

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

DOUGLAS GARRIO CARFANE

**ÍNDICES MULTIVARIADOS PARA SELEÇÃO SIMULTÂNEA DE GENÓTIPOS DE
ORQUÍDEAS ENDÊMICAS DO BRASIL AMEAÇADAS DE EXTINÇÃO**

**Ilha Solteira
2024**

DOUGLAS GARRIO CARFANE

**ÍNDICES MULTIVARIADOS PARA SELEÇÃO SIMULTÂNEA DE GENÓTIPOS DE
ORQUÍDEAS ENDÊMICAS DO BRASIL AMEAÇADAS DE EXTINÇÃO**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Estadual
Paulista (UNESP), Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira, para obtenção
do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Flávio Arruda
Ferreira

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

C276i Carfane, Douglas Garrio.
Índices multivariados para seleção simultânea de genótipos de orquídeas
endêmicas do Brasil ameaçadas de extinção / Douglas Garrio Carfane . -- Ilha
Solteira: [s.n.], 2024
33 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) -
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira,
2024

Orientador: Antonio Flávio Arruda Ferreira

Inclui bibliografia

1. Cattleya walkeriana . 2. Cattleya intermedia. 3. Preservação ambiental . 4.
Genética .

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO" FACULDADE
DE ENGENHARIA – UNESP – CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA CURSO DE GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA AGRONÔMICA**

ATA DA DEFESA – TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**TÍTULO: ÍNDICES MULTIVARIADOS PARA SELEÇÃO SIMULTÂNEA DE GENÓTIPOS
DE ORQUÍDEAS ENDÊMICAS DO BRASIL AMEAÇADAS DE EXTINÇÃO.**

ALUNO: DOUGLAS GARRIO CARFANE - RA: 191050229

ORIENTADOR: PROF. DR. ANTONIO FLÁVIO ARRUDA FERREIRA

Aprovado (x) Reprovado () pela Comissão Examinadora com nota obtida: 10,0 (dez)

Comissão Examinadora:

Antonio Flávio Arruda Ferreira

Prof. Dr. Antonio Flávio Arruda Ferreira
1º EXAMINADOR (Orientador-Presidente)

Jaqueline Bonfim de Carvalho

Profa. Dra. Jaqueline Bonfim de Carvalho

2ª EXAMINADORA

Dayane Bortoloto

Profa. Dra. Dayane Bortoloto da Silva

3ª EXAMINADORA

Douglas Garrio Carfane

Douglas Garrio Carfane

Aluno

Ilha Solteira (SP), 27 de junho de 2024.

*À D. Roseli, ao S. Alcino e
ao Querido Lucas Alcino,
minhas eternas inspirações.
Dedico.*

AGRADECIMENTOS

À minha mãe Roseli Garrio, ao meu pai Alcino Carfane, ao meu irmão caçula Lucas Alcino, aos meus avós maternos Arcelina Santana e André Garrio, à minha avó paterna Joana Torres “*em memória*”, que sempre estiveram comigo, me dando todo suporte necessário e amor incondicional. E a todos os membros da minha família.

Aos meus orientadores: Prof. Dr. Antonio Flavio Arruda Ferreira e Prof. Dra. Glaucia Amorim Faria, por todo o suporte, conversas, sugestões e apoio, não apenas na pesquisa e na escrita, mas também pela amizade, carinho e respeito que me foram oferecidos. Suas trajetórias, essência e determinação são fontes eternas de inspiração, espero que um dia alcance essa evolução como ser humano e pesquisador, de ambos profissionais.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, que me proporcionou a realização de um sonho por meio do Programa de Graduação em Engenharia Agrônoma.

Aos meus amigos Otávio Ananias, Kassia Souza, Dayane Bortolotto, Pedro Henrique Milagres, Vinícius Arco, Isabella Garcia, Dyogo Gallo, Ana Carolina Amaral e Karina Souza, pela amizade, amor e todo suporte que me proporcionaram ao longo desses cinco anos de graduação.

À equipe da Seção Técnica de Graduação, da Biblioteca, e todos os demais departamentos por todo apoio técnico-administrativo durante a graduação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa de Iniciação Científica do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) concedida por dois anos para realização das pesquisas de “Comparação de técnicas estatísticas para avaliação de diversidade genética de duas espécies de orquídeas endêmicas do Brasil” e “Cultivo in vitro de orquídeas: explorando o papel dos fitormônios na modulação da anatomia vegetal”.

À todos que de alguma forma contribuíram para este trabalho.

À todos eles, o meu mais sincero agradecimento.

RESUMO

As orquídeas pertencem a um dos grupos de plantas mais conhecidos no comércio ornamental global. As técnicas estatísticas para o estudo da diversidade genética oferecem uma oportunidade de preservar e comercializar tais espécies. Nesse sentido, essa pesquisa teve por objetivo comparar critérios para seleção de genótipos de orquídeas com base nos pigmentos fotossintéticos por meio de índices multivariados de seleção simultânea. Foram utilizadas duas espécies de orquídeas nativas endêmicas do Cerrado, *Cattleya walkeriana* e *Cattleya intermedia*. O experimento foi realizado no município de Três Lagoas - MS, em delineamento inteiramente ao acaso, com 60 genótipos e duas repetições. Aos quatro anos após o plantio, foram colhidas folhas completamente expandidas e sem injúrias para determinação dos teores de clorofila *a* e *b*, carotenóides e feofitina *a* e *b* determinados pelo método espectrofotométrico. As análises estatísticas utilizadas para avaliação da diversidade genética intraespecífica foram MGDI, FAI-BLUP e Smith-Hazel, para seleção de 20% dos melhores genótipos. Os dados foram analisados através do software R. Há variabilidade genética entre os genótipos avaliados, o que evidencia a possibilidade de sucesso com a seleção dos melhores genótipos de *C. walkeriana* e *C. intermedia* para as características avaliadas e todas as estratégias de seleção proporcionaram ganhos genéticos satisfatórios. Portanto, pode-se concluir que o índice de seleção MGDI e FAI-BLUP proporcionaram os maiores ganhos genéticos para a *C. walkeriana*, já para a *C. intermedia*, a escolha do melhor índice de seleção varia de acordo com as variáveis que serão escolhidas pelo programa de melhoramento.

Palavras-chave: *Cattleya walkeriana*; *Cattleya intermedia*; Preservação ambiental; Genética.

