



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

**HERDABILIDADE E OBTENÇÃO DE PROGÊNIES
RECOMBINANTES DE QUINOA VERMELHA COM
ADAPTABILIDADE AO CULTIVO NO CERRADO**

JOÃO LUCAS COTRIM FONTANA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

**BRASÍLIA - DF
JULHO DE 2020**



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

**HERDABILIDADE E OBTENÇÃO DE PROGÊNIES
RECOMBINANTES DE QUINOA VERMELHA COM
ADAPTABILIDADE AO CULTIVO NO CERRADO**

JOÃO LUCAS COTRIM FONTANA

ORIENTADOR: PH.D. CARLOS ROBERTO SPEHAR

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

**BRASÍLIA - DF
JULHO DE 2020**



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

**HERDABILIDADE E OBTENÇÃO DE PROGÊNIES
RECOMBINANTES DE QUINOA VERMELHA COM
ADAPTABILIDADE AO CULTIVO NO CERRADO**

JOÃO LUCAS COTRIM FONTANA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE/DOCTOR EM AGRONOMIA NA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO DE RECURSOS GENÉTICOS E MELHORAMENTO VEGETAL.

APROVADA POR:

Carlos Roberto Spehar. Ph.D., Universidade de Brasília, CPF: 122.262.116-94, e-mail: spehar@unb.br (Orientador)

Michelle Souza Vilela, D.Sc. Universidade de Brasília, CPF: 919.623.401-63, e-mail: michellevilelaunb@gmail.com (Examinador interno)

Márcio Antônio Mendonça, D.Sc., Universidade de Brasília, CPF: 830.352.496-87 e-mail: mendonça@unb.br (Examinador externo)

Brasília/DF, 30 de julho de 2020.

FICHA CATALOGRÁFICA

CF679/ Fontana, João Lucas Cotrim
F756h Herdabilidade e obtenção de progênies recombinantes de quinoa vermelha com adaptabilidade ao cultivo no Cerrado. / João Lucas Cotrim Fontana; orientação de Carlos Roberto Spehar – Brasília, 2020.
82 p.: il
Dissertação de Mestrado (M) - Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2020.

1. *Chenopodium quinoa* 2. Melhoramento Vegetal 3. Parâmetros genéticos 4. Composição química 5. Diversificação produtiva I. Spehar, C. R. II. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

FONTANA, J. L. C. **Herdabilidade e obtenção de progênies recombinantes de quinoa vermelha com adaptabilidade ao cultivo no Cerrado**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2020. 82p. Dissertação de Mestrado.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: João Lucas Cotrim Fontana

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Herdabilidade e obtenção de progênies recombinantes de quinoa vermelha com adaptabilidade ao cultivo no Cerrado.

GRAU: Mestre ANO: 2020

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

João Lucas Cotrim Fontana

CPF: 005.455.941-38 **Matrícula:** 18/0002571

End.: Quadra 206 Ed. Acauã bloco A. Aguas Claras, Brasília - DF

Tel.: (61) 99141-5457

E-mail: fontanajlc@gmail.com

Dedico este trabalho à minha família e amigos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à nossa Universidade de Brasília, por todas as oportunidades que tive durante esses anos de estudo e pelos inesquecíveis momentos e experiências que me foram proporcionados. A universidade pública não é apenas excelente na formação de profissionais, a partir dos três pilares formadores (ensino, pesquisa e extensão) também demonstra sua capacidade transformadora e de realização de sonhos para toda a comunidade. Desta forma, ressaltando a importância da educação pública, não somente gratuita, mas de excelência, cada vez mais se faz necessária a defesa dessas instituições, que desde sua criação são referência para o desenvolvimento do país.

Agradeço também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) que me concedeu bolsa durante os dois anos de pesquisa, instituição essencial para o desenvolvimento acadêmico e científico do Brasil.

À minha família, por todo o amor, apoio e estrutura proporcionados para que essa jornada fosse possível.

Às minhas queridas amigas e parceiras de pesquisa Aliny Lais Silva e Maria Eduarda Matos.

Aos meus amigos Bruno Val, Camila Sugiura, Filipe Baraballo Grasielle Franzol, Matheus Meira e principalmente à Clara Costa, Hélio Santana e Tarcísio Fontana pelo apoio no plantio, manutenção, colheita e beneficiamento.

Ao meu orientador Prof. Ph.D. Carlos Roberto Spehar, agradeço pela imensa dedicação, parceria, caráter e boa vontade, além das sempre muito bem-vindas palavras de apoio e motivação e sua grande experiência, tanto profissional quanto de vida.

Ao Prof. Dr. Márcio Antônio Mendonça, pelo grande apoio no delineamento e nas análises laboratoriais relacionadas à composição e qualidade de alimentos.

À Profa. Dra. Michelle Souza Vilela, por todo o apoio nas análises estatísticas e construção dos resultados.

Às Técnicas do Laboratório de Análise de Alimentos, em especial à Joyce, pela grande

ajuda nas análises laboratoriais e a disposição nos procedimentos de bancada.

Aos funcionários da Fazenda Água Limpa, em especial ao Israel, que são essenciais para os bom desenvolvimento dos experimentos locados na fazenda.

Aos funcionários da Estação Experimental de Biologia da Universidade de Brasília.

A Todos os professores do Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade de Brasília, por todo o conhecimento que cordialmente nos proporcionam.

ÍNDICE

RESUMO GERAL	1
ABSTRACT	2
INTRODUÇÃO GERAL	3
Objetivo Geral	4
Objetivos específicos	4
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
Origem e botânica.....	5
A Quinoa no Mundo	7
A quinoa no Brasil.....	7
Diversificação produtiva.....	9
Qualidade Nutricional de Quinoa	10
Proteínas	12
Carboidratos	13
Vitaminas e Minerais.....	13
Lipídios.....	14
Cálcio.....	15
Saponina	15
Estimativa de parâmetros genéticos	16
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18
CAPÍTULO 1 – ESTIMATIVA DE PARÂMETROS GENÉTICOS DE CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E SELEÇÃO DE PROGÊNIES RECOMBINANTES DE QUINOA VERMELHA ADAPTADAS ÀS CONDIÇÕES DO CERRADO.....	29
RESUMO	30
ABSTRACT	31
INTRODUÇÃO.....	32
MATERIAL E MÉTODOS.....	34
Geração F1.....	34

Geração F2.....	35
Geração F ₃	36
ANÁLISES ESTATÍSTICAS	37
RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
Avaliação agrônômica e estimativa de parâmetros genéticos na geração F2.....	38
Geração F3.....	43
CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
CAPÍTULO 2 - ESTIMATIVA DE PARÂMETROS GENÉTICOS DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA E SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE QUINOA ADAPTADOS ÀS CONDIÇÕES DO CERRADO	49
RESUMO	50
ABSTRACT	51
INTRODUÇÃO.....	52
MATERIAL E MÉTODOS.....	54
Composição química	54
ANÁLISES ESTATÍSTICAS	55
RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
CONCLUSÕES	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
ANEXOS.....	67

LISTA DE TABELAS

Revisão Bibliográfica

Tabela 1.1 - Área cultivada, produtividade e produção anual de quinoa	7
Tabela 1.2 - Variações de composição aproximada em genótipos de grãos de quinoa.....	11
Tabela 1.3 - Composição de cereais e leguminosas em relação à quinoa (g/100g).	11
Tabela 1.4 - Comparação entre perfil de aminoácidos de quinoa e cereais em relação à recomendação da FAO	12
Tabela 1.5 - Conteúdo de minerais de quinoa em relação aos cereais (mg/100g dw).....	14
Tabela 1.6 - Ácidos graxos insaturados em quinoa (g 100 g-1).....	15

Capítulo 1

Tabela 1.1 -Estimativa qui-quadrado para característica de coloração do oxalato de cálcio depositado nas folhas de quinoa na geração F2 do cruzamento BRS Syetetuba x INIA 415. .	38
Tabela 1.2 - Valores médios de rendimento de grãos e peso total de plantas em kg/ha.	39
Tabela 1.3 - Comparação de médias de altura de plantas (HP) e Comprimento da panícula (CP) entre os genitores e os híbridos F2.	39
Tabela 1.4 - Comparação de médias Peso da matéria seca da planta (PP), Rendimento de grãos por planta (RP) e Índice de colheita (IC) entre os genitores e os híbridos F2.	40
Tabela 1.5 - Estimativas das variâncias fenotípica (V^2_f), genotípica (V^2_g), ambiental (V^2_e), herdabilidade no sentido amplo (h^2), coeficiente de variação genética (CV_g), coeficiente de variação ambiental (CV_e) e razão entre o coeficiente de variação genético e ambiental (CV_g/CV_e) para altura de plantas (HP), comprimento da panícula (CP), Peso da matéria seca	

da planta (PP), Índice de colheita (IC) e Rendimento de grãos por planta (RP)	40
Tabela 1.6 - Estimativas de valores de correlação fenotípica (r_F) e genotípica e (r_G) entre altura de plantas (HP), comprimento da panícula (CP), Peso da matéria seca da planta (PP), Rendimento de grãos por planta (RP) e Índice de colheita (IC) na geração F_2	42
Tabela 1.7- Estimativas das variâncias fenotípica (V^2_f), genotípica (V^2_g), ambiental (V^2_e), herdabilidade no sentido amplo (h^2), coeficiente de variação genética (CVg), coeficiente de variação ambiental (CVe) e razão entre o coeficiente de variação genético e ambiental (CVg/CVe) para altura de plantas (HP), comprimento da panícula (CP) e rendimento de grãos por planta (RP) da geração f_3	43
Tabela 1.8 - Estimativas de valores de correlação fenotípica (r_F) e genotípica e (r_G) entre altura de plantas (HP), comprimento da panícula (CP) e rendimento de grãos por planta (RP) na geração F_3	44

Capítulo 2

Tabela 2.1 - Identificação, origem e coloração de grãos e inflorescências de genótipos de quinoa avaliados em relação à composição química de grãos.	54
Tabela 2.2 - Médias de composição química de diferentes genótipos de quinoa.....	56
Tabela 2.3- Estimativas das variâncias fenotípica (V^2_f), genotípica (V^2_g), ambiental (V^2_e), herdabilidade no sentido amplo (h^2), coeficiente de variação genética (CVg), coeficiente de variação ambiental (CVe) e razão entre o coeficiente de variação genético e ambiental (CVg/CVe) para matéria seca, umidade, resíduos minerais, lipídios, proteínas e carboidratos.	59
Tabela 2.4 - Comparação de médias de valores de composição química das progêneses híbridas das gerações F_2 e F_3 em relação a seus genitores BRS Syetetuba e INIA 415.	59

Tabela 2.5 - Estimativas de valores de correlação fenotípica (r_F) e genotípica (r_G) entre Matéria seca(%MS), umidade(%U), resíduos minerais(%RM), lipídeos(%L), proteína(%P) e carboidratos (%CHO).....	60
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

NPK	Adubo químico composto por Nitrogênio, Fósforo e Potássio
%CHO	Teor de carboidratos
%F	Teor de fibras
%L	Teor de lipídeos
%P	Teor de proteínas
%R.M	Teor de resíduos minerais (cinzas)
%U	Teor de umidade
Ca	Cálcio
CP	Comprimento da panícula (Inflorescência) em centímetros
Cve(%)	Coefficiente de variação ambiental
CVg(%)	Coefficiente de variação genotípico
CVg/Cve	Relação entre o coeficiente de variação genotípico e ambiental
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAL	Fazenda Água Limpa
FAO	Food and Agriculture Organization
Fe	Ferro
FE	Frequência esperada
FO	Frequência observada
h ²	Herdabilidade no sentido amplo
ha	Hectare
HP	Altura de Plantas em centímetros
IC	Índice de colheita, definido pela relação entre o rendimento de grãos e o peso de matéria seca da planta.
INIA	Instituto Nacional de Innovación Agraria
K	Potássio

kg	Quilograma
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
ONU	Organização das Nações Unidas
P	Fósforo
PP	Peso de matéria seca de plantas
rF	Correlação fenotípica
rG	Correlação Genotípica
RP	Rendimento de grãos por planta
USDA	United States Department of Agriculture
V ² e	Variância ambiental
V ² f	Variância fenotípica
V ² g	Variância genotípica
X ²	Quiquadrado
Zn	Zinco

RESUMO GERAL

HERDABILIDADE E OBTENÇÃO DE PROGÊNIES RECOMBINANTES DE QUINOA VERMELHA COM ADAPTABILIDADE AO CULTIVO NO CERRADO

A quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), originária da região andina, se apresenta como uma ótima opção de diversificação produtiva para o Cerrado. Por sua alta adaptabilidade, vários estudos já apresentaram resultados promissores quanto ao seu potencial produtivo na região. Conhecida como um pseudocereal, por suas características muito similares às plantas da família Poaceae, a quinoa apresenta inúmeras vantagens quando comparadas com os cereais. Um dos fatores mais importantes para a popularização da quinoa como alimento é sua composição química, apresentando alto teor de proteínas, ótimo balanço de aminoácidos essenciais, presença de ácidos graxos essenciais, vitaminas e minerais. A Embrapa lançou duas cultivares de quinoa adaptadas para a agricultura brasileira, primeiramente a BRS Piabiru e alguns anos depois a BRS Syetetuba, ambas apresentando coloração clara de grãos. Em um mercado cada vez mais competitivo, a variação de produtos na prateleira é um diferencial a ser explorado, podendo gerar valor agregado ao produto. Por não haver cultivares de quinoa com grãos coloridos adaptados e disponíveis para as condições do Cerrado brasileiro, a importância do estudo desses genótipos é bastante relevante. Para além das características nutricionais, o bom desempenho agrônomico é essencial para a consolidação de uma cultura. Os ensaios de campo foram desenvolvidos na Fazenda Água Limpa e foram avaliadas características de interesse agrônomico como, altura de plantas, comprimento da panícula, rendimento e peso de matéria de plantas de progênies recombinantes de quinoa descendentes da BRS Syetetuba e INIA 415 (cultivar peruano que apresenta coloração vermelha de grãos). Também se analisou a composição química de grãos, em triplicata e seguindo as normas desenvolvidas pelo Instituto Adolfo Lutz. Além disso também tem por objetivo a análise destes genótipos para a seleção de indivíduos superiores a partir da estimativa dos parâmetros genéticos para todas essas características. Demonstrou-se a importância do conhecimento dos componentes variação de populações segregantes e a herdabilidade, assim como das correlações entre os caracteres de interesse. Os genótipos obtidos a partir da hibridação, se mostraram competitivos, como bom desempenho de características agrônomicas e qualidade nutricional similar às melhores cultivares disponíveis no mercado. Características qualitativas relacionada à coloração do oxalato de cálcio e panículas apresentam herança monogênica, seguindo a proporção mendeliana 3:1. A cultivar BRS Syetetuba é uma boa opção como genitor, promovendo maior ganho de seleção quanto aos teores de lipídeos, proteínas e carboidratos. As progênies geradas apresentaram coloração vermelha de grãos e vantagens quanto às características agrônomicas e composição química em relação aos seus genitores.

Palavras Chave: *Chenopodium quinoa*, melhoramento vegetal, parâmetros genéticos, composição química, diversificação produtiva.

