

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

LUCIANA ALVES DE SOUSA

ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS, CORRELAÇÕES E ÍNDICES DE
SELEÇÃO EM LINHAGENS DE ALFACE CRESPA, ROXA E BIOFORTIFICADA

Monte Carmelo
2026

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

LUCIANA ALVES DE SOUSA

ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS, CORRELAÇÕES E ÍNDICES DE
SELEÇÃO EM LINHAGENS DE ALFACE CRESPA, ROXA E BIOFORTIFICADA

Trabalho de Conclusão apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo, como requisito necessário para a obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientador (a): Dra Ana Carolina Silva Siquieroli

Monte Carmelo
2026

LUCIANA ALVES DE SOUSA

ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS, CORRELAÇÕES E ÍNDICES DE
SELEÇÃO EM LINHAGENS DE ALFACE CRESPA, ROXA E BIOFORTIFICADA

Trabalho de Conclusão apresentado ao
curso de Agronomia da Universidade
Federal de Uberlândia, Campus Monte
Carmelo, como requisito necessário para
a obtenção do grau de Engenheiro
Agrônomo.

Monte Carmelo, 13 de março de 2026

Banca Examinadora

Prof. Dra. Ana Carolina Silva Siquieroli
Orientador (a)

Msc. Natália Reis de Almeida
Membro da Banca

Me. Jessica Mieke Ota Alves
Membro da Banca

Monte Carmelo
2026

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUÇÃO	9
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	11
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
4 CONCLUSÕES	26
5 REFERÊNCIAS	27

ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS, CORRELAÇÕES E ÍNDICES DE SELEÇÃO EM LINHAGENS DE ALFACE CRESPA, ROXA E BIOFORTIFICADA

RESUMO

A alface é considerada a hortaliça folhosa mais consumida no Brasil e no mundo e a alface roxa tem alcançado nichos de mercado específicos. Estimativas de parâmetros genéticos, correlações e índices de seleção ajudam a determinar o efeito da seleção em todos os caracteres de interesse, com poucos estudos em germoplasma de alface roxa. O objetivo do presente estudo foi estimar parâmetros genéticos, as correlações e a eficiência de diferentes índices para a seleção de linhagens de alface crespa, roxa e biofortificadas. As análises estatísticas foram realizadas com base em 30 genótipos de alface (29 linhagens provenientes da hibridação entre as cultivares Pira 72 *versus* Uberlândia 10000 e 1 cultivar comercial Pira 72) pertencentes ao banco de germoplasma de alfaces biofortificadas da Universidade Federal de Uberlândia. Foram avaliados o peso da massa fresca, diâmetro da planta, diâmetro da haste, número de folhas, teor de antocianina, teor de clorofila a, teor de clorofila b, teor de clorofila total, teor de carotenóides, índice SPAD e temperatura foliar. Existem correlações positivas entre clorofila total e clorofila a, clorofila b e teor de carotenóides, bem como entre SPAD e teor de clorofila a. Os parâmetros teor de antocianina e SPAD e teor de clorofila a, apresentaram correlação negativa. O índice da soma de “ranks” de Mulamba e Mock se destacou e foram selecionadas 10 linhagens promissoras para serem lançadas como novos cultivares de alface roxa biofortificada.

Palavras-chave: alface roxa; antocianina; ganhos de seleção; variabilidade genética

ESTIMATES OF GENETIC PARAMETERS, CORRELATIONS AND SELECTION INDICES IN CURLY, RED AND BIOFORTIFIED LETTUCE LINES

ABSTRACT

Lettuce is considered the most consumed leafy vegetable in Brazil and worldwide, and red lettuce has reached specific niche markets. Estimates of genetic parameters, correlations and selection indexes help to determine the effect of selection on all characters of interest, with few studies on germplasm of red lettuce. The aim of the present study was to estimate genetic parameters, correlations and the efficiency of different indexes for the selection of curly, red and biofortified lettuce strains. Statistical analyzes were performed based on 30 lettuce genotypes (29 strains from hybridization between the cultivars Pira 72 versus Uberlândia 10000 and 1 commercial cultivar - Pira 72) belonging to the germplasm bank of biofortified lettuce from the Federal University of Uberlândia. Fresh weight, plant diameter, stem diameter, number of leaves, anthocyanin content, chlorophyll a content, chlorophyll b content, total chlorophyll content, carotenoid content, SPAD index and leaf temperature were evaluated. There are positive correlations between total chlorophyll and chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoid content, as well as between SPAD and chlorophyll a content. The parameters of anthocyanin content and SPAD and chlorophyll a content showed a negative correlation. The Mulamba and Mock ranks index stood out and 10 promising strains were selected to be launched as new biofortified red lettuce cultivars.

Keywords: anthocyanin; genetic variability; red lettuce; selection gains

1 INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa L.*) é considerada a hortaliça folhosa mais consumida no Brasil e no mundo destacando-se como uma espécie de grande importância econômica e nutricional, sendo comercializada, principalmente *in natura*, apresentando diferentes formatos de cabeça, tipos e cores de folhas (SALA; COSTA, 2016).

Entre os diversos tipos de alfaces produzidos no Brasil, mais de 2000 hectares são de alfaces roxas (ABCSEM, 2016). O cultivo de alface roxa tem permitido aos produtores agregar valor e alcançar nichos de mercado específicos, como as saladas prontas, assim como também para consumo processada, pois a cor da folha é um indicador de qualidade e é uma característica visual muito apreciada pelo consumidor (MAGALHÃES et al., 2017; MACIEL et al., 2019a).

Os principais grupos de pigmentos encontrados em alfaces e que são responsáveis pela coloração das mesmas são as clorofilas (como as clorofilas a e b), que causam a cor verde, os carotenoides (como o β -caroteno), responsáveis pela cor amarelo-laranja, que geralmente é mascarada em tecidos fotossinteticamente ativos, e os flavonóides (como as antocianinas), que proporcionam a cor vermelho-roxo nas folhas (ROCHA; REED, 2014).

Os pigmentos presentes na alface desempenham importantes funções fisiológicas, como processos fotossintéticos e defesa contra o estresse luminoso, mas também beneciciam a saúde humana, por sua ação antioxidante, antiinflamatória e propriedades anticarcinogênicas (KHOO et al., 2017; MAGALHAES et al., 2017).

Os carotenóides são pigmentos que protegem a molécula de clorofila contra a foto-oxidação em condições de luz excessiva além de auxiliarem na prevenção de várias doenças associadas ao estresse oxidativo, sendo precursores da vitamina A (ROCHA; REED, 2014; CASSETARI et al., 2015).

A clorofila é fundamental no processo de absorção de luz utilizada na fotossíntese, sendo descrita como o pigmento mais abundante nos tecidos vegetais, além de possuir propriedades anticancerígenas, efeito desintoxicante das células e poder de inibição dos radicais livres (ROCHA; REED, 2014).

As antocianinas são pigmentos produzidos através do metabolismo secundário das plantas, sendo encontrada em abundância em alfaces de coloração vermelho- roxa

(SYTAR et al., 2018). Esse pigmento desempenha um papel importante devido à sua atividade antioxidante, prevenção de doenças cardiovasculares e neurodegenerativas, alergias, osteoporose, entre outros benefícios a saúde humana (KRUGER, et al., 2014; LIU et al., 2018).

A mudança dos hábitos alimentares e a maior preocupação com a saúde afeta de forma direta a demanda por alface de maior qualidade nutricional, levando a um aumento na quantidade e variedade de produtos disponíveis ao consumidor (MULAGABAL et al., 2010; PEIXOTO et al., 2020). Nesse sentido, Cecatto (2012) ressaltou que a crescente procura por alface roxa em relação à alface verde se dá por conta da presença e do maior conteúdo de compostos fenólicos, fibras e vitamina C e que a ingestão regular de alface roxa diminui a peroxidação dos lipídios no organismo graças à presença de antioxidantes, como a antocianina.

Os programas de melhoramento de alface visam principalmente desenvolver cultivares produtivas, com características agronômicas desejáveis, contudo o ramo de desenvolvimento de alfaces biofortificadas, como a seleção de genótipos com maior teor de carotenóides, vem crescendo (SOUSA et al., 2007; CASSETARI et al., 2015; JACINTO et al., 2019; SOUSA et al., 2019; SILVEIRA et al., 2019; SOUSA et al., 2020; OLIVEIRA et al., 2019), porém a maioria se refere a germoplasma de alfaces verdes.

