



GUSTAVO EVANGELISTA OLIVEIRA

**CAPACIDADE GERAL DE COMBINAÇÃO E
ANÁLISE MULTIVARIADA DE CARACTERES
ECONÔMICOS EM COUVE-FLOR**

LAVRAS - MG

2015

GUSTAVO EVANGELISTA OLIVEIRA

**CAPACIDADE GERAL DE COMBINAÇÃO E ANÁLISE
MULTIVARIADA DE CARACTERES ECONÔMICOS EM
COUVE-FLOR**

Tese apresentada à Universidade Federal
de Lavras, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em Genética
e Melhoramento de Plantas, para a
obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. João Cândido de Souza

Coorientador

Dr. Wilson Roberto Maluf

LAVRAS - MG

2015

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Oliveira, Gustavo Evangelista.

Capacidade geral de combinação e análise multivariada de
caracteres econômicos em couve-flor / Gustavo Evangelista
Oliveira. – Lavras : UFLA, 2015.

56 p.

Tese(doutorado)–Universidade Federal de Lavras, 2015.

Orientador(a): João Cândido de Souza.

Bibliografia.

1. Brassica oleracea var botrytis L. 2. híbrido. 3. correlação
canônica. 4. índice de seleção. I. Universidade Federal de Lavras.
II. Título.

**CAPACIDADE GERAL DE COMBINAÇÃO E ANÁLISE
MULTIVARIADA DE CARACTERES ECONÔMICOS EM COUVE-
FLOR**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Doutor.

Aprovado em 11 de setembro de 2015.

Dr. Wilson Roberto Maluf	UFLA
Dr. Rovilson José de Souza	UFLA
Dr. José Airton Rodrigues Nunes	UFLA
Dr. Ivandro Bertan	Syngenta
Dr. Sebastião Marcio de Azevedo	Sakata

Dr. João Cândido de Souza
Orientador

LAVRAS - MG

2015

AGRADECIMENTOS

A Deus, por iluminar meu caminho, me proporcionar desafios e dar forças para superá-los.

Aos meus pais, João Almir e Roseane, pelo exemplo de dedicação e superação, e por todo amor a mim dedicado.

A minha esposa Thaís, por me incentivar a ser uma pessoa melhor todos os dias, por todo amor, carinho, conselhos e dedicação.

Ao meu irmão Felipe, pela amizade, apoio e companheirismo.

Aos meus sogros Afonso e Cida, e meus cunhados Vinicius, Renata e Vanessa, pela acolhida em sua família.

Ao orientador Prof. Dr. João Cândido, pelos conselhos, suporte, dedicação e apoio.

Ao coorientador Prof. Dr. Wilson Roberto Maluf, por toda ajuda na hora da necessidade e por confiar no meu trabalho.

Ao meu amigo Ricardo, pelo companheirismo, dedicação e ajuda na execução deste trabalho.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, pela oportunidade de realização do curso.

Aos professores da genética e amigos do GEN, que muito contribuíram pelo meu conhecimento e crescimento pessoal e profissional.

À Professora Leah McHale e todos os colegas da The Ohio State University, pela experiência única em minha vida.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior (CAPES), à Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de Minas Gerais

(FAPEMIG) ao programa PDSE – Ciência sem Fronteiras, pela concessão de bolsa e por tornar um sonho possível.

À empresa HortiAgro Sementes S.A., pelo apoio a este trabalho.

Aos meus amigos e familiares, por estarem ao meu lado em todos os momentos.

E a todos que de alguma forma contribuíram de maneira direta ou indireta para o êxito deste trabalho.

Muito Obrigado!

RESUMO

O objetivo neste trabalho foi avaliar a população base para o programa de melhoramento de couve-flor de verão, bem como identificar os melhores testadores para essa população com vistas à obtenção de híbridos. Objetivou-se também estudar a correlação dos caracteres de produtividade e qualidade da cabeça e a melhor metodologia de seleção para esses múltiplos caracteres. Para obter a população base de couve-flor foram obtidos híbridos entre clones incompatíveis de Piracicaba Precoce (verão) e as populações de inverno Gigante Jaraguá e Teresópolis Precoce. Posteriormente, esses híbridos foram inter cruzados, obtendo assim uma população F_2 de couve-flor verão-inverno colhida em *bulk*, ora denominada de população base verão-inverno (PBVI). Da população PBVI foram selecionadas 64 plantas autoincompatíveis. As plantas selecionadas foram propagadas *in vitro* e os clones foram cruzados com um ou mais de sete testadores, clones selecionados a partir da cv. Piracicaba Precoce; população Santa Elisa e população Vitória de Verão, constituindo assim um conjunto de híbridos componentes de um dialelo incompleto. Os híbridos foram avaliados para caracteres de qualidade da cabeça, produtividade e ciclo, para os quais foram obtidas as estimativas de capacidade geral de combinação. Também foi realizada a correlação canônica entre os caracteres de qualidade e produtividade e foram aplicados índices de seleção, Mulamba e Mock, índice de qualidade da cabeça (HQI) e índice da área do gráfico (IAG). Há variabilidade na população PBVI para qualidade de cabeça, produtividade e ciclo. Clones do testador Piracicaba Precoce apresentam maior capacidade de combinação em cruzamentos com a população PBVI, em relação aos outros testadores avaliados. Híbridos identificados como superior podem ser comercializados por apresentar vantagens em relação aos padrões comerciais. Há alta correlação positiva entre os caracteres de qualidade de cabeça e produtividade. Os índices de qualidade da cabeça HQI e IAG apresentam maior ganho com a seleção.

Palavras-chave: *Brassica oleracea* var. *botrytis* L. Híbrido. Correlação canônica. Índice de seleção.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the population base for summer cauliflower breeding program and the best testers for this population in order to obtain hybrids. Also, it was aimed to study the correlation between yield and curd quality traits and the best selection methodology for these multiple traits. Cauliflower base population was obtained by crossing incompatible clones of “Piracicaba Precoce” (summer) with winter populations “Gigante Jaragua” and “Teresopolis Precoce”. Later on, summer x winter hybrids were intercrossed, obtaining a F2 bulk population, called PBVI. From PBVI population were selected 64 self-incompatible plants. The selected plants were propagated *in vitro* and the clones were crossed with one or more of seven testers, clones selected from cv. “Piracicaba Precoce”; “Santa Elisa” and “Vitória de Verão” populations. These hybrids constituted an incomplete diallel. The hybrids were evaluated for curd quality, yield and earliness traits. For each trait general combining ability (GCA) estimates were obtained. Canonical correlation between traits of quality and yield were obtained and Mulamba and Mock selection index, head quality index (HQI) and chart area index (CAI) were applied. There are variability in the population PBVI to curd quality, yield and earliness. “Piracicaba Precoce” and “Santa Elisa” testers have a better GCA in crossing with PBVI population, compared to other testers analyzed. The best hybrids were selected because present advantages over commercial standards. There is a high positive correlation between curd quality and yield traits. The HQI and IAG have higher selection gain.

Keywords: *Brassica oleracea* var. *botrytis* L., hybrid, canonical correlation, selection index.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1A Representação gráfica da qualidade da cabeça e sua respectiva área, em negrito. Área cinza representa a média dos genótipos e os eixos referem-se aos caracteres de qualidade da cabeça; coloração (COL), compacidade (COMPAC), formato (FORM), arroz (ARROZ) e antocianina (ANT) dos híbridos de couve-flor.....29
- Figura 1B Representação gráfica da qualidade da cabeça e sua respectiva área, em negrito. Área cinza representa a média dos genótipos e os eixos referem-se aos caracteres de qualidade da cabeça; coloração (COL), compacidade (COMPAC), formato (FORM), arroz (ARROZ) e antocianina (ANT) dos híbridos de couve-flor.....29
- Figura 2 Representação gráfica da qualidade da cabeça e sua respectiva área (IAG), em negrito. A área cinza representa a média de todos os genótipos e os eixos referem-se aos caracteres de qualidade da cabeça; coloração (COL), compacidade (COMPAC), formato (FORM), arroz (ARROZ) e antocianina (ANT) dos híbridos de couve-flor.....43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Resumo da Análise de Variância dos caracteres ciclo (CICLO), coloração (COL), antocianina (ANT), arroz (ARROZ), formato (FORM), compacidade (COMPAC), diâmetro (DIAM), massa (MASSA), número de cabeças colhidas com mais de 500 gramas (N500) e número de cabeças colhidas (NCOL) referente à avaliação de clones de couve flor em <i>testcross</i> com sete testadores diferentes.....31
Tabela 2	Estimativas da Média Geral (μ), variância ambiental (σ^2_e), variância genética para a capacidade de combinação (σ^2_c), Herdabilidade no sentido amplo (h^2) e o coeficiente de variação para a capacidade de combinação (CV_c), coeficiente de variação ambiental (CV_e) e coeficiente b ($b = CV_c/CV_e$) nos clones de couve flor em <i>testcross</i> com sete testadores diferentes.....33
Tabela 3	Estimativas dos efeitos de capacidade geral de combinação (g_i) para ciclo (CICLO), coloração (COL), antocianina (ANT), arroz (ARROZ), formato (FORM), compacidade (COMPAC), diâmetro (DIAM), massa (MASSA), número de cabeças colhidas com mais de 500 gramas (N500) e número de cabeças colhidas (NCOL) dos sete testadores do testecross..... 36
Tabela 4	Correlações canônicas e pares canônicos estimados entre componentes primários (Grupo I) de produtividade e secundário (Grupo II) da qualidade de cabeças de couve-flor.....37
Tabela 5	Estimativa da média inicial (X_0), média selecionada (X_s), herdabilidade (h^2) e ganho de seleção (gs) dos métodos de Índice Geral (IG), índice da área do gráfico (IAG) e índice de qualidade da cabeça (HQI), por meio do uso dos índices de seleção com

base na soma de postos de Mulamba e Mock (1978), obtidos para os caracteres de ciclo (CICLO), coloração (COL), antocianina (ANT), arroz (ARROZ), formato (FORM), compacidade (COMPAC), diâmetro (DIAM), massa (MASSA), número de cabeças colhidas com mais de 500 gramas (N500) e número de cabeças colhidas (NCOL)40

Tabela 6

Médias dos caracteres ciclo (CICLO), coloração (COL), antocianina (ANT), arroz (ARROZ), formato (FORM), compacidade (COMPAC), diâmetro (DIAM), massa (MASSA), número de cabeças colhidas com mais de 500 gramas (N500) e número de cabeças colhidas (NCOL) das testemunhas e dos híbridos selecionados pelos métodos de Índice Geral (IG), índice da área do gráfico (IAG) e índice de qualidade da cabeça HQI.....41

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1	Importância econômica.....	14
2.2	Couve-flor no Brasil.....	15
2.3	Capacidade de Combinação.....	17
2.4	Correlação Canônica.....	19
2.5	Índice de seleção.....	21
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1	População base de couve-flor.....	25
3.2	Campo experimental.....	25
3.3	Caracteres avaliados.....	26
3.4	Análise Estatística.....	27
3.4.1	Índice de seleção.....	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.1	Análise de Variância.....	31
4.2	Capacidade de combinação.....	35
4.3	Correlação Canônica.....	39
4.4	Índice de seleção.....	42
5	CONCLUSÃO.....	47
	REFERÊNCIAS.....	48
	ANEXO.....	48

1 INTRODUÇÃO

A agricultura tem sido eficiente na produção de alimentos e energia para a população, o que contradiz as teorias propostas por Malthus no século passado. Esses resultados foram alcançados devido, principalmente, ao aumento na produtividade de grãos (DEY et al., 2014). No entanto, a agricultura moderna tem um novo desafio, a crescente demanda por alimentos com melhor qualidade nutricional (BOUIS et al., 2011).

