTINS, F.S. et al. Temperatura base e filocrono em duas cultivares de oliveira. **Ciência Rural**, v.2, p.1975-1981, 2012.
- McMASTER, G. S. Phytomers, phyllochrons, phenology and temperate cereal development. **The Journal of Agricultural Science Cambridge**, v. 143, n. 2-3, p. 137-150, 2005.
- MONTEIRO, J. E. B. **A agrometeorologia dos cultivos**. O fator meteorológico na produção agrícola. Brasília, DF: INMET, 2009. 530 p.
- MÜLLER, L. et al. Temperatura base inferior e estacionalidade de produção de genótipos diploides e tetraploides de azevém. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 5, p.1343-1348, 2009.
- PANDO, L. G.; CASTELLANOS, E. A. **Guia de cultivo de la quinua**. FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura e Universidad Nacional Agraria La Molina, 2016. Disponível em: < [www.fao.org/3/a-i5374s.pdf](http://www.fao.org/3/a-i5374s.pdf)>. Acesso em: 14 set. 2019.
- PEDRO JUNIOR, M. J. et al. Temperatura base, graus-dia e duração do ciclo para cultivares de triticale. **Bragantia**, Campinas, v.63, n.3, p.447-453, 2004.
- PETERSON, A.; MURPHY, K. M. "Quinoa cultivation for temperate North America: considerations and areas for investigation," em **Quinoa: Improvement and Sustainable Production**, eds. K. M. MURPHY; J G. MATANGUIHAN (Hoboken, NJ: John Wiley & Sons) p.173-192, 2015.
- PIVETTA, R. C, et al. Emissão e expansão foliar em três genótipos de tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Ciência Rural**, v.37, p.1274-1280, 2007.
- PRŽULJ, N.M.; MOMČILOVIĆ, V.M. Effect of cultivar and year on phyllochron in winter barley. **Journal of Natural Sciences**, n. 125, p. 93-100, 2013.
- REPO-CARRASCO-VALENCIA, R. A. M.; SERNA, L. A. Quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd.) as a source of dietary fiber and other functional components. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, n. 1, p. 225-230, 2011.
- RISI, J.; GALWEY, N.W. The Chenopodium grains of the Andes: Inca crops for moderna agriculture. **Advances in Applied Biology**, n.10, p.145-216, 1984.

ROSA, H. T. et al. Filocrono de trigo em função de métodos de soma térmica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.1374-1382, 2009.

SOUZA, P. M. B.; MARTINS, F. B. Estimativa da temperatura basal inferior para as cultivares de oliveira Grappolo e Maria da Fé. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.29, p.307-313, 2014.

STRECK, N.A. et al. Estimativa do filocrono em cultivares de trigo de primavera. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.13, p.423-429, 2005.

STRECK, N.A. et al. Filocrono de genótipos de arroz irrigado em função da época de semeadura. **Ciência Rural**, v.37, p.323-329, 2007.

STRECK, N.A. et al. Temperatura base para aparecimento de folhas e filocrono da variedade de milho BRS Missões. **Ciência Rural**, v.39, p.224-227, 2009.

VASCONCELOS, F. S. Desenvolvimento e produtividade de quinoa semeada em diferentes datas no período safrinha. **Revista Ciência agrônômica**, v. 43, p. 510-515, 2012.

VEGA-GÁLVEZ, A. et al. Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), an ancient Andean grain: a review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 90, p.2541-2547, 2010.

XUE, Q.; WEISS, A.; BAENZIGER, P.S. Predicting leaf appearance in field-grown winter wheat: evaluating linear and non-linear models. **Ecological Modelling**, v.175, p.261-270, 2004.

## 4 CAPÍTULO II

### TESTE DE ENVELHECIMENTO ACELERADO EM SEMENTES DE QUINOA

#### RESUMO

A utilização de testes que auxiliem a determinar o potencial germinativo de um lote de sementes representa um auxílio importante a todo o segmento produtivo. O objetivo do presente trabalho foi adequar a metodologia para condução do teste de envelhecimento acelerado visando avaliar a qualidade fisiológica de sementes de quinoa. O experimento foi conduzido com quatro lotes de sementes do genótipo Q13-31 que foram caracterizados através dos testes de primeira contagem de germinação; germinação; emergência de plântulas em substrato; comprimento de parte aérea e radicular, massa de mil sementes e teor de água inicial. O teste de envelhecimento acelerado foi realizado com as temperaturas de 41 e 45° C por períodos 12, 24, 36, 48, 60 e 72 h. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições e as médias analisados pelo teste Scott-Knott. Realizou-se análise de correlação simples entre as características dos lotes e as combinações estudadas. O teste de envelhecimento acelerado conduzido a 45 °C, por 12 h é eficiente para detectar diferenças de vigor entre os lotes de sementes de quinoa.

**Palavras chave:** *Chenopodium quinoa*, germinação, temperatura, período de estresse.

## 4.1 INTRODUÇÃO

A quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) um pseudocereal de alto valor nutritivo, vem se destacando no cenário mundial, pela sua importância econômica e social, adaptabilidade a diferentes ambientes e variabilidade genética. A qualidade das sementes influencia no estabelecimento da cultura, especialmente quando as condições ambientais são estressantes. Para minimizar os riscos de utilização de sementes de baixo vigor, a tecnologia de sementes tem procurado aprimorar os testes de vigor para complementar as informações fornecidas pelo teste de germinação, que isoladamente, não determina a qualidade real da semente encontrada a campo (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012; MARCOS FILHO, 2015).

Um teste de vigor é realizado em condições desfavoráveis, medindo o declínio de alguma função bioquímica ou fisiológica da semente. Para ser considerado eficiente o teste deve ser rápido, econômico, confiável e apresentar resultados que se correlacionem com os resultados de campo (BERTOLIN et al., 2011).

Dentre os testes utilizados e também considerados como um dos mais sensíveis para a avaliação do vigor de sementes destaca-se o teste de envelhecimento acelerado e seus resultados se relacionam com o potencial de conservação das sementes. Esse teste expõe as sementes a temperaturas elevadas (40 a 45 °C) e umidade relativa (~100%) em diferentes períodos de tempo, seguido pelo teste de germinação. A exposição das sementes à temperatura e umidade elevadas provoca expressivas alterações no metabolismo da semente, desencadeando a desestruturação e perda da integridade do sistema de membranas celulares, reações de oxidação de lipídios e geração de radicais livres (BEWLEY et al., 2013; MARCOS FILHO, 2015).

O teste de envelhecimento acelerado é bem sucedido nas mais variadas espécies, como sementes de coentro (RADKE et al., 2016), feijão (BERTOLIN et al., 2011), arroz (TUNES et al., 2012) e crambe (AMARO et al., 2014). Por isso empresas produtoras de sementes e laboratórios oficiais tem incluído esse teste em programas de controle de qualidade, ou para garantir a qualidade das sementes destinadas a comercialização (MARCOS FILHO, 2015).

