

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ  
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON**

**BRUNO CAPELANI DOS SANTOS**

**CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS, ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE  
FENOTÍPICA DA PRODUTIVIDADE DE GENÓTIPOS DE QUINOA NO BRASIL**

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ**

**2021**

**BRUNO CAPELANI DOS SANTOS**

**CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS, ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE  
FENOTÍPICA DA PRODUTIVIDADE DE GENÓTIPOS DE QUINOA NO BRASIL**

Dissertação (mestrado) apresentada à  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná,  
como parte das exigências do Programa de Pós-  
Graduação em Agronomia, para obtenção do  
título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Prof. Dr. Edmar Soares de  
Vasconcelos

Coorientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Torres  
da Costa

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ**

**2021**

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Capelani dos Santos, Bruno

CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS, ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE FENOTÍPICA DA PRODUTIVIDADE DE GENÓTIPOS DE QUINOA NO BRASIL / Bruno Capelani dos Santos; orientador Edmar Soares de Vasconcelos; coorientador Antônio Carlos Torres da Costa. -- Marechal Cândido Rondon, 2021.

48 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Marechal Cândido Rondon) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2021.

1. Chenopodium quinoa. 2. Rendimento de grãos. 3. Interação genótipo x ambiente. I. Soares de Vasconcelos, Edmar, orient. II. Torres da Costa, Antônio Carlos, coorient. III. Título.



**unioeste**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46  
Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>  
Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000  
Marechal Cândido Rondon - PR.



**PARANÁ**  
GOVERNO DO ESTADO

## BRUNO CAPELANI DOS SANTOS

Características agronômicas, adaptabilidade e estabilidade fenotípica da produtividade de genótipos de quinoa no Brasil

Dissertação apresentada à distância, de forma síncrona e por videoconferência, conforme Resolução nº 052/2020 – CEPE, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, linha de pesquisa Manejo de Culturas, APROVADO pela seguinte banca examinadora:

*Edmar S. Vasconcelos*

Orientador - Edmar Soares de Vasconcelos

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)

Emerson Fey

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)

Luis Fernando Alliprandini

Bayer S/A

*Neumarício Vilanova da Costa*

Neumarício Vilanova da Costa  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Agronomia

Marechal Cândido Rondon, 29 de junho de 2021

## AGRADECIMENTOS

À Deus pelo dom da vida.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA), pela oportunidade de realização do Mestrado.

Ao meu orientador Professor Dr. Edmar Soares de Vasconcelos e, ao coorientador Professor Dr. Antônio Carlos Torres da Costa pela oportunidade e acreditarem no projeto.

À todos os professores do programa de Pós- Graduação em Agronomia (PPGA) da Unioeste, Campus de Marechal Cândido Rondon, pelos ensinamentos transmitidos.

Aos meus pais, irmã e familiares pelo apoio de sempre e compreensão.

Aos meus colegas Camila Hendges e Renato Alexandre Malfato, pela ajuda, companheirismo e incentivo.

Ao Mateus Piagente Carpanese, pela ajuda na condução e avaliação de experimentos.

À Leila Dirlene Allievi Werlang, secretária do programa de Pós Graduação pela ajuda e ágil retorno nas questões administrativas.

Ao meu antigo Gestor, MSc. Edson Bolson, pelo apoio em montar um plano de desenvolvimento pessoal, com o qual consegui ingressar no Mestrado e conciliar o trabalho.

*A persistência é o caminho do êxito.*

*(Charles Chaplin)*

## RESUMO

SANTOS, Bruno Capelani dos, Engenheiro Agrônomo, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Junho – 2021. **Características agronômicas, adaptabilidade e estabilidade fenotípica da produtividade de genótipos de quinoa no Brasil.** Orientador: Prof. Dr. Edmar Soares de Vasconcelos. Coorientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Torres da Costa.

A cultura da quinoa vem ganhando ênfase no Brasil devido a seu crescente consumo e valor nutricional, entretanto, ainda são poucos os estudos destinados a esta cultura principalmente em relação a adaptabilidade e estabilidade considerando o rendimento de grãos. O objetivo do trabalho foi avaliar as características agronômicas e identificar por meio diferentes métodos, os genótipos com melhor estabilidade e adaptabilidade produtiva, em diferentes ambientes. Os genótipos foram avaliados em delineamento de blocos completos com tratamentos casualizados, avaliados em sete ambientes. As variáveis analisadas foram dias até a floração, altura na inflorescência, altura na floração, altura na colheita e rendimento de grãos. A avaliação de adaptabilidade e estabilidade foi realizada seguindo as metodologias: Yates e Cochran; Eberhart e Russell; Cruz, Torres e Vencovsky e o método Integrado direcionado para adaptabilidade e estabilidade. Os genótipos Q2014, Q1304, Q1307 e Q1320 podem ser considerados possíveis candidatos a constituírem uma nova variedade de quinoa, apresentando adaptabilidade e estabilidade às condições ambientais em que foram avaliados. O genótipo Q2014 apresentou potencial agrônomo e adaptabilidade e estabilidade fenotípica geral, sendo selecionado como um possível cultivar para uso na região Oeste do Paraná.

Palavras-chave: *Chenopodium quinoa*. Rendimento de grãos. Interação genótipo x ambiente.

## ABSTRACT

SANTOS, Bruno Capelani dos, Agronomist, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, June – 2021. **Agronomic characteristics, adaptability and phenotypic stability of yield of quinoa genotypes in Brazil.** Advisor: Prof. Dr. Edmar Soares de Vasconcelos. Co-Advisors: Prof. Dr. Antonio Carlos Torres da Costa.

The quinoa crop has been gaining emphasis in Brazil due to its growing consumption and nutritional value, however, there are few studies aimed at this crop, especially when it comes to adaptability and stability considering the grain yield. The objective of this work was to evaluate the agronomic characteristics and identify, through different methods, the genotypes with better stability and productive adaptability in different environments. The genotypes were evaluated in a complete block design with randomized treatments, evaluated in seven environments. The variables analyzed were days until flowering, inflorescence height, flowering height, height at harvest and grain yield. The adaptability and stability assessment was carried out following the methodologies: Yates and Cochran; Eberhart and Russell; Cruz, Torres and Vencovsky and the Integrated method aimed at adaptability and stability. Genotypes Q2014, Q1304, Q1307 and Q1320 can be considered as possible candidates to constitute a new variety of quinoa, showing adaptability and stability to the environmental conditions in which they were evaluated. The Q2014 genotype showed agronomic potential, adaptability and phenotypic stability in general, being selected as a possible cultivar for use in the western region of Paraná.

Keywords: *Chenopodium quinoa*. Grain yield. Genotype x environment interaction.



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>3</b>
2.1 CARACTERÍSTICAS BOTÂNICAS .....	3
2.2 MELHORAMENTO DE QUINOA .....	4
2.3 ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE.....	5
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	7
<b>3 ARTIGO 1 - ANÁLISE DE GENÓTIPOS DE QUINOA PARA DESEMPENHO AGRONÔMICO E PRODUTIVO.....</b>	<b>10</b>
3.1 INTRODUÇÃO.....	11
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	11
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	14
3.4 CONCLUSÕES .....	24
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	24
<b>4 ARTIGO 2 - ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE PRODUTIVA DE GENÓTIPOS DE QUINOA .....</b>	<b>26</b>
4.1 INTRODUÇÃO.....	27
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	28
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	30
<b>4.3.1 Método de Yates e Cochran (1938) .....</b>	<b>30</b>
<b>4.3.2 Método de Eberhart e Russell (1966).....</b>	<b>31</b>
<b>4.3.3 Método bissegmentado de Cruz, Torres e Vencovsky (1989).....</b>	<b>33</b>
<b>4.3.4 Método integrado (VASCONCELOS et al., 2011) .....</b>	<b>36</b>
4.4 CONCLUSÕES .....	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	38
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>41</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) é uma planta com centro de diversidade na região Andina, onde os povos que habitavam essa região, cultivavam o grão desde o nível do mar até 4.000 metros de altitude. Registros datam o seu cultivo há cerca de 7.000 anos, a qual era a base da alimentação desses povos (MUJICA; ORTIZ; JACOBSEN, 2000). Desde a última década, o grão tem despertado interesse para a utilização em diversos segmentos como restaurantes, mercados e indústria devido ao seu alto valor nutricional, substituindo outros grãos mais conhecidos como milho, trigo, feijão e arroz (FAO, 2020).

Segundo a FAO (2020), mesmo com a crescente demanda pelo grão, a produção mundial de quinoa concentra-se em três países, Bolívia, Peru e Equador numa área aproximada de 173.242 hectares, onde o principal produtor é o Peru, responsável por 78.657 toneladas na safra 2017. Existem cultivos em países na Europa, Índia, Quênia, porém, a área cultivada não chega a ser significativa ao passo de serem contabilizadas em estatísticas globais. Os Estados Unidos são o maior importador de quinoa a nível mundial (AGRODATA, 2017).

O cultivo de quinoa no Brasil ainda é pouco estudado. A entidade pioneira a pesquisar e a introduzir a primeira cultivar como cultivo granífero, denominada BRS Piabiru, foi a Embrapa em parceria com a Universidade de Brasília nos anos de 1990, sendo uma opção de rotação de culturas e aumento de biomassa para conservação do solo na região do Cerrado (SPEHAR et al., 2007).

Vasconcelos et al. (2012) em estudos realizados no período da safrinha na região Centro Ocidental do Paraná, obtiveram produtividades de 1.884,3 kg ha<sup>-1</sup>, embora maiores produtividades podem ser atingidas por meio do melhoramento e seleção de plantas.

Por ser uma cultura introduzida somente na década de 90 no Brasil, existem poucas cultivares adaptadas para cada região. Com a crescente demanda pelo grão, existe um nicho de mercado que disponibiliza aos agricultores novas cultivares adaptadas, podendo servir como uma alternativa de rotação de cultura no período de safrinha ou até mesmo as plantas serem utilizadas como alimentação animal. No sistema lavoura-pecuária, também é possível a implantação, uma vez que a produtividade de quinoa pode atingir o patamar de 3.000 kg ha<sup>-1</sup> de grãos e rendimento de 2,8 a 6,6 ton ha<sup>-1</sup> de biomassa (SPEHAR; SANTOS, 2002).

Por meio de métodos estatísticos, os efeitos de adaptabilidade e estabilidade produtiva podem ser quantificados, o que permite encontrar os melhores genótipos e com comportamento mais estável (SILVA; DUARTE, 2006).

Segundo Cruz, Regazzi e Carneiro (2012), atualmente existem dezenas de metodologias aplicadas à análise de adaptabilidade e estabilidade, onde todas elas são fundamentadas na existência de interações. Porém, a escolha de cada metodologia, depende, dos dados experimentais, da precisão requerida e do tipo de informação desejada. Para a cultura da quinoa, os métodos não estão contemplados ainda na literatura para adaptabilidade e estabilidade, o que pode ser uma informação muito valiosa para os programas de melhoramento.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a adaptabilidade e estabilidade de genótipos de quinoa no oeste do Paraná com diferentes metodologias, visando selecionar os genótipos promissores para constituir uma nova cultivar de quinoa, adaptada ao cultivo na região de estudo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CARACTERÍSTICAS BOTÂNICAS

São reconhecidos 3.000 variedades ou eco tipos de quinoa, que podem ser silvestres ou cultivadas, associadas a sub centros de diversidades, variação esta, devido às adaptações particulares em diferentes zonas ao longo dos Andes, que alteram algumas características, dependendo da região onde a planta se desenvolveu. São elas: Quinoa dos vales Interandinos (Colombia, Equador e Peru), Quinoa dos Altiplanos (Peru e Bolívia), Quinoa das Yungas (Bolívia), Quinoa dos Salares (Bolívia, Chile e Argentina) e Quinoa da costa do nível do mar (Chile) (FAO, 2011).

A quinoa é uma planta herbácea, anual, dicotiledônia classificada dentro da família *Amaranthaceae*, subfamília *Chenopodiaceae*, gênero *Chenopodium* e ordem *Caryophyllales* (APG III, 2009). Apresenta alta variação e plasticidade, o que permite adaptação em diferentes condições ambientais, tolera fatores climáticos adversos como seca e geadas, solos com salinidade, diferentes altitudes, entre outros fatores (APAZA et al., 2013). Por ser uma planta alotetraplóide, apresenta o número de 36 cromossomos, sua reprodução é predominantemente autógama, ocorrendo também alogamia, em menor quantidade e intensidade variáveis, dependendo da proximidade de outros genótipos e agentes polinizadores (ROCHA, 2011; SANTOS, 1996; SPEHAR et al., 2007).