A busca por uma alimentação mais saudável tem impulsionado o consumo de hortaliças, principalmente nos países em desenvolvimento. Estima-se que o crescimento foi de 60% nos últimos 20 anos (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO, 2013).

A couve-flor (*Brassica oleracea* var. *botrytis* L.) é uma das hortaliças mais populares em todo o mundo, conhecida principalmente por suas propriedades nutricionais. Essa hortaliça tem origem em países de clima temperado, sendo em geral exigente em frio para formação da cabeça. É uma planta alógama, com comportamento indiferente ao fotoperíodo, sendo a temperatura o fator agroclimático mais limitante (FILGUEIRA, 2008).

O processo de aclimatação e desenvolvimento de cultivares tropicais começou na Índia no início do século XIX, depois da introdução de cultivares tipo “*Cornish*” pelos ingleses. Durante muitos anos as plantas mais adaptadas às condições tropicais foram selecionadas, pelos agricultores, formando um novo grupo, diferente das variedades europeias. Hoje, na Índia, existem cultivares adaptadas a variações de temperatura entre 25° a 40 °C (DEY et al., 2014).

No Brasil, o processo de adaptação e melhoramento só ocorreu em meados do século XX, a partir de cruzamentos entre as cultivares Indianas e as populações de inverno locais (MALUF et al., 1988). Essas novas cultivares

revolucionaram o mercado e permitiram o cultivo da couve-flor no verão em diferentes regiões.

Apesar dos avanços na tecnologia de produção e na utilização de híbridos, muitos desafios são enfrentados pelos produtores de couve-flor, principalmente quando se produz couve-flor na meia estação. Pois, o plantio em condições de altas amplitudes térmicas ocasiona o aparecimento de defeitos na cabeça, que depreciam o valor comercial do produto (MALUF, 2001).

Hoje, existem poucas cultivares brasileiras de couve-flor bem adaptadas às condições de outono. Além das questões de adaptabilidade, outros desafios são encontrados durante os processos de melhoramento, uma vez que durante os processos de seleção o melhorista se depara com um número muito grande de caracteres relacionados à qualidade da cabeça e produtividade e pouco se sabe sobre a relação entre eles. Também há poucos estudos sob a capacidade de combinação de couve-flor de inverno e couve-flor de verão, visando a obter híbridos para as condições brasileiras de meia estação. Dessa forma, há a necessidade de novos estudos a fim de obter genitores com melhor capacidade de combinação e que busquem entender melhor a correlação entre os caracteres de qualidade e produtividade, aumentando assim, a eficiência dos programas de melhoramento.

O objetivo neste trabalho foi avaliar a população base para o programa de melhoramento de couve-flor de verão, bem como os melhores testadores para esta população com vistas à obtenção de híbridos. Objetivou-se também estudar a correlação dos caracteres de produtividade e qualidade da cabeça e a melhor metodologia de seleção para esses múltiplos caracteres.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância econômica

A produção de hortaliças apresenta grande destaque no agronegócio brasileiro. De acordo com dados de 2012/13, apresentados pela Associação Brasileira do Comércio de Sementes e Mudas – ABCSEM (2015), a produção superou 18 milhões de toneladas. O balanço do desempenho da cadeia produtiva de hortaliças tem sido altamente positivo e esse progresso pode ser atribuído aos investimentos em inovação tecnológica nos sistemas de cultivo e na disponibilização de maquinário e materiais modernos, além de insumos com destaque para sementes híbridas de alto valor agregado.

O mercado de sementes de hortaliças tem cada vez mais se esforçado para atender a essa demanda, desencadeando novas estratégias, em que as empresas sementeiras procuram se adequar às necessidades do setor produtivo, bem como se ajustar às tendências de comportamento do consumidor, de forma a manter sua competitividade. Com a entrada de sementes híbridas no mercado de hortaliças, em que anteriormente eram utilizadas cultivares de polinização aberta, as empresas procuraram agregar valores às respectivas sementes.

Essa realidade na olericultura nacional tem contribuído para o vigoroso crescimento em valor do mercado de sementes de hortaliças. Assim, em 2013, o mercado de sementes de hortaliças no Brasil atingiu o valor de R\$550 milhões (ABCSEM, 2015).

Uma das hortaliças na qual houve agregação de valor com a utilização de sementes híbridas é a couve-flor. Atualmente, quase a totalidade dos produtores desta cultura utilizam sementes híbridas que têm como vantagens, comparados aos cultivares de polinização aberta, maior uniformidade de

produção, maior resistência às oscilações bruscas de temperatura e formação de cabeças maiores e de melhor qualidade (SILVA et al., 2014).

A couve-flor foi introduzida no Brasil pela família real portuguesa, mas foi popularizada pelos imigrantes italianos (MAY et al., 2007) e, nos últimos anos, tem sido observado aumento na demanda desta hortaliça devido, principalmente, à procura de produtos mais saudáveis por parte do consumidor. Outra característica do consumidor contemporâneo é a busca por produtos diferenciados e de alta qualidade.

Para suprir essa demanda a área plantada com couve-flor na safra 2013/14 foi de mais de 11 mil hectares, sendo que o cultivo dessa cultura se concentra principalmente nas regiões Sul e Sudeste (ABCSEM, 2015). O valor do mercado de sementes de couve-flor, nessa mesma safra, foi de 13,8 milhões de reais, o que corresponde a 3% do mercado de hortaliças total, segundo a Associação Brasileira de Sementes e Mudanças (ABRASEM, 2014).

2.2 Couve-flor no Brasil

A origem da couve-flor é atribuída à costa Atlântica da Europa, onde ainda se encontram parentes selvagens, porém sua domesticação foi realizada na costa leste do mediterrâneo. Acredita-se que, assim como as outras formas cultivadas do grupo das Brássicas, a couve-flor, também é descendente da couve silvestre (*Brassica oleracea* var. *sylvestris*) (GUSTAFSSON, 1979; SINGH et al., 2013). Esse processo de domesticação levou a uma adaptação ao clima temperado dessa região (NUEZ et al., 1999). Dessa forma, hoje a maioria das cultivares presentes no mercado mundial é exigente em frio para formação da cabeça.

De acordo com a classificação de clima de Köppen-Geiger (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007), na região do Mediterrâneo, o clima

predominante é o temperado (Csa), enquanto no Brasil predomina o clima tropical (Aw), o que limita a produção de grande parte das cultivares nos meses de inverno no Sul e Sudeste do país.

A faixa ideal de temperatura para a maioria das cultivares de couve-flor é de 14 a 20 °C e o plantio em temperaturas acima de 25 °C pode ocasionar o aparecimento de defeitos na cabeça que depreciam o valor comercial do produto (MAY et al., 2007). Porém, a influência da temperatura na formação de cabeça varia de acordo com o genótipo, pois as cultivares de ciclos mais tardios têm restrições em relação a temperaturas mais altas, enquanto que cultivares de ciclos mais precoces não requerem temperaturas baixas para que atinjam a idade fisiológica para diferenciação.

Geralmente, quando as cultivares de inverno são cultivadas em épocas quentes, as plantas podem não atingir a fase de florescimento, ou ainda, gerar cabeças semivegetativas, de coloração esverdeada e intercalada por folíolos, impróprias para comercialização (MONTEIRO et al., 2010).

Na Índia, a couve-flor é classificada de acordo com a exigência em temperatura para o desenvolvimento e maturação da cabeça. As cultivares classificadas como precoces (20-27 °C) têm o período de produção entre agosto e meados de novembro, já as tardias (16-20 °C) são produzidas entre novembro e meados de dezembro e as classificadas como muito tardias (12-16 °C) são produzidas entre os meses de dezembro e janeiro (CHATTERJEE et al., 1993). Assim como na Índia, o Brasil apresenta grandes oscilações térmicas durante o ano, principalmente no outono, mês em que as amplitudes térmicas variam de ano para ano.

Devido à necessidade de produzir couve-flor em outras épocas do ano, Marcílio Dias, em 1952, (DIAS, 1966) criou a cultivar de polinização aberta Piracicaba Precoce para cultivos de verão no Sudeste do Brasil. No entanto, seu plantio estava limitado ao verão, pois a produção de cabeças viáveis na meia

estação era frequentemente frustrada pela elevada suscetibilidade ao pendoamento prematuro, pois na meia estação as temperaturas noturnas podem ser inferiores à diurna em 20 °C ou mais (MALUF, 2001).

Para se obter genótipos tolerantes ao pendoamento prematuro, muitos cruzamentos foram realizados entre as cultivares locais de inverno e a cultivar de verão Piracicaba Precoce. Esses cruzamentos buscavam híbridos de couve-flor mais adaptados às condições climáticas tropicais. Devido ao grande interesse por esses híbridos, em 1960 iniciou-se a produção comercial de sementes híbridas, utilizando as técnicas de polinização manual (IKUTA; PATERNIANI, 1979). Posteriormente, a polinização manual foi substituída pela utilização de linhagens homozigóticas para alelos de autoincompatibilidade (MALUF, 2001).

Embora o processo de produção de sementes de couve-flor no Brasil esteja mais tecnicado, ainda há possibilidade de melhorias. Como exemplo, pode-se melhorar sincronização do florescimento entre os parentais de verão e inverno e a obtenção de genitores com melhor capacidade de combinação.

2.3 Capacidade de combinação

Muitas metodologias foram propostas para estimar a capacidade de combinação de genótipos. Uma das metodologias mais utilizadas foi proposta por Griffing (1956), nesta o desempenho médio de cada genótipo é decomposto em capacidade geral de combinação e capacidade específica de combinação.

A estimativa da capacidade geral de combinação (CGC) fornece informações a respeito do comportamento médio de um genitor, numa série de combinações híbridas, sendo um importante indicador do potencial do parental em gerar populações superiores em programas de melhoramento. Essa estimativa permite fazer inferências a respeito da concentração de genes predominantemente aditivos (G_i), auxiliando na escolha dos genitores. Quando a

estimativa de G_i é baixa, positiva ou negativa, indica que o valor da CGC do genitor não difere muito da média geral da população. No entanto, se os valores absolutos das estimativas de G_i forem altos, há indício de que o genitor em questão é muito superior ou inferior aos demais genitores envolvidos nos cruzamentos, com relação ao desempenho médio das progênes (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

A capacidade específica de combinação (CEC) é usada para designar casos em que certas combinações híbridas apresentam desempenho relativamente melhores ou piores que os esperados com base na performance média dos genitores do referido híbrido, ou seja, é uma estimativa dos desvios do comportamento de um híbrido em relação ao esperado com base na CGC. A CEC está associada aos efeitos dos genes não aditivos, como dominância e epistasia (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012; CRUZ; VENCOSKY, 1989).