ABSTRACT

HERDABILITY AND RECOMBINANT PROGENIES OBTAINMENT OF RED QUINOA WITH ADAPTABILITY TO YIELD AT THE BRAZILIAN SAVANNAH

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), originally from the Andean region, is an excellent option for productive diversification in the Brazilian savannah. Due to its high adaptability, several studies have already shown promising results regarding their productive potential in the region. Known as a pseudocereal, for its characteristics very similar to the plants of the Poaceae family, quinoa has several advantages when compared to cereals. One of the most important factors for the popularization of quinoa as a food option is its chemical composition, with high protein content, excellent balance of essential amino acids, presence of essential fatty acids, vitamins and minerals. The Brazilian Agricultural Research Corporation – Embrapa, launched two quinoa cultivars adapted for Brazilian agriculture, first BRS Piabiru and a few years later BRS Syetetuba, both showing light grain color. In an increasingly competitive market, the variation of products on the shelf is a differential to be explored and can generate benefit to the product. As there are no quinoa cultivars with colored grains adapted and available for the conditions of the Brazilian Savannah, the importance of studying these genotypes is quite relevant. In addition to nutritional characteristics, good agronomic performance is essential for the consolidation of a crop. Field trials were carried out at Fazenda Água Limpa and characteristics of agronomic interest were evaluated, such as plant height, panicle length, yield and material weight of recombinant quinoa progenies from BRS Syetetuba and INIA 415 (Peruvian cultivar that presents red grain color). The chemical composition of grains was also analyzed, in triplicate and following the standards developed by the Adolfo Lutz Institute. Furthermore, it also aims to analyze these genotypes for the selection of superior individuals from the estimative of genetic parameters for all these characteristics. The importance of knowledge of the components of variation of segregating populations and heritability was demonstrated, as well as of the correlations between the characters of interest. The genotypes obtained from hybridization were shown to be competitive, with good performance of agronomic characteristics and nutritional quality, similar to the best cultivars available on the market. Qualitative characteristics related to the coloration of calcium oxalate and panicles have monogenic inheritance, following the Mendelian proportion 3:1. The BRS Syetetuba cultivar is a good option as a parent, promoting greater selection gain regarding the contents of lipids, proteins and carbohydrates. The progenies generated showed red coloration of grains and advantages regarding agronomic characteristics and chemical composition in relation to their parents.

Key words: *Chenopodium quinoa*, plant breeding, genetic parameters, chemical composition, productive diversification.

INTRODUÇÃO GERAL

A quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), planta da família Amaranthaceae, é considerada um dos alimentos de maior potencial nutricional da atualidade. O pseudocereal, originário dos Andes, onde tem sido utilizado há milhares de anos, se destaca pela elevada quantidade e qualidade de proteína e ausência de glúten (GORINSTEIN et al., 2008; GARCÍA-SALCEDO et al., 2017; MIRANDA et al., 2002).

Dada sua versatilidade e adaptação às condições da região do Cerrado brasileiro, a cultura se apresenta como uma ótima opção para diversificar a agricultura (SPEHAR, 2007). Possibilita maior oferta de alimentos para humanos e animais, redução do impacto negativo da atividade agropecuária, proteção do solo, além de contribuir para incremento de renda ao produtor (TON; BIJMAN, 2006; SPEHAR, 2007). O desenvolvimento de cultivares adaptadas, com características agronômicas desejáveis tem se mostrado fundamental para a integração da cultura no sistema agrícola brasileiro. Dentre os caracteres para competitividade de genótipos, destacam-se ciclo precoce, elevado rendimento e qualidade de grãos, baixa ramificação, ausência de acamamento e deiscência, maturação uniforme, adaptação à colheita mecanizada e qualidade de sementes (SPEHAR, 2007; ROCHA, 2011).

A quinoa tem sido domesticada e cultivada na região andina há mais de cinco mil anos, tornando-se uma das principais fontes de nutrientes da alimentação dos povos indígenas, antes mesmo dos Incas (REPO-CARRASCO et al., 2003). Devido seu importante papel como fonte de alimentos, como referência religiosa e cultural, durante o período da colonização espanhola houve um forte desencorajamento do cultivo (RISI, 1986; SPEHAR, 2006). O potencial da quinoa foi redescoberto a partir dos anos 1980, causando um aumento significativo na demanda mundial, elevando-se o número de países que cultivam e pesquisam o seu cultivo e usos (BAZILE et al., 2013). Entre 1980 e 2000 houve uma evolução de seis para 50 países, dentre eles o Brasil (BAZILE et al., 2013). A maior parte da produção mundial de quinoa está concentrada na América do Sul, principalmente Peru, Bolívia e Equador, distribuída principalmente entre agricultores familiares e associações. Segundo os objetivos do desenvolvimento sustentável da Organização das Nações Unidas - ONU, a disponibilização de

alimentos em quantidades aceitáveis, nutricionalmente ricos e seguros, tem sido, e deve continuar sendo, prioridade nos próximos anos. A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), destaca o papel que a quinoa pode ter na erradicação da fome no mundo (TIMOSSI, 2013). Desta forma, espera-se que a pesquisa se intensifique, gerando e compartilhando informação sobre cultivo e usos de quinoa, disponibilizando tecnologia nas diferentes áreas de cultivo (BAZILE et al., 2013). Os avanços a se obterem são de extrema importância para o desenvolvimento da cultura e, por consequência, no fortalecimento da segurança alimentar e nutricional das regiões consumidoras (SPEHAR et al., 2013; BAZILE et al., 2013).

O processo de melhoramento para a adaptação da cultura no Brasil, desenvolvido pela Embrapa, foi direcionado à seleção de genótipos com características agronômicas favoráveis ao cultivo na região e ausência de saponina (SPEHAR, 2002; SPEHAR 2007; ROCHA, 2011). As duas cultivares de quinoa desenvolvidas pela Embrapa, amplamente conhecidas e adaptadas à região do Cerrado, são a BRS Piabiru e a BRS Syetetuba, ambas com coloração clara de grãos. O estudo de como se comporta a herança de características agronômicas chave e da composição química dos recursos genéticos disponíveis, com foco para a adaptação de genótipos com grãos coloridos, pode ser um fator que agregue ainda mais valor para o produto final, diversificando e valorizando o mercado.

Objetivo Geral

Estimar parâmetros genéticos e selecionar genótipos de quinoa com adaptabilidade às condições ambientais do Cerrado brasileiro, a partir de hibridações naturais, com características agronômicas e ausência de saponinas.

Objetivos específicos

Avaliar a composição físico-química de progênies recombinantes de quinoa vermelha.

Avaliar características agronômicas de progênies recombinantes de quinoa vermelha.

Estimar parâmetros genéticos em recombinantes de quinoa.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Origem e botânica

A quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) é uma dicotiledônea da família Amaranthaceae que de acordo com a nova revisão filogenética, reúne as famílias Amaranthaceae e Chenopodiaceae (ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP, 1998). O pseudocereal, que pertence à Subfamília Chenopodiodeae, gênero *Chenopodium* é originário da região andina e, provavelmente, foi domesticado há mais de 3.500 metros acima nível do mar na região da bacia do lago Titicaca. Dessa região, teria migrado, por interferência humana, para os vales andinos e outras regiões, abrangendo um território que cobre o norte da Argentina, o Chile, a Bolívia, o Peru, a Colômbia e a Venezuela (PLANELLA, 2015). Por sua composição química (carboidratos, proteínas, lipídios e fibras) e suas características nutricionais que se assemelham às dos cereais, a quinoa é considerada um pseudocereal. Além disso, se destaca pelo teor e qualidade de proteína e ausência de glúten (WILSON, 1990; SPEHAR; SANTOS, 2002; AMAYA-FARFAN et al., 2005). A diferença mais importante entre os cereais e os pseudocereais é que os cereais, além de pertencerem à família Poaceae, são monocotiledôneas. Por outro lado, os pseudocereais pertencem à família Amaranthaceae e são dicotiledôneas. (ABUGOCH, 2009; LI; ZHU, 2017).

O cultivo de quinoa dominou a região andina, por influência dos Incas, onde era amplamente utilizado em rituais religiosos (RISI, 1986). Com a colonização europeia e a necessidade de suprir alimentos em quantidade, o cultivo foi gradativamente substituído por trigo e cevada (RISI, 1986; SPEHAR, 2006). Diante da ocorrência de secas prolongadas e consequente destruição das lavouras de cereais, a quinoa se mostrou como ótima opção dada sua rusticidade e resistência, além da adaptabilidade às condições de solo e clima (CUSACK, 1984; SPEHAR; SANTOS, 2002; SOUZA, 2017)

As espécies do gênero *Chenopodium* são divididas em duas subseções, a subseção *Cellulata*, é composta por plantas alotetraploides que segregam como diploides ($2n = 4x = 36$). No caso da quinoa, por conta do número de cromossomos e pela ploidia, há impedimento

natural de cruzamentos interespecíficos (JELLEN, 2015; ROCHA, 2008).

A quinoa apresenta inflorescência em panícula, com flores femininas e hermafroditas na mesma planta (ginomonoica), de 15 a 70 cm de comprimento. As plantas apresentam estatura média de 190 cm, variando de 0,2 a 3 metros, com dois tipos de inflorescências: i) amarantiforme – nos quais conjuntos de flores (glomérulos) se inserem diretamente nos eixos secundários; ii) glomerulada – glomérulos se inserem nos eixos terciários. (BERTERO; MEDAN; HALL, 1996; SOUZA, 2017). O caule é ereto, ramificado ou não, a depender do genótipo e das condições de cultivo. Na maturação possui coloração variada: amarela, branca, cinza, laranja, marrom, roxa, rosada, preta e verde (JACOBSEN; STOLEN, 1993; FAO, 2013). Na planta as folhas são altamente polimórficas e alternadas. As superiores apresentam formato lanceolado, estão localizadas próximo às panículas. As inferiores são grandes, possuem formato romboidal, com borda inteira, dentada ou serrada. Sobre as folhas pode-se acumular oxalato de cálcio, um sal higroscópico que contribui para reter água, reduzindo a evapotranspiração (JENSEN et al., 2000; FAO, 2013; SOUZA, 2017). Cada fruto (do tipo aquênio) contém uma única semente com pericarpo muito fino; quando maduros podem estar cobertos pelo perigônio, que é formado pelo fechamento das sépalas (HANCCO, 2003; BURRIEZA; LOPEZ-FERNANDEZ; MALDONADO, 2014).

O pericarpo pode apresentar coloração variada: branca, creme, amarela, laranja, vermelha, rosa, roxa, marrom, cinza e preta. O tegumento da semente pode apresentar variação de cor: branco, creme, vermelho, marrom, cinza ou preto, a depender do processo de secagem e maturação (FAO, 2016). As sementes de quinoa são constituídas basicamente por tegumento, embrião, endosperma e o perisperma (PREGO; MALDONADO; OTEGUI, 1998). São pequenas e podem ter forma cilíndrica, cônica, elipsoidal ou lenticular. As sementes são classificadas como grandes quando apresentam diâmetro maior que 2 mm e pequenas quando menores que 1,7 mm (HANCCO, 2003; FAO, 2013). As cultivares brasileiras BRS Piabiru e BRS Syetetuba apresentam, respectivamente, peso de 2,42 e 2,90 g por 1000 sementes (SPEHAR; SANTOS, 2002; SPEHAR et al., 2011).

Pela semelhança da planta, quando em sua fase inicial, pode-se definir a quinoa como "um espinafre que produz grãos". Na maturação, os cachos (panículas) são semelhantes aos do sorgo. Há, entretanto, diversas colorações, entre amarelo e roxo. Pela quantidade de biomassa

que produz, constitui alternativa para proteção do solo em plantio direto no Cerrado (SPEHAR, 1998; SPEHAR; CABEZAS, 2000).

A Quinoa no Mundo

Com o aumento significativo da demanda de quinoa e seus subprodutos no mercado internacional, tem-se observado, em consequência, o rápido aumento da área cultivada (Tabela 1.1) (BAZILE et al., 2013). Na atualidade, os maiores exportadores mundiais de quinoa são Peru, Bolívia e Equador, somando aproximadamente 84,2% do total exportado (FURCHE et al., 2013). Estados Unidos e a União Europeia contam juntos com cerca de 16%. A partir de 2006 houve o aumento das exportações na América Latina e em 2012 o valor das exportações chegou a 131 milhões de dólares. Os principais destinos foram os Estados Unidos com 53% seguido do Canadá com 15% das compras mundiais. (FURCHE et al., 2013; FAOSTAT, 2019)

Tabela 1.1 - Área cultivada, produtividade e produção anual de quinoa

	Área --ha--		Produtividade --t/ha--		Produção --t--	
	2016	2017	2016	2017	2016	2017
Bolívia	118913	110639	0,5512	0,6037	65548	66792
Equador	2214	882	1,7633	1,458	3903	1286
Peru	64223	61721	1,2343	1,2744	79269	78657
América Latina	185350	173242	0,8024	0,847	148720	146735
Mundo	185350	173242	0,8024	0,847	148720	146735

Fonte: (FAOSTAT, 2019)

A quinoa no Brasil

Não somente no Brasil, mas em grande parte do mundo, os dados relacionados à produção de quinoa são deficitários. Muitas vezes os países não têm dimensão do mercado interno, tampouco da produção nacional. No Brasil, a pesquisa direcionada ao cultivo de quinoa, teve início nos anos 1990 (SPEHAR; SOUZA, 1993). A espécie apresenta diversidade, com ciclo variável entre 80 e 150 dias no Brasil Central. A cultivar BRS Piabiru, selecionada em uma população procedente de Quito no Equador, foi a primeira recomendação de quinoa ao cultivo no Brasil e originou-se da linhagem EC 3. Suas características agronômicas foram estabilizadas, apresentando resultados promissores como potencial componente do sistema de plantio direto, apresentando, na entressafra, em sucessão à soja, produção média de 2,8 t/ha (SPEHAR; SANTOS, 2002).

De acordo com as condições geográficas do Cerrado, altitudes entre 800 m e 1100 m e latitude aproximada de 15° S, genótipos com ciclo precoce são altamente desejáveis, principalmente em função da facilidade de manejo do campo, rendimento e eficiência relativa e a qualidade do produto colhido (SPEHAR; SANTOS, 2005). De acordo com Spehar e Santos (2002), a elevada produção de biomassa, associada ao ciclo mais tardio nem sempre vem acompanhada de maior rendimento e qualidade de grãos.

A cultivar BRS Syetetuba (que em tupi-guarani significa sementes boas e abundantes), desenvolvida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), foi selecionada a partir da população Q4, oriunda de altitudes de, em média, 2500 m, dos vales andinos do Equador. A partir disso de acordo com parâmetros agronômicos e morfológicos, foi selecionada a progênie Q4.5, apresentando características agronômicas desejáveis e certa homogeneidade fenotípica. (SPEHAR; ROCHA, 2011).

A BRS Syetetuba possui estatura mediana de 1,8m da qual a inflorescência representa aproximadamente um terço. Apresenta coloração rosa claro no hipocótilo e acúmulo de oxalato de cálcio nas folhas, típico da espécie, a qual, por ser higroscópica, retém umidade (JENSEN et al., 2000). A inflorescência se caracteriza por apresentar coloração amarela quando a planta atinge a maturação fisiológica, é diferenciada e terminal, amarantiforme e laxa. Os grãos apresentam formato achatado e cilíndrico, pericarpo branco envolvido pelo perigônio. A diferenciação floral, antese e maturação fisiológica ocorrem, respectivamente, aos 30, 45 e 120 dias após a emergência (ROCHA, 2011).

O plantio pode ser realizado na safrinha e entressafra e para a colheita de grãos com qualidade, o planejamento se faz necessário, com semeadura entre janeiro e junho, garantindo a colheita em época seca. Semelhante à soja e o trigo, a BRS Syetetuba, a planta inteira entra em senescência e seca, facilitando a colheita (SPEHAR; SANTOS, 2005).