Seu sistema radicular é pivotante, profundo, alcançando em alguns casos a profundidade de 60 cm (WAHLI, 1990). As folhas são alternadas e formadas por lâmina e pecíolo apresentando bordas lisas, dentadas ou serrilhadas. O oxalato de cálcio, presente nas glândulas das folhas mais jovens permite que ela possa reter a umidade relativa da atmosfera, diminuindo a transpiração, ajudando a planta a manter-se em situações de déficit hídrico (ROJAS, 2003; SPEHAR; SANTOS, 2002).

As flores são de tamanho pequeno, desprovidas de pétalas chegando ao tamanho máximo de 3 mm, hermafroditas (BHARGAVA et al., 2007). A inflorescência é do tipo panícula, classificada como Amarantiformes (semelhantes a panícula do *Amaranthus* dependendo do comprimento dos pedicelos e eixos secundários) ou Glorumeladas (pedicelos curtos e juntos), variando as cores entre roxas e amarelas e tamanhos de 30 a 80 cm de comprimento por 05 a 30 cm de diâmetro (MUJICA-SANCHEZ et al., 2001).

A altura de planta é variável, dependendo da variedade, ambiente e densidade de plantio podendo chegar de 100 a 230 cm (ROJAS; PINTO, 2013; WAHLI, 1990). As sementes

não possuem dormência, germinando facilmente na presença de umidade, com formato achatado, do tipo aquênio e porte pequeno, apresentando colorações vermelha, roxa, amarela ou branca (SPEHAR; SANTOS, 2002).

Da mesma forma, o ciclo também apresenta variações, dependendo do genótipo, tipo de solo e a interação com o ambiente, existindo quatro classificações: precoce, menos de 130 dias; semi precoces, entre 130 e 150 dias; semi tardios, 150 a 180 dias; e, tardios, superior a 180 dias (WAHLI, 1990).

## 2.2 MELHORAMENTO DE QUINOA

Há milênios, povos primitivos começaram a domesticar plantas de seu interesse, modificando geneticamente ou morfológicamente através de uma seleção involuntária, quanto a cor, sabor, textura, entre outros fatores (PRANCE; NESBITT, 2005). Porém, o melhoramento de plantas teve como base dentro do seu contexto histórico os trabalhos de Charles Darwin (1809-1882) e Gregor Mendel (1822-1884), dando o primeiro passo para os debates que, se estenderiam até o início do século XX (BETRÁN; MORENO-GONZÁLEZ; ROMAGOSA, 2009).

O melhoramento de quinoa teve início em meados da década de 60, na Bolívia e Peru, bem como a inauguração de banco ativos de germoplasmas em Universidades e Instituições de pesquisas (GANDARILLAS, 1979). Em anos de seleções, as principais modificações realizadas foram: a condensação da inflorescência no ápice da planta; o aumento da estatura da planta e tamanho de semente, afim de melhorar o manejo na colheita mecanizada; a perda de mecanismos de dispersão das sementes; perda da dormência na germinação; bem como a perda dos altos níveis de pigmentação (MUJICA-SANCHEZ et al., 2001). Anos mais tarde, outras características foram introduzidas nos genótipos como: precocidade; tolerância a seca; qualidade nutricional para grãos destinados a indústria alimentícia (BAZILE; FUENTES; MUJICA, 2013).

Para Mujica (1992), a quinoa possui alta variabilidade genética, desde a coloração de planta, coloração da flor, tamanho e peso de grãos, conteúdo de proteína, betacianina e oxalato de cálcio nas folhas.

Segundo Spehar e Santos (2002), é importante para um programa de melhoramento de quinoa no Brasil, seguir as seguintes características: rapidez de crescimento das plantas para ser mais competitiva contra plantas invasoras; resistência ao acamamento e quebramento; maturação uniforme; insensibilidade ao fotoperíodo; baixa ramificação e altura suficiente para

colheita mecanizada. É desejável também que durante a seleção, os genótipos possam apresentar ciclos variados, elevado rendimento de grãos e biomassa, sementes com qualidade, massa de 1.000 grãos entre 2 e 3,5 g.

Outras substâncias presentes no grão como as proteínas, gorduras, carboidratos, fibras, podem ser melhoradas geneticamente dependendo da necessidade ou finalidade da destinação do produto, assim como ausência de saponina que caracteriza sabor amargo no grão consumido diretamente. Por outro lado, esse composto é muito valioso para fins industriais como shampoo, detergentes, entre outros (SPEHAR; SANTOS, 2002; RESTREPO; VIANCHÁ; BALLESTEROS, 2005).

Entretanto, tais características não são fáceis de controlar, pois a espécie em evolução desenvolveu mais de uma forma reprodutiva, onde ocorre polinização autógama com flores muito pequenas e o fator de polinização alógama que acontece de forma variável de acordo com o tipo do genótipo, podendo chegar ao nível de 17,36% (SILVESTRI; GIL, 2000). Apesar das dificuldades, é adotado pelos melhoristas o método de seleção massal e a hibridização (RISI; GALWEY, 1984).

Uma das etapas mais importantes no programa de melhoramento, é a avaliação de genótipos, visando à identificação e recomendação de materiais superiores em diferentes ambientes (NUNES et al., 2002; FARIAS et al., 1997). Para realizar a recomendação de plantas ou cultivares superiores, normalmente, são utilizadas duas estratégias: identificação dos genótipos de adaptabilidade geral visando à recomendação a conjunto de ambientes heterogêneos, e, a recomendação de indivíduos adaptados a ambientes específicos visando a capitalizar o efeito da interação (ROCHA et al., 2005).

### 2.3 ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE

O termo estabilidade e adaptabilidade é definido por diversos autores das mais variadas áreas da genética, onde apontam diversas definições. De acordo com Resende (2007) adaptabilidade é, em grande parte, ligada a plasticidade de um genótipo, onde o indivíduo possa crescer, produzir e terminar seu ciclo nas condições ambientais ao qual foi introduzido. Conceitua-se estabilidade, o genótipo que apresenta uma produtividade constante, independente das condições ambientais, ou seja, a sua variância entre os ambientes deve ser pequena.

Diferentes regiões e anos de cultivo, exercem influências no comportamento dos genótipos devido a interação com o ambiente. Nos programas de melhoramento, é importante que o melhorista consiga quantificar a magnitude e significância dos efeitos causados na

interação, a fim de adotar estratégias que possam minimizar ou aproveitar esse efeito. Desta forma, avaliando-se a adaptabilidade e estabilidade de genótipos, é possível quantificar os efeitos que a interação causa e encontrar genótipos de melhor performance (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Existem diversos métodos para estimar adaptabilidade e estabilidade, os quais completam as informações obtidas na análise de variância (FERREIRA et al., 2006). O método proposto por Yates e Cochran consiste na análise conjunta dos experimentos considerando todos os ambientes e sua variação dentro de cada genótipo como estimativa de estabilidade, sendo que o genótipo que apresentar o menor quadrado médio nos diferentes ambientes, será considerado o mais estável. Este método tem como vantagem a aplicação em situações de um número restrito de ambientes (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012; MIRANDA et al., 1997).

Amplamente utilizado, o método de Eberhart e Russell (1966) consiste num modelo de regressão linear simples que além da média geral e do coeficiente de regressão de cada genótipo, são considerados como parâmetros de estabilidade os desvios da regressão para a estimativa da estabilidade da produção.

O método de Cruz, Torres e Vencovsky (1989), baseia-se na análise de regressão bissegmentada onde os parâmetros de adaptabilidade são a média e a resposta linear aos ambientes favoráveis e desfavoráveis. A estabilidade dos genótipos é avaliada pelo desvio da regressão de cada cultivar em funções das variações ambientais.

Proposto por Rocha et al. (2005), o método centróide consiste na comparação de valores de distância cartesiana entre os genótipos avaliados e quatro referenciais ideais (ideótipos) de máxima ou mínima resposta em relação ao conjunto de dados avaliados. Porém, a proposta original do método não contempla a análise de estabilidade dos genótipos, o que é completada pelo Método Integrado de análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica (VASCONCELOS et al., 2011).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRODATA. **Quinoa Perú Exportación**, 2017. Disponível em: <<https://www.agrodataperu.com/2017/12/quinoa-peru-exportacion-2017-noviembre.html>>. Acesso em: 26 mar. 2020.
- APAZA, V.; CACERES, G.; ESTRADA, R.; PINEDO, R. **Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú**. Lima: Instituto Nacional de Innovación Agraria, 2013.
- 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.
- BAZILE, D.; FUENTES, F.; MUJICA, A. Historical perspectives and domestication. In: BHARGAVA, A.; SRIVASTAVA, S. (Eds.). **Quinoa: botany, production and uses**. Wallingford: CABI, 2013, p. 16-35.
- BETRÁN, J.; MORENO-GONZÁLEZ, J.; ROMAGOSA, I. Theory and application of plant breeding for quantitative traits. In: CECARELLI, S.; GUIMARÃES, E. P.; WELTZIEN, E. (Eds.). **Plant breeding and farmer participation**. Rome: FAO, 2009, p. 27-62.
- BHARGAVA, A.; SHUKLA, S.; RAJAN, S.; OHRI, D. Genetic diversity for morphological and quality traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) germplasm. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 54, n. 1, p. 167-173, 2007.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2012.
- CRUZ, C. D.; TORRES, R. A.; VENCOSKY, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. **Revista Brasileira de Genética**, v. 12, n. 3, p. 567-580, 1989.
- EBERHART, S. T.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties 1. **Crop Science**, v. 6, n. 1, p. 36-40, 1966.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Regional Office for Latin America and the Caribbean**, 2020. Disponível em: <<http://www.fao.org/quinoa-2020/what-is-quinoa/nutritional-value/en/>>. Acesso em: 24 mar. 2020.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **La quinua, cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial**, 2011. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/aq287s/aq287s.pdf>>. Acesso em: 28 mar. 2020.
- FARIAS, F. J. C.; RAMALHO, M. A. P.; CAVALHO, L. P.; MOREIRA, J. A. N.; COSTA, J. N. C. Parâmetros de estabilidade propostos por Lin e Binns (1988) comparados com o método de regressão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 4, p. 1-9, 1997.



FERREIRA, D. F.; DEMÉTRIO, C. G. B.; MANLY, B. F. J.; MACHADO, A. de A.; VENCOSKY, R. Statistical models in agriculture: biometrical methods for evaluating phenotypic stability in plant breeding. **Cerne**, v. 12, n. 4, p. 373-388, 2006.

GANDARILLAS, H. Botanica. Quinoa y Kaniwa. Cultivos Andinos. In: TAPIA, M. E. (Ed.). **Serie Libros y Materiales Educativos**. Bogotá: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1979, p. 20-44.

MIRANDA, G. V.; CRUZ, C. D.; VIEIRA, C.; ARAÚJO, G. A. A. Comparação de quatro métodos de avaliação da estabilidade fenotípica de cultivares de feijão. **Revista Ceres**, v. 44, n. 256, p. 627-638, 1997.

MUJICA, A. Granos y leguminosas andinas. In: HERNANDEZ, J.; BERMEJO, J.; LEON, J.; (Eds.). **Cultivos marginados: otra perspectiva de 1492**. Roma: Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1992, p. 129-146.

MUJICA, A.; ORTIZ, J.; JACOBSEN, S. E. Uso potencial de *Chenopodium carnosolum* Moq. en zonas áridas. In: **Resúmenes II Congreso Internacional de Zonas áridas**. Chile, 2000, p. 16-21.

MUJICA-SANCHEZ, A.; JACOBSEN, S. E.; IZQUIERDO, J.; MARATHEE, J. P. **Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)**: Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. Santiago: FAO, 2001.

NUNES, G. H. S.; REZENDE, G. D. S. P. M.; RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. S. Implicações da interação genótipos x ambientes na seleção de clones de eucalipto. **Cerne**, v. 8, n. 1, p. 49-58, 2002.

PRANCE, S. G.; NESBITT, M. **The cultural history of plant**. New York: Routledge, 2005.

RESENDE, M. D. V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007.

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. **Revista Innovar**, v. 15, n. 25, p. 103-119, 2005.

RISI, J.; GALWEY, N. W. The *Chenopodium* grains of the andes inca crops for modern agriculture. **Advances in Applied Biology**, v. 10, n. 1, p. 145-216, 1984.

ROCHA, J. E. S. **Controle genético de caracteres agrônomicos em quinua (*Chenopodium quinoa* Willd)**. 2011. 144 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

ROCHA, R. B.; MURO-ABAD, J. I.; ARAÚJO, E. F.; CRUZ, C. D. Avaliação do método centróide para estudo de adaptabilidade ao ambiente de clones de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 3, p. 255-266, 2005.

ROJAS, W. Multivariate analysis of genetic diversity of Bolivian quinoa germplasm. **Food Reviews International**, v. 19, n. 1-2, p. 9-23, 2003.

ROJAS, W.; PINTO, M. La diversidad genética de quinua de Bolivia. In: **Congreso Científico de la Quinoa**. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal. La Paz, 2013. p. 77-92.