Alguns trabalhos foram realizados a fim de conhecer a capacidade de combinação da variedade Piracicaba Precoce (BALDINI; SILVA, 1985; MALUF et al., 1988, 1989). Foi observado que existe variabilidade genética para maturação, massa da cabeça, número de folhas, diâmetro e qualidade da cabeça. Tanto a variação genética aditiva quanto a não aditiva foram importantes no controle desses caracteres. Essa variação intrapopulacional encontrada está relacionada à capacidade de combinação de plantas de Piracicaba Precoce, quando usadas em combinações híbridas, sugerindo assim sua utilização em programas de melhoramento de couve-flor como fonte de linhagens para obtenção de novos híbridos.

A obtenção de linhagens endogâmicas, com boa capacidade de combinação e homozigóticas para a autoincompatibilidade é um processo laborioso e demorado. Mas, esse processo pode ser abreviado com o uso de técnicas de clonagem de plantas *in vitro*, disponíveis para couve-flor (TORRES;

VECCHIA; CALDAS, 1978). Dessa forma, plantas autoincompatíveis (homozigóticas ou não para autoincompatibilidade) e macho-estéreis (macho-esterilidade genética ou citoplasmática) podem ser mantidas e produzidas economicamente por técnicas *in vitro*, independente do grau de endogamia, e podem ser utilizadas como genitores de híbridos comerciais (MALUF, 2001).

Nesse contexto, fica clara a necessidade de novos programas de melhoramento de couve-flor para obtenção de híbridos com alta produtividade, tolerantes à variação de temperatura e com boa qualidade de cabeça, viabilizando assim, o cultivo de couve-flor em diferentes regiões do Brasil e em diferentes épocas do ano.

2.4 Correlação canônica

Nos programas de melhoramento uma das etapas mais críticas é a seleção de genótipos superiores que deve ser feita da maneira mais eficiente possível. Para diversas culturas, a principal variável considerada é a produtividade. No entanto, na couve-flor muitas outras características são fundamentais para obtenção de um genótipo superior, principalmente, aqueles relacionados à qualidade da cabeça.

A análise de correlação é uma importante ferramenta que permite avaliar a magnitude e o sentido das relações entre caracteres. No entanto, quando um grande número de variáveis é considerado na correlação, as associações se tornam mais complexas e menos óbvias (SINGH et al., 2014). As análises de correlações lineares simples permitem o estudo do comportamento das variáveis duas a duas, porém, quando a intenção é conhecer o comportamento entre grupos de variáveis esse tipo de análise não é indicado. Assim, uma alternativa para se obter essa informação é a análise de correlações canônicas.

Esse método estatístico permite conhecer as relações entre dois grupos de variáveis, em que um grupo representa as variáveis (U) e o outro grupo as variáveis (V). O objetivo é determinar os coeficientes ou os pesos canônicos, que maximizem a correlação entre as variáveis canônicas U e V (GREEN, 1978).

De maneira geral considera-se que o primeiro grupo é estabelecido por p caracteres e o segundo por q. O número de correlações canônicas é igual ao menor número de caracteres que constitui um dos complexos (p ou q) e sua magnitude sempre decresce com a ordem em que são estimados. Entretanto, a primeira correlação canônica (U_1, V_1) é sempre maior ou igual, em valor absoluto, a qualquer coeficiente de correlação simples ou múltipla, entre os caracteres do primeiro e segundo grupo (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Análise de correlações canônicas é um dos métodos mais diretos de analisar relações entre um grupo de variáveis e tem sido utilizada em diferentes culturas como pimentão (TAVARES et al., 1999), amendoim (SAFARI et al., 2013), berinjela (KESKIN; YASAR, 2007), batata doce (NORMAN et al., 2012), maracujá (NEVES et al., 2013), capim coloniã (BATISTOTI et al., 2012), pêssego (TERRA et al., 2014) e mostarda (DACI et al., 2011).

No melhoramento de plantas, a análise de correlações canônicas tem sido utilizada, principalmente, em estudos de diversidade genética. Pois, através da avaliação da dispersão gráfica de genótipos baseados em variáveis canônicas é possível agrupar indivíduos com características similares. Dessa forma, são identificados os grupos de indivíduos pelas características de interesse no melhoramento (JANK; VALLE; RESENDE, 2011).

Na maioria dos trabalhos em couve-flor são utilizadas correlações simples ou análise de trilha (KUMAR et al., 2005; SHEEMAR et al., 2012; SINGH et al., 2014). Nesses estudos há maior ênfase nas correlações entre a

produtividade e outros caracteres que a influenciam de maneira mais acentuada. Trabalhos que correlacionam grupos de características de qualidade e produtividade são escassos e pouco se sabe sobre essa relação.

Segundo Hallauer, Carena e Miranda Filho (2010) relações entre caracteres da planta e produção podem ser estudadas para prever o comportamento dos genótipos, reduzindo o número de avaliações e ensaios, que são bastante dispendiosos para o programa de melhoramento. Além disso, quando se tem uma correlação de alta magnitude e na mesma direção é possível fazer melhoramento para uma característica e obter ganhos genéticos em outra. Esse fato permite uso de índices de seleção para otimizar os ganhos genéticos.

2.5 Índice de seleção

O objetivo final de qualquer programa de melhoramento é a obtenção de cultivares que superem as pré-existentes. Isso só é possível se a nova cultivar reunir, simultaneamente, uma série de fenótipos favoráveis para caracteres de interesse (RAMALHO et al., 2012). Esse fato é mais evidenciado nos programas de melhoramento de hortaliças, uma vez que os atributos de qualidade são tão importantes quanto os atributos de produtividade. Por esse motivo, a seleção de genótipos superiores é um grande desafio, pois os caracteres podem se correlacionar em direções diferentes e nem sempre todos têm a mesma importância. Nesse sentido, o uso de índices de seleção que considerem diversas variáveis aumenta a chance de êxito na seleção.

Os índices de seleção constituem-se em um caráter adicional, resultante da combinação de determinadas características escolhidas pelo melhorista. Assim, é possível realizar com eficiência a seleção simultânea de vários caracteres, permitindo separar genótipos superiores, independentemente da existência ou não de correlações entre características (CRUZ; CARNEIRO;

REGAZZI, 2014; HAZEL, 1943; MULAMBA; MOCK, 1978; RAMALHO et al., 2012; SANTOS et al., 2007; SMITH, 1936; WILLIAMS, 1962).

Na literatura são descritas várias metodologias de índices de seleção, as quais podem ser utilizadas na identificação de genótipos superiores para vários caracteres. Entre essas, está o índice de soma de postos de Mulamba e Mock (1978) que consiste em classificar os genótipos em relação a cada um dos caracteres, em ordem favorável ao melhoramento e apresenta como vantagem a eliminação da necessidade de se estabelecer pesos econômicos e a estimativa de variâncias e covariâncias (BHERING et al., 2012).

Nick et al. (2013) avaliando critérios de seleção para atributos de qualidade dos frutos de tomate e de resistência à requeima (*Phytophthora infestans*) observaram que o índice de Mulamba & Mock resultam em ganhos individuais mais equilibrados e em maiores ganhos totais em progênies de tomateiro.

Almeida et al. (2014), estudando famílias de irmãos germanos de cana-de-açúcar usando índices de seleção, concluíram que o índice de seleção de Mulamba & Mock e o índice de Smith & Hazel proporcionaram ganhos simultâneos superiores e esses ganhos foram melhor distribuídos entre os caracteres estudados. Gonçalves et al. (2007) encontraram resultados positivos com a utilização dos índices de Mulamba & Mock e Pesek & Baker na predição de ganhos em todos os caracteres de seu interesse, quando trabalharam com seleção de genótipos superiores em maracujá-amarelo, o que não foi possível quando utilizaram o índice de Smith & Hazel.

Muitos outros trabalhos envolvendo índice de seleção para múltiplos caracteres podem ser encontrados na literatura; milho-pipoca (GRANATE et al., 2002), pinhão-manso (BHERING et al., 2012), feijão (JOST et al., 2012), café arábica (REZENDE et al., 2014) e *Coffea canephora* var. Conilon (FERREIRA et al., 2005).

Como se pode observar, os índices de seleção são muito úteis durante os processos de seleção para múltiplos caracteres, principalmente o índice de Mulamba & Mock, pela facilidade de obtenção e interpretação dos resultados. No entanto, os melhoristas de couve-flor podem ter algumas dificuldades no momento de escolher as principais características associadas à qualidade da cabeça. Isso porque muitas características estão envolvidas e cada uma tem sua peculiaridade em relação ao mercado.

Nesse sentido, Maluf et al. (1988) propuseram um índice de qualidade da cabeça (HQI) no qual são atribuídos pesos aos diferentes caracteres de qualidade. Esse índice pode ser obtido pela seguinte equação: $HQI = \text{arroz} + (\text{coloração})^{1,3} + (\text{antocianina})^{1,3} + (\text{formato})^{1,5} + (\text{compacidade})^2$. Essa metodologia foi utilizado por Maluf et al. (1989) no estudo de variabilidade genética e capacidade de combinação em populações de couve-flor tropical e os resultados foram positivos, pois os caracteres de qualidade foram reduzidos à um, facilitando a comparação com os caracteres de produtividade e ciclo.

Uma alternativa para facilitar a visualização do comportamento dos diferentes genótipos para os caracteres de qualidade, seria a utilização de métodos gráficos. Nunes, Ramalho e Abreu (2005) propuseram um método gráfico para estudo de interação genótipo por ambiente, em que são plotados os fenótipos inerentes aos diferentes locais, gerando gráficos tipo radar. Assim, genótipos com alta adaptabilidade e estabilidade apresentam gráficos “bola cheia”, e genótipos que apresentam performance abaixo da média, “bola murcha”. Esse método pode ser adaptado para os caracteres de qualidade da cabeça de couve-flor. Além da representação gráfica, pode calcular a área dentro do gráfico e obter um índice de qualidade. Porém, para esses caracteres a interpretação é contrária ao método de Nunes, pois a escala de notas para a qualidade de cabeça é inversa, em que as melhores notas são as mais próximas

de um. Dessa forma, quanto menor a área do gráfico melhor é a qualidade da cabeça.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 População base de couve-flor

Para obter a população base de couve flor foram obtidos híbridos entre os clones autoincompatíveis de Piracicaba Precoce (verão) e as populações de inverno Gigante Jaraguá e Teresópolis Precoce. Posteriormente, esses híbridos foram inter cruzados obtendo assim uma população F_2 verão x inverno colhida em *bulk*, ora denominada de população base verão x inverno (PBVI).