Diversificação produtiva

O cerrado é o segundo maior bioma da América Latina, com uma área de aproximadamente dois milhões de km². Desta área, aproximadamente 29% é ocupada por pastagens plantadas, 11,7% com áreas agrícolas e 1,5% com silvicultura (BRASIL, 2015). O fortalecimento das atividades de planejamento para o uso sustentável dos recursos naturais, melhorias na infraestrutura e investimento em pesquisa são cada vez mais necessários em função da expansão agrícola em curso. Os processos de intensificação e diversificação agrícola e a análise de suas potencialidades também são de extrema importância nesse cenário, e a introdução do tema sustentabilidade e planejamento estratégico enriquecem ainda mais as discussões. As pesquisas que envolvem o bioma cerrado são essenciais para subsidiar o equilíbrio entre três atores estratégicos: a sociedade, o agronegócio e os recursos naturais (FALEIRO; FARIAS NETO, 2008; VICTORIA et al., 2020).

Uma das formas de se entender a diversificação é defini-la como uma estratégia necessária para reduzir a vulnerabilidade das famílias frente às incertezas que estão expostas (NIEHOF, 2004). A diversificação abrange diferentes fatores, dependendo do ponto de vista que está em foco, do ponto de vista econômico seria a disponibilidade de diferentes tipos de produtos em uma mesma região, do ponto de vista ambiental seria um mosaico de diferentes formas de uso da terra, intercalados em diferentes tipos de ecossistemas e áreas naturais protegidas. Na produção agrícola, a diversificação de produção, além de apresentar benefícios sociais e econômicos, evidenciam grandes benefícios ambientais, que são chave para que a agricultura e o desenvolvimento agropecuário se mantenha sustentável à longo prazo (MONASTERIO, 2014). A partir dos desafios já implantados na agenda 2020/2030 de desenvolvimento sustentável, a Embrapa, destaca para o futuro da agricultura, o crescimento de incentivos à diversificação produtiva animal e vegetal da região (VICTORIA et al., 2020).

Em algumas regiões, onde a agricultura avançou muito nos últimos anos, aumentando de forma considerável o retorno financeiro sobre a produção agrícola, a diversificação da produção agrícola é um fator muito presente (CALDEIRA, 2020).

O estabelecimento de sistemas produtivos sustentáveis na região do Planalto Central do Brasil é dificultado principalmente pelo reduzido número de espécies das quais são compostos (PIRES, 2000; SPEHAR; SANTOS, 2002). O cultivo de quinoa se apresenta como uma alternativa de sucessão no sistema de produção de plantio direto no Cerrado. Além do consumo direto, os grãos podem ser utilizados por indústrias de alimentos para humanos e animais e a planta inteira pode ser utilizada na alimentação animal promovendo um sistema de lavoura-pecuária (RESTREPO et al., 2002; SPEHAR; SANTOS, 2002).

Qualidade Nutricional de Quinoa

A quinoa apresenta um enorme potencial nutricional, devido à sua composição química de grãos (MUJICA et al., 2001). O pseudocereal se destaca pelo alto valor biológico de proteína, contendo todos os aminoácidos essenciais, sendo comumente comparada com a caseína, a proteína do leite (RIDOUT et al., 1991; KOZIOL, 1992; VEGA-GÁLVEZ et al., 2010).

Como apresentado na Tabela 1.2, a composição química de quinoa é bastante variada, dependendo da região produtora, dos genótipos utilizados e das condições edafoclimáticas (VEGA-GÁLVEZ et al., 2010). No Brasil, a cultivar BRS Syetetuba, tem sido bastante promissora, não somente quanto às características agronômicas, como também em relação à composição química dos grãos. Essa cultivar foi desenvolvida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (SPEHAR; ROCHA; SANTOS, 2011).

Tabela 1.2 - Variações de composição aproximada em genótipos de grãos de quinoa.

Componente	De Bruin, 1963	Dini et al., 1992	Koziol, 1992	Wright et al., 2002	Ascheri et al., 2002	USDA, 2005	Rocha, 2011¹
Proteínas	16.5	12.5	16,5	16,7	12,2	14,12	18,77
Lipídios	7.4	8.5	6,3	5,5	5,6	6,07	6,15
Carboidratos	69.7	60.0	69,0	74,7	70,5	64,16	49,6
Fibras	2.9	1.92	3,8	10,5	4.4	7,0	12,24
Resíduos	3.0	3.7	3,8	3,2	2,3	2,7	3,73
Minerais							

Fonte: Adaptada de VEGA-GÁLVEZ et al. (2010); ¹ BRS Syetetuba

Apesar de, normalmente, serem utilizados apenas os grãos para a alimentação, as folhas de quinoa também são excelente fonte de proteínas, fibras, minerais e vitaminas. Seu uso na culinária deve ser, preferencialmente, em misturas com outras plantas ou em preparados cozidos que contribuam para diluir a quantidade de nitratos. Ainda são necessários mais estudos sobre a composição das folhas, as quais podem ser consumidas como espinafre, por sua semelhança, possuindo proteína em abundancia por toda a planta se apresenta como uma ótima opção na produção de forragem (TAPIA, 1990)

Em comparação com outros alimentos, a quinoa se destaca pelo balanceamento de nutrientes (Tabela 1.3). Principalmente em relação aos cereais, a quantidade de proteínas é bastante superior, apresentando todos os aminoácidos essenciais em quantidades aceitáveis, além de apresentar outra vantagem em comparação ao trigo que é a ausência de glúten (KOZIOL,1992).

Tabela 1.3 - Composição de cereais e leguminosas em relação à quinoa (g/100g).

Composto	Quinoa	Arroz	Cevada	Trigo	Milho	Feijão	Soja
Gorduras	6.3	2.2	1.9	2.3	4.7	1.1	18.9
Proteína	16.5	7.6	10.8	14.2	10.2	28	36.1
Resíduos Minerais	3.8	3.4	2.2	2.2	1.7	4.7	5.3
Fibra	3.8	6.4	2.8	2.8	2.3	5	5.6
Carboidratos	69.0	80.4	80.7	78.4	81.1	61.2	34.1

Fonte: KOZIOL (1992)

Proteínas

A qualidade nutricional das proteínas é determinada pela capacidade de proporcionar, em quantidades aceitáveis, os aminoácidos essenciais, compostos que não são sintetizados naturalmente pelos animais, porém são necessários para o correto funcionamento do corpo (WILD, 2010). Quando ausentes na dieta, qualquer um desses aminoácidos essenciais (fenilalanina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, tirosina, treonina, triptofano e valina – Tabela 1.4), causa deficiência no crescimento e desenvolvimento dos animais (REPO-CARRASCO *et al*, 2003; VEGA-GÁLVEZ *et al*, 2010).

Tabela 1.4 - Comparação entre perfil de aminoácidos de quinoa e cereais em relação à recomendação da FAO

	Recomendação ^a	Quinoa ^b	Milho ^b	Arroz ^b	Trigo ^b
Histidina	1.6	3.2	2.6	2.1	2.0
Isoleucina	3	4.4	4.0	4.1	4.2
Leucina	6.1	6.6	12.5	8.2	6.8
Lisina	4.8	6.1	2.9	3.8	2.6
Metionina + Cisteína	2.3	4.8	4	3.6	3.7
Fenilalanina + Tirosina	4.1	7.3	8.6	10.5	8.2
Treonina	2.5	3.8	3.8	3.8	2.8
Triptofano	0.66	0.7	0.7	1.1	1.2
Valina	4	4.5	5	6.1	4.4

^a (FAO, 1985; GEISSLER; POWER, 2017); ^b (KOZIOL, 1992)

A proteína de quinoa apresenta quantidades muito altas de aminoácidos essenciais. Em relação aos valores diários recomendados para a nutrição adulta de consumo (Tabela 1.4), fornece cerca de 338% de lisina, 331% de treonina, 323% de valina, 320% da fenilalanina + tirosina, 274% de isoleucina, 228% de triptofano, 212 de metionina + cisteína e 180% da histidina (FAO, 1985; JAMES, 2009; VEGA-GALVEZ *et al.*, 2010). Provavelmente pelo tipo de solo onde a planta foi originada (vulcânica), em comparação com outras plantas, a quinoa apresenta quantidades altíssimas de cistina e metionina (VEGA-GALVEZ *et al.*, 2010). Além disso é uma das plantas com melhores concentrações de proteínas nas folhas, potencialmente

muito indicada tanto para alimentação humana quanto para alimentação animal (TAPIA, 1990; BHARGAVA et al., 2005).

Carboidratos

Classificado como carboidrato disponível, o amido é a fonte principal de energia fisiológica da dieta humana e é o principal constituinte biopolímero das plantas, presente nos grãos, sementes e tubérculos (VEGA-GALVEZ et al., 2010). Representando, aproximadamente, entre 59 e 65% da matéria seca da quinoa, o amido é o carboidrato mais importante, dos quais 11% são amilase (LORENZ, 1990; AHAMED et al., 1998).

O amido de quinoa é menor do que o de grãos comuns, como o milho, possuindo diâmetro de 2 μm e forma poligonal. Por seu tamanho extremamente pequeno e sua excelente estabilidade de congelamento-descongelamento, o amido de quinoa pode ser aproveitado como enchimento biodegradável de embalagens de polímero e como espessante em alimentos congelados (KOZIOL, 1990; AHAMED et al., 1998; SPEHAR, 2006; VEGA-GALVEZ et al., 2010). Possui baixos teores de glicose e frutose em contraponto à alta porcentagem de D-xilose e maltose, permitindo sua utilização em bebidas maltadas (VEGA-GALVEZ et al., 2010).

Vitaminas e Minerais

Outro fator que retifica a quinoa como um superalimento é a quantidade de vitaminas e minerais disponíveis nos grãos em comparação com seus similares (Tabela 1.5). Possui alto teor de cálcio, cobre, ferro, magnésio e zinco (KOZIOL, 1992; AHAMED, 1998). As vitaminas são divididas em dois grupos, de acordo com sua solubilidade, em: hidrossolúveis e lipossolúveis. É rica em α -caroteno e niacina (B3), tiamina (B1) (0,4 mg 100 g⁻¹), vitamina C (16,4 mg 100 g⁻¹), ácido fólico (B9) (78,1 mg 100 g⁻¹), riboflavina (B2), α -tocoferol (vitamina E) e Vitamina A (ZENG, 2009; VEGA-GALVEZ et al., 2010).

Tabela 1.5 - Conteúdo de minerais de quinoa em relação aos cereais (mg/100g dw)

	Quinoa	Milho	Arroz	Trigo
Cálcio	148.7	17.1	6.9	50.3
Magnésio	249.6	137.1	73.5	169.4
Fosforo	383.7	292.6	137.8	467.7
Potássio	926.7	377.1	118.3	578.3

Fonte: Adaptado de KOZIOL (1992)

Em relação aos cereais, a quinoa apresenta conteúdo vitamínico superior aos do arroz, cevada e trigo, constatando maiores teores de vitamina B2, vitamina E, vitamina C e β -caroteno que os cereais (RISI, 1984; KOZIOL, 1992; VEGA-GALVEZ et al., 2010). A vitamina E age como antioxidante ao nível da membrana celular, protegendo contra os danos causados pelos radicais livre. Algumas vitaminas também podem ajudar a diminuir os níveis de compostos tóxicos formados em reações químicas e são essenciais para a saúde dos seres humanos e animais (REPO-CARRASCO et al., 2003; VEGA-GALVEZ et al., 2010).

Lipídios

Em comparação com o milho a quinoa apresenta uma taxa maior de óleo, variando de 1,9 a 9,5 enquanto que a gramínea apresenta 5,0 a 7,2. Os ácidos graxos essenciais, são divididos em duas famílias: ômega 3 e ômega 6. Diferente dos ácidos graxos não essenciais, eles não são sintetizados no corpo humano sendo assim necessária a introdução de alimentos contendo tais compostos na alimentação humana. (KOZIOL, 1992; JAMES, 2009; MOYAD, 2005; VEGA-GALVEZ et al., 2010) O ácido linoleico é um dos ácidos graxos poli-insaturados mais abundantes encontrados na quinoa, é metabolizado para ácido araquidônico, ácido linolênico, ácido eicosapentaenoico (EPA) e ácido docosaenoico (DHA). Além de melhorar a sensibilidade à insulina os ácidos poli-insaturados têm efeitos positivos sobre doenças cardiovasculares. Da quantidade total de lipídios na quinoa, o teor de insaturadas pode ser superior a 70% (Tabela 1.6). A vitamina E presente na quinoa age como um antioxidante natural, protegendo os ácidos graxos presentes e preservando a saúde humana. (DINI et al., 1992; REPO-CARRASCO et al., 2003; VEGA-GALVEZ et al., 2010).

Tabela 1.6 - Ácidos graxos insaturados em quinoa (g 100 g⁻¹)

Ácido Graxo	Koziol, 1992	Repo-Carrasco et al., 2003	Ruales; Nair, 1993
Oleico	23.3	26.0	24.8
Linoleico	53.1	50.2	52.3
Linolenico	6.2	4.8	3.9

Fonte: Adaptado de VEGA-GALVEZ (2010)

Cálcio

De acordo com Lopes (2009), a farinha de quinoa apresenta cerca de 110mg/100g, valor muito superior ao apresentado por outros cereais comumente consumidos no Brasil, como: milho (3mg/100g), trigo (18mg/100g) e arroz (7mg/100g) (LOPES, 2009; NEPA. 2009). A recomendação diária de consumo de cálcio para a dieta de humanos, é de 800 mg para adultos. Desta forma, o consumo de 100 gramas de quinoa por dia, assegura 14% da quantidade de cálcio necessária para uma dieta saudável (LOPES, 2009; NEPA. 2009; BRASIL, 2006).

Outro fator relevante é a variabilidade da biodisponibilidade de cálcio nos alimentos, de acordo com outros nutrientes. Alimentos que apresentam mais ácido fítico e oxálico apresentam menor absorção do que alimentos ricos em carboidratos e vitamina C. Outro fator que interfere na adequada absorção do cálcio é a Vitamina D, como esse nutriente também é disponibilizado a partir da ação da luz solar na pele, esse fator depende também de fatores não dietéticos. (LOPES, 2009; BUZINARO et al., 2006; MAHAN, 2002)

Saponina

O acúmulo de saponina, como são genericamente chamados os glicosídeos (ácido oleanólico, hederagenina, ácido fitolacagênico e ácido desoxi-fitolacagênico), é um fator chave a ser considerado no melhoramento de quinoa. A saponina confere gosto amargo aos grãos, limitando a utilização direta e dificultando inserção da granífera ao sistema de produção

(SOUZA et al., 2004; TELLERÍA RÍOS et al., 1978). A forma mais prática de avaliar a presença de saponina é a partir do método de produção de coluna de espuma, o método consiste na avaliação da altura da coluna de espuma formada num tubo de ensaio contendo sementes e água. A praticidade de execução do método facilita a identificação de genótipos para a utilização em programas de melhoramento (RISI, 1986).

Escarificação, aquecimento e lavagem são processos que podem ser empregados para a retirada desses glicosídeos, porém são trabalhosos e caros tornando-os pouco viáveis (SOUZA; SPEHAR; SANTOS, 2004; GALWEY et al., 1990; RUALES; NAIR, 1992). A variação dos níveis de saponina é grande e se dá em razão de um par de alelos dominantes, a variação da frequência desses alelos se dá pela polinização cruzada natural e do efeito de seleção por pássaros. Quanto maior a frequência, mais amarga se apresentam os grãos (SOUZA et al., 2004; PAZ CUENTAS, 1971; RIVERO, 1994).