SANTOS, R. L. B. **Estudos iniciais para o cultivo de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) nos Cerrados**. 1996. 128 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília, 1996.

SILVA, W. C. J. E.; DUARTE, J. B. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 1, p. 23-30, 2006.

SILVESTRI, V.; GIL, F. Alogamia en quinua. Tasa en Mendoza (Argentina). **Revista de la facultad de Ciencias Agrarias**, v. 32, n. 1, p. 71-76, 2000.

SPEHAR, C. R.; SANTOS, R. L. B. Quinoa BRS Piabiru: alternativa para diversificar os sistemas de produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 6, p. 889-893, 2002.

SPEHAR, C. R.; SANTOS, R. L. B.; CARVALHO, W. P.; ANDRADE, S. C. Agronomia. In: SPEHAR, C. R. (Eds.). **Quinoa: alternativa para diversificação agrícola e alimentar**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007, p. 47-53.

VASCONCELOS, E. S.; REIS, M. S.; CRUZ, C. D.; SEDIYAMA, T.; SCAPIM, C. A. Integrated method for adaptability and phenotypic stability analysis. **Revista Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 251-257, 2011.

VASCONCELOS, F. S. D.; VASCONCELOS, E. S. D.; BALAN, M. G.; SILVÉRIO, L. Desenvolvimento e produtividade de quinoa semeada em diferentes datas no período safrinha. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 3, p. 510-515, 2012.

WAHLI, C. Quínuas: hacia su cultivo comercial. Quito: Latinreco, 1990.

### **3 ARTIGO 1 - ANÁLISE DE GENÓTIPOS DE QUINOA PARA DESEMPENHO AGRONÔMICO E PRODUTIVO**

#### **ANALYSIS OF QUINOA GENOTYPES FOR AGRONOMIC AND PRODUCTIVE PERFORMANCE**

##### **RESUMO**

A cultura da quinoa vem sendo estudada no Brasil devido seu crescente consumo e valor nutricional. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho agronômico e produtivo de 16 genótipos de quinoa visando selecionar genótipos promissores para constituir uma cultivar adaptada ao cultivo na região Oeste do Paraná. O experimento foi conduzido em esquema de delineamento de blocos completos com tratamentos casualizados, em que as variáveis analisadas foram dias até a floração, altura na inflorescência, altura na floração, altura na colheita e rendimento de grãos. A análise de variância conjunta foi realizada com base nos sete ambientes e, constatada interação genótipos x ambientes procedeu-se com a análise de parâmetros genéticos e teste de médias de forma individual. Os genótipos Q2014 e Q1324 apresentaram potencial agronômico e produtivo para continuarem sendo avaliados, visando selecionar cultivares promissores para a região Oeste do Paraná.

Palavras-chave: *Chenopodium quinoa*. Parâmetros genéticos. Melhoramento de plantas.

##### **ABSTRACT**

Quinoa crop has been studied in Brazil due to its growing consumption and nutritional value. The objective of this work was to evaluate the agronomic and productive performance of 16 quinoa genotypes in western of Paraná in order to select promising genotypes to constitute a cultivar adapted to cultivation in the western region of Paraná. The experiment was carried out in a complete block design with randomized treatments, in which the analyzed variables were days until flowering, inflorescence height, flowering height, height at harvest and grain yield. The joint analysis of variance was performed on the basis of the seven environments, and genotypes x environments interaction was verified, proceeding with the analysis of genetic parameters and means testing individually. The Q2014 and Q1324 genotypes showed agronomic and productive potential to continue being evaluated, aiming to select promising cultivars for the Western Region of Paraná.

Keywords: *Chenopodium quinoa*. Genetic parameters. Plant breeding.

### 3.1 INTRODUÇÃO

A quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) está associada à antiga cultura dos Andes, sendo domesticada por povos indígenas muitos séculos antes da descoberta das Américas. Nos últimos anos, o grão tem sido utilizado em diversos segmentos como restaurantes, mercados, indústria entre outros, principalmente devido ao seu alto valor nutricional, substituindo outros grãos mais conhecidos como milho, trigo, feijão e arroz (FAO, 2019).

No Brasil, o cultivo da quinoa é recente e sua introdução ocorreu nos anos 1990 como parte de um esforço para diversificar o sistema de produção no Cerrado (SPEHAR; SANTOS, 2002). Desde a década de 1990, quando se iniciaram as pesquisas, até a atualidade, tem se observado aumento do consumo. A área cultivada, ainda que seja incipiente, tem potencial de crescer, uma vez que é necessário atender a demanda, suprida por produto importado. Preços atrativos fazem aumentar o interesse de produtores, pesquisadores e indústria em obter mais informações sobre a planta e seus benefícios.

Mesmo diante da importância crescente, o cultivo de quinoa ainda se restringe aos Andes. Peru e Bolívia são os maiores produtores, com 32,6 e 25,3 mil toneladas, seguidos pelo Equador, em bem menor escala (FAO, 2011). Outros países da América como EUA, Canadá e países europeus cultivam áreas pouco expressivas, não aparecendo nas estatísticas mundiais.

A busca por alimentos alternativos, como fonte de nutrientes específicos, torna-se cada vez mais importante no sentido de melhorar a nutrição humana (SPEHAR; SANTOS, 2002). A redescoberta desse grão se deu pelo seu impressionante valor nutricional, principalmente em países desenvolvidos. A procura fez surgir um mercado crescente e estimulou os países andinos, atualmente maiores produtores, a voltar-se ao mercado externo.

Entretanto, há necessidade de disponibilizar aos agricultores cultivares que apresentem mais adaptabilidade às condições do território brasileiro. Existem duas cultivares lançadas no Brasil, até o momento, a BRS Piabiru e a BRS Syetetuba, que apresentam as inconveniências de ter o número de dias da emergência a maturação muito prolongado.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho agrônomico e produtivo de 16 genótipos de quinoa visando selecionar genótipos promissores para constituir uma nova cultivar de quinoa, adaptada ao cultivo na região Oeste do Paraná.

### 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliados 16 genótipos de quinoa provenientes de diferentes populações adquiridas de viveiro credenciado que a cultivava com o intuito de produção ornamental. Esses genótipos foram avaliados em sete ambientes pertencentes à Universidade Estadual do Oeste do Paraná – *Campus* Marechal Cândido Rondon. As populações foram obtidas a partir do estado do Rio de Janeiro, as quais foram submetidas a cruzamentos para obtenção de diferentes cultivares. Foram avaliados os genótipos Q2014, Q1223, Q1301, Q1302, Q1303, Q1304, Q1306, Q1307, Q1310, Q1317, Q1318, Q1320, Q1321, Q1324, Q1331 e Seleção 1.

Os experimentos foram realizados na Estação Experimental “Professor Antônio Carlos dos Santos Pessoa” localizado nas coordenadas 24° 33’ 40” S e 54° 04’ 12” W, com altitude aproximada de 400 m, no município de Marechal Cândido Rondon (PR), onde o solo é caracterizado como LATOSSOLO VERMELHO Distroférico (LVdf), apresentando textura muito argilosa e possuindo boa capacidade de drenagem (SANTOS et al., 2013). O segundo local, a Estação Experimental “Professor Alcibiades Luiz Orlando”, no município de Entre Rios do Oeste- PR, localizado nas coordenadas 54°14’ Oeste e 24°43’ Sul, com altitude de 260 m, a qual possui solo caracterizado como LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico (LVef) (SANTOS et al., 2013).

Para ambas localidades, o clima, segundo Köppen, é classificado como mesotérmico, úmido, subtropical, com inverno seco e verões quentes, onde as temperaturas médias anuais variam de 17 a 19 °C e a precipitação total anual distribuídas, variando de 1200 a 2000 mm durante o ano (CAVIGLIONE et al., 2000). Sete experimentos foram semeados de acordo com a Tabela 1.

**Tabela 1.** Data de semeadura, local, quantidade de adubo e formulação na implantação dos experimentos de campo.

	Data da semeadura	Local	Quantidade de adubo (kg ha <sup>-1</sup> )	Formulação
Ambiente 1	23/09/2014	Entre Rios do Oeste	125	10-15-15
Ambiente 2	28/10/2014	Entre Rios do Oeste	125	10-15-15
Ambiente 3	23/09/2015	Mar. Când. Rondon	125	10-15-15
Ambiente 4	07/10/2015	Entre Rios do Oeste	250	02-20-20
Ambiente 5	07/10/2015	Entre Rios do Oeste	250	Húmus de mandioca
Ambiente 6	24/10/2016	Mar. Când. Rondon	300	10-15-15
Ambiente 7	12/09/2018	Mar. Când. Rondon	280	08-15-15

O delineamento experimental utilizado foi de blocos completos com tratamentos ao acaso (DBC), composto por 16 genótipos com 3 repetições. As parcelas foram constituídas por 4 linhas com 5 metros de comprimento, espaçadas 0,35 m entre si. Foi considerada como parcela útil, as duas linhas centrais, e foram desconsiderados 0,5 m em cada extremidade e as duas linhas laterais, totalizando 2,8 m<sup>2</sup> de área útil em cada parcela.

A semeadura foi realizada de forma manual, na profundidade de 1,8 cm da superfície do solo. O adubo foi aplicado de forma mecanizada, sendo que para todos os casos, foi disposto a 5cm abaixo das sementes. O controle de plantas daninhas foi realizado através de capina manual, sempre que necessário.

Foi considerado o número de dias para a floração, o momento que a parcela útil obteve 50% de plantas com pelo menos uma flor aberta na panícula. Na avaliação de altura de planta, realizada com régua graduada, foram amostradas 10 plantas aleatoriamente na área útil da parcela, considerando a altura da base da planta no solo até o final da panícula.

A colheita, foi realizada de forma manual, de acordo com a maturidade fisiológica de cada material. Os grãos foram trilhados, limpos e pesados para determinação de produtividade, sendo a umidade dos grãos corrigida para 14%.

Os valores dos erros de cada parcela foram submetidos aos testes de normalidade de Shapiro-Wilk e de homocedasticidade pelo teste de Bartlett. Verificados esses pressupostos, em seguida foi realizada análise de variância individual. As variâncias residuais dos sete ambientes foram submetidas ao teste de Hartley a 5% e, uma vez constatada homocedasticidade, foi

realizada a análise de variância conjunta e de parâmetros genéticos segundo o delineamento. Foi utilizado o software estatístico Genes (CRUZ, 2013) para auxiliar na análise dos dados.

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado da análise conjunta de variância está apresentado na Tabela 2. Detectaram-se efeitos significativos ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F, para ambientes e a interação genótipos  $\times$  ambientes, para todas as características avaliadas e entre genótipos para altura colheita e altura inflorescência. O principal foco deste estudo dá-se no efeito significativo da interação genótipos  $\times$  ambientes, o que evidencia diferenças marcantes entre genótipos e ambientes, bem como a existência de diferenças genéticas entre os genótipos quanto à resposta dessas variações ambientais. O teste F significativo para a interação genótipos  $\times$  ambientes, indica que o grupo de genótipos apresentou comportamento diferenciado em, pelo menos, um dos ambientes avaliados.

O coeficiente de variação (CV) varia de 3,38% a 11,65% (Tabela 2), indicando bom controle das causas de variação de ordem sistemática dos ambientes experimentais, para as variáveis estudadas. O coeficiente de variação obtido neste trabalho indica boa precisão experimental.

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância conjunta referente às características dias até a floração, altura na inflorescência, altura na floração, altura na colheita e rendimento de grãos em 7 ambientes de estudo.

FV	GL	Quadrado Médio				
		Dias até a floração	Altura na inflorescência	Altura na floração	Altura na colheita	Rendimento de grãos
Blocos/Amb	14	2,241	124,0323	107,4916	52,7835	16383,57
Blocos	2	5,3601	130,3902	73,3262	37,7502	2293,253
Tratamentos	15	21,5301	623,5574 *	477,6500	478,319 *	240484,6
Ambientes	6	955,9563 **	7452,0265 **	14390,8626 **	15984,1586 **	10500117 **
Trat x Amb	90	28,7021 **	287,5691 **	580,1435 **	260,4105 **	231114 **
Resíduo	210	2,9735	38,1945	73,7451	75,1605	11774,93
Total	335	7953	89704	134095	143035	90110399
Média geral		50,809	58,495	73,6563	133,3375	1311,057
CV (%)		3,389	10,5652	11,6588	6,5019	8,2767

Observa-se, também, que a utilização do delineamento experimental em blocos completos com tratamentos casualizados foi eficaz, considerando os resultados obtidos para as características avaliadas. Sempre que não houver homogeneidade das condições experimentais, deve-se utilizar o princípio do controle local, o qual permite estabelecer subambientes

homogêneos e instalar em cada um destes todos os genótipos igualmente repetidos (CRUZ, REGAZZI e CARNEIRO 2012).