ABSTRACT

Orchids belong to one of the best-known groups of plants in the global ornamental trade. Statistical techniques for studying genetic diversity offer an opportunity to preserve and commercialize such species. In this sense, this research aimed to compare criteria for selecting orchid genotypes based on photosynthetic pigments using multivariate simultaneous selection indices. Two species of native orchids endemic to the Cerrado, *Cattleya walkeriana* and *Cattleya intermedia*, were used. The experiment was carried out in the municipality of Três Lagoas - MS, in a completely randomized design, with 60 genotypes and two replications. Four years after planting, completely expanded and uninjured leaves were collected to determine the levels of chlorophyll a and b, carotenoids and pheophytin a and b determined by the spectrophotometric method. The statistical analyzes used to evaluate intraspecific genetic diversity were MGDI, FAI-BLUP and Smith-Hazel, to select 20% of the best genotypes. The data were analyzed using the R software. There is genetic variability among the genotypes evaluated, which highlights the possibility of success with the selection of the best genotypes of *C. walkeriana* and *C. intermedia* for the characteristics evaluated and all selection strategies provided gains satisfactory genetics. Therefore, it can be concluded that the MGDI and FAI-BLUP selection index provided the greatest genetic gains for *C. walkeriana*, whereas for *C. intermedia*, the choice of the best selection index varies according to the variables that will be chosen. by the improvement program.

Keywords: *Cattleya walkeriana*; *Cattleya intermedia*; Simultaneous selection; Genetics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- <i>Cattleya walkeriana</i> (A e C) e <i>Cattleya intermedia</i> (B e D); recipiente (E), substrato (F) e adubo de liberação lenta (G).....	16
Figura 2	- Classificação dos genótipos de <i>Cattleya walkeriana</i> em ordem crescente para o índice MGIDI (a), SH (b) e FAI-BLUP (c). Os genótipos selecionados são mostrados em vermelho. O círculo representa o ponto de corte de acordo com a pressão de seleção.....	20
Figura 3	- Diagrama de Venn entre os índices multi-traços implementados para os genótipos de <i>Cattleya walkeriana</i>	21
Figura 4	- Classificação dos genótipos de <i>Cattleya intermedia</i> em ordem crescente para o índice MGIDI (a), SH (b) e FAI-BLUP (c). Os genótipos selecionados são mostrados em vermelho. O círculo representa o ponto de corte de acordo com a pressão de seleção.....	24
Figura 5	- Diagrama de Venn entre os índices multi-traços implementados para os genótipos de <i>Cattleya intermedia</i>	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Estimativas da variância genotípica ($\hat{\sigma}_g^2(\%)$), herdabilidade (h^2), coeficiente de variação genotípico (CVg), coeficiente de variação relativo (CVr) e p-valor para os caracteres avaliados em <i>Cattleya walkeriana</i>	19
Tabela 2	- Ganhos genéticos (%) previstos para os caracteres avaliados para <i>Cattleya walkeriana</i> de acordo com os índices de seleção...	22
Tabela 3	- Estimativas da variância genotípica ($\hat{\sigma}_g^2(\%)$), herdabilidade (h^2), coeficiente de variação genotípico (CVg), coeficiente de variação relativo (CVr) e p-valor para os caracteres avaliados em <i>Cattleya intermedia</i>	23
Tabela 4	- Ganhos genéticos (%) previstos para os caracteres avaliados para <i>Cattleya intermedia</i> de acordo com os índices de seleção...	26

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
4	CONCLUSÕES.....	29
	REFERÊNCIAS.....	30

1 INTRODUÇÃO

As orquídeas pertencem a um dos grupos de plantas mais conhecidos no comércio global de flores de vaso e corte (De, 2020), são cultivadas e comercializadas para diversos fins, inclusive como plantas ornamentais, em projetos paisagísticos, uso medicinal e alimentício (Molina-Sandoval, 2020; Athipornchai; Jullapo, 2018; Silva *et al.*, 2023). O comércio nacional de plantas ornamentais passou de 10,0 bilhões de reais em 2017 para 19,9 bilhões de reais em 2023, apresentando um crescimento gradativo ano após ano para o setor (Ibraflor, 2024).

O Brasil destaca-se mundialmente por possuir a mais rica diversidade de espécies em sua flora, sendo reconhecidas 52.537 espécies entre nativas, naturalizadas e cultivadas no país (Flora e Funga do Brasil, 2024; BFG, 2021). A subutilização do potencial ornamental que a flora nativa oferece se deve, em parte, à carência de pesquisas no Brasil nesta área e, o processo de urbanização torna-se uma das grandes ameaças ao desaparecimento destas espécies (Fischer *et al.*, 2007).

Pensando na falta de informação e na ameaça que essas plantas têm sofrido, estratégias de conservação eficazes são necessárias para tentar salvá-las para o futuro. A domesticação e o melhoramento genético oferecem uma oportunidade de preservar e comercializar espécies de orquídeas raras e ameaçadas (Pradhan, 2016).

Sendo uma espécie de orquídea nativa do Cerrado central brasileiro (Barros *et al.*, 2010), a *Cattleya walkeriana* se destaca por suas grandes flores em relação ao seu tamanho vegetal reduzido, variabilidade de cores e grande facilidade de cultivo, despertando atenção de orquicultores dentro e fora do país (Menezes, 2011). A *Cattleya intermedia* é uma orquidácea ocorrente no bioma da Mata Atlântica, principalmente nas regiões Sul e Sudeste do Brasil (Flora e Funga do Brasil, 2023), é uma espécie rústica de fácil cultivo que tolera baixas temperaturas, além de dispor uma grande variedade de cores das suas pétalas, que variam do branco até o rosa (Endres-Júnior *et al.*, 2015).

Melhoristas têm utilizado a seleção baseada em características envolvendo indicadores fisiológicos de desempenho, em que ao identificar e selecionar uma característica adaptativa, são capazes de entender o que impulsiona pelo menos uma parte do genótipo pela interação do ambiente (Chapman, 2008).

Na maioria dos programas de melhoramento genético de espécies ornamentais o caráter foco é a floração, e apesar da alta correlação entre os caracteres de crescimento e fisiológicos, a mensuração dos caracteres relacionados à floração pode demorar anos. Além dos caracteres de crescimento, outros importantes que podem influenciar significativamente no desenvolvimento das plantas são os teores de pigmentos fotossintéticos, uma vez que podem ser obtidos em fases iniciais do desenvolvimento dos indivíduos, o que contribui para uma seleção precoce dos genótipos.

Os índices de seleção são técnicas multivariadas com as quais se cria um caráter adicional, teórico, resultante da combinação dos caracteres sobre os quais o melhorista deseja realizar a seleção simultânea (Cruz; Regazzi, 1994). O primeiro índice de seleção foi proposto por Smith (1936), que posteriormente foi adaptado por Hazel (1943), desde então, surgiram inúmeras alternativas de índices de seleção. Dentre esses, podemos citar o índice de seleção FAI-BLUP proposto por Rocha *et al.* (2018), no qual permite o ranqueamento dos genótipos baseado em multi-características sem problemas de multicolinearidade. Além desses, existe o índice de distância genótipo-ideótipo multitraço (MGIDI) proposto por Olivoto e Nardino (2021), que se baseia em múltiplas características e não requer nenhum coeficiente de ponderação arbitrário.