Foi observada correlação positiva entre teor de carotenóide e teor de clorofila em alface, mensurado de forma indireta com a utilização do índice *Soil Plant Analysis Development* (SPAD) (SILVA et al., 2014; CASSETARI et al., 2015). Para fins de melhoramento de plantas, estudos de correlação ajudam a determinar o efeito da seleção em todos os caracteres de interesse (OLAWUYI et al., 2014). Nesse sentido, as correlações fenotípicas e genotípicas são as mais utilizadas pelos melhoristas sendo que essa última envolve associações de natureza herdável e são de baixa complexidade de obtenção (CRUZ et al., 2012).

Além disso, as estimativas de parâmetros genéticos, como coeficiente de determinação genotípica e ganho genético permitem fazer inferências sobre a variabilidade genética que o germoplasma apresenta e o que pode se esperar de ganho com seleção. As estimativas obtidas são usadas pelo melhorista para definir as melhores estratégias de seleção para a obtenção de genótipos superiores (CORREIA et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2019).

Um dos grandes entraves nos programas de melhoramento de alface tem sido selecionar genótipos superiores a partir de múltiplas variáveis de interesse (MACIEL et

al., 2019a). Para tal, a teoria de índices de seleção permite a combinação linear ótima em um conjunto de informações provenientes da unidade experimental, possibilitando realizar com eficiência a seleção simultânea de caracteres (CRUZ et al., 2012). Diante disso, faz-se necessário estudar as correlações, estimativas de parâmetros genéticos e índices de seleção especialmente em germoplasma de alface roxa.

O objetivo do presente estudo foi estimar parâmetros genéticos, a correlação e a eficiência de diferentes índices para a seleção de linhagens de alface crespa, roxa e biofortificadas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em 2019, na Estação Experimental de Hortaliças da Universidade Federal de Uberlândia, campus Monte Carmelo (18°42'43,19" S; 47°29'55,8" W; 873 m de altitude). O delineamento foi em blocos completos casualizados com três repetições e 30 tratamentos. Foram avaliadas 29 linhagens de alface crespa do tipo roxa, e a cultivar comercial Pira 72. As linhagens são provenientes da hibridação realizada em 2013 entre as cultivares Pira 72 *versus* Uberlândia 10000, rica em carotenóides (SOUSA et al., 2007), seguida de sete sucessivas autofecundações, realizadas entre 2014 e 2018. O método de melhoramento utilizado foi o genealógico. Essas linhagens fazem parte do Programa de Melhoramento Genético de alface Biofortificada da UFU, sendo toda a genealogia armazenada no Software "BG α BIOFORT" registrado no INPI BR512019002403-6 (MACIEL et al., 2019b).

A semeadura foi efetuada em 29 de junho de 2019. As mudas foram produzidas em bandejas de poliestireno expandido com 200 células preenchidas com substrato comercial à base de fibra de coco. Após a semeadura, as bandejas foram alocadas em casa de vegetação do tipo arco, com dimensões de 5 m x 6 m e pé direito de 3,5 m, coberta com filme de polietileno transparente de 150 micra, aditivado contra raios ultravioleta, e cortinas laterais de tela branco antiafideos. Aos 37 dias decorrentes da semeadura, realizou-se o transplântio das mudas para canteiros definitivos em campo. Os canteiros foram formados utilizando rotoencanteirador de 1,30 m de largura.

O solo da área experimental apresentou as seguintes características na profundidade de 0-20 cm: textura argilosa (> 50%); pH (CaCl₂) = 4,9; MO = 3,9 dag kg⁻¹; P (rem) = 79,1 mg dm⁻³; K = 0,29 cmolc dm⁻³; Ca = 3,3 cmolc dm⁻³; Mg = 1,3

cmolc⁷³dm⁻³; H + Al = 4,90 cmolc dm⁻³; SB = 4,90 cmolc dm⁻³; CEC = 9,80 cmolc dm⁻³; V (%) = 50. Os tratos culturais foram realizados conforme preconizado para o cultivo de alface (FILGUEIRA, 2013).

As parcelas experimentais foram constituídas por 20 plantas, distribuídas em quatro fileiras por canteiro no espaçamento de 0,25 m x 0,25 m. Quando as plantas atingiram o ponto comercial, aos 35 dias após o transplântio, foi mensurado ainda em campo o índice SPAD, com o auxílio do medidor de clorofila modelo Minolta SPAD-502 CFL1030. Concomitantemente às leituras de índice SPAD, foi medida a temperatura foliar (T) a qual foi obtida pelo posicionamento de um termômetro infravermelho (modelo 4000.4GL, Everest Interscience, Tucson, AZ, USA) nas folhas superiores, procurando-se apontar o sensor na posição central da superfície foliar. Foram avaliadas quatro plantas por parcela, com três leituras por planta, obtendo-se assim a média da parcela.

A colheita foi realizada aos 35 dias após o transplântio, sendo avaliadas oito plantas por parcela, das quais quatro foram destinadas para avaliações agronômicas (peso da massa fresca (g) (PMF), diâmetro da planta (cm) (DP), diâmetro da haste (mm) (DH), número de folhas (NF). As demais plantas foram conduzidas ao laboratório, onde foram processadas para a quantificação do teor de antocianina (ANT), teor de clorofila a (CLA), teor de clorofila b (CLB), teor de clorofila total (CLT) e teor de carotenóides (CAT).

O PMF foi obtido pela pesagem de todas as folhas externas. O DH foi mensurado com auxílio de um paquímetro. O NF foi quantificado pela contagem de folhas superiores a 5 cm de comprimento. O DP foi avaliado com auxílio de uma régua graduada. O teor de ANT foi quantificado pelo método descrito por Francis (1982). A concentração de pigmentos antocianínicos foi realizada com base na absorbância, conforme a equação: $At = \frac{(Abs \cdot f)}{\epsilon}$, em que: At = antocianinas (mg de cianidina-3-glicosídeo 100g⁻¹ de massa fresca); Abs = absorbância em comprimento de onda de 535 nm; f = fator de diluição; ϵ = coeficiente de absortividade molar da cianidina (98,2).

Os teores de CLA, CLB, CLT e CAT foram obtidos após extração em éter de petróleo:acetona (1:1), a partir das leituras em espectrofotômetro digital UV-Visível Mod. GTA-96 nos comprimentos de onda de 645, 652, 663 e 470 nm, respectivamente, seguindo a metodologia descrita por Cassetari et. al (2015), com adaptações.

Com o intuito de avaliar a existência de variabilidade genética para os caracteres quantitativos, realizaram-se análises de variância (ANOVA) conforme o modelo: $Y_{ij} = \mu + b_j + G_i + \epsilon_{ij}$; em que: Y_{ij} : é o valor de cada caráter para o i-ésimo genótipo no

j-ésimo bloco; μ : média geral; G_i : efeito do i-ésimo genótipo; b_j : efeito do j-ésimo bloco; ϵ_{ij} : erro aleatório.

Os dados obtidos foram analisados, visando estimativas do ganho de seleção. Além disso, foi realizada análise de variância ($F=0,01$ e $F=0,05$) com os quadrados médios (QMG) das características avaliadas. Também foram calculados o coeficiente de variação genética (CVg), a relação entre o coeficiente de variação genética (CVg) e o ambiental (CVe) – CVg/CVe e o coeficiente de determinação genotípica (h^2) para cada variável analisada no experimento. O h^2 foi determinado conforme o seguinte estimador:

$$h^2 = \frac{\sigma_P}{\frac{QMT}{r}} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$\sigma_P = \frac{QMT - QMR}{r} \quad (\text{Eq. 2})$$

em que: h^2 : coeficiente de determinação genotípica; σ_P : componente quadrático genético; QMT: quadrado médio de genótipos; QMR: quadrado médio do resíduo; r: número de repetições.

As correlações fenotípicas e as correlações genotípicas foram obtidas, por meio dos estimadores:

$$r_f = \frac{PMG_{xy}}{\sqrt{QMG_x * QMG_y}} \quad (\text{Eq.3})$$

$$r_g = \frac{\sigma_{gxy}}{\sqrt{\sigma_{gx}^2 * \sigma_{gy}^2}} \quad (\text{Eq.4})$$

em que: PMG: produto médio associado aos genótipos; QMG: quadrado médio dos genótipos; X e Y: caracteres analisados; σ_{gxy} : estimador da covariância genotípica entre os caracteres X e Y, e σ_{gx}^2 e σ_{gy}^2 : estimadores das variâncias genotípicas dos caracteres X e Y, respectivamente (CRUZ, et al., 2012).