Nas Tabelas 3, 5, 7, 9 e 11 estão apresentadas, as estimativas de variância fenotípica ( $\sigma^2_F$ ) variância ambiental ( $\sigma^2_A$ ), variância genética ( $\sigma^2_G$ ), herdabilidade ( $h_a^2$ ), coeficiente de variação genética (CVg) para as características dias até a floração, altura na inflorescência, altura na floração, altura na colheita e rendimento de grãos.

A manifestação fenotípica é o resultado da ação do genótipo sob a influência do meio que é desenvolvido (HALLAUER; CARENA; MIRANDA FILHO, 2010). Portanto, quando consideramos uma série de ambientes, observa-se, além dos efeitos genéticos dos materiais em estudo e dos efeitos ambientais, um efeito adicional, que é a interação destes. Esta interação torna-se de fundamental importância, pois, quando significativa, existe a possibilidade de um genótipo de desempenho excelente em um determinado ambiente não o ser em outro e, conseqüentemente, influenciar na recomendação de cultivares de ampla adaptabilidade.

Em relação à variável dias até a floração, a maior variância genética ocorreu quando os genótipos foram avaliados no ambiente 6 (Tabela 3). Este, portanto, foi o ambiente que promoveu a maior liberação de variabilidade genética nos genótipos avaliados, superando em, aproximadamente, dez vezes a variância genética observada nos demais. Pode-se verificar ainda que a variância ambiental deste ambiente foi baixa, podendo ser um indicativo de que a variabilidade observada é proveniente dos genótipos avaliados. Desta forma pode-se afirmar que o ambiente 6 é o mais recomendado para avaliação da característica dias até a floração.

**Tabela 3.** Estimativas dos componentes da variância, parâmetros genéticos da análise individual das características dias até a floração de 16 genótipos de quinoa avaliados em sete ambientes.

Parâmetros genéticos	Dias até a floração						
	Ambiente 1	Ambiente 2	Ambiente 3	Ambiente 4	Ambiente 5	Ambiente 6	Ambiente 7
$\sigma^2_F$	2,5551	1,4500	1,9995	3,0222	1,9481	29,9329	0,0736
$\sigma^2_A$	1,0718	0,8403	0,1940	0,1125	1,3481	0,1537	0,0792
$\sigma^2_G$	1,4833	0,6097	1,8056	2,9097	0,6000	29,7792	0,0054
$h_a^2$	58,0540	42,0498	90,2987	96,2776	30,7985	99,4865	5,3660
CVg	2,1612	1,5709	2,7693	3,4002	1,3936	12,5992	0,6589

No primeiro ambiente, as médias foram agrupadas em três grupos distintos pelo teste Scott-Knott (a, b, c), ao passo que, no segundo, terceiro, quarto e quinto ambiente, o mesmo teste agrupou as médias em dois grupos distintos (a, b). No sexto ambiente houve o



agrupamento em quatro grupos (a, b, c, d) e no sétimo as médias não diferiram entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Em relação ao ambiente 6 ter proporcionado maior número de grupos pode-se reafirmar a maior variação genética ocorrida nesse ambiente reafirmando os resultados obtidos na Tabela 3. O mesmo acontece com o ambiente 7, o qual expressou a menor variabilidade genética e conseqüentemente não houve diferença entre as médias dos genótipos avaliados para a característica dias até a floração.

O ambiente 1 foi o responsável por apresentar os genótipos com as maiores médias podendo-se destacar o genótipo 5, o qual além de estar presente no grupo que apresentaram as maiores médias no ambiente 1 também esteve presente no grupo superior em todos os demais ambientes. Se o objetivo for identificar genótipos de ciclo tardio o genótipo 5 pode ser selecionado para possíveis cruzamentos futuros como genitor doador de alelos favoráveis a ciclo tardio. Caso o intuito seja identificar genótipos de ciclo precoce pode-se destacar o genótipo 13 pelas menores médias considerando o conjunto de ambientes (Tabela 4).

Os valores obtidos neste trabalho foram inferiores (maior precocidade) aos apresentados por Vasconcelos et al. (2012), em experimento avaliando a cultivar BRS Piabiru no período safrinha em Campo Mourão (PR), os quais observaram valores para a floração entre 70,5 à 90,75 dias após a semeadura.

**Tabela 4.** Médias da característica dias até a floração de 16 genótipos de quinoa avaliados em sete ambientes.

Gen	Dias até a floração													
	Ambiente 1		Ambiente 2		Ambiente 3		Ambiente 4		Ambiente 5		Ambiente 6		Ambiente 7	
2014	56,33	b A	49,67	a C	47,33	b D	52,00	a B	54,67	b A	51,33	a B	52,33	a B
Q1223	54,00	c A	48,67	b B	46,33	b C	50,33	a B	53,67	b A	39,33	d D	52,33	a A
Q1301	56,00	b A	50,00	a C	48,67	b C	52,67	a B	57,00	a A	39,67	d D	53,00	a B
Q1302	58,67	a A	49,00	b D	48,00	b D	51,67	a C	55,67	b B	39,33	d E	52,67	a C
Q1303	58,67	a A	50,67	a C	50,33	a C	51,67	a B	56,67	a A	53,00	a B	52,67	a B
Q1304	56,67	b A	50,67	a B	49,33	a C	49,00	b C	54,67	b A	40,00	d D	52,33	a B
Q1306	56,67	b A	48,00	b C	47,00	b C	47,33	b C	54,67	b A	49,33	b C	52,33	a B
Q1307	54,67	c B	50,33	a D	48,67	b D	48,67	b D	57,67	a A	51,67	a C	52,67	a C
Q1310	54,33	c A	50,33	a B	49,33	a B	50,33	a B	55,00	b A	41,00	c C	52,67	a A
Q1317	56,67	b A	49,00	b C	47,00	b D	50,33	a C	54,67	b A	39,33	d E	52,33	a B
Q1318	55,33	c B	49,67	a D	48,33	b D	50,67	a C	57,67	a A	39,00	d E	52,33	a C
Q1320	56,33	b A	49,33	b C	47,67	b C	47,33	b C	56,67	a A	39,33	d D	52,33	a B
Q1321	55,67	b A	47,00	b D	47,00	b D	48,67	b C	53,00	b B	49,67	b C	52,67	a B
Q1324	57,00	b A	52,00	a B	50,33	a B	52,00	a B	57,00	a A	42,33	c C	52,67	a B
Q1331	59,67	a A	50,67	a C	50,33	a C	48,33	b D	55,33	b B	39,67	d E	52,00	a C
SEL.1	55,00	c A	50,33	a C	50,67	a C	51,67	a C	55,33	b A	39,00	d D	53,00	a B

Médias com a mesma letra minúscula na coluna ou maiúscula na linha, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Para a variável altura na inflorescência, a maior variância genética ocorreu quando os genótipos foram avaliados no ambiente 2 (Tabela 5). Este ambiente promoveu a maior liberação de variabilidade genética nos genótipos avaliados, superando em, aproximadamente, cinco vezes a variância genética observada no ambiente classificado em segunda colocação. Pode-se verificar ainda que a variância ambiental foi a segunda menor dentre os ambientes em estudo, indicando que a variabilidade observada é na maior parte, proveniente dos genótipos avaliados e não do efeito ambiental. Desta forma, pode-se afirmar que o ambiente 2 é o mais recomendado para avaliação da característica altura na inflorescência.

**Tabela 5.** Estimativas dos componentes da variância, parâmetros genéticos da análise individual da característica altura na inflorescência de 16 genótipos de quinoa avaliados em sete ambientes.

Altura na inflorescência							
Parâmetros genéticos	Ambiente 1	Ambiente 2	Ambiente 3	Ambiente 4	Ambiente 5	Ambiente 6	Ambiente 7
$\sigma^2_F$	44,9907	463,7207	27,7890	47,2768	37,2995	87,8403	74,0736
$\sigma^2_A$	15,7352	9,9122	13,9247	13,5657	15,1162	6,6278	14,2389
$\sigma^2_G$	29,2556	453,8085	13,8643	33,7111	22,1833	81,2125	59,8347
$h_a^2$	65,0257	97,8625	49,8913	71,3058	59,4735	92,4547	80,7774
CVg	6,5529	33,6293	7,8425	11,9521	7,8635	18,7173	13,0050

Para altura na inflorescência o ambiente 6 novamente proporcionou o maior número de grupos distintos pelo teste Scott-Knott (a, b, c, d). Nos ambientes 1, 3 e 5 observou-se apenas dois grupos de médias corroborando com as estimativas dos parâmetros genéticos observados na Tabela 5.

O ambiente 1 foi o responsável por apresentar os genótipos com as maiores médias podendo-se destacar o genótipo Q1331 por estar presente no grupo que apresentaram as maiores médias no ambiente 1 e também no grupo superior da maioria dos demais ambientes. Como na maioria dos casos busca-se genótipos de quinoa com maior porte recomenda-se o genótipo Q1331 para possíveis cruzamentos futuros como genitor doador de alelos favoráveis a aumento da altura na inflorescência. Pode-se citar ainda o genótipo Q1321 pelas menores médias considerando o conjunto de ambientes (Tabela 6).

**Tabela 6.** Médias da característica altura na inflorescência de 16 genótipos de quinoa avaliados em sete ambientes.

Gen	Altura na inflorescência													
	Ambiente 1		Ambiente 2		Ambiente 3		Ambiente 4		Ambiente 5		Ambiente 6		Ambiente 7	
2014	85,67	a A	36,87	d C	51,47	a B	46,73	c C	58,67	b B	53,44	b B	44,33	c C
Q1223	73,67	b A	38,00	d C	54,60	a C	47,87	c C	62,33	a B	46,82	c C	46,33	c C
Q1301	82,33	b A	42,23	d C	40,33	b C	50,63	b B	53,00	b B	36,82	d C	75,33	a A
Q1302	80,33	b A	82,40	b A	54,60	a B	50,50	b B	73,33	a A	46,23	c B	52,67	b B
Q1303	83,33	b A	91,83	a A	54,80	a C	52,27	b C	62,00	a B	68,90	a B	52,00	b C
Q1304	95,00	a A	78,13	b B	40,73	b D	58,97	a C	56,33	b C	46,74	c D	57,67	b C
Q1306	74,67	b A	57,50	c B	43,20	b C	47,40	c C	60,00	b B	56,28	b B	67,67	a A
Q1307	88,67	a A	47,60	c C	48,40	a C	51,02	b C	60,33	b C	54,39	b C	70,67	a B
Q1310	94,33	a A	88,93	a A	51,88	a C	42,80	c C	59,67	b B	47,34	c C	58,00	b B
Q1317	86,67	a A	73,27	b B	49,70	a C	39,13	c D	65,67	a B	42,56	c D	54,33	b C
Q1318	78,33	b A	79,33	b A	41,73	b D	42,67	c D	51,67	b C	38,85	d D	60,67	b B
Q1320	79,67	b A	36,70	d E	42,67	b D	45,57	c D	54,67	b C	32,14	d E	64,33	a B
Q1321	79,33	b A	54,67	c C	43,73	b D	43,60	c D	57,67	b C	56,25	b C	64,67	a B
Q1324	71,33	b B	80,33	b A	46,53	b D	54,23	b C	68,33	a B	45,74	c D	59,33	b C
Q1331	85,33	a A	89,40	a A	51,80	a C	64,63	a B	64,00	a B	58,18	b C	67,67	a B
SEL,1	82,00	b A	36,33	d C	43,47	b C	39,23	c C	50,67	b B	39,68	d C	56,00	b B

Médias com a mesma letra minúscula na coluna ou maiúscula na linha pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade,

Aa variações na altura da quinoa são atribuídas em maior parte às condições ambientais e ao genótipo utilizado, podendo ser de 0,2 à 3,0 m de altura (MUJICA-SANCHEZ et al., 2001). Delgado; Palacios e Betancourt (2009), em genótipos avaliados na sua pesquisa, encontrou altura de plantas variando de 1,11 a 1,76 m. As linhagens BRS Syetetuba e BRS Piabiru, recomendadas para a região do cerrado atingem alturas medianas de 1,80 e 1,90 metros, respectivamente. Com o intuito de tornar a cultura mecanizada buscou-se então genótipos com maior altura (SPEHAR; SANTOS, 2002; SPEHAR et al., 2011).

Considerando a característica altura na floração pode-se observar que o ambiente 6 foi, nesse caso, o que promoveu a maior expressão da variabilidade genética (Tabela 7). Este ambiente apresentou ainda elevados valores de herdabilidade e baixos valores para variância ambiental de forma que o observado nas médias pode-se ser atribuído ao mérito da variabilidade genética dos genótipos.

**Tabela 7.** Estimativas dos componentes da variância, parâmetros genéticos da análise individual da característica altura na floração de 16 genótipos de quinoa avaliados em sete ambientes.