Um dos fatores limitantes da implantação e expansão da cultura de quinoa nas regiões tropicais é a manutenção da qualidade de sementes, entre safras, pois suas sementes perdem sua viabilidade, em condições de alta temperatura e umidade, entre 180 a 300 dias. Após esses períodos, as sementes diminuem sua capacidade germinativa com o aumento do período de armazenamento (CECCATO et al., 2011; STRENSKE et al., 2015; SOUZA et al., 2016; BORGES, 2017).

Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo a condução do teste de envelhecimento acelerado visando avaliar a qualidade fisiológica de sementes de quinoa e assim, possibilitar a estratificação de lotes.

#### 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório Didático e de Pesquisas em Sementes localizado no Departamento de Fitotecnia na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em Santa Maria, RS. Foram utilizados quatro lotes de sementes de quinoa do genótipo Q13-31. Os lotes foram provenientes dos experimentos conduzidos na área experimental do Departamento. Lote 1 (semeadura 01/12/2016 e colheita 10/02/2017); lote 2 (semeadura 01/05/2017 e colheita 09/08/2017); lote 3 (semeadura 07/10/2017 e colheita 02/01/2018); lote 4 (semeadura 09/11/2017 e colheita 06/02/2018).

As amostras de sementes de cada lote foram avaliadas inicialmente, quanto às características físicas e fisiológicas iniciais dos lotes, através da realização dos seguintes testes:

a) Massa de mil sementes: segundo metodologia descrita nas Regras para Análises de Sementes (BRASIL, 2009).

b) Teor de água das sementes: foram efetuadas antes e após a instalação dos testes de germinação e envelhecimento acelerado, pelo método estufa a  $105 \pm 3$  °C por 24 horas, utilizando-se duas repetições de 2 g de sementes de cada lote conforme a metodologia adaptada de Brasil (2009). Os teores de água antes e após o período de envelhecimento acelerado servem apenas para a caracterização dos lotes, por isso não foram analisados estatisticamente.

c) Teste de germinação: realizado em quatro repetições de 50 sementes, em regime de luz constante, em caixas plásticas transparentes (caixas gerbox), sobre duas folhas de papel germiteste umedecidas com água destilada (2,5 vezes a massa do substrato). As sementes foram mantidas em câmara de germinação a 20 °C, com avaliações aos quatro dias para a primeira contagem e seis dias para a contagem final (BORGES, 2017) e os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais, conforme Brasil (2009).

d) Comprimento de raiz e de parte aérea: avaliou-se o comprimento médio de 10 plântulas normais (parte aérea e raiz) retiradas ao acaso no quarto dia do teste de germinação a 20 °C, em rolo de papel germiteste. As plântulas foram mensuradas com o auxílio de uma régua graduada em milímetros.

e) Massa seca de plântula: foram realizados em 10 plântulas provenientes do teste anterior, acondicionadas em sacos de papel, em estufa de circulação de ar a  $60 \pm 5$  °C, até atingir massa seca constante. Em seguida, as plântulas foram pesadas em balança de precisão (0,001 g) e o valor obtido pela soma de cada repetição foi dividido pelo número de plântulas utilizadas.

f) Emergência de plântulas em substrato: foi constituída por 50 sementes distribuídas em substrato comercial Plantmax® em bandejas de propileno em sulcos a 1,0 cm de profundidade em fileiras espaçadas entre si a 5,0 cm, com quatro repetições de cada lote de sementes, em temperatura ambiente em estufa de vidro com irrigação periódica. A contagem de plântulas emergidas foi feita aos 14 DAS.

g) Envelhecimento acelerado: Foram utilizadas 2,0 g de sementes de cada lote distribuídas em camada única sobre tela de aço inox, em caixas tipo gerbox, contendo 40 mL de água destilada. As caixas foram mantidas em câmara de envelhecimento (tipo BOD) a 41 e 45 °C por períodos de 12, 24, 36, 48, 60 e 72 h. Após esses períodos de exposição, as sementes foram submetidas ao teste de germinação, e avaliadas no quarto dia conforme descrito anteriormente (BORGES, 2017). Para fins de monitoramento do teste, foi determinado, também, o grau de umidade das sementes antes e após os períodos de envelhecimento.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com quatro repetições. Os dados em percentagem de germinação foram submetidos à transformação arco-seno  $\sqrt{x/100}$  antes da análise. As médias obtidas nas avaliações de cada lote foram comparadas pelo Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro. Os dados obtidos foram analisados com o auxílio do Software SISVAR (FERREIRA, 2011). A correlação de Pearson  $p < 0,01$  e  $0,05$  entre as variáveis primeira contagem de germinação (PC), germinação (GER) e emergência em substrato comercial foi realizada através do programa R (R CORE TEAM, 2018).

#### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de água inicial (TAI) das sementes de quinoa (Tabela 4.1) antes do período de envelhecimento foi semelhante, condição assumida com chance de erro de 0,06%. Essa pequena variação proporciona segurança na execução do teste de vigor, pois, quanto mais uniforme for o teor de água inicial das sementes, mais consistente será o resultado (MARCOS FILHO, 2015).

Tabela 4.1 - Teor de água inicial (TAI, %), massa de mil sementes (MMS, g), primeira contagem (PC, %), germinação (GER, %), emergência em substrato comercial (ESC, %), comprimento da radicular (CR, cm), comprimento da parte aérea (CPA, cm) e massa seca total de plântulas (MST, g), em quatro lotes de quinoa (C. quinoa), genótipo Q13-31, Santa Maria, RS, 2018.

Lotes	TAI	MMS	PC	GER	ESC	CR	CPA	MST
1	12,0	3,2 a*	96 a	96 a	92 a	2,8 a	2,7 a	0,0088 <sup>ns</sup>
2	12,2	2,6 c	72 c	74 b	68 c	1,9 b	1,7 b	0,0068
3	12,3	2,8 b	96 a	96 a	90 a	2,0 b	1,8 b	0,006
4	12,5	2,8 b	85 b	89 a	82 b	1,8 b	1,9 b	0,0073
Médias	12,0	2,9	87,2	89	85	2,1	2	0,0072
CV %		1,96	6,5	7,1	8,5	19,9	10,5	22,9

\* Médias não seguidas da mesma letra diferem pelo Teste Scott-Knott (5% de erro ou p-valor >0,05).

Verificou-se que houve agrupamento significativo ( $p > 0,05$ ) entre os lotes avaliados em relação à MMS, PC, GER, ESC, CR e de CPA, com exceção do teste de MST que não apresentou significância. Ao avaliar o vigor dos lotes pelas metodologias MMS, PC e ESC, estes testes demonstraram-se sensíveis (Tabela 4.1), separando os lotes em três níveis de vigor. O teste de PC identificou o lote 1 e 3 como de alto vigor, lote 4 como intermediário e o lote 2 de baixo vigor. Resultado confirmado pelo teste de emergência em substrato. Entretanto, pela MMS não foi possível identificar diferenças de vigor entre os lotes 3 e 4 observada nos testes de PC e ESC (Tabela 4.). Esse resultado é possível observar que o tamanho da semente da quinoa não foi determinante na germinação das plântulas.