Os parâmetros “Coeficiente de variação experimental (CVe)” e “Coeficiente de variação genético (CVg)” indicam, respectivamente, a magnitude das variações causadas pelos desvios da média devido aos efeitos de ambiente e aquelas devido aos efeitos genéticos. São calculados como segue:

$$CV_g \% = \frac{\sigma_P^{0.5}}{M} \times 100 \quad (\text{Eq.5})$$

$$\sigma_P = \frac{QMT - QMR}{r} \quad (\text{Eq. 6})$$

em que: M: média experimental; QMT: quadrado médio de genótipos; QMR: quadrado médio do resíduo; r: número de repetições.

$$CV_e = \frac{\sigma_E}{M} \times 100 \quad (\text{Eq.7})$$

em que: σ_E : desvio-padrão do resíduo experimental, igual a $QME^{0,5}$; M: média experimental.

Para as estimativas dos ganhos de seleção, foram utilizadas as seguintes metodologias: seleção direta e indireta (CRUZ, et al., 2012) índice clássico, proposto por Smith (1936) e Hazel (1943); índice da soma de “ranks” de Mulamba e Mock (1978) e índice base de Willians (1962). O ganho esperado pela seleção direta (CRUZ, et al., 2012) no i-ésimo caráter (GS_i) foi obtido pela equação:

$$GS_i(\%) = (X_{si} - X_{oi})h^2_i = DS_i h^2_i \times 100 \quad (\text{Eq. 8})$$

em que: X_{si}: média das linhagens selecionados para o caráter i; X_{oi}: média original da população; DS_i: diferencial de seleção praticado na população; h²_i: herdabilidade do caráter i, no sentido amplo.

O ganho indireto (CRUZ, et al., 2012) no caráter j, pela seleção no caráter i, foi dado por:

$$GS_{j(i)} = DS_{j(i)} h^2_i \quad (\text{Eq.9})$$

em que: $DS_{j(i)}$: diferencial de seleção indireto obtido por meio da média do caráter dos indivíduos cujas superioridades foram evidenciadas com base em outro caráter, sobre o qual se realiza a seleção direta.

O índice clássico proposto por Smith (1936) e Hazel (1943) é estimado por uma combinação linear realizada entre os caracteres analisados. Esse foi determinado pelo índice de seleção (I) e o agregado genotípico (H) descrito a seguir:

$$I = b_1 y_1 + b_2 y_2 + \dots + b_n y_n = \sum_{i=1}^n b_i y_i = y'b \quad (\text{Eq. 10})$$

$$H = a_1 g_1 + a_2 g_2 + \dots + a_n g_n = \sum_{i=1}^n a_i g_i = g'a \quad (\text{Eq. 11})$$

em que: n: número de caracteres avaliados; b: vetor de dimensão 1 x n dos coeficientes de ponderação do índice de seleção a ser estimado; y: matriz de dimensão n x p (plantas) de valores fenotípicos dos caracteres; a: é o vetor de dimensão 1 x n de pesos econômicos previamente estabelecidos; g: matriz de dimensão n x p de valores genéticos desconhecidos dos n caracteres considerados.

O vetor $b = P^{-1} Ga$, em que P^{-1} é o inverso da matriz, de dimensão $n \times n$, de variâncias e covariâncias fenotípicas entre os caracteres. G é a matriz, de dimensão $n \times n$, de variâncias e covariâncias genéticas entre os caracteres. O ganho esperado para o caráter j foi determinado por:

$$\Delta g_{j(i)} = DS_{j(i)} h^2_j \quad (\text{Eq. 12})$$

em que: $\Delta g_{j(i)} = g_{j(i)}$: ganho esperado para o caráter j , com a seleção baseada no índice I ; $DS_{j(i)}$: diferencial de seleção do caráter j , com a seleção baseada no índice I ; h^2_j : herdabilidade do caráter j , no sentido amplo.

O índice baseado na soma de ranks (Mulamba e Mock, 1978) não necessita das estimativas de variâncias e covariâncias fenotípicas e genotípicas, tampouco da atribuição de pesos econômicos aos caracteres estudados (CRUZ, et al., 2014). Esse índice hierarquiza os genótipos pela atribuição de valores absolutos mais elevados àqueles de melhor desempenho, considerando cada característica analisada. Posteriormente, é realizada a soma das ordens de cada genótipo referente a cada caráter estudado, resultando no índice de seleção descrito abaixo:

$$I = r_1 + r_2 + \dots + r_n \quad (\text{Eq. 13})$$

em que: I : valor do índice para determinado indivíduo ou família; r_j : classificação (ou rank) de um indivíduo em relação ao j -ésimo caráter; n : número de caracteres considerados no índice. Esse método possibilita que sejam atribuídos pesos diferentes para ordenar a classificação das variáveis, conforme especificado pelo melhorista. Dessa forma, os pesos econômicos foram dados por:

$$I = p_1 r_1 + p_2 r_2 + \dots + p_n r_n \quad (\text{Eq. 14})$$

em que: p_j : peso econômico atribuído ao j -ésimo caráter.

O índice base de Willians (1962) estabelece um índice dado pela combinação linear dos valores fenotípicos médios dos caracteres, os quais são ponderados pelos respectivos pesos econômicos. O índice é dado por:

$$I = a_1 y_1 + a_2 y_2 + \dots + a_n y_n = \sum_{i=1}^n a_i y_i = y'a \quad (\text{Eq. 15})$$

em que: y : são as médias; a : são os pesos econômicos dos caracteres estudados.

O critério de seleção utilizado para todos os índices avaliados foi o acréscimo de todos os caracteres. O peso econômico adotado foi o coeficiente de variação genético de cada variável, conforme recomendado por Cruz et al. (2012). As análises estatísticas foram realizadas no programa Genes v. 2015.5.0 (CRUZ, 2013) e os gráficos de redes de correlações foram feitos no programa R version 3.1.2 (R CORE TEAM, 2015).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis analisadas foram significativas a 1% de probabilidade pelo teste F, exceto o índice SPAD, que foi significativo a 5% de probabilidade e T que não foi significativa (Tabela 1). Este fato indica a existência de variabilidade genética do germoplasma para a maioria das características avaliadas, condição necessária ao melhoramento de plantas (TAHKUR et al., 2016).

Tabela 1. Quadrados médios, coeficientes de variância e parâmetros genéticos de variáveis de 30 genótipos de alface roxa. UFU, Monte Carmelo-MG. Brasil.

Variáveis ¹	QMG ²	H ² (%)	CVg (%)	CVg/CVe	CV (%)
SPAD	23,1840*	46,1	5,9	0,53	11,0
ANT	689,2876**	93,9	30,1	2,28	13,2
CLA	1,1277**	65,7	8,8	0,80	11,0
CLB	1,4267**	80,7	20,1	1,18	17,0
CLT	3,2899**	71,6	10,1	0,92	11,1
CAT	0,0091**	82,8	9,6	1,27	7,6
PMF	11269,9161**	99,4	33,0	7,48	4,4
DH	0,1583**	72,5	16,7	0,94	17,8
NF	53,9651**	97,3	23,4	3,51	6,6
DP	35,4498**	82,52	14,43	1,25	11,50
T	4,0868 ^{ns}	34,00	2,68	0,41	6,46

¹SPAD: índice SPAD; ANT: teor de antocianina; CLA: teor de clorofila A; CLB: teor de clorofila B; CLT: teor de clorofila total; CAT: teor de carotenóides; PMF: peso de massa fresca; DH: diâmetro da haste; NF: número de folhas; DP: diâmetro da planta; T: Temperatura foliar;

²QMG: quadrado médio dos genótipos; H²: coeficiente de determinação genotípica; CV: coeficiente de variação geral; CVg: coeficiente de variação genético; CVe: coeficiente de variação experimental;

** e * significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F; ns: não significativo.

O coeficiente de variação (CV) é um parâmetro muito utilizado para comparação da precisão experimental (SILVA et al., 2019). Valores acima de 30% indicam alta dispersão dos dados, também se relacionando a caracteres quantitativos controlados por muitos genes, altamente afetados pelo ambiente (TEIXEIRA, et al., 2017). Segundo Pimentel-Gomes (2009) coeficientes abaixo de 10% são considerados baixos e entre 10 e 20% são considerados médios.

