

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

CONTROLE GENÉTICO DE CARACTERES AGRONÔMICOS EM
QUINOA (*Chenopodium quinoa* Willd)

JULIANA EVANGELISTA DA SILVA ROCHA

TESE DE DOUTORADO EM AGRONOMIA

BRASÍLIA/DF

JUNHO/2011

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

CONTROLE GENÉTICO DE CARACTERES AGRONÔMICOS EM QUINOA
(Chenopodium quinoa Willd)

JULIANA EVANGELISTA DA SILVA ROCHA

ORIENTADOR: CARLOS ROBERTO SPEHAR, PhD

TESE DE DOUTORADO EM AGRONOMIA

PUBLICAÇÃO: 001/2011

BRASÍLIA/DF
JUNHO/2011

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**CONTROLE GENÉTICO DE CARACTERES AGRONÔMICOS EM QUINOA
(*Chenopodium quinoa* Willd)**

JULIANA EVANGELISTA DA SILVA ROCHA

**TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM AGRONOMIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À
OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM AGRONOMIA NA ÁREA DE
CONCENTRAÇÃO DE PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL, LINHA DE PESQUISA EM
MELHORAMENTO VEGETAL.**

APROVADA POR:

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

Jean Kleber de Abreu Mattos, D.Sc., Universidade de Brasília (UnB), CPF: 022.288.181-68, e-mail: jeankleber@yahoo.com.br (Examinador interno)

Nara Oliveira Silva Souza, D.Sc., Universidade de Brasília (UnB), CPF: 033.300.726-36, e-mail: narasouza@unb.br (Examinador interno)

Luiz Antônio Borgo, D.Sc., Universidade de Brasília (UnB), CPF: 083.083.651-91, e-mail: borgo@unb.br (Examinador Interno)

Carla Gomes Machado, D.Sc., Universidade Estadual de Goiás (UEG), CPF: 045.178.316-63, e-mail: carlagomesmachado@gmail.com (Examinador Externo)

BRASÍLIA/DF, 28 de junho de 2011

FICHA CATALOGRÁFICA

Rocha, Juliana Evangelista da Silva

Controle genético de caracteres agronômicos em quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd)/
Juliana Evangelista da Silva Rocha; orientação de Carlos Roberto Spehar. – Brasília, 2011.

144 p. ; il.

Tese de doutorado (D) – Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2011.

1. Correlação genética 2. Ganho genético 3 Composição físico química 4. Herdabilidade
5. Parâmetro genético I. Spehar, C. R. II. Título. PhD.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

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, 144 p. Tese de Doutorado.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Juliana Evangelista da Silva Rocha

TÍTULO DA TESE DE DOUTORADO: Controle genético de caracteres agronômicos em quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd).

GRAU: Doutor ANO: 2011

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Juliana Evangelista da Silva Rocha

CPF: 061253086-85

Rua 12 n° 256 apt° 103 Bairro: Centro

74015-040– Goiânia / GO – Brasil

E-mail: julianaesr@hotmail.com

Aos meus pais, Trajano e Maria Helena,
com toda gratidão e amor, vos dedico este título.

AGRADECIMENTOS

Inicio meus agradecimentos aos meus queridos e amados pais, Trajano Evangelista da Rocha Neto e Maria Helena da Silva Rocha, que sempre estiveram ao meu lado, me apoiando, incentivando e torcendo para que cada etapa fosse vencida com mérito. Essa não podia ser diferente. Por isso comecei agradecendo a eles, que me deram muito mais que a vida, me deram amor, carinho, ensinamentos e valores. Se hoje concluo com sucesso este doutorado, é porque tive uma educação exemplar.

Agradeço ao CNPq que me concedeu a bolsa durante os três anos e meio de curso que fora muito importante na estadia na capital federal.

Ao meu orientador, Doutor Carlos Roberto Spehar, pelas idéias inovadoras que fizeram toda a diferença na qualidade desta tese.

À Deus por ter me dado saúde e inteligência para concluir o curso com sabedoria e louvor.

À Universidade de Brasília, sobretudo, a Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, pela possibilidade de realização do doutorado, me orgulhando de pertencer à primeira turma de doutorado em Agronomia, e ser a primeira aluna a defender a tese.

Ao professor e amigo Doutor Luiz Antônio Borgo pelo carinho que me recebeu como professora substituta de TPA. Agradeço imensamente o apoio nas atividades do laboratório de análise de alimentos, na preparação das aulas e nos conselhos sempre centrados, mas muito bem humorados.

À técnica do Laboratório de Análises de Alimentos, Andréia Alves Rosa Campos, pelo apoio incondicional às atividades dentro e fora do laboratório de alimentos. Dois anos de convívio diário resultaram em uma grande amizade. Pessoa extremamente querida a quem não tenho palavras para expressar a minha gratidão.

Ao técnico do Laboratório de Análises de Alimentos, Márcio Antônio Mendonça, pelo carinho e ensinamentos nas atividades práticas do laboratório.

Ao secretário da pós-graduação, Deusdete do Carmo Soares, pela competência no exercício de suas atividades e pela boa vontade em ajudar a solucionar os problemas dos alunos. Poucas vezes vi funcionário público tão eficiente.

Aos funcionários da Estação Experimental Biológica, Fábio Rocha Fonseca, Aldo, Geraldo e Afonso, pela ajuda incalculável nas atividades de casa de vegetação e experimentos de campo.

Ao colega de doutorado, Márcio de Carvalho Pires, pela ajuda na produção de mudas de quinoa.

Ao proprietário da Fazenda Dom Bosco, Sebastião Conrado de Andrade, pela disponibilidade de área para trabalhos de campo e pelo carinho que me recebeu em sua casa.

Ao professor Doutor Everaldo Anastácio Pereira, por ceder área para os experimentos de campo na Estação Experimental de Biologia.

À professora Doutora Rita de Cássia Pereira Carvalho, por ceder a área para condução dos cruzamentos na Estação Experimental de Biologia.

À professora Mestre Michelle Souza Vilela, que foi importantíssima na fase final do meu trabalho, auxiliando nas análises estatísticas.

Aos meus alunos do curso de Agronomia da Universidade Estadual de Goiás, Unidade Universitária de Palmeiras de Goiás, Yuri Basso Constancio Pinto e Tamara Angélica Santana de Souza pela ajuda imensurável na análise de mil sementes.

Ao aluno do curso de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Goiás, Unidade Universitária de Palmeiras de Goiás, Marcos Paulo dos Santos Vieira, pela ajuda nas análises de proteína.

À minha irmã Tatiana Evangelista da Silva Rocha e ao meu cunhado Roberto Tormin Ramos da Costa, pelo incentivo moral, sabendo que a distância os manteve longe no dia a dia, mas sempre presentes em pensamento, torcendo por mim e comemorando cada conquista trilhada ao longo deste doutorado.

À professora Doutora Carla Gomes Machado, da Universidade Estadual de Goiás, Unidade Universitária de Palmeiras de Goiás, pela contribuição neste trabalho, pelo apoio, incentivo e pela amizade que construímos no convívio dentro da UEG.

À minha grande amiga Kátia de Oliveira, que foi muito mais que minha companheira de apartamento em Brasília. Tornou-se parte da minha vida, e é para mim um grande exemplo de pessoa determinada, batalhadora, e que muito me inspira. Sem esquecer

é claro, de Myriam Concebida da Costa Caetano, que trouxe ao nosso cotidiano humor, inocência e alegria. Brasília foi bem melhor com a presença delas.

Aos meus tios Paulo Roberto Evangelista de Lima e Eliane Almeida Evangelista, por me darem suporte em sua casa nos momentos iniciais de Brasília e também por estarem presentes nas minhas conquistas, inclusive participando dela.

Às minhas amigas Carolina Rodrigues Ruben, Daniele Pereira, Juliana Minuncio Nascimento e Lívia Rodrigues César, por compartilharem meus momentos de alegria, mas, sobretudo, pelas palavras de incentivo nos momentos que o cansaço, os erros e as dificuldades insistiam em sobressair.

Ao Reynaldo Pena Lopes Júnior pela colaboração nas formatações deste trabalho.

Sim, são longos os agradecimentos, mas três anos e meio não foram fáceis, e por muitas vezes pensei em desistir. A minha determinação em nunca abandonar algo que iniciei e o apoio das pessoas citadas acima me deram o suporte para continuar. E valeu à pena cada lágrima, cada momento de insegurança, porque só merece comemorar a vitória quem verdadeiramente lutou.

Graças a Deus teve fim.

ÍNDICE

INTRODUÇÃO GERAL-----	01
REVISÃO DE LITERATURA-----	04
1 Melhoramento Genético-----	04
2 Métodos de Melhoramento-----	07
2.1 Hibridação-----	08
3 Parâmetros Genético-Estatísticos-----	12
4 Características Agronômicas-----	15
5 Composição Físico Química-----	16
OBJETIVO GERAL-----	18
OBJETIVOS ESPECÍFICOS-----	18
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS-----	19
CAPÍTULO 1- DESEMPENHO AGRONÔMICO E RECOMENDAÇÕES PARA CULTIVO DE QUINOA (BRS SYETETUBA) NO CERRADO-----	25
RESUMO-----	26
ABSTRACT-----	27
COMUNICAÇÃO CIENTÍFICA-----	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS-----	33
CAPÍTULO 2 - HERANÇA DA PIGMENTAÇÃO EM QUINOA (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd)-----	35
RESUMO-----	36
ABSTRACT-----	37
INTRODUÇÃO-----	38
MATERIAL E MÉTODOS-----	40
Cultivo dos genitores-----	40
Hibridações-----	41
Geração F1-----	42
Geração F2-----	43
Avaliações-----	44

RESULTADOS E DISCUSSÃO-----	45
CONCLUSÃO-----	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS-----	51
CAPÍTULO 3 - ESTIMATIVA DOS COMPONENTES DE VARIAÇÃO GENÉTICA EM CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DE QUINOA (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd)-	54
RESUMO-----	55
ABSTRACT-----	56
INTRODUÇÃO-----	57
MATERIAL E MÉTODOS-----	61
Genitores-----	61
Cruzamentos-----	62
Híbridos-----	64
Condução-----	64
Avaliações-----	65
Análises Estatísticas-----	66
RESULTADOS E DISCUSSÃO-----	71
CONCLUSÃO-----	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS-----	85
CAPÍTULO 4 - VARIAÇÃO GENÉTICA PARA COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO GRÃO DE QUINOA (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd): GENITORES E SUAS POPULAÇÕES EM F ₂ -----	90
RESUMO-----	91
ABSTRACT-----	92
INTRODUÇÃO-----	93
MATERIAL E MÉTODOS-----	97
RESULTADOS E DISCUSSÃO-----	99
CONCLUSÃO-----	110
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS-----	111
CAPÍTULO 5 - PROPAGAÇÃO CLONAL DE HÍBRIDOS F ₁ EM APOIO AOS ESTUDOS DE ESTUDOS DE GENÉTICA E MELHORAMENTO EM QUINOA (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd).-----	117

RESUMO-----	118
ABSTRACT-----	119
INTRODUÇÃO-----	120
MATERIAL E MÉTODOS-----	123
RESULTADOS E DISCUSSÃO-----	125
CONCLUSÃO-----	132
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS-----	133
ANEXOS-----	137
Anexo A: Lista de Siglas-----	138
Anexo B: Dados Adicionais-----	141

ÍNDICE DE TABELAS

Capítulo 1

Tabela 1. Rendimento de grãos ($t\ ha^{-1}$) de quinoa, genótipo BRS Syetetuba, em relação às cultivares padrão BRS Piabiru e Kancolla, no período 2006-2007, em três locais¹.-----30

Capítulo 2

Tabela 1. Estimativa do X^2 (qui quadrado) para característica oxalato de cálcio depositado sobre as folhas, estrias no caule, axila da folha e inflorescência na geração F_2 do cruzamento BRS Syetetuba x 34 ZL-----46

Tabela 2. Estimativa do X^2 (qui quadrado) para característica oxalato de cálcio depositado sobre as folhas, estrias no caule, axila da folha e inflorescência na geração F_2 do cruzamento BRS Syetetuba x 37 ZL-----46

Tabela 3. Estimativa do X^2 (qui quadrado) para característica oxalato de cálcio depositado sobre as folhas, estrias no caule, axila da folha e inflorescência na geração F_2 do cruzamento BRS Syetetuba x 40 ZL-----46

Tabela 4. Estimativa do X^2 (qui quadrado) para característica oxalato de cálcio depositado sobre as folhas, estrias no caule, axila da folha e inflorescência na geração F_2 do cruzamento BRS Syetetuba x 44 ZL-----47

Tabela 5. Estimativa do X^2 (qui quadrado) para característica oxalato de cálcio depositado sobre as folhas, estrias no caule, axila da folha e inflorescência na geração F_2 do cruzamento BRS Syetetuba x 9542 L-----47

Capítulo 3

Tabela 1. Características físico-químicas do solo da área experimental, Brasília, DF-----65

Tabela 2. Médias, desvio padrão, coeficiente de variação (CV) e teste de F para altura de plantas, rendimento e peso de 1.000 sementes de quinoa cultivada em Brasília, DF-----73

Tabela 3. Médias, desvio padrão, coeficiente de variação (CV) e teste de F para altura de plantas, rendimento e peso de 1.000 sementes de genitores de quinoa cultivada em Brasília, DF-----74

Tabela 4. Médias, desvio padrão, coeficiente de variação (CV) e teste de F para altura de plantas, rendimento e peso de 1.000 sementes da geração F_2 de quinoa cultivada em Brasília, DF-----75

Tabela 5. Coeficiente de correlação entre altura de plantas, rendimento de grãos e peso de 1.000 grãos dos genótipos de quinoa-----76

Tabela 6. Estimativas de correlações fenotípica (r_F) e genotípica (r_G) entre altura de plantas, rendimento e peso de 1.000 sementes dos genitores de quinoa-----76

Tabela 7. Estimativas de correlações fenotípica (r_F) e genotípica (r_G) entre altura de plantas, rendimento e peso de 1.000 sementes em híbridos F_2 de quinoa-----76

Tabela 8. 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), razão entre coeficiente de variação genético e ambiental (CVg/CVe) para caracteres dos genitores de quinoa-----77

Tabela 9. 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), razão entre coeficiente de variação genético e ambiental (CVg/CVe) para caracteres da geração F_2 de quinoa-----78

Tabela 10. 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), razão entre coeficiente de variação genético e ambiental (CVg/CVe) para altura de plantas, rendimento e peso de 1.000 sementes dos genótipos de quinoa BRS Syetetuba, 34ZL e BRS Syetetuba x 34ZL-----79

Tabela 11. 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), razão entre coeficiente de variação genético e ambiental (CVg/CVe) para altura de plantas, rendimento e peso de 1.000 sementes dos genótipos de quinoa BRS Syetetuba, 37ZL e BRS Syetetuba x 37ZL-----80

Tabela 12. 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), razão entre coeficiente de variação genético e ambiental (CVg/CVe) para altura de plantas, rendimento e peso de 1.000 sementes dos genótipos de quinoa BRS Syetetuba, 40ZL e BRS Syetetuba x 40ZL-----80

Tabela 13. 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), razão entre coeficiente de variação genético e ambiental (CVg/CVe) para altura de plantas, rendimento e peso de 1.000 sementes dos genótipos de quinoa BRS Syetetuba, 44ZL e BRS Syetetuba x 44ZL-----81

Tabela 14. 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), razão entre coeficiente de variação genético e ambiental (CVg/CVe) para altura de plantas, rendimento e peso de 1.000 sementes dos genótipos de quinoa BRS Syetetuba, 9542 L e BRS Syetetuba x 9542 L-----81

Tabela 15. Ganho de seleção (GS%) para altura de plantas, rendimento e peso de 1.000 sementes dos genitores e dos híbridos em F₂-----83

Capítulo 4

Tabela 1. Composição de grãos de quinoa, dos genitores e respectivos híbridos em F₂, cultivada em Brasília, DF-----99

Tabela 2. Composição físico-química de grãos de quinoa crua cultivada na América Latina-----101

Tabela 3. Médias da composição centesimal de grãos dos genitores de quinoa cultivada em Brasília, DF-----102

Tabela 4. Médias da composição centesimal de híbridos F₂ em grãos de quinoa cultivada em Brasília, DF-----103

Tabela 5. Coeficiente de correlação entre proteína, lipídios, cinzas, umidade, matéria seca, fibra bruta e carboidrato dos genótipos de quinoa-----104

Tabela 6. Ganho de seleção (GS%) para lipídio, proteína, cinzas, matéria seca, umidade, fibra bruta, carboidrato dos genitores e dos híbridos em F₂-----105

Tabela 7. Estimativas das variâncias fenotípica (V²f), genotípica (V²g), ambiental (V²e), herdabilidade no sentido amplo (h²), coeficiente de variação genética (CVg), coeficiente de variação ambiental (CVe), razão entre coeficiente de variação genético e ambiental (CVg/CVe) para matéria seca, umidade, proteína, lipídios, cinzas, fibra bruta, carboidrato dos genitores de quinoa-----105

Tabela 8. Estimativas das variâncias fenotípica (V²f), genotípica (V²g), ambiental (V²e), herdabilidade no sentido amplo (h²), coeficiente de variação genética (CVg), coeficiente de variação ambiental (CVe), razão entre coeficiente de variação genético e ambiental (CVg/CVe) para matéria seca, umidade, proteína, lipídios, cinzas, fibra bruta, carboidrato da geração F₂ de quinoa-----106

Tabela 9. Estimativas das variâncias fenotípica (V²f), genotípica (V²g), ambiental (V²e), herdabilidade no sentido amplo (h²), coeficiente de variação genética (CVg), coeficiente de variação ambiental (CVe), razão entre coeficiente de variação genético e ambiental (CVg/CVe) para matéria seca, umidade, proteína, lipídios, cinzas, fibra bruta, carboidrato dos genótipos de quinoa BRS Syetetuba, 34ZL e BRS Syetetuba x 34ZL-----107

Tabela 10. Estimativas das variâncias fenotípica (V²f), genotípica (V²g), ambiental (V²e), herdabilidade no sentido amplo (h²), coeficiente de variação genética (CVg), coeficiente de variação ambiental (CVe), razão entre coeficiente de variação genético e ambiental (CVg/CVe) para matéria seca, umidade, proteína, lipídios, cinzas, fibra bruta, carboidrato dos genótipos de quinoa BRS Syetetuba, 37ZL e BRS Syetetuba x 37ZL-----107

Tabela 11. 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), razão entre coeficiente de variação genético e ambiental (CVg/CVe) para matéria seca, umidade, proteína, lipídios, cinzas, fibra bruta, carboidrato dos genótipos de quinoa BRS Syetetuba, 40ZL e BRS Syetetuba x 40ZL-----108

Tabela 12. 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), razão entre coeficiente de variação genético e ambiental (CVg/CVe) para matéria seca, umidade, proteína, lipídios, cinzas, fibra bruta, carboidrato dos genótipos de quinoa BRS Syetetuba, 44ZL e BRS Syetetuba x 44ZL-----108

Tabela 13. 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), razão entre coeficiente de variação genético e ambiental (CVg/CVe) para matéria seca, umidade, proteína, lipídios, cinzas, fibra bruta, carboidrato dos genótipos de quinoa BRS Syetetuba, 9542L e BRS Syetetuba x 9542L-----109

Capítulo 5

Tabela 1. Taxa de enraizamento e brotação das estacas dos híbridos F_1 de quinoa sob diferentes doses do hormônio AIB-----125

Tabela 2. Atribuição de notas para enraizamento de clones de híbridos F_1 de quinoa-----126

ANEXOS

ANEXO A

Tabela A1. Lista de siglas-----139

ANEXO B

Tabela B1. Taxa de enraizamento do experimento teste de clones de híbridos F_1 da variedade BRS Syetetuba-----142

Tabela B2. Peso de mil sementes segundo metodologia descrita pela Regra para Análise de Sementes-----143

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2

Figura 1. Identificação de híbridos F_1 pela coloração do oxalato de cálcio vermelho depositado sobre as folhas-----66

Capítulo 5

Figura 1. Taxa de enraizamento por dose de hormônio AIB do cruzamento BRS Syetetuba x 34 ZL-----120

Figura 2. Taxa de enraizamento por dose de hormônio AIB do cruzamento BRS Syetetuba x 37 ZL-----120

Figura 3. Taxa de enraizamento por dose de hormônio AIB do cruzamento BRS Syetetuba x 9542L-----120

Figura 4. Taxa de enraizamento por dose de hormônio AIB do cruzamento BRS Syetetuba x 40 ZL-----120

Figura 5. Taxa de enraizamento por dose de hormônio AIB do cruzamento BRS Syetetuba x 44 ZL-----120

RESUMO

CONTROLE GENÉTICO DE CARACTERES AGRONÔMICOS EM QUINOA

(Chenopodium quinoa Willd)

A quinoa, originária do altiplano entre Bolívia e Peru, é um exemplo de espécie potencial que tem se destacado nos trabalhos pioneiros objetivando produção de grãos com qualidade nutricional e biomassa para proteger o solo. No Brasil, as pesquisas começaram na década de 1990, pela Embrapa, em colaboração com a Universidade de Brasília (UnB). Resultados promissores estimularam a continuidade dos trabalhos até que se conseguisse adaptá-la ao cultivo no Cerrado Brasileiro. Entretanto, os primeiros genótipos apresentavam fatores limitantes, como no caso da BRS Piabiru, primeira cultivar lançada no Brasil. Em seqüência, logrou-se obter a BRS Syetetuba, com ciclo menor, grãos maiores e ausentes de saponina, tornando-se uma opção aos agricultores. Para que a quinoa integre o sistema agrícola é preciso se obterem variedades com características agronômicas desejáveis, como ciclo de precoce a médio, alto rendimento, altura compatível com colheita mecanizada e grãos grandes e com qualidade. Em geral, complexas em sua expressão genética resulta da interação de vários componentes, não sendo encontradas simultaneamente nas progênies obtidas por aproveitamento da variabilidade em acessos do germoplasma. Assim, realizaram-se hibridações controladas, visando aumento do tamanho do grão, associado aos demais caracteres. Na ausência de registros de híbridos artificiais para o melhoramento da quinoa no Brasil, cruzamentos induzidos por emasculação com álcool e artificial por manipulação das flores, resultaram híbridos entre genótipos previamente selecionados. Para a identificação de F₁, caracteres morfológicos como pigmentação de partes da planta foi testada quanto ao modo de herança, confirmando-se dominância de coloração sobre

ausência. Pleiotropia para oxalato de cálcio das folhas, estrias do caule, axila foliar e inflorescência, foi encontrada, sendo uma ferramenta de apoio à seleção. A partir de hibridações controladas entre genitores divergentes, caracteres agronômicos e físico-químicos foram estudados em F₂ quanto aos seus componentes genéticos. Altura de plantas e teor de proteína foram as menos influenciadas pelo ambiente, criando possibilidades reais de ganho por seleção. Demonstrou-se a importância dos condicionantes genéticos para caracteres de interesse econômico em quinoa, principalmente os de efeito quantitativo, que possam contribuir ao desenvolvimento e à obtenção de cultivares.

Palavras-chave: altura de planta, maturação, hibridação, rendimento, seleção, tamanho de grão, eficiência de seleção.

ABSTRACT

GENETIC CONTROL OF AGRONOMIC CHARACTERS IN QUINOA

(Chenopodium quinoa Willd)

Quinoa, originated from the Altiplano between Bolivia and Peru, is an example of potential species which has shown outstanding performance by the pioneer work aiming at nutritional quality and biomass to protect the soil. In Brazil, the research started in the 1990's, by Embrapa in collaboration with Universidad de Brasília (UnB). Promising results stimulated the continuation of research efforts until it was possible to adapt the crop to the Brazilian Savannah. The first selected genotypes, however, had limiting factors, as in the case of BRS Piabiru, first cultivar released for cultivation in Brazil. In sequence, BRS Syetetuba was acquired, possessing short plant cycle and large, saponin-free, grains, becoming an option to farmers. For quinoa to be inserted in the agricultural system, varieties should meet desirable agronomic characteristics, such as short- to mid-cycle, high grain yield, plant height suitable to combine harvest and large, high quality grains. In general, these are complex in their genetic expression, resulting from interaction of various components, not being found simultaneously in progenies derived from existing germless. Thus, controlled hybridizations were conducted to increase grain size, in association with other characters. In the absence of records for artificial hybrids being employed in Brazil, for quinoa breeding, induced crosses, by emasculation with alcohol and artificial handling of flowers resulted hybrids among selected genotypes. The F₁ hybrids were identified by morphological characters such as the presence of pigment in plant parts and the character was tested for genetic inheritance, confirming dominance over absence. Pleiotropy for pigment for calcium oxalate in leaves, stem stripes, leaf base and inflorescence can be used

as a tool in selection. From controlled hybridizations among divergent genotypes, agronomic and physic-chemical characters were studied in F₂ for genetic components. Plant height and protein content were less influenced by environment, creating real opportunities for gain from selection. It has been demonstrated the value of genetic conditioners in characters with economic interest in quinoa, governed by quantitative effects, that might contribute to genotypic enhancement and cultivar acquisition.

Key-words: plant height, maturity, hybridization, selection efficiency, grain size.

INTRODUÇÃO GERAL

A quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) da família das Amaranthaceae, anteriormente Chenopodiaceae (MAUGHAN et al., 2004), uma planta proeminente da Bolívia e Peru, é um exemplo de espécie potencial que tem se destacado nos trabalhos pioneiros de pesquisa pela produção de grãos (SPEHAR, 2007).

A espécie apresenta grande resistência às variações de temperatura, mostrando-se adaptável a diversas condições de latitude e altitude, sendo cultivada desde o nível do mar até 4.000 m (RODRIGUEZ; ISLA, 2009), crescendo, inclusive, em zonas semi-áridas (SPEHAR, 2007).

A exigência hídrica, sendo relativamente menor do que a de outras plantas cultivadas, permite o plantio na entressafra do Cerrado, bem como nas áreas mais altas e frias da região sul do Brasil (SPEHAR, 2007). Essa vantagem comparativa tem sido atribuída à presença de oxalato de cálcio nas folhas. Por ser higroscópico, a substância retém a umidade precipitada em forma de orvalho durante a noite, reaproveitando o que se perderia por evapotranspiração com o aumento da temperatura diurna (SPEHAR; SANTOS, 2002; MUJICA-SANCHEZ et al., 2001).

Pela quantidade de biomassa que produz, constitui alternativa para proteção do solo em plantio direto. Além disso, com as vantagens de utilizar baixa quantidade de sementes, acrescentar diversidade ao sistema produtivo, contribuir para a redução dos custos do cultivo principal e de ser utilizada na alimentação humana e animal, a quinoa torna-se atrativa e possibilita atender rapidamente a demanda dos agricultores (SPEHAR, 2007).

No Brasil, as pesquisas pioneiras com quinoa começaram na década de 1990 pela Embrapa Cerrados em cooperação com a Universidade de Brasília (UnB). Os resultados

com linhagens localmente selecionadas pela Embrapa foram tão promissores que estimularam a continuidade dos trabalhos (SPEHAR; SOUZA, 1993). Daí seguiram-se várias experiências, já com a participação direta da UnB, até que os pesquisadores conseguissem adaptar a planta ao cerrado brasileiro (SPEHAR; SANTOS, 2002).

Os primeiros genótipos, ainda que revelassem potencial produtivo, apresentavam fatores limitantes como presença de saponina e tamanho reduzido do grão. Esse é o caso da BRS Piabiru, primeira variedade lançada no Brasil (SPEHAR, SANTOS, 2002). Entretanto, novos acessos foram selecionados abrindo os caminhos para uma possível utilização deste pseudocereal em escala comercial no Brasil. Os resultados, até o momento, mostram que o Brasil apresenta um enorme potencial para produzir a quinoa na região do Brasil Central, com período chuvoso e seco bem definidos e temperaturas amenas durante a noite, condições favoráveis para o cultivo da cultura (ROCHA, 2008).

A presença de saponina é um entrave por tornar o grão impróprio ao consumo humano por conferir sabor amargo. Há a possibilidade de eliminá-la deixando os grãos imersos em água e depois lavando. Outra alternativa ainda mais interessante é a seleção de genótipos pelo melhoramento genético. Este último apresenta certa facilidade para eliminar a saponina por se tratar de uma característica condicionada por gene dominante (WARD, 2000b), o que na segregação é possível identificar e coletar os indivíduos recessivos pela observação da coloração dos grãos (SOUZA et al., 2004). Em trabalho posterior, conclui-se que a presença e a ausência de saponina são caracteres qualitativos, enquanto que o teor no grão pode variar em função da frequência do alelo na população (WARD, 2001).