O resultado dos testes de germinação, comprimento radicular (CR) e parte aérea (CPA) foram menos sensíveis que os testes de PC e ESC e classificaram os lotes em dois níveis de vigor alto e baixo (Tabela 4.1). Os altos índices de germinação ( $\geq$  a 89%, tabela 1) eram esperados, pois os lotes foram colhidos na maturidade fisiológica e não foram expostos a índices elevados de umidade no campo, com exceção do lote 2 que foi cultivado em condições de elevada umidade, condição favorável a deterioração. Apesar dos lotes não serem homogêneos, o teste de germinação não foi sensível o suficiente para detectar pequenas variações de vigor entre lotes 1, 3 e 4 confirmando a limitação do teste. Tekrony (2003) e Marcos Filho (2015) mencionam que a perda da capacidade germinativa é a última consequência do processo de deterioração das sementes, por isso a importância de realizar mais de um teste de vigor.

A sensibilidade do teste de PC de germinação e emergência de plântulas em substrato (areia) foi relatado como eficiente por Leal et al. (2012)) quando avaliou lotes de sementes de rúcula (*Eruca sativa* L.).

O lote 1 foi superior em todos os testes iniciais realizados (Tabela 4.1). Este desempenho pode ser atribuído a maior massa de mil sementes (MMS) do lote. Carvalho e Nakagawa (2012) relatam que as sementes maiores armazenam mais reservas, para o crescimento do eixo embrionário, e conseqüentemente geram plântulas mais vigorosas. Os valores encontrados para a MMS em todos os lotes, estão de acordo com os relatados por Spehar et al. (2011) na cultivar BRS Syetetuba (2,5 a 3,3 g) adaptada as condições do cerrado brasileiro.

Após os lotes de quinoa serem submetidas envelhecimento acelerado apresentaram acréscimos no teor de água, à medida que os períodos de exposição aumentaram (Tabela 4.2). Altos teores de água nas sementes após o envelhecimento foram semelhantes aos relatados por Souza et al. (2017), em sementes de quinoa.

Tabela 4.2 - Teor de água (%) de sementes de quinoa (*C. quinoa*), cultivar Q13-31, após os períodos de envelhecimento acelerado.

Lotes	41 °C					
	12 h	24 h	36 h	48 h	60 h	72 h
1	16,93	25,52	28,92	29,77	30,55	31,24
2	18,41	22,46	26,41	28,02	30,21	31,76
3	18,26	22,45	26,51	27,80	19,16	31,85
4	19,86	20,81	27,08	27,47	28,08	29,86
45 °C						
1	19,86	30,43	31,03	33,11	34,58	34,66
2	19,18	22,46	32,66	32,89	33,73	34,82
3	19,14	22,45	30,89	30,98	31,12	32,66
4	23,02	20,81	30,88	31,35	32,38	32,78

O incremento de água foi mais acentuado nas primeiras 24 h. Entre 24 e 48 h houve uma tendência de estabilização no teor de água nas sementes, e voltou a aumentar, entre 60 e 72 h, seguindo o padrão trifásico de embebição proposto por Bewley e Black (1994).

Variação semelhante ao verificado no teor de água da quinoa (Tabela 4.2), após 24 h de teste, também foi observado por Ribeiro (2000) em sementes de alface (*Lactuca sativa* L.), brócolos (*Brassica oleracea* L.) e cenoura (*Daucus carota* L.). Jain et al. (2006) observaram que o aumento no teor de água pode causar danos às sementes, provocados por mudanças no metabolismo celular, aumento da atividade enzimática e respiratória durante o estresse do

teste. Meneghello et al. (2014) apontam que as sementes com excesso de água tendem a acelerar o processo de envelhecimento, além de propiciar condições favoráveis para o estabelecimento de patógenos.

De modo geral, dentro de cada temperatura testada (41 a 45 °C) o envelhecimento causou estresse suficiente para reduzir a germinação, com o aumento do período de exposição (Tabela 4.3), fato também observado por Bertolin et al. (2011) em sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). A combinação dos fatores temperatura e umidade causam efeitos deletérios no processo germinativo. Marcos Filho (2015) relata que quando as sementes são expostas a longos períodos de armazenamento, podem sofrer alterações metabólicas, que interferem no processo germinativo. Outra possível explicação está relacionada ao aumento no processo de hidratação e secagem que causam danos ao tegumento, levando a perda da viabilidade das sementes.

Tabela 4.3 - Percentual de germinação obtido pelo teste de envelhecimento acelerado a 41 e 45 °C em seis períodos de exposição para cultivar de quinoa (*C. quinoa* Willd) Q13-31. Santa Maria - RS, 2018.

41 °C						
Lote	12 h	24 h	36 h	48 h	60 h	72 h
-----%-----						
1	97 Aa*	93 Aa	92 Aa	97 Aa	92 Aa	94 Aa
2	76 Ab	73 Ac	71 Ab	66 Bc	62 Bc	61 Bc
3	92 Aa	93 Aa	90 Aa	94 Aa	86 Bb	80 Cb
4	92 Aa	87 Bb	92 Aa	88 Bb	93 Aa	83 Bb
CV(%)	4,88					
45 °C						
Lote	12 h	24 h	36 h	48 h	60 h	72 h
-----%-----						
1	90 A a	78 Ba	64 Ca	44 Da	31Ea	15 Fa
2	66 Ac	37 Bc	9 Cb	2 Db	0 Db	0 Db
3	92 Aa	76 Ba	62 Ca	40 Da	32 Ea	11 Fa
4	83 Ab	70 Bb	58 Ca	41Da	28 Ea	9 Fa
CV(%)	6,45					

Médias seguidas pela mesma letra pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott- Knott ( $p > 0,05$ ). \*Letras maiúsculas são interpretadas na linha; letras minúsculas na coluna.

Independente da combinação de períodos e temperaturas utilizados, a maior porcentagem de germinação foi sempre superior no lote 1(Tabela 4.3). Iizumi et al. (2014) e Godoy et al. (2016) comprovaram que lotes vigorosos terão melhores oportunidades de

crescer e se desenvolver em diferentes situações de estresse em diferentes regiões agroecológicas e de armazenamento.

Os resultados do teste de germinação a 41 °C (Tabela 4.3), a partir das 12 h, possibilitou a separação dos lotes em diferentes níveis de vigor. Entretanto, nos períodos 24 e 48 h o comportamento dos lotes foram semelhante aos obtidos nos testes de PC e ESC (Tabela 4.1), ou seja, lotes 1 e 3 como os mais vigorosos, o lote 2 como menos vigoroso o lote 4 com vigor intermediário (Tabelas 4.1 e 4.3).