Para avaliar o desempenho agrônômico e a qualidade da cabeça sobre altas temperaturas foi instalado um campo experimental com aproximadamente 5000 plantas da população PBVI. Destas, foram selecionadas 64 plantas autoincompatíveis, que apresentaram boa qualidade de cabeça durante o verão. As plantas selecionadas foram propagadas *in vitro* (TORRES; VECCHIA; CALDAS, 1978) e cruzadas com um ou mais testadores de verão. Os testadores utilizados foram clones selecionados a partir da cv. Piracicaba Precoce (PP1, PP2, PP3, PP4 e PP5) e as populações de polinização aberta Santa Elisa (SE) e Vitória de Verão (VV), constituindo assim um conjunto de híbridos componentes de um dialelo incompleto para o estudo de capacidade de combinação.

É importante ressaltar que os indivíduos da população PBVI e os testadores não foram selecionados com base na capacidade de combinação, apenas pela média.

3.2 Campo experimental

Um campo experimental foi conduzido na estação experimental da empresa Bioplanta, em Paulínia (latitude 22°S), São Paulo, Brasil. Foram

avaliados os 86 híbridos do *testcross* e quatro híbridos então comerciais (Shiromaru-I, Miyai, Paloma F1 e F1 Precoce), utilizados como testemunhas. Os híbridos foram semeados em dezembro de 1988 e transplantados em janeiro de 1989.

Os híbridos e as testemunhas foram plantados em parcelas de uma linha, com 20 plantas cada. O espaçamento utilizado foi de 100 cm entre linhas e 50 cm entre plantas.

As plantas foram colhidas e avaliadas à medida que as cabeças atingissem o ponto comercial, definido como o maior tamanho antes que se iniciasse o alongamento das hastes dos primórdios florais.

O número de cruzamentos foi de 13 para o testador PP1, 12 para PP2, 12 para PP3, 16 para PP4, 5 para PP5, 8 para SE e 20 para VV. Foi utilizado o delineamento experimental em blocos casualizados aumentados descrito por Federer (1956), com quatro tratamentos comuns em onze blocos. Os quatro híbridos comerciais (tratamentos comuns) foram adicionados em todos os blocos, já os híbridos dos *testcrosses* foram incluídos em apenas um dos blocos.

3.3 Caracteres avaliados

No dia da colheita, cada planta foi avaliada individualmente para diâmetro da cabeça em centímetros (DIAM) e massa da cabeça em gramas (MASSA). No final da colheita foi contabilizado, por parcela, o número de cabeças colhidas com mais de 500 gramas (N500) e número total de cabeças colhidas (NCOL). A qualidade da cabeça foi estimada através de uma escala de nota para as características a seguir, no qual 1 (muito desejável) até 3 (indesejável): Coloração (COL) (1 = branco); cabeça pigmentada por antocianina (ANT) (1 = sem pigmentação); pilosidade da cabeça, comumente denominada de “arroz” (ARROZ) (1 = ausente); formato da cabeça (FORM) (1

= cabeça hemisférico regular) e compacidade (COMP) (1 = muito compacta). Para realizar as análises estatísticas foram obtidas as médias por parcela das notas das plantas individuais. O caráter ciclo (CICLO) foi avaliado por parcela, como o número de dias necessários para que 50% das plantas completassem a maturidade de colheita a partir da sementeira.

3.4 Análise estatística

Foram realizadas análises de variância para todos os caracteres avaliados, seguindo o modelo de blocos aumentados de Federer (1956) no programa estatístico R.

$$Y_{ij} = \mu + t_i + b_j + \varepsilon_{ij}$$

Y_{ij} : resposta observada do i -ésimo híbrido no j -ésimo bloco (totalizando n observações);

μ : constante comum às observações (uma referência à média geral das observações);

t_i : efeito do i -ésimo híbrido ($i=1, 2, \dots, h, p+1, p+2, \dots, p+t$; sendo p o número de novos híbridos, t o número de testemunhas e $p+t=v$, o número total de tratamentos);

b_j : efeito do j -ésimo bloco ($j=1, 2, \dots, b$);

ε_{ij} : erro experimental aleatório associado à parcela com o i -ésimo tratamento, no j -ésimo bloco, distribuído *normal* e independentemente, com média zero e variância σ_ε^2 .

De posse das médias ajustadas foi realizada a análise dialélica, seguindo o modelo de Griffing (1956) adaptado por Cruz, Regazzi e Carneiro (2012) para dialelos parciais, em que:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + \bar{\varepsilon}_{ij}$$

Y_{ij} valor médio da combinação híbrida entre o i -ésimo testador e da j -ésima planta PBVI;

μ é a média geral das combinações híbridas;

g_i é o efeito da capacidade geral de combinação do i-ésimo testador;
 g_j é o efeito da capacidade geral de combinação da j-ésima planta PBVI;
 s_{ij} é o efeito da capacidade específica de combinação entre genitores de ordem i e j dos testadores e plantas PBVI, respectivamente;
 $\bar{\varepsilon}_{ij}$ é o erro experimental médio.

As estimativas dos g_i 's foram agrupadas pelo agrupamento de Tocher, baseado na distância Euclidiana, segundo a metodologia proposta por Cruz, Carneiro e Regazzi (2014). As estimativas foram obtidas através do programa estatístico R.

Foram obtidas as estimativas das correlações canônicas do grupo composto pelos caracteres de produtividade (DIAM, MASSA, N500 e NCOL) com o grupo composto pelos caracteres de qualidade da cabeça (COL, ARROZ, ANT, FORM e COMP) segundo a metodologia descrita por Cruz, Regazzi e Carneiro (2012), utilizando o programa estatístico GENES (CRUZ, 2013).

A partir das esperanças dos quadrados médios das análises de variância, foram estimadas as variâncias genéticas para capacidade de combinação (σ_c^2), fenotípicas ($\sigma_c^2 + \sigma_e^2$) e ambientais (σ_e^2) conforme Vencovsky e Barriga (1992), bem como as herdabilidades no sentido amplo [$h^2 = \sigma_c^2 / (\sigma_c^2 + \sigma_e^2)$] e os coeficientes de variação genético para a capacidade de combinação ($CV_g = ((\sigma_c^2 / \mu) \times 100\%)$) e o coeficiente b ($b = CV_g / CV_e$).

3.4.1 Índice de seleção

A qualidade da cabeça é composta por muitos caracteres, o que dificulta a tomada de decisão do melhorista. Uma alternativa é a utilização de metodologias que agrupem esses caracteres, gerando um único índice. Dessa forma, foram utilizadas três metodologias, sendo duas de agrupamento. Além disso, foram estimados os índices de seleção obtidos com base na soma de

postos de Mulamba e Mock (1978) selecionando os dez melhores híbridos, para cada uma de três metodologias empregadas.

Na primeira metodologia foram considerados todos os caracteres no índice de seleção de Mulamba e Mock (1978). Essa metodologia foi denominada de Índice Geral.

Na segunda metodologia foi feito o agrupamento dos caracteres com base no índice de qualidade de cabeça (HQI) proposto por Maluf et al. (1989), este pode ser obtido pela seguinte equação: $HQI = \text{arroz} + (\text{coloração})^{1,3} + (\text{antocianina})^{1,3} + (\text{formato})^{1,5} + (\text{compacidade})^2$. A metodologia de Mulamba e Mock foi então aplicada aos dados de MASSA, NCOL, N500, DIAM, PREC e HQI.

Na terceira metodologia, denominada de índice da área do gráfico (IAG), o agrupamento foi adaptado do método gráfico de Nunes, Ramalho e Abreu (2005), nesse agrupamento os caracteres de qualidade da cabeça (ANT, COL, COMPAC, FORM e ARROZ) são padronizados e plotados em um gráfico tipo radar e é estimada a área interna do gráfico. Quanto menor a área do gráfico melhor a qualidade da cabeça (Figura 1A), uma vez que as escalas de notas de qualidade da cabeça são inversas, nota 1 para fenótipos desejáveis e nota 3 para fenótipos indesejáveis. Dessa forma, gráficos com grandes áreas significam que o genótipo em questão apresenta baixa qualidade de cabeça (Figura 1B). As áreas foram obtidas por meio de um código implementado no programa estatístico R (Anexo). A metodologia de Mulamba e Mock foi então aplicada aos dados de MASSA, NCOL, N500, DIAM, PREC e IAG.

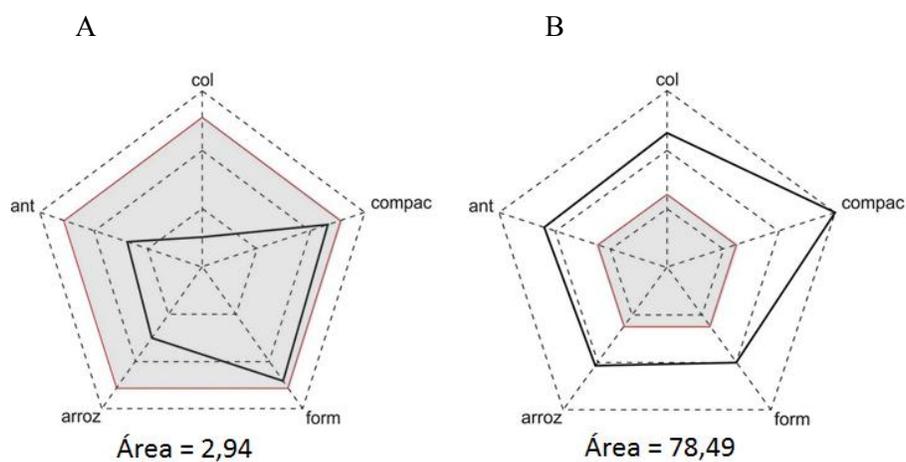


Figura 1A e 1B Representação gráfica da qualidade da cabeça e sua respectiva área, em negrito. Área cinza representa a média dos genótipos e os eixos referem-se aos caracteres de qualidade da cabeça; coloração (COL), compactidade (COMPAC), formato (FORM), arroz (ARROZ) e antocianina (ANT) dos híbridos de couve-flor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise de variância

Pelos resultados da análise de variância dos dados de ciclo (CICLO), coloração (COL), antocianina (ANT), arroz (ARROZ), formato (FORM), compacidade (COMPAC), diâmetro (DIAM), massa (MASSA), número de cabeças colhidas com mais de 500 gramas (N500) e número de cabeças colhidas (NCOL) (Tabela 1), houve diferenças significativas entre os híbridos avaliados. Para desdobramento da fonte de variação “Híbridos” em seus componentes “Planta PBVI”, “Testadores” e “Planta PBVI x Testadores” a fonte de variação “Planta PBVI” foi significativa para todas as variáveis, ou seja, as plantas PBVI apresentaram desempenhos diferentes. Isso indica que existe variabilidade na população base PBVI para os caracteres considerados e é possível realizar seleção com ganhos genéticos. Além disso, a fonte de variação “Planta PBVI” estima a capacidade geral de combinação (CGC), ficando evidente que os efeitos aditivos são muito importantes no controle desses caracteres.

Os testadores diferiram entre si para as características de qualidade ANT, ARROZ, FORM e COMPAC (Tabela 1). Isso também pode ser observado na interação Híbrido x Testador, exceto para ANT.