Já tamanho reduzido do grão dificulta colheita mecanizada e o melhoramento desta característica parece ser condicionado por vários genes e por isso ainda é um fator limitante. Entretanto, os trabalhos de seleção continuam como forma de atender as

exigências do produtor e do consumidor, tentando-se aproveitar a variabilidade dentro de acessos.

REVISÃO DE LITERATURA

1 Melhoramento Genético

A investigação sobre o número de cromossomos de quinoa mostra que a espécie possui $2n = 4x = 36$ cromossomos. Estes estão arranjados em nove grupos de quatro homólogos, o que significa dizer que a quinoa é uma planta alotetraplóide (SPEHAR, 2007). A origem disso está no genoma, formado a partir do cruzamento de duas espécies diplóides com posterior duplicação dos cromossomos, gerando um alotetraplóide autofértil (MUJICA-SANCHEZ et al., 2001), o que é consistente com os baixos níveis de depressão endogâmica vistos nesta espécie (WARD, 2000 a).

A tetraploidia em quinoa pode ser a explicação da ampla adaptabilidade a diferentes ambientes e à considerável variabilidade genética nas características de interesse agrônomo (SPEHAR, 2007; RODRIGUEZ; ISLA, 2009). Experimentos anteriores, por Allard (1960), demonstram que linhagens portadoras de variações, eventualmente, quando cultivadas próximas de outras, estão sujeitas à ocorrência de hibridações naturais, resultando em novas combinações.

A quinoa, assim como o algodão, é classificada como autógama predominante; porém, a alogamia pode ocorrer em intensidade variável, com implicações na experimentação, no melhoramento e na multiplicação de linhagens selecionadas. Nessas condições, trabalhos de melhoramento genético exigem, como regra, polinização controlada, da mesma forma que a manutenção de pureza, nos campos de multiplicação de sementes, depende de barreiras físicas com outras espécies como amaranto, sorgo, girassol ou de isolamento por distância mínima de 1.000 metros (SPEHAR, 2007), e época de

semeadura, evitando-se a coincidência de floração entre genótipos (CIA et al., 1999). A taxa de alogamia pode ser reduzida também com esterilidade masculina (MUJICA-SANCHEZ et al., 2001).

Em função da elevada taxa de fecundação cruzada, Ochoa (1945), citado por Tapia et al., (1979), considera quinoa como uma planta alógama assim como o milho. Por sua vez, Rea (1945), citado por Tapia et al., (1979), afirma que podem existir variedades de quinoa tanto autógamas como alógamas.

O grau de alogamia em quinoa depende da morfologia floral, de fatores genéticos e ambientais. Os cruzamentos naturais podem ser influenciados pela proporção de flores femininas, masculinas e hermafroditas na mesma planta. A taxa de alogamia é então explicada pelas diferentes composições de flores na panícula (MUJICA-SANCHEZ et al., 2001). Além disso, os mesmos autores relataram flores em diferentes estádios de desenvolvimento no mesmo glómulo em formação, em antese, maduras e secas. Todos estes eventos favorecem o cruzamento natural.

Segundo Spehar (2007), as taxas de cruzamentos em campos de quinoa no Brasil variam entre 6% e 30 % dependendo das condições ambientais. No ambiente andino, a taxa média de polinização cruzada é de 10%, porém em algumas variedades foram encontrados de 17 % até 80% (MUJICA-SANCHEZ et al., 2001).

A fertilização da flor da quinoa resulta da combinação da autofecundação e do cruzamento natural, dependendo da incidência de insetos, como vetores de pólen, à semelhança do algodão (FREIRE, 2007), da distância entre as plantas e da coincidência no florescimento (SPEHAR, 2007). Em quinoa, foram encontrados pulgões verdes (*Aphis* sp.) como polinizadores (MUJICA-SANCHEZ et al., 2001).

Temperatura e presença de insetos são fatores ambientais condicionantes de polinização. Temperaturas superiores a 30 °C afetam negativamente a viabilidade da antese e retardam ou impedem este processo, bem como reduzem a viabilidade do pólen. Mujica-Sanchez et al., (2001), afirmam que, nesta fase, quando há temperaturas superiores a 38 °C ocorre aborto das flores, especialmente em estufas ou em zonas desérticas. Por outro lado, temperaturas próximas de zero, podem induzir esterilidade masculina em algumas variedades.

As flores são pequenas (3 a 4 milímetros de diâmetro) e agrupadas em conjunto em grandes números para formar a inflorescência. Técnicas de hibridização envolvendo emasculação manual e transferências de pólen são, portanto, extremamente difíceis e tediosas (CÁCERES, 1993). O desenvolvimento de linhas macho-estéreis de quinoa para uso como genitor feminino na produção de híbridos tem sido sugerido como um método alternativo (WARD; JOHNSON, 1993).

A liberação do pólen ocorre desde o amanhecer até o pôr-do-sol, predominantemente nos horários em que a temperatura esteja próxima de 20 °C. Cáceres (1993) constatou que em Lima, no Peru, a máxima intensidade de abertura floral com liberação de pólen se deu ao meio dia. Leon Hancco (2003), considera o melhor horário para polinização das 9:00 às 14:00, justificando que a temperatura se aproxima de 15 °C. Deve-se levar em consideração que a temperatura local nos Andes peruanos é mais amena que a brasileira.

Para garantir cruzamento artificial, os grãos de pólen podem ser recolhidos e embalados em sacos de papel ou garrafas (MUJICA-SANCHEZ et al., 2001). O grão de pólen é pesado e de difícil transporte pelo vento, ficando neste caso a polinização cruzada dependente de insetos vetores, como a abelha *Apis mellifera* (SANTOS, 1996). Esse inseto

é responsável pelo fluxo gênico entre plantas e permite a polinização mesmo em distâncias maiores, sendo fundamental o isolamento dos campos com plantas mais altas que a quinoa.

No caso de quinoa, que apresenta flores muito pequenas, algumas técnicas especiais para a emasculação podem facilitar a hibridação, como exposição das flores ao calor, frio ou substâncias químicas como o álcool. Cáceres (1993) utilizou álcool etílico a 57%, sucção e água quente como metodologias alternativas à hibridação com pinça em quinoa. Essas técnicas se baseiam no fato de que o pólen é, geralmente, mais sensível do que o estigma em condições de ambiente desfavoráveis. Uma outra técnica consiste no emprego de sucção. Por este método, um pequeno tubo de vácuo é usado para aspirar o pólen aderido ao estigma (ALLARD, 1960).

2 Métodos de Melhoramento

No melhoramento genético, além de se levar em conta, a ploidia, é fundamental conhecer o modo de reprodução, as características da planta e a natureza de suas utilizações. Esse conjunto, sendo conhecido, torna possível definir métodos que permitam alcançar o objetivo desejado no menor espaço de tempo possível (BORÉM; MIRANDA, 2009).

O melhoramento genético em quinoa, como em qualquer espécie, é a ação que torna disponível uma nova variedade comercial superior, pelo menos em uma característica, às variedades até então cultivadas na região (CIA et al., 1999). O primeiro método de melhoramento utilizado no Brasil, em quinoa, foi à introdução de populações seguida por seleção de progênies (SPEHAR; SOUZA, 1993; SPEHAR; SANTOS, 2005).

Porém, para que a quinoa integre o sistema agrícola brasileiro, é preciso a existência de variedades que apresentem características agrônômicas desejáveis tais como: baixa ramificação, altura desejável à colheita mecanizada, ausência de acamamento, indeiscência do perigônio, maturação uniforme, ciclo precoce, elevado rendimento de grãos, sementes grandes e de boa qualidade (SPEHAR, 2007).

Assim, é importante que se conheçam os condicionantes genéticos para as características de interesse econômico em quinoa, principalmente das características quantitativas, que exigem do melhorista maior cuidado na seleção, uma vez que esses caracteres são muito influenciados pelas variações do ambiente (FERREIRA, 2006), resultando na expressão de vários genes de efeito menor, que podem interagir entre si e com o ambiente.

Os métodos de melhoramento utilizados em autógamas com taxas variáveis de alogamia não podem ser classificados facilmente, sendo necessário examinar a espécie em questão (BORÉM; MIRANDA, 2009). No caso de quinoa, diversos métodos de seleção podem ser empregados no melhoramento, tais como: massal, genealógico, genealógico-massal, recorrente e retrocruzamentos. Em consequência do sistema misto de reprodução, torna-se possível a adoção de metodologias que promovam o aumento da endogamia, permitindo a expressão de recombinação gênica ao longo dos ciclos seletivos, realizando-se polinizações controladas, como em algodão (FREIRE, 2007).

2.1 Hibridação

Hibridação, como um método de melhoramento, é favorável à combinação de caracteres presentes em diferentes variedades ou acessos com o objetivo de combinar o

híbrido e, em seguida, a partir da F_2 , programar seleção de características favoráveis para concentrar alelos dispersos entre os acessos em algumas linhas ou variedades (MUJICA-SANCHEZ et al., 2001).

A hibridação é uma ferramenta que visa aumentar a variabilidade genética procurando introduzir, no genoma, certa característica de importância encontrada em outra variedade da mesma espécie ou de espécie diferente (BORÉM; MIRANDA, 2009). Cáceres (1993) cita esse método como uma forma de incrementar o desenvolvimento de novas variedades de quinoa, permitindo reunir bom rendimento, maior taxa de adaptação e resistência às doenças.

O sucesso nesse tipo de cruzamento depende da escolha de genitores que possuam características agrônomicas desejáveis em elevada frequência gênica, que não apresentem limitações nos demais atributos da planta e que revelem boa capacidade de combinação (CIA et al., 1999). Cáceres (1993), complementa que, no caso de quinoa, a aplicação do método de hibridações controladas é limitado, principalmente pelos problemas encontrados nas técnicas de emasculação e polinização.

Escolhidos os genitores que possuam as propriedades que se deseja combinar, deve-se obter a geração F_1 . Em F_2 espera-se o máximo de variabilidade. Quanto maior a população em F_2 , maior a probabilidade de selecionar plantas que apresentem a combinação desejada (ALLARD, 1960).

A quinoa apresenta vários componentes indutivos de hibridações naturais, como presença de auto-incompatibilidade, flores femininas e hermafroditas em proporções variadas em uma mesma planta, além da existência de macho esterilidade. O ambiente tem grande influência na proporção de flores. Altas temperaturas e intensidade luminosa afetam

tanto o tipo das flores quanto o seu comportamento. A antese que ocorre normalmente da manhã ao meio dia é acelerada sob essas condições ambientais (SPEHAR, 2007).

Deve-se ressaltar que a eficiência dos dispositivos de endogamia está sujeita a modificações tanto de causas genéticas como ambientais. Assim, a frequência de cruzamentos varia de um material genético para outro e com as diferentes estações do ano e locais (ALLARD, 1960).

Até o momento, não há registro de hibridações controladas empregadas em melhoramento da quinoa no Brasil. Mas, considerando a taxa de alogamia e se houver coincidência na floração, pode-se empregar blocos de cruzamentos. Nesse método, genótipos superiores com coincidência na floração são plantados em espaçamentos reduzidos, para facilitar a ação de vetores e o surgimento de híbridos na floração. Entretanto, se os genótipos apresentarem ciclos diferentes, os plantios devem ser efetuados em intervalos para haver florescimento coincidente (SPEHAR, 2007).

Para se ter controle da taxa de polinização usam-se marcadores morfológicos para identificar os híbridos. A presença de genes marcadores facilita a identificação das plantas híbridas. Eles devem apresentar características facilmente distinguíveis no campo e não devem estar ligados a fatores que determinam baixa produtividade (ALLARD, 1960). Em quinoa, cor do caule, da folha e do pecíolo (colorido dominante sobre verde), tipo e cor da inflorescência (colorida dominante sobre amarela) e número de dentes da folha (SPEHAR, 2007) são descritores morfológicos que confirmam o cruzamento.

A proporção de cruzamento natural é, geralmente, determinada pelo plantio de genótipos com um gene marcador recessivo como genitor feminino, intercalados com genótipos apresentando o correspondente alelo dominante como progenitor masculino. As sementes são colhidas nas plantas recessivas e a taxa de cruzamento natural é calculada a

partir da proporção de indivíduos recessivos e dominantes na progênie. Para maior eficiência em estudos desta natureza são preferidos os caracteres visíveis em sementes ou plântulas. Tais genes constituem bons marcadores, uma vez que grandes números de indivíduos podem ser examinados com pouco trabalho e custo (ALLARD, 1960).

As plantas que serão usadas como progenitores femininos devem ter suas flores emasculadas numa operação anterior a abertura floral, cortando o filete das anteras e protegendo o estigma para impedir a entrada de pólen estranho. Esta operação leva em consideração que, em plantas que apresentam cleistogamia, como a quinoa, a emasculação deve ser feita antes da antese, uma vez que na abertura floral a autofecundação já tenha ocorrido nas flores hermafroditas.

A polinização efetua-se quando as flores do progenitor masculino iniciam a deiscência do pólen. Em alguns casos, devido à curta duração da antese, é aconselhável recolher pólen de várias plantas do progenitor masculino (MUJICA-SANCHEZ et al., 2001). Depois de colhidos os grãos de pólen da flor do progenitor masculino, roçam-se os respectivos sobre o estigma emasculado (CARVALHO, 1996).

As plantas F_1 são cultivadas em condições adequadas para favorecer maior desenvolvimento e produzir mais sementes, o que permitirá a derivação de F_2 com uma população suficiente para a descendência expressar recombinações, permitindo seleções para os caracteres favoráveis (MUJICA-SANCHEZ et al., 2001).

Como a heterozigose é máxima na geração F_1 , seleções não são indicadas nesta etapa, pois só se manifestam os caracteres dominantes, enquanto os recessivos estão ocultos (CARVALHO, 1996). O pressuposto é a ocorrência de heterose, resultando na superioridade do híbrido em relação aos parentais utilizados (CIA et al., 1999).

Recomenda-se autofecundar e em F₂ iniciar seleções quando então ocorrem as segregações e o aparecimento dos fenótipos homozigotos dominantes.

Os estudos conduzidos em vários anos e locais são particularmente valiosos, porque a taxa de cruzamento natural nos diferentes genótipos pode ser grandemente influenciada por condições de ambiente. Quando progênies são avaliadas para se identificarem combinações favoráveis, deve-se tomar o cuidado de utilizar as sementes remanescentes nos avanços de gerações e obtenção de genótipos (SPEHAR, 2006).

3 Parâmetros Genético-Estatísticos

Quando se trata de melhoramento, é fundamental ter em mente que genótipos podem ter diferentes expressões fenotípicas em face das condições ambientais adversas ou favoráveis. Essas interações genótipos x ambientes é reveladora da estabilidade de comportamento e da adaptabilidade das variedades, características essenciais para conferir segurança e desempenho médio eficiente (CIA et al., 1999). A adaptabilidade da quinoa reflete a diversidade de ambientes que ocorreram na região de origem (SPEHAR, 2006).

Porém, quando genótipos de plantas cultivadas são submetidas aos mais diversos ambientes é esperado que o comportamento das mesmas não seja coincidente, por suas respectivas interações. Para se estimar a interação e, mais ainda, procurar alternativas para evitar as indesejáveis, é necessária a realização de experimentos em vários locais e/ou safras agrícolas e lançar mão de estatísticas específicas como análise conjunta dos dados (RAMALHO et al., 2005). Estas análises possibilitam avaliar a estabilidade fenotípica, desejável na obtenção de cultivares.

Em quinoa, as variáveis mais úteis na prática para seleção fenotípica são a altura da planta, dias para o florescimento, tamanho da panícula, diâmetro ao nível do solo e tamanho do grão. Embora essas características sejam influenciadas pelo ambiente, como fotoperíodo, temperatura, fertilidade do solo, disponibilidade de água, avaliação e seleção sob essas variáveis são os procedimentos que têm sido empregados no melhoramento da quinoa (MUJICA-SANCHEZ et al., 2001).

A seleção visando à produtividade e qualidade de grãos é interesse dos melhoristas; entretanto, a influência do ambiente dificulta a seleção de plantas em gerações segregantes e prejudica a avaliação de linhagens em virtude da interação do genótipo com o ambiente, dificultando separar-se a variância devido a efeitos genéticos do ambiental (MITTELMANN et al., 2000).

Na avaliação do modo de herança para caracteres quantitativos torna-se necessário isolar os efeitos genéticos dos ambientais. Em quinoa, tamanho de grãos e rendimento são exemplos que aparentam variação contínua, controlada por muitos genes. Dados preliminares, obtidos nas condições do Cerrado, indicam haver diferença genotípica para tamanho de grão, com forte influencia ambiental (ROCHA, 2008).

Características quantitativas, como produtividade, são complexas e resultam da expressão média dos genes que, com frequência, interagem, além de apresentarem ligações com outros indesejáveis, sendo bastante influenciadas pelas condições do meio. Procura-se, portanto, estudar cada característica em seus componentes, visando realizar a seleção em função daquelas menos influenciadas pelas variações do meio ambiente (RAMALHO et al., 2008).

Tamanho de grão é uma característica quantitativa que pode sofrer efeito ambiental verificada por seus tamanhos variados deles em uma mesma planta. Para uma mesma

variedade, em cultivos de verão, com excesso de umidade, os grãos são menores que no cultivo de inverno com irrigação na suplementação suficiente de umidade (ROCHA, 2008). Fisiologicamente, os primeiros grãos a se formarem recebem mais fotoassimilados do que os últimos e, portanto, é de se esperar que exista variação do tamanho final deles. Com alta pluviosidade, a lixiviação dos nutrientes pode ser uma das explicações para a ocorrência de grãos menores, mesmo nos materiais que apresentam médias maiores em cultivos de entressafra. Isto evidencia uma característica de herança poligênica com elevado efeito ambiental. Essas ocorrências podem ser também devidos à predominância de temperaturas mais elevadas na fase reprodutiva (SPEHAR, 2007).

Quando existe tanta influencia ambiental, como neste componente, é razoável supor-se que seleções para esta característica tenham baixa possibilidade de ganho genético em função da baixa herdabilidade. O ganho genético esperado em cada geração é altamente influenciado pela interação alélica predominante e pela quantidade de genes envolvidos. Componentes de variação que resultam da ação de vários genes apresentam menor chance de serem selecionados fenotipicamente. Daí a importância de se avaliarem progênies sob diferentes condições ambientais para separar-se a variância genética (RAMALHO et al., 2008).

Para determinar qual componente é menos influenciado pelas condições de meio, e assim usá-lo como índice de seleção, devem-se empregar métodos estatísticos que permitam estimar variâncias genéticas e fenotípicas de cada componente. Além disso, fenômenos de pleiotropismo e ligação gênica determinam, frequentemente, a existência de correlações entre várias características, cujo conhecimento pode facilitar muito a execução dos esquemas de seleção (RAMALHO et al., 2008).

Em quinoa, coeficientes de correlação podem ser calculados para verificar a relação entre características como ciclo da planta, altura, produção de grãos, produção de biomassa, comprimento e diâmetro da inflorescência, cor e diâmetro do caule (SANTOS, 1996). Assim, permite-se verificar efeito ambiental sobre diferenças genéticas. As correlações de efeito genético se mantêm em diferentes ambientes; já as correlações ambientais podem ser verificadas quando o mesmo material não apresenta estabilidade em locais diferentes.

Segundo Spehar (2007), o rendimento se correlaciona positivamente com altura, comprimento, diâmetro da inflorescência e ciclo da planta. E a baixa população propicia aumento do diâmetro, da ramificação e do rendimento. Entretanto, Spehar e Rocha (2009), não verificaram correlação entre densidade de plantas e rendimento por planta. Já Santos (1996), obteve correlação positiva entre altura da planta e comprimento da inflorescência, indicando que produtividade está relacionada com a proporção do caule ocupada pela inflorescência.

Bertero et al. (2004), verificaram que o ciclo teve grande influência sobre produção de biomassa e produtividade de grãos em quinoa. Entretanto, na análise de correlação não revelou associação entre a média de respostas de cultivares para produção e tamanho de grão.

Deve-se ficar atento à existência de correlações negativas entre caracteres relacionados à produtividade porque pressões de seleção para melhoria de uma característica podem implicar perdas em outra(s) (CIA et al., 1999).

4 Características Agronômicas

Quinoa é uma planta herbácea anual com ampla dispersão geográfica; apresenta morfologia, cor e comportamento em diferentes zonas agro-ecológicas onde é cultivada, mostrando uma enorme variação e plasticidade para se adaptar às diferentes condições ambientais. Pode ser cultivada em regiões áridas e úmidas das zonas tropicais, em locais frios e quentes, muito tolerante a fatores abióticos adversos como a seca, geada, salinidade do solo e outras que afetam a maioria das plantas cultivadas (MUJICA-SANCHEZ et al., 2001).

Em BRS Piabiru a estatura média da planta é de 180 cm, da qual a inflorescência ocupa 45 cm. A diferenciação floral ocorre aos 30 dias depois da emergência, e a antese inicia aos 45 dias. O período entre a emergência e a maturação fisiológica varia de 90 a 240 dias, normalmente em 145 dias. As plantas são resistentes ao acamamento. Os grãos beneficiados apresentam peso médio de mil sementes 2,42 g (SPEHAR, 2007). Para outros genótipos, os valores de rendimento já atingiram 4,7 t ha⁻¹ para grãos e 13,8 t ha⁻¹ para biomassa total, mostrando grande potencialidade da planta (ROCHA, 2008).

Quanto ao teor de proteína, quinoa varia entre 7,5-22,1% (TAPIA, 1997), substancialmente maior que a dos grãos de cereais. Quando cultivada sob temperaturas mais elevadas, como as do Bioma Cerrado, apresenta maiores quantidades de gorduras e proteínas no grão do que no Altiplano Andino (GOMES, 1999).

5 Composição Físico-Química

A busca por alimentos alternativos, como fonte de nutrientes específicos, torna-se cada vez mais importante no sentido de melhorar a nutrição humana (SPEHAR, 2002). Neste contexto, a quinoa despontou como opção alimentar.

A quinoa é um pseudocereal que ganhou destaque na área alimentar devido às características da composição do grão com alto valor biológico das proteínas, composta por aminoácidos essenciais, podendo ser usada para balancear dietas de atletas, idosos e crianças devido as suas excelentes qualidades nutricionais (MUJICA-SANCHEZ et al., 2001).

Originária dos Andes, sendo à base da alimentação da população em função das suas características nutricionais, com destaque para sua composição protéica de alto valor biológico (SPEHAR; SOUZA, 1993) e a vantagem de não apresentar glúten (KOZIOL, 1992).

Além disso, a proteína de quinoa é uma excelente fonte de aminoácidos essenciais (COULTER; LORENZ, 1991). Usada pela NASA como alimento da tripulação em viagens espaciais (SCHILICK; BUBENHEIM, 1996) e recomendada pela ONU como alimento para combater a desnutrição infantil (MUJICA-SANCHEZ et al., 2001), várias pesquisas foram iniciadas em diversas partes do mundo, inclusive no Brasil (SPEHAR, 2007).

A composição centesimal do grão é uma característica genética, diferenciando entre as variedades, entretanto, altamente influenciada pelas condições de cultivo, época de semeadura, adubação, variações ambientais como temperatura e umidade, doenças, ataques por insetos e armazenamento (ROCHA et al., 2010).

OBJETIVO GERAL:

Identificação do controle genético sobre caracteres agronômicos em quinoa em apoio à obtenção de cultivares.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Obter e identificar híbridos naturais e artificiais entre genótipos de quinoa previamente selecionados;
- Determinar herança genética da pigmentação de partes da planta de quinoa, se monogênica com dominância de coloração em relação à ausência de cor;
- Avançar F₁ e F₂ para avaliação que reúna simultaneamente os genitores, e as respectivas gerações, para análise dos componentes genéticos;
- Avaliar a composição centesimal dos grãos de quinoa: genitores e sua geração F₂.
- Avaliar o enraizamento de clones de híbridos F₁ de quinoa, usando diferentes concentrações de AIB (ácido indol butírico).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLARD, R.W. **Principles of plant breeding**. 3 ed. New York: J. Willwy, p. 485, 1960.

BERTERO, H. D.; de la VEGA, A. J.; CORREA, G.; JACOBSEN, S. E.; MUJICA, S. A. Genotype and genotype-by-environment interaction effects for grain yield and grain size of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as revealed by pattern analysis of international multi-environment trials **Field Crops Research**, v. 89, n. 2-3, 2004.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. 5. Ed, Viçosa, MG: Ed: UFV, p. 529, 2009.

CÁCERES, A. A. **Evaluación de Técnicas de Hibridación em El Mejoramiento Genético de la Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd)**. Tesis Magister Scientiae. Universidad Nacional Agraria La Molina, Escuela de Post-Grado, Lima, Peru, p. 50, 1993.

CARVALHO, P. P.; **Manual do Algodoeiro**. Instituto de Investigação Científica. Lisboa, p. 282, 1996.

CIA, E.; FREIRE, E. C.; SANTOS, W. J. dos. **Cultura do algodoeiro**. POTAFOS. Piracicaba, SP, p. 286, 1999.

COULTER, L. A.; LORENZ, K. Extruded corn grits-quinoa blends: I. Proximate Composition, Nutritional Properties and Sensory Evaluation. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 15, p. 231-242, 1991.

FERREIRA, P. V. **Melhoramento de Plantas – Herança Quantitativa e Cruzamentos Dialélicos**. Volume 4, EDUFAL, Maceió, p.281 – 355, 2006.

FREIRE, E. C. **Algodão no Cerrado do Brasil**. ABRAAPA: Associação Brasileira dos Produtores de Algodão, Brasília, DF, p. 918, 2007.

GOMES, M. P. **Avaliação do conteúdo organo-mineral de grãos de quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd.)**. 59 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 1999.

KOZIOL, M. J. Chemical compositional and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 5, n. 1, p. 35-68, 1992.

LEON HANCCO, J. M. **Cultivo de La Quinoa em Puno – Peru: descripción, manejo y producción**. Universidad Nacional Del Altiplano. Facultad de Ciencias Agrarias, p. 63, 2003.

MAUGHAN, P. J.; BONIFACIO, A.; JELLEN, E. N.; STEVENS, M. R.; JARVIS, D.E.; GARDUNIA, B.W.; FAIRBANKS, D. J.; A genetic linkage map of quinoa (*Chenopodium*

quinoa) based on AFLP, RADP and SSR markers. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 109, n. 6, p. 1188-1195, 2004.

MITTELMANN, A.; BARBOSA NETO, J. F.; CARAVALHO, F. I. F. de; LEMOS, M. C. I.; CONCEIÇÃO, L. D. H. da. Herança de caracteres do trigo relacionados à qualidade de panificação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.5, p.975-983, maio 2000.

MUJICA-SANCHEZ, A.; JACOBSEN, S. E.; IZQUIERDO, J.; MARATHEE, J. P.. **Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Ancestral Cultivo Andino, Alimento Del Presente y Futuro**. FAO. Editores: Santiago, Chile, 2001.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; PINTO, C. A. B. P. **Genética na Agropecuária**, 4ª edição revisada, Universidade Federal de Lavras UFLN, Lavras - MG, 2008, p.463.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. de. **A experimentação em genética e melhoramento de plantas**, Lavras: UFLA, p. 326, 2005.

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

ROCHA, J. E. da S.; SPEHAR, C. R.; ROSA-CAMPOS, A. A.; BORGIO, L. A. Comparação da composição centesimal da quinoa BRS Piabiru cultivada no verão e no inverno brasileiro. In: II Simpósio em Ciência e Tecnologia de Alimentos e II Congresso do Instituto Nacional de Frutos Tropicais, abril 2010, Aracaju, SE, **Anais**, p. 598-601, 2010.

RODRIGUEZ, L. A.; ISLA, M. T. Comparative analysis of genetic and morphologic diversity among quinoa accessions (*Chenopodium quinoa* Willd) of the South of Chile and highland accessions. **Journal of Plant Breeding and Crop Science**, v. 1, n. 15, p. 210-216, 2009.

SANTOS, R. L. B. **Estudos iniciais para cultivo de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) no Cerrado**. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília, p. 129, 1996.

SCHLICK, G.; BUBENHEIM, D. Quinoa: Cultivo para los sistemas ecológicos controlados de apoyo a La vida, de La NASA, Em: J. Janick (Ed), p. 632-640, **Progress in new crops**. ASHS Press, Arlington, VA, 1996.