As sementes envelhecidas a 45 °C tiveram perda de germinação considerável a partir de 24 h (Tabela 4.3). A maioria das culturas apresenta germinação máxima entre 20 e 30 °C, mas as germinações diminuem significativamente em temperaturas mais altas. Ceccato et al. (2011) e Hasanuzzaman et al. (2013), observaram que a exposição prolongada de sementes a temperaturas de germinação supra ótimas pode levar ao aumento da exposição a patógenos do solo, desnaturação proteica, disfunção da membrana redução capacidade seletiva, peroxidação de lipídios e diminuição da eficiência metabólica fatores que podem causar diminuição da emergência em plântulas.

Carvalho e Nakagawa (2012) e Marcos Filho (2015) relatam que o aumento da temperatura além do ideal ocorre redução do crescimento e vigor, aumentos no número de plântulas anormais e sementes mortas devido a diminuição dos processos vitais, principalmente nas menos vigorosas. Corroborando com os resultados encontrados neste trabalho, quando verificado a qualidade fisiológica do lote 3 (Tabela 4.3).

Embora o período de 12 ou 24 h de envelhecimento a 45 °C (Tabela 4.3), tenha classificado os lotes em diferentes níveis de vigor, o período de 24 h, demonstrou ser mais efetivo, principalmente para o lote com menor potencial germinativo (Lote 2), ao contrário, da combinação 45 °C a 12 h, apresentou grande semelhança com os resultados obtidos no teste PC e ESC (Tabela 4.1), ou seja, altas porcentagem de germinação. Gonzales et al. (2017), verificaram que os resultados de alta porcentagem de germinação permitem supor que as sementes de quinoa, podem germinar em condições climáticas adversas, com maior probabilidade de sucesso que a maioria das culturas, desde que seja observada a profundidade ideal (1 a 2 cm) de semeadura (PANDO; CASTELLANOS, 2016).

Pela análise de correlação entre os resultados encontrados em laboratório (Tabelas 4.1 e 4.4), e a emergência de plântulas em substrato, verificou-se que o teste de EA a 41 e a 45 °C se correlacionou de forma positiva com o teste de PC, GER e ESC. As maiores correlações foram obtidas no período de 12 h a 45 °C. No entanto este resultado difere dos 41°C no período de 48 h, relatados por Souza et al. (2017).

Tabela 4.4 - Correlações entre os dados obtidos no teste de envelhecimento acelerado e o teste de primeira contagem (PC), germinação (GER) e emergência de plântulas em substrato comercial (ESC) em sementes de quinoa (*C. quinoa* Willd.).

41°C						
	12 h	24 h	36 h	48 h	60 h	72 h
PC	0,66 <sup>ns</sup>	0,80**	0,74**	0,82**	0,72*	0,64 <sup>ns</sup>
GER	0,68*	0,80**	0,74**	0,81**	0,74**	0,64 <sup>ns</sup>
ESC	0,80**	0,72*	0,87**	0,86**	0,78**	0,82**
45 °C						
PC	0,83**	0,82**	0,80**	0,78**	0,81**	0,81**
GER	0,80**	0,81**	0,80**	0,79**	0,81**	0,84**
ESC	0,89**	0,89**	0,88**	0,84**	0,85**	0,84**

\*\* , \* significativo a 1% e a 5% de probabilidade de erro, respectivamente, pelo teste t. <sup>ns</sup> não significativo.

Resultados contraditórios dentro da mesma espécie são comumente encontrados na literatura. Portanto, mais estudos adicionais são necessários, a fim de padronizar o teste de envelhecimento, o que permitirá que, lotes de qualidade estejam disponíveis para iniciar o cultivo comercial de quinoa. E o presente trabalho cumpre com seu objetivo de fornecer informações que podem orientar as empresas produtoras de sementes na avaliação das sementes de quinoa.

#### 4.4 CONCLUSÃO

O teste de envelhecimento acelerado a 45 °C, por 12 h de exposição em sementes de quinoa, permite a estratificação dos lotes em níveis de vigor auxiliando na tomada de decisão quanto à comercialização de lotes de sementes.

#### REFERÊNCIAS

- AMARO, H. T. R. et al. Teste de envelhecimento acelerado em sementes de crambe (*Crambe abyssinica* Hochst), cultivar FMS Brilhante. **Revista Ceres**, v. 61, p. 202-208, 2014.
- BERTOLIN, D. C.; SÁ, M. E.; MOREIRA, E. R. Parâmetros do teste de envelhecimento acelerado para determinação do vigor de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes** v. 33, p.104-112, 2011.
- BEWLEY, J. D. et al. **Seeds – physiology of development, germination and dormancy**. 3.ed. New York: Springer, 2013. 392p.

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. New York: Plenum Press, 1994. 445 p.

BORGES, C. T. **Desenvolvimento de metodologias para avaliação da qualidade fisiológica e conservação de sementes de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)**. 2017, 90 f. Tese (Doutorado em Ciências e Tecnologia de Sementes), Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Brasil. 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 359p.

CARVALHO, N.M., NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012. 590p

CECCATO, D. V.; BERTERO, H. D.; BATLLA, D. Environmental control of dormancy in quinoa (*Chenopodium quinoa*) seeds: two potential genetic resources for pre-harvest sprouting tolerance. **Seed Science Research**, v. 21, p. 133-141, 2011.

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

GODOY, L. B. Water deficit stress-induced changes in carbon and nitrogen partitioning in *Chenopodium quinoa* Willd. **Planta**, v. 243, p. 591-603, 2016.

GONZÁLEZ, J. A. et al. Quantifying cardinal temperatures in *Chenopodium quinoa* cultivars. **Lilloa**, v. 54, p. 179-194, 2017.

HASANUZZAMAN, M. Biochemical and Molecular Mechanisms of Heat Stress Tolerance in Plants. **International Journal of Molecular Science**, v. 14, p. 9643-9684, 2013.

IIZUMI, T. et al. Impacts of El Niño Southern Oscillation on the global yields of major crops. **Nature Communications** **5**. 2014. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/262339078\\_Impacts\\_of\\_El\\_Niño\\_Southern\\_Oscillation\\_on\\_the\\_global\\_yields\\_of\\_major\\_crops](https://www.researchgate.net/publication/262339078_Impacts_of_El_Niño_Southern_Oscillation_on_the_global_yields_of_major_crops)>. Acesso em: 11 de jan de 2019.

JAIN, N.; KOOPAR, R.; SAXENA, S. Effect of accelerated ageing on seeds of radish (*Raphanus sativus* L.). **Asian Journal of Plant Sciences**, v. 5, p. 461-464, 2006.