Há diferença significativa entre os híbridos comerciais utilizados como testemunhas, ao nível de 1% de probabilidade. Eles se diferenciaram para as características de qualidade de cabeça, PREC e N500 (Tabela 1). Também foi observado, por meio do contraste “Híbrido Vs Testemunha”, que existe diferença entre os híbridos comerciais e os híbridos testados para PREC e qualidade de cabeça, exceto COMPAC. Dessa forma, um híbrido identificado

como superior pode ser comercializado, pois este apresenta ganhos em qualidade de cabeça e são mais precoces em relação aos híbridos do mercado (Tabela 1).

Esses híbridos podem ser produzidos comercialmente a partir das plantas PBVI, não sendo necessária a obtenção de linhagens endogâmicas. Pois, segundo Maluf (2001) a clonagem de couve-flor *in vitro* (TORRES; VECCHIA; CALDAS, 1978) permite manter e produzir economicamente plantas autoincompatíveis (homozigóticas ou não para autoincompatibilidade) e macho-estéreis (macho-esterilidade genética ou citoplasmática) independente do grau de endogamia e podem ser utilizadas como genitores de híbridos comerciais.

As estimativas do coeficiente de variação (CV) foram de baixa magnitude ($CV < 10\%$) para todos os fatores, exceto N500 que apresentou um CV de 28,68% (Tabela 1). Essas estimativas mostram a confiabilidade dos resultados apresentados.

É importante ressaltar que apesar do desbalanceamento do dialelo os resultados foram conclusivos e diferenças significativas puderam ser encontradas. Esse desbalanceamento é ocasionado pela dificuldade de coincidência de florescimento dos diferentes genótipos de couve-flor, principalmente em cruzamentos entre couve-flor de verão e inverno.

De acordo com Maluf (2001) um dos maiores problemas na produção de sementes híbridas de couve-flor é a dificuldade de coincidência de florescimento das linhagens parentais. Isso ocorre porque o parental de inverno deve ser transplantado no campo semanas antes do parental de verão, para que ocorra a sincronização do florescimento. Porém, o intervalo exato entre os plantios é sujeito às variações de ano para ano, dependendo das temperaturas prevalentes. Segundo Verdial et al. (2001) a coincidência da época de florescimento entre as linhagens de couve-flor afeta diretamente a produtividade e a qualidade genética das sementes híbridas produzidas com genitores autoincompatíveis, sendo que,

quanto maior o nível de coincidência, maior o número de sementes formadas por síliqua e menor a percentagem de sementes contaminantes.

Tabela 1 Resumo da análise de variância dos caracteres ciclo (CICLO), coloração (COL), antocianina (ANT), arroz (ARROZ), formato (FORM), compacidade (COMPAC), diâmetro (DIAM), massa (MASSA), número de cabeças colhidas com mais de 500 gramas (N500) e número de cabeças colhidas (NCOL) referentes à avaliação de clones de couve-flor em *testcross*, com sete testadores diferentes

FV	GL	QM									
		CICLO	COL	ANT	ARROZ	FORM	COMPAC	DIAM	MASSA	N500	NCOL
Blocos	10	61.61**	0.0063	0.0154	0.01995	0.008634	0.0217	1.1734*	4592.4*	12.1045*	5.5181*
Testemunhas	3	776.99**	0.2888**	0.1020**	0.4692**	0.4002**	0.2044**	2.1782	27417	32.6893**	23.053
Híbridos	85	54.50**	0.0311**	0.0331**	0.0627**	0.0621**	0.0711**	1.2621**	5246.1**	10.5426**	3.7527*
Plantas PBVI	63	257.00**	0.0359**	0.0388**	0.0646**	0.0733**	0.0752**	1.5317**	6315.4**	13.2601**	3.8339*
Testadores	6	14.00	0.0178	0.02205*	0.1132**	0.0347**	0.1075**	0.1035	3693.8	3.3633	3.468
Plantas PBVIxTestadores	16	40.00**	0.0169	0.0149	0.0363**	0.0284**	0.0415**	0.6353	1617.6	2.535	3.5395
TestemunhasVSHíbridos	1	199.94**	0.3162**	0.6507**	1.0425**	0.0988**	0.0311	0.4512	39.1	4.2509	5.2559
Erro	30	14.91	0.0133	0.0092	0.0124	0.0094	0.0105	0.4984	1951.8	4.3893	2.203
Média		101.56	1.74	1.35	1.87	2.11	1.34	17.42	468.85	7.3	17.3
CV (%)		3.8	6.61	7.11	5.96	4.6	7.66	4.05	9.42	28.68	8.58

*Significativo ao nível de 5% pelo teste de F

**Significativo ao nível de 1% pelo teste de F

4.2 Capacidade de combinação

Para a maioria dos caracteres, a herdabilidade foi de alta magnitude, principalmente para àqueles relacionados à qualidade da cabeça, ANT, ARROZ, FORM e COMPAC e CICLO (Tabela 2). Os caracteres relacionados à produtividade também apresentaram altas estimativas de herdabilidade, acima de 0,55, apenas NCOL apresentou herdabilidade inferior a 0,5. Segundo Ramalho et al. (2012), a herdabilidade pode ser definida como a proporção da variância genética presente na variância fenotípica total. Portanto, ela estima a confiabilidade do valor fenotípico como indicador do valor reprodutivo.

Esses resultados dão segurança ao processo de seleção, uma vez que o método utilizado na escolha das progênes foi o método massal. Esse método utiliza a habilidade visual do melhorista em identificar indivíduos superiores, sendo eficiente apenas para caracteres de alta herdabilidade (HALLAUER; CARENA; MIRANDA FILHO, 2010). Segundo Singh et al. (2013) o método massal tem sido muito utilizado em programas de melhoramento de couve-flor na Índia, com resultados positivos para caracteres de herança menos complexa.

As relações entre CV_c e CV_e (b) foram superiores a um para todos os caracteres, exceto para NCOL (Tabela 2) . Quanto maior o valor de b, maior a variação genética em relação à variação ambiental e melhor para efeito de seleção. De acordo com Cruz, Regazzi e Carneiro (2012), a prática da seleção em situações com alto CV_c pode ser realizada de forma mais precisa, pois há maior confiabilidade do valor fenotípico médio das famílias em representar seus valores genotípicos. Esses resultados indicam que um progresso considerável pode ser feito através da identificação de híbridos superiores. Nesse caso, muitos híbridos entre plantas PBVI e os testadores foram superiores em relação aos híbridos comerciais (Tabela 6).

Tabela 2 Estimativas da Média Geral (μ), variância ambiental (σ^2_e), variância genética para a capacidade de combinação (σ^2_c), herdabilidade ($h^2 = \sigma^2_c / (\sigma^2_c + \sigma^2_e)$), coeficiente de variação para a capacidade de combinação (CV_c), coeficiente de variação ambiental (CV_e) e coeficiente b ($b = CV_c / CV_e$) nos clones de couve flor em *testcross* com sete testadores diferentes

Caracteres	μ	σ^2_e	σ^2_c	h^2	CV_c	CV_e	b
PREC	101.6	14.91	39.590	0.73	6.2	3.8	1.63
COL	1.74	0.013	0.0178	0.57	7.7	6.6	1.16
ANT	1.35	0.009	0.0239	0.72	11.5	7.1	1.61
ARROZ	1.87	0.012	0.0503	0.80	12.0	6.0	2.01
FORM	2.11	0.009	0.0527	0.85	10.9	4.6	2.37
COMPAC	1.34	0.011	0.0606	0.85	18.4	7.7	2.40
DIAM	17.4	0.498	0.7637	0.61	5.0	4.1	1.24
MASSA	468.9	1951.8	3294.3	0.63	12.2	9.4	1.30
N500	7.3	4.389	6.1533	0.58	34.0	28.7	1.18
NCOL	17.3	2.203	1.5497	0.41	7.2	8.6	0.84

Na Tabela 3 são representadas as estimativas da capacidade geral de combinação (G_i) dos sete testadores do *testcross*. Essas estimativas podem ser utilizadas como um importante indicador do potencial dos parentais em gerar populações superiores em programas de melhoramento (DEY et al., 2014). O baixo valor de G_i , próximo de zero, indica que a média dos híbridos em que o testador i participou como parental não difere da média geral do *testcross*. Os altos valores de G_i , positivos para os caracteres de produtividade e ciclo ou negativos para os caracteres de qualidade, indicam que o testador é melhor que os demais testadores incluídos no *testcross*, em relação à média dos seus híbridos para o referido caráter. As estimativas de G_i representam uma forte evidência do controle dos caracteres avaliados predominantemente aditivos (RAMALHO et al., 2012).

O objetivo do agrupamento de Toucher (Tabela 3) é alcançar uma partição dos indivíduos que otimize alguma medida predefinida. Esse método

requer a obtenção da matriz de dissimilaridade, sobre a qual é identificado o par de indivíduos mais similares. Esses indivíduos formam o grupo inicial. A partir daí é avaliada a possibilidade de inclusão de novos indivíduos, adotando-se o critério de que a distância média intragrupo deve ser menor que a distância média intergrupo (CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI, 2014). Isso nos permite classificar as estimativas em relação aos grupos formados, facilitando a visualização dos indivíduos com maior capacidade de combinação.

Para o caráter ciclo, o testador SE apresentou maior estimativa negativa (-3,83), segundo o agrupamento Toucher, mostrando que o testador contribui para reduzir o ciclo da planta em cruzamentos com clones PBVI. Já para os caracteres relacionados à qualidade da cabeça (COL, ANT, ARROZ, FORM) foram observadas estimativas mais negativas de G_i (desejáveis) nos clones selecionados a partir da cv. Piracicaba Precoce (PP1, PP2, PP3, PP4). Apenas para o caráter COMP que o testador SE apresentou a estimativa mais negativa (Tabela 3). O sinal negativo da estimativa está relacionado à direção da expressão do caráter, nesse caso é reduzir (sentido desejável) as notas atribuídas durante a avaliação.

As estimativas dos G_i 's relacionadas aos caracteres de produtividade, MASSA e N500, foram maiores (desejáveis) para os testadores PP2 e SE. Já para o caráter DIAM, maiores estimativas (desejáveis) foram observadas para os testadores PP2 e PP5 e para o caráter NCOL foi observada maior estimativa (desejável) para o testador VV.

Thakur et al. (2004) estudando o controle genético de caracteres econômicos em couve-flor observaram que efeitos aditivos e não aditivos são importantes no controle dos caracteres: altura de planta, número de folhas por planta, ciclo, massa, diâmetro e ângulo da cabeça e velocidade de colheita. Já massa total da planta e espessura da cabeça são controlados por genes com efeitos de dominância, não aditivos. Estes autores propõem o uso de seleção

recorrente recíproca, pois possibilita obter ganhos no melhoramento intrapopulacional para os caracteres que apresentam genes com efeitos aditivos e explorar a heterose nos caracteres em que efeitos de genes dominantes foram encontrados.