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**, Brasília, v.39, n.4, p.397 401, abr. 2004

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

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

SPEHAR, C. R. Utilização da quinoa como alternativa para diversificar alimentos In: SIMPÓSIO SOBRE INGREDIENTES NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL, 2002, Uberlândia, MG. [Anais]. Uberlândia: Congresso Brasileiro de Nutrição Animal: UFU p. 49-58, 2002.

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**, Uberlândia, v. 25, n. 4, p. 53-58, 2009.

SPEHAR, C. R.; SANTOS, R. L. B. Agronomic performance of quinoa selected in the Brazilian Savannah. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, n. 69, p. 609-612, 2005.

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

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

TAPIA, M. **Cultivos andinos subexplorados y su aporte a la alimentación**. 2. Ed. Santiago: FAO – Oficina Regional de la FAO para la America latina y Caribe, p. 273, 1997.

TAPIA, E. M.; GANDARILLAS, H.; ALANDIA, S.; CARDOZO, A.; MUJICA, A. **La quinua y la kañiwa, cultivos andinos**. CIID. IICA, Bogota, 1979.

WARD, S. M. A recessive allele inhibiting saponin synthesis in two lines of Bolivian quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) **The Journal of Heredity**, v. 92, n. 1, p.83-86, 2001.

WARD, S. M.; Allotetraploid segregation for single-gene morphological characters in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) **Euphytica**, v. 116, n. 1, p. 11-16, 2000 a.

WARD, S. M.; Response to selection for reduced grain saponin content in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) **Field Crops Research**, v. 28, n. 2, p. 157-163, 2000 b.

WARD, S. M.; JOHNSON, D. L. Cytoplasmic male sterility in quinoa. **Euphytica** v. 66, p. 217-223, 1993.

CAPÍTULO 1: Desempenho agrônômico e recomendações para cultivo de quinoa

(BRS Syetetuba) no Cerrado

SPEHAR, C. R.; ROCHA, J. E. S; SANTOS, R. L. B.

(Trabalho publicado na Revista Pesquisa Agropecuária Tropical)

RESUMO

DESEMPENHO AGRONÔMICO E RECOMENDAÇÕES PARA CULTIVO DE QUINOA (BRS SYETETUBA) NO CERRADO

A Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), originária dos Andes, tem sido adaptada ao cultivo no Brasil via seleção de progênies. Entre as progênies avaliadas, tem-se destacado a Q 4.5, proveniente da população Q4, originária dos vales equatorianos. O genótipo foi uniformizado em suas características agronômicas, recebendo o nome de BRS Syetetuba. Em experimentos de verão e entressafra, apresentou rendimentos de 2,3 t ha⁻¹ de grãos e 7,5 t ha⁻¹ de biomassa total, em 120 dias, da emergência à maturação. Estes resultados superaram aqueles alcançados pelas cultivares-padrão BRS Piabiru e Kancolla. Os grãos são livres de saponina e têm peso médio de mil sementes igual a 2,9 g. Os resultados indicam que a BRS Syetetuba reúne características favoráveis para desencadear a produção comercial de quinoa no Brasil.

Palavras-chave: *Chenopodium quinoa*; peso de grãos; biomassa; altura de planta.

ABSTRACT

AGRONOMIC PERFORMANCE AND RECOMMENDATIONS FOR QUINOA (BRS SYETETUBA) CROP IN THE BRAZILIAN SAVANNAH

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), native to the South American Andes, has been adapted for cultivation in Brazil, via progeny selection. Originating from the Q4 population, from Ecuadorian valleys, Q 4.5 has shown outstanding performance. During the trials, it was standardized for agronomic traits and named BRS Syetetuba. In the summer and winter, it reached 2.3 t ha⁻¹ and 7.5 t ha⁻¹, respectively for grain and biomass yield, in 120 days, from emergence to maturity. These results were higher than those reached by the BRS Piabiru and Kancolla check cultivars. The grains are saponin-free and have a mean weight of 2.9 g 1.000⁻¹. The results reveal that the BRS Syetetuba meets the desirable characteristics for commercial yield in Brazil.

Key-words: *Chenopodium quinoa*; grain weight; biomass; plant height.

COMUNICAÇÃO CIENTÍFICA

A Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), pertencente à família Amaranthaceae, subfamília Chenopodioideae, é originária dos Andes, onde tem sido cultivada há milênios (Mujica-Sanchez et al. 2001). Com grande variabilidade genética e relativa tolerância a estresses abióticos, como baixas temperaturas, déficit hídrico, salinidade e acidez (Jacobsen et al. 2003), a espécie desponta como opção para diversificar a agricultura brasileira. Nos últimos anos, parcerias entre a Embrapa Cerrados, Universidade de Brasília e agricultores têm estimulado a sua adaptação e cultivo no Brasil (Spehar 2007). Seu grão possui proteína de qualidade, que atende às necessidades básicas em aminoácidos essenciais no balanceamento protéico de alimentos e ração animal. Ademais, atende, também, à crescente demanda por alimentos equilibrados e funcionais, relacionada à busca de alternativas dietéticas, como a ausência de glúten. Com estas propriedades, a quinoa tem sido demandada mundialmente, o que tem levado à expansão de seu cultivo, inclusive como alternativa aos cultivos comerciais.

No Brasil, desde a década de 1990, tem-se confirmado o potencial de cultivo comercial desta espécie na região do Cerrado (Spehar & Souza, 1993; Spehar 2007). Como consequência, a produção brasileira poderá suplementar um mercado externo crescente, que exige características específicas como grãos grandes (maiores que $3,0 \text{ g } 1.000^{-1}$), ausência de saponina (detergente natural de sabor amargo formado por glicosídeos) e boa qualidade nutricional. Grãos desprovidos de saponina permitem seu uso direto na alimentação, sem a remoção do envoltório do fruto (aquênio), que contém tal substância. Tais características têm sido alvo de programas de melhoramento da quinoa, inclusive no Brasil (Spehar 2007).

No Cerrado, em latitudes aproximadas de 15 °S e altitudes entre 800 m e 1.100 m, o

ciclo precoce também é desejável, haja vista a maior facilidade de manejo da lavoura e a melhoria da qualidade do produto colhido (grãos), do rendimento e da eficiência relativa (Spehar & Santos 2005). Demonstra-se que, nem sempre, a elevada produção de biomassa, associada ao ciclo mais tardio, influenciando o crescimento das plantas, é acompanhada de maior rendimento e qualidade de grãos (Spehar & Santos 2002).

A linhagem BRS Syetetuba (em tupi-guarani, *Syetetuba* significa sementes boas e abundantes), objeto desta comunicação, foi obtida por seleção individual (plantas trilhadas separadamente), seguida de avaliação de progênes, a partir da população Q 4 originária dos vales andinos do Equador, situados em altitude média de 2.500 m. Desta população, que apresentava plantas com variações morfológicas em semeaduras no Cerrado, foi selecionada a progênie Q 4.5, que apresentou características desejáveis como ausência de saponina, grãos grandes e relativa homogeneidade fenotípica. Como já enfatizado, tais características são o alvo principal da seleção, além de outras relacionadas a número de dias para a maturação, arquitetura da planta e rendimento de grãos.

A linhagem Q 4.5 destacou-se em ensaios conduzidos por duas safras (2006 e 2007), em Planaltina, DF (dois ensaios), e Cristalina, GO, em competição com as cultivares testemunhas BRS Piabiru e Kancolla. A primeira destas é a cultivar pioneira de quinoa recomendada para o Brasil; a segunda é originária do altiplano boliviano-peruano. Os locais de experimentação, com latitudes entre 15 °S e 16 °S, apresentam Latossolo Vermelho Escuro e Latossolo Amarelo, em Planaltina, e Latossolo Amarelo, em Cristalina. Em todos eles, os solos foram previamente corrigidos (Spehar & Rocha 2010).

BRS Syetetuba possui hipocótilo de coloração rosa claro e suas folhas, com polimorfismo, apresentam deposição de oxalato de cálcio, típica da espécie. O caule, ereto, é verde ou verde estriado, ocorrendo plantas com caule roxo e, algumas delas, são

ramificadas. A inflorescência, diferenciada e terminal, amarantiforme e laxa, caracteriza-se por apresentar coloração amarela, quando a planta atinge a maturação fisiológica. Os grãos (frutos), cilíndricos e achatados, apresentam pericarpo branco, sendo envolvidos pelo perigônio, que se abre na maturação. Variações fenotípicas associam-se a cruzamentos naturais de frequência variável, podendo atingir até 30% nas condições do Planalto Central Brasileiro. Suas plantas, resistentes ao acamamento, apresentam estatura média de 1,8 m, da qual a inflorescência representa 0,6-0,7 m. A diferenciação floral ocorre aos 30 dias após a emergência e a antese inicia-se aos 45 dias. O período entre a emergência e a maturação fisiológica é de cerca de 120 dias. Os grãos prontos para o armazenamento, com umidade de 12 %, apresentam peso médios de 2,5 g e 3,3 g por mil grãos, nos cultivos respectivos de verão e de inverno, contendo até 18 % de proteína. Os dados de rendimento, em relação às cultivares padrão BRS Piabiru e Kancolla, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Rendimento de grãos ($t\ ha^{-1}$) de quinoa, genótipo BRS Syetetuba, em relação às cultivares padrão BRS Piabiru e Kancolla, no período 2006-2007, em três locais¹.

Ano	Local	BRS	Testemunhas	
		Syetetuba	BRS Piabiru	Kancolla
2006	Embrapa, Planaltina, DF	2,0	1,2	1,4
2006-2007	Fazenda Moça Terra, Planaltina, DF (1)	2,6	2,4	0,9
	Fazenda Moça Terra, Planaltina, DF (2)	2,4	1,8	1,6
	Fazenda Dom Bosco, Cristalina, GO	2,3	1,8	2,1
	Média Geral	2,3	1,8	1,5

¹ Valores obtidos em cultivo de sucessão e entressafra, sob precipitação de 450 mm.

Os valores médios de rendimento no período foram de $2,3\ t\ ha^{-1}$ de grãos, com $7,5\ t\ ha^{-1}$ de biomassa total e índice de colheita (IC) médio de 0,31 (dados não apresentados). Esse índice, que é uma medida da eficiência produtiva da planta (expressa a proporção de grãos na biomassa total), pode ser considerado alto, pois foi equivalente ao da cultivar

Kancolla e superior ao da Piabiru. Em síntese, o rendimento elevado, em ciclo de 120 dias, evidencia a viabilidade econômica do cultivo deste material no Brasil (Spehar & Rocha 2010).

Além das características fenológicas e de rendimento, realizou-se, ainda, nos ensaios, levantamentos de micro-organismos e insetos associados à cultura. Doenças típicas da espécie, como o míldio (*Peronospora farinosa*), e pragas como a mariposa *Eurysacca melanocampta* não foram encontrados, confirmando-se a ausência de seu registro no Brasil (Spehar 2007). Houve incidência de percevejos de várias espécies, incluindo os que atacam a soja, como *Nezara viridula*, *Pyezodorus guildinii* e *Euschistos heros*, sem dano aparente aos grãos. Depois da colheita, verificou-se, ainda, a ocorrência de gorgulho do trigo (*Sitophilus granarius*) e de traças-dos-cereais (*Ephestia kuehniella* e *Plodia interpunctela*), insetos que, geralmente, atacam grãos de quinoa.

Entre as recomendações básicas para o cultivo, a semeadura se faz, preferencialmente, em sulcos, espaçados em 40-50 cm, evitando-se cobrir as sementes com mais de 2,0 cm de solo. A população final esperada é de 500 mil plantas ha⁻¹, embora haja indicação de não haver diferença no rendimento entre populações variando de 100 mil a 600 mil plantas ha⁻¹ (Spehar & Rocha 2009). No florescimento, a lavoura, estando uniforme, cobre totalmente o solo, com populações próximas ao limite superior. A baixa competitividade, no início do crescimento, pode ser contornada semeando-se diretamente em sulcos, sobre os resíduos do cultivo anterior. Assim, quando surgem as plantas invasoras a cultura encontra-se na fase de crescimento rápido, mais competitiva. Para o controle químico das plantas invasoras podem ser utilizados os herbicidas *alachlor*, *setoxydin* e *metamitrona*.

O cultivo de BRS Syetetuba pode ser realizado em safrinha e entressafra. Para a produção de grãos com qualidade é necessário o planejamento da semeadura, a qual deve ser realizada entre janeiro e junho, possibilitando colheita em plena seca. Para o rendimento esperado de 2,0 t ha⁻¹, a adubação de manutenção, com base na composição da planta e assumindo-se o solo corrigido, é de 80-100 kg ha⁻¹, tanto de P₂O₅ como de K₂O. O nitrogênio deve ser parcelado: 20-30 kg na semeadura e 40-50 kg ha⁻¹ em cobertura, aos 30-50 dias após a emergência.

A linhagem BRS Syetetuba amadurece como a soja ou o trigo, ou seja, a planta inteira entra em senescência e seca, facilitando a colheita. Por possuir sementes pequenas, comparativamente a outras espécies cultivadas, como a soja e o feijão, há necessidade de regulagem da colhedora, para reduzirem-se as perdas na operação de colheita (Spehar & Santos 2005). Por fim, durante o armazenamento, deve-se realizar o expurgo dos grãos para se evitar a proliferação de pragas associadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

MUJICA-SANCHEZ, A. et al.. *Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.): ancestral cultivo andino*, Alimento Del presente y del futuro. Santiago: FAO, 2001.

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

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*, Uberlândia, 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.; 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. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) BRS Piabiru alternative for crop diversification. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 37, n. 6, p. 889-893, 2002.

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

Capítulo 2: Herança genética da pigmentação em quinoa

(Chenopodium quinoa Willd.)

ROCHA. J. E. S; SPEHAR, C. R.

HERANÇA GENÉTICA DA PIGMENTAÇÃO EM QUINOA

(*Chenopodium quinoa* Willd.)

RESUMO

O conhecimento do modo de herança, em características qualitativas, de expressões fenotípicas e morfológicas é essencial para uso como marcadores, auxiliando o trabalho na identificação de híbridos e obtenção de progênes, sendo restrito o seu número em quinoa. Este trabalho objetivou determinar a herança da pigmentação em partes da planta de quinoa a partir da frequência fenotípica da geração F₂. Os cruzamentos utilizados foram BRS Syetetuba x 34ZL, BRS Syetetuba x 37ZL, BRS Syetetuba x 40ZL, BRS Syetetuba x 44ZL e BRS Syetetuba x 9542L, sendo a variedade BRS Syetetuba utilizada como genitor feminino. Os genitores masculinos apresentam pigmentação vermelha do oxalato de cálcio nas folhas, nas axilas foliares, nas estrias do caule e na inflorescência, enquanto na BRS Syetetuba a coloração é ausente nas partes citadas. A observação da frequência fenotípica em F₁ demonstrou que 100% das plantas eram vermelhas, com interação intra-alélica do tipo dominância completa, a qual foi confirmada na geração F₂ quando na segregação verificou-se a proporção Mendeliana de 3 vermelha:1 ausente de coloração, significante pelo teste de qui quadrado. As pigmentações das estrias do caule, do oxalato de cálcio, da axila das folhas e da inflorescência obedecem a mesma proporção considerando-se como efeito de pleiotropia, uma vez que a pigmentação ou ausência dela nas partes citadas da planta sempre acontecem em conjunto.

Palavras chaves: axila da folha, estrias do caule, inflorescência, oxalato de cálcio, herança monogênica, pleiotropia

INHERITANCE OF PIGMENTATION IN QUINOA (*Chenopodium quinoa* Willd.)

ABSTRACT

Understanding the genetics for qualitative characters of phenotypic expression is essential as gene markers, useful in hybrid plant identification and progeny selection, its number being limited in quinoa. This work aimed at determining the mode of inheritance for pigment in various parts of quinoa plant, from the proportion at F₂ generation hybrids. The crosses and respective genotypes were: BRS Syetetuba x 34ZL, BRS Syetetuba x 37ZL, BRS Syetetuba x 40ZL, BRS Syetetuba x 44ZL and BRS Syetetuba x 9542L. BRS Syetetuba, variety without pigment, was used as female, whereas the male genitors had pigment in calcium oxalate, leaf axil, stem stripes and inflorescence. The observed genotypic frequency in F₁ demonstrated 100% plants had red pigment, with intra-allelic interaction of full dominance type., confirmed in F₂ generation when in a 3 : 1 red coloured to colourless Mendelian ratio was obtained and significant by chi-square test. The pigmentation by all plant parts follow the same proportion, being considered as pleiotropic effect, as pigment and its absence always happen together.

Key-words: leaf axil, stem stripes, inflorescence, calcium oxalate, monogenic inheritance, pleiotropy

INTRODUÇÃO

O estudo de características morfológicas é o início do conhecimento sobre o modo de herança de expressões fenotípicas como pigmentação em partes da planta. Essa caracterização é parte das atividades do pré-melhoramento, que é essencial para a formação de bancos de dados sobre os recursos genéticos disponíveis sobre a espécie em estudo (FÁVERO et al., 2008). O conhecimento dos genes ou características potencialmente úteis de populações não melhoradas ou de germoplasma exótico contribui para o sucesso no melhoramento de espécies vegetais (FALEIRO et al., 2008).

Diante do pressuposto que caracteres qualitativos são governados, em sua maioria, por um gene com dois alelos, com presença de dominância, a expressão fenotípica em F_2 obedece à proporção de 3:1 de acordo com a primeira Lei de Mendel (RAMALHO et al., 2008). Em estudos com diferentes espécies, a característica de pigmentação apresentou distribuição monogênica, sendo coloração dominante sobre ausência de cor (MIRANDA et al., 1989; PROINPA, 2003; LEON HANCCO, 2003).

Características qualitativas funcionam como genes marcadores, que além de auxiliar o trabalho do melhorista pela fácil identificação de híbridos (SPEHAR; SANTOS, 2007a), permite determinar a quantidade de genes e alelos que condicionam tal característica.

Entretanto, em quinoa tais informações não têm sido confirmadas experimentalmente ou são limitadas a poucos caracteres. Portanto, a pesquisa tem de ser ampliada para contribuir com o melhoramento da granífera, tanto no Brasil, como no mundo.

Em trabalho no Peru, cor de panícula mostrou ser controlada por um gene (R) com três alelos (R, rp, r), sendo púrpuro (R_) dominante sobre vermelho (rp_), dominante sobre

verde (rr), enquanto a coloração da axila é determinado por um gene com dois alelos (Ax, ax), sendo Ax_ pigmentado dominante sobre axax, sem coloração (LEON HANCCO, 2003).

Em 1981, especialistas em quinoa, na tentativa de unificarem os descritores da espécie, optaram pelo registro de características que fossem facilmente observadas e capazes de se expressar em qualquer ambiente (CIRF, 1981). Dentre as características qualitativas descritas estavam cor de caule, inflorescência, oxalato, axila, e formato de folhas (PROINPA, 2003), como descritores para caracterização de quinoa. Cor de caule e inflorescência têm sido usados para estudo de divergência genética de acessos e tem concluído que existe variabilidade genética em quinoa para trabalhos de melhoramento (ORTIZ et al., 1999).

Diante do crescente interesse pelo pseudocereal, a Universidade de Brasília vem estudando a possibilidade de utilizar genes marcadores que possibilitem o controle de polinização entomófila e manual, com o intuito de se chegar à produção de híbridos, permitindo agilizar o processo de melhoramento genético.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a frequência fenotípica de coloração de partes da planta dos indivíduos segregantes em F₂ para confirmar a herança monogênica da característica.

MATERIAL E MÉTODOS

Cultivo dos genitores

O experimento conduzido na Estação Biológica Experimental da Universidade de Brasília foi baseado na escolha dos genitores contrastantes em características morfológicas. Utilizaram-se a variedade BRS Syetetuba e os genótipos 34ZL, 37ZL, 40ZL, 44ZL e 9542L. A seleção dos genitores baseou-se no contraste para marcadores morfológicos para utilizá-los nos híbridos (MUJICA-SANCHEZ et al., 2001). No caso, a presença ou ausência de pigmentação foi a característica contrastante entre os genitores selecionados.

Na escolha além das expressões contrastante assegurou-se que as plantas com ambos os caracteres não segregavam, via o teste de progênies respectivas. Esse procedimento possibilitou a formulação de hipótese quanto ao número de genes ou alelos e interpretação dos resultados (RAMALHO et al., 2008).

A semeadura dos genitores ocorreu em vasos de 2L, sendo dois vasos semeados semanalmente para ampliar as possibilidades de combinação do período floral. As semeaduras iniciaram em dezembro de 2009 e se estenderam até janeiro de 2010. Como material pigmentado usaram-se os genótipos 34ZL, 37ZL, 40ZL, 44ZL e 9542L, e como material sem pigmentação empregou-se a variedade BRS Syetetuba. Os caracteres morfológicos são os de herança simples (MUJICA-SANCHEZ et al., 2001). A homozigose dos genitores foi constatada pela ausência de plantas atípicas dentro de cada acesso.

A variedade BRS Syetetuba apresenta adaptação às condições edafoclimáticas da região central do Brasil, com altura de planta de 1,8 m, caule ereto de coloração verde com presença de estrias, deposição de oxalato de cálcio sobre as folhas de coloração branca,

produtividade de 2,3 t ha⁻¹, com 1.000 sementes pesando 2,5 a 3,3 g, e de coloração creme (SPEHAR et al., 2011).

Os genótipos 34ZL, 37ZL, 40ZL, 44ZL são materiais oriundos de seleções por progênies a partir de plantas em populações advindas do Altiplano Peruano-Boliviano, situado a 3.800 m, não adaptados ao cultivo brasileiro, com ciclo precoce de 90 a 100 dias, altura de planta de 1,2 a 1,5 m, peso de 1.000 sementes variando de 3,5 a 5,0 gramas, coloração do caule vermelho com estrias, axila do pecíolo foliar, inflorescência e oxalato vermelhos.

O genótipo 9542L, originário de seleções por progênies provenientes do Peru, não tem adaptabilidade ao cultivo brasileiro, com ciclo precoce de 90 dias, altura de planta de 1,0 m, peso de 1.000 sementes de 4,5 a 5,0 gramas, coloração do caule vermelho com estrias, axila do pecíolo foliar, inflorescência e oxalato vermelhos.

No cultivo, os genitores foram suplementados com iluminação artificial das 17:00 à 00:00 como forma de prolongar o período vegetativo, possibilitando maior crescimento vegetativo com abundante produção de flores e grãos. A suplementação hídrica foi realizada via aspersores, duas vezes ao dia, com sistema de acionamento automático às 8:00 e às 14:00 horas.

Hibridações

As hibridações ocorreram em março de 2010, de forma manual, com auxílio de lupa, pinça e pincel. A abertura floral se dava ao início da manhã e, portanto, os cruzamentos foram concentrados no período de 8:00 às 11:00 horas, diariamente, durante

20 dias após o aparecimento dos primeiros botões florais. O procedimento baseou-se nas observações de Spehar e Santos (2007a).

As flores da variedade BRS Sytetuba foram emasculadas com auxílio de pinça cirúrgica para a remoção dos 5 estames. As flores escolhidas encontravam-se fechadas com o grão pólen ainda imaturo. Flores abertas e em antese foram escolhidas dos genitores masculinos, e o pólen foi transferido para a flor feminina, depositando-se sobre o estigma com auxílio de um pincel. Em função do tamanho diminuto das flores de quinoa, fez-se necessário uso de lupa para assegurar a técnica e garantir os resultados.

As plantas hibridizadas foram identificadas com etiquetas e sua colheita realizada, no início de maio de 2010, apenas nos genitores femininos, separada das demais e posteriormente semeadas.

Geração F₁

No final de maio de 2010 as sementes foram semeadas em caixas com 1m³ de solo, para que após a germinação e emergência pudessem ser identificados os híbridos. As caixas foram adubadas com adubo formulado 4-30-16, uréia e cloreto de potássio, de forma a garantir 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio, fósforo e potássio.

Os indivíduos híbridos foram identificados pela coloração do oxalato de cálcio depositado sobre as folhas, de coloração vermelha (Figura 1), sendo transplantados para vasos plásticos de 2L.

Os híbridos foram igualmente suplementados com iluminação artificial e irrigados por microaspersores.

Todas as plantas F₁ apresentaram coloração vermelha no caule, com presença de estrias, axila, oxalato e inflorescências vermelhas. O cultivo isolado dos mesmos garantiu a autofecundação.

A colheita e beneficiamento dos grãos ocorreram em outubro de 2010 e as sementes foram armazenadas em câmara fria entre 0 e 10 °C.

Geração F₂

A semeadura da geração F₂ ocorreu a campo na Estação Experimental Biológica da Universidade de Brasília em janeiro de 2011.

O solo da área foi analisado e a adubação feita conforme necessidade da cultura, como sugerido por Spehar e Santos (2007b). A adubação foi com o formulado 4-30-16, uréia e cloreto de potássio, sendo o N e o K divididos em metade da dose no plantio e metade em cobertura, 30 dias após a emergência, como sugerido por Mujica-Sanchez et al. (2001), nas quantidades totais de 100 kg ha⁻¹ para cada macronutriente. O controle de plantas daninhas foi feito com glifosato antes da instalação do experimento e por capina manual durante todo o ciclo da cultura.

O controle de pragas foi feito apenas para formigas, usando formicida Mirex®, na formulação isca granulada, princípio ativo sulfuramida.

Nos primeiros 20 dias após a semeadura a suplementação hídrica ocorreu via aspersores em função de ocorrência de veranico, comum no verão da região Centro-Oeste.

A colheita dos grãos ocorreu em abril de 2011. Após beneficiados, foram armazenados em câmara fria à 5 °C.

Avaliações

Ao longo do desenvolvimento fenológico das plantas da geração F₂, as características de pigmentação foram quantificadas e suas frequências determinadas.

Na terceira etapa, avaliaram-se as plantas em F₂ quanto à pigmentação. Nesta geração caso confirmada a hipótese as plantas segregam quanto à presença e ausência de coloração na proporção 3:1. No teste da proporção de indivíduos utilizou-se o teste de qui-quadrado (X²), verificando-se a significância.

Os desvios em relação à proporção esperada foram analisados pelo teste de qui quadrado para averiguar se a frequência observada se ajusta à esperada a 5% de probabilidade, como sugerido por Ramalho et al. (2008) e Gomes (1990). Normalmente, usa-se o nível de significância de 0,05 ou 5% pois ajuda a minimizar a chance de aceitar uma hipótese errada sem incrementar a probabilidade de rejeitar a hipótese certa.

A aplicação do teste procede-se utilizando a expressão:

$$X^2 = \sum \frac{(\text{Frequência Observada} - \text{Frequência Esperada})^2}{\text{Frequência Esperada}}$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na geração F₁ 100% das plantas apresentaram inserção da base do pecíolo, devido a oxalato de cálcio depositado sobre as folhas e inflorescência vermelho. A Figura 1 ilustra a presença do oxalato de cálcio na plântula. A planta tinha porte ereto, crescimento herbáceo, e apresentou vigor híbrido, superando os genitores em altura e produtividade.



Figura 1. Identificação de híbridos F₁ pela coloração do oxalato de cálcio vermelho depositado sobre as folhas.

Na geração F₂ os fenótipos com presença e ausência de pigmentação ocorreram, mostrando haver segregação dos alelos (ASTRAUSKAS et al., 2009). Os dados quanto à presença ou ausência de coloração estão apresentados por cada cruzamento nas Tabelas 1, 2, 3, 4 e 5.

Tabela 1. Estimativa do X^2 (qui quadrado) para característica oxalato de cálcio depositado nas folhas, estrias no caule, axila da folha e inflorescência na geração F_2 do cruzamento BRS Syetetuba x 34 ZL.

Fenótipo da geração F_2	Frequência		Desvio (FO-FE)	Desvio ² (FO-FE) ²	Desvio ² /FE
	Observada	Esperada			
Vermelho	107	101,25	5,75	33,0625	0,32
Ausência de pigmentação	28	33,75	-5,75	33,0625	0,97
Total	135	135			$X^2 = 1,29$

Tabela 2. Estimativa do X^2 (qui quadrado) para característica oxalato de cálcio depositado nas folhas, estrias no caule, axila da folha e inflorescência na geração F_2 do cruzamento BRS Syetetuba x 37 ZL.