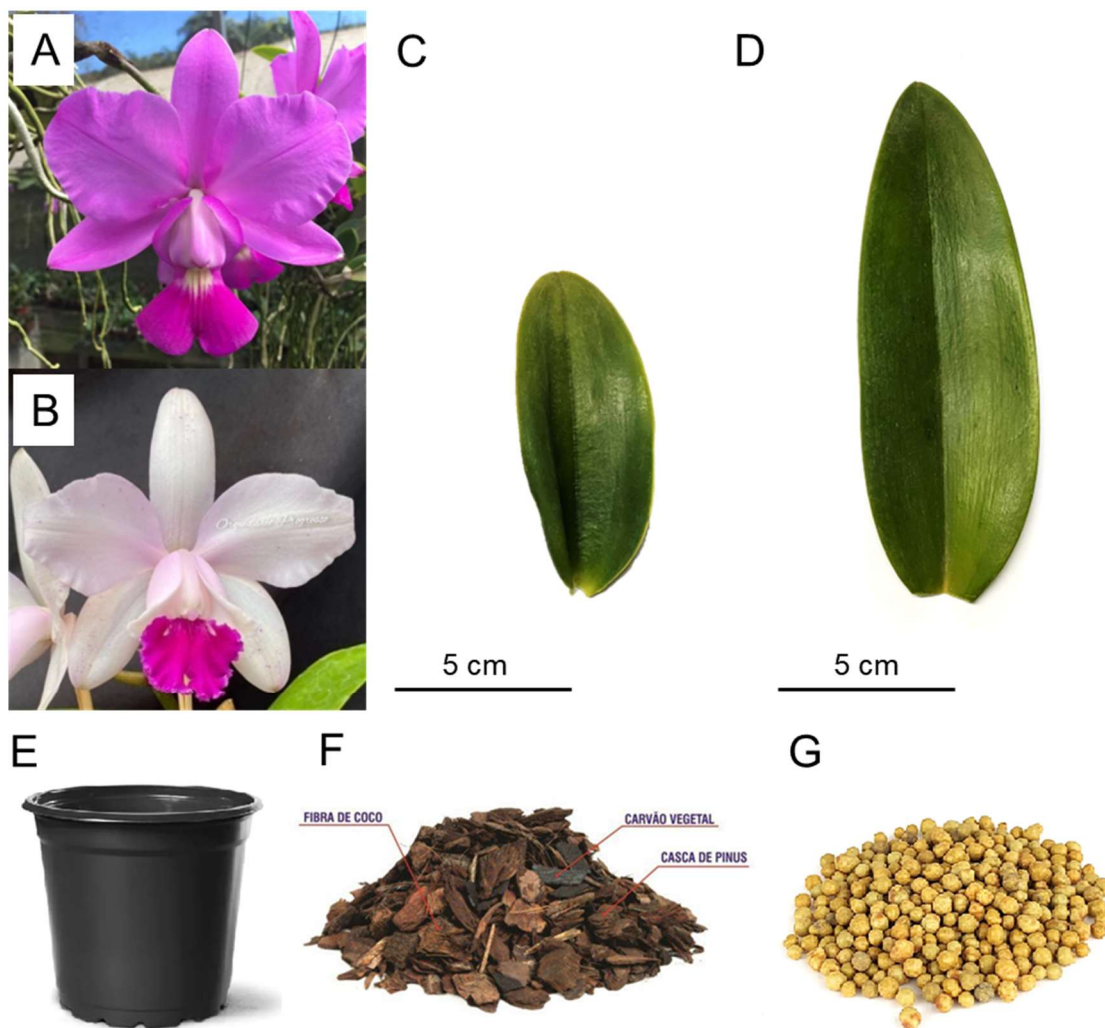
Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi comparar critérios para seleção de genótipos de orquídeas com base nos pigmentos fotossintéticos por meio de índices multivariados de seleção simultânea.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no município de Três Lagoas, MS (20° 45' 35" S, 51° 41' 42" O) em delineamento inteiramente ao acaso, com 60 genótipos e duas repetições para cada espécie estudada.

As espécies *Cattleya walkeriana* (Figura 1A) e *Cattleya intermedia* (Figura 1B) utilizadas neste estudo foram coletadas de diferentes regiões do Brasil, sendo obtidas dos municípios de Três Lagoas e Aparecida do Taboado no estado de Mato Grosso do Sul; e Ilha Solteira, São Carlos, Bertiooga e Guararema no estado de São Paulo.

Figura 1 - *Cattleya walkeriana* (A e C) e *Cattleya intermedia* (B e D); recipiente (E), substrato (F) e adubo de liberação lenta (G)



Fonte: Ocotea.net.br (A); Orquidarioprogresso.com.br (B); Elaboração do autor (C e D); Produto.mercadolivre.com.br (E); Plantei.com.br (F); Bonsaiterapia.com.br (G).

Os genótipos de orquídeas foram obtidos de polinização aberta/natural e as plantas foram cultivadas em vasos plásticos de polipropileno preto nº 15 (1 L - 14,7 x 11,3 cm) (Figura 1E), preenchidos com substrato composto de fibra de coco, casca de pínus e carvão vegetal (2:3:1) (Figura 1F), fertilizadas com adubo de liberação lenta [N (15%), P (9%), K (12%), Mg (1,3%), S (6%), Cu (0,05%), Fe (0,46%), Mn (0,065) e Mo (0,02%)] a cada 8 meses, totalizando seis aplicações (Figura 1G).

Aos quatro anos após o plantio foram colhidas folhas completamente expandidas e sem injúrias de *Cattleya walkeriana* (Figura 1C) e *Cattleya intermedia* (Figura 1D), para determinação dos teores de clorofila A (CA); clorofila B (CB); clorofila total (CT); carotenóides (CAR); feofitina A (FA); feofitina B (FB) e total (FT). Essas variáveis foram determinadas pelo método espectrofotométrico proposto por Lichtenthaler (1987), realizando a leitura em diferentes comprimentos de ondas, e utilizando material vegetal fresco armazenado em extrato de acetona a 80%. A absorbância foi medida nos comprimentos de onda a 470 nm, 647 nm, 654 nm, 663 nm e 666 nm.

Inicialmente, foi realizada análise de variância, considerando os genótipos como efeito aleatório, para verificar a presença de variabilidade genética em cada espécie. Posteriormente, para cada espécie, foram utilizados os índices de seleção: MGIDI, FAI-BLUP e Smith-Hazel para seleção de 20% dos melhores genótipos.