No presente trabalho o CV apresentou valores baixos e médios fluando de 4,42% para PMF a 17,83% para DH (Tabela 1). Isto demonstra maior precisão experimental e baixa dispersão dos dados na análise de variância (PEIXOTO et al., 2020). Zuffo et al. (2016) avaliando crescimento de quatro cultivares de alface nas condições do sul do Piauí, encontraram valores de CV para NF de 13,48%, PMF de 14,46%. Queiroz et al. (2014) e Cândido et al. (2017), encontraram em alface valores de CV de 10,74% e 7,79% para NF, respectivamente. Peixoto et al. (2020) encontraram valores de CV semelhantes ao encontrado no presente trabalho para: DH (11,99%), NF (9,77%), DP de 7,99%, T de 8,40% e índice SPAD (6,24%). Já em relação ao teor de ANT encontraram valor mais elevado, de 28,84%. Diferente do encontrado em nosso estudo, Ragheb (2015) obteve valores elevados de CV para NF (30,21%), DH (32,48%) e PMF (29,59%).

O conhecimento da extensão da variabilidade genética na população através da determinação do CVg é de suma importância em um programa de melhoramento (LEITE et al., 2016). No presente trabalho o coeficiente de variação genético (CVg), adotado como peso econômico, os valores obtidos em ordem decrescente foram: PMF (33,03%), ANT (30,10%), NF (23,44%), CLB de 20,16%, DH (16,76%), DP (14,43%), CLT de 10,19%, CAT de 9,68%, CLA de 8,84%, índice SPAD (5,91%) e T (2,68%) (Tabela 1). Dessa forma para a maioria das características avaliadas os valores de CVg foram considerados altos.

Peixoto et al. (2020), comparando a eficiência de diferentes índices de seleção em alface biofortificada provenientes do mesmo programa de melhoramento (geração F7), encontraram valores de CVg para PMF de 23,86%, DH de 7,06%, NF de 18,42%, DP de 7,54% e SPAD de 17,57%. Esta diferença pode ser compreendida por se tratar de outra geração conduzida em diferente época. Tahkur et al. (2016) em um programa de melhoramento na cultura da alface, encontraram valores moderados a altos de CVg para PMF (15,49%), NF (15,45%) e β -caroteno (21,0%). Azevedo et al. (2014), avaliando parâmetros genéticos e características agrônômicas em cultivares de alface encontraram valores de CVg para DP de 7,15%, PMF de 14,23% e NF de 36,70%.

O conhecimento do coeficiente de determinação genotípica (h^2) pode ser considerado o melhor parâmetro genético utilizado pelos melhoristas, pois permite antever a possibilidade de sucesso com a seleção, uma vez que reflete a proporção da variação fenotípica herdada (RAGHEB, 2015). Os valores de h^2 variam com os diferentes caracteres e, geralmente, são considerados altos quando superiores a 0,7 (RAMALHO et al., 2012). No presente trabalho as variáveis que tiveram h^2 superior a 0,7 foram: PMF

(99.41%), NF (97.36%), ANT (93.97%), CLB (80.78%), CAT (82.87%), DP (82.52%), CLT (71.68%) e DH (72.59%) (Tabela 1). Alta herdabilidade sugere maior papel da constituição genética na expressão das características em estudo, e esse comportamento tende a ser expresso nas futuras gerações (TAHKUR et al., 2016).

Valores semelhantes de h^2 em NF, também foram obtidos em trabalhos de Silva et al., (2019) e Queiroz et al. (2014), encontrando respectivamente 96% e 95% na cultura da alface para esta característica. Tahkur et al. (2016) avaliando 28 genótipos de alface em condições de cultivo protegido encontraram valores de h^2 de 65,30% para PMF, 58,10% para β caroteno e 83,50% para NF. Ragheb (2015) encontrou valores de h^2 para NF de 99,23%, DH de 79,18%, DP de 98,78% e PMF de 99,66%.

Assim como observado no presente trabalho no que diz respeito aos valores de h^2 para a característica ANT, Mamo et al. (2019), caracterizando a relação entre resistência ao tombamento e pendoamento precoce com o teor de antocianina na cultura da alface obteve valores de elevados h^2 na ordem de 93%. Oliveira et al., (2019) também encontraram valores elevados da ordem de 81,52%. Os valores elevados de h^2 nas características avaliadas indicam que novos cultivares e linhagens podem ser desenvolvidos com a combinação de características favoráveis (SIMKO, 2019).

O valor de h^2 para a variável SPAD, foi de 46,18%, valores discrepantes do encontrado por Peixoto et al. (2020) de 95,96% e Sousa et al. (dados não publicados) de 96,05%. Mesmo que provenientes do mesmo programa de melhoramento, vale ressaltar que estas diferenças advêm do fato de que o germoplasma avaliado no presente trabalho é composto por alfases com coloração roxa enquanto os genótipos avaliados pelos autores em questão são de alfases de cor verde além de se tratar de gerações distintas. Segundo Blank et al. (2010) a estimativa de herdabilidade não é um valor intrínseco a característica, variando entre ambientes, genótipos e local, comportamento este que ficou evidente no estudo.

A seleção é adequada para obtenção de ganhos de seleção quando a relação CV_g/CV_e tende a valores maiores ou iguais a 1,0 (CRUZ et al., 2014). Comportamento este que indica que os fatores genéticos possuem maior influência na expressão da característica quando comparados a fatores ambientais, proporcionando facilidade na seleção de indivíduos superiores para as características (JÚNIOR et al., 2018). No presente trabalho, para as características ANT, CLB, CAT, PMF, NF e DP, esta relação foi superior a 1 (Tabela 1). Os resultados sugerem uma perspectiva de sucesso em seleção

fenotípica, confirmada pela razão CV_g / CV_e . Já os valores para CLA, CLT, DH ficaram próximos a 1 e para as variáveis SPAD e T estes valores foram baixos.

Observa-se que as variáveis SPAD e T apresentaram valores baixos para CV_g , CV_g/CV_e e h^2 indicando que as variações ambientais tiveram contribuição superiores às variações totais para estas características.

Azevedo et al. (2014) também encontraram valores de CV_g/CV_e acima de 1 para PMF (1,05) e NF (2,73) além disto encontrou para DP valor de 0,60. Peixoto et al. (2020) encontraram valores de 0,59 para DH, 1,88 para NF, 0,94 para DP e 2,81 para SPAD.

O conhecimento das inter-relações entre as diversas características agronômicas é de suma importância para o planejamento de um programa de melhoramento genético, contribuindo também para a compreensão da ação dos genes. Assim, o uso de correlações genotípicas e fenotípicas é uma importante ferramenta, contribuindo na seleção e determinação de caracteres de difícil mensuração através da seleção de outro caractere de mais fácil avaliação (RAGHEB, 2015).

As estimativas das correlações genotípicas evidenciaram pares significativos positivos para CLT x CLB (0,83), CLT x CLA (0,73), SPAD x T (0,63), NF x DH (0,58), NF x DP (0,50), DH x DP (0,45), SPAD x CLA (0,43) e CLT x CAT (0,41). As correlações fenotípicas positivas e significativas em ordem decrescente foram entre os pares CLT x CLB (0,82), CLT x CLA (0,77), NF x DP (0,44), NF x DH (0,49) e entre CLT x CAT (0,37) (Figura 1A e 1B).