Fenótipo da geração F_2	Frequência		Desvio (FO-FE)	Desvio ² (FO-FE) ²	Desvio ² /FE
	Observada	Esperada			
Vermelho	126	129,75	3,75	14,0625	0,10
Ausência de pigmentação	47	43,25	-3,75	14,0625	0,32
Total	173	173			$X^2 = 0,42$

Tabela 3. Estimativa do X^2 (qui quadrado) para característica oxalato de cálcio depositado nas folhas, estrias no caule, axila da folha e inflorescência na geração F_2 do cruzamento BRS Syetetuba x 40 ZL.

Fenótipo da geração F_2	Frequência		Desvio (FO-FE)	Desvio ² (FO-FE) ²	Desvio ² /FE
	Observada	Esperada			
Vermelho	65	68,25	-3,25	10,5625	0,15
Ausência de pigmentação	26	22,75	3,25	10,5625	0,46
Total	91	91			$X^2 = 0,61$

Tabela 4. Estimativa do X^2 (qui quadrado) para característica oxalato de cálcio depositado nas folhas, estrias no caule, axila da folha e inflorescência na geração F_2 do cruzamento BRS Syetetuba x 44 ZL.

Fenótipo da geração F_2	Frequência		Desvio (FO-FE)	Desvio ² (FO-FE) ²	Desvio ² /FE
	Observada	Esperada			
Vermelho	121	114,75	6,25	39,0625	0,34
Ausência de pigmentação	32	38,25	-6,25	39,0625	1,02
Total	153	153			$X^2 = 1,36$

Tabela 5. Estimativa do X^2 (qui quadrado) para característica oxalato de cálcio depositado nas folhas, estrias no caule, axila da folha e inflorescência na geração F_2 do cruzamento BRS Syetetuba x 9542 L.

Fenótipo da geração F_2	Frequência		Desvio (FO-FE)	Desvio ² (FO-FE) ²	Desvio ² /FE
	Observada	Esperada			
Vermelho	76	68,25	7,75	60,0625	0,88
Ausência de pigmentação	15	22,75	-7,75	60,0625	2,64
Total	91	91			$X^2 = 3,52$

Na geração F_2 , em todas as frequências observadas nos cinco cruzamentos não se verificaram desvios significativos em relação à proporção esperada. De acordo com Ramalho et al. (2008), o valor tabelado de X^2 , a 5% de probabilidade é 3,84. Os valores calculados de X^2 apresentaram menores que o valor tabelado, sendo o X^2 não significativo. Entende-se que a frequência observada se ajusta à frequência esperada e se aceita a hipótese de que a segregação das características estudadas é, individualmente, monofatorial, sendo a pigmentação dominante sobre a ausência de coloração em todos os cruzamentos, assim como encontrado no trabalho de Leon Hanco (2003).

As diferenças encontradas com relação à proporção esperada são devidas ao acaso, e em síntese pode-se dizer que uma segregação fenotípica 3:1 na geração F₂ indica genotipicamente que a característica, cuja herança está sendo estudada, é controlada por um gene com dois alelos, havendo interação intra-alélica de dominância.

Na reprodução das plantas heterozigóticas da geração F₁ são produzidos dois gametas distintos na mesma proporção (RAMALHO et al., 2008).

Com relação à herança genética (cromossomos) Simmonds (1971), citado por Mujica Sanchez et al., (2001), já havia observado em quinoa um comportamento hereditário do tipo dissômico. Esta forma de herança é implícita, pelo menos para as características qualitativas, em várias obras de Saravia (1990), Bonifácio (1990) e Mujica-Sanchez et al. (2001), que observaram segregação em F₂, nas proporções clássicas de acordo com 3:1 e 9:3:3:1 para um e dois pares de genes, respectivamente.

A herança monogênica da característica de pigmentação, confirmada por teste de qui quadrado torna-se uma ferramenta ao melhoristas de quinoa, auxiliando na escolha de genitores para futuros cruzamentos. Sabendo-se que coloração tem interação alélica do tipo dominância completa, os trabalhos podem caminhar para características nos quais seus respectivos genes estão ligados aos de coloração, facilitando a seleção de materiais.

As plantas com oxalato sem pigmentação resultaram em plantas com caule com estrias verdes, inflorescência verde, e sem coloração na inserção do pecíolo foliar. Fato semelhante foi verificado quanto a presença de oxalato vermelho, cujas plantas sempre produziram caules com estrias vermelhas, inflorescência vermelha, inserção do pecíolo vermelha e grãos vermelhos, mostrando efeito pleiotrópico quanto à presença de antocianina nessas partes da planta. Isto facilita o trabalho do melhoramento, pois os indivíduos híbridos podem ser identificados na fase de plântula.

Além de auxiliar o trabalho do melhorista na identificação de híbridos, o conhecimento da herança de alguns caracteres simples como a cor da planta, que são independentes de desempenho, é de grande importância para a produção comercial de quinoa, e pode evitar a mistura no campo que pode afetar a qualidade dos grãos (LEON HANCCO, 2003).

CONCLUSÃO

As características qualitativas de pigmentação das estrias do caule, do oxalato de cálcio, da axila das folhas e da inflorescência obedecem a proporção mendeliana 3:1 sendo consideradas, portanto, como de herança monogênica. O efeito de pleiotropia detectado nas diferentes partes da planta pode ser usado em apoio ao melhoramento genético, permitindo que os híbridos sejam identificados em diferentes fases do crescimento e produção em quinoa, uma vez que a pigmentação ou ausência dela nas partes citadas da planta sempre acontecem em conjunto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTRAUSKAS, J. P.; NAGASHIMA, J. C.; SACCO, S. R.; ZAPPA, V. As leis da herança por Gregor Johann Mendel, uma revolução genética. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**. Garça, SP, ano VII, n. 12, Editora FAED, 2009.

BONIFACIO, A. **Caracteres hereditarios y ligamiento factorial en la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.)** Tesis Ing. Agr. Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia. 189 p, 1990.

CIRF – Consejo Internacional de Recursos Fitogeneticos, **Descriptor de quinua**. Programa Del CIRF em America Latina, p. 18, 1981.

FÁVERO, A. P.; LOPES, M. A.; FALEIRO, F. G.; Estado da arte do pré-melhoramento de espécies vegetais. In: FALEIRO, F. G.; FARIAS NETO, A. L. de; RIBEIRO JÚNIOR, W. Q. **Pré-melhoramento, melhoramento, pós-melhoramento: estratégias e desafios**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, Brasília, DF: Embrapa Informação tecnológica, 2008, p. 31-42.

FALEIRO, F. G.; JUNQUEIRA, N. T. V.; FÁVERO, A. P.; LOPES, M. A. Pré-melhoramento de plantas; experiências de sucesso. In: FALEIRO, F. G.; FARIAS NETO, A. L. de; RIBEIRO JÚNIOR, W. Q. **Pré-melhoramento, melhoramento, pós-melhoramento: estratégias e desafios**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, Brasília, DF: Embrapa Informação tecnológica, 2008, p. 45-62.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 13. Ed. Piracicaba: Nobel, p. 468, 1990

LEON HANCCO, J. M. **Cultivo de La Quinoa em Puno – Peru: descripción, manejo y producción**. Universidad Nacional Del Altiplano. Facultad de Ciencias Agrarias, p. 63, 2003.

MIRANDA, M. A. C. de; BULISANI, E. A.; TEIXEIRA, J. P. F.; MASCARENHAS, H. A. A. Herança da pigmentação com antocianina em *Crotalaria juncea*. **Bragantia**, Campinas, v. 48 n. 1, p. 87-94, 1989.

MUJICA-SANCHEZ, A.; JACOBSEN, S. E.; IZQUIERDO, J.; MARATHEE, J. P.. **Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Ancestral Cultivo Andino, Alimento Del Presente y Futuro**. FAO. Editores: Santiago, Chile, 2001.

ORTIZ, R.; MADSEN, S.; RUIZ-TAPIA, E. N.; JACOBSEN, S. E.; MUJICA-SANCHEZ, A.; CHRISTIANSEN, J.; STOLEN, O. Validating a core collection of Peruvian quinoa germoplasma. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 46, p. 285-290, 1999.

PROINPA Fundación para la promoción e investigación em productos andinos. **Rubro Granos Altoandinos descriptores para quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd)**, La Paz, Bolívia, 2003.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; PINTO, C. A. B. P. **Genética na Agropecuária**, 4^a edição revisada, Universidade Federal de Lavras UFLN, Lavras - MG, 2008, p.463.

SARAVIA, R. **La androesterilidad en quinua y forma de herencia**. Tesis Ing. Agr. Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia. 139 p, 1990.

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

SPEHAR, C. R.; SANTOS, R. L. B. Origem e importância In: SPEHAR, C. R. **Quinoa: alternativa para a diversificação agrícola e alimentar**, Planaltina, Embrapa Cerrados, 2007 a, p. 21-31.

SPEHAR, C. R.; SANTOS, R. L. B. Exigência nutricional e adubação In: SPEHAR, C. R., **Quinoa: alternativa para diversificação agrícola e alimentar**, 1. ed, Planaltina, Embrapa Cerrados, 2007 b, p.57-61.

**CAPÍTULO 3: Estimativa dos componentes de variação genética em características
agronômicas de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd)**

ROCHA, J. E.S; SPEHAR. C. R

RESUMO

ESTIMATIVA DOS COMPONENTES DE VARIAÇÃO GENÉTICA EM CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DE QUINOA (*Chenopodium quinoa* Willd)

Avanços na adaptação de quinoa ao cultivo comercial no Brasil dependem de se conhecer o modo de herança genética para características agronômicas e de mercado. O objetivo do presente trabalho foi estimar parâmetros genéticos e correlações fenotípicas e genotípicas para altura de planta, rendimento e peso de mil sementes, visando apoiar o desenvolvimento de novas cultivares para o cerrado brasileiro. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com três repetições. Os tratamentos foram 5 híbridos, avaliados em F₂, compostos pelos seguintes cruzamentos: BRS Syetetuba x 34 ZL, BRS Syetetuba x 37 ZL, BRS Syetetuba x 40 ZL, BRS Syetetuba x 44 ZL e BRS Syetetuba x 9542L, além dos cinco genitores masculinos e um feminino. Os dados revelam herdabilidade e razão coeficiente de variação genética por variação ambiental elevada para altura de planta em todos os cruzamentos, sugerindo que este parâmetro pode ser usado para seleção de plantas. O cruzamento BSR Syetetuba x 9542L apresentou melhor desempenho genotípico e os trabalhos de melhoramento devem incluir hibridações que gerem progênes desse material.

Palavras-chave: altura de plantas, peso de sementes, rendimento, herdabilidade, melhoramento genético de quinoa

ABSTRACT

ESTIMATE OF GENETIC COMPONENTS VARIATION IN AGRONOMIC TRAITS OF QUINOA (*Chenopodium quinoa* Willd)

Advances in adapting quinoa to commercial production in Brazil, rely on the knowledge of genetic inheritance for agronomic characters and market value. The objective of this study was to estimate genetic parameters and phenotypic and genotypic correlations for plant height, yield and 1,000 seed weight, in support to develop new varieties adapted to growing conditions in the Brazilian Cerrado. The experimental design was randomized blocks with three replications, with hybrids evaluated in F₂, of the following crosses BRS Syetetuba x 34 ZL, BRS Syetetuba x 37 ZL, BRS Syetetuba x 40 ZL, BRS Syetetuba x 44 Z and BRS Syetetuba x 9542L. The data reveal heritability and genetic coefficient of variation for plant height in all crosses, suggesting that this parameter can be used for selection of plants. The BRS Syetetuba x 9542L hybrid showed best performance favouring the inclusion of progenies in further progeny testing progeny for quinoa breeding.

Key-words: plant height, seed weight, yield, heritability, quinoa breeding

INTRODUÇÃO

Quinoa é opção inovadora quando se buscam alternativas com atributos agronômicos e alimentares como alto valor nutritivo e rusticidade (LA CRUZ et al., 2004). É de grande importância na alimentação humana devido ao alto valor nutritivo, dado pela proporção de aminoácidos essenciais, teor elevado de lisina em suas sementes e folhas, vitaminas, cálcio e ferro, podendo ser utilizada como alimento durante todo o ciclo da planta desde suas folhas, inflorescências e o grão (MUJICA-SANCHEZ et al., 2001).

As características nutricionais da quinoa, seu vigor, ampla adaptabilidade e usos múltiplos, explicam o interesse em seu cultivo, não só na América do Sul, mas também na América do Norte, Europa e Ásia. No entanto, a produção é insuficiente para satisfazer sua procura e aumento (MUJICA-SANCHEZ et al., 2001). Da demanda gera a oferta e desta a oportunidade de exportações.

A busca constante por alimentos variados e saudáveis enseja a oportunidade de divulgar as propriedades nutritivas e funcionais da quinoa (SPEHAR; SANTOS 2007a), indicando seu uso na alimentação infantil, na merenda escolar, na suplementação alimentar de idosos, e opção para celíacos por não apresentar glúten.

A procura por esse alimento tem ganhado destaque nos grandes centros urbanos, onde existe um mercado consumidor mais exigente. Entretanto, o fato do Brasil ter uma produção pequena e regionalizada faz com que a maior parte do que consumido no país seja fruto de importações e, aliado à novidade, as empresas têm extrapolado no preço dos produtos, o que restringe a sua popularização.

Sua integração ao sistema produtivo será tanto maior quanto mais diversificadas forem as formas de utilização. Desses usos, surge demanda e desta, o mercado. O agricultor

passa a cultivá-la desencadeando o processo produtivo (SPEHAR; SANTOS 2007a). Além disso, consistirá, possivelmente, em excelente opção de cultivo para pequenos e médios produtores que visam concentrar-se na exploração de nichos de mercado com alto valor agregado.

No entanto, apesar das imensas possibilidades de quinoa como cultivo de alimentos, significativos esforços não têm sido feitos em programas de melhoramento. A ênfase tem sido principalmente sobre a sua introdução em novas zonas agro-ecológicas. A maioria das pesquisas está centrada em torno de três traços, ou seja, rendimento de grãos, a produção de biomassa e período de maturação (BHARGAVA et al., 2007). Outras características que contribuem para o rendimento parecem ter sido negligenciadas, o que resultou em ausência de planos de melhoramento para aumentar, por exemplo, tamanho de grão.

A Embrapa, em cooperação com a Universidade de Brasília, tem realizado trabalho pioneiro. Da seleção por progênes surgiu BRS Piabiru, primeira recomendação de cultivo no país (SPEHAR; SANTOS, 2002). Apesar de apresentar boa produtividade de biomassa, isto não reverte em alta produtividade de grãos, e menos ainda no tamanho dele. Além dessa limitação, o ciclo muito longo inviabiliza seu cultivo na entressafra e faz com que esse material não tenha grande aceitação pelos produtores de grãos.

A pesquisa foi continuada selecionando-se genótipos mais adaptados às condições de Cerrado, com ciclos vegetativos mais precoces e plantas com alto rendimento. A BRS Syetetuba, fruto dessa seleção, a partir de população oriunda dos vales equatorianos, atende a demanda por maturação mais precoce e grãos com maior tamanho e qualidade (SPEHAR et al., 2011).

Entretanto, os materiais segregantes de recombinações naturais não têm permitido mais avanços nas características desejáveis. Exemplo disso é o tamanho do grão, que tem

sido um dos entraves ao lançamento de novos materiais, sendo uma exigência de mercado. Alguns genótipos com essa característica apresentam limitações agronômicas, enquanto os adaptados ao cultivo apresentam grãos pequenos. Em virtude do crescente interesse é que o melhoramento da quinoa deve caminhar para a produção de híbridos visando agrupar, em um mesmo material, as características necessárias ao sucesso de uma variedade.

No melhoramento genético há necessidade também de conhecer os coeficientes que afetam a variância e de separar o efeito ambiental do efeito gênico (RAMALHO et al., 2008). Assim, em quinoa, a seleção dos genitores nos cruzamentos deve basear-se em sua expressão fenotípica e esta refletir diferenças genéticas (SPEHAR; SANTOS, 2005). Isto se deve à melhor capacidade geral de combinação (CGC) entre eles, de forma a expressar a interação aditiva. Mastebroek et al. (2002) encontraram grande CGC entre genótipos de quinoa e sugerem que os melhores resultados de seleção poderiam ser esperados de cruzamentos entre os genótipos de melhor desempenho agronômico.

Os caracteres de interesse indicam ser quantitativos, com grande efeito ambiental. Nos programas de melhoramento, o processo seletivo é dificultado pela complexidade dos caracteres de expressividade econômica, em sua maioria altamente influenciados pelo ambiente (COSTA et al., 2004). Assim, com o auxílio de parâmetros genéticos, como a herdabilidade e o ganho com a seleção, pode-se identificar genótipos superiores e selecionar os melhores genitores para futuras hibridações.

Considerando-se que a estimativa de parâmetros genéticos torna possível conhecer a estrutura genética dos indivíduos isso se torna essencial para seleção dos genótipos que se destacaram como sendo os melhores. Além disso, é possível escolher qual o melhor método de melhoramento para cada caso (VILELA, 2008).

Um dos aspectos mais importantes do melhoramento é a obtenção de estimativas de parâmetros hereditários que possibilitem conhecer a estrutura genética das progênies para fins de seleção. Dessa forma, o conhecimento da magnitude de parâmetros como herdabilidade, correlações e outros, são essenciais para o melhoramento vegetal (ALVES, 2004).

Hibridações seguidas por avaliações de populações permitirão identificar não apenas genótipos mais promissores, mas, também, o modo de herança sobre os caracteres que influenciam a demanda, como o tamanho do grão, rendimento e ciclo.

Com esse conjunto de informações é possível direcionar cruzamentos, aumentar a eficiência de seleção em quinoa e identificar o modo de herança. A eficiência do processo de melhoramento depende de estimativas confiáveis dos parâmetros genéticos relacionados às características de interesse, de forma a permitir o estabelecimento de um conjunto de estratégias mais efetivas para a seleção, otimizando recursos e acelerando o processo de obtenção de novas variedades (ALVES, 2004).

Desse modo, este trabalho tem como objetivo estudar o modo de herança para rendimento, tamanho de grãos e outros componentes fenotípicos suas relações com rendimento, por meio de hibridações dirigidas entre parentais divergentes.

MATERIAL E MÉTODOS

Genitores

Os genitores empregados nas hibridações foram escolhidos com base na adaptabilidade ao cultivo no Brasil, às características agronômicas de interesse econômico, distância genética e a fenologia (estatura de plantas, coloração do caule e da inflorescência, tipo de inflorescência, tamanho e coloração de sementes). Assim, foram empregados a variedade BRS Syetetuba como genitor feminino e os genótipos 34ZL, 37ZL, 40ZL, 44ZL e 9542 L como genitores masculinos.

A escolha dos parentais se baseou em características complementares com base no desempenho no Cerrado e nos locais de origem, visando recombinações favoráveis nos descendentes para produtividade e tamanho de grãos.

A variedade BRS Syetetuba, sem pigmentação, foi selecionada por progênie a partir de acesso originário dos vales andinos de Quito, capital do Equador, apresenta ciclo em torno de 120 dias, altura média de planta de 180 cm, peso médio de 2,5 a 3,3 gramas por 1.000 sementes e qualidade de grãos com ausência de saponina, rendimento de 2,3 t de grãos e 7,5 t de biomassa total por hectare (SPEHAR et al., 2011). Esta foi usada como genitor feminino por ser adaptada à região central do Brasil e apresentar características agronômicas desejáveis. Além disso, as sementes apresentam garantia de pureza varietal em estado homozigoto.

Os genótipos 34ZL, 37ZL, 40ZL e 44ZL são seleções por progênies a partir de plantas em populações oriundas do Altiplano Peruano-Boliviano, situado a 3.800m. Apresentam baixa adaptabilidade às condições de cultivo brasileiras, mas apresentam

marcadores morfológicos de pigmentação de oxalato de cálcio, axila, inflorescência e estrias do caule, que auxiliam o trabalho de identificação dos híbridos, peso de 1.000 grãos variando de 3,5 a 5 g, baixa estatura de planta, cerca de 90 cm, ciclo precoce e baixa produtividade.

A 9542 L é uma seleção de material proveniente de Cuzco no Peru, 3.500 m de altitude, com grãos grandes, peso médio de mil sementes igual a 5.0 g, ciclo em torno de 90 dias quando cultivada no Brasil, e altura de plantas em torno de 100 cm, com a vantagem de apresentar marcador morfológico para coloração avermelhada no pecíolo foliar, oxalato, hastes e inflorescência, presença de saponina, entretanto, apresenta menor rendimento.

A seleção dos genitores masculinos levou em consideração a presença de marcador morfológico para que em F_1 fosse possível identificar os híbridos através da coloração das plântulas. Os marcadores morfológicos são governados por genes dominantes e neste caso atuou como gene marcador para a determinação da eficiência da hibridação. As sementes eram puras, embora tenham sido encontradas algumas plantas heterozigotas para o caráter de cor.

Cruzamentos

Os híbridos F_1 foram obtidos a partir de três formas de cruzamentos: natural, induzido e artificial.

Os naturais foram obtidos semeando parcelas contendo uma linha de genitor masculino e seis linhas de BRS Syetetuba como receptor de pólen, formando um bloco de cruzamento. A progênie masculina foi semeada no meio da parcela e as progênies femininas nas suas laterais, três de cada lado, a uma distância de 0,25, 0,75 e 1,25 m entre

os sulcos. Devido a diferença na época da floração, a linha com o genótipo precoce, 9542 L, foi semeada em três datas, espaçadas de 15 dias uma da outra, metodologia semelhante à usada por Leon Hanco (2003). O experimento foi realizado a campo, de julho a dezembro de 2008, em Cristalina, GO, na Fazenda Dom Bosco, localizada na Rodovia BR 251 (Brasília, DF – Unai, MG) Km 14, latitude S° 16°14', longitude W 47°27' e altitude 967 m.

A semeadura dos vasos para cruzamento induzido de todos os genitores iniciou em dezembro de 2009 e se estendeu até janeiro de 2010. Os cruzamentos induzidos foram realizados em fevereiro e março de 2010 em casa de vegetação, na Estação Biológica Experimental da Universidade de Brasília. Em função da diferença de ciclo entre os genitores, vasos de todos os genitores foram semeados semanalmente para que no momento da floração os mesmos fossem realocados de forma a aproximá-los e tornar possível o cruzamento entre eles.

Os genitores femininos foram emasculados com álcool etílico a 57%, técnica alternativa usada com êxito por Cáceres (1993), e as panículas foram amarradas e cobertas por saco de papel para que a polinização ocorresse sem a presença de vetores, permitindo que o pólen do genitor masculino polinizasse a flor emasculada feminina. Leon Hanco (2003) também sugere o uso de sacos de papel para proteger as panículas recém hibridizadas.

A semeadura dos vasos para cruzamentos artificiais iniciou em dezembro de 2009 e se estendeu até janeiro de 2010. Os cruzamentos artificiais, por manipulação das flores, foram realizados em fevereiro e março de 2010 em casa de vegetação, na Estação Biológica Experimental da Universidade de Brasília, manualmente através da emasculação das fêmeas utilizando pinças e lente de aumento, com posterior polinização com pólen

proveniente da progênie macho, com auxílio de um pincel, conforme sugerido por Cáceres (1993) e Leon Hancoco (2003).

Híbridos

Híbridos obtidos de cruzamentos naturais em blocos de cruzamentos em campo, cruzamentos induzidos por proximidade de plantas cultivadas em vasos e cruzamentos artificiais em casa de vegetação deram origem à geração F₁.

As sementes obtidas nos cruzamentos foram semeadas em bandejas de células para identificar os híbridos por características morfológicas nas plântulas e avaliar a taxa de cruzamento. Somente as plântulas identificadas por marcadores morfológicos, como fruto do cruzamento, foram transplantadas para vasos plásticos de 2 L e cultivadas em casa de vegetação isoladas de outras plantas de quinoa para garantir a autofecundação das mesmas e produziram as sementes F₂. Os marcadores usados na identificação dos híbridos foram cor da estria do caule, oxalato de cálcio, axila foliar e inflorescência.

Condução

Em casa de vegetação foram usadas bandejas de células de isopor e vasos plásticos de 2L com substrato Bioplant® e irrigação automática por aspersão duas vezes ao dia. Além disso, suplementação de luz foi feita das 17:00 à 00:00 para prolongar o período vegetativo e permitir a maior produção de flores. O sistema usado era automático e foi desligado quando as plantas apresentavam crescimento vegetativo satisfatório.

O solo da área experimental foi corrigido com calcário para elevação da saturação por base a 50% e adubado de acordo com as recomendações de Spehar e Santos (2007b) para atender as necessidades das plantas. Amostras de solo foram realizadas para averiguação das características químicas (Tabela 1).

Tabela 1. Características físico-químicas do solo da área experimental. Brasília, DF.

pH	M.O	P	K⁺	Ca²⁺ + Mg²⁺	Al³⁺	H + Al	CTC	V
	%	mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³			%
5,87	4,12	4,51	105,4	2,7	0,1	5,91	8,9	33,4

No experimento de campo, quando necessário, irrigação por aspersão suplementou a necessidade hídrica do cultivo. O controle de formigas foi realizado visto que a presença desse inseto causa perda foliar significativa. O formicida usado foi Mirex®, na formulação isca granulada, princípio ativo sulfuramida.

Avaliações

Os experimentos foram conduzidos a campo na Estação Biológica Experimental da Universidade de Brasília em Brasília – DF, no período de janeiro a abril de 2011, utilizando-se os progenitores e seus descendentes da geração F₂.

O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com três repetições. Cada parcela continha duas linhas de 3,0 m de comprimento, espaçadas por 0,50 m, de cada tratamento. Os tratamentos foram 34ZL, 37 ZL, 40 ZL, 44ZL, 9542L, BRS Syetetuva, BRS

Syeteuba x 34ZL, BRS Syeteuba x 37 ZL , BRS Syeteuba x 40 ZL, BRS Syeteuba x 44 ZL e BRS Syeteuba x 9542L.

No momento da colheita, foram anotados dados sobre altura da planta por amostragem da parcela. As plantas foram colhidas uma a uma e mantidas em sacos de papel individualmente. Os sacos foram mantidos em local seco e arejados até perda de umidade das plantas para que pudessem continuar as avaliações. A trilha ocorreu planta por planta e depois do beneficiamento foram coletados dados sobre peso de 1.000 grãos e peso dos grãos.

Para peso de mil sementes foi usada metodologia indicada pela Regra para Análise de Sementes (BRASIL, 2009). Contou-se ao acaso, manualmente, oito repetições de 100 sementes cada. Em seguida as sementes de cada repetição foram pesadas e calculou-se a variância, o desvio padrão e o coeficiente de variação dos valores obtidos das pesagens. O resultado da determinação foi calculado multiplicando-se por 10 o peso médio obtido das repetições de 100 sementes, e com o coeficiente de variação inferior a 4%, concluía-se a análise.

Análises Estatísticas

Inicialmente, foi realizada análise de variância individual, por tratamento, com base na média de parcelas, em blocos ao acaso, visando avaliar a existência de variabilidade genética entre os tratamentos e estimação de parâmetros genéticos e não genéticos.

Após a análise de variância os dados passaram por comparação das médias pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$) de todos os caracteres avaliados em programa estatístico SAS (SAS, 1999).

Foi feita também análise de correlação entre os parâmetros analisados. Uma das implicações mais importantes das correlações relaciona-se com a seleção, isto é, com o melhoramento de um caráter que pode causar alterações em outros (FERREIRA, 2006).

Os dados de rendimento foram transformados por $\sqrt{x} + 0,5$, para atender a pressuposição de normalidade de distribuição.

A análise de média de gerações é comumente empregada em estudos de herança de características quantitativas. Esta metodologia fornece informações sobre a importância relativa dos efeitos médios dos genes (efeitos aditivos), desvios de dominância e efeitos devido a interações não alélicas ou gênica, na determinação dos valores genotípicos dos indivíduos e, conseqüentemente, os valores médios das famílias e gerações genotípicas (VIANA, 2000).

Houve estimativa dos componentes da variância através de programa estatístico GENES (CRUZ, 2006), pois através deles é possível obter outras estimativas como o coeficiente de herdabilidade e correlação entre os caracteres (RAMALHO et al., 2005).

A estimação de parâmetros componentes da variação fenotípica de um caráter foi obtida a partir de quadrados médios da análise de variância de dados experimentais provenientes de ensaios com duas ou mais repetições (FERREIRA, 2006).