Saha e Kalia (2012), estudando os efeitos da heterose em couve-flor, observaram alta heterose para os caracteres de altura de planta, número de folhas, massa da cabeça, diâmetro e espessura da cabeça. Os autores também observaram que os híbridos F1 apresentaram maior média em relação à média dos pais, para todos os caracteres estudados, mostrando a importância dos efeitos não aditivos no controle dos caracteres. Altos valores de heterose também foram observados por Dey et al. (2014), para caracteres de qualidade relacionados à concentração de vitaminas e antioxidantes em couve-flor.

De maneira geral, os testadores PP2 e SE apresentaram maior capacidade de combinação com a população PBVI, considerando o conjunto de caracteres avaliados, mostrando dois potenciais genitores para futuros cruzamentos no programa de melhoramento.

Tabela 3 Estimativas dos efeitos de capacidade geral de combinação (gi) para ciclo (CICLO), coloração (COL), antocianina (ANT), arroz (ARROZ), formato (FORM), compacidade (COMP), diâmetro (DIAM), massa (MASSA), número de cabeças colhidas com mais de 500 gramas (N500) e número de cabeças colhidas (NCOL) dos sete testadores do *testcross*

Testador	gi									
	PREC	COL	ANT	ARROZ	FORM	COMP	DIAM	MASSA	N500	NCOL
PP1	2.86 C	0.06 B	-0.06 A	-0.09 A	0.02 B	0.00 B	-0.39 C	-38.11 D	-1.87 D	-0.22 B
PP2	-1.06 B	-0.11 A	0.03 B	0.04 B	-0.12 A	-0.03 B	0.60 A	48.67 A	1.57 A	0.09 B
PP3	0.07 B	-0.01 B	-0.08 A	-0.12 A	-0.01 B	-0.02 B	0.07 B	4.76 C	0.11 C	-0.52 B
PP4	1.94 C	0.01 B	-0.06 A	-0.06 A	0.07 B	0.03 B	-0.63 C	-24.73 D	-0.80 D	-0.48 B
PP5	3.37 C	0.07 B	0.07 C	0.06 B	0.05 B	-0.02 B	0.58 A	23.17 B	0.16 B	-0.48 B
SE	-3.83 A	0.03 B	0.06 C	0.05 B	-0.03 B	-0.17 A	0.28 B	39.78 A	2.30 A	0.13 B
VV	-2.13 B	0.00 B	0.08 C	0.12 C	0.01 B	0.08 B	0.10 B	-9.21 C	-0.11 C	0.85 A

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna pertencem ao mesmo grupo pelo agrupamento de Tocher baseado na distância Euclidiana.

4.3 Correlação canônica

A tabela 4 contém os pesos canônicos para cada variável canônica. A magnitude dos pesos representa sua contribuição relativa para a variável. As estimativas das correlações canônicas foram significativas para o primeiro e segundo pares, ou seja, existe correlação entre os dois grupos de variáveis (U e V). Já para o terceiro e quarto pares as estimativas não foram significativas ($P > 0,05$; Tabela 4). Portanto, apenas os dois primeiros pares canônicos são considerados neste trabalho. O primeiro coeficiente é sempre maior ou igual, em valor absoluto, a qualquer coeficiente de correlação simples ou múltipla, entre os caracteres do primeiro e do segundo grupos (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

O alto valor da correlação indica que os dois grupos de variáveis são correlacionáveis para todos os genótipos testados, revelando assim uma associação entre esses grupos de variáveis (Tabela 4).

Tabela 4 Correlações canônicas e pares canônicos estimados entre componentes primários U (Grupo I) de produtividade e secundário V (Grupo II) da qualidade de cabeças de couve-flor

Caracteres	Pares canônicos				
	1	2	3	4	
U	DIAM	0.65498	0.67047	-0.32864	-0.11607
	MASSA	0.97986	0.1781	-0.0474	-0.07686
	N500	0.8961	0.07096	-0.39304	0.19362
	NCOL	0.11861	0.46165	0.00569	0.87908
V	COL	-0.76961	-0.32424	0.00033	-0.53529
	ANT	-0.0549	-0.24377	0.81195	-0.47615
	ARROZ	-0.18099	-0.052	0.43225	-0.10461
	FORM	-0.85516	-0.21037	0.32237	0.34669
	COMPAC	-0.73021	0.62707	0.24216	0.11993
	r^2	0.79	0.63	0.26	0.15
Pr > F	<0.01	<0.01	0.25	0.38	

Os grupos considerados não são independentes e associações intergrupos podem ser estabelecidas para cada par canônico. Para o primeiro par, os caracteres de qualidade COL, FORM e COMPAC (Grupo II), cujas cargas são maiores que 0,65, foram determinantes no aumento dos caracteres de produtividade MASSA, N500 e DIAM (Grupo I). Já os caracteres ANT, ARROZ e NCOL apresentaram baixa correlação entre os grupos do primeiro par canônico, portanto foram considerados menos importantes nas interpretações.

É importante ressaltar que no primeiro par canônico os caracteres apresentam o mesmo comportamento em relação aos demais, isso pode ser observado no sinal negativo para todas as estimativas do Grupo II e positivo para todas as estimativas do Grupo I. Ou seja, quando faz seleção para caracteres de produtividade existem ganhos genéticos para os caracteres de qualidade de cabeça, pois o sinal negativo indica o sentido da seleção. Nesse caso, o objetivo no programa de melhoramento é obter genótipos que apresentem notas para

qualidade da cabeça mais próximas de 1 (característica desejável), portanto é necessário diminuir o valor das notas de qualidade.

Já para o segundo par canônico, a melhoria da compacidade da cabeça (COMPAC) acarretou na diminuição do diâmetro da cabeça (DIAM). Pois o caráter COMPAC foi o único que apresentou sinal positivo no Grupo II, já no Grupo I o caráter DIAM foi o mais determinante, pois apresentou maior estimativa (0.67047) de correlação com o Grupo II.

Sheemar et al. (2012) estudando a correlação dos caracteres em couve-flor observaram que a massa da cabeça tem alta correlação positiva com a massa total da planta e tamanho da folha. Assim, a massa da cabeça pode ser aumentada através da seleção com base na massa total da planta e comprimento da folha. Da mesma forma Singh et al. (2014) demonstraram que o número de folhas e a massa da cabeça são os maiores responsáveis pelo aumento na produtividade em couve-flor.

Segundo Kumar et al. (2010) em couve-flor a produtividade total tem correlação positiva significativa com massa da cabeça. Porém, o caráter produtividade teve correlação negativa com os caracteres relacionados à durabilidade da cabeça e dias para formação de 50% das cabeças. Além disso, estes autores também concluíram que os caracteres massa da cabeça e compacidade são os que mais contribuem positivamente para o caráter produtividade.

Vale ressaltar que a correlação canônica indica, como já comentado, a existência ou não de correlação entre grupos de variáveis. Os resultados obtidos no presente trabalho reforçam que é possível e viável obter ganhos favoráveis para qualidade e produtividade. Dessa forma, é possível aplicar alguns métodos de seleção multivariada, por exemplo, índices de seleção, sem prejudicar um caráter em específico.

4.4 Índice de seleção

O Índice Geral apresentou menores ganhos de seleção para os caracteres de produtividade (49,28 g), ciclo (-1,22 dias) e somatório dos caracteres de qualidade (0,17 unidades de notas - un) (Tabela 5). É importante ressaltar que, para ciclo e qualidade da cabeça (COL, ANT, ARROZ, FORM e COMPAC) valores negativos de ganho com a seleção são desejáveis, enquanto para produtividade (DIAM, MASSA, N500, NCOL) valores positivos de ganho com a seleção são desejáveis.

Para qualidade da cabeça foram observados valores positivos para COL, ANT, ARROZ e valores negativos para FORM e COMPAC. No somatório para a qualidade da cabeça observou-se valor positivo. As notas atribuídas para esse caráter variavam de um a três, sendo a nota 1 para características muito desejáveis e a nota 3 para características indesejáveis. Portanto, a seleção baseada no Índice Geral foi insuficiente no sentido de promover melhorias para qualidade de cabeça.

Para os métodos IAG e HQI foram observados ganhos com a seleção no mesmo sentido do melhoramento para todos os caracteres. O método da área apresentou maior ganho para o caráter de qualidade de cabeça (-5,32 un). Já o método de HQI apresentou maiores ganhos com a seleção para os caracteres de ciclo (-2,83 dias) e produtividade (71,50 g) (Tabela 5). Esses resultados para IAG e HQI estão de acordo com as análises canônicas de correlação (Tabela 4), pois para o primeiro par canônico foi observada uma alta correlação, no mesmo sentido, entre os caracteres de qualidade de cabeça e produtividade. O mesmo também foi observado para o segundo par, exceto para o caráter compacidade, que apresentou correlação no sentido contrário à seleção. Dessa forma, fica evidente que a concentração dos caracteres de qualidade da cabeça em um único

índice aumenta a eficiência da seleção e permite obter ganhos balanceados para os múltiplos caracteres.

Essa superioridade dos métodos de agrupamento (IAG e HQI) em relação ao Índice Geral pode estar relacionada à contribuição de cada caráter no índice de Mulamba e Mock. Ou seja, no Índice Geral cada caráter contribui igualmente para o *ranking* do híbrido, portanto caracteres de grande importância como massa e ciclo ficam subestimados. Já nos outros dois métodos isso não ocorre, porque foi feito um agrupamento dos caracteres de qualidade, no qual a importância de cada caráter foi levada em consideração para compor o índice final de qualidade. Esse fato pode ser observado através do grau de coincidência dos híbridos selecionados. Os híbridos selecionados pelo Índice Geral apresentaram coincidência de apenas 17% com os outros métodos. Já os híbridos selecionados pelo IAG e HQI apresentaram coincidência de 62,5%, entre si (Tabela 6).

Embora nos métodos IAG e HQI tenha sido observado desempenho positivo para todos os caracteres, o método IAG apresenta uma vantagem em relação aos demais, pois este permite uma visualização gráfica do comportamento do genótipo em relação a cada uma das variáveis de qualidade da cabeça (Figura 2) e a verificação dos diferentes componentes do índice, facilitando assim a seleção de genótipos superiores pelo melhorista (NUNES; RAMALHO; ABREU, 2005).

Bhering et al. (2012) estudando os ganhos genéticos por meio índices de seleção observaram que o uso desses índices fornece ganhos balanceados para os múltiplos caracteres de interesse e garantem ganhos em produtividade a longo prazo, sem prejudicar ganhos genéticos de outros caracteres.

Um aspecto importante para garantir o sucesso nos programas de melhoramento é a disponibilidade de informações sobre a variabilidade genética das características de interesse. Assim, estimativas de parâmetros genéticos,

como a herdabilidade, as correlações entre os caracteres e o controle genético são importantes nos programas de melhoramento para obter ganhos genéticos consideráveis (CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI, 2014; FIGUEIREDO; NUNES; VALLE, 2012).

No presente trabalho foi observada alta variabilidade para os caracteres analisados na população PBVI (Tabela 6). Conforme apresentado foi possível obter ganhos simultâneos utilizando índices de seleção, visando à obtenção de híbridos com alto desempenho para produtividade, ciclo e qualidade da cabeça, uma vez que a herdabilidade para esses caracteres foi de média a alta magnitude e as estimativas de CVg foram maiores que CVa (Tabela 2).