O Codex Alimentarius estabeleceu limite máximo de presença de saponinas de 0,12 % m/m, esse valor foi considerado o máximo conveniente para o consumo em grãos de quinoa com um teor de umidade de 13,5% wb, o que representa 0,14% (m/m) em unidade de base seca (CODEX ALIMENTARIUS, 2019)

Diversos estudos já comprovaram o potencial do uso de Saponinas provenientes de quinoa como agentes de controle de moluscos, tanto em condições de campo como em laboratório. Na Espanha, experimento desenvolvido para estudar o controle *P. maculata* em campos de arroz, demonstrou que houve o fechamento do opérculo dos moluscos entre 20 e 60 minutos após a aplicação, o que significa que mesmo vivos, houve o impedimento da alimentação, o que anula os danos. O mesmo foi identificado em experimentos na Argentina, Brasil e Filipinas (CASTILLO-RUIZ et al., 2018; JOSHI et al., 2008; SAN MARTÍN et al., 2008, 2009).

Estimativa de parâmetros genéticos

Em um programa de melhoramento, o conhecimento do comportamento da expressão de características de interesse é essencial. Sabendo que a expressão fenotípica de uma característica é dada pela relação entre fatores genéticos e ambientais, um mesmo genótipo pode

apresentar variação oriunda desses dois fatores. Visualmente, pode-se avaliar a variação fenotípica de um conjunto de genótipos, porém, para o processo de melhoramento, o fitomelhorista busca variação genética entre os materiais disponíveis, sendo fundamental o desdobramento dos componentes da variação, para definir o que é genético e o que é ambiental (MITTELMANN et al., 2000) Estimando os parâmetros genéticos dos diferentes genótipos disponíveis, o melhorista pode inferir sobre como tais caracteres se comportam e prospectar ganhos de seleção.

A correlação entre características é outro fator fundamental no processo de melhoramento. A seleção sobre determinado caráter pode influenciar na expressão de outro, tanto positivo quanto negativamente, exigindo atenção redobrada do melhorista (CIA et al., 1999; CORREA et al., 2003).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASCHERI, J. L. R.; SPEHAR, C. R.; NASCIMENTO, R. E. Caracterización química comparativa de harinas instantaneas por extrusión de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), maíz y arroz. **Alimentaria**, n. 331, p. 89-92, 2002.

ABUGOCH, L.; CASTRO, E.; TAPIA, C.; AÑÓN, M. C.; GAJARDO, P.; VILLARROEL, A. Stability of quinoa flour proteins (*Chenopodium quinoa* Willd.) during storage. **International journal of food science & technology**, v. 44, n. 10, p. 2013-2020, 2009.

AHAMED, N. T.; SINGHAL, R. S.; KULKARNI, P. R.; PAL, M. A lesser-known grain, *Chenopodium quinoa*: Review of the chemical composition of its edible parts. **Food and Nutrition Bulletin**, v. 19, n. 1, p. 61-70, 1998.

AMAYA-FARFAN, A; MARCÍLIO, R.; SPEHAR, C. R. A proposta do amaranto. **Segurança Alimentar e Nutricional**, v.12, n.1, p.47-56, 2005

APG.ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP. An ordinal classification for the families of flowering plants. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v.85, p.531-553, 1998.

BAZILE, D.; SALCEDO S.; SANTIVANEZ, T. 2015. Conclusions: challenges, opportunities and threats to quinoa in the face of global change. Chapter 7.1. In FAO & CIRAD. **State of the Art Report of Quinoa in the World in 2013**, p. 586-589. Rome.

BHARGAVA, A.; RANA, T. S.; SHUKLA, S.; OHRI, D. Seed protein electrophoresis of some cultivated and wild species of *Chenopodium*. **Biologia plantarum**, v. 49, n. 4, p. 505-511, 2005.

BUZINARO, E. F.; ALMEIDA, R. N.; MAZETO, G. M.F.S. Biodisponibilidade do cálcio

dietético. *Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia*, v. 50, n. 5, p. 852-861, 2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Projeto TerraClass Cerrado: **mapeamento do uso e cobertura vegetal do Cerrado**. Brasília, DF, 2015. 67 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Guia alimentar para a população brasileira: promovendo a alimentação saudável**. (Série A. Normas e Manuais Técnicos). Brasília, DF, 2006. 210 p.

CALDEIRA, C.; PARRÉ, J. L. Diversificação agropecuária e desenvolvimento rural no bioma Cerrado. **Revista Americana de Empreendedorismo e Inovação**, v. 2, n. 1, p. 344-359, 2020.

CASTILLO-RUIZ, M.; CAÑON-JONES, H.; SCHLOTTERBECK, T.; LOPEZ, M. A.; TOMAS, Á.; SAN MARTÍN, R. Safety and efficacy of quinoa (*Chenopodium quinoa*) saponins derived molluscicide to control of *Pomacea maculata* in rice fields in the Ebro Delta, Spain. **Crop protection**, v. 111, p. 42-49, 2018.

CIA, E.; FREIRE, E. C.; DOS SANTOS, W. J. **Cultura do algodoeiro**. POTAFOS, 1999.

CODEX ALIMENTARIUS, STANDARD FOR QUINOA, CXS 333-2019, Rome, 2019.

CORREA, A. M.; GONÇALVES, M. C.; DESTRO, D.; DE SOUZA, L. C. F.; SOBRINHO, T. A. Estimates of genetic parameters in common bean genotypes. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 3, n. 3, 2003.

CUSACK, D. Quinoa: grain of the Incas. **Ecologist**, v. 14, n.1, p. 21-31, 1984.

DAVIS, A. S.; HILL, J. D.; CHASE, C. A.; JOHANNNS, A. M.; LIEBMAN, M. Increasing cropping system diversity balances productivity, profitability and environmental health. *Plos one*, v. 7, n. 10, 2012

DINI, A.; RASTRELLI, L.; SATURNINO, P.; SCHETTINO, O. A compositional study of *Chenopodium quinoa* seeds. **Food/Nahrung**, v. 36, n. 4, p. 400-404, 1992.

FALEIRO, F. G.; FARIAS NETO, A. L. **Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. 1198 p.

FAO. Energy and protein requirements. **Report of a joint FAO/WHO/UNU meeting**. World Health Organization, Geneva. 1985.

FAO. **La ONU declara al 2013 Año Internacional de la Quinoa**. Disponível em: http://www.fao.org/agronoticias/agronoticias/detalle/es/?dyna_fef%5Buid%5D=11928. Acesso em: 22 de jul. 2020.

FAOSTAT. Área colhida, rendimento e produção nos principais países produtores de quinoa. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/>>. Acesso em: 13 março. 2019.

FURCHE, C.; SALCEDO, S.; KRIVONOS, E.; RABCZUK, P.; JARA, B., FERNANDEZ, D.; CORREA, F. International quinoa trade. **State of the art report on quinoa around the world** in, p. 316-329, 2013.

GALWEY, N.W.; LEAKEY, C.L.A.; PRICE, K.R.; FENWICK, G.R. Chemical composition and nutritional characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **Food Sciences and Nutrition**, v.42F, p.245-261, 1990.

GARCÍA-SALCEDO, A. J.; TORRES-VARGAS, O. L.; ARIZA-CALDERÓN, H. Physical-chemical characterization of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), amaranth (*Amaranthus caudatus* L.), and chia (*Salvia hispânica* L.) flours and seeds. **Acya Agronomy**, 67 (2), p 215-222, 2017.

GEISSLER, C.; POWERS, H. J. (Ed.). **Human nutrition**. Oxford University Press, 2017.

GORINSTEIN, S.; LOJEK, A.; CÍZ, M.; PAWELZIK, E.; DELGADO-LICON, E.; MEDINA, O. J.; MORENO, M.; SALAS, I. A.; GOSHEV, I. Comparison of composition and antioxidant capacity of some cereals and pseudocereals. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 43, n. 3, p. 629-637, 2008.

JACOBSEN, E. S.; MUJICA, A.; JENSEN, C. R. The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to adverse abiotic conditions. **Food Reviews International**, London, v. 19, n. 1/2, p. 99-109, 2003.

JACOBSEN, S.-E.; STØLEN, O. Quinoa-morphology, phenology and prospects for its production as a new crop in Europe. **European Journal of Agronomy**, v. 2, n. 1, p. 19-29, 1993.

JAMES, L. E. A. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): composition, chemistry, nutritional, and functional properties. **Advances in food and nutrition research**, v. 58, p. 1-31, 2009.

JELLEN, E.N.; MAUGHAN, P.J.; FUENTES, F.; KOLANO, B.A. 2015. Botany, phylogeny and evolution. Chapter 1.1. In FAO & CIRAD. **State of the Art Report of Quinoa in the World** in 2013, p. 12-23. Rome.

JENSEN, C. R.; JACOBSEN, S. E.; ANDERSEN, M. N.; NUNEZ, N.; ANDERSEN, S. D.; RASMUSSEN, L.; MOGENSEN, V. O. Leaf gas exchange and water relation characteristics of field quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) during soil drying. **European Journal of Agronomy**, v. 13, n. 1, p. 11-25, 2000.

JOSHI, R. C.; SAN MARTÍN, R.; SAEZ-NAVARRETE, C.; ALARCON, J.; SAINZ, J.;

ANTOLIN, M. M.; MARTIN, A. R.; SEBASTIAN, L. S. Efficacy of quinoa (*Chenopodium quinoa*) saponins against golden apple snail (*Pomacea canaliculata*) in the Philippines under laboratory conditions. **Crop Protection**, v. 27, n. 3-5, p. 553-557, 2008.

KOZIOŁ, M. J. Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **Journal of food composition and analysis**, v. 5, n. 1, p. 35-68, 1992.

LI, G.; ZHU, F. Amylopectin molecular structure in relation to physicochemical properties of quinoa starch. **Carbohydrate polymers**, v. 164, p. 396-402, 2017.

LIN, B. B. Resilience in agriculture through crop diversification: adaptive management for environmental change. *Bioscience*, v. 61, n. 3, p. 183-193, 2011.

LOPES, C. D. O.; DESSIMONI, G. V.; COSTA DA SILVA, M.; VIEIRA, G.; PINTO, N. A. V. D. Aproveitamento, composição nutricional e antinutricional da farinha de quinoa (*Chenopodium quinoa*). **Alimentos e nutrição**, v. 20, n. 4, p. 669-675, 2009.

LORENZ, K. Quinoa (*Chenopodium quinoa*) Starch—Physico-chemical Properties and Functional Characteristics. **Starch-Stärke**, v. 42, n. 3, p. 81-86, 1990.

MAHAN, K. L.; ALIMENTOS, Escott-Stump S. Krause. **Nutrição e dietoterapia**. 10ª edição. São Paulo: Roca, 2002

MIRANDA, M.; VEJA-GÁLVEZ, A.; QUISPE-FUENTES, I.; RODRÍGUEZ, M. J.; MAUREIRA, H.; MARTÍNEZ, E. A. Nutritional aspects of six quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) ecotypes from three geographical areas of Chile. **Chilean Journal of Agricultural Research**, 72 (2), p 175-181, 2012.

MITTELMANN, A.; BARBOSA NETO, J. F.; CARVALHO, F. I. F. D.; LEMOS, M. C. I.; CONCEIÇÃO, L. D. H. D. Inheritance of wheat traits related to bread-making

quality. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 5, p. 975-983, 2000.

MONASTERIO, L. M.; NERI, M. C.; SOARES, S. S. D. **Brasil em desenvolvimento 2014: estado, planejamento e políticas públicas-volumes 1 e 2**. IPEA, 2014.

MOYAD, M. A. An introduction to dietary/supplemental omega-3 fatty acids for general health and prevention: part II. In: **Urologic Oncology: Seminars and Original Investigations**. Elsevier, p. 36-48. 2005.

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

NEPA. (NÚCLEO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM ALIMENTAÇÃO). **Tabela brasileira de composição de alimentos - TACO**. Versão II. 2.ed. Campinas: UNICAMP, 2006. 113p.

NG, S. C.; ANDERSON, A.; COKER, J.; ONDRUS, M. Characterization of lipid oxidation products in quinoa (*Chenopodium quinoa*). **Food Chemistry**, v. 101, n. 1, p. 185-192, 2007.

NIEHOF, A. The significance of diversification for rural livelihood systems. **Food policy**, v. 29, n. 4, p. 321-338, 2004.

PAZ CUENTAS, M.A. Herancia del contenido de saponina en quinoa. 1971. 94p. Tesis (Graduação) - Universidad Nacional Técnica del Altiplano, Puno.

PIRES, M. O. Programas agrícolas na ocupação do Cerrado. **Sociedade e cultura**, v. 3, n. 1-2, p. 111-131, 2000.

PLANELLA, M. T., LÓPEZ, M. L., BRUNO, M. C. 2015. La Domesticación y Distribución

Prehistórica. Capítulo 1.3. In FAO & CIRAD. **ESTADO DEL ARTE DE LA QUINUA en el mundo en 2013**, p. 33-48. Roma.

REPO-CARRASCO, R.; ESPINOZA, C.; JACOBSEN, S.-E. Nutritional value and use of the Andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). **Food reviews international**, v. 19, n. 1-2, p. 179-189, 2003.

RESTREPO, L. A. M.; VIANCHÁ, L. M.; BALLESTEROS, J. P. Análisis de variables estratégicas para la conformación de una cadena productiva de quinua en Colombia. INNOVAR. **Revista de Ciencias Administrativas y Sociales**, v. 15, n. 25, p. 103-119, 2005.

RIDOUT, C. L.; PRICE, K. R.; DUPONT, M. S.; PARKER, M. L.; FENWICK, G. R. Quinoa saponins—analysis and preliminary investigations into the effects of reduction by processing. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 54, n. 2, p. 165-176, 1991.

RISI, J. C. The Chenopodium grains of the Andes: Inca crops for modern agriculture. **Adv. Applied Biology**, v. 10, p. 145-216, 1984.

RISI, J. J. M. **Adaptation of the Andean grain crop quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) for cultivation in Britain**. 1986. Tese de Doutorado. University of Cambridge.

RIVERO, J. L. Genética y mejoramiento de cultivos altoandinos quinua, kañihua, tarwi, kiwicha, papa amarga, olluco, mashua y oca. **Programa Interinstitucional de Waru Waru.**, 1994.

ROCHA, J. E. S. **Controle genético de caracteres agronômicos em Quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild)**. Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2011, 144p. Tese de Doutorado.

ROCHA, J. E. S. **Seleção de genótipos de quinoa com características agronômicas e estabilidade de rendimento no Planalto Central**. Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2008, 115p. Dissertação de Mestrado.

RUALES, J.; NAIR, B.M. Nutritional quality of protein in quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) seeds. **Plant Foods for Human Nutrition**, v.42, p.1-11, 1992.

SAN-MARTÍN, R.; GELMI, C.; DE OLIVEIRA, J. V.; GALO, J. L.; PRANTO, H. Use of a saponin based molluscicide to control Pomacea canaliculata snails in Southern Brazil. **Natural product communications**, v. 4, n. 10, 2009.

MARTÍN, R. S.; GELMI, C.; DE OLIVEIRA, J. V.; GALO, J. L.; PRANTO, H. Novel molluscicide against Pomacea canaliculata based on quinoa (*Chenopodium quinoa*) saponins. **Crop Protection**, v. 27, n. 3-5, p. 310-319, 2008.

SOUZA, F. F. **Descrição de estádios fenológicos, maturação, qualidade fisiológica de sementes e diversidade genética em quinoa**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2017, 207p. Tese de Doutorado.