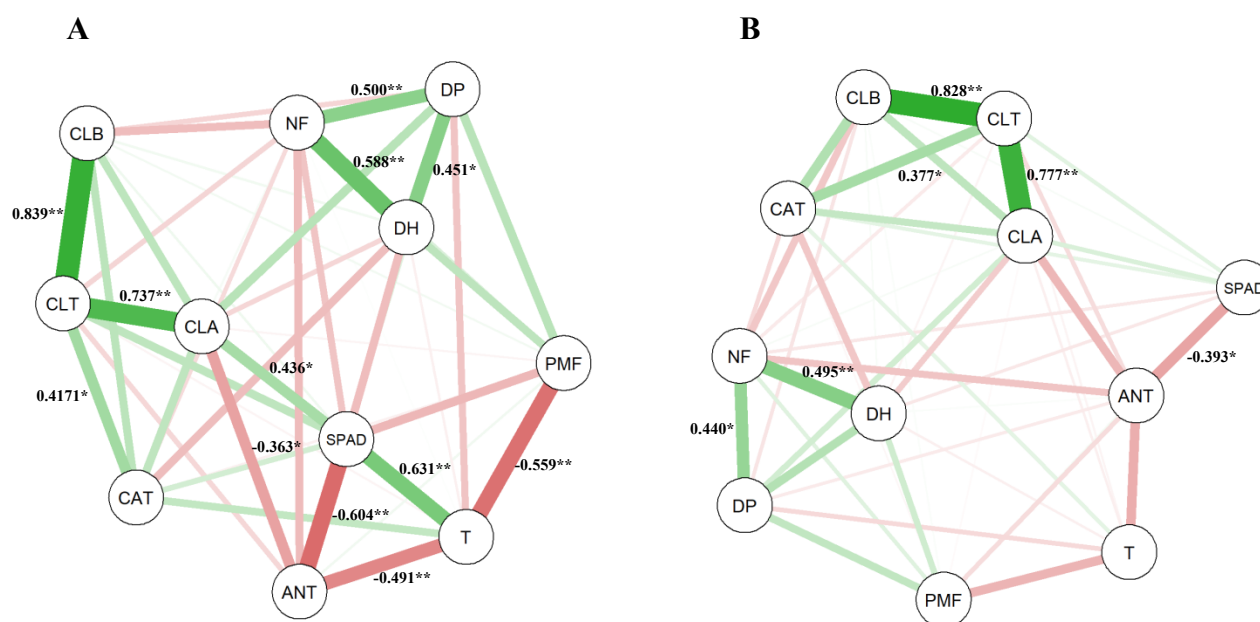


Figura 1. Rede de correlações genotípicas (**A**) e fenotípicas (**B**) aplicadas nas características: índice SPAD (SPAD); teor de antocianina (ANT); teor de clorofila a (CLA); teor de clorofila b (CLB); teor de clorofila total (CLT); teor de carotenóides (CAT); peso de massa fresca (PMF); diâmetro da haste (DH); número de folhas (NF); diâmetro da planta (DP); temperatura foliar (T) em genótipos de alface crespa roxa. As linhas vermelhas representam correlações negativas e as linhas verdes representam correlações positivas. A espessura da linha é proporcional à magnitude da correlação. UFU, Monte Carmelo-MG, Brasil. Significativo a 5% * e 1% ** de probabilidade pelo teste t.

Léon et al. (2007), na cultura da alface, encontraram altas correlações lineares entre índice SPAD e CLA, SPAD e CLB, SPAD e CLT, da ordem de 0,90; 0,85; 0,92, respectivamente. Cassetari et al. (2015) encontraram alta correlação entre teor de clorofila e o teor de carotenóides na ordem de 0,81. Da mesma forma, no presente estudo também foram encontradas correlações positivas entre clorofila a, clorofila b, clorofila total e teor de carotenóides. Damerum et al. (2015), elucidando as bases genéticas do potencial antioxidante na cultura da alface, encontraram correlação positiva entre teor de carotenóides e teor de clorofila de 0,98.

Manpholo et al. (2016) encontrou correlação positiva entre β -caroteno e clorofila A (0,66), clorofila b (0,67) e clorofila total (0,73). Já Simko (2019), encontrou valores de correlação linear positivos, porém baixos entre clorofila e β -caroteno em minialfaces. Segundo o mesmo, essa baixa correlação pode ter origem nas diferentes condições de crescimento, idade das plantas ou combinação de múltiplos fatores.

Sousa et al. (2020) avaliando a dissimilaridade genética de 91 genótipos de alface provenientes do mesmo programa de melhoramento (geração F4) também encontraram

correlação positiva entre NF e DH (0,59), NF e DP (0,24) e entre DP e DH (0,24). Azevedo et al. (2013) encontraram correlação genotípica positiva entre PMF e DP (0,89), bem como Peixoto et al. (2020) encontraram correlação genotípica e fenotípica positiva entre PMF e DP de 0,80 e 0,77, respectivamente, situação similar ao presente estudo, apesar dessa correlação não ter sido significativa e ter sido de menor magnitude para PMF x DP (0,30).

As estimativas das correlações genotípicas evidenciaram associações negativas significativas para os pares ANT x SPAD (-0,60), ANT x T (-0,49), ANT x CLA (-0,36) e entre PMF x T (-0,29). Já as correlações fenotípicas negativas e significativas foram apenas entre ANT x SPAD (-0,39) (Figura 1A e 1B). O metabolismo da antocianina pode ser influenciado por fatores ambientais como a temperatura, por exemplo, onde a baixa temperatura promove biosíntese do pigmento e a alta temperatura induz a sua degradação (MOVAHED et al., 2016).

Foram observadas correlações negativas entre teor de antocianina e os teores de clorofila a, b e total e índice SPAD, apesar de algumas delas não terem sido significativas. O germoplasma de alface avaliado é de cor roxa e sabe-se que o pigmento antocianina é geralmente responsável pela cor vermelha, azul, rosa e roxa das folhas enquanto clorofila está envolvida na pigmentação da folha de cor verde (IWASHINA, 2015). Além de ser influenciado por fatores ambientais, o teor de antocianina é também influenciado pelo teor de clorofila, então quanto maior o teor de antocianina, menor o teor de clorofila nas folhas (ISLAM et al., 2019). Essa situação foi evidenciada pela correlação negativa entre esses caracteres avaliados no presente trabalho.

Essa mesma relação foi detectada entre grupos de pimenta, indicando que a diminuição da clorofila foi devido à alta concentração de antocianina (STOMMEL et al., 2014). Já em trabalho de Simko (2019) avaliando 42 acessos de mini alface encontraram correlação positiva entre β -caroteno e antocianina (0,55) e entre clorofila e antocianina de 0,49, porém os acessos testados na grande maioria eram de folhas de cor verde.

Em programa de melhoramento na cultura da colza (*Brassica napus*), correlações negativas e positivas entre teor de antocianinas e teor de clorofila foram obtidas em diferentes gerações (DAI et al., 2016).

Os resultados obtidos para ambos os tipos de correlações foram próximos para a maioria das características avaliadas, sendo as correlações genotípicas em geral maiores que as fenotípicas. Portanto, a pequena diferença entre os valores de correlações genotípica e fenotípicas exibidas por algumas das variáveis indicam que os fatores

ambientais têm impacto mínimo sobre tais características. Este mesmo fato foi observado por Tahkur et al. (2016) e Peixoto et al. (2020).

Neste estudo, a seleção direta, em geral, obteve maiores ganhos do que a seleção indireta. Os maiores ganhos obtidos com a seleção direta individual foram para os caracteres: PMF (33,61%), ANT (30,42%), NF (24,92%), CLB (18,09%) e CAT (7,74%). Já em relação aos ganhos totais os maiores foram para: PMF (51,05%), ANT (43,22%), CLB (40,88%), DH (35,69%), NF (30,38%) e CAT (30,25%) (Tabela 2). A variável T apresentou o menor ganho individual (1,55%) pela seleção direta o que condiz com seu baixo CVg (2,68%) (Tabela 1 e 2).

Tabela 2. Estimativas de ganhos de seleção (GS%) obtidos para 11 caracteres avaliados, pela seleção direta (valores em negrito) e indireta, em 30 genótipos de alface roxa biofortificada. UFU, Monte Carmelo-MG. Brasil

Variáveis	GS%										
	SPAD ¹	ANT	CLA	CLB	CLT	CAT	PMF	DH	NF	DP	T
SPAD	4.82	-1.35	0.90	-1.19	-0.79	-0.31	-0.92	1.29	-0.60	1.22	1.11
ANT	-22.39	30.42	-19.08	10.5	-1.91	1.54	6.79	1.04	-6.21	-7.20	-8.31
CLA	2.45	-0.65	7.41	2.27	5.81	1.90	-1.34	-1.20	1.22	4.53	0.84
CLB	-2.22	-0.20	3.99	18.09	14.75	8.47	8.87	1.48	-5.18	-4.12	1.81
CLT	1.03	-0.52	6.48	7.26	8.72	3.99	1.84	-0.38	-0.77	1.90	1.17
CAT	0.96	-0.32	2.93	4.06	6.35	7.74	2.77	-1.76	-0.80	0.96	5.34
PMF	-7.49	12.77	-1.56	6.30	-2.17	5.68	33.61	4.53	3.47	7.40	-21.72
DH	-2.14	2.42	-7.11	1.38	-5.87	-2.97	3.04	14.44	8.84	1.17	-6.08
NF	5.16	4.20	1.21	-6.05	-4.64	1.56	-3.69	12.90	24.92	5.03	-3.49
DP	1.93	1.47	0.75	-1.24	-4.44	2.26	0.32	3.97	5.06	13.43	-3.13
T	0.15	-0.82	-0.31	-0.50	0.05	0.39	-0.24	-0.62	0.43	-0.37	1.55
Total	-17.74	43,22	-4.39	40.88	15.86	30.25	51.05	35.69	30.38	23.95	-30.91

¹SPAD: índice SPAD; ANT: teor de antocianina; CLA: teor de clorofila a; CLB: teor de clorofila b; CLT: teor de clorofila total; CAT: teor de carotenóides; PMF: peso de massa fresca; DH: diâmetro da haste; NF: número de folhas; DP: diâmetro da planta; T: Temperatura foliar.