LEAL, C. C. P. et al. Validação de testes de vigor para sementes de rúcula (*Eruca sativa* L.). **Revista Brasileira de Biociências**, v. 10, p. 421-424, 2012.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Londrina: ABRATES, 2015. 659 p.

MENEGHELLO, G. E. **Qualidade de sementes: umidade e temperatura**. 2014. Disponível em: <<https://seednews.com.br/edicoes/artigo/258-qualidade-de-sementes:-umidade-e-temperatura-edicao-novembro-2014>>. Acesso em: 03 de jan de 2019.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2018.

RADKE, A. K. et al. Alternativas metodológicas do teste de envelhecimento acelerado em sementes de coentro. **Ciência Rural**, v. 46, p. 95-99, 2016.

RIBEIRO, F. C. **Comparação entre os sistemas de envelhecimento artificial de sementes através de soluções salinas e o tradicional em cenoura (*Daucus carota* L.) alface (*Lactuca sativa* L.) e brócolos (*Brassica oleracea* variedade itálica Plenck)**. 2000. 56f. Dissertação em Produção e Tecnologia de Sementes – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, Brasil. 2000.

SOUZA, F. F. J. et al. Physiological quality of quinoa seeds submitted to different storage conditions. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, p. 1299-1308, 2016.

SOUZA, F. F. J. et al.. Accelerated ageing test for the evaluation of quinoa seed vigour. **Seed Science and Technology**, v. 45, p. 212-221, 2017.

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

STRENSKE, A. et al. Germinação de sementes de quinoa com diferentes períodos de armazenamento. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 14, p. 286-290, 2015.

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

TUNES, L. M.; TAVARES, L. C.; BARROS, A. C. S. A. Envelhecimento acelerado como teste de vigor para sementes de arroz. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 35, p. 120-127, 2012.

## 5 CAPÍTULO III

### TESTE DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA PARA AVALIAÇÃO DO VIGOR EM SEMENTES DE QUINOA

#### RESUMO

A quinoa destaca-se por apresentar alto potencial nutricional e capacidade de adaptação a diferentes ambientes. Todavia, existe a necessidade de monitorar o potencial fisiológico dessa espécie, o qual é escasso e incompleto. Deste modo, objetivou-se gerar informações essenciais para a padronização do teste de condutividade elétrica em sementes de quinoa, através da determinação de período de embebição, número de sementes e volume de água adequado para condução do teste. Foram selecionados quatro lotes de sementes cultivadas (genótipo Q13-31) nos anos safra de 2016/2017 e 2017/2018. A caracterização inicial dos lotes de sementes foi realizada através do teor de água, massa de mil sementes, testes de germinação e de emergência de plântulas em substrato comercial. Para o teste de condutividade elétrica foi utilizado 25, 50 e 75 sementes por repetição a 20 °C, em dois volumes de água deionizada 25 e 50 mL. As leituras foram realizadas em cinco períodos após a embebição, a 1, 2, 3, 4 e 5 h. O delineamento foi o inteiramente casualizado, as médias analisados pelo teste Scott-Knott. Realizou-se análise de correlação simples entre a condutividade elétrica e os testes de germinação e de emergência de plântulas. O teste de condutividade elétrica conduzido com 50 sementes embebidas em 50 mL de água deionizada, durante 2 h, é eficiente para a avaliação do potencial fisiológico dos lotes de sementes de quinoa, além de apresentar correlações significativas com o teste de emergência.

**Palavras-chave:** *Chenopodium quinoa* Willd, germinação, períodos de embebição, germinação.

## 5.1 INTRODUÇÃO

A quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) pertence à família Amarantaceae, nativa do Altiplano Andino, as margens do Lago Titicaca, entre a Bolívia e Peru, principais produtores e exportadores de grãos de quinoa. Durante séculos, foi um dos principais componentes da dieta alimentar dos povos Incas e pré-colombianos. Após a conquista espanhola, seu cultivo foi praticamente dizimado para a introdução do trigo e cevada (MUJICA et al., 2001).

A versatilidade agronômica da quinoa se deve a diversidade genética da espécie e adaptação a diferentes tipos de solo, inclusive aos salinos, ambientes extremamente variados em temperatura, umidade e altitude (MURPHY et al. 2016). Por isso a cultura vem sendo testada em diversos países da Europa, África e América do Sul buscando obter genótipos adaptados as condições climática de cada região de cultivo (BAZILE et al., 2016). No Brasil, a quinoa vem sendo estudada desde a década de 90, com resultados promissores com produtividades de até 3 t (SPEHAR et al., 2011). No entanto, a produção é ainda insipiente, apesar do alto valor agregado e uma cultura inovadora no sistema agrícola brasileiro. A falta de informações técnicas sobre a cultura dificulta implantação e expansão.

O uso de sementes de qualidade é um fator determinante na implantação de uma cultura, uma vez que esta pode ser afetada por diversos fatores ambientais durante o processo de produção da semente até o armazenamento. Dessa forma a avaliação do potencial fisiológico da semente é fundamental no controle de qualidade das mesmas (MATTIONI et al., 2015). Assim, faz-se necessário o constante aprimoramento dos testes. Os testes de vigor cuja finalidade é fornecer informações complementares obtidas no teste de germinação, possibilita estimar o potencial germinativo da semente, em condições adversas de campo.

Testes de vigor como o de condutividade elétrica relaciona a integridade das membranas com a quantidade de íons lixiviados na solução de embebição (MARCOS FILHO, 2015). Assim, lotes de sementes com elevados índices de lixiviados (açúcares, aminoácidos, ácidos graxos, proteínas, enzimas e íons inorgânicos) para o meio externo, apresentam baixa emergência no campo devido à deterioração das mesmas. Sementes vigorosas liberam menor quantidade de eletrólitos e emergem bem no campo (MARCOS FILHO, 2015; POWELL; MAVI, 2016).

Apesar de ser simples, rápido e confiável, o teste de condutividade é padronizado para avaliar o vigor de todas as espécies, apenas poucas tem teste de vigor recomendado pela Internacional Seed Testing Association (ISTA) como ervilha (*Pisum sativum* L.), soja

(*Glycine max* L.), feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.). Entretanto é necessário ampliar o teste em outras espécies como em quinoa.

Levando em consideração o potencial econômico da cultura, o presente trabalho teve por objetivo gerar informações para padronizar o teste de condutividade elétrica em sementes de quinoa, através da determinação de período de embebição, número de sementes e volume de água adequado para condução do teste.

## 5.2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado, na área experimental do Departamento de Fitotecnia e as avaliações com sementes foram realizadas no Laboratório didático de sementes da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS (29°43' S; 53°43' W e altitude de 95m). O clima na região é subtropical úmido (Cfa), segundo a classificação de Köppen-Geiger, com precipitação média anual acumulada de 1.769 mm, temperatura média anual próxima de 19,2°C e umidade do ar em torno de 78,4%.