A aplicação do índice MGIDI seguiu a metodologia proposta por Olivoto e Nardino (2021), na qual essa metodologia é centrada em quatro etapas principais: (I) redimensionar as características de modo que todas tenham um intervalo de 0-100; (II) usando a análise fatorial para contabilizar a estrutura de correlação e a redução da dimensionalidade dos dados; (III) planejar um ideótipo com base em valores conhecidos ou desejados de características e (IV) calcular a distância entre cada genótipo ao ideótipo planejado.

O índice de seleção FAI-BLUP, proposto por Rocha *et al.* (2018), une técnicas de análise de fatores com a proposição de ideótipos. O primeiro passo é definir o número de ideótipos. O número de fatores é definido com base na combinação de fatores desejáveis e indesejáveis para o objetivo da seleção que deve ser igual ao número de autovalores (variância dos componentes principais) maiores ou igual a um. Após os ideótipos serem determinados foi estimada a distância de cada genótipo de acordo com os seu ideótipo, convertendo os valores em uma probabilidade espacial e a distância genótipo–ideótipo baseado na distância euclidiana padronizada.

O índice de Smith-Hazel (1936; 1943) consiste numa combinação linear de vários caracteres de importância econômica e os coeficientes de ponderação são estimados de modo a maximizar a correlação entre o índice e o agregado genotípico. Este é estabelecido por uma outra combinação linear, envolvendo os valores genéticos, os quais são ponderados por seus respectivos valores econômicos. Todas as análises estatísticas foram realizadas usando o software R 3.5.2 (R Core Team, 2018), utilizando o pacote metan (Olivoto *et al.*, 2019).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Efeitos genotípicos significativos ($P < 0,05$) foram observados para todas as características analisadas (Tabela 1). A herdabilidade de sentido amplo com base na média do genótipo (h^2) variou de 0,975 (CAR) a 0,999 (CB, CT, FA, FB). Altos valores de herdabilidade ($h^2 > 0,8$) foram observados para todas as características (Tabela 1), sugerindo boas perspectivas de ganhos de seleção para essas características.

Tabela 1 - Estimativas da variância genotípica ($\hat{\sigma}_g^2(\%)$), herdabilidade (h^2), coeficiente de variação genotípico (CVg), coeficiente de variação relativo (CVr) e p-valor para os caracteres avaliados em *Cattleya walkeriana*

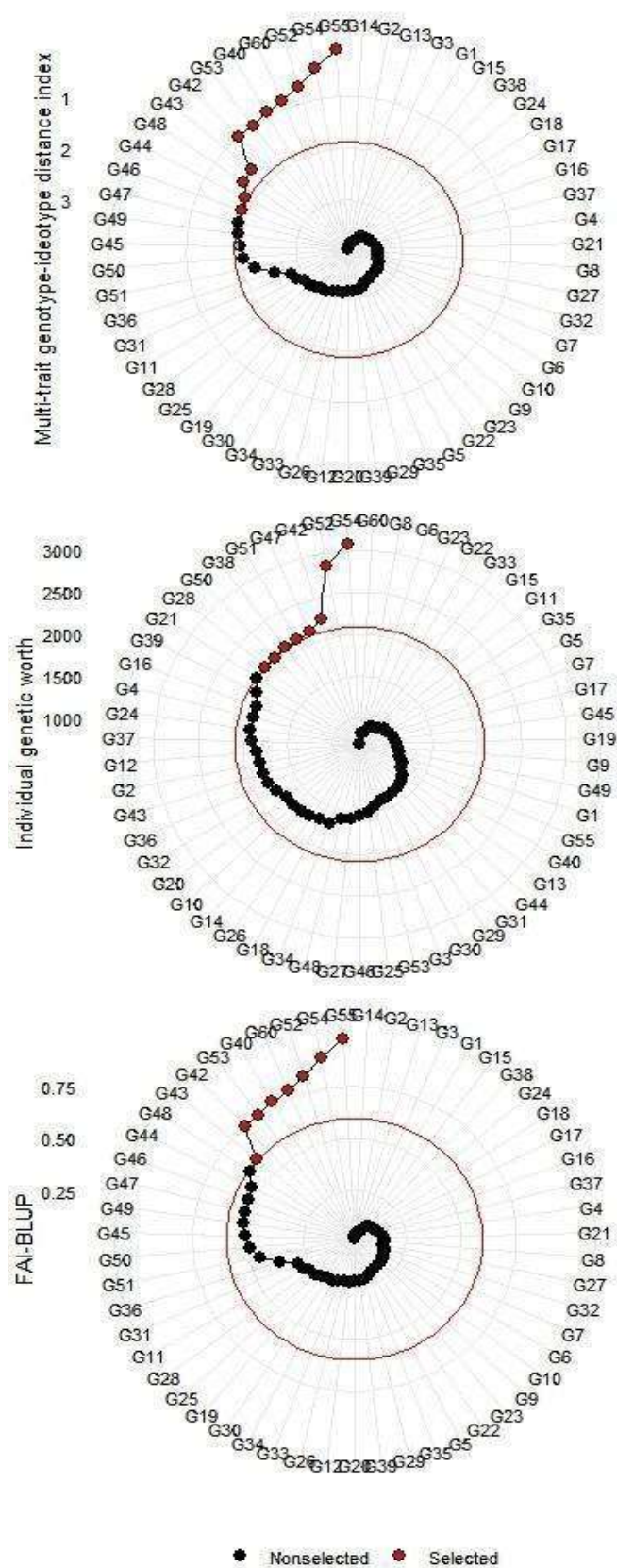
Caracteres	$\hat{\sigma}_g^2(\%)$	h^2	CVg	CVr	p-valor
Clorofila A	199 (99,8)	0,998	24,1	0,998	0,01902**
Clorofila B	131 (99,9)	0,999	18,9	0,326	0,01378**
Clorofila Total	641 (99,9)	0,999	21,2	0,051	0,00145**
Carotenóides	10,1 (97,5)	0,975	18,5	2,970	0,01719**
Feofitina A	443 (99,9)	0,999	24,1	0,629	0,01789**
Feofitina B	224 (99,9)	0,999	19,0	0,090	0,00283**
Feofitina Total	1276 (99,5)	0,995	21,7	1,560	0,00787**