A seleção direta para ANT levou a ganhos indiretos de PMF (12,77%), DH (2,42%), NF (4,20) e DP (1,47%). Já a seleção para CLB levou a ganhos indiretos para ANT (10,5%), CLT (7,26%), PMF (6,30%), CAT (4,06%), CLA (92,27%) e DH (1,38%). Para CAT a seleção direta levou a ganhos indiretos para CLB (8,47%), PMF (5,68%),

CLT (3,99), DP (2,26%), CLA (1,90%), NF (1,56%) e ANT (1,54%) e a seleção para PMF levou a ganhos indiretos para CLB (8,87%), ANT (6,79%) DH (3,04%), CAT (2,77%), CLT (1,84%) e DP (0,32%), mostrando serem as melhores estratégias de seleção direta, promovendo ganhos indiretos para características agronômicas importantes. As características SPAD, CLA e T, apresentaram valores negativos de ganho de seleção totais (Tabela 2), mostrando não serem boas estratégias de seleção direta nesse germoplasma.

A cor, tamanho, textura, sabor são importantes parâmetros para uma comercialização bem-sucedida de alface e esses fatores podem determinar o preço de mercado e a preferência do consumidor (SALA; COSTA, 2016). A alface é comercializada inteira ou em pedaços frescos. Atualmente diferentes tipos de alface com várias cores e as formas são embaladas para misturas de salada recém-cortadas. No entanto, o conteúdo fitoquímico e a composição pode variar entre as diferentes variedades e é importante escolher as que são ricas em compostos bioativos, como antocianina, clorofilas, carotenóides. (MAMPHOLO et al., 2016).

Atualmente a população vem se tornando mais consciente em relação ao consumo de alimentos funcionais, em virtude do conhecimento dos benefícios que esses alimentos proporcionam ao organismo. Nesse sentido, considerando-se os benefícios da alface roxa, uma dieta baseada nesse alimento funcional se torna uma estratégia segura para promover saúde e bem estar ao ser humano (SILVA et al., 2015), já que a ingestão de vegetais ricos em antocianina têm mostrado muitos benefícios para a saúde, como melhora visual, efeito anticancerígeno e antimutagênico, especialmente devido à forte propriedade antioxidante desse composto (MAMPHOLO et al., 2016).

Para os padrões de comercialização características como o número de folhas e o peso da massa fresca são parâmetros relevantes, pois além de serem importantes na determinação da produção, podem apontar se uma planta é viável ou inviável para o consumo in natura, pois as folhas é que serão comercializadas (BRZEZINSKI et al., 2017). Além disso, cultivares que apresentam maior número de folhas são preferidas (SALA; COSTA, 2012; RESENDE et al., 2017).

A seleção através de índices, diferente da seleção direta, propicia selecionar simultaneamente a combinação de vários parâmetros importantes, aumentando as chances de sucesso em um programa de melhoramento (CRUZ et al., 2014). O índice Mulamba e Mock e o índice de Smith e Hazel mostraram resultados comparáveis, bem como os maiores ganhos para CAT (1,92 %), PMF (33,31%) e redução para DP (-1,44%). O índice

de Mulamba e Mock resultou no maior valor de ganho de seleção total (65,23%) apresentando maiores ganhos para ANT (16,61%), CLB (4,23), CLT (1,06%), DH (8,22%), NF (7,15%) e DP (3,32%) e apresentou altos ganhos para PMF (27,06) (Tabela 3), mostrando ser o índice de seleção mais adequado de acordo com as características avaliadas.

Tabela 3. Estimativas de ganhos de seleção (GS%) obtidos para 11 caracteres, obtidos pelo índice clássico proposto por Smith e Hazel (SH), índice da soma de “ranks” de Mulamba & Mock (MM) e índice base de Willians (W) em 30 genótipos de alface roxa biofortificada. UFU, Monte Carmelo-MG. Brasil

Índice	GS%											Total
	SPAD ¹	ANT	CLA	CLB	CLT	CAT	PMF	DH	NF	DP	T	
W	-1.34	13.8	-0.99	4.06	0.57	1.92	33.31	3.87	1.19	0.13	0.77	53.11
SH	-1.34	13.8	-0.99	4.06	0.57	1.92	33.31	3.87	1.19	0.13	0.77	53.11
MM	-1.40	16.61	-0.38	4.23	1.06	0.00	27.06	8.22	7.15	3.32	0.64	65.23

¹SPAD: índice SPAD; ANT: teor de antocianina; CLA: teor de clorofila a; CLB: teor de clorofila b; CLT: teor de clorofila total; CAT: teor de carotenóides; PMF: peso de massa fresca; DH: diâmetro da haste; NF: número de folhas; DP: diâmetro da planta; T: Temperatura foliar.

Os mesmos genótipos foram selecionados pelos índices de Willians e Smith e Hazel, ao passo que o índice de Mulamba e Mock apresentou 80% de coerência nos genótipos selecionados pelos índices anteriores (Tabela 4).

O índice de Mulamba e Mock foi o escolhido devido ao maior ganho de seleção total deste, assim como em um maior número de características avaliadas, selecionando-se dez genótipos de alface roxa (Tabela 4).

Tabela 4. Indicação dos 10 genótipos superiores de alface roxa biofortificada pelo índice clássico proposto por Smith e Hazel (1943), índice da soma de “ranks” de Mulamba & Mock (1978) e índice base de Willians (1962). UFU, Monte Carmelo-MG. Brasil.

Índices de seleção	Genótipos selecionados
Índice clássico (SH)	UFU189#2#1#1; UFUBIOFORT75E33; UFU-117#1#1#1; UFUBIOFORT199E7; UFU-184#2#3#1; UFU-206#1#3#1; UFU-75#2#2#1; UFU BIOFORT199E40; UFU-75#3#1#1; UFU-206#3#2#1
Soma de “ranks” (MM)	UFU-184#2#3#1; UFU-75#3#1#1; UFU-117#1#1#1; UFU BIOFORT199E40; UFU-189#2#1#1; UFU-86#1#2#1; UFU-206#1#3#1; UFU BIOFORT199E7; UFU BIOFORT75E33; UFU-189#2#2#1
Índice base (WI)	UFU189#2#1#1; UFUBIOFORT75E33; UFU-117#1#1#1; UFUBIOFORT199E7; UFU-184#2#3#1; UFU-206#1#3#1; UFU-75#2#2#1; UFU BIOFORT199E40; UFU-75#3#1#1; UFU-206#3#2#1

Maciel et al. (2020) por meio de análise univariada realizada em genótipos de alface pertencentes ao mesmo banco de germoplasma do presente estudo, também observaram que os genótipos selecionados pelo índices Mulamba e Mock estão entre os que apresentaram melhores resultados agronômicos e em relação às características nutricionais. Candido et al. (2017) avaliando a eficiência de índices não paramétricos na seleção de genótipos de alface de folhas soltas ressaltaram que o índice de Mulamba e Mock se destacou porque possibilitou bons ganhos diretos pelas características avaliadas e pela facilidade de construção do mesmo, resultado semelhante ao do presente trabalho.

4 CONCLUSÕES

1. Em linhagens de alface roxa biofortificada os parâmetros: teor de antocianina, teor de clorofila b, teor de clorofila total, teor de carotenóides, peso da massa fresca, número de folhas, diâmetro da planta e diâmetro da haste possuem alto coeficiente de determinação genotípica;

2. Existem correlações positivas entre os parâmetros clorofila total e clorofila a, clorofila b e teor de carotenóides; entre índice SPAD e teor de clorofila a; entre número de folhas e diâmetro da haste e diâmetro da planta em alfaces roxas biofortificadas;

3. Existem correlações negativas entre teor de antocianina e índice SPAD, teor de clorofila a e temperatura foliar em alfaces roxas biofortificadas;

4. As características teor de antocianina, teor de clorofila b, teor de carotenóides, peso da massa fresca, número de folhas e diâmetro da haste apresentaram maior ganhos totais por meio da seleção direta e indireta;

5. O índice da soma de “ranks” de Mulamba e Mock proporcionou equilíbrio na distribuição de ganhos para as variáveis avaliadas e maiores ganhos de seleção totais em alface roxa biofortificada;

6. As linhagens UFU-184#2#3#1; UFU-75#3#1#1; UFU-117#1#1#1; UFU BIOFORT199E40; UFU-189#2#1#1; UFU-86#1#2#1; UFU-206#1#3#1; UFU BIOFORT199E7; UFU BIOFORT75E33 e UFU-189#2#2#1 são promissoras para serem usadas em futuros programas de melhoramento genético e para serem lançadas como novos cultivares de alface roxa biofortificada.