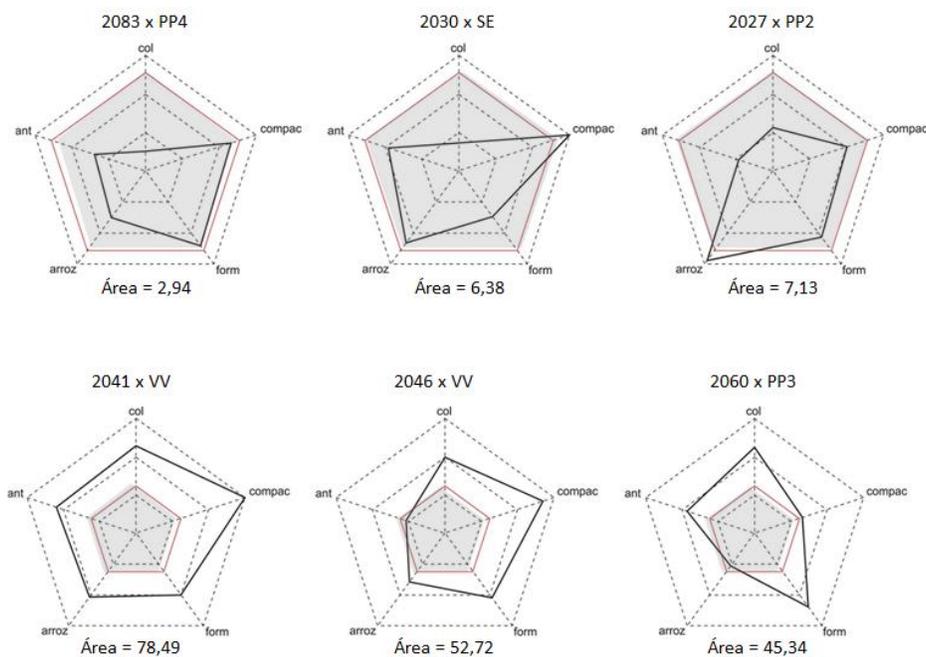


Figura 2 Representação gráfica da qualidade da cabeça e sua respectiva área (IAG), em negrito. A área cinza representa a média de todos os genótipos e os eixos referem-se aos caracteres de qualidade da cabeça; coloração (COL), compactidade (COMPAC), formato (FORM), arroz (ARROZ) e antocianina (ANT) dos híbridos de couve-flor.

Tabela 5 Estimativa da média inicial (X_0), média selecionada (X_s), herdabilidade (h^2) e ganho de seleção (gs) dos métodos de Índice Geral (IG), índice da área do gráfico (IAG) e índice de qualidade da cabeça (HQI), por meio do uso dos índices de seleção com base na soma de postos de Mulamba e Mock (1978), obtidos para os caracteres de ciclo (CICLO), coloração (COL), antocianina (ANT), arroz (ARROZ), formato (FORM), compacidade (COMPAC), diâmetro (DIAM), massa (MASSA), número de cabeças colhidas com mais de 500 gramas (N500) e número de cabeças colhidas (NCOL)

Caracteres	IG				IAG				HQI			
	X_0	X_s	h^2	gs	X_0	X_s	h^2	gs	X_0	X_s	h^2	gs
Ciclo	101.56	99.89	0.73	-1.22	101.56	98.41	0.73	-2.30	101.56	97.69	0.73	-2.83
COLL	1.74	1.78	0.57	0.018	1.74	1.70	0.57	-0.026	1.74	1.72	0.57	-0.014
ANTL	1.35	1.52	0.72	0.124	1.35	1.29	0.72	-0.045	1.35	1.30	0.72	-0.036
ARRO	1.87	2.08	0.80	0.166	1.87	1.84	0.80	-0.021	1.87	1.83	0.80	-0.031
FORM	2.11	2.06	0.85	-0.044	2.11	2.01	0.85	-0.082	2.11	2.07	0.85	-0.036
COMP	1.34	1.23	0.85	-0.089	1.34	1.20	0.85	-0.116	1.34	1.25	0.85	-0.078
Índice				0.17	23.52	15.08	0.63	-5.32	10.61	9.21	0.87	-1.21
DIAM	17.42	18.23	0.61	0.497	17.42	18.85	0.61	0.872	17.42	18.91	0.61	0.910
MASSA	468.8	542.2	0.63	46.211	468.8	568.2	0.63	62.621	468.8	574.5	0.63	66.555
N500	9.30	12.71	0.58	1.974	9.30	14.51	0.58	3.018	9.30	14.98	0.58	3.293
NCOL	17.30	18.76	0.41	0.599	17.30	19.39	0.41	0.855	17.30	19.11	0.41	0.743
Produtividade				49.28				67.37				71.50

Tabela 6 Médias dos caracteres de ciclo (CICLO), coloração (COL), antocianina (ANT), arroz (ARROZ), formato (FORM), compacidade (COMPAC), diâmetro (DIAM), massa (MASSA), número de cabeças colhidas com mais de 500 gramas (N500) e número de cabeças colhidas (NCOL) das testemunhas e dos híbridos selecionados pelos métodos de Índice Geral (IG), índice da área do gráfico (IAG) e índice de qualidade da cabeça HQI

Híbridos		Selecionados			CICLO	COL	ANT	ARROZ	FORM	COMPAC	DIAM	MASSA	N500	NCOL
Planta PBVI	Testador	IG	IAG	HQI										
2012	PP2	-	*	*	94.1	1.82	1.36	1.53	1.95	1.26	19.2	572.9	12.7	16.9
2016	PP1	*	-	-	95.1	1.76	1.79	2.37	1.76	1.19	18.5	544.4	8.9	15.9
2019	VV	*	*	*	95.6	1.71	1.00	1.66	1.96	1.53	19.5	518.5	8.7	18.6
2023	SE	-	*	-	100.9	1.54	1.23	1.65	1.83	1.30	18.6	560.2	12.9	20.0
2040	SE	-	-	*	104.1	1.85	1.63	2.25	2.29	1.43	15.9	470.1	7.2	15.1
2043	PP4	-	*	*	98.9	1.83	1.60	2.03	2.34	1.14	17.7	529.5	7.9	19.1
2045	PP1	*	-	-	94.9	1.51	1.57	2.18	2.04	1.24	18.7	588.5	12.9	20.0
2055	SE	-	*	-	112.9	1.72	1.19	1.90	2.47	1.23	17.6	502.6	9.2	13.6
2058	VV	-	-	*	96.1	1.72	1.51	2.03	2.36	1.58	18.1	442.2	6.2	16.1
2059	PP3	-	*	*	123.6	1.87	1.11	1.80	2.24	1.09	15.8	409.6	5.7	16.6
2069	PP2	-	*	*	94.1	1.66	1.32	1.54	2.10	1.22	18.8	552.7	12.2	19.1
2074	PP2	-	*	-	98.1	1.66	1.20	1.42	2.16	1.22	17.2	493.6	7.7	15.9
2078	PP1	-	-	*	96.9	1.71	1.62	2.24	1.61	1.06	19.7	585.8	13.9	20.0
2087	VV	*	-	-	102.4	1.63	1.29	2.03	1.99	1.12	16.8	429	6.9	19.4
2088	VV	*	-	-	108.1	1.48	1.25	1.74	2.27	1.17	17.1	491	7.2	16.1
2092	VV	*	-	-	100.1	1.78	1.65	1.90	2.07	1.39	17.1	458.8	6.9	18.6
Shiromaru-I					108.6	1.65	1.30	1.80	1.99	1.31	17.1	479.6	7.7	16.6
Miyai					110.6	1.46	1.36	1.79	1.96	1.39	16.9	454.3	5.7	15.6
Paloma F1					97.6	1.67	1.07	1.40	2.05	1.21	18.6	526.1	8.7	17.6
F1 Precoce					99.6	1.78	1.10	1.76	2.23	1.56	17.6	420.2	5.7	17.6

*Selecionado através do índice de seleção com base na soma de postos de Mulamba e Mock (1978).

5 CONCLUSÃO

Há variabilidade dentro da população PBVI verão para qualidade de cabeça, produtividade e ciclo.

O clone de Piracicaba Precoce PP2 e a população Santa Elisa, apresentam melhor capacidade de combinação em cruzamentos com a população base PBVI verão.

Híbridos identificados como superiores puderam ser selecionados por apresentar vantagens em relação aos padrões comerciais.

Há alta correlação entre os caracteres relacionados à melhor qualidade de cabeça e caracteres relacionados à maior produtividade.

Os índices de qualidade da cabeça HQI e IAG promovem maior ganho com a seleção.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. M. et al. Breeding full-sib families of sugar cane using selection index. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 4, p. 605-611, abr. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SEMENTES E MUDAS. **Anuário**. Brasília, 2014. 34 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO COMÉRCIO DE SEMENTES E MUDAS. **Pesquisa de mercado**. Disponível em: <<http://www.abcsem.com.br/html>>. Acesso em: 5 ago. 2015.

BALDINI, A. L. C.; SILVA, N. Estimativas de parâmetros genéticos em couve-flor. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 3, p. 21-23, 1985.

BATISTOTI, C. et al. Correlations among anatomical, morphological, chemical and agronomic characteristics of leaf blades in *Panicum maximum* genotypes. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 171, p. 173-180, 2012.

BHERING, L. L. et al. Genetic gains in physic nut using selection indexes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 3, p. 402-408, mar. 2012

BOUIS, H. E. et al. Biofortification: a new tool to reduce micronutrient malnutrition. **Food and Nutrition Bulletin**, Boston, v. 32, n.1, p. 31-40, 2011.

CHATTERJEE, S. S. et al. Cole crops. In: BOSE, T. K.; SOM, M. G.; ABIR, J. (Ed.). **Vegetable crops**. Naya Prokash: [s. n.], 1993. p. 125-223.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2014. v. 2, 668 p.

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

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa, MG: UFV, 2012. v. 1, 514 p.

CRUZ, C. D.; VENCOSKY, R. Comparação de alguns métodos de análise dialélica. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 12, n. 2, p. 425-438, 1989.

DACI, Z. et al. Canonical correlation analysis of agronomic characters of *Brassica juncea* in western China. **Agricultural Science & Technology**, Tehran, v. 12, n.11, p. 1600-1604, 2011.

DEY, S. S. et al. Genetic combining ability and heterosis for importante vitamins and antioxidant pigments in cauliflower (*Brassica oleracea* var. botrytis L.). **Euphytica**, Wageningen, v. 195, p. 169–181, 2014.

DIAS, M. S. **Couve-flor: semente dá trabalho**. São Paulo: Abril, 1966. 141 p.

FEDERER, W. T. Augmented (or Hoonuiaku) designs. **The Hawaiian Planters Record**, Honolulu, v. 55, p. 191-208, 1956.

FERREIRA, A. et al. Seleção simultânea de *Coffea canephora* por meio da combinação de análise de fatores e índices de seleção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 12, p. 1189-1195, dez. 2005.