** Significativos a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração do autor.

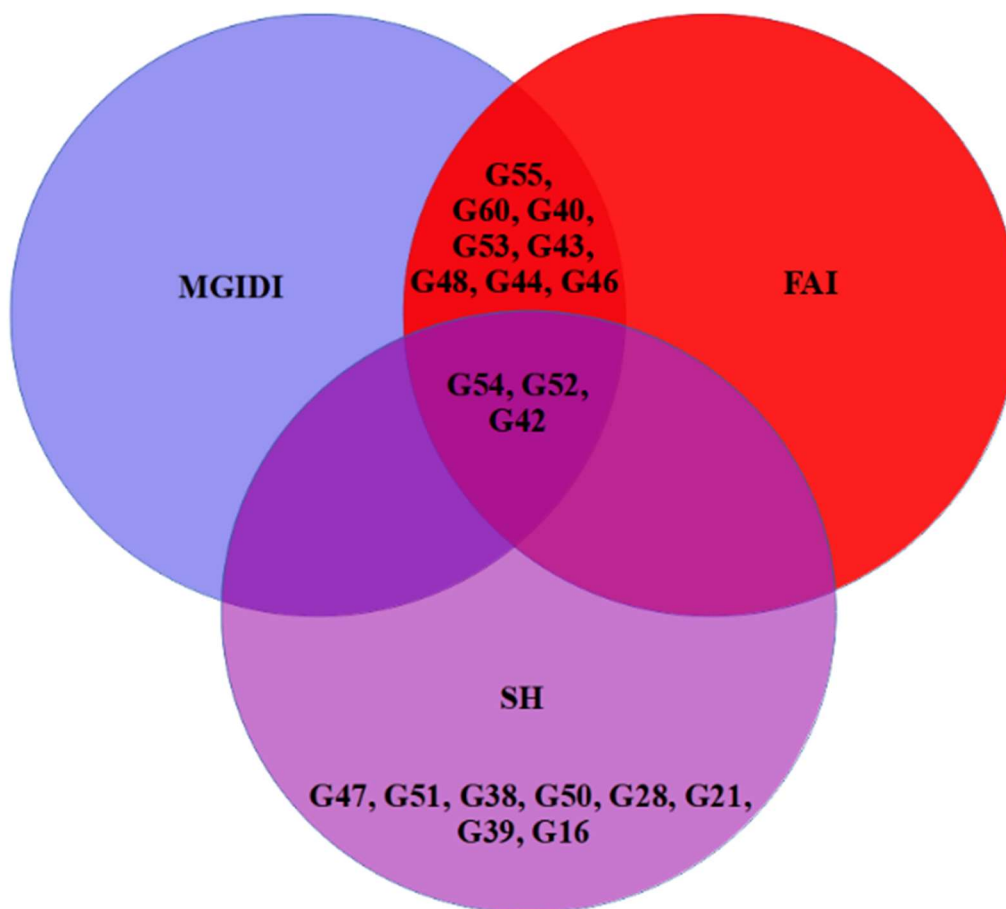
Os genótipos selecionados pelo índice MGIDI foram G55, G54, G52, G60, G40, G53, G42, G43, G48, G44 (Figura 2). G46 estava muito perto do ponto de corte (linha vermelha que indica o número de genótipos selecionados de acordo com a pressão de seleção), o que sugere que este genótipo pode apresentar características interessantes. Assim, o pesquisador deve dar atenção para investigar genótipos que estão muito próximos do ponto de corte. Dos 11 genótipos selecionados, o índice MGIDI compartilha apenas três com o índice FAI-BLUP e 11 com o índice SH. Apenas três genótipos (G54, G52, G42) eram comuns a todos os índices (Figura 3).

Figura 2 - Classificação dos genótipos de *Cattleya walkeriana* para o índice MGIDI
(a), SH (b) e FAI-BLUP (c)



Fonte: Elaboração do autor.

Figura 3 - Diagrama de Venn entre os índices multi-traços implementados para os genótipos de *Cattleya walkeriana*



Fonte: Elaboração do autor.

Para os índices de seleção MGIDI e FAI-BLUP pode-se observar, para todos os caracteres avaliados, ganhos genéticos de interesse (Tabela 2). Isso reforça os resultados observados em estudos realizados por Olivoto *et al.* (2019), que sugeriram os índices MGIDI e FAI-BLUP como os mais eficientes para selecionar genótipos com as características desejadas.

Tabela 2 - Ganhos genéticos (%) previstos para os caracteres avaliados para *Cattleya walkeriana* de acordo com os índices de seleção

Caracteres	MGIDI	SH	FAI-BLUP
Clorofila A	40,2	12,5	40,3
Clorofila B	31,3	10,5	31,3
Clorofila Total	35,7	11,5	35,7
Carotenóides	27,1	8,10	27,1
Feofitina A	40,3	13,4	40,3
Feofitina B	31,8	5,49	31,8
Feofitina Total	36,3	9,73	36,3

Fonte: Elaboração do autor.

Comparado ao SH, o MGIDI e o FAI-BLUP proporcionaram ganhos mais equilibrados para as características analisadas. Além disso, os índices MGIDI e FAI-BLUP proporcionaram os maiores ganhos totais, ou seja, acima de 27,10% para as características que desejavam aumentar (Tabela 2).

Efeitos genotípicos significativos ($P < 0,05$) foram observados para todas as características analisadas, exceto FB (Tabela 3). A herdabilidade de sentido amplo com base na média do genótipo (h^2) variou de 0,000 (FB) a 0,999 (CA). Altos valores de herdabilidade ($h^2 > 0,8$) foram observados para todas as características, exceto FB (Tabela 3), sugerindo boas perspectivas de ganhos de seleção para essas características.

Tabela 3 - Estimativas da variância genotípica ($\hat{\sigma}_g^2(\%)$), herdabilidade (h^2), coeficiente de variação genotípico (CVg), coeficiente de variação relativo (CVr) e p-valor para os caracteres avaliados em *Cattleya intermedia*