SOUZA, L. A. C.; SPEHAR, C. R.; SANTOS, R. L. B. Análise de imagem para determinação do teor de saponina em quinoa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 4, p. 397-401, 2004.

SPEHAR, C. R.; ROCHA, J. E. S. Effect of sowing density on plant growth and development of quinoa, genotype 4.5, in the Brazilian savannah highlands. **Bioscience Journal**, Uberlandia, v. 25, n. 4, p. 53-58, 2009.

SPEHAR, C. R.; ROCHA, J. E. S. Exploiting genotypic variability from low-altitude Brazilian savannah-adapted *Chenopodium quinoa*. **Euphytica**, Dordrecht, v. 175, n. 1, p. 13-21, 2010.

SPEHAR, C. R.; ROCHA, J. E. S.; BARROS SANTOS, R. L. de. Desempenho agrônomo e recomendações para cultivo de quinoa (BRS Syetetuba) no cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 1, 2011.

SPEHAR, C. R.; SANTOS, R. L. B. Agronomic performance of quinoa selected in the Brazilian savannah. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, n. 6, p. 609-612, 2005.

SPEHAR, C. R.; SANTOS, R. L. B.; VELOSO, R. F. Quinoa: alternativa para a diversificação agrícola e alimentar. **Planaltina: Embrapa Cerrados**, v. 1, 2007.

SPEHAR, C. R.; SANTOS, R. L. de B. Quinoa BRS Piabiru: alternativa para diversificar os sistemas de produção de grãos. **Pesq. agropec. Bras.** Brasília, v. 37, n. 6, p. 809-893, June 2002.

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

SPEHAR, C.R.; ROCHA, J.E. S; RIBEIRO JUNIOR, W. Q.; SANTOS, R.L.B; ASCHERI, J.L.R; SOUZA, F.F.J. 2015. Advances and Challenges for Quinoa Production and Utilization in Brazil. Chapter 6.4.2. In FAO & CIRAD. **State of the Art Report of Quinoa in the World in 2013**, p. 562-583. Rome.

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

TAPIA, M. E. **Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación**. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1990.

TELLERIA RIOS, M. L.; SGARBIERI, V. C. Evaluación química y biológica de la quinoa

(*Chenopodium quinoa* Willd). Influencia de la extracción de las saponinas por tratamiento térmico. **Archivos latinoamericanos de nutrición**, 1978.

TIMOSSI, A. J. Ano Internacional da quinoa. **AgroANALYSIS**, v. 33, n. 05, p. 30, 2013.

TON, G.; BIJMAN, J. The role of producer organizations in the process of developing an integrated supply chain; experiences from Quinoa chain development in Bolivia. **International agri-food chains and networks**, p. 97-113, 2006.

USDA – United States Department of Agriculture – Agricultural Research Service. National Nutrient Database for Standard Reference, Release 26. **Nutrient Data Laboratory**, 2011. Disponível em: Acesso em: 13 Jun. 2014.

USDA. NUTRIENT DATA LABORATORY, ARS, **USDA National Food and Nutrient Analysis Program**, Wave 9o , 2005 Beltsville MD

VEGA-GÁLVEZ, A.; MIRANDA, M.; VERGARA, J.; URIBE, E.; PUENTE, L.; MARTÍNEZ, E. A. Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), an ancient Andean grain: a review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 90, n. 15, p. 2541-2547, 2010.

VICTORIA, D. D. C.; BOLFE, E.; SANO, E. E.; ASSAD, E. D.; ANDRADE, R. G.; GUIMARÃES, D. P.; LANDAU, E. C. Potencialidades para expansão e diversificação agrícola sustentável do Cerrado. **Embrapa Informática Agropecuária-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2020.

WILD, T.; RAHBARNIA, A.; KELLNER, M.; SOBOTKA, L.; EBERLEIN, T. Basics in nutrition and wound healing. **Nutrition**, v. 26, n. 9, p. 862-866, 2010.

WILSON, H. D. Quinoa and relatives (Chenopodium sect. Chenopodium subsect. Celluloid). **Economic Botany**, v. 44, n. 3, p. 92, 1990.

WRIGHT, K. H., PIKE, O. A., FAIRBANKS, D. J., & HUBER, C. S. (2002). Composition of *Atriplex hortensis*, sweet and bitter *Chenopodium quinoa* seeds. **Journal of food science**, 67(4), 1383-1385.

ZENG, X.; CHENG, K.; JIANG, Y.; LIN, Z.; SHI, J.; OU, S.; CHEN, F.; WANG, M. Inhibition of acrylamide formation by vitamins in model reactions and fried potato strips. **Food Chemistry**, v. 116, n. 1, p. 34-39, 2009.

Capítulo 1 – Estimativa de parâmetros genéticos de características agronômicas e seleção de progênies recombinantes de quinoa vermelha adaptadas às condições do Cerrado

FONTANA, J. L. C.; VILELA, M. S.; SPEHAR, C. R.;

RESUMO

ESTIMATIVA DE PARÂMETROS GENÉTICOS DE CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E SELEÇÃO DE PROGÊNIES RECOMBINANTES DE QUINOA VERMELHA ADAPTADAS ÀS CONDIÇÕES DO CERRADO

A quinoa, pseudocereal andino, com alto potencial alimentício e adaptabilidade, é uma planta da família Amaranthaceae muito valorizada e pesquisada por todo o mundo. Para a região do Cerrado, se apresenta com grande potencial para a diversificação de cultivos, existem materiais adaptados à região, todos de coloração clara. O objetivo desse trabalho é estudar a herança de características chave para a cultura e selecionar genótipos de quinoa adaptados à região do Distrito Federal, com características agronômicas de interesse, coloração de grãos e ausência de saponina. A pigmentação do oxalato de cálcio e das inflorescências seguiram a proporção mendeliana 3:1, tratando-se assim de uma característica de herança monogênica. Os híbridos apresentaram caracteres altura de plantas, comprimento de panícula, peso de matéria seca de plantas e índice de colheita, apresentam alto valor de herdabilidade. Em relação à razão entre o coeficiente de variação genotípica e coeficiente de variação ambiental, as características de altura de plantas, comprimento de panícula e índice de colheita apresentaram valores superiores a 1.0, sugerindo menor influência do ambiente na expressão do fenótipo.

Palavras-chaves: *Chenopodium quinoa*, parâmetros genéticos, diversificação produtiva, melhoramento vegetal

ABSTRACT

GENETIC PARAMETERS ESTIMATIVE OF AGRONOMIC CHARACTERISTICS AND SELECTION OF RECOMBINANT RED QUINOA PROGENS ADAPTED TO THE BRAZILIAN SAVANNAH CONDITIONS

Quinoa, an Andean pseudocereal, with high potential for food and adaptability, is a plant of the Amaranthaceae family highly valued and researched all over the world. For the Brazilian Savannah region, it has great potential for productive diversification of cultures. There are materials adapted to the region, all light colored. The objective of this work is to study the inheritance of key characteristics for the culture and to select genotypes adapted to the Federal District region, with agronomic resources of interest, grain color and absence of saponin. The pigmentation of calcium oxalate and the inflorescences follow the Mendelian ratio 3: 1, being treated as a characteristic of monogenic inheritance. The hybrids show characters of plant height, panicle length, plant dry matter weight and harvest index, showing high heritability value. Regarding the ratio between the coefficient of genetic variation and the coefficient of environmental variation, such as characteristics of plant height, panicle length and harvest index of values greater than 1.0, suggesting less influence on the expression of the phenotype environment.

Key words: *Chenopodium quinoa*, genetic parameters, productive diversification, plant breeding.

INTRODUÇÃO

A quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), cultura de origem andina, recentemente inserida na agricultura brasileira, apresenta um grande potencial produtivo em diversas regiões do país. Com foco na diversificação de cultivos e na adaptação às condições do Cerrado brasileiro, Spehar e Souza (1993) começaram os primeiros estudos relativos ao Pseudocereal ainda na década de 90, confirmando a aptidão agrícola da cultura na região (SPEHAR; SOUZA 1993; SPEHAR 2007). Inicialmente, os principais objetivos da adaptação do cultivo de quinoa no Brasil eram: tolerância à estresse hídrico, acidez do solo e baixas temperaturas, assim como promover rendimento mais elevado de grãos e de biomassa, além de outras características agrônômicas (SANTOS et al., 2003). As primeiras linhagens de quinoa obtidas para o Cerrado, apresentavam níveis variáveis de saponina, substância solúvel em água, que ocorre no episperma (parte externa da semente). Posteriormente, se deram novos estudos, onde foram desenvolvidos cultivares com ausência desta substância (SANTOS, 1996; SPEHAR et al., 2011).

Assim como o espinafre (*Spinacia oleracea*), a beterraba (*Beta vulgaris*), o mastruz (*Chenopodium ambrosioides*) e outras plantas alimentícias e medicinais, a quinoa pertencente à família Amaranthaceae. O gênero *Chenopodium* apresenta cerca de 250 espécies identificadas, distribuídas por todo o mundo. (SPEHAR, 2006; GIUSTI, 1970).

Contendo de 10.21 a 18.77% de proteínas (ROJAS; PINTO, 2013; ROCHA, 2011) e um ótimo equilíbrio de aminoácidos essenciais, a quinoa apresenta-se como opção promissora para os desafios futuros da alimentação humana (KONISHI et al., 2004). Além de seu potencial proteico, também se destaca pela ausência de glúten possibilitando o uso em alimentos direcionados a celíacos e possui compostos benéficos à saúde como polifenóis, que podem prevenir doenças cardiovasculares e o câncer (DOGAN; KARWE, 2003).

Diante de seu grande potencial nutricional e para a diversificação de cultivos, existem diversos estudos direcionados à adaptação da cultura. O seu cultivo tem se disseminado para além dos países tradicionalmente produtores de quinoa, como Peru, Bolívia e Equador, como Colômbia, Argentina, Canadá, Estados Unidos, e países da Ásia, Europa e África. (LEÓN e

ROSELL, 2007; SANCHEZ et al., 2001).

A BRS Syetetuba, obtida a partir da avaliação de progênies originárias dos vales andinos do Equador, apresenta características chave para a produção no Cerrado, grãos grandes (próximo a $3,0 \text{ g } 1000^{-1}$), ausência de saponina, maturação homogênea, arquitetura de plantas favorável à mecanização e rendimento de grãos (SPEHAR et al., 2011).

Segundo Alves (2004), o conhecimento de parâmetros genéticos, como correlações e herdabilidade, são essenciais no processo de melhoramento vegetal. O conhecimento do controle genético de determinada característica de interesse é essencial para obter sucesso no programa de melhoramento, pois dessa forma é possível direcionar os trabalhos e empregar o melhor método de condução das populações segregantes (DA CRUZ BALDISSERA et al., 2014). Utilizando-se parâmetros gênicos, tem-se uma melhor chance de identificar genótipos superiores com o objetivo de selecioná-los como genitores para futuras hibridações. (ROCHA, 2011).

A partir dessas hibridações, Rocha (2011) destacou que a seleção de progênies de híbridos permite identificar tanto os genótipos mais promissores, como o modo de herança sobre as características que influenciam o tamanho de grãos, rendimento e ciclo. A herdabilidade reflete a relação genética entre o desempenho dos genitores com sua progênie, quantifica a confiabilidade do valor fenotípico como indicador o valor genotípico, refletindo a proporção fenotípica que pode ser herdada (AMARAL et al., 1996; FALCONER; MACKAY, 1996).

Verificando a importância dessa cultura e o fato de ser promissora para cultivo em outras regiões do mundo, esse trabalho teve o objetivo de estudar a herança de características chave para a cultura e selecionar genótipos de quinoa adaptados à região do Distrito Federal, com características agronômicas de interesse, ausência de saponina e coloração de grãos.

MATERIAL E MÉTODOS

Geração F1

Para o desenvolvimento dos materiais alvo dessa pesquisa, foram selecionados híbridos oriundos de experimento anterior, que tinha o objetivo de estudar a taxa de cruzamento natural e dispersão de pólen na cultura da quinoa no Distrito Federal. Foram utilizadas as cultivares BRS Syetetuba, como receptora de pólen, e a INIA 415 como doadora, (Figura 1) sendo a primeira recessiva para cor das axilas, de oxalato de cálcio e de sementes e a segunda de coloração avermelhada. Os híbridos (plantas F₁) foram selecionados a partir de plantas que apresentaram coloração purpura das axilas e do oxalato de cálcio.



A

B

Figura 1 -Diferença de coloração do oxalato de cálcio depositado nas folhas das cultivares INIA 415 (A) e BRS Syetetuba (B).

Geração F2

O experimento foi plantado no dia 16/01/2019 na Fazenda Água Limpa – FAL, da Universidade de Brasília. A área foi previamente preparada, com a limpeza de plantas daninhas, gradagem e preparação das linhas com implemento acoplado a microtrator. Para a adubação, utilizou-se adubo químico NPK na formulação 4:30:16, com 400kg/ha. Foram plantados quatro genótipos (Híbrido (BRS Syetetuba x INIA 415), BRS Syetetuba, INIA 415 e preto), utilizando uma área de 200m² (10x20m), com espaçamento entre linhas de 0,5m. Os genótipos BRS Syetetuba, vermelho e preto foram semeados em cinco linhas cada enquanto que o híbrido (BRS Syetetuba x vermelho) foi semeado em 20 linhas.

Aos 15 dias depois da emergência realizou-se desbaste, deixando aproximadamente 20 plantas por metro linear, com o objetivo de uniformizar o stand e diminuir a competição de nutrientes entre as plantas. Para o controle de plantas daninhas foi efetuada capina de acordo com a necessidade e também a retirada dessas plantas dentro das linhas. Aos 30 dias realizou-se adubação de cobertura, aplicando uma mistura 1:1 de Ureia e KCl, aproximadamente 500 kg/ha.

Após o desenvolvimento total da cultura, foram selecionadas 150 plantas da população segregante com presença ou ausência de coloração e com características agrônômicas de interesse, como: baixa ramificação, altura apropriada a colheita mecanizada, ausência de acamamento, indeiscência, maturação uniforme, ciclo precoce, elevado rendimento de grãos, sementes grandes e de boa qualidade. Tais características têm sido alvo de programas de melhoramento da quinoa, inclusive no Brasil (SPEHAR, 2007).

Após a maturação fisiológica, as plantas foram retiradas do campo e levadas para o laboratório de Pós-colheita na Estação Experimental de Biologia da Universidade de Brasília, onde foram medidas a altura das plantas, comprimento da panícula, peso de matéria seca das plantas e peso de grãos.

Os grãos foram beneficiados, armazenados em sacos de papel tipo Kraft e refrigerados em câmara fria. As plantas que foram selecionadas seguiram para a geração F3, onde cada planta gerou uma linha.

Geração F₃

O experimento foi implantado no dia 23/08/2019 na Fazenda Água Limpa – FAL, da Universidade de Brasília. A área foi previamente preparada, com a limpeza de plantas daninhas, gradagem e preparação das linhas com implemento acoplado a microtrator. Para a adubação, utilizou-se adubo químico NPK na formulação 4:30:16, com 400kg/ha. Plantou-se a geração F₃ dos híbridos (BRS Syetetuba x INIA 415), a partir de plantas individuais selecionadas por características agronômicas, tamanho e coloração e massa individual de grãos. Cada planta selecionada em F₂, formou uma linha em F₃. Estas foram selecionadas pelas mesmas características e incluídas em experimento de campo.