5 REFERÊNCIAS

- ABCSEM, 2016. Associação Brasileira de Comércio de Sementes e Mudas. Folhosas: Seminário Nacional. Disponível em. Acesso em: 15 Nov. 2020. http://www.abcsem.com.br/upload/arquivos/O_mercado_de_folhosas__Numeros_e_Tendencias_-_Steven.pdf.
- AZEVEDO, A. M.; ANDRADE JÚNIOR, V. C.; OLIVEIRA, C. M.; FERNANDES, J. S. C.; PEDROSA, C. E.; DORNAS, M. F. S.; CASTRO, B. M. C. Seleção de genótipos de alface para cultivo protegido: divergência genética e importância de caracteres. **Horticultura Brasileira**, v. 31, n. 2, p. 260-265, 2013.
- AZEVEDO, A. M.; ANDRADE JÚNIOR, V. C.; CASTRO, B. M. C.; OLIVEIRA, C. M.; PEDROSA, C. E.; DORNAS, M. F.; VALADARES, N. R. Parâmetros genéticos e análise de trilha para o florescimento precoce e características agrônômicas da alface. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.49, n.2, p.118-124, 2014.
- BRZEZINSKI, C. R.; ABATI, J.; GELLER, A.; WERNER, F.; ZUCARELI, C. Produção de cultivares de alface americana sob dois sistemas de cultivo. **Revista Ceres**, v. 64, n. 1, p. 83-89, 2017.
- BLANK, A. F.; SOUZA, E.M.; PAULA, J.W.A.; ALVES, P.B. Comportamento fenotípico e genotípico de populações de manjerição. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 3, p.305-310, 2010.
- CANDIDO, W. S.; TOBAR-TOSSE, D. E.; SOARES, R. S.; SANTOS, L. S.; FRANCO, C. A.; BRAZ, L. T. Selection of loose-leaf lettuce breeding lines based on non-parametric indexes. **African Journal of Biotechnology**, v.16, n. 40, p. 1984-1989, 2017.
- CASSETARI, L. S.; GOMES, M. S.; SANTOS, D. C.; SANTIAGO, W. D.; ANDRADE, J.; GUIMARÃES, A. C.; SOUZA, J. A.; CARDOSO, M. G.; MALUF, W. R.; GOMES, L. A. β -Carotene and chlorophyll levels in cultivars and breeding lines of lettuce. **Acta Horticulturae**, v. 1083, n.60, p. 469-474, 2015.
- CECATTO, A. P. **Sistemas de cultivo do morangueiro, figueira e alface sob consórcio e monocultivo em ambiente protegido**. 2012. 199f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo.
- CORREIA, A. M.; CECCON, G.; CORREA, C. M. A.; DELBEN, D. S. Estimativas de parâmetros genéticos e correlações entre caracteres fenológicos e morfoagronômicos em feijão-caupi. **Ceres**, v. 59, n. 1, p.88-94, 2012.
- CRUZ, C. D. GENES: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 3. ed. Viçosa: UFV, 2014. 668 p.
- CRUZ C. D.; REGAZZI A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2012. 514 p.

DAI, W.; GIRDTHAIL, T.; HUANG, Z.; KETUDAT-CAIRNS, M.; TANG, R.; WANG, S. Genetic analysis for anthocyanin and chlorophyll contents in rapeseed. **Ciência Rural**, v.46, n.5, p.790-795, 2016.

DAMERUM, A.; SELMES, S. L.; BIGGI, G. F.; CLARKSON, G. J.; ROTHWELL, S. D.; TRUCO, M. J.; MICHELMORE, R. W.; HANCOCK, R. D.; SHELLCOCK, C.; CHAPMAN, M. A.; TAYLOR, G. Elucidating the genetic basis of antioxidant status in lettuce (*Lactuca sativa*). **Horticulture Research**, v. 2, p.15055, 2015.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. ed. rev. ampl. Viçosa: UFV, 2013. 412 p.

FRANCIS, F. J. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P (ed.). **Anthocyanins as food colors**. Cambridge: Academic Press, 1982. cap. 7, p. 181-206.

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

ISLAM, M. Z.; LEE, Y. T.; MELE, M. A.; CHOI, I. L.; KANG, H. M. The effect of phosphorus and root zone temperature on anthocyanin of red romaine lettuce. **Agronomy**, v.9, p. 47, 2019.

IWASHINA, T. Contribution to flower colors of flavonoids including anthocyanins: A review. **Natural Product Communications**, v. 10, p. 529–544, 2015.

JACINTO, A. C. P.; SILVEIRA, A. J.; CASTOLDI, R.; MACIEL, G. M.; SIQUIEROLI, A. C. S.; MENDONÇA, T. F. N.; SOUZA, A. P.; MARIN, M. V.; BRAZ, L. T. Genetic diversity, agronomic potential and reaction to downy mildew in genotypes of biofortified mini lettuce. **Genetics and Molecular Research**, v. 18, n.1, 2019.

JÚNIOR, E. P.; GUIMARÃES, D.G.; PÚBLIO, A.P.P.B.; SOUZA, U.O.; AMARAL, C.L.F. Estimativas de parâmetros genéticos em genótipos de feijão-frade. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 3, p.806-814, 2018.

KHOO, H. E.; AZLAN, A.; TANG, S. T.; LIM, S. M. Anthocyanidins and anthocyanins: Colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. **Food & Nutrition Research**, v. 61, n.1, p.1361779, 2017.

KRUGER, M. J.; DAVIES, N.; MYBURGH, K. H.; LECOUR, S. Proanthocyanidins, anthocyanins and cardiovascular diseases. **Food Research. International**, v. 59, p. 41–52, 2014.

LEITE, W.; PAVAN, B.; MATOS FILHO, C.; DE ALCÂNTARA NETO, F.; OLIVEIRA, C.; FEITOSA, F. Estimativas de parâmetros genéticos, correlações e índices de seleção para seis caracteres agrônômicos em linhagens F8 de soja. **Comunicata Scientiae**, v. 7, n. 3, p. 302-310, 2016.

LEÓN, A. P.; VIÑA, S.Z. FREZZA, D.; CHAVES, A.; CHIESA, A. Estimation of chlorophyll contents by correlations between SPAD-502 meter and chroma meter in butterhead Lettuce. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 38, n.19-20, p. 2877-2885, 2007.

LIU, Y.; TIKUNOV, Y.; SCHOUTEN, R. E.; MARCELIS, L.; VISSER, R.; BOVY, A. Anthocyanin biosynthesis and degradation mechanisms in Solanaceous vegetables: a review. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, n. 6, p. 1-17, 2018.

MACIEL, G. M.; GALLIS, R. B. A.; BARBOSA, R. L.; PEREIRA, L. M.; SIQUIEROLI, A. C. S.; PEIXOTO, J. V. M. Image phenotyping of inbred red lettuce lines with genetic diversity regarding carotenoid levels. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 81, p. 154-160, 2019a

MACIEL, G. M.; SIQUIEROLI, A. C. S.; GALLIS, R. B. A.; PEREIRA, L. M.; SALES, V. F. Programa de computador “BG A BIOFORT”. Depositante: Universidade Federal de Uberlândia. BR512019002403-6. Depósito: 01 fev. 2019. Concessão: 29 out.2019, 2019b.

MACIEL, G. M.; GALLIS, R. B. A.; BARBOSA, R. L.; PEREIRA, L. M.; SIQUIEROLI, A. C. S.; PEIXOTO, J. V. M. Image phenotyping of lettuce germplasm with genetically diverse carotenoid levels. **Bragantia**, v. 79, p. 224-235, 2020.

MAGALHÃES, M. D.; MACIEL, A. D.; ORSOLIN, P. C. Efeito anticarcinogênico dos flavonoides do tipo antocianina presentes em amora-preta (*Rubus* spp.), identificado por meio do teste para detecção de clones de tumores epiteliais (wts) em *Drosophila melanogaster*. **Revista de Medicina e Saúde de Brasília**, v. 6, n. 1, 2017.