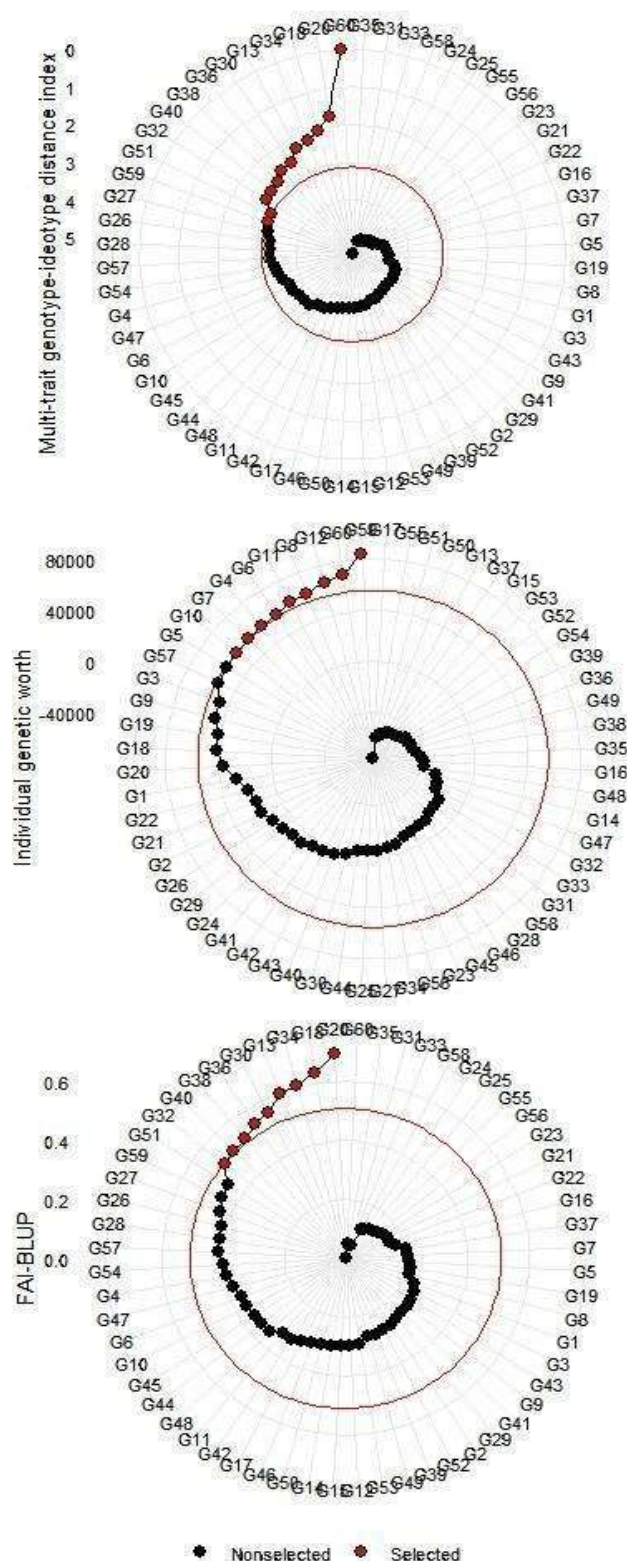
Caracteres	$\hat{\sigma}_g^2(\%)$	h^2	CVg	CVr	p-valor
Clorofila A	636 (99,9)	0,999	23,8	0,561	0,02485**
Clorofila B	581 (93,6)	0,936	22,8	5,950	0,04843**
Clorofila Total	2314 (98,9)	0,989	22,7	2,400	0,04790**
Carotenóides	41,6(93,9)	0,939	22,6	5,780	0,04174**
Feofitina A	1385 (98,6)	0,986	23,6	2,830	0,02338**
Feofitina B	0 (0)	0,000	0,00	23,200	0,07912 ^{ns}
Feofitina Total	4483 (99,7)	0,997	22,8	1,280	0,04953**

** Significativos a 5% de probabilidade; ^{ns} Não significativo a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração do autor.

Os genótipos selecionados pelo índice MGIDI foram G60, G20, G18, G34, G13, G30, G36, G38, G40, G32 (Figura 4). G51 E G59 para o índice MGIDI, G6, G4, G7 e G10 para o índice SH e G32 e G51 para o índice FAI-BLUP estavam muito perto do ponto de corte (linha vermelha que indica o número de genótipos selecionados de acordo com a pressão de seleção), o que sugere que estes genótipos podem apresentar características interessantes.

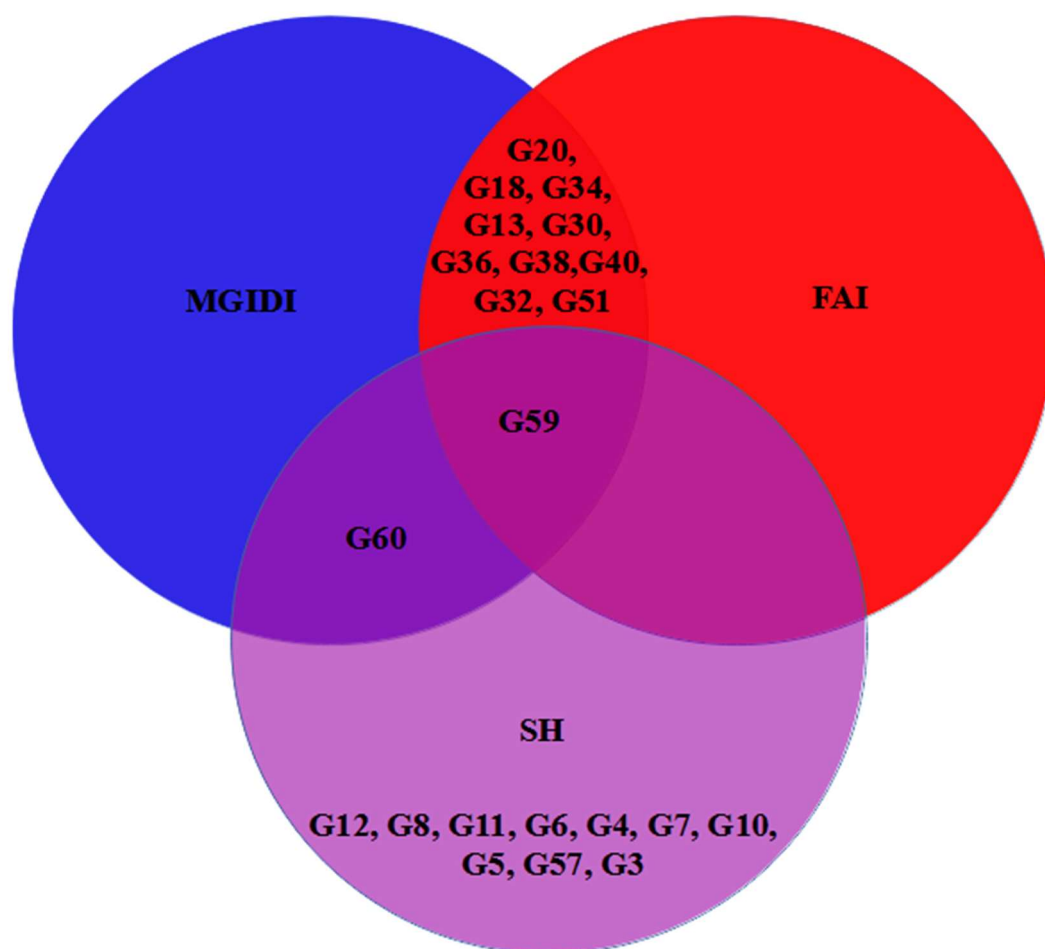
Figura 4 - Classificação dos genótipos de *Cattleya intermedia* em ordem crescente para o índice MGIDI (a), SH (b) e FAI-BLUP (c). Os genótipos selecionados são mostrados em vermelho. O círculo representa o ponto de corte de acordo com a pressão de seleção



Fonte: Elaboração do autor.