Cento e cinquenta plantas foram selecionadas de acordo com características agronômicas de interesse, coloração, enfatizando as que produziram mais de 5g de grãos por planta. As respectivas progênies foram cultivadas por delineamento em blocos aumentados. O delineamento experimental, adaptado de Federer (1961) e Spehar (1994), consistiu em 10 blocos casualizados em cada um dos quais três variedades padrão de quinoa e 13 entradas a serem avaliadas foram cultivadas. Estas variedades padrão, (Aurora, BRS Syetetuba e BRS Piabiru) são genótipos uniformes e adaptados ao cultivo, comumente usados como variedades padrão em ensaios de campo. As três variedades foram semeadas em cada bloco, mas cada acesso a ser avaliado foi semeado apenas uma vez no experimento. As parcelas consistiram em uma linha, igualmente espaçadas por 0,5 m e 4 m de comprimento (FEDERER, 1961; SPEHAR, 1994; PETERNELLI, 2009).

Aos 15 dias da emergência, realizou-se desbaste, deixando aproximadamente 20 plantas por metro linear, com o objetivo de uniformizar o stand e diminuir a competição de nutrientes entre as plantas. Para o controle de plantas daninhas foi efetuada capina de acordo com a necessidade e também a retirada dessas plantas dentro das linhas. Aos 30 dias realizou-se adubação de cobertura, aplicando uma mistura 1:1 de Ureia e KCl, aproximadamente 500 kg/ha.

Análises Estatísticas

Para a determinação da frequência fenotípica da coloração do oxalato de cálcio depositado nas folhas foram observadas 200 plantas em 3 repetições, de acordo com Rocha (2011). Essa característica possui herança controlada por um gene com dois alelos, havendo interação intra-alélica de dominância.

Para as características agronômicas inicialmente realizou-se uma análise de variância individual visando avaliar a presença de variabilidade genética entre os tratamentos e estimação de parâmetros genéticos e não genéticos. Após a análise de variância os dados de todos os caracteres avaliados foram submetidos ao teste de Tukey a 5% de probabilidade para a comparação de médias.

Foi estimada a herdabilidade no sentido amplo para cada parâmetro estudado, e a partir dos componentes da variação (CV_g , CV_e CV_f), obteve-se a relação entre o coeficiente de variação genética e o coeficiente de variação ambiental (CV_g/CV_e). Estimou-se também as correlações fenotípicas entre os caracteres, na intenção de inferir sobre como um afeta na expressão de outro.

Além disso, foram desdobrados os componentes da variância, estimando seus componentes com a utilização do software estatístico GENES (CRUZ, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os indivíduos em F1 apresentaram coloração vermelha das axilas, de oxalato de cálcio e das inflorescências.

Segundo ROCHA (2011), as frequências fenotípicas em F₂ observadas da coloração do oxalato de cálcio depositado nas folhas, nos cruzamentos, demonstram que a característica possui herança controlada por um gene com dois alelos, havendo interação intra-alélica de dominância.

O valor tabelado de X², com $\alpha = 5\%$ é 3,84, que é menor, em comparação com o valor observado de X² = 0,106, sendo então considerado não significativo. Desta forma, pode-se dizer que a frequência observada de plantas com oxalato de cálcio vermelho em relação às plantas com oxalato de cálcio incolor é a esperada, confirmando o trabalho de Rocha (2011), de que a segregação fenotípica para essa característica é a de 3:1, o que indica que é controlada por um gene com dois alelos, sendo a coloração “dominante” em relação à ausência de pigmento (Tabela 1.1).

Tabela 1.1 -Estimativa qui-quadrado para característica de coloração do oxalato de cálcio depositado nas folhas de quinoa na geração F2 do cruzamento BRS Syetetuba x INIA 415.

Fenótipo da Geração F2	Frequência		Desvio (FO-FE)	Desvio ² (FO-FE) ²	Desvio ² /FE
	Observada	Esperada			
Vermelho	148	150	-2	4	0,026
Ausência de pigmentação	52	50	2	4	0,08
Total	200			X ²	0,106

Avaliação agronômica e estimativa de parâmetros genéticos na geração F2

A cultivar INIA 415 apresentou valores baixos para o rendimento (1.798,6 kg/ha). Esse resultado era previsto já que esse é um material que não está adaptado às condições da região. Por outro lado, a BRS Syetetuba, demonstrou alta produtividade. Esse material foi desenvolvido

para cultivo nas condições edafoclimáticas da região em estudo, comprovando a alta aptidão às condições ambientais e produtivas da região da BRS Syetetuba. Os híbridos F₂ apresentaram rendimento bastante similar ao da BRS Syetetuba, resultado positivo e interessante, principalmente devido ao fato de ser possível associar a coloração de grãos à melhores características agronômicas (Tabela 1.2).

Tabela 1.2 - Valores médios de rendimento de grãos e peso total de plantas em kg/ha.

Genótipos	Rendimento (kg/ha)	Peso total (kg/ha)
BRS Syetetuba¹	2308,4	5790
INIA 415¹	1798,6	4830
F₂²	3642,4	10350

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 1.3, há diferença significativa entre os genitores e a progênie F₂ em campo e entre os genitores. Em campo, a progênie F₂ obteve altura mais elevada e panícula mais comprida em comparação à BRS Syetetuba e a INIA 415, apresentando diferença significativa para as duas características em relação aos progenitores. A BRS Syetetuba, por ser uma linhagem já adaptada às condições da região, apresentou plantas mais altas (127,40 cm) em comparação com a INIA 415 (100,26 cm).

Tabela 1.3 - Comparação de médias de altura de plantas (HP) e Comprimento da panícula (CP) entre os genitores e os híbridos F₂.

Genótipos	HP (cm)	CP (cm)
BRS Syetetuba¹	127.40b	44.77b
INIA 415¹	100.26c	41.31b
F₂²	143.92a	64.45a
DMS	9.12	7.27
CV%	11.65	21,36

Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% probabilidade. ¹Progenitores e ² progênie F₂.

Quanto ao peso de matéria seca das plantas, as genitoras não apresentaram diferença significativa entre si, porém, em relação à progênie F₂, houve diferença significativa (Tabela 1.4). Os tratamentos não apresentaram diferença significativa quanto ao peso médio de grãos por planta. Os híbridos F₂ apresentaram valores muito mais elevados de peso de matéria seca

das plantas (46.53g), quando comparados aos genitores (BRS Syetetuba= 28.2g e INIA 415 = 23,63g).

Tabela 1.4 - Comparação de médias Peso da matéria seca da planta (PP), Rendimento de grãos por planta (RP) e Índice de colheita (IC) entre os genitores e os híbridos F₂.

Genótipos	PP (g)	RP (g)	IC
BRS Syetetuba¹	28.45b	11.42a	39.18a
INIA 415¹	23.63b	8.69a	36.42a
F₂²	46.53a	11.96a	24.25b
DMS	9.7	4.14	5.3
CV%	40.46	62.92	26.76

¹Progenitores; ² progênes F₂; Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% probabilidade. ¹Progenitores e ² progênes F₂.

De acordo com as estimativas de parâmetros genéticos (Tabela 1.5), quatro parâmetros apresentaram valores altos de herdabilidade, sendo para altura de plantas ($h^2 = 98,51\%$), comprimento da panícula ($h^2 = 97,77\%$), peso de matéria seca das plantas ($h^2 = 95,69\%$), índice de colheita ($h^2 = 98,25\%$) e baixo para peso de grãos ($h^2 = 41,33\%$).

Segundo Rocha (2011), a herdabilidade e razão coeficiente de variação genética por variação ambiental são elevadas para altura de plantas, o que sugere uma boa característica a ser explorada na seleção de plantas.

Tabela 1.5 - Estimativas das variâncias fenotípica (V²f), genotípica (V²g), ambiental (V²e), herdabilidade no sentido amplo (h²), coeficiente de variação genética (CVg), coeficiente de variação ambiental (CVe) e razão entre o coeficiente de variação genético e ambiental (CVg/CVe) para altura de plantas (HP), comprimento da panícula (CP), Peso da matéria seca da planta (PP), Índice de colheita (IC) e Rendimento de grãos por planta (RP) .

Parâmetro genético	HP	CP	PP	IC	RP
V²f	505.443811	213.832813	196.642897	8.835	2.628287
V²g	497.95777	209.073352	188.175676	8.681	1.086318
V²e	7.486041	4.759461	8.467221	0.154	1.541969
h²	98.5189	97.7742	95.6941	98.2571	41.3318
CVg(%)	16.2084	24.1453	32.5274	34.2756	9.0061
Cve(%)	11.6540121	21.3637409	40.4619978	26.769447	62.9357093
CVg/Cve	1.3908	1.1302	0.8039	1.2804	0.1431

Em relação aos componentes de variação, o coeficiente de variação genotípico ($CV_g = 16,20$) apresentou valor mais alto do que o coeficiente de variação ambiental ($CV_e = 11,65$) para altura de plantas, e razão entre o coeficiente de variação genético e ambiental ($CV_g/CV_e = 1,39$). O mesmo ocorreu para comprimento de panícula e índice de colheita, que apresentaram respectivamente, coeficiente de variação genotípico de 24,14 e 34,27; coeficiente de variação ambiental de 21,36 e 26,76; e em consequência, apresentaram razão entre coeficiente genotípico e ambiental de 1,13 e 1,28.

Quando a relação entre o coeficiente de variação genético e o coeficiente de variação ambiental (CV_g/CV_e) tende a valores iguais ou maiores que 1,0, a obtenção de ganhos de seleção é favorecida, porque, nesses casos, a variação genética é superior à variação ambiental, o que significa que o motivo da variação entre os indivíduos é mais relacionado à variabilidade genética que pela interferência com o ambiente. Nesse caso, maximiza-se o ganho genético na seleção dessas características, quando praticada no primeiro ano, diminuindo nos anos subsequentes (VENCOVSKY, 1987; ALVES, 2006; ROCHA, 2011).

Desta forma, por apresentar valores maiores que 1,0 de CV_g/CV_e (Tabela 1.5), os parâmetros altura de plantas, comprimento de panícula e índice de colheita são características que podem apresentar maior eficiência para a seleção massal de progênies superiores.

Para os diferentes cruzamentos propostos por Rocha (2011), os quais utilizaram um progenitor comum a um dos utilizados neste trabalho (BRS Syetetuba), a altura de plantas apresentou valores de razão entre o coeficiente de variação genética e ambiental (CV_g/CV_e) entre 0,54 e 1,87.

Mesmo apresentando diferenças relacionadas à herdabilidade de uma característica, cada caráter apresenta uma amplitude de valores de herdabilidade particular. Desta forma, características, como produtividade, que apresentam herdabilidade baixa são muito influenciadas por condições ambientais e, por outro lado, altura de plantas que tem sua expressão fenotípica mais influenciada por componentes genéticos, apresentam herdabilidade mais elevada (RAMALHO et al., 2008; ROCHA, 2011). Características que são controladas por vários genes de efeito menor, apresentam elevado efeito ambiental, desta forma espera-se

baixos valores de herdabilidade (ROCHA, 2011).

As estimativas de correlação são importantes em programas de melhoramento genético de plantas por mostrar qual seria a influência de uma característica em outra. No entanto, além do conhecimento sobre as correlações fenotípicas, composta pela junção de fatores genotípicos e ambientais, também é importante o conhecimento das correlações genotípicas para evitar a influência do ambiente na decisão dos próximos passos de programas de melhoramento de plantas.

Nos resultados apresentados na Tabela 1.6, observou-se que os valores apresentados de correlação genotípica (r_G) são maiores que os de correlação fenotípica (r_F), para todas as características avaliadas. Desta forma, existe o indicio de que a influência do componente genético é superior ao do componente ambiental, determinando a predominância do componente genético (VILELA et al., 2017), similar ao que foi visto com os resultados da relação entre os coeficientes de variação genética e ambientais na Tabela 1.5.

Tabela 1.6 - Estimativas de valores de correlação fenotípica (r_F) e genotípica (r_G) entre altura de plantas (HP), comprimento da panícula (CP), Peso da matéria seca da planta (PP), Rendimento de grãos por planta (RP) e Índice de colheita (IC) na geração F_2 .

Caracteres	R	PP	RP	IC	HP	CP
PP	F	1	0.83900	-0.96990	0.93910	0.9991*
	G	1	1,1074	-1,013	0.951	1,0082
RP	F		1	-0.68120	0.9749	0.81560
	G		1	-1.1899	1.4558	1.17
IC	F			1	-0.8271	-0.9792
	G			1	-0.8442	1.0039
HP	F				1	0.924
	G				1	0.9288
CP	F					1
	G					1

*significativos pelo teste t a 5% de probabilidade

Em concordância com Santos (1996), a correlação foi alta e positiva entre a altura da planta e o comprimento da panícula. Em relação à correlação entre a produtividade e o

comprimento da inflorescência, os valores de correlação entre comprimento da panícula e peso de grãos produzido por planta também foram altos, como descrito por Spehar (2007) que o rendimento se correlaciona positivamente com a altura, comprimento, e diâmetro da inflorescência.

Geração F3

Os valores de herdabilidade na geração F3 apresentaram resultados baixos, variando de 15,94 a 47,29 nas características de altura de plantas, comprimento da panícula e peso de grãos (Tabela 1.7). Nenhum dos parâmetros apresentou coeficiente de variação genético superior ao coeficiente de variação ambiental, indicando maior influência do ambiente na expressão do genótipo (VENKOVISKY, 1989).

Tabela 1.7- Estimativas das variâncias fenotípica (V^2f), genotípica (V^2g), ambiental (V^2e), herdabilidade no sentido amplo (h^2), coeficiente de variação genética (CVg), coeficiente de variação ambiental (Cve) e razão entre o coeficiente de variação genético e ambiental (CVg/Cve) para altura de plantas (HP), comprimento da panícula (CP) e rendimento de grãos por planta (RP) da geração f3.

Parâmetro genético	HP	CP	RP
V^2f	270,094849	39,412906	0,665034
V^2g	120,354799	18,638926	0,106054
V^2e	149,74005	20,77398	0,55898
h^2	44,5602	47,2914	15,9472
CVg(%)	6,3137	9,5453	7,7594
Cve(%)	7,0426	10,0773	178131
CVg/Cve	0,8965	0,9472	0,4356

Tais análises podem demonstrar que, neste caso, no processo de melhoramento a seleção de plantas a partir dessas características, nessa etapa da segregação, pode promover pouca ou nenhuma diferença nas gerações posteriores.

Os resultados de correlação fenotípica e genotípica não apresentaram significância na avaliação das características avaliadas na geração F3 (Tabela 1.8). Esses resultados sugerem que a geração F3, por estar mais avançada em relação à F2, pode não apresentar grande

segregação em campo, além de apresentar menor variação.

Tabela 1.8 - Estimativas de valores de correlação fenotípica (r_F) e genotípica (r_G) entre altura de plantas (HP), comprimento da panícula (CP) e rendimento de grãos por planta (RP) na geração F₃

Parâmetro genético	r	HP	CP	RP
HP	F	1	0.09200	0.28950
	G	1	-0.31460	1.0327
CP	F		1	0.08500
	G		1	-0.18590
PG	F			1
	F			1

*significativos pelo teste t a 5% de probabilidade

CONCLUSÕES

As características qualitativas relacionadas à pigmentação do oxalato de cálcio e das inflorescências seguiram a proporção mendeliana 3:1, tratando-se assim de uma característica de herança monogênica

Para a progênie resultante do cruzamento BRS Syetetuba x INIA 415 em F₂, os caracteres altura de plantas, comprimento de panícula, peso de matéria seca de plantas e índice de colheita, apresentam alto valor de herdabilidade.