Foram conduzidos experimentos utilizando quatro lotes de sementes de quinoa, genótipo Q13-31, provenientes de semeaduras realizadas em 01/12/2016 (lote 1), 01/05/2017 (lote 2), 07/10/2017 (lote 3) e em 09/11/2017 (lote 4).

Depois de cada colheita, as sementes foram armazenadas em câmara fria (15 °C e 40% UR) em sacos de papel Kraft (tipo pardo de 1,0 kg), com grau de umidade médio de 12,0% até a execução do experimento.

Para comparar e diferenciar o potencial fisiológico dos lotes, antes do teste de condutividade elétrica, as sementes foram submetidas aos seguintes testes:

a) Teor de água das sementes (TAI), determinado pelo método de estufa a  $105\pm 3$  °C, por 24 h, utilizando-se duas repetições de 2,0 g de sementes para cada lote (BRASIL, 2009).

b) Massa de mil sementes (MMS): foram utilizadas oito subamostras de 100 sementes de cada lote, sendo estimada a massa de mil sementes, conforme recomendado por Brasil (2009).

c) Germinação (G): para cada lote, foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes distribuídas sobre duas folhas de papel de germinação (tipo germitest) em caixas plásticas tipo gerbox, umedecidas com água destilada (2,5 vezes massa do substrato seco). As sementes foram mantidas em câmara de germinação tipo Box Organism Development (B.O.D.) a 20 °C, com luz. Aos quatro dias foi avaliada a primeira contagem, e, no sexto dia a contagem final de plântulas germinadas, conforme Borges (2017) e os resultados expressos em porcentagens de

plântulas normais seguindo os critérios estabelecidos nas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

d) Emergência de plântulas em casa de vegetação (EP): foram semeadas quatro repetições de 50 sementes por lote, em bandejas de propileno, com substrato comercial Plantmax®, e as sementes distribuídas em sulcos a 1,0 cm de profundidade em fileiras espaçada a 5,0 cm. A contagem de plântulas emergidas foi feita no décimo quarto dia após a semeadura, quando não foi mais observado emergência de novas plântulas.

Após a caracterização da qualidade inicial dos lotes de sementes, foram testadas metodologias para condução do teste de condutividade elétrica (CE) pelo método massal, organizado em esquema fatorial 4x5 (lotes de sementes e tempos de embebição) e combinação volumes de água (25 e 50 mL) e os números de sementes (25, 50 e 75), em quatro repetições de cada tratamento. Inicialmente realizou-se a contagem manual das sementes e a sua respectiva pesagem em balança digital (0,001 g). Na sequência do experimento as sementes foram dispostas em copos plásticos (180 mL), contendo água deionizada nos volumes pré-determinados e mantidos em câmara B.O.D a 20 °C durante os períodos de embebição. Após cada período de condicionamento, a condutividade elétrica da solução, foi mensurada em condutivímetro DIGIMED DM-31, e os valores médios, para cada lote, expressos em  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ .

Os dados em porcentagem foram transformados em  $\arcsin\sqrt{\% / 100}$  e analisados pelo Software Sisvar® (FERREIRA, 2014), e as médias foram comparadas pelo teste Skott-Knott ( $p \leq 0,05$ ). Os dados referentes ao teor de água inicial das sementes não foram submetidos análise estatística. A correlação de Pearson  $p < 0,01$  e  $0,05$  entre o teste de condutividade elétrica e os testes de primeira contagem, germinação e emergência de plântulas, foi realizado através do programa R (R CORE TEAM, 2018).

### 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de água inicial (TAI) dos quatro lotes de sementes estudados foram semelhantes e variaram somente em 0,5% entre si (Tabela 5.1). Esta pequena variação no TAI foi inferior a 2 %, considerado por Marcos Filho (2015) como um fator importante na execução do teste, pois quanto mais uniforme os teores de água, mais confiáveis e consistentes serão os resultados.

Tabela 5.1 - Caracterização dos lotes de sementes de quinoa (*C. quinoa*). Teor de água inicial (TAI), massa de mil sementes (MMS), primeira contagem de germinação (PC), germinação (G) e emergência de plântulas (EP).

Lotes	TAI (%)	MMS (g)	PC (%)	G (%)	EP (%)
1	12,0	3,2 a*	96 a	96 a	92 a
2	12,2	2,6 c	72 c	74 b	68 c
3	12,3	2,8 b	96 a	96 a	90 a
4	12,5	2,8 b	85 b	89 a	82 b
Médias	12,0	2,9	87	89	85
CV(%)	-	1,96	6,5	7,1	8,5

\*Médias seguidas pela mesma letra, pertencem ao mesmo grupo pelo Teste Sckott-Knott, a 5% de probabilidade.

A massa de mil sementes MMS (Tabela 5.1), apontou o lote 1 como o de melhor e o lote 2 como o de pior qualidade, enquanto que os lotes 3 e 4 foram agrupados num mesmo nível intermediário, não diferindo entre si. O lote 1 destacou-se com 23% a mais de massa que o lote 2. Segundo Carvalho e Nakagawa (2012), sementes com maior MMS, além de armazenarem maior quantidade de reservas (carboidratos, lipídeos e proteínas) possuem capacidade de mobilizar estas substâncias e gerar plântulas vigorosas com elevados índices de germinação nos testes de PC, G e EP (Tabela 5.1).

Verificou-se que a germinação dos lotes foi semelhante, exceto para o lote 2 (Tabela 5.1) confirmando a inabilidade do teste em não detectar diferenças na qualidade de lotes com germinação semelhante, ou seja, Lotes 1, 3 e 4. De acordo com Delouche e Baskin (1973), a dificuldade do teste de germinação em identificar diferenças no comportamento dos lotes com germinação semelhante ocorre, pois, as primeiras manifestações, relacionados à deterioração, geralmente ocorrem, antes que sejam observados declínios na capacidade germinativa dos lotes. Por isso, testes de vigor são fundamentais no monitoramento da qualidade das sementes a partir da maturidade fisiológica (MARCOS FILHO, 2015).

Os testes de PC e EP (Tabela 5.1) constituem-se em parâmetros indicadores da eficiência dos testes para avaliar a qualidade fisiológica, identificando diferenças de vigor entre os lotes, que o teste de germinação não identificou evidenciando a importância de efetuar vários testes. Os lotes 1 e 3 destacaram-se como mais vigorosos que os demais lotes estudados, com percentuais de germinação acima de 90%, enquanto que o lote 4 apresentou qualidade intermediária (83%) e o lote 2 com o pior desempenho, com média de 70% de germinação.

Marcos Filho (2015) e ISTA (2014) indicam que a sensibilidade dos testes de PC e EP são fatores importantes, pois a PC identifica a capacidade do lote se estabelecer de forma

rápida, e o teste de emergência confirma o potencial do lote de se estabelecer no campo em condições ambientais não ideais para a espécie. A sensibilidade dos testes PC e EP foram relatadas por Torres et al. (2012; 2015) em sementes de coentro, Lodo et al. (2013) em espinafre (*Spinacia oleracea* L.) e Sponchiado, Souza e Coelho (2014) em aveia preta (*Avena strigosa* Schreb).