Parâmetros genéticos	Altura na floração						
	Ambiente 1	Ambiente 2	Ambiente 3	Ambiente 4	Ambiente 5	Ambiente 6	Ambiente 7
$\sigma^2_F$	264,6727	35,0255	7,3003	28,2351	69,5105	411,4181	26,3351
$\sigma^2_A$	39,2058	21,0171	4,6964	0,3294	11,4546	10,1111	5,7767
$\sigma^2_G$	225,4669	14,0083	2,6039	27,9057	58,0560	401,3071	20,5583
$h_a^2$	85,1871	39,9947	35,6687	98,8332	83,5211	97,5424	78,0645
CVg	15,6981	3,9650	1,9657	8,7162	14,9426	29,3729	7,1228

O genótipo Q1223 foi o que apresentou as maiores médias considerando a maioria dos ambientes. Já o genótipo Q1302 foi no geral o qual apresentou as menores médias para a característica altura na floração.

Apesar de tratar-se de uma avaliação sequencial em relação a característica anterior pode-se verificar uma mudança brusca na expressão da variabilidade genética. Outros autores observaram resultados semelhantes uma vez que o período de floração é tratado como um período crítico e de severas mudanças fisiológicas e químicas sendo totalmente responsivas as influencias ambientais, o que pode explicar a mudança na expressão da variabilidade existente de um ambiente para outro em um curto período de tempo (MUJICA-SANCHEZ et al., 2001; SPEHAR; SANTOS, 2002; SANTOS et al., 2013).

Considerando as médias de altura das plantas na floração, pode-se verificar que o ambiente 1 foi o que proporcionou o maior incremento nas mesmas, apesar de ser observado a formação de três grupos pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade (Tabela 8). O ambiente 3 não promoveu a formação de diferentes grupos uma vez que o ambiente não permitiu a expressão da variabilidade corroborando com a Tabela 7 em que pode ser visualizado a menor variância genética nesse ambiente.

**Tabela 8.** Médias da característica altura na floração de 16 genótipos de quinoa avaliados em sete ambientes.

Gen	Altura na floração													
	Ambiente 1		Ambiente 2		Ambiente 3		Ambiente 4		Ambiente 5		Ambiente 6		Ambiente 7	
2014	113,67	a A	92,33	b B	85,67	a B	57,80	b D	48,80	c D	96,03	a B	69,33	a C
Q1223	101,73	a A	100,00	a A	86,87	a B	54,50	b C	61,15	a C	48,83	c C	58,33	b C
Q1301	104,00	a A	96,67	a A	82,27	a B	63,43	a C	60,94	a C	67,70	b C	66,00	a C
Q1302	94,13	b A	89,00	b A	81,67	a A	69,53	a B	46,91	c C	48,13	c C	63,67	b B
Q1303	71,07	c C	100,67	a A	81,47	a B	65,67	a C	52,83	b D	100,70	a A	62,67	b C
Q1304	79,93	c B	102,67	a A	83,75	a B	58,43	b D	39,15	c E	51,72	c D	69,67	a C
Q1306	107,65	a A	89,67	b B	83,13	a B	61,47	a C	46,60	c D	91,65	a B	69,67	a C
Q1307	97,87	b A	93,67	b A	83,07	a B	64,50	a C	43,78	c D	93,98	a A	58,67	b C
Q1310	87,80	b A	88,33	b A	79,73	a A	58,43	b B	46,26	c C	49,13	c C	66,00	a B
Q1317	108,47	a A	99,00	a A	83,53	a B	60,10	b C	51,92	b C	52,30	c C	59,67	b C
Q1318	97,27	b A	95,67	a A	82,00	a B	62,33	a C	54,84	b D	51,23	c D	66,67	a C
Q1320	104,67	a A	99,00	a A	82,20	a B	68,20	a C	54,87	b C	60,50	b C	58,67	b C
Q1321	107,65	a A	101,33	a A	84,07	a B	59,17	b D	70,58	a C	95,48	a A	60,67	b D
Q1324	102,27	a A	81,67	b B	80,20	a B	50,60	b C	39,77	c D	70,63	b B	73,33	a B
Q1331	71,87	c D	89,67	b A	76,87	a B	63,27	a C	44,79	c D	70,70	b B	59,00	b C
SEL.1	101,40	a A	91,00	b B	76,98	a C	52,27	b D	52,67	b D	52,50	c D	56,50	b D

Médias com a mesma letra minúscula na coluna ou maiúscula na linha pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Para altura na colheita (Tabela 9) o ambiente 6 novamente demonstrou a alta variabilidade existente entre os genótipos corroborando com os resultados anteriores e reafirmando a tese de que a altura na floração pode sofrer grande influência ambiental, de modo a alterar expressivamente as características agrônômicas. Este fato justifica a avaliação da característica altura de planta em diferentes estádios da cultura uma vez que é uma das características que ainda requer muita atenção no processo de melhoramento visando a produção em grande escala, pois até o momento uma grande desuniformidade na altura da planta ainda é observada (DELGADO; PALACIOS; BETANCOURT, 2009; SPEHAR et al., 2011.; VASCONCELOS et al., 2012).

**Tabela 9.** Estimativas dos componentes da variância, parâmetros genéticos da análise individual da característica altura na colheita de 16 genótipos de quinoa avaliados em sete ambientes.

Parâmetros genéticos	Altura na colheita						
	Ambiente 1	Ambiente 2	Ambiente 3	Ambiente 4	Ambiente 5	Ambiente 6	Ambiente 7
$\sigma^2_F$	56,8588	156,0016	35,5253	103,8747	77,7551	224,7609	25,3888
$\sigma^2_A$	24,8227	17,8793	9,5296	61,7199	24,8648	9,1216	27,4367
$\sigma^2_G$	32,0361	138,1223	25,9956	42,1548	52,8903	215,6393	2,0479
$h_a^2$	56,3433	88,5390	73,1750	40,5823	68,0216	95,9416	35,6354
CVg	4,0775	8,4643	3,7957	5,5617	7,1519	9,6384	3,5647

De acordo com a Tabela 10 as maiores médias foram observadas no ambiente 6 e as menores no ambiente 2 os quais tiveram seus genótipos classificados em três grupos (a, b, c). O genótipo Q1324, com exceção do ambiente 2, apresentou as maiores médias para altura de plantas na colheita compondo os grupos superiores. Em contrapartida o genótipo Q1321 no geral apresentou as menores médias (Tabela 10).

**Tabela 10.** Médias da característica altura na colheita de 16 genótipos de quinoa avaliados em sete ambientes.

Gen	Altura na colheita						
	Ambiente 1	Ambiente 2	Ambiente 3	Ambiente 4	Ambiente 5	Ambiente 6	Ambiente 7
2014	144,6 a A	130,0 c A	136,4 a A	111,6 b B	109,3 a B	136,3 b A	139,3 a A
Q1223	143,0 a C	141,2 c C	137,4 a C	115,0 b D	121,6 a D	169,9 a A	154,6 a B
Q1301	142,6 a B	135,3 c C	131,4 a C	114,4 b D	112,0 a D	164,2 a A	150,3 a B
Q1302	149,6 a A	144,5 b A	133,5 a B	113,6 b C	91,0 b D	151,3 a A	152,6 a A
Q1303	131,3 b B	154,2 b A	144,4 a A	119,8 a B	100,3 b C	152,6 a A	154,0 a A
Q1304	136,0 b C	152,0 b B	139,4 a C	120,5 a D	100,0 b E	166,3 a A	151,6 a B
Q1306	135,0 b A	123,6 c B	123,8 a B	137,7 a A	96,3 b C	124,4 c B	145,3 a A
Q1307	135,3 b B	131,1 c B	135,0 a B	122,8 a C	109,0 a C	134,7 b B	151,3 a A
Q1310	130,6 b B	151,2 b A	134,5 a B	108,1 b C	102,6 b C	163,5 a A	150,0 a A
Q1317	133,3 b B	124,5 c B	127,2 a B	108,8 b C	97,3 b C	162,7 a A	155,3 a A
Q1318	144,3 a B	132,7 c B	134,0 a B	110,1 b C	92,6 b D	162,1 a A	144,3 a B
Q1320	144,6 a B	135,6 c B	133,4 a B	100,6 b C	97,3 b C	143,8 b B	157,3 a A
Q1321	135,0 b B	128,6 c B	122,3 a B	102,5 b C	100,6 b C	125,3 c B	152,0 a A
Q1324	152,3 a A	131,7 c B	137,0 a B	122,5 a B	108,3 a C	165,9 a A	154,6 a A
Q1331	124,0 b C	169,4 a A	142,1 a B	127,1 a C	102,0 b D	160,1 a A	153,5 a B
SEL.1	139,0 b B	135,2 c B	136,8 a B	132,0 a B	86,3 b C	153,9 a A	143,0 a B

Médias com a mesma letra minúscula na coluna ou maiúscula na linha pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Em relação à variável rendimento de grãos, a maior variância genética ocorreu quando os genótipos foram avaliados no ambiente 1 (Tabela 11). Este, portanto, foi o ambiente que

promoveu a maior liberação de variabilidade genética nos genótipos avaliados. É possível verificar ainda que a variância ambiental foi uma das menores dentre os ambientes em estudo indicando que a variabilidade observada é proveniente dos genótipos avaliados. Desta forma, pode-se afirmar que o ambiente 1 é o mais recomendado para avaliação e seleção de genótipos para a característica rendimento de grãos.

**Tabela 11.** Estimativas dos componentes da variância, parâmetros genéticos da análise individual da característica rendimento de grãos de 16 genótipos de quinoa avaliados em sete ambientes.

Parâmetros genéticos	Rendimento de grãos						
	Ambiente 1	Ambiente 2	Ambiente 3	Ambiente 4	Ambiente 5	Ambiente 6	Ambiente 7
$\sigma^2_F$	124683,23	115131,88	24611,14	67960,86	93699,38	30379,39	85925,04
$\sigma^2_A$	5673,02	5422,22	1366,24	3291,08	4864,75	4758,89	2098,64
$\sigma^2_G$	119010,21	109709,67	23244,91	64669,78	88834,63	25620,50	83826,40
$h_a^2$	95,4501	95,2904	94,4487	95,1574	94,8081	84,3351	97,5576
CVg	21,5850	15,8153	25,9806	20,6936	29,0457	11,7217	22,6651

Nos ambientes 1 e 4, as médias foram agrupadas em seis grupos distintos pelo teste Scott-Knott (a, b, c, d, e, f), de forma que, nos ambientes 2 e 7, o mesmo teste agrupou as médias em cinco grupos distintos (a, b, c, d, e). Nos ambientes 3 e 5 formaram-se quatro grupos e no ambiente 6 apenas dois grupos (Tabela 12).

Os ambientes 1 e 6 foram responsáveis por apresentarem os genótipos com as maiores médias podendo-se destacar o genótipo 2014 o qual, além de estar presente no grupo que apresentaram as maiores médias no ambiente 1, também esteve presente no grupo superior na maioria dos demais ambientes. Se o objetivo for identificar genótipos de maior rendimento de grãos o genótipo 2014 pode ser selecionado para possíveis cruzamentos futuros como genitor doador de alelos favoráveis (Tabela 12).

O rendimento médio de grãos normalmente observado para a cultura da quinoa está entre 700 kg ha<sup>-1</sup> e 1000 kg ha<sup>-1</sup> nas principais regiões de cultivo (GEERTS et al., 2008). Por outro lado, em alguns ambientes seu cultivo pode atingir rendimentos superiores a 3500 kg ha<sup>-1</sup> (KAUL; KRUS; AUFHAMMER, 2005). Os melhores genótipos avaliados neste experimento apresentaram valores superiores à média da cultura o que evidencia potencial para seguirem no processo de melhoramento.