Em relação à razão entre o coeficiente de variação genotípica e coeficiente de variação ambiental, as características de altura de plantas, comprimento de panícula e índice de colheita apresentaram valores superiores a 1.0, sugerindo menor influência do ambiente na expressão do fenótipo.

Em F₃ os resultados não foram significativos e apresentaram valores de herdabilidade e da relação dos componentes genéticos e ambientais de variação baixos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J. C. D. S., PEIXOTO, J. R., VIEIRA, J. V., & BOITEUX, L. S. Herdabilidade e correlações genotípicas entre caracteres de folhagem e sistema radicular em famílias de cenoura, cultivar Brasília. **Horticultura Brasileira**, v. 24, n. 3, p. 363-367, 2006.

AMARAL, A. L. D.; CARVALHO, F. I. F. D.; FEDERIZZI, L. C.; MITTELMANN, A.; PANDINI, F. Estimativa de herdabilidade para os caracteres adaptativos ciclo e estatura de planta em aveia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.26, p.33-37, 1996.

CRUZ, C. D. Programa Genes – Estatística experimental e Matrizes. 1 ed. Viçosa: Editora UFV, 2006, v.1, 285p.

DA CRUZ BALDISSERA, J. N.; VALENTINI, G.; COAN, M. M. D.; GUIDOLIN, A. F.; COIMBRA, J. L. M. Fatores genéticos relacionados com a herança em populações de plantas autógamas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 13, n. 2, p. 181-189, 2014.

DOĞAN, H.; KARWE, M. V. Physicochemical properties of quinoa extrudates. **Food Science and Technology International**, v. 9, n. 2, p. 101-114, 2003.

FALCONER, D.S., MACKAY, T.F.C. **Introduction to quantitative genetics**. 4.ed. England: Longman, 463p. 1996.

FERREIRA, P. V. **Melhoramento de Plantas – Estimação de parâmetros genéticos**. Volume 3, EDUFAL, Maceió, p. 281- 355, 2006.

FEDERER, W. T. Augmented designs with one-way elimination of heterogeneity. **Biometrics**, v. 17, n. 3, p. 447-473, 1961.

KONISHI, Y.; HIRANO, S.; TSUBOI, H.; WADA, M. Distribution of minerals in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds. **Bioscience, biotechnology, and biochemistry**, v. 68, n. 1, p. 231-234, 2004.

PETERNELLI, L. A.; SOUZA, E. F. M. D.; BARBOSA, M. H. P.; CARVALHO, M. P. D. Delineamentos aumentados no melhoramento de plantas em condições de restrições de recursos. **Ciência Rural**, v. 39, n. 9, p. 2425-2430, 2009.

ROCHA, J. E. da S. **Controle genético de caracteres agronômicos em Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)**. Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2011, 144p. Tese de Doutorado.

ROJAS, W.; PINTO, M. La diversidad genética de quinua de Bolivia. In: **Congreso Científico de la Quinoa**. Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras (Bolivia) Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal., 2013.

SANTOS, R. **Estudos iniciais para o cultivo de quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) nos Cerrados**. Brasília: Universidade de Brasília, 1996. Dissertação de Mestrado.

SANTOS, R. L. B.; SPEHAR, C. R.; VIVALDI, L. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) reaction to herbicide residue in a Brazilian Savannah soil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, n. 6, p. 771-776, 2003.

SPEHAR, C. R. Field screening of soya bean (*Glycine max* (L.) Merrill) germplasm for aluminium tolerance by the use of augmented design. **Euphytica**, v. 76, n. 3, p. 203-213, 1994.

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

SPEHAR, C.R.; SANTOS, R.B.L. Aproveitamento alimentar, In: SPEHAR, C.R.; **Quinoa: alternativa para a diversificação agrícola e alimentar. Planaltina: Embrapa Cerrados**, p. 71-79. 2007.

SPEHAR, C. R.; SILVA ROCHA, J. E. da; BARROS SANTOS, R. L. Desempenho agrônomico e recomendações para cultivo de quinoa (BRS Syetetuba) no cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 1, 2011.

VILELA, M. S.; PEIXOTO, J. R.; VIEIRA, J. V.; DA SILVA, G. O. Estimativas de interação de genótipos com ambientes e correlações para caracteres de cenoura em sistemas de cultivo de base agroecológica. **Savannah Journal of Research and Development** , v. 1, p. 21-27, 2017.

VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G. P. **Melhoramento e produção do milho**. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 137-214.

Capítulo 2 - Estimativa de parâmetros genéticos da composição química e seleção de genótipos de quinoa adaptados às condições do Cerrado

FONTANA, J. L. C.; MENDONÇA, M. A.; SPEHAR, C.R.

RESUMO

ESTIMATIVA DE PARÂMETROS GENÉTICOS DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA E SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE QUINOA ADAPTADOS ÀS CONDIÇÕES DO CERRADO

A quinoa é base da alimentação de povos andinos há milhares de anos, atualmente é difundida no mundo como um alimento com grande qualidade nutricional. Seu teor de proteína e balanço de aminoácidos essenciais, ácidos graxos essenciais, vitaminas e minerais são fatores que confirmam sua qualidade. Para uma planta como a quinoa, que contém um potencial nutricional e alimentício tão importante, conhecer a composição química é um passo fundamental para melhoramento e a estimativa de parâmetros genéticos dessas características, proporciona ao melhorista maior segurança e eficiência na seleção de genótipos superiores. Esse trabalho visa analisar a composição química de cultivares de quinoa já adaptadas à região do Distrito Federal em comparação a híbridos selecionados com presença de coloração de grãos. A cultivar BRS Syetetuba é uma ótima opção de genitor, quando se objetiva o aumento da qualidade de grãos de quinoa, promovendo maior ganho de seleção quanto aos teores de lipídios, proteínas e carboidratos. As plantas híbridas avaliadas apresentaram coloração vermelha de grãos e vantagens em relação à composição química de grãos em comparação a seus genitores. Sendo assim um material promissor para as próximas etapas de melhoramento.

Palavras-chaves: *Chenopodium quinoa*, parâmetros genéticos, composição química, nutrição

ABSTRACT

GENETIC PARAMETERS ESTIMATIVE OF CHEMICAL COMPOSITION AND SELECTION OF QUINOA GENOTYPES ADAPTED TO THE BRAZILIAN SAVANNAH CONDITIONS

Quinoa has been a staple food for Andean peoples for thousands of years, and is now widespread in the world as a food with great nutritional quality. Its protein content and balance of essential amino acids, essential fatty acids, vitamins and minerals are factors that confirm its quality. For a plant like quinoa, which contains such an important food component, knowing the chemical composition is a fundamental step for breeding and the estimation of genetic parameters of these characteristics, provides to the breeder greater safety and efficiency in the selection of superior genotypes. This work aims to analyze the chemical composition of quinoa cultivars already adapted to the Federal District region in comparison to selected hybrids with the presence of grain color. The BRS Syetetuba cultivar is a great parent option, when the objective is to increase the quality of quinoa grains, promoting a greater selection gain regarding the contents of lipids, proteins and carbohydrates. The evaluated hybrid plants showed red grain color and advantages in relation to the chemical composition of grains compared to their parents. Thus, it is a promising material for the next improvement steps.

Key words: *Chenopodium quinoa*, genetic parameters, chemical composition, nutrition.

INTRODUÇÃO

Atualmente, a busca por uma vida mais saudável é um tema diário e cotidiano, que vem influenciando positivamente os hábitos alimentares das pessoas. Devido à disponibilidade de vitaminas (complexo B, C e E) e minerais (Ca, Fe, Mg, Mn, P K e Zn), teor de proteína elevado e com um ótimo balanço de aminoácidos essenciais, conteúdo de ácidos graxos essenciais, alto teor de fibras e a presença de outros componentes desejáveis, a quinoa passou, recentemente, a ser muito bem vista aos olhos dos consumidores e em consequência bastante pesquisada. (AHAMED et al., 1996; ABUGOCH, 2009; CONTRERAS-JIMENEZ et al., 2019).

Considerada um pseudocereal, por sua composição química (carboidratos, proteínas, lipídios e fibras) e suas características nutricionais que se assemelham às dos cereais, a quinoa também se destaca pelo teor e qualidade de proteína e ausência de glúten (WILSON, 1990; SPEHAR; SANTOS, 2002; AMAYA-FARFAN et al., 2005). Outro fator quem tem efeitos positivos para a saúde é o alto teor de fibra alimentar, podendo reduzir o nível de colesterol no sangue e melhorar a digestão. Além disso, pelo teor de minerais encontrado, os grãos de quinoa são considerados como alimento complementar ou funcional (ABUGOCH JAMES, 2009; SPEHAR, 2006; REPO-CARRASCO et al., 2003)

A quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), cultura de origem andina, recentemente inserida na agricultura brasileira, apresenta um grande potencial produtivo em diversas regiões do país. Com foco na diversificação de cultivos e na adaptação às condições do Cerrado brasileiro, Spehar e Souza (1993) começaram os primeiros estudos relativos ao Pseudocereal, ainda na década de 90, confirmando a aptidão agrícola da cultura na região (SPEHAR; SOUZA 1993; SPEHAR, 2007).

Por seu teor de amido (55 a 60%), a quinoa se destaca como fonte atraente de amido isolado. De acordo com Li & Zhu (2017), possui o menor grânulo de amido encontrado na natureza (~ 1 µm), sendo 20 vezes menor que o de mandioca e 10 vezes menor que do amido de milho (CONTRERAS-JIMENEZ et al., 2019; PUMACHUA-RAMOS, 2017; TANG et al., 2002).

Quando o foco de melhoramento é uma planta que possui algum componente

alimentício, a composição química é um fator de extrema importância, que deve ser bastante estudado e explorado, sendo também um fator decisivo de seleção. Desta forma esse trabalho visa analisar a composição química de cultivares de quinoa já adaptadas à região do Distrito Federal em comparação a híbridos selecionados com a presença de coloração de grãos estimar parâmetros genéticos relacionados.

MATERIAL E MÉTODOS

Composição química

Os grãos foram analisados no Laboratório de Análise de Alimentos da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília – UnB. Todos os instrumentos e vidrarias foram colocados em estufa 105° por 12 horas para a completa retirada da umidade e posteriormente colocados em dessecador para resfriar sem ganhar umidade.

Foram analisados 7 genótipos de quinoa, de diferentes origens e que foram cultivados na região do Distrito Federal, sendo eles: BRS Syetetuba, INIA 415, grãos F₂ do cruzamento BRS Syetetuba x INIA 415, grãos F₃ do cruzamento BRS Syetetuba x INIA 415, BRS Piabiru, Preta e PV (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 - Identificação, origem e coloração de grãos e inflorescências de genótipos de quinoa avaliados em relação à composição química de grãos.

Genótipos	Origem	Coloração dos grãos	Coloração da inflorescência
BRS Syetetuba¹	EMBRAPA	Grãos claros	Clara
INIA 415¹	INIA	Grãos coloridos	Vermelha
F₂²	Cruzamentos	Grãos coloridos	Vermelha
F₃²	Cruzamentos	Grãos coloridos	Vermelha
Preta	-	Grãos coloridos	Vermelha
PV	-	Grãos Claros	Vermelha
BRS Piabiru	EMBRAPA	Grãos Claros	Clara

¹Progenitores e ² progênes

A etapa de processamento dos grãos, baseou-se na limpeza e trilha manual do material colhido. Posteriormente os grãos foram triturados, até que se formasse um tipo de farinha fina para o procedimento das análises de composição química dos grãos. A farinha proveniente do processamento dos grãos dos diferentes genótipos foi separada, identificada e armazenada em sacos plásticos.

A caracterização segue as normas do Instituto Adolfo Lutz, que compreende umidade,

resíduos minerais, lipídios, proteínas, fibra e carboidratos (IAL-INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008). As amostras foram preparadas e analisadas em triplicata, de acordo com seguinte procedimento por componente: i) umidade: é determinado usando-se estufa com circulação de ar a 105° por 24 horas, até atingir peso constante. A matéria seca é obtida pela diferença entre 100% da amostra e o percentual de umidade; ii) resíduos minerais: obtida levando os cadinhos à mufla a 600°, por 4 horas, até a combustão total da matéria orgânica; iii) proteína: utiliza-se método semi-micro Kjeldahl e bloco digestor, avaliando-se a porcentagem de nitrogênio. A conversão para proteína bruta foi feita usando o fator 6,25 (MUJICA-SANCHEZ et al., 2001); iv) lipídios: A determinação dos lipídios foi obtida pelo método Am 5-04, utilizando o extrator XT15 da Ankom Technology, que é realizado pela extração do lipídio da amostra no sachê, com éter de petróleo, por arraste, sob pressão (AOCS, 2005); v) carboidratos (CHO): determinados por diferença entre 100% da amostra e a soma do teor de lipídios (%L), umidade (%U), resíduos minerais (%R.M), fibras (%F) e proteínas (%P), ou seja $\%(\text{CHO}) = 100 - (\%L + \%U + \%R.M + \%F + \%P)$.

Análises Estatísticas

Os dados da composição química dos grãos foram submetidos à análise de variância, comparação de médias entre os tratamentos pelo teste de Tukey 5% de probabilidade e também estimativas dos componentes de variância e de correlação entre parâmetros através do programa estatístico GENES (CRUZ, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de umidade dos genótipos avaliados apresentaram valores inferiores a 12% (Tabela 2.2). Os níveis de umidade, recomendados na literatura, para um bom armazenamento, devem ser menores ou iguais a 12%, pois desaceleram a propagação de fungos e melhoram a conservação dos grãos (ROCHA, 2011; SPEHAR, 2006; BELTRÃO; HELQUET, 1994; POMERANZ, 1991). Dessa forma, os níveis de umidade observados no presente trabalho (Tabela 2.2) estão adequados para todos os tratamentos.

Os resultados da análise de variância demonstraram significância para as características avaliadas ao nível de 1% de probabilidade no Teste F (Tabela 2.2). Por terem sido cultivados na mesma área e com o mesmo tipo de manejo, sugere-se que a diferença encontrada na composição química dos grãos é de origem genética (VENCOVSKY, 1987).

Tabela 2.2 - Médias de composição química de diferentes genótipos de quinoa.

Genótipos	%MS	%U	%RM	%L	%P	%CHO
BRS Syetetuba¹	91.77a	8.22c	5.33a	5.29ab	17.79abc	63.356ab
INIA 415¹	88.88bc	11.11ab	2.22c	3.35bc	15.93abc	67.373a
F₂²	90.22b	9.77b	4.88ab	4.07abc	18.19ab	63.065ab
F₃²	88.44c	11.55a	2.44c	4.84abc	18.91a	62.244b
Preta	88.44c	11.55a	4.00b	2.87c	15.76bc	65.794ab
PV	89.33bc	10.66ab	4.44ab	5.72a	15.98abc	63.18ab
BRS Piabiru	91.77a	8.22c	4.00b	5.42a	14.82c	67.529a
DMS	1.405	1.405	1.283	1.984	3.025	4.635
CV%	0.561	4.961	11.782	15.764	6.467	2.571
Teste F	0.0**	0.0**	0.0**	0.123**	0.310**	0.492**

U = umidade; MS = matéria seca; L = lipídios; CHO = carboidratos; P = proteína; R.M = resíduos minerais

¹Progenitores; ² progênes; (*) – Valores com asterisco são significativos ao nível de 5% de probabilidade; (**) – Valores com dois asteriscos são significativos ao nível de 1% de probabilidade; Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Rocha (2011) desenvolveu experimento similar e analisou a composição química de híbridos de quinoa cultivados em Brasília. Dentre os genótipos analisados, um deles é a cultivar

BRS Syetetuba, que apresentou valores relacionados à porcentagem de matéria seca (90.57%), umidade (9.94%), resíduos minerais (3.79%), lipídios (6.15%), proteínas (18.77%), carboidratos (49.6%) e fibras (12.24%). Desta forma, ao realizar comparação desses resultados com os resultados do presente trabalho, os valores apresentados de proteínas e lipídeos são bastante similares. Os valores de carboidratos foram diferentes entre os trabalhos desenvolvidos, e isso se deve ao fato de que Rocha analisou também o quantitativo de fibras, que é um tipo de carboidrato, enquanto que, este trabalho não inseriu tal análise, sendo então o quantitativo de fibras agregado ao de carboidratos.