FIGUEIREDO, U. J.; NUNES, J. A. R.; VALLE, C. B. Estimation of genetic parameters and selection of *Brachiaria humidicola* progenies using a selection index. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 12, n. 4, p. 237-244, Dec. 2012.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa, MG: UFV, 2008. 421 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Fao statistical yearbook 2013: world food and agriculture**. Rome, 2013. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/018/i3107e/i3107e.PDF>>. Acesso em: 22 jan. 2015.

GONÇALVES, G. M. et al. Seleção e herdabilidade na predição de ganhos genéticos em maracujá-amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 2, p. 193-198, fev. 2007.

GRANATE, M. J. et al. Predição de ganho genético com diferentes índices de seleção no milho-pipoca CMS-43. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p. 1001-1008, 2002.

GREEN, P. E. **Analyzing multivariate data**. Hinsdale: Holt, Rinehart & Winston, 1978.

GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences**, Melbourne, v. 9, p. 462-493, 1956.

GUSTAFSSON, M. Biosystematics of *Brassica oleracea* group. In: EUCARPIA CRUCIFERAE CONFERENCE, 1., 1979, Wageningen. **Proceedings...** Wageningen: [s. n.], 1979. p. 11-21.

HALLAUER, A. R.; CARENA, M. J.; MIRANDA FILHO, J. B. **Quantitative genetics in maize breeding**. Ames: Iowa State University, 2010. 663 p.

HAZEL, L. N. The genetic basis for constructing selection indexes. **Genetics**, Austin, v. 28, p. 476-490, 1943.

IKUTA, H.; PATERNIANI, E. Produtividade de sementes de linhagens homocigóticas auto-incompatíveis da couve-flor Piracicaba Precoce nº1. **Relatório Científico do Departamento de Genética**, Piracicaba, n.13, p.138-148, 1979.

JANK, L.; VALLE, C. B.; RESENDE, R. M. S. Breeding tropical forages. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 1, p. 27-34, 2011.

JOST, E. et al. Comparison among direct, indirect and index selections on agronomic traits and nutritional quality traits in common bean. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 93, p. 1097-1104, 2012.

KESKIN, S.; YASAR, F. Use of canonical correlation analysis for determination of relationships among several traits in egg plant (*Solanum melongena* L.) under salt stress. **Pakistan Journal of Botany**, Karachi, v. 39, n.5, p. 1547-1552, 2007.

KUMAR, D. et al. Correlation and path analysis in snowball type cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis*). **Indian Journal of Horticulture**, New Delhi, v. 62, p. 409-410, 2005.

KUMAR, M. et al. Genetic variability and character association for quantitative and quality traits in early maturing Indian cauliflowers. **Indian Journal of Horticulture**, New Delhi, v. 67, p. 218-223, 2010.

MALUF, W. R. et al. Early testing of parental combining ability in tropical cauliflower hybrids. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 11, p. 893-903, 1988.

MALUF, W. R. et al. Genetic variation for combining ability in tropical cauliflower populations. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 12, n. 2, p. 331-345, 1989.

MALUF, W. R. Heterose e emprego de híbridos F1 em hortaliças. In: NASS, L. L. et al. **Recursos genéticos e melhoramento: plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. 1183 p.

MAY, A. et al. **A cultura da couve-flor**. Campinas: IAC, 2007. (Boletim Técnico).

MONTEIRO, B. et al. Performance of hybrids of cauliflower for summer season, in Jaboticabal, Brazil. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 1, p. 115-119, jan./mar. 2010.

MULAMBA, N. N.; MOCK, J. J. Improvement of yield potential of the method Eto Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. **Egyptian Journal of Genetics and Cytology**, Alexandria, v. 7, n. 1, p. 40-51, 1978.

NEVES, L. G. et al. Genetic Correlation between agronomically Important Traits in Yellow Passion Fruit. **American Journal of Plant Sciences**, Mississippi, v. 4, p. 2112-2117, 2013.

NICK, C. et al. Seleção simultânea para qualidade do fruto e resistência à requeima em progênies de tomateiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 1, p. 59-65, jan. 2013.

NORMAN, P. E. et al. Determination of associations between three morphological and two cytological traits of yams (*Dioscorea* spp.) using canonical correlation analysis. **African Journal of Agricultural Research**, Ago-Iwoye, v. 7, n. 17, p. 2674-2678, 2012.

NUEZ, F. et al. **Collecion de semillas de coliflor y broccoli**. Madrid: Instituto Nacional de Investigation y Tecnologia Agraria y Alimentaria, 1999. 120 p.

NUNES, J. A. R.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Graphical method in studies of adaptability and stability of cultivars. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, v. 48, p. 182-183, 2005.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, Munich, n. 11, p. 1633-1644, Oct. 2007.

RAMALHO, M. A. P. et al. **Aplicação da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: UFLA, 2012. 522 p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna, 2015.

REZENDE, L. C. et al. Genetic progress in coffee progenies by different selection criteria. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 3, p. 347-353, July/Sept. 2014.

SAFARI, P. et al. Study of relationship between oil quality traits with agromorphological traits in peanut genotypes by canonical correlation analysis. **International Journal of Biosciences**, Boalia, v. 3, n. 8, p. 1-10, 2013.

SAHA, P.; KALIA, P. Heterosis studies for yield and contributing characters in Indian cauliflower, Rennes – FR. **Cruciferae Newsletter**, Le Rheu, v. 31, p. 51-52, 2012.

SANTOS, F. S. et al. Predição de ganhos genéticos por índices de seleção na população de milho-pipoca unb-2u sob seleção recorrente. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 3, p. 389-396, 2007.

SHEEMAR, G. et al. Correlation and Path analysis studies of economic traits in cauliflower (*Brassica oleracea* var *botrytis* L.). **Journal of Agricultural Technology**, Ladkrabang Bangkok, v. 8, n. 5, p. 1791-1799, 2012.

SILVA, L. F. L. et al. Variação estacional da oferta e preços de couve-flor em Minas Gerais. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 61, n. 3, p. 323-331, 2014.

SINGH, K. P. et al. Correlation and path co-efficient analysis in cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis* L.). **International Journal of Agricultural Sciences**, Chongqing, v. 10, n. 1, p. 387-389. Jan, 2014

SINGH, P. K. et al. Genetic improvement of cauliflower. **Vegetable Science**, Varanási, v. 40, n. 2, p. 121-136, 2013.

SMITH, H.F. A discriminant function for plant selection. **Annals of Eugenics**, London, v. 7, p. 240-250, 1936.

TAVARES, M. et al. Efeitos diretos e indiretos e correlações canônicas para caracteres relacionados com a produção de pimentão. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 1, p. 41-47, 1999.

TERRA, V. S. S. et al. Multivariate analysis applied to the study of the relationship between soil and plant properties in a Peach orchard. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 38, p.755-764, 2014.

THAKUR, J. C. et al. Genetic analysis of some economic traits in main season cauliflower. **Journal of Research**, New Delhi, v. 41,n. 1, p. 68-73, 2004.

TORRES, A. C.; VECCHIA, P. T.; CALDAS, L. S. Propagação vegetativa de couve-flor (*Brassica oleracea* var. *botrytis* subvar. *cauliflora* DC.) *in vitro* visando ao melhoramento de cultivares de verão. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 25, p. 602-609, 1978.

VERDIAL, M. F. et al. Coincidence of flowering time and the productivity and quality of cauliflower hybrid seeds. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 3, July/Sept. 2001

WILLIAMS, J. S. The evaluation of a selection index. **Biometrics**, Washington, v. 18, p. 375-393, 1962.

ANEXO

Código implementado no programa estatístico R para o cálculo do Índice da Área do Gráfico (IAG).

```
#instalar pacotes "splancs", "fmsb"

source("rikBCBMboot.txt")# carregar a função
dados<-read.table("testelivro.txt",h=T)# dados de entrada
rikBCBM(dados,graf.lin=2,graf.col=5)# aplicação da função
#Obs: graf.lin e graf.col dividi a janela para os gráficos, dependendo do número de
gráficos que ira plotar.
#Função no arquivo rikBCBMboot.txt
rikBCBM<-function(data,graf.col,graf.lin){
graf.col<-graf.col
graf.lin<-graf.lin
require("splancs")#areapl
dados<-data
padr<-as.data.frame(apply(dados [,-1],2, scale))# Padroniza os dados nas colunas
padr$const<-abs(floor((min(padr))))
padr<-padr+padr$const
padr$const1<-(padr[,"const"])/2
tabela.1<-padr[-c(length(padr),length(padr)-1)]
#install.packages("fmsb")
require(fmsb)
par(mfrow=c(graf.lin,graf.col))
par(mar = rep(1, 4))
max(tabela.1)
for (i in 1:nrow(tabela.1)){
tabela.1<-tabela.1
```

```
tabela.graf<-
rbind(rep(max(tabela.1),length(tabela.1)),rep(0,length(tabela.1)),rep(padr$const1,length(
tabela.1)),tabela.1[i,])
grafico<-radarchart(tabela.graf, axistype = 0, seg = 3, cglty = 3, pty =3,plty =1, cglcol =
c(1,1), plwd = c(1,2), pcol = c(2,1), axislabcol =2,centerzero=T,
title=paste("L",i,collapse="."))
#OBS: Aparece o gráfico tipo radar
```

Cálculo da Área

```
#Colocar os nomes das linhas
rownames(tabela.1)<-paste("L",1:nrow(tabela.1),sep="")
# Função - genótipos nas linhas e variáveis nas colunas
area<-function(tabela){
ncarac<-length(tabela)
tab<-(tabela)
theta<-360/ncarac
thetapi<-(theta*pi)/180#transforma graus em radianos
saida<-matrix(,ncol=2,nrow=ncarac)# Matriz de saída
for ( i in 1:length(tabela)){
hip<-tab
saida[i,]<-c(hip[i]*cos(thetapi*i),hip[i]*sin(thetapi*i))
}
saida.area<-(areapl(saida))
#saida.lista<-list(saida)
#names(saida.lista)<-colnames(tabela)
#saida.lista
saida.areaL<-list(saida.area)
names(saida.areaL[[1]])<-"area"# Coloca nome na lista
names(saida.areaL)<-colnames(saida.area)# Coloca o nome dos genótipos na lista
#return(saida.areaL)# Lista de resultados
```

```
result<-do.call(cbind,saida.areaL)# Matriz de resultados
return(result)
}
# Aplicar a função
ver<-round(apply((tabela.1),1,area),2);ver

#Tabela final
cvz<-round(apply(tabela.1,1,function(x)sqrt(var(x))/mean(x)),2)*100
mediaz<-round(apply(tabela.1,1,function(x)mean(x)),2)
saida.final<-data.frame(tabela.1,CVz=cvz,Média.Z=mediaz,Área=ver)
saida.final
tab.med<-matrix(rep(padr$const1,90),ncol=ncol(tabela.1),nrow=nrow(tabela.1))
ver.a<-round(apply((tab.med),1,area),2);ver.a
saida.final<-
data.frame(round(tabela.1,2),CVz=cvz,Média.Z=mediaz,Área=ver,Área.Med=ver.a)
saida.final
```