Observou-se que, quando o teste de CE (Tabela 5.2) foi conduzido com 25 ou 75 sementes independente do volume de água utilizado, não apresentou interação significativa entre lotes de sementes e períodos de embebição. Todavia, ao analisar as médias de cada fator de forma isolada, o teste estratificou os quatro lotes em três níveis de vigor, sendo o lote 1 como de melhor qualidade, os lotes 3 e 4 como intermediárias e o lote 2 com a pior qualidade fisiológica.

Quando o teste de CE (Tabela 5.2) foi conduzido com 50 sementes e 25 mL de água deionizada, diferenciou a qualidade dos lotes em todos os períodos de embebição. Assim, como observado na caracterização inicial, o teste confirmou os lotes 1 e 2 como de qualidade superior e inferior respectivamente. No entanto, a discriminação dos lotes 3 e 4 não foi coerente com resultados dos testes de PC e EP (Tabelas 5.1 e 5.2).

A classificação dos lotes de forma semelhante aos obtidos nos testes de PC e EP (Tabelas 5.1 e 5.2) ficou mais evidente quando o teste de CE foi realizado com 50 sem/50 mL com 2 h de embebição. O período de 2 h foi mais efetivo, pois no início da embebição, liberação de eletrólitos é intensa, tanto em sementes vigorosas como nas deterioradas, dificultando identificar, de forma segura, possíveis diferenças de vigor entre os lotes (ROSA et al., 2000). Com o decorrer desse processo, sementes vigorosas tendem a reparar as membranas de forma mais rápida, que as de baixo vigor, reduzindo o vazamento de eletrólitos, e quantidade de solutos liberados tende a se estabilizar, possibilitando a separação dos lotes em diferentes níveis de vigor (MENEZES et al., 2007). Este resultado mostra-se coerente com os observados por Torres et al. (2015) avaliando sementes de coentro, utilizando 50 sementes em 50 mL de água, em 2 h, conseguiram ordenar os lotes diferentes níveis de qualidade fisiológica.

O aumento no tempo de embebição determinou acréscimos nos valores de CE (Tabela 5.2). Corroborando com Haesbaert et al. (2017), os quais afirmaram que quanto mais tempo as sementes permanecem imersas em água, mais fluídas as membranas ficam e conseqüentemente, liberam maiores quantidade de solutos para meio externo, resultando em aumentos nos valores de CE.

Tabela 5.2 - Condutividade elétrica em função do número de sementes e volume de água, períodos de embebição em genótipo de quinoa (*C. quinoa*) Q 13-31.

Lotes	Períodos de embebição (h)					Média
	1	2	3	4	5	
25 sementes / 25 mL ( $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ )						
1	328,5	409,8	448,6	477	539,8	440,8 A
2	549	641,7	683,9	708,1	718,6	660,3 D
3	465,2	548,5	603,6	676,1	692,2	597,1 C
4	482,5	538,7	570	613,2	627,2	566,3 B
Média	456,3 a	534,7 b	576,5 c	618,6 d	644,4 d	
CV(%)	7,0					
25 sementes / 50 mL ( $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ )						
1	198,3	241,4	270,7	285,2	294,8	258,1 A
2	305,6	353,2	375,1	387,4	402,7	364,8 C
3	242,7	296,2	342,6	345,4	367,6	318,9 B
4	259,1	301,3	324,7	338,8	346,7	314,1 B
Média	251,4 a	298,0 b	328,3 c	339,2 c	353,0 d	
CV (%)	6,1					
50 sementes / 25 mL ( $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ )						
1	328,3 Aa	393,6 Ba	431,8 Ca	451,7 Ca	471,6 Ca	415,4
2	525,2 Ac	619,9 Bd	665,5Cd	696,3Dd	719,3 Dd	645,2
3	378,9 Ab	482,6 Bb	524,8 Cb	559,1 Db	576,4 Db	504,4
4	397,7 Ab	571,5 Bc	624,6 Cc	641,5 Cc	658,8 Cc	578,8
Média	407,5	516,9	561,7	587,2	606,5	
CV (%)	4,7					
50 sementes / 50 mL ( $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ )						
1	186,7 Aa	223,3 Ba	243,0 Ca	256,1 Da	266,5 Da	235,1
2	231,4 Ab	297,3 Bc	335,5 Cc	354,5 Dc	370,2 Dd	317,8
3	218,9 Ab	225,3 Ba	269,0 Cb	307,4 Db	331,5 Ec	270,4
4	196,4 Aa	252,9 Bb	281,5 Cb	296,2 Cb	310,8 Cb	267,6
Média	208,4	249,7	282,3	303,6	319,8	
CV (%)	5,7					
75 sementes / 25 mL ( $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ )						
1	271,0	363,8	406,8	431,8	447,5	384,2 A
2	407,5	536,1	585,6	615,6	629,7	554,9 D
3	360,6	476,7	539,7	559,8	582,6	503,9 C
4	391,8	460,6	496,4	535	549	486,6 B
Média	357,7 a	459,3 b	507,1 c	535,5 d	552,2 d	
CV (%)	5,5					
75 sementes / 50 mL ( $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ )						
1	151,9	199,1	223,4	236,2	245,4	211,2 A
2	209,6	270,7	296,2	312,5	323,5	282,5 C
3	155,1	218,5	255,1	273,5	283,8	237,2 B
4	158,9	222,8	259,8	274,5	284,3	240,1 B
Média	168,9 a	227,8 b	258,6 c	274,2 d	284,3 e	
CV (%)	5					

\* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

As sementes embebidas em 25 mL de água deionizada independentemente do tempo e do número de sementes utilizadas os valores de CE foram mais elevados comparada ao volume de 50 mL, pelo fato de terem um volume menor e maior concentração dos lixiviados. Resultados semelhantes foram obtidos em sementes de rúcula (TORRES; PEREIRA, 2010) e girassol (*Helianthus annuus* L.) (HAESBAERT et al. (2017).

A correlação entre os testes de condutividade elétrica e de PC, G e EP, apresentou resultados negativo, indicando que à medida que aumenta a condutividade diminuiu o vigor, ou seja, quanto maior os níveis de lixiviação, menor será a qualidade fisiológica das sementes (Tabela 5.3). Em todas as combinações do número de sementes e volume de água, o coeficiente foi significativo para EP. As maiores correlações foram encontradas entre teste de CE e EP em 50 mL de água e com 2 h de contato da água com a semente de quinoa.

Tabela 5.3 - Coeficientes correlação de Pearson, entre os tratamentos de condutividade elétrica e os testes de primeira contagem de germinação (PC), germinação (G) e emergência de plântulas em substrato (ESC) com sementes de quinoa (*C. quinoa*).