Por seu status de pseudocereal, a quinoa é sempre comparada com os cereais. Todos os genótipos estudados, mesmo aqueles menos adaptados às condições ambientais do Cerrado, apresentaram teor de lipídeos maiores que a taxa média dos cereais, que é de 2% (POMERANZ, 1991). Os materiais apresentaram teor de lipídeos entre 2.87 e 5.72%. Outros trabalhos apresentaram valores parecidos com os obtidos neste trabalho, tais como Rocha (2011) que apresentou valores entre 3.82 e 6.32, Ranhotra et al. (1993), Wright et al. (2002), Ascheri et al. (2002), Spehar (2007), USDA (2005) e Koziol (1992) que apresentaram, respectivamente, 4.6%, 5.5%, 5.6%, 5.59%, 6.07%, e 6.3%. Outros trabalhos apresentaram valores um pouco mais elevados, como De Bruin (1963) e Dini et al. (1992), sendo, respectivamente, 7.4% e 8.5%.

Em relação ao teor de proteína, relacionando com os cereais, a quinoa é um pseudocereal com grande quantidade de proteína. Normalmente o teor proteico dos cereais tem valores em média de 6%, enquanto que, os materiais de quinoa analisados no presente trabalho apresentaram entre 15.76% e 18.91% (Tabela 2.2). Valores similares também foram propostos por Rocha (2011), oscilando entre 16.35% e 20.08%. Ascheri et al. (2002), Dini et al. (1992), USDA (2005), De Bruin (1963), Koziol (1992), Wright et al. (2002) apresentaram respectivamente 12.2%, 12.5%, 14.2%, 15.6%, 16.5%, 16.7% de proteína.

É interessante ressaltar a diferença entre duas cultivares adaptadas à região, as duas cultivares oriundas da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), BRS Piabiru e BRS Syetetuba, que apresentaram valores distintos, sendo os grãos de BRS Syetetuba uma melhor fonte de proteína (Tabela 2.2). Os grãos provenientes de plantas híbridas de BRS Syetetuba com INIA 415 apresentaram teor de proteína, apesar de próximo, superior em F₂

(18.19%) e em F₃ (18.91%) aos de seus progenitores que apresentaram média de 16.89%.

Para a determinação de minerais presentes nos grãos de quinoa, avaliou-se também o teor de resíduos minerais (cinzas), com resultado variando de 2.22% a 5.33%. Similar ao observado no presente trabalho, Rocha (2011) encontrou valores em torno de 3.51% e 5.31%. Ascheri et al. (2002), USDA (2005), De Bruin (1963), Wright et al. (2002), Spehar (2007), Dini et al (1992) e Koziol (1992) apresentaram valores de 2.3%, 2.7%, 3.0%, 3.2%, 3.35%, 3.7% e 3.8%. A avaliação de cinzas tem relevância já que nesta fração da composição química é onde pode-se encontrar os minerais como fósforo, cálcio, potássio entre outros.

O teor de carboidratos é definido pela diferença entre a soma de todos os outros componentes e 100%. Desta forma, quanto maior o teor de carboidratos, menor o teor dos demais componentes (ROCHA, 2011). Os teores de carboidratos observados neste trabalho estão entre 62.24% e 67.52%, enquanto Rocha (2011) apresentou valores bastante inferiores, algo entre 48.82% e 58.31%. Isso se dá, pois, Rocha desmembrou o teor de fibras do teor de carboidratos. Sendo assim, o teor de carboidratos apresentados neste trabalho apresenta-se juntamente com o teor de fibras. Dini et al. (1992), USDA (2005), Koziol (1992), De Bruin (1963), Ascheri et al. (2002) e Wright et al. (2002) apresentaram respectivamente 60.0%, 64.16%, 69.0%, 69.7%, 70.5% 74.7% para o teor de carboidratos.

Todos os parâmetros apresentaram relação entre o coeficiente de variação genético e o coeficiente de variação ambiental acima de um, demonstrando que a variação entre os tratamentos é devida a porção genética e não ambiental (VENCOVSKY, 1987). Em relação à herdabilidade, todos os parâmetros apresentaram herdabilidade superior à 80%. Diferentemente do apresentado por Rocha (2009), onde em praticamente todos os cruzamentos os valores de herdabilidade para teor de lipídeos e proteínas foram maiores que 90%, foi observado neste trabalho que juntamente com o teor de carboidratos estes dois foram os que apresentaram menor herdabilidade (Tabela 2.3).

Tabela 2.3- Estimativas das variâncias fenotípica (V^2_f), genotípica (V^2_g), ambiental (V^2_e), herdabilidade no sentido amplo (h^2), coeficiente de variação genética (CVg), coeficiente de variação ambiental (Cve) e razão entre o coeficiente de variação genético e ambiental (CVg/Cve) para matéria seca, umidade, resíduos minerais, lipídios, proteínas e carboidratos.

Parâmetro genético	%MS	%U	%RM	%L	%P	%CHO
V²_f	2.118	2.118	1.380	1.201	2.295	4.859
V²_g	2.033	2.033	1.309	1.033	1.902	3.938
V²_e	0.084	0.084	0.070	0.168	0.392	0.921
h²	96.00	96.00	94.88	85.96	82.90	81.04
CVg(%)	1.5873	14.038	29.307	22.52	8.223	3.069
Cve(%)	0,561	4.962	11.784	15.770	6.497	2,572
CVg/Cve	2.8292	2.8292	2.487	1.428	1.2716	1.193

U = umidade; MS = matéria seca; L = lipídios; CHO =carboidratos; P = proteína; R.M = resíduos minerais

Comparando os genitores e sua progênie em relação à composição química dos grãos na Tabela 2.4, a BRS Syetetuba (17.77%) tem valor de proteína superior ao apresentado pela INIA 415 (15.93%). Os grãos provenientes das plantas híbridas, apresentaram quantidade de proteínas ainda superiores à da BRS Syetetuba, com 18.19% em F2 e 18.91% em F3. Confirmando o demonstrado por Rocha (2011), que há o aumento do teor de proteína na progênie em relação a seu genitor masculino (INIA 415), influenciado pelo genitor feminino (BRS Syetetuba).

Tabela 2.4 - Comparação de médias de valores de composição química das progênies híbridas das gerações F2 e F3 em relação a seus genitores BRS Syetetuba e INIA 415.

Genótipos	%MS	%U	%RM	%L	%P	%CHO
BRS Syetetuba¹	91.77a	8.22c	5.33a	5.29a	17.77ab	63.35ab
INIA 415¹	88.88c	11.11a	2.22b	3.35b	15.93b	67.37a
F₂²	90.22b	9.77b	4.88 ^a	4.07ab	18.19ab	63,06ab
F₃²	88.44c	11.55a	2.44b	4.84ab	18.91a	62.44b
DMS	1.006	1.006	1.232	1.86	2.37	4.54
CV%	0.428	3.786	12.662	16.210	5.137	2.735
Teste F	0.002**	0.002**	0.005**	4.373*	2.056*	2.735*

U = umidade; MS = matéria seca; L = lipídios; CHO =carboidratos; P = proteína; R.M = resíduos minerais;

¹Progenitores; ² progênies; (*) – Valores com asterisco são significativos ao nível de 5% de probabilidade; (**) – Valores com dois asteriscos são significativos ao nível de 1% de probabilidade; Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Observa-se que, quanto maior a quantidade de carboidratos, menor é a quantidade de lipídeos e proteínas (Tabela 2.4), dado que os carboidratos são obtidos a partir da diferença entre a soma dos demais componentes e 100%. O que demonstra uma vantagem nutricional para os híbridos desenvolvidos neste trabalho, pois, além de apresentarem grãos coloridos, também possuem maior teor de proteínas e lipídeos que seu progenitor que compartilha a mesma coloração de grãos. Sendo assim um genótipo potencial de seleção para essas características, que são de interesse.

De acordo com os valores de correlação genética entre os parâmetros analisados na Tabela 2.5, quanto maior a quantidade de matéria seca dos grãos, aumenta-se o teor de resíduos minerais, ocorrendo o contrário para o teor de umidade, que quanto maior, menor o de resíduos minerais. Outra correlação entre parâmetros que apresentou significância foi entre o teor de proteínas e o teor de carboidratos, porém neste caso foi uma correlação negativa, demonstrando que quanto maior o teor de proteínas, menor o teor de carboidratos.

Tabela 2.5 - Estimativas de valores de correlação fenotípica (rF) e genotípica e (rG) entre Matéria seca(%MS), umidade(%U), resíduos minerais(%RM), lipídeos(%L), proteína(%P) e carboidratos (%CHO).

Componentes	R	%MS	%U	%RM	%L	%P	%CHO
%MS	F	1	-1	0.9315	0.5145	-0.063	0.229
	G	-1	1	0.9556*	0.6001	-0.058	-0.269
%U	F		1	-0.9315	-0.5145	-0.063	0.229
	G		1	-0.9556 *	-0.6001	-0.058	0.269
%RM	F			1	0.4967	0.296	-0.444
	G			1	0.5493	0.273	-0.437
%L	F				1.	0.709	-0.778
	G				1.	0.780	-0.792
%P	F					1	-0.985*
	G					1	1.0127
%C	F						1
	G						1

(*) – significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste T.

Para o melhoramento de plantas é muito importante o conhecimento da correlação entre parâmetros de interesse, conhecendo assim como o aprimoramento de determinado caráter pode influenciar em outros, trabalhando assim com um conjunto de caracteres e não somente com um isolado (FERREIRA, 2006; ROCHA, 2009).

CONCLUSÕES

A cultivar BRS Syetetuba é uma ótima opção de genitor, quando se objetiva o aumento da qualidade de grãos de quinoa, promovendo maior ganho de seleção quanto aos teores de lipídios, proteínas e carboidratos.

As plantas híbridas avaliadas apresentaram coloração vermelha de grãos e vantagens em relação à composição química de grãos em comparação a seus genitores. Sendo assim um material promissor para as próximas etapas de melhoramento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABUGOCH, L.; CASTRO, E.; TAPIA, C.; AÑÓN, M. C.; GAJARDO, P.; VILLARROEL, A. Stability of quinoa flour proteins (*Chenopodium quinoa* Willd.) during storage. **International journal of food science & technology**, v. 44, n. 10, p. 2013-2020, 2009.

AHAMED, N. Thoufeek et al. Physicochemical and functional properties of *Chenopodium quinoa* starch. **Carbohydrate polymers**, v. 31, n. 1-2, p. 99-103, 1996.

AMAYA-FARFAN, A; MARCÍLIO, R.; SPEHAR, C. R. A proposta do amaranto. **Segurança Alimentar e Nutricional**, v.12, n.1, p.47-56, 2005

AOCS Approved Procedure. **Rapid Determination of Oil/Fat Utilizing High Temperature Solvent Extraction**. 2005.

AOAC, ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**, ed. 13, Washington, p. 109. 1980.

BELTRÃO, C.; HEQUET, E. **O algodoeiro sem gossypol: utilização do caroço de algodão na alimentação**. Montpellier: CIRAD, P. 13, 1994.

CONTRERAS-JIMÉNEZ, B.; TORRES-VARGAS, O. L.; RODRÍGUEZ-GARCÍA, M. E. Physicochemical characterization of quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour and isolated starch. *Food Chemistry*, p. 124982, 2019.

CRUZ, C. D. **Programa Genes – Estatística experimental e Matrizes**. 1 ed. Viçosa: Editora UFV, v.1, 285p, 2006.

DE BRUIN A, Investigation of the food value of quinoa and canihua seed. *J Food Sci* 29:872–

876 (1963).

DINI, A.; RASTRELLI, L.; SATURNINO, P.; SCHETTINO, O. A compositional study of *Chenopodium quinoa* seeds. **Food/Nahrung**, v. 36, n. 4, p. 400-404, 1992.

FERREIRA, P. V. **Melhoramento de Plantas – Estimação de parâmetros genéticos**. Volume 3, EDUFAL, Maceió, p.281 – 355, 2006.

IAL-INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 2008.

KÜSTER, I.; VILA, N. Health/Nutrition food claims and low-fat food purchase: Projected personality influence in young consumers. **Journal of functional foods**, v. 38, p. 66-76, 2017.

LI, G.; ZHU, F. Amylopectin molecular structure in relation to physicochemical properties of quinoa starch. **Carbohydrate polymers**, v. 164, p. 396-402, 2017.

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

POMERANZ, Y. **Functional properties of food components**. New York: Academic Press, p. 565,1991.

PUMACAHUA-RAMOS, A.; LIMAYLLA-GUERRERO, K. M.; TELIS-ROMERO, J.; LOPES-FILHO, J. F. Isotermas e calor isostérico de adsorção da água do amido de quinoa. **Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial**, v. 15, n. 1, p. 95-104, 2017.

RANHOTRA, G. S.; GELROTH, J. A.; GLASER, B. K.; LORENZ, K. J.; JOHNSON, D. L.

Composition and protein nutritional quality of quinoa. **Cereal chemistry**, v. 70, p. 303-303, 1993.

REPO-CARRASCO, R.; ESPINOZA, C.; JACOBSEN, S.-E. Nutritional value and use of the Andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). **Food reviews international**, v. 19, n. 1-2, p. 179-189, 2003.

ROCHA, J. E. S. **Controle genético de caracteres agronômicos em Quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild)**. Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2011, 144p. Tese de Doutorado.

SPEHAR, C. R.; SANTOS, R. L. de B. Quinoa BRS Piabiru: alternativa para diversificar os sistemas de produção de grãos. **Pesq. agropec. Bras.** Brasília, v. 37, n. 6, p. 809-893, June 2002

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

SPEHAR, C. R.; SANTOS, R. L. B.; VELOSO, R. F. SPEHAR, Carlos Roberto; SANTOS, R. L. B.; VELOSO, R. F. Quinoa: alternativa para a diversificação agrícola e alimentar. Planaltina: **Embrapa Cerrados**, v. 1, 2007.

TANG, H.; WATANABE, K.; MITSUNAGA, T. Characterization of storage starches from quinoa, barley and adzuki seeds. **Carbohydrate Polymers**, v. 49, n. 1, p. 13–22, 2002.

VENCOVSKY, R. **Herança quantitativa. Melhoramento e produção de milho**, v. 2, p. 137-214, 1987.

WILSON, H. D. Quinoa and relatives (Chenopodium sect. Chenopodium subsect. Celluloid). **Economic Botany**, v. 44, n. 3, p. 92, 1990.

WRIGHT, K. H.; PIKE, O. A.; FAIRBANKS, D. J.; HUBER, C. S. Composition of *Atriplex hortensis*, sweet and bitter *Chenopodium quinoa* seeds. **Journal of food science**, v. 67, n. 4, p. 1383-1385, 2002.

ANEXOS