Foram estimadas a herdabilidade pelo quadrado médio e a relação entre o coeficiente de variação genético e ambiental (CV_g/CV_e). Foram calculadas ainda as correlações fenotípicas e genotípicas entre os caracteres, bem como os ganhos pela seleção (GS) direta entre genitores e geração F_2 , onde $GS = DS \cdot h^2$, em que DS corresponde ao diferencial de seleção.

Vale ressaltar que o valor da estimativa de herdabilidade de um caráter varia de local para local e de ano para ano, e é obtida, comumente, a partir de componentes de

variação obtidos pela análise da variância de dados experimentais, provenientes de ensaios com duas ou mais repetições (FERREIRA, 2006).

A variância observada nos genitores (P_1 e P_2) é toda ambiental e, dessa forma, pode-se obter a variância ambiental (V^2_E) pela média das duas variâncias ($V^2_e = (V^2_{P_1} + V^2_{P_2}) / 2$). A variância fenotípica da geração F_2 possui um componente devido ao efeito do ambiente; e outro, devido à variabilidade genética, que se origina da segregação e recombinação dos genes. Como o efeito ambiental da geração F_2 pode ser considerado da mesma magnitude do observado para o P_1 e P_2 , a variância genética (V^2_g) pode ser obtida por $V^2_f = V^2_g + V^2_e$, ou seja $V^2_g = V^2_f - V^2_e$ (FERREIRA, 2006).

Quando se estudam as relações com rendimento, significa conduzir experimentos de campo que incluem os genitores e sua descendência F_2 . Ou seja, testar os híbridos e suas gerações. Isto permite análise de gerações, identificando-se o modo de herança e efeitos (aditivo, dominância, epistasia e interações).

Foram estimados os seguintes parâmetros:

Variância fenotípica entre médias: $V^2_f = (QMT/r)$

Onde:

V^2_f = variância fenotípica;

r = repetições;

QM = quadrado médio dos tratamentos.

Variância genotípica entre médias: $V^2_g = (QMT/QMR)/r$

Onde:

V^2_g = variância genotípica;

QMT = quadrado médio dos tratamentos;

QMR = quadrado médio do resíduo;

r = repetições;

Variância ambiental: $V^2_e = (QMR/r)$

Onde:

V^2_e = variância ambiental;

QMR = quadrado médio do resíduo;

r = repetições.

Herdabilidade no sentido amplo: $h^2 = V^2_g / V^2_f$

Onde:

h^2 = herdabilidade

V^2_g = variância genotípica;

V^2_f = variância fenotípica.

Coefficiente de variação genética: $CV_g = (100\sqrt{V^2_g})/m$

Onde:

CV_g = coeficiente de variação genética;

V^2_g = variância genotípica;

m = corresponde a média geral do caráter.

Correlações fenotípicas: $r_f = PMP_{xy} / QMP_x \cdot QMPT_y$

Onde:

r_f = correlação fenotípica;

PMP_{xy} = produto médio das progênies/tratamentos;

QMP_x = quadrado médio do caráter x das progênies/tratamentos;

$QMPT_y$ = quadrado médio das progênies/tratamentos totais.

Correlações genéticas: $r_g = \sigma_{gxy}^2 / \sqrt{\sigma_{gx}^2 \sigma_{gy}^2}$

Onde:

r_g = correlação genotípica;

σ_{gxy}^2 = estimador da covariância genética dos caracteres X e Y;

σ_{gx}^2 e σ_{gy}^2 = estimadores da variância genéticas dos caracteres X e Y respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O bloco de cruzamento, visando hibridações naturais, realizado na Fazenda Dom Bosco em Cristalina – GO no verão de 2008/2009, não apresentou os resultados esperados. A taxa de cruzamento natural foi extremamente baixa, sendo, portanto, desconsiderada. O fator limitante averiguado foi ausência de insetos vetores na área, uma vez que as demais lavouras da propriedade foram conduzidas com o uso de inseticidas, levando à redução drástica na quantidade de insetos, principalmente abelhas (SANTOS, 1996), reforçando a importância dos insetos vetores na polinização cruzada de quinoa, uma vez que o pólen, sendo pesado, não é disseminado pelo vento.

Como a polinização entomófila não obedece à distribuição previsível no campo, todas as plantas femininas foram colhidas e semeadas, necessitando de características diferenciais que possibilitassem a separação dos híbridos por processos físicos, especialmente visual. Dos 600 m² de área colhidos de genitores femininos nas diferentes distâncias, apenas dois híbridos foram encontrados nas plantas femininas que estavam à 0,25 m da masculina. Gandarillas (1967), citado por Cáceres (1993), fez trabalho semelhante, cultivando plantas de folhas vermelhas e verdes à distâncias de 1, 5, 10 e 20 metros, e encontrou maior taxa de polinização na menor distância. Entretanto, ele afirma que a variedade tem efeito sobre a polinização.

Os híbridos oriundos do cruzamento natural foram identificados pela presença de oxalato vermelho nas folhas, característica esta oriunda do genitor masculino, uma vez que o genitor feminino apresenta oxalato branco. O transplante da bandeja de isopor para o vaso plástico foi realizado e a condução dos F₁ se deu em casa de vegetação durante o inverno de

2009, mas a falta de um sistema de refrigeração na estufa permitia a elevação da temperatura durante o dia e isto pode ter sido a causa da morte dos F_1 .

Os cruzamentos induzidos com uso de álcool para esterilizar os estames, e artificial com auxílio de pinça para emasculação, apresentaram resultados satisfatórios. Convém salientar que a técnica de emasculação com pinça exige habilidade manual e paciência em função do tamanho diminuto das flores. Leon Hanco (2003) citou o tamanho da flor como um dos motivos do trabalho tedioso de hibridação artificial.

Os híbridos produzidos apresentaram 100% de coloração vermelha de oxalato nas folhas, estrias do caule e inflorescência, confirmando se tratar de uma característica dominante. O desenvolvimento dos híbridos mostrou haver vigor híbrido pelo aumento da heterozigose, fruto do cruzamento. As plantas F_1 tiveram crescimento e produção extremamente superior a ambos os pais (dados não apresentados).

Nos materiais estudados foi detectado prolongamento do estágio vegetativo pela suplementação luminosa adicional, resultando em maior período juvenil, tanto nos genitores quanto nos híbridos, com conseqüente aumento na produção de flores e grãos. A resposta de quinoa ao fotoperíodo é variável em função da origem do material sendo, portanto, encontradas plantas insensíveis ao fotoperíodo e plantas que sofrem alta influência da radiação (BERTERO, 2001). Ramos (1981), constatou aumento no ciclo vegetativo com adição de 3 horas de luz artificial; porém, tal fato não resultou em maior produção de grãos. A ampla adaptabilidade da espécie pode ser a explicação para que diferentes genótipos possam ser cultivados desde o seu centro de origem com dias curtos até o norte da Europa, com dias longos (ORTIZ et al., 1999).

Os resultados das avaliações dos genitores e sua descendência F_2 a campo encontram-se na Tabelas 2, 3 e 4. Os dados mostram que não há diferença estatística

significativa entre os tratamentos quanto à altura de plantas (Tabela 2). Mesmo comparando os genitores entre si (Tabela 3), e os descendentes da geração F₂ (Tabela 4), não existe diferença entre eles para este parâmetro. A não significância da interação possibilita ganhos maiores durante o processo de melhoramento e o desenvolvimento de cultivares com ampla estabilidade (CRUZ; REGAZZI, 2001).

Tabela 2. Médias, desvio padrão, coeficiente de variação (CV) e teste de F para altura de plantas, rendimento e peso de 1.000 sementes de quinoa cultivada em Brasília, DF.

Tratamento	Altura de planta (m)	Rendimento (t ha⁻¹)¹	Peso de 1.000 sementes (g)
BRS Syetetuba	84,83 ^a	1,23 ^b	2,87 ^b
34ZL	87,50 ^a	0,92 ^b	2,80 ^b
37ZL	114,15 ^a	1,15 ^b	3,05 ^{ab}
40ZL	103,35 ^a	1,04 ^b	2,67 ^b
44ZL	102,50 ^a	1,24 ^b	2,78 ^b
9542L	118,75 ^a	1,21 ^b	3,06 ^{ab}
BRS Syetetuba x 34ZL	105,85 ^a	1,29 ^b	3,14 ^{ab}
BRS Syetetuba x 37ZL	130,35 ^a	1,33 ^{ab}	2,91 ^b
BRS Syetetuba x 40ZL	133,73 ^a	1,16 ^b	2,78 ^b
BRS Syetetuba x 44ZL	120,85 ^a	1,78 ^a	2,68 ^b
BRS Syetetuba x 9542L	112,97 ^a	1,05 ^b	3,68 ^a
Média	110,42	1,22	2,95
Desvio padrão	22,9	0,25	0,35
CV(%)	18,81	13,30	8,88
Teste F	0,1431ns	0,0004*	0,0055*

1 = dados transformado $\sqrt{x + 0,5}$; * Existe diferença significativa entre os tratamentos. ns = não significativo. Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Todos os materiais apresentam altura suficiente para colheita mecanizada. Além disso, os dados das Tabelas 3 e 5 revelam que houve um aumento na média de altura de plantas dos genitores (101,83 m) para a descendência F₂ (120,73 m).

Tabela 3. Médias, desvio padrão, coeficiente de variação (CV), teste de F para altura de plantas, rendimento e peso de 1.000 sementes dos genitores de quinoa cultivada em Brasília, DF.

Tratamento	Altura de plantas (m)	Rendimento (t ha⁻¹)¹	Peso de 1.000 sementes (g)
BRS Syetetuba	84,83 ^a	1,23 ^a	2,87 ^a
34ZL	87,50 ^a	0,92 ^a	2,80 ^a
37ZL	114,15 ^a	1,15 ^a	3,05 ^a
40ZL	103,35 ^a	1,04 ^a	2,67 ^a
44ZL	102,50 ^a	1,24 ^a	2,78 ^a
9542L	118,75 ^a	1,21 ^a	3,06 ^a
Média	101,83	1,13	2,84
Desvio padrão	22,86	0,16	0,26
CV(%)	22,11	11,58	8,39
Teste F	0,4075 ns	0,0689 ns	0,2058 ns

1 = dados transformado $\sqrt{x + 0,5}$; * Existe diferença significativa entre os tratamentos. ns = não significativo. Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para rendimento de grãos existe diferença entre os tratamentos (Tabela 2), mas entre os genitores não existe diferença (Tabela 3). As diferenças estão na geração F₂ (Tabela 4). As diferenças encontradas são em função das segregações, características desta geração e das particularidades genéticas de cada cruzamento. Os materiais que se destacaram para rendimento entre os descendentes da geração F₂ foram BRS Syetetuba x 34 ZL, BRS Syetetuba x 37ZL e BRS Syetetuba x 44ZL (Tabela 4). Houve aumento da média de produtividade da geração F₂ (1,32 t ha⁻¹) em relação aos genitores (1,13 t ha⁻¹).

Quanto ao peso de mil sementes, houve diferença estatística significativa entre os tratamentos (Tabela 2) e entre os descendentes da geração F₂ (Tabela 4); porém, não existe diferença significativa entre os genitores (Tabela 3). Os materiais que se destacaram foram BRS Syetetuba x 34 ZL e BRS Syetetuba x 9542L (Tabela 4). A análise do peso de 1.000 sementes é uma informação que dá idéia do tamanho das sementes, assim como de seu

estado de maturidade e de sanidade (BRASIL, 2009). Houve acréscimo no peso de mil sementes da geração F₂ (2,94 g) para os genitores (2,84 g).

Tabela 4. Médias, desvio padrão, coeficiente de variação e teste de F para altura de plantas, rendimento e peso de 1.000 sementes da geração F₂ de quinoa cultivada em Brasília, DF.

Tratamento	Altura de plantas (m)	Rendimento (t ha⁻¹)¹	Peso de 1.000 sementes (g)
BRS Syetetuba x 34ZL	105,85 ^a	1,29 ^{ab}	3,14 ^{ab}
BRS Syetetuba x 37ZL	130,35 ^a	1,33 ^{ab}	2,78 ^b
BRS Syetetuba x 40ZL	133,73 ^a	1,16 ^b	2,65 ^b
BRS Syetetuba x 44ZL	120,85 ^a	1,78 ^a	2,45 ^b
BRS Syetetuba x 9542L	112,97 ^a	1,05 ^b	3,68 ^a
Média	120,73	1,32	2,94
Desvio padrão	18,98	0,30	0,51
CV(%)	15,30	14,58	10,49
Teste F	0,3708 ns	0,0093*	0,0049 *

1 = dados transformado $\sqrt{x + 0,5}$; * Existe diferença significativa entre os tratamentos. ns = não significativo. Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A significância estatística de rendimento e peso de mil sementes sugere existência de variabilidade genética sendo, portanto, passível de seleção massal.

Tendo em vista que, dos três tipos de correlações (fenotípica, genotípica e ambiental), a genotípica é a mais importante para o fitomelhorista, pois é ela que interfere na seleção ou participa dela, fica evidente que não basta conhecer apenas a correlação fenotípica (Tabela 5), já que essa correlação geralmente é mascarada pelos efeitos do ambiente. Por esse motivo, deve-se desdobrá-la em seus componentes genéticos e ambientais (Tabelas 6 e 7) (FERREIRA, 2006).

Como já citado por Rocha (2008), os resultados revelam que a maior altura de planta e o alto rendimento não revertem em maior tamanho de grão. Por se tratar de cruzamentos independentes, efetuaram-se as estimativas para cada cruzamento e sua descendência.

Tabela 5. Coeficiente de correlação entre altura de plantas, rendimento de grãos e peso de 1.000 grãos dos genótipos de quinoa.

Parâmetro genético	Altura de plantas	Rendimento	Peso mil sementes
Altura de plantas	1,00	0,29621	-0,04628
		0,0942 ns	0,7981 ns
Rendimento		1,00	0,02987
			0,8690 ns
Peso mil sementes			1,00

* significativo a 5%; ns: não significativo

Tabela 6. Estimativas de correlações fenotípica (r_F) e genotípica (r_G) entre altura de plantas, rendimento e peso de 1.000 sementes dos genitores de quinoa.

Caractere	r	Altura de plantas	Rendimento	Peso mil sementes
Altura de plantas	F	1	0,3325 ns	0,5696 ns
	G	1	0,4314 ns	2,7384 ns
Rendimento	F		1	0,3833 ns
	G		1	1,622 ns
Peso mil sementes	F			1
	G			1

ns = não significativo a 5% probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade.

Não houve correlação entre os parâmetros quando comparados juntos (Tabela 5), nem mesmo quando correlacionados entre os genitores (Tabela 6) e sua descendência (Tabela 7).

Tabela 7. Estimativas de correlações fenotípica (r_F) e genotípica (r_G) entre altura de plantas, rendimento e peso de 1.000 sementes em híbridos F_2 de quinoa.

Caractere	r	Altura de plantas	Rendimento	Peso mil sementes
Altura de plantas	F	1	0,0466 ns	-0,6012 ns
	G	1	-1,115 ns	-0,9634 ns
Rendimento	F		1	-0,2677 ns
	G		1	-0,9546 ns
Peso mil sementes	F			1
	G			1

ns = não significativo a 5% probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade.

O melhoramento genético de caracteres quantitativos deve basear-se no conhecimento de parâmetros genético-estatísticos que possibilitem o aumento da eficiência do processo de seleção (ALVES, 2004). Nesse sentido, as estimativas de parâmetros genéticos e as correlações relacionadas a esses caracteres são de extrema relevância, permitindo o estabelecimento de um conjunto de estratégias mais efetivas de seleção visando o aumento de produtividade. As estimativas de parâmetros genéticos de cada cruzamento com seus genitores, de todos os genitores, e de todas as gerações F₂ encontram-se nas Tabelas 8, 9, 10, 11, 12, 13 e 14.

Os parâmetros analisados apresentam elevado efeito ambiental em função de serem controlados por vários genes de efeito menor. Dessa forma, esperam-se baixos valores de herdabilidade. A estimativa das variâncias de todos os genitores revelou baixa herdabilidade para altura de plantas ($h^2 = 46,84$) e peso de mil sementes ($h^2 = 18,45\%$), enquanto o rendimento apresentou herdabilidade de 72,39% (Tabela 8).

Tabela 8. 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), razão entre coeficiente de variação genético e ambiental (CVg/CVe) para altura de plantas, rendimento e peso de 1.000 sementes dos genitores de quinoa.

Parâmetro genético	Altura de plantas	Rendimento	Peso mil sementes
V^2f	186,8077	3,8986	0,0242
V^2g	87,5174	2,8224	0,0044
V^2e	99,2902	1,0761	0,0197
h^2 (%)	46,8489	72,3957	18,4542
CVg (%)	9,1862	15,3138	2,3269
CVe (%)	16,9467	16,3763	8,4706
CVg/CVe	0,542	0,935	0,2747

A estimativa das variâncias da geração F₂ mostrou resultado diferente dos genitores (Tabela 9). Os dados revelam que a herdabilidade do peso de mil sementes foi alta

(85,49%), enquanto altura de plantas e rendimento apresentou baixas, 37,76% e 13,45%, respectivamente.

Tabela 9. 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), razão entre coeficiente de variação genético e ambiental (CVg/CVe) para altura de plantas, rendimento e peso de 1.000 sementes da geração F₂ de quinoa.

Parâmetro genético	Altura de plantas	Rendimento	Peso mil sementes
V^2_f	136,0700	3,6351	0,1588
V^2_g	51,3875	0,4892	0,1358
V^2_e	84,6825	3,1465	0,0230
h^2 (%)	37,7655	13,4554	85,4937
CVg (%)	5,9376	5,9327	12,1135
CVe (%)	13,2054	26,0548	8,6426
CVg/CVe	0,4497	0,2277	1,4016

Apesar das diferenças que ocorrem nas herdabilidades de uma dada característica, as estimativas apresentadas mostram que cada caráter apresenta uma amplitude de valores da herdabilidade que lhe é peculiar. Assim é que características como produção de grãos de uma planta é uma característica muito influenciada pelas condições ambientais e apresentam herdabilidade baixa, normalmente inferior a 30%; outras características como altura de planta são menos influenciadas pelo ambiente e apresentam em consequência herdabilidade mais elevada (RAMALHO et al., 2008).

No cruzamento entre BRS Syetetuba x 34ZL, os valores de herdabilidade para os três parâmetros foram altos, 91,35%, 73,95% e 73,31%, respectivamente para altura de plantas, rendimento e peso de mil sementes (Tabela 10). Nesse cruzamento o coeficiente de variação genotípica foi superior ao ambiental apenas para altura, mostrando que a genética contribui mais com o fenótipo do que o ambiente. A interação com o ambiente é menor, e, portanto, a seleção se torna mais efetiva.

Tabela 10. 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), razão entre coeficiente de variação genético e ambiental (CVg/CVe) para altura de plantas, rendimento e peso de 1.000 sementes dos genótipos de quinoa BRS Syetetuba, 34ZL e BRS Syetetuba x 34ZL.

Parâmetro genético	Altura de plantas	Rendimento	Peso mil sementes
V^2f	130,7037	10,1760	0,0324
V^2g	11,3053	7,5260	0,0238
V^2e	119,3983	2,65	0,0086
h^2 (%)	91,35	73,9584	73,3151
CVg (%)	11,7846	24,4882	5,2486
CVe (%)	6,2807	25,1677	5,4844
CVg/CVe	1,8763	0,973	0,957

Verifica-se ainda que neste cruzamento a estimativa da variância genética da altura de plantas foi superior, em mais de dez vezes, à estimativa da variância ambiental média (Tabela 10). Isto significa que a seleção para altura de plantas desse cruzamento teria sucesso, uma vez que a seleção depende da quantidade de variação genética disponível e, sobretudo, do seu valor relativo frente à variação ambiental. É por esta razão que é de fundamental importância o conhecimento da variabilidade existente e, mais ainda, quanto se deve a diferenças genéticas porque permite conhecer o potencial da população para a seleção (FERREIRA, 2006).

A estimativa de variâncias do cruzamento BRS Syetetuba x 37ZL mostrou herdabilidade de 68,6% para altura de plantas, considerada magnitude mediana, e 30,61% para rendimento; para peso de mil sementes a variância ambiental foi tão pronunciada que a variação genética foi considerada nula (Tabela 11). Nesse cruzamento a interação genótipo x ambiente foi alta e seleções se tornam pouco efetivas, pois o fenótipo se expressa por variação do ambiente, não sendo interessante para o melhoramento da espécie.

Tabela 11. 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), razão entre coeficiente de variação genético e ambiental (CVg/CVe) para altura de plantas, rendimento e peso de 1.000 sementes dos genótipos de quinoa BRS Syetetuba, 37ZL e BRS Syetetuba x 37ZL.

Parâmetro genético	Altura de plantas	Rendimento	Peso mil sementes
V^2f	531,8633	1,8805	0,0086
V^2g	364,8922	0,5757	0,0
V^2e	166,9711	1,3047	0,0113
h^2 (%)	68,6064	30,6166	
CVg (%)	17,4025	6,0415	
CVe (%)	20,3855	15,7535	
CVg/CVe	0,8535	0,3835	

No cruzamento BRS Syetetuba x 40ZL a herdabilidade para altura de plantas foi de 75,13%, ausente para rendimento e de 58% para peso de mil sementes (Tabela 12). O único parâmetro seguro para ser usado para seleção neste caso é altura de plantas, os demais são considerados baixos ou nulos.

Tabela 12. 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), razão entre coeficiente de variação genético e ambiental (CVg/CVe) para altura de plantas, rendimento e peso de 1.000 sementes dos genótipos de quinoa BRS Syetetuba, 40ZL e BRS Syetetuba x 40ZL.

Parâmetro genético	Altura de plantas	Rendimento	Peso mil sementes
V^2f	609,6033	1,8234	0,0100
V^2g	457,9988	0,00	0,0058
V^2e	151,6044	4,6840	0,0041
h^2 (%)	75,1306		58,8942
CVg (%)	19,9449		2,7637
CVe (%)	19,8753		3,9985
CVg/CVe	1,0035		0,6911

A estimativa das variâncias para o cruzamento BRS Syetetuba x 44ZL revelam herdabilidade de 75,28% para altura de plantas, 39,89% para rendimento e ausente para peso de mil sementes (Tabela 13).

Tabela 13. 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), razão entre coeficiente de variação genético e ambiental (CVg/CVe) para altura de plantas, rendimento e peso de 1.000 sementes dos genótipos de quinoa BRS Syetetuba, 44ZL e BRS Syetetuba x 44ZL.

Parâmetro genético	Altura de plantas	Rendimento	Peso mil sementes
V^2f	324,0370	1,6289	0,0090
V^2g	243,9399	1,0844	0,00
V^2e	80,0970	0,5445	0,0305
h^2 (%)	75,2815	39,8991	
CVg (%)	15,2047	8,7904	
CVe (%)	15,0960	10,7864	
CVg/CVe	1,0076	0,8148	

O cruzamento BRS Syetetuba x 9542L revelou os maiores valores de herdabilidade, com 81,08% para altura de plantas, 83,28% para rendimento e 81,57% para peso de mil sementes (Tabela 14). Os valores da razão entre coeficiente de variação genético e ambiental mostram que seleções nesse cruzamento são efetivos porque a variação genotípica é alta e a variância ambiental baixa. Os fenótipos expressados são reflexos do genótipo, devido a baixa interação genótipos x ambientes.

Tabela 14. 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), razão entre coeficiente de variação genético e ambiental (CVg/CVe) para altura de plantas, rendimento e peso de 1.000 sementes dos genótipos de quinoa BRS Syetetuba, 9542 L e BRS Syetetuba x 9542 L.

Parâmetro genético	Altura de plantas	Rendimento	Peso mil sementes
V^2f	328,6195	2,2154	0,1799
V^2g	266,4525	1,8451	0,1467
V^2e	62,1670	0,3702	0,0331
h^2 (%)	81,0824	83,2869	81,5746
CVg (%)	15,4732	11,8998	11,9387
CVe (%)	12,9450	9,2332	9,8277
CVg/CVe	1,1953	1,2888	1,2148

Trabalho de Mujica (1988) citado por Leon Hancco (2003) encontrou herdabilidade de 33% para rendimento e 78% para altura de plantas, semelhante aos encontrados neste trabalho. Estes dados confirmam a alta interação do ambiente com a característica rendimento, e altura de planta sendo menos afetada pela interação.

Outro resultado que reforça a existência de variabilidade são as altas estimativas de herdabilidade, no sentido amplo, dos coeficientes de variação genética e da relação entre o coeficiente de variação genética e o coeficiente de variação ambiental para todos os caracteres em estudo. Adicionalmente, isso reflete o pequeno enfoque dado a estes caracteres no melhoramento genético de quinoa, ou seja, os caracteres altura de planta, rendimento e peso de mil sementes não foram considerados como alvos de programas de melhoramento. Além disso, os altos valores de herdabilidade encontrados sugerem que a utilização de métodos simples de seleção poderá propiciar ganhos significativos para todos os caracteres.

Segundo Vencovsky (1987) citado por Alves (2004) e Ferreira (2006), há uma situação muito favorável para a obtenção de ganhos na seleção quando a relação CVg/CVe tende a 1,0 ou maior que 1,0 na medida em que, nesses casos, a variação genética supera a variação ambiental. Por este princípio, a seleção quando é praticada no primeiro ano maximiza o ganho genético e vai diminuindo a partir dos anos subsequentes. Os valores de 1,87 para altura de plantas, 0,97 para rendimento e 0,95 para peso de mil sementes do cruzamento BRS Syetetuba x 34 ZL indica uma condição favorável à seleção destes caracteres (Tabela 10); altura de plantas do cruzamento BRS Syetetuba x 40ZL apresentou CVg/CVe igual a 1,00 (Tabela 12); altura de plantas e rendimento do cruzamento BRS Syetetuba x 44ZL apresentaram 1,00 e 0,81, respectivamente, de valores da razão CVg/CVe (Tabela 13); e no cruzamento BRS Syetetuba x 9542L todos os parâmetros

apresentaram razão CV_g/CV_e superior a 1 (Tabela 14). Conclui-se, portanto, que altura de planta é um parâmetro que pode ser usado com segurança na seleção das melhores progênes, pois foi a que se revelou com valores superiores a 1 na razão CV_g/CV_e em todos os cruzamentos.

Com a estimação de parâmetros genéticos é possível obter informações sobre a natureza da ação gênica envolvida na herança dos caracteres e estabelecer a base para a escolha dos métodos de melhoramento mais convenientes (ALVES, 2004). Dessa forma, o conhecimento a respeito da magnitude dos valores de herdabilidade e correlações entre as características estudadas podem permitir o estabelecimento de um conjunto de estratégias e métodos de melhoramento genético mais efetivos.

O cruzamento BRS Syetetuba x 9542L foi o que apresentou melhor combinação genética dos parentais resultando em elevadas taxas de herdabilidade, de coeficiente de variação genética e razão CV_g/CV_e . Apresentou no teste de média os maiores valores de altura e peso de mil sementes e, na análise de ganho de seleção, foi indicado para seleção nos dois parâmetros citados. Revela-se, portanto, como material promissor que deve ser foco do melhoramento.

Tabela 15. Ganho de seleção (GS%) para altura de plantas, rendimento e peso de 1.000 sementes dos genitores e dos híbridos em F_2 .

Caractere	GS (%) ¹	
	Genitores	Híbridos
Altura de plantas	6,87	3,52
Rendimento	14,23	2,10
Peso de mil sementes	11,65	10,82

¹Intensidade de seleção 40%.

CONCLUSÕES

Os dados revelam herdabilidade e razão coeficiente de variação genética por variação ambiental elevada para altura de planta em todos os cruzamentos, sugerindo que este parâmetro pode ser usado para seleção de plantas. O cruzamento BSR Syetetuba x 9542L mostra melhor desempenho genotípico e os trabalhos de melhoramento devem ser conduzidos gerando progênies deste material.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J. C. da S. **Estimativas de parâmetros genéticos para caracteres de semente e de planta em populações de cenoura (*Daucus carota* L.) derivadas da cultivar Brasília.**

Dissertação de Mestrado. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2004, 53,p.

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

BHARGAVA, A.; SHUKLA, S.; RAJAN, S.; OHRI, D. Genetic diversity for orphological and quality traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) germplasm. **Genetic Resources and Crop Evolution** v. 54, n. 1, p. 167-173, 2007.

BRASIL, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Regra para Análise de Sementes.** Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, p. 399, 2009.

CÁCERES, A. A.; **Evaluación de Técnicas de Hibridación en El Mejoramiento Genético de la Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd).** Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, 1993, 51 p.