Parâmetros	Períodos de embebição (h)				
	1	2	3	4	5
25 sementes/25 mL					
PC	-0,71*	-0,72*	-0,67*	-0,54 <sup>ns</sup>	-0,51 <sup>ns</sup>
G	-0,69*	-0,69*	-0,64 <sup>ns</sup>	-0,52 <sup>ns</sup>	-0,50 <sup>ns</sup>
ESC	-0,71*	-0,73*	-0,69*	-0,57 <sup>ns</sup>	-0,50 <sup>ns</sup>
25 sementes/50 mL					
PC	-0,70*	-0,70*	-0,51 <sup>ns</sup>	-0,63 <sup>ns</sup>	-0,56 <sup>ns</sup>
G	-0,67*	-0,67*	-0,50 <sup>ns</sup>	-0,61 <sup>ns</sup>	-0,55 <sup>ns</sup>
ESC	-0,87**	-0,82**	-0,70*	-0,75**	-0,70*
50 sementes/25 mL					
PC	-0,82**	-0,80**	-0,79**	-0,79*	-0,79**
G	-0,83**	-0,75**	-0,72*	-0,73*	-0,73*
ESC	-0,83**	-0,79**	-0,79**	-0,81**	-0,84**
50 sementes/50 mL					
PC	-0,42 <sup>ns</sup>	-0,83**	-0,75**	-0,72*	-0,66*
G	-0,37 <sup>ns</sup>	-0,75**	-0,71*	-0,69*	-0,64 <sup>ns</sup>
ESC	-0,47 <sup>ns</sup>	-0,84**	-0,84**	-0,79**	-0,72*
75 sementes/25 mL					
PC	-0,51 <sup>ns</sup>	-0,57 <sup>ns</sup>	-0,52 <sup>ns</sup>	-0,54 <sup>ns</sup>	-0,53 <sup>ns</sup>
G	-0,50 <sup>ns</sup>	-0,55 <sup>ns</sup>	-0,50 <sup>ns</sup>	-0,50 <sup>ns</sup>	-0,49 <sup>ns</sup>
ESC	-0,63 <sup>ns</sup>	-0,74*	-0,69*	-0,71*	-0,68*
75 sementes/50 mL					
PC	-0,66 <sup>ns</sup>	-0,70*	-0,74*	-0,68*	-0,69*
G	-0,67*	-0,68*	-0,72*	-0,67*	-0,68*
ESC	-0,89**	-0,93**	-0,87**	-0,83**	-0,84**

<sup>ns</sup> não significativo, \*\* significativo a 1% e \* significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste t.

Com base nos resultados (Tabela 5.3), pode-se afirmar que o teste de CE é eficiente para distinguir níveis de vigor entre lotes de sementes de quinoa, mediante o uso de 50 sementes em 50 mL de água deionizada em 2 h de embebição havendo uma relação entre o teste de emergência de plântulas. A relevância dessa constatação pode ser verificada na afirmação de Marcos Filho (1999), de que reduzir período necessário para condução do teste é vantajoso para todo o setor envolvido com sementes, pois permite agilizar as tomadas de decisão referentes ao manejo dos lotes. Nesse sentido, o teste de CE cumpre com sua finalidade em detectar diferenças na qualidade entre lotes de quinoa, classificando-os em diferentes níveis de vigor, alto, médio e baixo de maneira proporcional à emergência das plântulas.

#### 5.4 CONCLUSÃO

O teste de condutividade elétrica conduzido com 50 sementes embebidas em 50 mL de água deionizada, durante 2 h, é eficiente em identificar diferenças de vigor entre os lotes de sementes de quinoa.

#### REFERÊNCIAS

- BAZILE, D.; JACOBSEN, S. E.; VERNIAU, A. The global expansion of quinoa: trends and limits. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 622, 2016.
- BORGES, C. T. **Desenvolvimento de metodologias para avaliação da qualidade fisiológica e conservação de sementes de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)**. 2017. 90 f. Tese (Doutorado em Sementes) Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Brasil. 2017.
- BRASIL, Ministério da Agricultura. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Departamento Nacional de Produção Vegetal, 2009. 365p.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. FUNEP, Jaboticabal, Brasil, 2012. 590p.
- DELOUCHE, J.C.; BASKIN, C. C. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. **Seed Science and Technology**, v. 1, p. 427-452, 1973.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: A guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, p. 109-112, 2014.
- HAESBAERT, F. M. et al. Tamanho de amostra de sementes de girassol. **Bragantia**, v.76, p. 54-61, 2017.

- ISTA - International Seed Testing Association. 2014. **Seed Vigour Testing**. International Rules for Seed Testing, Zurich, Switzerland.
- LODO, M. A. et al. Assessment of the physiological potential of spinach seeds (*Tetragonia tetragonoides* (Pall.) Kuntze). **Journal of Seed Science**, v. 35, p. 284-291, 2013.
- MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. ABRATES, Londrina, Brasil. 2015. 659 p.
- MATIONI, N. M. et al. Individual electrical conductivity test for the assessment of soybean seed germination. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, p. 31-38, 2015.
- MENEZES, N.L. et al. Teste de condutividade elétrica em aveia preta. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, p. 138-142, 2007.
- MUJICA, A. et al. (Eds.). **Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): ancestral cultivo Andino, alimento del presente y futuro**. Santiago: FAO, 2001. 350p.
- MURPHY, K. M. et. al. Development of a Worldwide Consortium on Evolutionary Participatory Breeding in Quinoa. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 608, 2016
- POWELL, A. A.; MAVI, K. Application of the radicle emergence test to radish (*Raphanus sativus*) seed. **Internacional Seed Testing Association**, 2016.
- R CORE TEAM **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2018. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>.
- ROSA, S. D.V. F. et al. Eficácia do teste de condutividade elétrica para uso em estudos de danos de secagem em sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 22, p. 54-63, 2000.
- SPEHAR, C. R.; ROCHA, J.E. S.; SANTOS, R. L. B. Desempenho agrônômico e recomendações para cultivo de quinoa (BRS Syetetuba) no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, p. 145-147, 2011.
- SPONCHIADO, J. C.; SOUZA, C. A.; COELHO, C. M. M. Teste de condutividade elétrica para determinação do potencial fisiológico de sementes de aveia branca. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, p. 2405-2414, 2014.
- TORRES, S. B. et al. Deterioração controlada em sementes de coentro. **Revista Brasileira de Sementes** 34: 319-326. 2012.
- TORRES, S. B. et al. Teste de condutividade elétrica na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de coentro. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 46, p. 622-629, 2015.
- TORRES, S. B.; PEREIRA, R. A. Condutividade elétrica em sementes de rúcula. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, p. 58-70, 2010.
- VEGA-GALVEZ, A. et al. Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), an ancient Andean grain: a review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 90, p. 2541–2547, 2010.