Dos 12 genótipos selecionados, o índice MGIDI compartilha apenas dois com o índice FAI-BLUP e 11 com o índice SH. Apenas um genótipo (G59) era comum a todos os índices (Figura 5).

Figura 5 - Diagrama de Venn entre os índices multi-traços implementados para os genótipos de *Cattleya intermedia*



Fonte: Elaboração do autor.

Comparado ao SH e o FAI-BLUP, o MGIDI proporcionou ganhos mais equilibrados para as características CA e FA (Tabela 4). Além disso, o índice SH para todos os caracteres avaliados proporcionou os maiores ganhos totais (Tabela 2). A única característica com ganho de seleção indesejado (0,0%) pelo índice SH foi o FB.

Tabela 4 - Ganhos genéticos (%) previstos para os caracteres avaliados para *Cattleya intermedia* de acordo com os índices de seleção

Caracteres	MGIDI	SH	FAI-BLUP
Clorofila A	41,3	33,3	36,8
Clorofila B	21,4	31,0	15,0
Clorofila Total	6,79	33,2	5,50
Carotenóides	9,13	29,6	7,79
Feofitina A	39,8	32,6	35,3
Feofitina B	23,0	0,0	18,0
Feofitina Total	26,9	33,4	22,5

Fonte: Elaboração do autor.

A variabilidade genética é condição essencial para o estabelecimento de um programa de melhoramento genético de orquídeas no Brasil. Os resultados aqui apresentados são animadores, pois revelam a possibilidade de obtenção de ganhos genéticos e, conseqüentemente, sucesso na seleção das características avaliadas.

O índice MGIDI demonstrou ter muitas aplicações práticas, pois permite um processo de seleção único e fácil de interpretar. Além de lidar com características colineares, o índice MGIDI não requer o uso de pesos econômicos, como no índice SH, no qual se pode prever ganhos genéticos e econômicos para várias combinações possíveis de parâmetros genéticos e pesos econômicos assumidos (Bizari *et al.*, 2017; Burdon; LI, 2019).

Neste estudo, o índice MGIDI superou os índices FAI-BLUP e SH, pois proporcionou ganhos mais equilibrados para a espécie *Cattleya walkeriana*. Isso significa que o índice MGIDI pode ajudar os melhoristas a garantir ganhos de longo prazo em características fisiológicas, possivelmente sem comprometer os ganhos genéticos de características secundárias (por exemplo, forma da planta e floração). Um exemplo claro seria a seleção de híbridos de milho resistentes ao estresse com base em características secundárias adaptáveis ao estresse, juntamente com produtividade de grãos (Nelimor *et al.*, 2020), uma abordagem com apelo crescente considerando as mudanças climáticas em vista.

Gershenzon e Dudareva (2007) observaram que a incidência de luz teve efeitos significativos no teor de óleo essencial, com o melhor teor a pleno sol. O óleo essencial tem diferentes funções nas plantas, e uma delas é a proteção contra os estresses

ambientais. Altas irradiâncias podem ter promovido danos ao aparelho fotossintético, reduzindo a produção de matéria seca (Gonzalez-Burgos; Gomez-Serranillos, 2012). Essa condição, entretanto, pode ter promovido a ativação de mecanismos de proteção promovendo o aumento do teor de óleo essencial que também pode ser considerado na questão das mudanças climáticas.

Ao considerar em conjunto as estimativas de variância e herdabilidade, é possível inferir a possibilidade de seleção de genótipos de orquídeas superiores por meio da aplicação de métodos de seleção. A resposta à seleção pode ser avaliada pelo ganho genético obtido com os métodos de seleção. O ganho genético pode ser definido por um melhor desempenho obtido por meio da seleção no programa de melhoramento (Xu *et al.*, 2019). Nesse sentido, os ganhos genéticos foram previstos por diferentes métodos de seleção. Em ordem decrescente, os métodos que forneceram os maiores ganhos genéticos foram MGIDI, FAI-BLUP e SH.

A escolha do método de seleção adequado depende da magnitude e direção dos ganhos genéticos previstos e da facilidade de aplicação (Rosado *et al.*, 2009). Outra questão a ser levada em consideração é que o melhoramento genético de orquídeas é incipiente, não havendo ainda nenhuma cultivar registrada ou mesmo informações sobre a variabilidade genética destas espécies no Brasil. Vale ressaltar que, muitos cruzamentos são realizados por orquidófilos e orquidários comerciais e não são publicados. Informações sobre a variabilidade genética e as melhores estratégias a serem adotadas na seleção de genótipos superiores são de extrema relevância para as espécies, pois contribuem para uma exploração mais eficiente dos materiais genéticos disponíveis.

Esses resultados são fundamentais para orientar as estratégias de melhoramento de orquídeas, principalmente no que se refere à diversidade genética entre os genótipos. Os achados aqui relatados podem ser aplicados de três formas em um programa de melhoramento de *C. walkeriana* e *C. intermedia*: (I) recombinação entre os indivíduos selecionados para obtenção de novas populações de melhoramento visando maiores teores de pigmentos fotossintéticos; (II) clonagem dos melhores indivíduos para teste de valor para cultivo e uso (VCU) visando o registro do primeiro cultivar destas espécies no Brasil; e (III) busca e identificação de plantas matrizes para coleta de sementes visando à produção de mudas.

A obtenção de informações por meio da pesquisa tem sido decisiva para dar suporte tecnológico ao desenvolvimento de novas culturas. Entre as várias

tecnologias desenvolvidas para a prospecção de novas culturas, a escolha adequada de genótipos constitui um dos principais componentes do sistema de produção das culturas. Nos trabalhos de melhoramento de espécies perenes, a obtenção de fenótipos superiores para seleção e recombinação de progênies e indivíduos é uma ferramenta de considerável importância. A seleção baseada em um ou poucos caracteres pode se mostrar inadequada por não levar a um produto superior com relação a vários caracteres.

4 CONCLUSÕES

Há variabilidade genética entre os genótipos avaliados, o que evidencia a possibilidade de sucesso com a seleção dos melhores genótipos de *C. walkeriana* e *C. intermedia* para as características avaliadas e todas as estratégias de seleção proporcionaram ganhos genéticos satisfatórios. Portanto, pode-se concluir que o índice de seleção MGIDI e FAI-BLUP proporcionaram os maiores ganhos genéticos para a *C. walkeriana*, já para a *C. intermedia*, a escolha do melhor índice de seleção varia de acordo com as variáveis que serão escolhidas pelo programa de melhoramento.