COSTA, M. M.; DI MAURO, A. O.; UNEDA-TREVISOLI, S. H.; ARRIEL, N. H. C.; BÁRBARO, I. M.; MUNIZ, F. R. S. Ganho genético por diferentes critérios de seleção em

populações segregantes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.11, p.1095-1102, nov. 2004.

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

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2001. 390p.

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

LA CRUZ, T. E.; GARCIA, J. M. A.; RUBLUO, A.; PALOMINO, G.; BRUNNER, I.; Characterization of *Chenopodium* germplasm selection of putative mutants, and their cytogenetic study In: Genetic improvement of under-utilized and neglected crops in low income food deficit countries through irradiation and related techniques, p. 101-112, Vienna, 2004.

LEON HANCCO, J. M. **Cultivo de La Quinoa em Puno – Peru: descripción, manejo y producción**. Universidad Nacional Del Altiplano. Facultad de Ciencias Agrarias, p. 63, 2003.

MASTEBROEK, H. D.; van LOO, E. N.; DOLSTRA, O. Combining ability for seed yield traits of *Chenopodium quinoa* breeding lines. **Euphytica**, v. 125, n. 3, p.427-432, 2002.

MUJICA-SANCHEZ, A.; JACOBSEN, S. E.; IZQUIERDO, J.; MARATHEE, J. P..
Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Ancestral Cultivo Andino, Alimento Del Presente y Futuro. FAO. Editores: Santiago, Chile, 2001

ORTIZ, R.; MADSEN, S.; RUIZ-TAPIA, E. N.; JACOBSEN, S. E.; MUJICA-SANCHEZ, A.; CHRISTIANSEN, J.; STOLEN, O. Validating a core collection of Peruvian quinoa germoplasma. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 46, p. 285-290, 1999.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. de. **A experimentação em genética e melhoramento de plantas**, Lavras: UFLA, p. 326, 2005.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; PINTO, C. A. B. P. **Genética na Agropecuária**, 4^a edição revisada, Universidade Federal de Lavras UFLN, Lavras - MG, 2008, p.463.

RAMOS, A. Q. **Influencia de luz y densidad de siembra en El período vegetativo de los variables de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd)** – Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad National Técnica Del Altiplano: Ingeniería Agronómica, Puno, p. 73, 1981.

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

SANTOS, R. L. B. **Estudos iniciais para cultivo de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) no Cerrado**. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília, 1996, p. 129.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM – SAS. **User's guide**: Statistics. Version 8.0, Cary: 1999.

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

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

SPEHAR, C. R.; SANTOS, R. L. B. **Exigência nutricional e adubação** In: SPEHAR, C. R., Quinoa: alternativa para diversificação agrícola e alimentar, 1. ed, Planaltina, Embrapa Cerrados, 2007 b, p.57-61.

SPEHAR, C. R.; SANTOS, R. L. B. Agronomic performance of quinoa selected in the Brazilian Savannah. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, n. 69, p. 609-612, 2005.

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

VIANA, J. M. S. Generation mean analysis in relation to polygenic systems with epistasis and fixed genes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1159-1167, 2000.

VILELA, M. S. **Estimativas de parâmetros genéticos para caracteres de cenoura em sistemas de cultivo agroecológico**. Dissertação de Mestrado. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2008, 68 p.

Capítulo 4: Variação genética para composição físico-química do grão de quinoa

(*Chenopodium quinoa* Willd.): genitores e suas populações em F₂

ROCHA, J. E. S; ROSA-CAMPOS, A. A.; SPEHAR, C. R.

RESUMO

VARIAÇÃO GENÉTICA PARA COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO GRÃO DE QUINOA (*Chenopodium quinoa* WILLD.): GENITORES E SUAS POPULAÇÕES EM F₂

A quinoa tem se destacado por apresentar elevada qualidade nutricional sendo, portanto, alvo de pesquisas alimentares para sua inserção na dieta alimentar dos povos. Por seu valor, cresce a demanda, gera investigações para o aumento da qualidade dos vários componentes do grão. Este trabalho teve como objetivo identificar variabilidade na composição físico-química de genitores e seus respectivos híbridos F₂ quanto aos teores de lipídios, proteínas, fibra bruta, carboidrato, umidade, matéria seca e cinzas em apoio ao melhoramento genético para adaptação agrônômica e qualidade. Os parâmetros lipídios, proteína e carboidrato foram os que se apresentaram como mais indicados para se efetuarem seleções. Entretanto, proteína se apresentou como destaque, resultando em um aumento deste componente nos descendentes da geração F₂. A contribuição para aumento no teor foi proveniente de BRS Syetetuba que apresenta maior nível protéico entre os genitores. Cruzamentos visando aumento da qualidade de grãos de quinoa podem ser efetuados com chances de ganho genético por seleção.

Palavras chaves: carboidrato, cinzas, fibra, lipídios, proteína

ABSTRACT

GENETIC VARIATION FOR PHYSICAL AND CHEMICAL COMPOSITION OF GRAIN quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) PARENTS AND THEIR POPULATIONS IN F₂

Quinoa has become an outstanding grain in the world for its high nutritional quality, being the target of food research for insertion in the people's diets. Based on the intrinsic value, the growing demand stimulates investigating the genetics of its various compounds. This work had the objective of identifying variability in the physico-chemical composition of quinoa genitors and their respective F₂ hybrids for lipids, proteins, crude fiber, carbohydrate, moisture, dry matter and ashes in support for the genetics and breeding for agronomic adaptation and quality. Lipids, protein and carbohydrate were those with the highest given for making selections. However, protein has shown to vary considerably in the F₂ progenies. Contribution for increasing levels came from BRS Syetetuba, which presented the highest protein level among the genitors. Crosses for grain quality improvement can be made, with high opportunity for genetic gain.

Key-words: carbohydrate, ash, fiber, lipid, protein

INTRODUÇÃO

Como alternativa de cultivo comercial, quinoa ganhou destaque por sua composição nutricional, tendo um grande potencial de expansão para além das suas áreas tradicionais de cultivo, por sua tolerância às condições meteorológicas extremas (seca e geada), propriedades nutritivas, bem como a versatilidade de utilização na culinária (SPEHAR et al., 2011).

A quinoa, que durante séculos foi a base da alimentação dos povos andinos, ficou marginalizada após a colonização espanhola devido à introdução de novos grãos como a cevada e o trigo (SPEHAR, 2006). Seu ressurgimento se deu após a constatação da excelente qualidade química, com alto teor protéico, presença de vitaminas e aminoácidos essenciais. A partir de meados do século XX inúmeros trabalhos surgiram, comprovando sua elevada composição nutricional (RANHOTRA et al., 1993).

Chamada de pseudocereal pela composição próxima ao dos cereais, porém pertencente a outra família botânica (SPEHAR, 2002), quinoa é rica em proteínas, lipídios e carboidrato, sendo usada para balancear dietas devido às suas excelentes características nutricionais. Vários trabalhos têm revelado o aspecto bromatológico do grão (REPO-CARRASCO et al., 2003).

O grão possui qualidade protéica atendendo necessidades em aminoácidos essenciais para o balanceamento da alimentação humana e animal (SPEHAR et al., 2011), principalmente de países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento (BORGES et al., 2010).

Além do destaque na composição química em relação a outros grãos, quinoa apresenta vantagem de não conter glúten, fração protéica responsável por gerar

intolerâncias e alergias em pessoas portadoras da doença celíaca. Para estas, os produtos de panificação e massas se tornam restritos em função de farinha de trigo ser a base da elaboração de tais produtos. Surge então a necessidade de se criar novas receitas usando como ingredientes flocos, grãos e farinha de quinoa. Sua integração ao sistema produtivo será tão maior quanto maiores forem as formas de sua utilização (SPEHAR, 2006).

Seu reconhecimento como alimento alternativo foi feito por órgãos internacionais como a FAO e a NASA e ajudaram a colocar o grão na mídia, retornando sua pesquisa e crescendo o interesse de todo o mundo pela quinoa. Dessa forma, tornou-se necessário desenvolver produtos de qualidade sensorial adequada como forma de viabilizar sua incorporação aos hábitos alimentar humano (BORGES et al., 2010).

Nas receitas contidas no livro “Quinoa: alternativa para a diversificação agrícola e alimentar” (SPEHAR, 2007) percebe-se que a quinoa pode ser consumida sob a forma de grãos cozidos ou misturados a alimentos, além da fabricação de farinha. Entretanto, na alimentação dos brasileiros é pouco utilizada devido a hábitos e costumes tradicionais de cereais como arroz, trigo e milho (ROCHA, 2008).

De sabor típico, estranho ao paladar brasileiro, produtos elaborados com quinoa têm sido misturados a outros ingredientes. Bolos e biscoitos de quinoa assim preparados tiveram índices de aceitabilidade acima de 70% em avaliações sensoriais (CASTRO et al., 2007). A “barra” de quinoa, feita com grão expandido, obteve elevada aceitação, principalmente atribuída ao efeito de extrusão do grão (DEGÁSPARI; MORGAN, 2010). Bebidas vegetais, misturando extratos de quinoa com leite de coco, ampliam as possibilidades de consumo deste grão e em misturas com outros alimentos a quinoa pode enriquecer a nutrição e equilibrar a dieta (SOLORZANO et al., 2011; SPEHAR, 2006).

O teor de proteína de quinoa se concentra mais no embrião, lipídios no endosperma e carboidrato no perisperma, sendo este basicamente composto por grânulos de amido (AYALA MAMANI, 1977; BORGES et al., 2010; PREGO et al., 1998). A fração do amido é dividida em amilose e amilopectina, sendo encontrado 11% do primeiro, resultado inferior aos demais cereais (ATWELL et al., 1983).

O teor de minerais encontrados na quinoa, como o ferro, por exemplo, faz com que o grão possa ser considerado como alimento complementar ou funcional (SPEHAR, 2006; ABUGOCH JAMES, 2009). Cálcio, fósforo, zinco, cobre, magnésio também estão presentes na composição do grão de quinoa (REPO-CARRASCO et al., 2003).

O alto teor de fibra alimentar tem efeitos positivos para a saúde; por exemplo, pode reduzir o nível de colesterol no sangue e melhorar a digestão. Por esta razão, os consumidores podem também ter interesse em quinoa, incluindo-a em sua dieta (REPO-CARRASCO et al., 2003). A utilização da quinoa como enriquecedor de alimentos e rações deverá surgir à medida que se torne amplamente cultivada (SPEHAR, 2002).

No Brasil, seu consumo é restrito e limitado em função do alto custo do grão importado, ao desconhecimento pela maior parte da população e à baixa oferta de cultivares adaptadas ao cultivo local (BORGES et al., 2010). Atualmente, duas variedades estão disponíveis para os agricultores: a BRS Piabiru (SPEHAR; SANTOS, 2002) e a BRS Syetetuba (SPEHAR et al., 2011).

A área plantada, embora pequena, tem potencial para expandir e atender à demanda que surge por produtos altamente nutritivos e saudáveis. O preço elevado para o consumidor é consequência de importação do produto, uma vez que o Brasil não é auto-suficiente; são justamente os preços atrativos que têm gerado interesse de produtores, pesquisadores e indústria alimentícia (BORGES et al., 2010)

A quantidade de lipídios, proteínas, fibras e carboidratos, ainda que condicionada por vários genes, pode ser modificada, via melhoramento dirigido à obtenção de materiais que atendam a demandas específicas (SPEHAR, 2006).

Entretanto, sabe-se que há variação na composição físico-química do grão, dependendo da variedade em questão, devido a fatores genéticos, e também diferenças ambientais. Isto pode ser confirmado por Rocha et al. (2010a) com a variedade BRS Piabiru, que, quando cultivada no verão do cerrado brasileiro, apresentou maior teor de proteínas e lipídios, enquanto no inverno cinzas e carboidratos apresentaram superiores. Assim, a seleção de variedade a ser plantada deve levar em consideração fatores edafoclimáticos e a qualidade genética do material.

Trabalhos de melhoramento podem caminhar no sentido de hibridações de materiais contrastantes, visando aumentar teor protéico. A Universidade de Brasília avaliou e selecionou genótipos oriundos de diversas partes da América do Sul (Peru, Bolívia e Equador), por suas características agronômicas. Entretanto, os acessos disponíveis mostraram diferença no teor protéico dos respectivos grãos (ROCHA et al., 2010b). Esta diferença abre perspectiva para hibridações entre os que apresentam teores mais elevados na expectativa de gerar descendentes com média superior ao dos pais. Por outro lado, quando se pretende melhorar quinoa como fonte energética, podem-se selecionar variedades com maiores teores de lipídios e carboidratos (SPEHAR, 2006).

Com base no pressuposto de que parte da variação em compostos físico-químicos de quinoa é genética, este trabalho tem o objetivo de avaliar a variabilidade entre genitores de quinoa e seus respectivos híbridos em F₂.

MATERIAL E MÉTODOS

A variedade BRS Syetetuba e os genótipos 34ZL, 37ZL, 40ZL, 44ZL e 9542L foram avaliados quanto à sua composição físico-química, incluindo-se a população F₂ oriunda de cruzamentos entre os genótipos e BRS Syetetuba.

Os grãos foram coletados de experimento realizado na Estação Experimental de Biologia da Universidade de Brasília, em Brasília, DF. O experimento de campo foi semeado em 17 de janeiro e as coletas ocorreram em 25 de abril, quando as plantas encontravam-se na maturação fisiológica (92 dias após a emergência). Depois de beneficiados os grãos, os mesmos foram acondicionados em sacos de papel tipo kraft e encaminhados para análises.

Os grãos foram analisados no Laboratório de Análise de Alimentos da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília – UnB e no Laboratório de Química da Universidade Estadual de Goiás, Unidade Universitária de Palmeiras de Goiás.

Grãos inteiros foram submetidos à digestão para análise de proteína, conforme metodologia definida anteriormente (ROCHA et al., 2011); para os demais compostos, procedeu-se à trituração dos mesmos em moinho de facas, para facilitar as reações químicas nos testes; todas as análises foram feitas em triplicata.

Todos os instrumentos e vidrarias utilizados nos testes foram colocados em estufa a 105 °C por 12 horas para retirar umidade. Após este período, foram colocados em dessecador para resfriar sem adquirir umidade.

A caracterização seguiu normas do Instituto Adolfo Lutz, que compreendem umidade, cinzas, lipídios, proteínas e carboidratos (BRASIL, 2005).

As amostras de grãos foram preparadas e analisadas de acordo com o seguinte procedimento por componente: a) umidade: foi determinado usando-se estufa com circulação de ar a 105°C por 24 horas, até atingir peso constante. A matéria seca foi obtida pela diferença entre 100% da amostra e o percentual de umidade; b) cinzas: foram obtidas levando os cadinhos à mufla a 600 °C, por 4 horas, até a combustão total da matéria orgânica; c) proteína: utilizou-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); d) fibra bruta: foi feita pela digestão do material em solução de H₂SO₄ a 1,25% p/v por 30 minutos, seguida de NaOH 1,25% p/v por mais 30 minutos (AOAC, 1980); e) lipídios: foi obtido pelo método de extração por solvente (n-hexano), a quente, em determinador de gordura do tipo Soxhlet, onde cada extração tinha duração de 5 horas; f) carboidratos (CHO): foram determinados por diferença entre 100% da amostra e a soma do teor de lipídios (%L), umidade (U%), cinzas (%Cz), fibras (%F) e proteína (%Pr), ou seja, $\% (CHO) = 100 - (\%L + \%U + \%Cz + \%F + \%Pr)$.

Os dados foram submetidos à análise de variância, comparação entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade e correlação por meio do programa estatístico SAS, versão 9.1 (SAS, 1999). Houve, também, estimativa dos componentes da variância através de programa estatístico GENES (CRUZ, 2006),

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise físico-química dos genitores e sua geração F₂ encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Composição de grãos de quinoa, dos genitores e respectivos híbridos em F₂, cultivada em Brasília, DF.

Tratamento	U (%)	MS (%)	L (%)	CHO (%)	P (%)	Ci (%)	F (%)
BRS Syetetuba	9,49 ^{ab}	90,57 ^a	6,15 ^a	49,6 ^b	18,77 ^{bc}	3,73 ^a	12,24 ^{ab}
34ZL	9,91 ^{ab}	90,37 ^a	3,82 ^c	54,37 ^{ab}	17,73 ^{cd}	5,31 ^a	8,85 ^{abc}
BRS Syetetuba x 34 ZL	9,97 ^{ab}	90,03 ^a	5,72 ^{ab}	54,14 ^{ab}	16,35 ^e	4,13 ^a	9,69 ^{abc}
37ZL	9,87 ^{ab}	90,12 ^a	4,18 ^{bc}	58,31 ^a	17,08 ^{de}	3,82 ^a	6,72 ^c
BRS Syetetuba x 37ZL	10,31 ^a	89,69 ^a	5,37 ^{abc}	51,33 ^b	17,51 ^{de}	4,07 ^a	11,4 ^{abc}
40ZL	10,07 ^{ab}	89,92 ^a	5,12 ^{abc}	52,08 ^{ab}	17,68 ^{cd}	4,26 ^a	10,78 ^{abc}
BRS Syetetuba x 40ZL	9,95 ^{ab}	89,75 ^a	5,5 ^{abc}	50,01 ^b	17,04 ^{de}	5,24 ^a	12,24 ^{ab}
44ZL	9,61 ^{ab}	90,38 ^a	6,32 ^a	48,82 ^b	18,03 ^{bcd}	3,51 ^a	13,69 ^a
BRS Syetetuba x 44ZL	9,80 ^{ab}	90,19 ^a	5,51 ^{abc}	53,20 ^{ab}	18,09 ^{bcd}	3,61 ^a	9,77 ^{abc}
9542L	9,30 ^b	90,70 ^a	4,74 ^{abc}	49,26 ^b	19,02 ^{ab}	3,83 ^a	13,84 ^a
BRS Syetetuba x 9542L	9,99 ^{ab}	93,01 ^a	3,99 ^{bc}	54,86 ^{ab}	20,08 ^a	3,70 ^a	7,36 ^{bc}
Média	9,84	90,42	5,13	52,36	17,94	4,11	10,6
Desvio padrão	0,37	1,58	0,96	3,40	1,06	0,93	2,73
CV	3,18	1,75	11,78	4,32	2,32	21,20	17,00
Teste F	0,039 *	0,4775 ns	0,0003*	0,0008*	< 0,0001*	0,20 ns	0,0006*

* significativo, ns = não significativo. U = umidade; MS = matéria seca; L = lipídios; CHO = carboidrato; P = proteínas, Ci = cinzas, F = fibra bruta. Médias seguidas das mesmas letras, nas colunas, não diferem pelo teste de Tukey, a 5%.

O fato de todos os tratamentos terem sido cultivados no mesmo ano, área e manejo e, portanto, sujeitos às mesmas condições ambientais, permitem-nos afirmar que as diferenças encontradas entre os tratamentos é de causa genética. Trabalho de Wahli (1990) e Gomes (1999), citados por Spehar (2006), mostram considerável variabilidade nos diversos componentes de quinoa selecionadas no Brasil e no exterior, assim como no experimento em questão.

Embora exista diferença estatística significativa para teor de umidade nos grãos (Tabela 1), os níveis apresentados pelos tratamentos estão dentro dos padrões exigidos para um bom armazenamento ($\leq 12\%$), conforme Beltrão e Hequet (1994). Teores de umidade superiores a 15% podem acelerar as contaminações por fungos (POMERANZ, 1991).

O teor de lipídios variou de 3,82 a 6,32% (Tabela 1), apresentando-se superior ao de cereais em geral, cuja taxa média é de 2% (POMERANZ, 1991). De acordo com dados da Tabela 1, a BRS Syetetuba e o genótipo 44ZL superaram o maior índice encontrado de lipídio na Tabela 2. Ranhotra et al (1993), encontraram 4,6 % de lipídios em uma variedade de quinoa, enquanto Sugimoto (2008), encontrou 6,3%, e Spehar (2007) 5,59%, valores semelhantes ao encontrado neste trabalho. A quinoa, quando cultivada sob temperaturas mais elevadas, apresenta maiores quantidades de gorduras e proteínas no grão (SPEHAR, 2006).

Quanto ao teor de proteína, todos os materiais analisados apresentaram teor protéico superior aos relatados na Tabela 2, por Ranhotra et al. (1993), Sugimoto (2008) e Spehar (2007). Os valores oscilaram de 16,35% a 20,08%. Deve-se salientar o alto conteúdo protéico, superior aos cereais em geral, que normalmente não ultrapassa 6% (POMERANZ, 1991). Trabalho de Rocha et al. (2010b), destacou a superioridade dos genótipos 34ZL, 37ZL e 40ZL, com médias superiores a 16%, valor semelhante ao encontrado por Koziol

(1990) e superior ao de Ascheri et al. (2002), e à BRS Piabiru (ROCHA et al., 2010a). Os autores sugerem que estes genótipos devem ser priorizados no uso como parentais de hibridações controladas objetivando melhoria na qualidade protéica do grão.

Tabela 2. Composição físico-química de grãos de quinoa crua cultivada na América Latina.

País	Umidade (%)	Proteína (%)	Lipídios (%)	Cinzas (%)	Carboidratos (%)	Fibras (%)
Argentina¹	11,7	13,8	5,1	6,1	63,3	-
Brasil²	13,12	13,76	3,18	4,04	62,23	3,65
Bolívia¹	11,8	10,5	0,2	1,9	75,6	-
Chile¹	9,8	13,0	7,4	3,0	66,8	-
EUA¹	13,28	14,12	6,07	2,38	64,16	7,0
Peru²	11,69	9,38	4,87	2,77	66,58	4,71

Fonte: ¹Tabela de Composição dos Alimentos da América Latina (FAO, 2011); ²Rocha et al. (2010c).

Entre os genitores, a BRS Syetetuba se destacou com elevado teor de proteína (18,77%) e avaliando a média dos cruzamentos (18,45%), pode-se perceber aumento quando comprado à média dos genitores (17,52%) (Tabela 3 e 4). Nas médias dos cruzamentos em separado, também apresentaram aumentos do teor de proteína em todos os descendentes da geração F₂, quando comparadas às dos seus genitores masculinos. A BRS Syetetuba contribuiu para este aumento.

O teor de fibra variou de 6,72 a 13,84%, semelhante ao encontrado por Ranhotra et al. (1993), e superior ao relatado por Spehar (2007)

O teor de cinzas é a determinação de minerais presentes no grão. Esta fração é importante, pois fornece macroelementos como cálcio, fósforo, potássio, entre outros. Os valores encontrados de cinzas variou de 3,51 a 5,31%, superior ao encontrado por Ranhotra et al. (1993). Spehar (2007), encontrou 3,35% de cinzas, mostrando que há diferenças genéticas e ambientais nestes teores.

Tabela 3. Médias da composição centesimal de grãos dos genitores de quinoa cultivada em Brasília, DF.

Tratamento	U (%)	MS (%)	L (%)	Ca (%)	P (%)	Ci (%)	F (%)
BRS Syetetuba	9,49 ^b	90,57 ^a	6,15 ^a	49,6 ^b	18,77 ^a	3,73 ^a	12,24 ^a
34ZL	9,91 ^{ab}	90,37 ^a	3,82 ^c	54,37 ^{ab}	17,73 ^b	5,31 ^a	8,85 ^{ab}
37ZL	9,97 ^{ab}	90,12 ^a	5,72 ^a	58,31 ^a	16,35 ^c	4,13 ^a	9,68 ^{ab}
40ZL	9,87 ^{ab}	89,92 ^a	4,18 ^{bc}	52,08 ^{ab}	17,08 ^b	3,82 ^a	6,72 ^b
44ZL	10,31 ^a	90,38 ^a	5,37 ^a	48,82 ^b	17,51 ^b	4,07 ^a	11,4 ^{ab}
9542L	10,07 ^{ab}	90,70 ^a	5,12 ^{ab}	49,26 ^b	17,68 ^b	4,26 ^a	10,78 ^{ab}
Média	9,93	90,10	5,06	53,30	17,52	4,22	9,94
Desvio padrão	0,31	0,38	0,90	3,50	0,77	0,95	2,46
CV	2,30	0,34	7,60	4,56	1,38	22,30	19,25
Teste F	0,0204*	0,064 ns	<0,0001*	0,0136*	<0,0001*	0,41 ns	0,0445*

* significativo, ns = não significativo. U = umidade; MS = matéria seca; L = lipídios; Ca = carboidrato; P = proteínas, Ci = cinzas, F = fibra bruta. Médias seguidas das mesmas letras, nas colunas, não diferem pelo teste de Tukey, a 5%.

O teor de carboidrato em quinoa varia de 58% a 64%, segundo Repo-Carrasco et al. (2003). Entretanto, outros autores encontraram maior amplitude na composição para carboidratos, com valores entre 60,8% a 73% (SUGIMOTO, 2008; RANHOTRA et al., 1993; SPEHAR, 2007), enquanto nos dados observados houve variação de 48,82 a 58,31%. Quanto maior a quantidade de carboidrato, menores são os teores de proteínas e lipídios, e o consumidor prefere estes últimos teores mais elevados, o que mostra que os materiais avaliados neste trabalho apresentam vantagem nutricional em relação aos demais citados na literatura.

Tabela 4. Médias da composição centesimal de híbridos F₂ em grãos de quinoa cultivada em Brasília, DF.

Tratamento	U (%)	MS (%)	L (%)	CHO (%)	P (%)	Ci (%)	F (%)
BRS Syetetuba x 34 ZL	9,95 ^a	89,75 ^a	5,50 ^{ab}	54,14 ^{ab}	17,04 ^c	5,24 ^a	12,24 ^a
BRS Syetetuba x 37ZL	9,61 ^a	90,38 ^a	6,32 ^a	51,33 ^b	18,03 ^{bc}	3,51 ^a	13,69 ^a
BRS Syetetuba x 40ZL	9,80 ^a	90,19 ^a	5,51 ^{ab}	50,01 ^b	18,09 ^{bc}	3,61 ^a	9,77 ^{ab}
BRS Syetetuba x 44ZL	9,30 ^a	90,70 ^a	4,74 ^{ab}	53,20 ^{ab}	19,02 ^{ab}	3,83 ^a	13,84 ^a
BRS Syetetuba x 9542L	9,99 ^a	93,01 ^a	3,99 ^b	54,86 ^{ab}	20,08 ^a	3,70 ^a	7,36 ^b
Média	9,73	90,80	5,21	51,23	18,45	3,97	11,38
Desvio padrão	0,42	2,29	1,05	3,00	1,16	0,93	2,92
CV	4,01	2,56	15,17	3,98	3,02	19,59	14,55
Teste F	0,25 ns	0,49 ns	0,0413*	0,0171*	0,0006*	0,107ns	0,003*

* significativo, ns = não significativo. U = umidade; MS = matéria seca; L = lipídios; CHO = carboidrato; P = proteínas, Ci = cinzas, F = fibra bruta. Médias seguidas das mesmas letras, nas colunas, não diferem pelo teste de Tukey, a 5%.

A gama de constituintes químicos para cada grão varia de acordo com a cultivar (REPO-CARRASCO et al., 2003) e, portanto, são explicáveis as diferenças encontradas entre os genitores e, por consequência, entre os descendentes.

Correlações entre os parâmetros analisados mostram que a medida que aumenta a matéria seca do grão, aumenta o teor de proteína, assim como também é verdade, o aumento de fibra bruta foi proporcional ao aumento do teor de lipídios. Tais afirmações permitem dizer que seleção para um dos componentes citados resultará em aumento proporcional do correlacionado (Tabela 5).

O estudo da natureza e magnitude das correlações entre caracteres, como apresentado na Tabela 5, é muito importante para o melhoramento de plantas, já que o fitomelhorista se preocupa em aprimorar o material genético não para caracteres isolados, mas para um conjunto de caracteres simultaneamente (FERREIRA, 2006).

Entretanto, correlações negativas foram observadas para umidade e proteína, assim como para lipídios e carboidratos, e também fibra e carboidrato; como consequência, a seleção no sentido de aumentar um leva a redução de outro componente. Como carboidrato é um índice obtido por subtração, entende-se que o aumento dos demais componentes leve a redução do seu teor (Tabela 5).

Tabela 5. Coeficientes de correlação entre proteína, lipídios, cinzas, umidade, matéria seca, fibra bruta e carboidrato dos genótipos de quinoa.