**Tabela 12.** Médias da característica rendimento de grãos de 16 genótipos de quinoa avaliados em sete ambientes.

Gen	Rendimento de grãos													
	Ambiente 1		Ambiente 2		Ambiente 3		Ambiente 4		Ambiente 5		Ambiente 6		Ambiente 7	
2014	2212	a A	2355	b A	692	b E	1606	a B	1456	a D	1315	b C	979	e D
Q1223	1535	d C	2340	b A	689	b D	1388	b C	709	d D	1715	a B	795	e D
Q1301	1574	d B	1981	d A	276	d E	1452	b B	788	c D	1332	b C	1221	d C
Q1302	1175	e D	1933	d A	597	b E	698	f E	1084	b D	1571	a B	1393	c C
Q1303	1029	f C	1587	e A	710	b D	1301	c B	1218	b B	1173	b B	968	e C
Q1304	1486	d B	2398	b A	937	a D	1227	c C	966	c D	1197	b C	1231	d C
Q1306	1953	b A	2096	c A	606	b D	1728	a B	1110	b C	1250	b C	1242	d C
Q1307	1270	e B	2167	c A	460	c D	1172	d B	982	c C	1158	b B	1105	d B
Q1310	1766	c C	2270	b A	624	b G	939	e F	1501	a D	1260	b E	1951	a B
Q1317	1238	e C	2718	a A	578	b F	1013	e D	834	c E	1531	a B	1278	d C
Q1318	1651	c A	1601	e A	560	b C	1270	c B	611	d C	1508	a A	1397	c B
Q1320	1597	d B	2284	b A	585	b D	1403	b B	884	c C	1519	a B	1515	c B
Q1321	1739	c B	2460	b A	620	b E	955	e D	486	d E	1218	b C	1281	d C
Q1324	2334	a A	1847	d B	582	b E	1175	d D	1436	a C	1176	b D	1702	b B
Q1331	1516	d A	1574	e A	281	d C	1248	c B	1510	a A	1523	a A	1410	c A
SEL.1	1491	d B	1894	d A	586	b E	1082	d D	1239	b C	1397	a B	963	e D

Médias com a mesma letra minúscula na coluna ou maiúscula na linha pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

### 3.4 CONCLUSÕES

Os genótipos 2014 e Q1324 apresentaram potencial agrônômico e produtivo para continuarem sendo avaliados, visando selecionar cultivares promissores para a região Oeste do Paraná.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMOR, P. H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**, Londrina: IAPAR, 2000.

CRUZ, C. D. Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2012.

DELGADO, A. I.; PALACIOS, J. H.; BETANCOURT, C. Evaluación de 16 genotipos de quinua dulce (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el municipio de Iles, Nariño (Colombia). **Agronomía Colombiana**, v. 27, n. 2, p. 159-167, 2009.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Faostat**, 2019. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 24 mar. 2020.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **La quinua, cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial**, 2011. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/aq287s/aq287s.pdf>>. Acesso em: 28 mar. 2020.

GEERTS, S.; GARCIA, M.; CUSICANQUI, J.; TABOADA, C.; MIRANDA, R.; YUCRA, E.; RAES, D. **Revisión Bibliográfica de los últimos avances en el conocimiento de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.)**. Consejo Interuniversitario Flamenco, La Paz, Bolívia, 2008.

HALLAUER, A. R.; CARENA, J. M.; MIRANDA FILHO, J. B. **Quantitative genetics in maize breeding**. New York: Springer, 2010.

KAUL, H. P.; KRUSE, M.; AUFHAMMER, W. Yield and nitrogen utilization efficiency of the pseudocereals amaranth, quinoa, and buckwheat under differing nitrogen fertilization. **European Journal of Agronomy**, v. 22, n. 1, p. 95-100, 2005.

MUJICA-SANCHEZ, A.; JACOBSEN, S. E.; IZQUIERDO, J.; MARATHEE, J. P. **Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.)**: Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. Santiago: FAO, 2001.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FULHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013.

SPEHAR, C. R.; ROCHA, J. E. S.; SANTOS, R. L. B. Desempenho agronomico e recomendações para cultivo de quinoa (BRS Syetetuba) no cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 1, 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, n. 6, p. 889-893, 2002.

VASCONCELOS, F. S. D.; VASCONCELOS, E. S. D.; BALAN, M. G.; SILVÉRIO, L. Desenvolvimento e produtividade de quinoa semeada em diferentes datas no período safrinha. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 3, p. 510-515, 2012.

## 4 ARTIGO 2 - ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE PRODUTIVA DE GENÓTIPOS DE QUINOA

### ADAPTABILITY AND PRODUCTIVE STABILITY OF QUINOA GENOTYPES

#### RESUMO

A cultura da quinoa vem ganhando ênfase no Brasil devido a seu crescente consumo e valor nutricional, entretanto, ainda são poucos os estudos destinados a esta cultura principalmente em relação a adaptabilidade e estabilidade considerando o rendimento de grãos. O objetivo do trabalho foi identificar por meio de diferentes métodos os genótipos com melhor estabilidade e adaptabilidade produtiva em diferentes ambientes. Os genótipos foram avaliados em esquema de delineamento de blocos completos com tratamentos casualizados, em sete ambientes. A característica quantificada para a análise foi o rendimento de grãos. Após a verificação dos pressupostos, a análise conjunta de variância foi realizada com base nos sete ambientes. A avaliação de adaptabilidade e estabilidade foi realizada seguindo as metodologias: Yates e Cochran; Eberhart e Russell; Cruz, Torres e Vencovsky e o método Integrado direcionado para adaptabilidade e estabilidade. Os genótipos Q2014, Q1304, Q1307 e Q1320 podem ser considerados como possíveis candidatos a constituírem uma nova variedade de quinoa, devido ao seu bom desempenho e boa adaptação às condições ambientais em que foram avaliados.

Palavras-chave: *Chenopodium quinoa*. Rendimento de grãos. Interação genótipos x ambientes.

#### ABSTRACT

The quinoa crop has been gaining emphasis in Brazil due to its growing consumption and nutritional value, however, there are few studies aimed at this crop, especially when it comes to adaptability and stability considering the grain yield. The objective of this work was to identify, through different methods, the genotypes with better stability and productive adaptability in different environments. The genotypes were evaluated in a complete block design with randomized treatments, evaluated in seven environments. The characteristic quantified for the analysis was grain yield. After checking the assumptions, the joint analysis of variance was performed based on the seven environments. The adaptability and stability assessment was carried out following the methodologies: Yates e Cochran; Eberhart and Russell; Cruz, Torres and Vencovsky and the Integrated method aimed at adaptability and stability. Genotypes Q2014, Q1304, Q1307 and Q1320 can be considered as possible

candidates to constitute a new variety of quinoa, due to their good performance and good adaptation to the environmental conditions in which they were evaluated.

Keywords: *Chenopodium quinoa*. Grain yield. Genotype x environment interaction.

#### 4.1 INTRODUÇÃO

A quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) é uma planta com centro de origem na região Andina, em que os povos que habitavam essa região, cultivavam o grão desde o nível do mar até 4.000 metros de altitude. Registros datam o seu cultivo há cerca de 7.000 anos, o qual constituía a base da alimentação desses povos (MUJICA; ORTIZ; JACOBSEN, 2000). Desde a última década, o grão tem despertado interesse para a utilização em diversos segmentos como restaurantes, mercados e indústria devido ao seu alto valor nutricional, substituindo outros grãos mais conhecidos como milho, trigo, feijão e arroz (FAO, 2011).

Segundo a FAO (2019), mesmo com a crescente demanda pelo grão, a produção mundial de quinoa concentra-se em três países, Bolívia, Peru e Equador numa área aproximada de 173.242 hectares, em que o principal produtor é o Peru, responsável por produzir 78.657 toneladas na safra 2017. Existem cultivos em países na Europa, Índia, Quênia, porém, a área cultivada não chega a ser significativa ao passo de serem contabilizadas em estatísticas globais. Os Estados Unidos são o maior importador de quinoa a nível mundial (AGRODATA, 2017).

O cultivo de quinoa no Brasil ainda é pouco estudado. A entidade pioneira a pesquisar e a introduzir a primeira cultivar como cultivo granífero, denominada BRS Piabiru, foi a Embrapa em parceria com a Universidade de Brasília nos anos de 1990, sendo uma opção de rotação de culturas e aumento de biomassa para conservação do solo na região do Cerrado (SPEHAR et al., 2007).

Por ser uma cultura introduzida no Brasil somente na década de 90 no Brasil, existem poucas cultivares adaptadas para cada região. Com a crescente demanda pelo grão, e o surgimento de um nicho específico de mercado, houve um aumento da necessidade de disponibilizar aos agricultores novas cultivares adaptados, os quais além do valor agregado do produto, podem servir como uma alternativa de rotação de cultura no período de safrinha ou até mesmo as plantas serem utilizadas como alimentação animal. No sistema lavoura-pecuária, também é possível a implantação, uma vez que a produtividade de quinoa pode atingir o patamar de 3000 kg ha<sup>-1</sup> de grãos e rendimento de 2800 a 6600 kg ha<sup>-1</sup> de biomassa (SPEHAR; SANTOS, 2002).

Segundo Cruz, Regazzi e Carneiro (2012), atualmente existem dezenas de metodologias aplicadas à análise de adaptabilidade e estabilidade, sendo todas elas fundamentadas na existência de interações. Porém, a escolha de cada metodologia depende dos dados experimentais, da precisão requerida e do tipo de informação desejada. Para a cultura da quinoa os métodos ainda não estão contemplados na literatura para adaptabilidade e estabilidade, o que pode ser uma informação muito valiosa para os programas de melhoramento.

O objetivo do trabalho foi identificar por meio de diferentes métodos os genótipos de quinoa com estabilidade e adaptabilidade produtiva em diferentes ambientes.

#### 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos na Fazenda Experimental “Antônio Carlos dos Santos Pessoa” localizado nas coordenadas 24°33’40”S e 54°04’12”W, com altitude aproximada de 400 m, no município de Marechal Cândido Rondon (PR), onde o solo é caracterizado como LATOSSOLO VERMELHO Distroférico (LVdf), apresentando textura muito argilosa e possuindo boa capacidade de drenagem, e na Estação Experimental “Alcibíades Luiz Orlando”, no município de Entre Rios do Oeste (PR), localizado nas coordenadas 24°43’S e 54°14’W, com altitude de 260 m, a qual possui o solo caracterizado como LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico (LVef) (SANTOS et al., 2013).

Para ambas localidades, o clima, segundo Köppen, é classificado como mesotérmico, úmido, subtropical, com inverno seco e verões quentes, onde as temperaturas médias anuais variam de 17 a 19 °C e a precipitação total anual distribuídas, variando de 1200 a 2000 mm durante o ano (NITSCHKE et al., 2019). Sete experimentos foram semeados de acordo com a Tabela 1.

**Tabela 1.** Data de semeadura, local, quantidade de adubo e formulação na implantação dos experimentos de campo.

	Data da semeadura	Local	Quantidade de adubo (kg ha <sup>-1</sup> )	Formulação
Safra 1 - 2014	23/09/2014	Entre Rios do Oeste	125	10-15-15
Safra 2 - 2014	28/10/2014	Entre Rios do Oeste	125	10-15-15
Safra 1 - 2015	23/09/2015	Mar. Când. Rondon	125	10-15-15
Safra 1 - 2015	07/10/2015	Entre Rios do Oeste	250	02-20-20
Safra 2 - 2015	15/10/2015	Entre Rios do Oeste	250	Húmus de mandioca
Safra 1 - 2016	24/10/2016	Mar. Când. Rondon	300	10-15-15
Safra 1 - 2018	12/09/2018	Mar. Când. Rondon	280	08-15-15

O delineamento experimental adotado foi de blocos completos com tratamentos ao acaso (DBC), composto por 16 genótipos com 3 repetições. As parcelas foram constituídas por 4 linhas em 5 metros de comprimento, espaçadas 0,35 m entre si. Foi considerada como parcela útil, as duas linhas centrais, sendo desconsiderados 0,5 m em cada extremidade e as duas linhas laterais, totalizando 2,8 m<sup>2</sup> de área útil em cada parcela.

Foram avaliados os genótipos Q2014, Q1223, Q1301, Q1302, Q1303, Q1304, Q1306, Q1307, Q1310, Q1317, Q1318, Q1320, Q1321, Q1324, Q1331 e Seleção 1. Esses foram provenientes de populações obtidas a partir de sementes adquiridas em viveiro de plantas ornamentais do estado do Rio de Janeiro, as quais foram submetidas a cruzamentos naturais para obtenção de variabilidade e possibilitando a seleção desses genótipos.

A semeadura foi realizada de forma manual, na profundidade de 1,8 cm da superfície do solo. O adubo foi aplicado de forma mecanizada, sendo que para todos os casos, foi disposto a 5cm abaixo das sementes. O controle de plantas daninhas foi realizado através de capina manual, sempre que necessário.

A colheita, foi realizada de forma manual, de acordo com a maturidade fisiológica de cada material. Os grãos foram trilhados, limpos e pesados para determinação de produtividade em kg ha<sup>-1</sup>, sendo a umidade dos grãos corrigida para 14%.

Os erros dos dados experimentais foram submetidos aos testes de normalidade de Shapiro-Wilk e de homocedasticidade pelo teste de Bartlett. Quando satisfeitos esses pressupostos, seguiu-se com a análise de variância individual. As variâncias residuais dos sete

ambientes foram submetidas ao teste de Hartley a 5% e, uma vez constatada homocedasticidade, foi realizada a análise de variância conjunta.

Para as análises de adaptabilidade e estabilidade utilizou-se as metodologias propostas por: Yates e Cochran (1938); Eberhart e Russell (1966); Cruz, Torres e Vencovsky (1989) e Método Integrado para a análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica (VASCONCELOS et al., 2011). Foi utilizado o software estatístico Genes (CRUZ, 2013) para auxiliar na análise dos dados.