MAMO, B. E.; HAYES, R. J.; TRUCO, M. J.; PURI, K. D.; MICHELMORE, R. W.; SUBBARAO, K. V.; SIMKO, I. Theoretical and The genetics of resistance to lettuce drop (*Sclerotinia* spp.) in lettuce in a recombinant inbred line population from Reine des Glaces×Eruption. **Applied Genetics**, v.132, N. 8, p.2439–2460, 2019.

MAMPHOLO, B. M.; MABOKO, M. M.; SOUNDY, P.; SIVAKUMAR, D. Phytochemicals and overall quality of leafy lettuce (*Lactuca sativa* L.) varieties grown in closed hydroponic system. **Journal of food quality**, v. 39, n. 6, p. 805–815, 2016.

MOVAHED, N.; PASTORE, C.; CELLINI, A.; ALLEGRO, G.; VALENTINI, G.; ZENONI, S.; CAVALLINI, E.; D'INCÀ, E.; TORNIELLI, G.B.; FILIPPETTI, I. The grapevine VviPrx31 peroxidase as a candidate gene involved in anthocyanin degradation in ripening berries under high temperature. **Journal of plant research**, v. 129, n.3, p. 513–526, 2016.

MULABAGAL, V.; MATHIEU, N.; AJAY, N.; YANJUN, Z.; ADITYA, L.; GOTTUMUKKALA; MURALEEDHARAN, G. N. In vitro evaluation of red and green lettuce (*Lactuca sativa*) for functional food properties. **Food Chemistry**, v.18, n.2, p. 300–306, 2010.

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

OLAWUYI, O.J.; JONATHAN, S.G.; BABATUNDE, F.E.; BABALOLA, B.J.; YAYA, O.O.S.; AGBOLADE, J.O.; AINA, D.A.; EGUN, C.J. Accession $\times$ treatment interaction, variability and correlation studies of pepper (*Capsicum* spp.) under the influence of arbuscular mycorrhiza fungus (*Glomus clarum*) and cow dung. **American Journal of Plant Sciences**, v.5, n.5, p.683-690, 2014..

OLIVEIRA, A. H. G.; MACIEL, G. M.; JACINTO, A. C. P.; SILVEIRA, A. J.; SILVA, E. C. Estimates of genetic parameters of pigments and agronomic traits in green and purple lettuce. **Ciencia. e Agrotecnologia**, v. 43, p. 1-8, 2019.

PEIXOTO, J. V. M.; MACIEL, G. M.; SIQUIEROLI, A. C. S.; PEREIRA, L. M.; LUZ, J.M.Q.; MARQUES, D.J. **Comunicata Scientiae**, v. 11, p.3351, 2020.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: Fealq, 2009. 451 p.

QUEIROZ, J. P. S.; da COSTA, A. J. M.; NEVES, L. G.; SEABRA JUNIOR, S.; BARELLI, M. A. A. Estabilidade fenotípica de alfaces em diferentes épocas e ambientes de cultivo. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 45, n. 2, p. 276-283, 2014.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. 2015. <https://www.rproject.org/> . Access on 01 Jan. 2020.

RAGHEB, E. I. M. Mass Selection and Individual Plant Selection as Two Breeding Methods for Improving Lettuce (*Lactuca sativa* L.). **Alexandria Journal of Agricultural Research**, v. 60, n.3, p. 213-220, 2015.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B. dos; NUNES, J. A. R. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: Editora UFLA, 2012. 522p.

RESENDE, G. M. de; COSTA, N. D.; YURI, J. E.; MOTA, J. H. Adaptação de genótipos de alface crespa em condições semiaridas. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 1, p.1145-1154, 2017.

ROCHA, D. S.; REED, E. Pigmentos naturais em alimentos e sua importância para a saúde. **Estudos Vida e Saúde**, v.41, n.1, p.76-85, 2014.

SALA, F. C.; COSTA, C. P. Retrospectiva e tendência da alfacicultura brasileira. **Horticultura brasileira**, v. 30, n. 2, p. 187-194, 2012.

SALA, F. C.; COSTA, C. P. Melhoramento de alface. In: NICK, C.; BORÉM, A. **Melhoramento de hortaliças**. 1. ed. Viçosa: UFV, 2016. p. 95-127.

SILVA, E. B.; RAPOSO, M. C. M; CONCEIÇÃO, M. M.; SANTOS, V. O. Capacidade antioxidante de frutas e hortaliças. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento**

Sustentável, v. 10, n. 5, p. 93-98, 2015.

SILVA, M. A.; SANTOS, C. M.; VITORINO, H. S.; RHEIN, A. F. L. Pigmentos fotossintéticos e índice SPAD como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, v.1, n.1, p.173-181, 2014.

SILVA, O. M. P.; LOPES, W. A. R.; NUNES, J. H. S.; NEGREIROS, M. Z.; SOBRINHO, J. E. Adaptability and phenotypic stability of lettuce cultivars in a semiarid region. **Revista Caatinga**, v. 32, n.2, p. 552-558, 2019.

SILVEIRA, A. J.; FINZI, R. R.; CABRAL NETO, L. D.; MACIEL, G. M.; BELOTI, I. F.; JACINTO, A. C. P. Genetic dissimilarity between lettuce genotypes with different levels of carotenoids biofortification. **Nativa**, v. 7, n. 6, p. 656-660, 2019.

SIMKO, I. Genetic variation and relationship among content of vitamins, pigments, and sugars in baby leaf lettuce. **Food Science & Nutrition**, v. 7, n.10, p. 3317–3326, 2019.

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

SOUSA, C. S.; BONETTI, A. M.; GOULART FILHO, L. R.; MACHADO, J. R. A.; LONDE, L. N.; BAFFI, M. A.; RAMOS, R. G.; VIEIRA, C. U.; KERR, W. E. Divergência genética entre genótipos de alface por meio de marcadores AFLP. **Bragantia**, v. 66, n. 8, p. 11-16, 2007.

SOUSA, L. A.; JACINTO, A. C. P.; SILVEIRA, A. J. S.; CASTOLDI, R.; MACIEL, G. M.; BELOTI, I. F. Agronomic potential of biofortified crisphead lettuce (*Lactuca sativa*) and its reaction to Root- knot nematodes. **Australian Journal of Crop Science**, v.13, n.5. p.773-779, 2019.

SOUSA, L. A.; MACIEL, G. M.; JULIATTI, F. C.; BELOTI, I. F.; SIQUIEROLI, A. C. S.; CLEMENTE, A. A. Genetic dissimilarity between biofortified lettuce genotypes for leaf carotenoid levels. **Comunicata Scientiae**, v.11, p.3348, 2020.

STOMMEL, J. R.; PUSHKO, M.; HAYNES, K. G.; WHITAKER, B. D. Differential inheritance of pepper (*Capsicum annuum*) fruit pigments results in black to violet fruit colour. **Plant breeding**, v.133, n.6, p.788-793, 2014.

SYTAR, O.; ZIVCAK, M.; BRUCKOVA, K.; BRESTIC, M.; HEMMERICH, I.; RAUH, C.; SIMKO, I. Shift in accumulation of flavonoids and phenolic acids in lettuce attributable to changes in ultraviolet radiation and temperature. **Scientia Horticulturae**, v. 239, p. 193-204, 2018.

TEIXEIRA, F. G.; HAMAWAKI, O. T.; NOGUEIRA, A. P. O.; HAMAWAKI, R. L.; JORGE, G. L.; HAMAWAKI, C. L.; MACHADO, B. Q. V.; SANTANA, A. J. O. Genetic parameters and selection of soybean lines based on selection indexes. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 3, p. 1- 17, 2017.

THAKUR, M.; KUMAR, R.; KUMAR, S. Studies on genetic variability, correlation and path analysis in lettuce (*Lactuca sativa* L.) under protected conditions. **Journal of Natural and Applied Science**, v. 8, n.4, p. 1924-1930, 2016.

WILLIAMS, J. S. The evaluation of a selection index. **Biometrics**, v.18, n.3, p.375-393, 1962.

ZUFFO, A. M.; ZUFFO JÚNIOR, J. M.; da SILVA, L. M. A.; da SILVA, R. L.; de MENEZES, K. O. **Análise de crescimento em cultivares de alface nas condições do sul do Piauí**. Revista Ceres, v. 63, n.2, p. 145-153, 2016.