Parâmetro genético	Matéria seca	Umidade	Proteína	Lipídios	Cinzas	Fibra bruta	Carboidrato
Matéria seca	1,00	-0,1202	0,4015	-0,1831	-0,0631	-0,1518	0,0789
		0,5052	0,0205*	0,3075	0,7272	0,3990	0,6622
Umidade		1,00	-0,3988	-0,0257	-0,0151	-0,2865	0,2547
			0,0215*	0,9095	0,9333	0,1059	0,1525
Proteína			1,00	-0,1861	-0,2373	0,0764	-0,2124
				0,2998	0,1835	0,6724	0,2353
Lipídios				1,00	-0,1413	0,4612	-0,5546
					0,4327	0,0069*	0,0008*
Cinzas					1,00	0,0322	-0,1855
						0,8588	0,3013
Fibra bruta						1,00	-0,9363
							<0,0001*
Carboidrato							1,00

* Significativo a 0,05 (5% probabilidade)

As estimativas dos componentes genéticos encontram-se nas Tabelas 7 e 8, e os ganhos de seleção na Tabela 6. É possível observar que os parâmetros lipídio, proteína e carboidrato apresentam as maiores herdabilidades nos genitores, 94,92%, 97,03% e 84,23%, respectivamente (Tabela 7). Observando-se a herdabilidade dos híbridos em F₂ encontra-se a proteína com elevada herdabilidade (90,89%) sendo, portanto, o parâmetro mais indicado para se usar nas seleções.

As razões entre coeficiente de variação genética e ambiental (CVg/CVe) confirmam proteína, lipídio e carboidrato como os caracteres que apresentam menor interação com o

ambiente, tendo sua expressão em função da variação genética (Tabela 7 e 8), assegurando-os como eficientes indicadores de seleção.

O ganho de seleção (Tabela 6) indica teor de fibra bruta como o parâmetro que apresentou maior acréscimo dos genitores (15,70%) para os híbridos em F₂ (20,75%). Entretanto, proteína e cinzas, em valores menores, também apresentaram acréscimo. Lipídios e carboidrato mostraram redução de uma geração para a outra.

Tabela 6. Ganho de seleção (GS%) para lipídio, proteína, cinzas, matéria seca, umidade, fibra bruta, carboidrato dos genitores e dos híbridos em F₂.

Caractere	GS (%) ¹	
	Genitores	Híbridos
Lipídio	18,37	12,06
Proteína	4,84	5,46
Cinzas	3,72	11,22
Matéria Seca	0,23	0,0
Umidade	2,11	0,99
Fibra bruta	15,70	20,75
Carboidrato	5,23	3,97

¹Intensidade de seleção 40%.

Tabela 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), razão entre coeficiente de variação genético e ambiental (CVg/CVe) para matéria seca, umidade, proteína, lipídios, cinzas, fibra bruta, carboidrato dos genitores de quinoa.

Parâmetro genético	Matéria Seca	Umidade	Proteína	Lipídios	Cinzas	Fibra Bruta	Carboidrato
V^2f	0,0889	0,0722	0,6402	0,8050	0,3228	3,9507	9,2054
V^2g	0,0556	0,0515	0,6212	0,7642	0,0816	2,8439	7,7543
V^2e	0,0332	0,0206	0,0189	0,0408	0,2412	1,1068	1,4510
h^2 (%)	62,64	71,42	97,03	94,92	25,28	71,98	84,23
CVg (%)	0,2619	2,28	4,4983	17,2693	6,7690	16,9524	5,2238
CVe (%)	0,3503	2,4978	1,3614	6,9149	20,1518	18,3189	3,9138
CVg/CVe	0,7476	0,9128	3,3041	2,4974	0,3359	0,9254	1,3347

Matéria seca e umidade não são parâmetros seguros para seleções, uma vez que são altamente influenciados pelas condições ambientais, apresentando baixa herdabilidade (Tabela 7 e 8), e portanto, baixo ganho por seleção (Tabela 6).

Tabela 8. 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), razão entre coeficiente de variação genético e ambiental (CVg/CVe) para matéria seca, umidade, proteína, lipídios, cinzas, fibra bruta, carboidrato da geração F₂ de quinoa.

Parâmetro genético	Matéria Seca	Umidade	Proteína	Lipídios	Cinzas	Fibra Bruta	Carboidrato
V^2f	1,6334	0,0797	1,3181	0,7812	0,5106	7,7161	7,0527
V^2g	0	0,0280	1,1981	0,5756	0,3303	6,7924	5,5858
V^2e	1,8958	0,0517	0,1199	0,2055	0,1803	0,9236	1,4669
h^2 (%)		35,18	90,89	73,68	64,68	88,02	79,20
CVg (%)		1,7215	5,9313	14,5442	14,4428	22,8965	4,6130
CVe (%)		4,0467	3,2505	15,0529	18,4832	14,6247	4,0946
CVg/CVe		0,4254	1,8247	0,9662	0,7814	1,5656	1,1266

Como componentes físico químicos de grãos são caracteres resultantes da ação gênica e do ambiente, os componentes de variação foram estimados para cada cruzamento, como forma de adiantar o trabalho de melhoramento, avançando gerações daqueles mais promissores. As estimativas de cada cruzamento encontram-se nas Tabelas 9, 10, 11, 12 e 13.

Para o cruzamento BRS Syetetuba x 34ZL proteína e lipídios se destacaram com maiores valores de herdabilidade, 97,67% e 91,97%, respectivamente (Tabela 9), confirmado pela razão entre CVg/Cve superior a 1.

Para o cruzamento BRS Syetetuba x 37 ZL matéria seca, umidade, proteína e carboidratos apresentaram valores de herdabilidade superior à 80% (Tabela 10), com destaque para proteína com herdabilidade de 95,99% e razão CVg/CVe igual a 6,8.

Tabela 9. 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), razão entre coeficiente de variação genético e ambiental (CVg/CVe) para matéria seca, umidade, proteína, lipídios, cinzas, fibra bruta, carboidrato dos genótipos de quinoa BRS Syetetuba, 34ZL e BRS Syetetuba x 34ZL.

Parâmetro genético	Matéria Seca	Umidade	Proteína	Lipídios	Cinzas	Fibra Bruta	Carboidrato
V^2f	0,1631	0,0643	0,7588	1,4434	0,7934	3,8307	6,9681
V^2g	0,0952	0,0323	0,7411	1,3275	0,4064	1,9822	2,7962
V^2e	0,0678	0,0320	0,0176	0,1159	0,3870	1,8484	4,1718
h^2 (%)	58,41	50,25	97,67	91,97	51,22	51,74	40,12
CVg (%)	0,3422	1,8382	4,8233	22,3295	13,3907	12,6689	3,2577
CVe (%)	0,5001	3,1676	1,2898	11,4281	22,6308	21,1889	6,8916
CVg/CVe	0,6842	0,5803	3,7395	1,9539	0,5917	0,5979	0,4727

Tabela 10. 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), razão entre coeficiente de variação genético e ambiental (CVg/CVe) para matéria seca, umidade, proteína, lipídios, cinzas, fibra bruta, carboidrato dos genótipos de quinoa BRS Syetetuba, 37ZL e BRS Syetetuba x 37ZL.

Parâmetro genético	Matéria Seca	Umidade	Proteína	Lipídios	Cinzas	Fibra Bruta	Carboidrato
V^2f	0,0612	0,0612	1,5412	0,0973	0,0986	4,1020	8,2318
V^2g	0,0498	0,0498	1,4795	0,0694	0,0	2,7787	6,8043
V^2e	0,0113	0,0113	0,0616	0,0278	0,2521	1,3232	1,4274
h^2 (%)	81,44	81,44	95,99	71,36		67,74	82,65
CVg (%)	0,2472	2,3034	6,8653	4,3458		14,0383	5,1290
CVe (%)	0,2043	1,9042	2,4274	4,7677		16,7801	4,0690
CVg/CVe	1,2096	1,2096	2,8282	0,9115		0,8366	1,2605

O cruzamento BRS Syetetuba x 40ZL apresentou herdabilidade de 97,17% para proteína e 93,76% para lipídio, sendo, portanto, estes componentes os mais indicados para seleção (Tabela 11).

Para o cruzamento BRS Syetetuba x 44ZL os componentes que se destacaram com alta herdabilidade foram: proteína com 93,54% e lipídios com 84,63% (Tabela 12).

Tabela 11. 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), razão entre coeficiente de variação genético e ambiental (CVg/CVe) para matéria seca, umidade, proteína, lipídios, cinzas, fibra bruta, carboidrato dos genótipos de quinoa BRS Syetetuba, 40ZL e BRS Syetetuba x 40ZL.

Parâmetro genético	Matéria Seca	Umidade	Proteína	Lipídios	Cinzas	Fibra Bruta	Carboidrato
V^2f	0,0409	0,0409	0,7234	1,0070	0,0114	7,6551	19,1577
V^2g	0,0	0,0	0,7030	0,9442	0,0	5,3159	16,4912
V^2e	0,0436	0,0436	0,0204	0,0627	0,1199	2,3392	2,6664
h^2 (%)			97,17	93,76		69,44	86,08
CVg (%)			4,6622	18,3959		24,0699	7,5610
CVe (%)			1,3769	8,2161		27,6570	5,2660
CVg/CVe			3,3859	2,2390		0,8703	1,4358

Tabela 12. 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), razão entre coeficiente de variação genético e ambiental (CVg/CVe) para matéria seca, umidade, proteína, lipídios, cinzas, fibra bruta, carboidrato dos genótipos de quinoa BRS Syetetuba, 44ZL e BRS Syetetuba x 44ZL.

Parâmetro genético	Matéria Seca	Umidade	Proteína	Lipídios	Cinzas	Fibra Bruta	Carboidrato
V^2f	0,2874	0,2874	0,6530	0,4963	0,0300	1,5401	1,2264
V^2g	0,1755	0,1755	0,6109	0,4200	0,0	0,3061	0,0
V^2e	0,1118	0,1118	0,0421	0,0762	0,2839	1,2340	1,3693
h^2 (%)	61,08	61,08	93,54	84,63		19,87	
CVg (%)	0,4640	4,3191	4,2398	11,9507		4,4279	
CVe (%)	0,6414	5,9705	1,9286	8,8184		15,3960	
CVg/CVe	0,7234	0,7234	2,1983	1,3552		0,2876	

Para o cruzamento BRS Syetetuba x 9542L, mais uma vez, proteína e lipídios se destacaram como os componentes químicos mais efetivos para serem usados na seleção, com valores de herdabilidade superior a 90% (Tabela 13).

Proteína se destacou como o parâmetro de maior herdabilidade e razão entre o coeficiente de variação genético e ambiental para os todos os cruzamentos, confirmando sua eficiência como índice de seleção.

Nos cruzamentos BRS Syetetuba x 34ZL, BRS Syetetuba x 40ZL, BRS Syetetuba x 44ZL e BRS Syetetuba x 9542L, lipídios também apresentou alos valores de herdabilidade e CVg/CVe, sendo, nestes casos, também passível de seleção.

Tabela 13. 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), razão entre coeficiente de variação genético e ambiental (CVg/CVe) para matéria seca, umidade, proteína, lipídios, cinzas, fibra bruta, carboidrato dos genótipos de quinoa BRS Syetetuba, 9542L e BRS Syetetuba x 9542L.

Parâmetro genético	Matéria Seca	Umidade	Proteína	Lipídios	Cinzas	Fibra Bruta	Carboidrato
V^2f	2,6890	0,0990	1,4440	1,1635	0,0973	6,2715	6,9161
V^2g	0,0	0,0628	1,3873	1,0661	0,0	4,4605	5,2450
V^2e	2,7812	0,0362	0,0566	0,0974	0,2811	1,8109	1,6711
h^2 (%)		63,4210	96,07	91,62		71,12	75,83
CVg (%)		2,5440	6,2497	20,2944		20,8513	4,3888
CVe (%)		3,3464	2,1876	10,6275		23,0121	4,2909
CVg/CVe		0,7602	2,8565	1,9096		0,9061	1,0228

CONCLUSÃO

Os parâmetros lipídio, proteína e carboidrato são os que se apresentam como maiores indicações para efetuar ganhos de seleções. Entretanto, a variabilidade em proteína se destaca, resultando em um aumento deste componente nos descendentes da geração F₂, fruto do cruzamento da BRS Syetetuba, que apresenta maior teor protéico entre os genitores. Desta forma, afirma-se que cruzamentos visando aumento da qualidade de grãos de quinoa podem ser efetuados com chances de sucesso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABUGOCH JAMES, L. E. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): composition, chemistry, nutritional, and functional properties. **Advances in Food and Nutrition Research** V. 58, n. 1, p. 1-31, 2009

ASCHERI, J. L.; SPEHAR, C. R.; NASCIMENTO, N. E. Caracterización química comparativa de harinas instantaneas por extrusión de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), maíz y arroz. **Alimentaria**, Madrid, v. 39, n. 331, p. 82-89, 2002.

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

ATWELL, W. A.; PATRICK, B. M.; JOHNSON, L. A.; GLASS, R. W. Characterization of quinoa starch. **Cereal Chemistry**, v. 60, n. 1, p. 9-11, 1983.

AYALA MAMANI, C. **Efecto de localidades en el contenido de proteína em quinua (*Chenopodium quinoa* Willd)** – Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional Técnica Del Altiplano: Programa Académico de Ingeniería Agronómica, Puno, p. 58, 1977.

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

BORGES, J. T.; BONOMO, R. C.; PAULA, C. D.; OLIVEIRA, L. C.; CESÁRIO, M. C. Características físico-químicas, nutricionais e formas de consumo de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). **Temas Agrários**, v. 15, n. 1, p. 9-23, 2010.

BRASIL, Ministério da Saúde. Agência de Vigilância Sanitária (ANVISA). Instituto Adolfo Lutz. **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos**. Brasil: Ministério da Saúde, p. 819-877, 2005.

CASTRO, L. I. A. de; VILA REAL, C. M.; PIRES, I. S. C.; PIRES, C. V.; PINTO, N. A. V. D.; MIRANDA, L. S.; ROSA, B. C.; DIAS, P. A. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd): digestibilidade in vitro, desenvolvimento e análise sensorial de preparações destinadas a pacientes celíacos. **Alimentos e Nutrição**. Araraquara. V. 18, n.4, p.413-419, 2007.

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

DEGÁSPARE, C. H.; MORGAN, M. Desenvolvimento de aplicações tecnológicas para grãos de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). Tuiuti: **Ciência e Cultura**, n.43, p.61-72, Curitiba, 2010.

FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. **Tabla de Composición de Alimentos de América Latina**. Disponível em: <http://www.rlc.fao.org/es/bases/alimento/default.htm> Acesso em 23 de abril de 2011.

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

KOZIOL, Composición química. In: WAHLI, C. (Ed.). **Quinoa: hacia su cultivo comercial.** Quito, Ecuador: Latinreco, p. 137-159, 1990.

MUJICA-SANCHEZ, A.; JACOBSEN, S. E.; IZQUIERDO, J.; MARATHEE, J. P..
Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Ancestral Cultivo Andino, Alimento Del Presente y Futuro. FAO. Editores: Santiago, Chile, 2001.

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

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

RANHOTRA, G. S.; GELROTH, J. A.; GLASSER, B. K.; LORENZ, K. J.; JOHNSON, D. I. Composition and protein nutritional quality of quinoa. **Cereal Chemistry**, v. 70, n. 3, p. 303- 305, 1993.

REPO-CARRASCO, R.; ESPINOZA, C.; JACOBSEN, S. E. Nutricional 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. **Seleção de genótipos de quinoa com características agronômicas e estabilidade de rendimento no Planalto Central**. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília, p. 115, 2008.

ROCHA, J. E. da S.; ROSA-CAMPOS, A. A.; BORGIO, L. A.; SPEHAR, C. R. Avaliação protéica de genótipos de quinoa usados no programa de melhoramento da Universidade de Brasília. In: XXII Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, novembro, 2010, Salvador, BA, **Anais**, p. 240, 2010b.

ROCHA, J. E. S. da; SPEHAR, C. R.; ROSA-CAMPOS, A. A.; BORGIO, L. A. Estudo comparativo de metodologias para determinação de proteínas em quinoa . In: III Simpósio em Ciência e Tecnologia de Alimentos, III Congresso do Instituto Nacional de Frutos Tropicais e IV Seminário de Ciência de Alimentos: avanços e perspectivas, abril 2011, Recife, PE, **Anais**, p. 3, 2011.

ROCHA, J. E. da S.; SPEHAR, C. R.; ROSA-CAMPOS, A. A.; BORGIO, L. A. Comparação da composição centesimal da quinoa BRS Piabiru cultivada no verão e no inverno brasileiro. In: II Simpósio em Ciência e Tecnologia de Alimentos e II Congresso do Instituto Nacional de Frutos Tropicais, abril 2010, Aracaju, SE, **Anais**, p. 598-601, 2010a.

ROCHA, J. E. da S.; SPEHAR, C. R.; ROSA-CAMPOS, A. A.; BORGIO, L. A. Diferença na composição físico química de quinoa cultivada no Brasil e no Peru. In: II Simpósio em Ciência e Tecnologia de Alimentos e II Congresso do Instituto Nacional de Frutos Tropicais, abril 2010, Aracaju, SE, **Anais**, p. 594-597, 2010c.

SAS - STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM. **User's guide**: Statistics. Version 8.0, Cary: 1999.

SOLORZANO, J. L.; ROSA-CAMPOS, A. A.; ROCHA, J. E. da S.; BORGIO, L. A. Bebida à base de quinoa Real e leite de coco – desenvolvimento e avaliação físico-química. In: III Simpósio em Ciência e Tecnologia de Alimentos, III Congresso do Instituto Nacional de Frutos Tropicais e IV Seminário de Ciência de Alimentos: avanços e perspectivas, abril 2011, Recife, PE, **Anais**, p. 3, 2011.

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

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

SPEHAR, C. R. Utilização da quinoa como alternativa para diversificar alimentos. In: SIMPÓSIO SOBRE INGREDIENTES NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL, 2002, Uberlândia, MG. [**Anais**]. Uberlândia: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal: UFU, 2002. p. 49-58.

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

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

SUGIMOTO, L. Experiência abre perspectiva de uso do grão em biomateriais que substituam os filmes de plástico. **Jornal da UNICAMP**. Universidade Estadual de Campinas, 10 a 23 de março de 2008.

**Capítulo 5: Propagação clonal de híbridos F₁ em apoio aos estudos de genética e
melhoramento em quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd)**

ROCHA, J. E. S.; PIRES, M. C.; SPEHAR, C. R.

RESUMO

PROPAGAÇÃO CLONAL DE HÍBRIDOS F₁ EM APOPIO AOS ESTUDOS DE GENÉTICA E MELHORAMENTO EM QUINOA (*Chenopodium quinoa* Willd)

Existe grande dificuldade para a obtenção de híbridos nos trabalhos de genética e melhoramento de quinoa. Um dos entraves nos experimentos para determinação de parâmetro genéticos é a quantidade de semente F₂ necessária, enquanto a geração F₁ fica excluída da avaliação, originando poucos indivíduos. Mesmo que a planta produza grande número de sementes para experimentos de campo torna-se necessário sua inclusão em testes de gerações. A clonagem ajudaria a solucionar o problema. Foram usados 5 tratamentos, com 5 repetições e 3 doses do hormônio ácido indolbutírico em substrato. Estacas de quinoa foram utilizadas como propágulos na presença e ausência de ácido indolbutírico; enraizaram e a sobrevivência mostrou-se mais dependente de substrato e umidade relativa elevada do que do tratamento com hormônio. Diferenças de resposta entre híbridos se devem a prováveis efeitos das fases de desenvolvimento. Quanto mais avançadas as plantas-mães na floração, menor crescimento e frutificação dos propágulos delas derivados. A propagação clonal de híbridos de quinoa é uma ferramenta interessante e que pode auxiliar o trabalho do melhorista no aumento da quantidade de sementes híbridas.

Palavras-chave: ácido indolbutírico, estacas, substrato

ABSTRACT

Clonal propagation of F₁ hybrids as a tool in genetics and breeding of quinoa

(*Chenopodium quinoa* Willd)

There is great difficulty to obtain hybrid seeds in genetic breeding of quinoa. A major setback in the variance components is the amount of F₂ needed, while the F₁ hybrid may be excluded from evaluations, due to limited number of individuals. Even though the quinoa plant produces high numbers of seeds for field experiments, the inclusion of F₁ allows generation mean evaluations. Cloning hybrid plants could help solving the problem. For the purpose, 5 treatments, with 5 replications and 3 indolbutic acid doses were employed in plant growth substrate. Quinoa cuttings, utilized as propagule in presence and absence of hormone (control) rooted and their survival showed to be more dependent on substrate and high relative moisture. Differences in plant growth were probably more related to cutting age. Mother plants being advanced in their reproduction produced least growth and fruiting of clones. These data show that cloning quinoa plants is a feasible tool to support the breeder's for increasing stocks of hybrid seeds.

Keywords: IBA, cuttings, substrate

INTRODUÇÃO

As flores de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) são pequenas e agrupadas em conjuntos abertos ou fechados (glomérulos) para formar a inflorescência (panícula) contém flores hermafroditas nas partes distais e femininas próximas da inserção dos glomérulos (JANKUROVÁ et al., 2009). Técnicas de hibridização envolvendo emasculação manual e transferências de pólen são extremamente difíceis e tediosas (CÁCERES, 1993). Considerando que cada flor hibridizada resultará em um indivíduo F_1 , pode-se compreender a dificuldade dos trabalhos de melhoramento com plantas que apresentam flores diminutas (PASQUALETTO et al., 1996).

Para resolver este problema, uma possibilidade é expor os genitores à fotoperíodo prolongado para atrasar o florescimento, aumentando a produção de biomassa e de flores, como feito em soja (SPEHAR; GALWEY, 1990). Mesmo com o alongamento do período de floração, as limitações persistem porque os cruzamentos manuais são realizados individualmente em cada flor e dependem da habilidade do melhorista para realizar emasculação sem causar danos.

Além disso, um dos entraves nos experimentos de componentes de variância é a quantidade de sementes F_2 necessária, quando se pretende realizar avaliações em gerações iniciais, dependendo do número de indivíduos em F_1 ser reduzido. Em muitas situações obtém-se um único exemplar, limitando os trabalhos futuros de melhoramento (SPEHAR; GALWEY, 1990). Com quinoa, ainda que se obtenham milhares de sementes por indivíduo, podem-se conduzir avaliações que incluem F_1 , como os testes com gerações sucessivas. Com hibridação artificial, flor a flor, a semente híbrida origina um descendente,

exigindo grandes números de hibridações para experimentos de campo, com repetições (SPEHAR, 2007).

Uma possibilidade de aumentar o número de indivíduos F_1 e de sementes F_2 , para uso nos testes, seria a produção de clones via propagação vegetativa. Em plantas perenes, a estaquia é um método de propagação muito utilizado, sendo sua viabilidade dependente da fase de desenvolvimento da planta-mãe, capacidade de formação de raízes, da qualidade do sistema radicular originado e do desenvolvimento posterior da planta. Os fatores internos como as condições fisiológicas e idade da planta, época de coleta de propágulos, potencial genético de enraizamento, sanidade, balanço hormonal, oxidação de compostos fenólicos e posição da estaca no ramo; e fatores externos, como a temperatura, luz, umidade e substrato (PIO et al., 2005) afetam o enraizamento, como também no condicionamento da planta-matriz (RODRIGUES, 1996). Além desses, existe ainda a predisposição genética ao enraizamento, que pode variar entre e dentro das espécies. Entretanto, nas espécies anuais, em que o crescimento e o desenvolvimento ocorrem em curto período, o cenário é diferente (SPEHAR; GALWEY, 1990). Há necessidade de manter plantas na fase vegetativa, via prolongamento de fotoperíodo, naquelas responsivas, como a quinoa (BERTERO, 2003).

A propagação vegetativa se baseia na totipotência celular, ou seja, células somáticas vegetais têm a capacidade de regenerar novas plantas a partir de estacas (PASQUALETTO et al., 2000).

Na propagação vegetativa busca-se técnicas auxiliares, como o uso de reguladores de crescimento e destes, com frequência, as auxinas. Os reguladores de crescimento são de importância fundamental (FACHINELLO et al., 2005). É necessário que haja um balanço hormonal entre promotores e inibidores do processo de iniciação radicular e a maneira mais comum é pela aplicação exógena de reguladores de crescimento sintéticos, como o ácido

indolbutírico (AIB), 2,4-D e naphthaleno-acético, que podem elevar o teor de auxina no tecido (PASQUALETTO; SEDIYAMA, 1996; PASQUALETTO et al., 1996; PIO et al., 2005). Em espécies anuais, como a soja, pode ocorrer enraizamento sem adição de hormônio (PASQUALETTO; SEDIYAMA, 1996).

Diante disto, a produção de clones de híbridos F_1 ajudaria a solucionar este problema e, portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o enraizamento de clones híbridos F_1 de quinoa, usando diferentes concentrações de AIB (ácido indolbutírico) em câmara de nebulização, como ferramenta adicional a estudos de genética e melhoramento em quinoa.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento para clonagem de plantas F₁ híbridas de quinoa foi realizado em casa de vegetação na Estação Biológica Experimental da Universidade de Brasília, em Brasília – DF, no período de setembro a dezembro de 2010.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com tratamentos em fatorial 3 x 5, sendo 3 doses de hormônio, 5 híbridos, respectivamente, com 5 repetições.

Como a concentração de hormônio modifica para cada espécie, suas soluções foram separadas em 3 concentrações distintas, sendo 0 ppm a testemunha, 500, e 1.000 ppm as demais. A mistura foi realizada no laboratório do Setor de Fruticultura; utilizaram-se balança de precisão, luvas de procedimento cirúrgico descartáveis, balão volumétrico, pipeta, Becker, bastão de vidro, proveta, funil, espátula, barra magnética (bailarina), agitador magnético, água destilada, álcool (92 °GL) e hormônio (AIB) na forma de produto comercial RHIZOPON TM.® AA WATER SOLUBLE TABLETS (Indole-3-butyric Ácid 20.0% e INERT INGREDIENTS 80%). As soluções foram armazenadas em recipientes protegidos da luz e armazenadas em geladeira durante a execução do processo. O AIB, auxina sintética, foi empregado por ser o fitorregulador mais usado para enraizamento de estacas por sua menor mobilidade (CASTRO, ALVARENGA, 2001) e por sua fotoestabilidade, com ação localizada (PIO et al., 2006).

As estacas foram retiradas de plantas híbridas F₁ no estágio reprodutivo. Foram escolhidos 10 ramos de plantas vigorosas. As inflorescências foram eliminadas e os cortes foram feitos mantendo-se 2 a 3 gemas por ramo, constituindo as estacas com aproximadamente 10 a 15 cm cada, com presença de folhas. Junqueira et al. (2001),

indicam que as estacas devem conter em torno de três nós e Ruggiero (2000) recomenda proceder à lavagem do material.

Os propágulos provieram dos seguintes cruzamentos: BRS Syetetuba x 34ZL, BRS Syetetuba x 37ZL, BRS Syetetuba x 40ZL, BRS Syetetuba x 44ZL e BRS Syetetuba x 9542L.

Os propágulos foram cortados em bixel, mergulhados na solução-tratamento (com e sem hormônio) por 2 minutos e colocadas nos copos plásticos de 300 mL com substrato Bioplant®. As estacas foram mantidas em casa de vegetação protegida por sombrite - 50%, com nebulização intermitente a $18 \pm 5^\circ\text{C}$ à noite e $38 \pm 5^\circ\text{C}$ ao dia e umidade relativa de 70% a 100%, sistema de irrigação por aspersão, com a utilização de “bailarinas”, a aproximadamente 1,5 m de altura da bancada, com vazão de 100 litros hora⁻¹, espaçados 3 metros de uma haste a outra e um turno de rega, três vezes/semana, equipada também com uma mine estação meteorológica. Estas condições foram definidas em trabalho de Pio et al. (2006) e Pasqualetto et al. (1996).

O potencial de enraizamento foi avaliado através de notas que foram atribuídas pela observação do número de raízes adventícias emitidas por estaca 60 dias após a instalação, e as estacas que apresentaram enraizamento e brotações foram transplantadas para vasos plásticos de 2L adubados com formulado NPK 4-14-8 até completarem o ciclo da planta.

Nos vasos, os clones foram submetidos à suplementação luminosa das 17:00 às 24:00 horas e irrigação via aspersão automatizada duas vezes ao dia.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade pelo programa estatístico SAS (SAS, 1999).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da taxa de enraizamento e brotação das estacas encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Taxa de enraizamento e brotação das estacas dos híbridos F₁ de quinoa sob diferentes doses do hormônio AIB.