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.3.1 Método de Yates e Cochran (1938)

O método de estabilidade proposto por Yates e Cochran (1938) baseia-se na análise conjunta dos experimentos em que se considera todos os ambientes, e em seguida o desdobramento da soma dos quadrados dos efeitos de ambientes e da interação dos efeitos principais, em efeitos de ambientes dentro de cada genótipo. Neste método a estimativa da estabilidade é um fator determinante e a mesma ocorre por meio da variação de ambientes dentro de cada genótipo, em que, o genótipo que proporcionar o menor quadrado médio, na maioria dos ambientes, será considerado o mais estável (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Considerando as estimativas dos parâmetros da estabilidade observou-se que os genótipos Q1302, Q1303, Q1318, Q1331 e Seleção 1 foram classificados entre os mais estáveis, mas foram os menos produtivos, enquanto os genótipos Q2014, Q1223, Q1317 e Q1321 estiveram entre os mais instáveis e foram os mais produtivos (Tabela 2). Desta forma, é possível verificar que os genótipos que apresentaram variância mínima entre os ambientes foram, em geral, os menos produtivos e, portanto, de alta estabilidade, porém sem interesse para o melhoramento com vistas ao incremento de produtividade.

**Tabela 2.** Estimativas dos parâmetros de estabilidade obtido pelo método de Yates e Cochran, médias totais de rendimento de grãos dos 16 genótipos de quinoa, avaliados em sete ambientes, no ano de 2019.

Genótipos	Rendimento de grãos	
	QM(A/Gi)	Média
Q2014	1196633,90	1459,66
Q1223	1146695,40	1310,42
Q1301	923746,54	1232,47
Q1302	670989,56	1207,66
Q1303	229527,11	1141,00
Q1304	743646,44	1349,33
Q1306	827133,76	1426,85
Q1307	773215,08	1188,09
Q1310	1000258,90	1473,42
Q1317	1444550,50	1313,04
Q1318	626882,22	1228,66
Q1320	888735,97	1398,57
Q1321	1386301,10	1251,52
Q1324	952161,78	1465,00
Q1331	633665,65	1294,85
Seleção 1	522693,83	1236,28

No método de Yates e Cochran (1938), o efeito de locais é adicionado à interação, não sendo possível manter o efeito da interação e conseqüentemente, a junção de quadrados médios pode provocar certa distorção nos resultados. No geral, para uma grande quantidade de genótipos avaliados por este método, dificilmente haverá um genótipo que seja classificado como o mais estável e mais produtivo. Tal método é considerado por vários autores como de baixa precisão e de difícil manuseio, o que corrobora com os resultados encontrados no presente trabalho, por isso a necessidade de avaliar por meio de outros métodos incrementais (EVERS; BASTIAANS, 2016).

#### 4.3.2 Método de Eberhart e Russell (1966)

O método de Eberhart e Russel (1966) baseia-se na análise de regressão linear simples, na qual utiliza-se uma variável indexadora para avaliar o desempenho dos genótipos de forma diferenciada em ambientes favoráveis e desfavoráveis (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Dentre os inúmeros métodos avaliativos de adaptabilidade e estabilidade, o presente método é baseado em regressão linear simples. O ideal é que uma cultivar apresente adaptabilidade geral, e previsibilidade alta, sendo capaz de responder ao estímulo do ambiente



e ser estável, mantendo bom desempenho, mesmo em condições desfavoráveis (PELUZIO et al., 2010; CARVALHO et al., 2013; POLIZEL et al., 2013; SILVA et al., 2019).

O índice ambiental é um fator determinante no método de Eberhart e Russel (1966). Tal método é uma expansão do modelo proposto por Finlay e Wilkinson (1963), em que, considera-se que um genótipo com coeficiente de regressão superior a 1,0 apresenta comportamento melhor em ambientes favoráveis. Genótipos que apresentam coeficiente de regressão inferior a 1,0 apresentam melhor comportamento em ambientes desfavoráveis e genótipos com coeficiente de regressão igual a 1,0 possuem elevada adaptabilidade geral (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Os genótipos Q2014, Q1317 e Q1321 apresentaram-se como adaptados a ambientes favoráveis ( $\beta_1 > 1,0$ ), pelo método de Eberhart e Russell, conforme dados presentes na Tabela 3. Porém cabe salientar que esses genótipos apresentaram baixa previsibilidade de comportamento, ou seja, desvio da regressão significativo. Contudo, os valores de  $R^2$  da regressão linear dos mesmos foram iguais ou superiores a 80% (80, 84 e 87%, respectivamente), resultados que trazem credibilidade a regressão linear obtida para cada genótipo (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012). Diante disso creditamos a esses genótipos a condição de adaptados à ambientes favoráveis, porém com alguns resultados que podem vir a destoar dessa característica, uma vez que o desvio da regressão foi significativo.

**Tabela 3.** Parâmetros de adaptabilidade e estabilidade estimados pelo método de Eberhart e Russell (1966) para as características de rendimento de grãos para dezesseis genótipos de quinoa em sete locais, 2019.

Genótipos	Rendimento de grãos			
	$\beta_0$	$\beta_1$	$\sigma_{di}^2$	R <sup>2</sup> (%)
Q2014	1459,66	1,20*	92080,94**	79,94
Q1223	1310,42	1,16 <sup>ns</sup>	100242,40**	77,28
Q1301	1232,47	1,13 <sup>ns</sup>	26684,76**	91,71
Q1302	1207,66	0,83 <sup>ns</sup>	82789,78**	67,69
Q1303	1141,00	0,45*	32771,09**	60,03
Q1304	1349,33	0,97 <sup>ns</sup>	46149,87**	83,16
Q1306	1426,85	1,01 <sup>ns</sup>	56672,06**	81,68
Q1307	1188,09	1,05 <sup>ns</sup>	15488,57**	93,72
Q1310	1473,42	1,01 <sup>ns</sup>	126250,23**	67,46
Q1317	1313,04	1,36**	87998,45**	84,09
Q1318	1228,66	0,82 <sup>ns</sup>	69259,07**	70,81
Q1320	1398,57	1,13 <sup>ns</sup>	14003,75**	94,95
Q1321	1251,52	1,35**	65996,83**	87,39
Q1324	1465,00	0,91 <sup>ns</sup>	158918,69**	57,24
Q1331	1294,85	0,73**	107032,96**	56,22
Seleção 1	1236,28	0,83 <sup>ns</sup>	24302,14**	86,49
Média Geral	1311.05654			

H<sub>0</sub> =  $\beta_i = 1$ ; \* e \*\* significativo a 5% e a 1% de probabilidade, pelo teste t; ns não significativo.

H<sub>0</sub> =  $\sigma_{di}^2 = 0$ ; \* e \*\* significativo a 5% e a 1% de probabilidade, pelo teste t.

Os genótipos Q1303 e Q1331 apresentaram valores de  $\beta_1 < 1,0$ , indicando que são adaptados às condições de ambientes desfavoráveis pelo método de Eberhart e Russel (Tabela 3). Os mesmos também apresentaram desvio de regressão significativos e resultados de R<sup>2</sup> menores que 70%, o que dificulta sua recomendação com essa finalidade.

Os demais genótipos apresentaram  $\beta_1 > 1,0$ , indicando estabilidade geral aos ambientes em que foram avaliados. Porém, como pela análise dos dados através da metodologia de Eberhart e Russel, verificaram-se que nenhum genótipo apresentou previsibilidade de comportamento, devemos utilizar o valor de R<sup>2</sup> para garantir essa estabilidade geral. Apenas os genótipos Q1301, Q1304, Q1306, Q1307, Q1317, Q1320, Q1321 e Seleção 1 apresentaram valores de R<sup>2</sup> superiores a 80%, indicando que os mesmos apresentam relativa qualidade de ajuste de método (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012), assim aceitando que esses genótipos possuem adaptabilidade geral pelo método de Eberhart e Russel.

#### 4.3.3 Método bissegmentado de Cruz, Torres e Vencovsky (1989)

O método de adaptabilidade e estabilidade proposto por Cruz, Torres e Vencovsky (1989) baseia-se na análise de regressão bissegmentada linear na qual se utiliza uma variável indexadora para avaliar o desempenho dos genótipos de forma diferenciada em ambientes favoráveis e desfavoráveis, sendo uma das metodologias mais utilizadas no melhoramento genético. Nesse método o índice ambiental é um fator determinante para a classificação dos ambientes de acordo com o desempenho dos genótipos avaliados.

Considerando o índice ambiental, a primeira e segunda safra de 2014 em Entre Rios do Oeste e a safra de 2016 de Marechal Cândido Rondon foram classificadas como favoráveis, possibilitando incremento nas médias para rendimento de grãos. A safra 1 de 2015 em Marechal Cândido Rondon, safras 1 e 2 de 2015 em Entre Rios do Oeste e safra 1 de 2018 em Marechal Cândido Rondon foram classificadas como desfavoráveis de forma a proporcionar uma redução na média dos genótipos, principalmente quando refere-se as médias da safra 1 de 2015 em Marechal Cândido Rondon. O maior índice ambiental foi apresentado pela safra 2 de 2014 em Entre Rios do Oeste e conseqüentemente a maior média geral (Tabela 4).

**Tabela 4.** Médias gerais e parâmetros estatísticos nos ambientes favoráveis e desfavoráveis, referentes ao rendimento de grãos.

AMBIENTE	MÉDIA	Rendimento de grãos			Índice (A <sub>j</sub> )	Tipo	
		CV(%)	S <sup>2</sup> <sub>g</sub>	H <sup>2</sup>			
Safra 1 - 2014	Entre Rios do Oeste	1598,23	8,16	119010,21	0,95	287,17	F
Safra 2 - 2014	Entre Rios do Oeste	2094,33	6,09	109709,67	0,95	783,27	F
Safra 1 - 2015	Mar. Când. Rondon	586,83	10,91	23244,91	0,94	-724,22	D
Safra 1 - 2015	Entre Rios do Oeste	1228,90	8,09	64669,78	0,95	-82,16	D
Safra 2 - 2015	Entre Rios do Oeste	1026,15	11,77	88834,63	0,95	-284,91	D
Safra 1 - 2016	Mar. Când. Rondon	1365,54	8,75	25620,50	0,84	54,48	F
Safra 1 - 2018	Mar. Când. Rondon	1277,42	6,21	83826,40	0,98	-33,63	D

No geral dificilmente haverá um genótipo que seja classificado no melhor grupo em todos os locais, o que corrobora com os resultados encontrados no presente trabalho e justifica o estudo da interação genótipos x ambientes para o caráter produtividade (SANTOS et al., 2019). Segundo a metodologia de Cruz, Torres e Vencovsky (1989), o material ideal é aquele que apresenta média alta, ( $\beta_1 < 1$ ), ( $\beta_1 + \beta_2 > 1$ ), ( $D_{ii} = 0$ ) e ( $R^2 > 80\%$ ), ou seja, alta

produtividade média, adaptabilidade geral à ambientes desfavoráveis e capacidade de responder a melhoria dos ambientes, sendo garantido ainda a previsibilidade de seu comportamento.

Pelos resultados dispostos na Tabela 5, podemos evidenciar que os genótipos Q1303 e Q1304 apresentaram valor de  $\beta_1 < 1$ , indicando que os mesmos apresentam adaptabilidade a ambientes desfavoráveis. Porém seus valores de desvio da regressão foram significativos e apenas para o genótipo Q1304 o valor de  $R^2$  foi superior a 80%. Dessa forma temos que o genótipo Q1304 possui adaptabilidade a ambientes desfavoráveis podendo apresentar algum resultado diferente disso quando cultivado novamente.

**Tabela 5.** Estimativa dos parâmetros do método proposto por Cruz, Torres e Vencovsky (1989) e os valores de  $R^2$  estimados para a característica rendimento de grãos.