REFERÊNCIAS

- ATHIPORNCHAI, A.; JULLAPO, N. Tyrosinase inhibitory and antioxidant activities of Orchid (*Dendrobium spp.*). **South African Journal of Botany**, v. 119, p. 188-192, 2018
- BARROS, F. *et al.* **Orchidaceae**: Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2010.
- BFG (The Brazil Flora Group) 2021. **Flora do Brasil 2020**. 1-28 pp. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. <http://doi.org/10.47871/jbrj2021001>
- BIZARI, E. H. *et al.* Selection indices for agronomic traits in segregating populations of soybean1. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, p. 110-117, 2017.
- BONSAI TERAPIA. **Insumos: Adubo Osmocote Plus 15-9-15 (8m) - 500gr**. Brasil: Bonsai Terapia. <https://www.bonsaiterapia.com.br/insumos/adubo-osmocote-plus-15-9-12-8m-500gr>. Acesso em: 18 jul. 2024.
- BURDON, R. D.; LI, Y. Genotype-environment interaction involving site differences in expression of genetic variation along with genotypic rank changes: simulations of economic significance. **Tree Genetics & Genomes**, v. 15, n. 1, p. 1-10, 2019.
- CHAPMAN, S. C. Uso de modelos de cultivo para entender as interações genótipo por ambiente para secas em testes de melhoramento de plantas simulados e no mundo real. **Eufítica**, v. 161, n. 1, p. 195-208, 2008.
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Universidade Federal de Viçosa, 2006.
- DE, L. C. Export and Import Scenario of Orchids in India. **Journal of Agriculture and Forest Meteorology Research**, v. 3, n. 5, p. 402-404, 2020.

ENDRES-JÚNIOR, D. *et al.* Reintrodução de *Cattleya intermedia* Graham (Orchidaceae) em borda e interior de um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 13, n. 1, p. 33-40, 2015.

FISCHER, S. Z. *et al.* Sementes de espécies nativas do Brasil no mercado internacional de plantas ornamentais. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. S1, p. 510-512, 2007.

FLORA E FUNGA DO BRASIL. **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil> . Acesso em: 15 de julho de 2024.

FLORA E FUNGA DO BRASIL. **Programa Reflora**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Acesso em: 7 de junho de 2024.

GERSHENZON, J.; DUDAREVA. N. The function of terpene natural products in the natural world. **Nature Chemical Biology**, v. 3, p. 408–414, 2007.

GONZALEZ-BURGOS, E.; GOMEZ-SERRANILLOS, M. P. Terpene Compounds in Nature: A Review of Their Potential Antioxidant Activity. **Current Medicinal Chemistry**, v. 19, n. 31, p. 5319–5341, 2012.

HAZEL, L. N. The genetic basis for constructing selection indexes. **Genetics**, v. 28, n. 6, p. 476-490, 1943.

INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORICULTURA (Ibraflor). **O mercado de flores no Brasil (01/2024)**. Campinas, 2024. Disponível em: <https://www.ibraflor.com.br/>. Acesso em: 07 jun. 2024.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in enzymology**, v. 148, p. 350-382, 1987.

MENEZES, L. C. ***Cattleya walkeriana***. Brasília: Ibama, 2011. 273 p.

MOLINA SANDOVAL, L. J. Evaluación de la actividad antioxidante de los extractos etanólicos de cinco especies de orquídeas de los géneros *Maxillaria*, *Catasetum* y *Epidendrum*, presentes en el Ecuador. **Trabalho de Conclusão de Curso**, 2020.

MERCADO LIVRE. **100 vasos pote n15 rosa do deserto suculentas outras preto**. Brasil: Mercado Livre, [2024]. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2930325575-100-vasos-pote-n15-rosa-do-deserto-suculentas-outras-preto>. Acesso em: 18 jul. 2024.

NELIMOR, C. *et al.* Assessing the potential of extra-early maturing landraces for improving tolerance to drought, heat, and both combined stresses in maize. **Agronomy**, v. 10, n. 3, p. 318, 2020.

OCOTEA.NET. **Produto: Walkeriana tipo - adulta**. Brasil: Ocotea.net. <https://www.ocotea.net.br/produto/walkeriana-tipo-adulta/>. Acesso em: 18 jul. 2024.

OLIVOTO, T.; NARDINO, M. MGIDI: toward an effective multivariate selection in biological experiments. **Bioinformatics**, v. 37, n. 10, p. 1383-1389, 2021.

OLIVOTO, T. *et al.* Mean performance and stability in multi-environment trials II: Selection based on multiple traits. **Agronomy Journal**, v. 111, n. 6, p. 2961-2969, 2019.

ORQUIDÁRIO PROGRESSO. **Produtos: Cattleya Intermedia “tipo”**. Brasil: Orquidário Progresso. <https://www.orquidarioprogresso.com.br/produtos/cattleya-intermedia-tipo/>. Acesso em: 18 jul. 2024.

PLANTEI. **Substrato para Orquídeas Forth 1kg - Fibra de coco, casca de pinus e carvão vegetal**. Brasil: Plantei, [2024]. <https://www.plantei.com.br/substrato-para-orquideas-forth-1kg-fibra-de-coco-casca-de-pinus-e-carvao-vegetal>. Acesso em: 18 jul. 2024.

PRADHAN, S. *et al.* Efficient plant regeneration of *Cymbidium aloifolium* (L.) Sw., a threatened orchid of Nepal through artificial seed technology. **American Journal of Plant Sciences**, v. 7, n. 14, p. 1964-1974, 2016.

ROCHA, J. R. do A. S. de C. *et al.* Multitrait index based on factor analysis and ideotype-design: proposal and application on elephant grass breeding for bioenergy. **Gcb Bioenergy**, v. 10, n. 1, p. 52-60, 2018.

ROSADO, A. M. *et al.* Predicted genetic gains by various selection methods in *Eucalyptus urophylla* progenies. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 12, p. 1653-1659, 2009.

SILVA, W. *et al.* Biotecnologia da vanilina: Uma revisão sobre suas características e atividades biológicas. **Estrabão**, v. 4, p. 112-124, 2023.

SMITH, H. F. A discriminant function for plant selection. **Annals of eugenics**, v. 7, n. 3, p. 240-250, 1936.

TEAM, R. Core *et al.* Package stats. **The R Stats Package**, 2018.

THE BRAZIL FLORA GROUP (BFG). **Flora do Brasil 2020**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1-28 pp. 2021. <http://doi.org/10.47871/jbrj2021001>

XU, Y. *et al.* Enhancing genetic gain through genomic selection: from livestock to plants. **Plant communications**, v. 1, n. 1, p. 100005, 2020.