Híbridos	Concentrações do hormônio AIB (%)		
	0 ppm	500 ppm	1.000 ppm
BRS Syetetuba x 34ZL	20 ^{bC}	30 ^{aB}	40 ^{aA}
BRS Syetetuba x 37ZL	50 ^{aA}	20 ^{bB}	0 ^{eC}
BRS Syetetuba x 40ZL	0 ^{cB}	0 ^{cB}	30 ^{bA}
BRS Syetetuba x 44ZL	20 ^{bA}	20 ^{bA}	20 ^{cA}
BRS Syetetuba x 9542L	20 ^{bA}	15 ^{abAB}	10 ^{dB}

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p=0.05).

Houve efeito significativo das doses do regulador de crescimento ácido indolbutírico (AIB) nas concentrações utilizadas, das espécies e da interação doses versus espécies em todos os parâmetros avaliados (Tabela 1). A taxa de enraizamento é proporcional à de brotação em função da relação entre massa de raiz e parte aérea das espécies vegetais.

Foi encontrada diferença estatística significativa entre os híbridos quanto à taxa de enraizamento e à melhor dose do hormônio, mostrando haver interferência do genótipo, como já verificado por Pasqualetto et al. (1996). Outro fator que justifica a diferença encontrada é o vigor das ramas, estágio vegetativo e ciclo da planta que, embora todas as plantas estavam em início de florescimento, pode haver variação entre elas. Os mesmos autores verificaram que existem diferenças entre os tipos de estacas, isto é, basais,

medanas e apicais, fator não considerado neste trabalho isto, portanto, pode justificar os resultados encontrados.

Quanto à dose de hormônio, houve variação com relação aos híbridos, não havendo uniformidade de resposta. Observação semelhante foi constatada no trabalho de Wendling e Xavier (2005). Os autores afirmam que a melhor concentração do hormônio varia em função da espécie, da forma de aplicação, do clone e do estágio de maturação. Por se tratar de genótipos diferentes, as respostas do enraizamento ao hormônio foram variáveis.

Os tratamentos que enraizaram, mesmo na ausência do hormônio, podem estar relacionados à concentração endógena de auxinas nas estacas em níveis já favoráveis ao enraizamento (PIO et al., 2006). Entretanto, o uso do hormônio acelerou o enraizamento em alguns híbridos, que se mostrou mais intenso nas estacas tratadas com AIB, enquanto outros apresentaram fitotoxidez. O uso de reguladores de crescimento, principalmente as auxinas, sempre esteve presente nos trabalhos de propagação, uma vez que proporcionam maior porcentagem, velocidade, qualidade e uniformidade de enraizamento (WENDLING; XAVIER, 2005).

Tabela 2. Atribuição de notas para enraizamento de clones de híbridos F₁ de quinoa.

Tratamentos	Notas de enraizamento em função da concentração do AIB		
	0 ppm	500 ppm	1.000 ppm
BRS Syetetuba x 34ZL	5-8	9-12	9-12
BRS Syetetuba x 37ZL	9-12	5-8	0
BRS Syetetuba x 40ZL	0	0	5-8
BRS Syetetuba x 44ZL	5-8	5-8	5-8
BRS Syetetuba x 9542L	5-8	5-8	9-12

AIB = ácido indol butílico; Escala de notas para emissão de raízes: 0 (sem raízes); 1-4 (reduzida); 5-8 (intermediária) e 9-12 (intensa).

De acordo com a Tabela 2, o híbrido BRS Syetetuba x 34ZL mostrou aumento progressivo de resposta ao enraizamento com o aumento da dose do hormônio, justificando o uso da auxina para este genótipo (Figura 1). Fachinello et al. (1995), indicam que o aumento da concentração de auxina exógena aplicada em estacas provoca efeito estimulador nas raízes até um valor máximo, sendo o teor dessas auxinas exógenas dependente da espécie e da concentração de auxina existente no tecido.

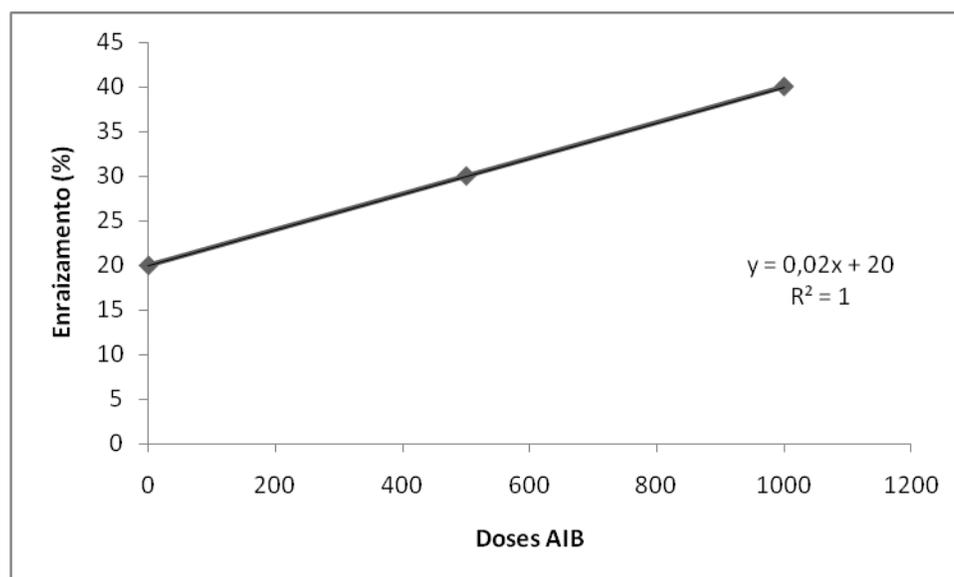


Figura 1. Taxa de enraizamento por dose de hormônio AIB do cruzamento BRS Syetetuba x 34 ZL.

O híbrido BRS Syetetuba x 37 ZL se mostrou sensível à presença do hormônio, reduzindo a taxa de enraizamento na dose 500 ppm e, na dose de 1.000 ppm, não enraizou (Tabela 1 e Figura 2). Foi detectada presença de necrose nas raízes das estacas que não brotaram como consequência da fitotoxicidade pelo efeito do produto. Pasqualetto et al. (2000), relataram ocorrência de sensibilidade de estacas de uma cultivar de soja à maior dose do AIB, com relatos de inibição do enraizamento, concordando com a ocorrência de diferenças entre gêneros, espécies e cultivares quanto à capacidade de enraizamento e

brotação. Segundo Ferreira (2000), o uso de auxinas auxilia no enraizamento, porém não é uma técnica essencial. As estacas enraízam, mesmo sem hormônio, após o estaqueamento. As concentrações de fitorreguladores variam de acordo com a espécie que se está trabalhando e na concentração do hormônio já presente no tecido do vegetal. Embora em menores proporções, o híbrido BRS Syetetuba x 9542L também mostrou gradativa redução na taxa de enraizamento com o aumento da dose do AIB (Tabela 1 e Figura 3), entretanto, as maiores notas de enraizamento foi obtida na maior dose do hormônio (Tabela 2).

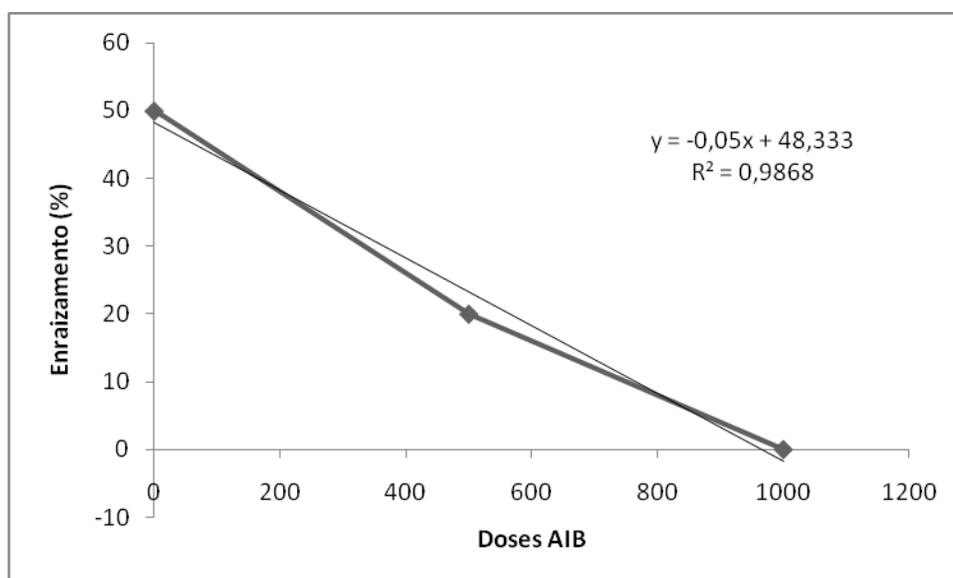


Figura 2. Taxa de enraizamento por dose de hormônio AIB do cruzamento BRS Syetetuba x 37 ZL.

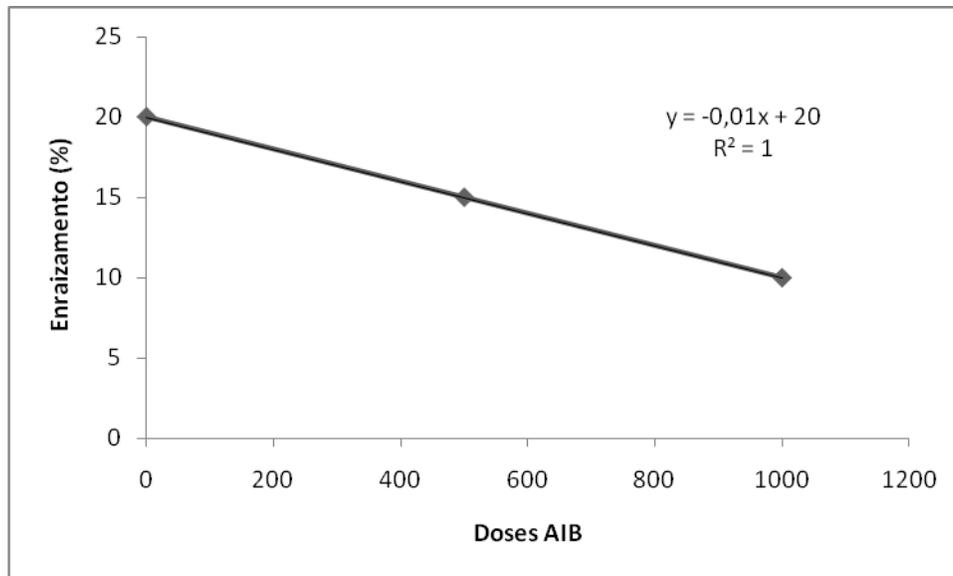


Figura 3. Taxa de enraizamento por dose de hormônio AIB do cruzamento BRS Syetetuba x 9542L.

O híbrido BRS Syetetuba x 40 ZL apresentou enraizamento somente na dose máxima (Tabelas 1 e 2, e Figura 4) e o híbrido BRS Syetetuba x 44ZL não mostrou diferença entre a ausência ou presença de doses do hormônio, sendo, portanto, desnecessária a aplicação da auxina sintética (Tabela 1 e Figura 5).

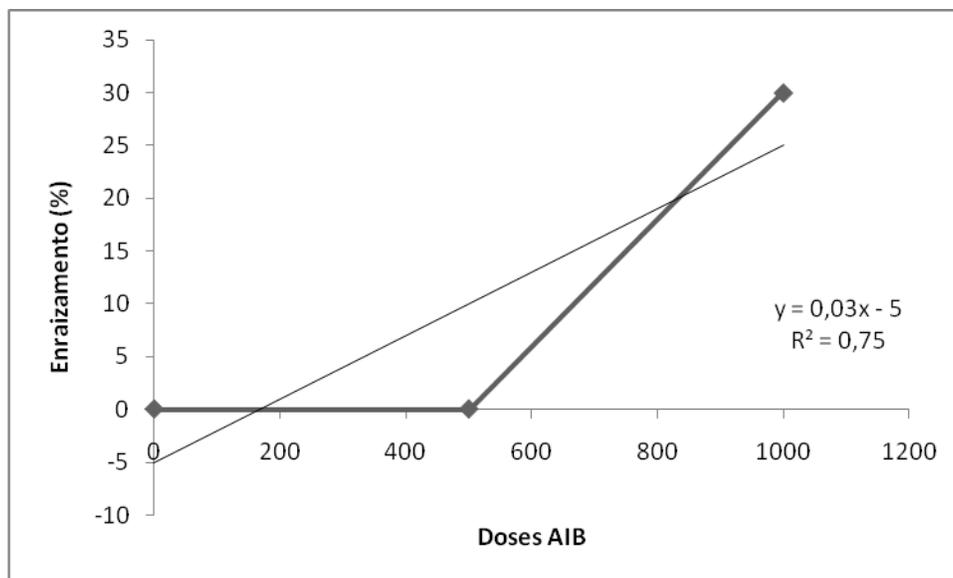


Figura 4. Taxa de enraizamento por dose de hormônio AIB do cruzamento

BRS Syetetuba x 40ZL.

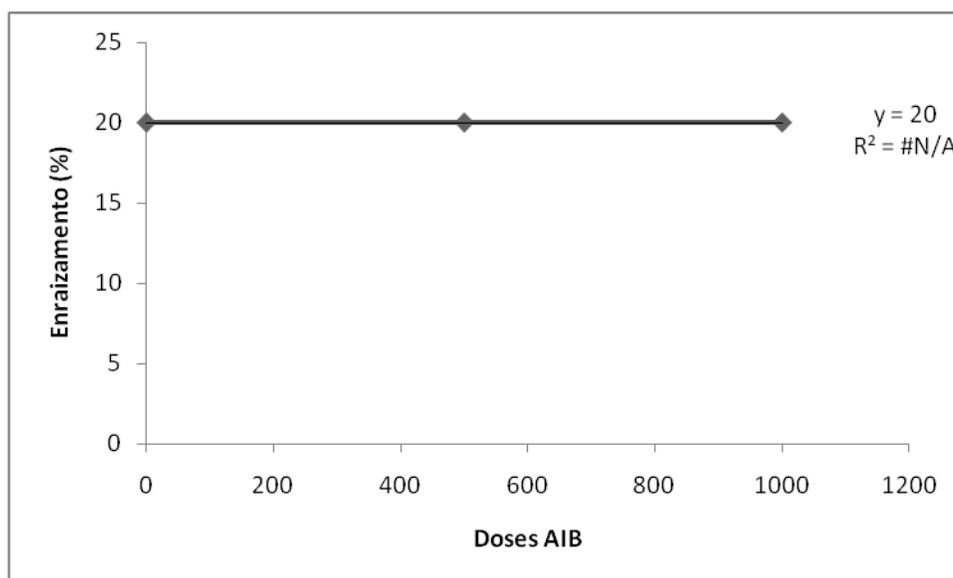


Figura 5. Taxa de enraizamento por dose de hormônio AIB do cruzamento BRS Syetetuba x 44 ZL.

O uso do substrato Bioplan® se mostrou mais eficiente no enraizamento do que a areia. O substrato foi considerado o melhor para cultivo de clones de quinoa em experimento teste realizado antes da condução deste (Tabela B1). A composição química do substrato auxilia no crescimento da planta, uma vez que a areia não apresenta componentes químicos fertilizantes. Além do mais, o substrato é capaz de reter melhor a umidade, principalmente no início quando as estacas ainda não apresentam raízes e, portanto, não têm como absorver água suficiente para compensar a transpiração e o crescimento de novas brotações; essa característica favorece a manutenção da turgidez das estacas. Pasqualetto et al. (1996), citaram que entre os fatores que aceleram o enraizamento está a umidade, o substrato e a nutrição mineral.

Observou-se também que as estacas com folhas apresentam maior emissão de raízes e, portanto, recomenda-se que as deixem para acelerar o enraizamento, assim como

sugerido por Pasqualetto et al. (1996). Esses autores observaram que estacas com folhas desenvolvem mais raízes como consequência do fornecimento de fotoassimilados.

Vários propágulos apresentaram, como brotação inicial, um ramo reprodutivo em função das estacas terem sido retiradas de ramos floridos. O recomendado é que as estacas sejam retiradas de ramos vegetativos, mas os resultados indicam que o método de propagação vegetativo para híbridos de quinoa é uma ferramenta interessante e que pode auxiliar o trabalho do melhorista no aumento da quantidade de sementes F₂.

As estacas que emitiram brotações foram transplantadas para os vasos e mantiveram seu desenvolvimento, sendo que àquelas que receberam tratamento hormonal a 1.000 ppm tiveram a capacidade de vegetar sob iluminação adicional. Houve reversão do estágio reprodutivo em vegetativo, e a planta se desenvolveu normalmente, produzindo muitos grãos. As que receberam doses inferiores de AIB tiveram brotações reprodutivas e logo finalizaram seu ciclo, produzindo poucas sementes.

CONCLUSÃO

O método de propagação vegetativo para híbridos de quinoa é uma ferramenta interessante e pode auxiliar o trabalho do melhorista no aumento da quantidade de sementes híbridas para estudos de genética e melhoramento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERTERO, D. Response of developmental processes to temperature and photoperiod in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) **Food Reviews International**, v. 19, n.1 – 2, p. 87-97, 2003, 10.1081/FRI-120018870

CÁCERES, A. A. **Evaluación de Técnicas de Hibridación em El Mejoramiento Genético de la Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd).** Tesis Magister Scientiae. Universidad Nacional Agraria La Molina, Escuela de Post-Grado, Lima, Peru, p. 50, 1993.

CASTRO, A. H. F.; ALVAREGNGA, A. A. de Influência do ácido indol-3-butírico no crescimento inicial de plantas de confrei (*Symphytum officinale* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 25, n. 1, p.96-101, 2001.

FACHINELLO, J. C.; NATCHIGAL, J. C.; HOFFMANN, A.; Propagação por sementes. In: **Propagação de plantas frutíferas**. Editores técnicos: FACHINELLO, J. C.; HOFFMANN, A.; NACHTIGAL, J. C. 2 edição – Pelotas: Editora UFPEL, 2005, p. 57-67

FACHINELLO, J. C.; HOFFMANN, A.; NACHTIGAL, J. C.; KERSTEN, E.; FONTES, G. R. L.; **Propagação de plantas frutíferas de clima temperado**, Pelotas: UFPEL, 1995, p. 178

FERREIRA, G. Propagação do maracujazeiro. **Revista Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 21, n. 206, p. 18-24, 2000.

JANKUROVÁ, M.; MINAROVICOVÁ, L.; DANDAR, A. Quinoa – A review. **Czech Journal of Food Sciences**, v. 29, n. 2, p. 71-79. 2009.

JUNQUEIRA, N. T. V.; MANICA, I.; CHAVES R. da C.; LACERDA, C. S.; OLIVEIRA, J. A. de; FIALHO, J. de F. Produção de mudas de Maracujá-azedo por estaquia em bandejas. **Recomendação técnica 42**, Embrapa. Brasília, DF. 2001.

PASQUALETTO, A.; SEDIYAMA, T.; SEDIYAMA, C. S.; ROCHA, V. S.; MOSQUIM, P. R. Utilização de ácido indolbutílico no enraizamento de estacas de soja. **Revista Ceres**, v. 47, n. 269, p. 21-31, 2000.

PASQUALETTO, A.; SEDIYAMA, Enraizamento de estacas de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). Influência do ácido naftalenoacético e da sacarose. **Revista Ceres**, v. 43, n. 248, p. 426-434. 1996.

PASQUALETTO, A.; SEDIYAMA, T.; SEDIYAMA, C. S.; MOSQUIM, P. R.; ROCHA, V. S. Enraizamento de estacas de soja (*Glycines Max* (L.) Merrill) pelo emprego de 2,4-D e de sacarose. **Revista Ceres**, v. 43, n. 250, p. 707-719, 1996.

PIO, R.; BASTOS, D. C.; BERTI, A. J.; SCARPARE FILHO, J. A.; MOURÃO FILHO, F. de A. A.; ENTELMANN, F. A.; ALVES, A. S. R.; BETTIOL NETO, J. E. Enraizamento de diferentes tipos de estacas de oliveira (*Olea europaea* L.) utilizando ácido indolbutílico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 3, p. 562-567, maio/jun., 2005

PIO, R.; RAMOS, J. D.; CHALFUM, N. N. J.; GONTIJO, T. C. A.; MENDONÇA, V.; CARRIJO, E. P.; CHAGAS, E. A. Propagação de estacas apicais de figueira: diferentes ambientes, ácido indolbutílico e tipo de estaca. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 5, p. 1021-1026, 2006.

RODRIGUES, G.C. Aspectos fisiológicos da propagação de fruteiras. In: PINTO, A.C.Q. (Coord.). **Produção de mudas frutíferas sob condições do ecossistema de Cerrados**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1996. p.29-33. (Documentos, 62)

RUGGIERO, C. Situação da cultura do maracujazeiro no Brasil. **Revista Informe Agropecuário**. Belo Horizonte. V. 21, n. 206, p.5-9, 2000.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM – SAS. **User's guide**: Statistics. Version 8.0, Cary: 1999.

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

SPEHAR, C. R.; GALWEY, N. W. Clonal propagation of F₁ hybrids as a tool in genetic studies of the soya bean (*Glycine max* (L.) Merrill). **Euphytica**, n. 47, p. 21-23, 1990.

WENDLING, I.; XAVIER, A. Influência do ácido indolbutílico e na miniestaquia seriada no enraizamento e vigor de miniestacas de clones de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.6, p.921-930, 2005.

ANEXOS

Anexo A. Lista de Siglas

Tabela A.1 Lista de siglas

Acidez potencial	H + Al
Ácido indol butírico	AIB
Alumínio	Al
Cálcio	Ca
Capacidade de Troca Catiônica	CTC
Carboidrato	CHO
Centímetro	cm
Centimol de carga	cmol _c
Coefficiente de variação	C.V.
Coefficiente de variação fenotípica	CVf
Coefficiente de variação genética	CVg
Correlação fenotípica	r _F
Correlação genotípica	r _G
Decímetro	dm
Fósforo	P
Gramas	g
Graus Celsius	°C
Graus de latitude sul	°S
Graus Gay-Lussac	°GL
Índice de colheita	IC
Frequência esperada	FE
Frequência observada	FO
Ganho de seleção	GS
Hectare	ha
Herdabilidade	h ²
Kilograma	kg
Litro	L
Magnésio	Mg
Marca Registrada	®
Matéria Orgânica	MO

Metro	m
Miligrama	mg
Mililitro	mL
Nitrogênio	N
Partes por milhão	ppm
Porcentagem	%
Potássio	K
Qui quadrado	X^2
Razão entre coeficiente de variação genética e ambiental	CV_g/CV_e
Saturação por bases	V%
Somatória	Σ
Toneladas	T
Variância ambiental	V^2_e
Variância fenotípica	V^2_f
Variância genotípica	V^2_g

Anexo B: Dados adicionais

Tabela B1. Taxa de enraizamento do experimento teste de clones de híbridos F₁ da variedade BRS Syetetuba.

Repetição	Tratamentos			
	Areia	Areia	Bioplant®	Bioplant®
	0 ppm AIB	500 ppm AIB	500 ppm AIB	0 ppm AIB
1	1-4	0	9-12	5-8
2	1-4	5-8	5-8	5-8
3	1-4	1-4	1-4	9-12
4	1-4	5-8	1-4	1-4
5	5-8	9-12	0	0
6	0	5-8	1-4	1-4
7	1-4	5-8	1-4	1-4
8	0	1-4	0	0
9	0	5-8	1-4	1-4
10	0	1-4	1-4	0

AIB = ácido indol butílico; Escala de notas para emissão de raízes: 0 (sem raízes); 1-4 (reduzida); 5-8 (intermediária) e 9-12 (intensa).

Tabela B2. Peso de mil sementes segundo metodologia descrita pela Regra para Análise de Sementes.

TRAT	Bloco	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	CV	MIL	Media
BRS Syetetuba	1	0,3067	0,3085	0,3017	0,3063	0,3076	0,3065	0,3049	0,3019	0,82	3,06	2,87
	2	0,305	0,3038	0,2949	0,2976	0,283	0,2912	0,299	0,3079	2,73	2,98	
	3	0,2564	0,2479	0,2644	0,2458	0,2654	0,2659	0,2445	0,2689	3,91	2,57	
34 ZL	1	0,2715	0,2534	0,2666	0,2567	0,2632	0,2642	0,2797	0,2687	3,12	2,66	2,64
	2	0,2631	0,2551	0,2705	0,269	0,2572	0,2666	0,249	0,2599	2,83	2,61	
	3	0,2759	0,2584	0,2715	0,2775	0,266	0,2593	0,2616	0,2662	2,74	2,67	
37 ZL	1	0,3035	0,3109	0,2978	0,3149	0,3215	0,3273	0,2956	0,3259	3,96	3,12	3,05
	2	0,2956	0,2899	0,2945	0,2943	0,2813	0,2849	0,3002	0,3027	2,48	2,93	
	3	0,3024	0,3178	0,3077	0,3156	0,3176	0,3099	0,3168	0,2965	2,55	3,11	
40 ZL	1	0,278	0,2643	0,2895	0,2843	0,2874	0,2913	0,2756	0,2693	3,51	2,80	2,67
	2	0,2693	0,278	0,2643	0,2895	0,2843	0,2835	0,2913	0,2756	3,40	2,79	
	3	0,2381	0,2541	0,2388	0,2518	0,2345	0,2513	0,2311	0,2501	3,71	2,44	
44 ZL	1	0,2466	0,2393	0,2454	0,2429	0,2465	0,2589	0,2532	0,2383	2,79	2,46	2,78
	2	0,3275	0,3387	0,3166	0,3273	0,3393	0,3202	0,3101	0,3114	3,49	3,24	
	3	0,2614	0,2689	0,2648	0,2527	0,269	0,2598	0,2616	0,2713	2,31	2,64	
9542 L	1	0,2932	0,2837	0,3044	0,3043	0,3061	0,3086	0,3185	0,3195	3,92	3,05	3,06
	2	0,3188	0,3144	0,3274	0,3487	0,3178	0,3395	0,3411	0,3354	3,82	3,30	
	3	0,2847	0,2818	0,2969	0,2801	0,2775	0,2845	0,2833	0,2818	2,04	2,84	
BRS Syetetuba x 34 ZL	1	0,3317	0,3295	0,3317	0,3157	0,3222	0,3163	0,3312	0,3144	2,40	3,24	3,14
	2	0,3157	0,3102	0,3227	0,3006	0,3022	0,317	0,2938	0,2948	3,52	3,07	
	3	0,3176	0,3065	0,3149	0,3118	0,3072	0,3167	0,3153	0,3059	1,55	3,12	
BRS Syetetuba x	1	0,2703	0,2817	0,2644	0,2664	0,2541	0,2699	0,2808	0,2789	2,98	2,87	2,78
	2	0,276	0,3015	0,2885	0,2777	0,2913	0,2811	0,2931	0,2862	3,98	2,97	
	3	0,2811	0,2852	0,3102	0,3088	0,3102	0,2967	0,2902	0,2899	3,89	2,51	

37 ZL												
BRS	1	0,2895	0,2878	0,2992	0,3038	0,2804	0,2816	0,3002	0,2836	3,14	2,91	2,65
Syetetuba	2	0,2316	0,237	0,2356	0,2349	0,2344	0,2263	0,2324	0,2299	1,49	2,33	
x	3	0,2712	0,2579	0,2643	0,2634	0,2676	0,2876	0,284	0,281	3,98	2,72	
40 ZL												
BRS	1	0,315	0,3083	0,2989	0,2979	0,3049	0,2881	0,2974	0,2955	2,78	3,01	2,45
Syetetuba	2	0,2087	0,2099	0,2286	0,2202	0,2232	0,2113	0,2149	0,2186	3,22	2,17	
x	3	0,2141	0,225	0,2192	0,2114	0,2199	0,2205	0,2113	0,2213	2,29	2,18	
44 ZL												
BRS	1	0,3638	0,3741	0,3518	0,3712	0,3627	0,3748	0,3572	0,3535	2,50	3,64	3,68
Syetetuba	2	0,3492	0,3253	0,3347	0,3484	0,3447	0,3464	0,3393	0,3424	2,36	3,41	
x	3	0,3934	0,4238	0,4023	0,3956	0,395	0,3888	0,4049	0,4064	2,73	4,01	
9542 L												

CV = coeficiente de variação; MIL = peso de mil sementes.