Genótipos	Rendimento de grãos								
	$\beta_0$	$\beta_1$	Prob (=1)	Prob (=0)	$\beta_1 + \beta_2$	Prob (=1)	$R^2$	$D_{ii}$	Prob
Q2014	1459,67	1,20	0,19	3,79	1,25	70,92	79,97	359607	0,00
Q1223	1310,43	1,21	0,09	85,03	0,98	8,09	77,81	381728	0,00
Q1301	1232,48	1,21	0,13	31,05	0,88	1,56	92,98	97288	0,00
Q1302	1207,67	0,88	4,75	0,50	0,66	10,08	68,47	317318	0,00
Q1303	1141,00	0,41	0,00	0,46	0,66	6,13	63,01	127359	0,00
Q1304	1349,33	0,78	0,06	0,00	1,68	0,00	94,98	55943	0,14
Q1306	1426,86	1,01	83,58	83,97	1,02	93,28	81,69	227219	0,00
Q1307	1188,10	0,94	36,47	0,03	1,45	0,03	97,37	30514	4,03
Q1310	1473,43	0,93	25,84	0,68	1,33	0,38	69,19	462316	0,00
Q1317	1313,05	1,23	0,03	0,00	1,84	0,00	86,91	283698	0,00
Q1318	1228,67	1,02	0,04	0,00	0,09	0,00	85,77	133821	0,00
Q1320	1398,57	1,14	2,11	40,06	1,10	75,62	94,98	66952	0,03
Q1321	1251,52	1,28	0,00	0,00	1,67	0,45	88,58	237447	0,00
Q1324	1465,00	0,99	85,40	0,20	0,62	0,69	58,80	588439	0,00
Q1331	1294,86	0,91	15,81	0,00	0,08	0,00	68,28	301473	0,00
Seleção 1	1236,29	0,86	2,76	1,34	0,70	22,96	87,04	101596	0,00

Os genótipos Q2014, Q1304, Q1307, Q1310, Q1317 e Q1321 apresentaram valores de  $\beta_1 + \beta_2 > 1$ , resultado que classifica esses genótipos como adaptados a ambientes favoráveis. Dentre esses apenas o genótipo Q1307 apresentou desvio de regressão não significativo a 5% de chance de erro, ou seja, com previsão de comportamento pelo método de Cruz, Torres e Vencovsky. Mas ainda cabe ressaltar que, além do genótipo Q1307, os genótipos Q1304, Q1317 e Q1321 também tiveram valores de  $R^2$  superiores a 80%, garantindo que esses possuem bom ajuste ao modelo de regressão bissegmentado, sendo possuidores de comportamento tido como passível de previsão (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Em uma análise considerando os genótipos apontados como possuidores de adaptabilidade a ambientes desfavoráveis e favoráveis, verificamos que o genótipo Q1304 esteve em ambos os grupos, apresentando-se como o genótipo de adaptabilidade ideal pelo método de Cruz, Torres e Vencovsky.

Vale ressaltar que o  $R^2$  é uma medida adicional descrita por Pinthus (1973) em análises de regressão, essa por sua vez no caso da metodologia proposta por Cruz, Torres e Vencovsky (1989) pode substituir o  $D_{ii}$  ou auxiliá-lo, fornecendo uma medida da variação observada ou explicada pela regressão. Porém é importante citar que, um dos inconvenientes que surgem com relação ao emprego desse parâmetro, como medida de previsibilidade dos genótipos, é que ele depende da magnitude do coeficiente de regressão ( $\beta_{1i}$ ), o que pode provocar tendenciosidade nas conclusões.

Observa-se que o comportamento dos genótipos, de maneira geral, não pode ser explicado por um único segmento de reta, uma vez que em nenhum dos genótipos avaliados rejeitou-se a hipótese  $H_0$  ( $\beta_2 = 0$ ).

Os trabalhos de Oliveira et al. (2012) e Santos et al. (2019) diferentemente do presente trabalho, apresentaram um baixo número de desvios significativos. Contudo, um alto número de desvios significativos foi obtido nos trabalhos realizados por Carvalho et al. (2006) e Santos et al. (2019).

Os resultados das análises para estabilidade dos trabalhos de Carvalho et al. (2006), referentes a um outro conjunto de genótipos e ambientes, registraram cerca de 50% e 85%, de estimativas de  $R^2 > 80\%$  e  $R^2 < 80\%$ , respectivamente. Na maioria dos trabalhos que utilizaram esta metodologia, os valores das estimativas desse parâmetro se concentram acima de 80%, como pode ser verificado nos trabalhos de Carvalho et al. (2006) e Santos et al. (2019).

#### **4.3.4 Método integrado (VASCONCELOS et al., 2011)**

A análise de adaptabilidade e estabilidade pelo método Centróide diferencia-se por considerar genótipos de máxima adaptação específica como àqueles genótipos com valores máximos para certo grupo de ambientes (favoráveis ou desfavoráveis) e mínimo para o outro grupo, e não àquele que apresenta bom desempenho nos grupos de ambientes favoráveis ou desfavoráveis (SILVA et al., 2019).

A classificação de cada genótipo se deu de forma que 87,5% foram classificados como semelhantes ao ideótipo V, o que significa que esses genótipos possuem valores máximos nos ambientes favoráveis e valores médios nos ambientes desfavoráveis. Este ideótipo é uma

modificação do método original proposto por Rocha et al. (2005), trazendo à análise maior sentido biológico, já que a adição de ideótipos intermediários evita a comparação com ideótipos extremos (VASCONCELOS et al., 2011).

O valor referente ao ideótipo V é formada pela média da respectiva característica de cada ambiente. Desta forma, a medida que a produtividade dos ambientes aumentam, a produtividade média do ideótipo também é incrementada. Resultados semelhantes foram obtidos por Nascimento et al. (2015), onde ao classificarem diferentes genótipos de alfafa quanto a adaptabilidade e estabilidade pelo método Centróide, e a maioria foram classificados no grupo V.

Utilizando a metodologia do Centróide proposta por Rocha et al. (2005) com quatro ideótipos, Oliveira et al. (2012) obtiveram 44% dos 16 genótipos avaliados classificados no ideótipo I de máxima adaptabilidade geral. Por outro lado, Marques et al. (2011), utilizando o método Centróide Integrado, obtiveram 43% dos sete genótipos avaliados classificados no ideótipo V.

O genótipo Q2014 foi o único que se mostrou responsivo a ambientes favoráveis de forma a expressar seu potencial quando submetido aos mesmos. Este ainda apresentou média de 1469,667 kg ha<sup>-1</sup>, estando dentre os genótipos de maior produtividade, o que o torna promissor para constituir uma variedade responsiva às melhorias ambientais (Tabela 6).

**Tabela 6.** Estabelecimento dos ideótipos, calculados pelo método Centróide, dos genótipos de quinoa para a característica rendimento de grãos, avaliados em sete locais.

Genótipos	Rendimento de grãos		
	Média	Classificação	Probabilidade
Q2014	1469,66	VI	0,13
Q1223	1310,42	V	0,10
Q1301	1232,47	V	0,09
Q1302	1207,66	V	0,09
Q1303	1141,00	V	0,09
Q1304	1349,33	V	0,10
Q1306	1426,85	V	0,12
Q1307	1188,09	V	0,08
Q1310	1173,42	VII	0,14
Q1317	1313,04	V	0,11
Q1318	1228,66	V	0,09
Q1320	1398,57	V	0,10
Q1321	1251,52	V	0,10
Q1324	1465,00	V	0,15
Q1331	1294,85	V	0,10
Seleção 1	1236,28	V	0,08

I: máxima adaptabilidade geral; II: máxima adaptabilidade específica a ambientes favoráveis; III: máxima adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis; IV: mínima adaptabilidade; V: média adaptabilidade geral; V: média adaptabilidade específica a ambientes favoráveis; VI: média adaptabilidade específica a ambientes favoráveis; VII: média adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis.

#### 4.4 CONCLUSÕES

Os genótipos Q2014, Q1304, Q1307 e Q1320 podem ser considerados como possíveis candidatos a constituírem uma nova variedade de quinoa, sendo possuidores de médias elevadas com estabilidade e adaptação produtiva às condições ambientais em que foram avaliados.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRODATA. **Quinoa Perú Exportación**, 2017. Disponível em: <<https://www.agrodataperu.com/2017/12/quinoa-peru-exportacion-2017-noviembre.html>>. Acesso em: 26 mar. 2020.

CARVALHO, E. V.; PELUZIO, J. M.; SANTOS, W. F.; AFFÉRI, F. S.; DOTTO, M. A. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja em Tocantins. **Revista Agroambiente**, v. 7, n. 2, p. 162-169, 2013.

CARVALHO, H. W. L.; FARIA, L. C.; WARWICK, D. R. N.; ALBUQUERQUE, M. M.; PELOSO, M. J. D.; MELO, L. C.; RODRIGUES, A. R. S.; OLIVEIRA, V. D.; RIBEIRO, S. S.; SOUZA, E. M. **Adaptabilidade e Estabilidade de Genótipos de Feijoeiro Comum no**

- Nordeste Brasileiro no Ano Agrícola de 2005.** Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 16. Embrapa, Aracaju, SE, 2006.
- CRUZ, C. D. Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** 4. ed. Viçosa: UFV, 2012.
- CRUZ, C. D.; TORRES, R. A.; VENCOSKY, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. **Revista Brasileira de Genética**, v. 12, n. 3, p. 567-580, 1989.
- EBERHART, S. T.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties 1. **Crop science**, v. 6, n. 1, p. 36-40, 1966.
- EVERS, J. B.; BASTIAANS, L. Quantifying the effect of crop spatial arrangement on weed suppression using functional-structural plant modelling. **Journal of plant research**, v. 129, n. 3, p. 339-351, 2016.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **La quinua, cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial**, 2011. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/aq287s/aq287s.pdf>>. Acesso em: 28 mar. 2020.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Faostat**, 2019. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 24 mar. 2020.
- FINLAY, K. W.; WILKINSON, G. N. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. **Australian journal of agricultural research**, v. 14, n. 6, p. 742-754, 1963.
- MARQUES, M. C.; HAMAWAKI, O. T.; SEDIYAMA, T.; BUENO, M. R.; CRUZ, C. D.; REIS, M.S.; NOGUEIRA, A. P. O. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja em diferentes épocas de semeadura. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 1, p. 59-69, 2011.
- MUJICA, A.; ORTIZ, J.; JACOBSEN, S. E. Uso potencial de *Chenopodium carnosolum* Moq. en zonas áridas. In: **Resúmenes II Congreso Internacional de Zonas áridas**. Chile, 2000, p. 16-21.
- NASCIMENTO, M.; FERREIRA, A.; NASCIMENTO, A. C. C.; SILVA, F. F.; FERREIRA, R. D. P.; CRUZ, C. D. Metodologia dos centroides múltiplos para avaliação da adaptabilidade em genótipos de alfafa. **Revista Ceres**, v. 62, n. 1, p. 30-36, 2015.
- NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. DA S.; PINTO, L. F. D. **Atlas climático do Estado do Paraná**. Londrina: Instituto Agrônômico do Paraná, 2019.
- OLIVEIRA, L. G.; HAMAWAKI, O. T.; SIMON, G. A.; DE SOUSA, L. B.; NOGUEIRA, A. P. O.; REZENDE, D. F. Adaptability and stability of soybean yield in two soybean producing regions. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 6, p. 852-861, 2012.



- PELUZIO, J. M.; AFFÉRI, F. S.; MONTEIRO, F. J. F.; MELO, A. V. D.; PIMENTA, R. S. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja em várzea irrigada no Tocantins. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 3, p. 427-434, 2010.
- PINTHUS, M. J. Estimate of genotypic value: A proposed method. **Euphytica**, v. 22, n. 1, p. 121-123, 1973.
- POLIZEL, A. C.; JULIATTI, F. C.; HAMAWAKI, O. T.; HAMAWAKI, R. L.; GUIMARÃES, S. L. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de genótipos de soja no estado do Mato Grosso. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 4, p. 910-920, 2013.
- ROCHA, R. B.; MURO-ABAD, J. I.; ARAÚJO, E. F.; CRUZ, C. D. Avaliação do método centróide para estudo de adaptabilidade ao ambiente de clones de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 3, p. 255-266, 2005.
- SANTOS, D. C. D.; PEREIRA, C. H.; NUNES, J. A. R.; LEPRE, A. L. Adaptabilidade e estabilidade de híbridos de milho em ensaios multiambientais não-repetidos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 50, n. 1, p. 83-89, 2019.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013.
- SILVA, G. N.; SILVA JUNIOR, A. C.; SANT'ANNA, I. C.; CRUZ, C. D.; NASCIMENTO, M.; SOARES, P. C. Projeção de distâncias como método auxiliar na classificação de arroz irrigado quanto a adaptabilidade e estabilidade. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 2, p. 229-243, 2019.
- SPEHAR, C. R.; SANTOS, R. L. B. Quinoa BRS Piabiru: alternativa para diversificar os sistemas de produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 6, p. 889-893, 2002.
- SPEHAR, C. R.; SANTOS, R. L. B.; CARVALHO, W. P.; ANDRADE, S. C. Agronomia. In: SPEHAR, C. R. (Eds.). **Quinoa: alternativa para diversificação agrícola e alimentar**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007, p. 47-53.
- VASCONCELOS, E. S.; REIS, M. S.; CRUZ, C. D.; SEDIYAMA, T.; SCAPIM, C. A. Integrated method for adaptability and phenotypic stability analysis. **Revista Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 251-257, 2011.
- YATES, F.; COCHRAN, W. G. The analysis of groups of experiments. **The Journal of Agricultural Science**, v. 28, n. 4, p. 556-580, 1938.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O presente trabalho explorou dados importantes a serem considerados no programa de melhoramento genético da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, apontando genótipos que podem ser considerados possíveis candidatos a constituírem uma nova variedade de quinoa.