

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
CAMPUS MONTE CARMELO

JUAREZ GOMYDE FELIPE

SELEÇÃO DE HÍBRIDOS DE ALFACES BIOFORTIFICADAS E TROPICALIZADAS
POR ÍNDICE DE SELEÇÃO MULTICRITERIAL

Monte Carmelo
2026

JUAREZ GOMYDE FELIPE

SELEÇÃO DE HÍBRIDOS DE ALFACES BIOFORTIFICADAS E TROPICALIZADAS
POR ÍNDICE DE SELEÇÃO MULTICRITERIAL

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

Orientadora: Profa. Dra. Ana Carolina
Silva Siquieroli

Monte Carmelo
2026

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
CAMPUS MONTE CARMELO

JUAREZ GOMYDE FELIPE

SELEÇÃO DE HÍBRIDOS DE ALFACES BIOFORTIFICADAS E TROPICALIZADAS
POR ÍNDICE DE SELEÇÃO MULTICRITERIAL

Monte Carmelo, 17 de julho de 2026

Banca Examinadora

Profa. Dra. Ana Carolina Silva Siquieroli
Orientadora

Eng. Agr. e Mestrando Gabriel Rodrigues Silva
Membro da Banca

Eng. Agr. e Mestrando Marcos Paulo do Carmo Martins
Membro da Banca

Monte Carmelo
2026

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me conceder a força, a saúde e a sabedoria necessárias para enfrentar cada desafio ao longo desta jornada acadêmica, iluminando meu caminho nos momentos de maior dificuldade.

À minha família, a meus pais Paulo e Inara a minha irmã Dora e à minha namorada Ana Carolina, pelo apoio incondicional, amor, paciência e por sempre acreditarem no meu potencial, sendo a minha base firme em todas as horas de aperto.

À Universidade Federal de Uberlândia (UFU), por ter sido minha segunda casa, proporcionando a infraestrutura e as oportunidades necessárias para o meu crescimento pessoal e profissional. Aos professores do curso de Agronomia, em especial a minha orientadora. Dra. Ana Carolina Silva Siquieroli pela paciência, dedicação e pelos ensinamentos valiosos que guiaram o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos, que transformaram a rotina pesada de estudos e laboratórios em momentos mais leves, em especial a república Metiolate, Victor Augusto, José Romero, Henrique Braga, Humberto Alves, Joao Fioratti, Rafael Antonio, Marcons Martins. Obrigado pelas conversas, pelas parcerias nas madrugadas de entrega de projetos e por estarem ao meu lado nessa caminhada.

Agradecer a minha banca Gabriel Rodrigues Silva e Marcos Paulo do Carmo Martins pela participação e confiança

Ao GenHort por todos os aprendizados e amigos que fiz nessa caminhada.

E, finalmente, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que este ciclo se encerrasse com sucesso. Meus sinceros muito obrigado

RESUMO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é a principal hortaliça folhosa consumida no Brasil. O melhoramento genético busca desenvolver cultivares adaptadas ao clima tropical (tropicalizadas) e biofortificadas, com teores elevados de compostos funcionais. Este trabalho objetivou selecionar híbridos de alface com destaque para biofortificação e tropicalização utilizando índices de seleção multicriterial.

O experimento foi conduzido na Estação Experimental de Hortaliças da UFU (campus Monte Carmelo), foram avaliados dez híbridos em delineamento de blocos casualizados. Mensurou-se caracteres agronômicos e índice SPAD. As análises estatísticas incluíram métodos multivariados e o índice MGIDI para seleção de genótipos superiores. Os resultados demonstraram variabilidade genética significativa, permitindo a identificação de genótipos promissores. O índice MGIDI destacou os híbridos UFU HIB8 e UFU HIB10 como superiores: o UFU HIB10 apresentou o melhor potencial para biofortificação (maior índice SPAD) e arquitetura comercial, enquanto o UFU HIB8 destacou-se pelo alto teto produtivo de fitomassa e tolerância ao pendoamento precoce. A análise de dissimilaridade genética (UPGMA) confirmou o distanciamento genético entre estes híbridos de elite. Conclui-se que a seleção multicriterial é uma estratégia eficaz para a seleção de novas cultivares que conciliam produtividade e qualidade nutricional, sendo o UFU HIB8 e o UFU HIB10 os materiais mais aptos para continuidade no programa de melhoramento.

PALAVRAS-CHAVE

Palavras-Chave: Lactuca sativa L., Melhoramento genético, Análises multivariadas, Biofortificação, Tropicalização.

LISTA DE FIGURAS

Tabela 1-: Resumo da análise de variância (teste F) e coeficientes de variação (CV%) para as variáveis avaliadas em dez híbridos de alface. Monte Carmelo, MG, 2026.	13
Figura 1-Flutuação térmica diária (média e amplitude máxima-mínima) registrada ao longo do período de condução do experimento	12
Figura 2-Gráfico de índice multivariado baseado na distância genótipo-ideótipo (MGIDI) para dez híbridos de alface avaliados em Monte Carmelo, MG. 1 – UFU HIB1; 2 – UFU HIB 2; 3 – UFU HIB 3; 4 – UFU HIB 4; 5 – UFU HIB 5; 6 – UFU HIB 6; 7 – UFU HIB 7; 8 – UFU HIB.....	15
Figura 3-Médias para peso total (g), peso de folhas (g), número de folhas, comprimento do caule (cm) e índice SPAD de dez híbridos de alface obtidas pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) em Monte Carmelo, MG. 1 – UFU HIB1; 2 – UFU HIB2; 3 – UFU HIB3; 4 – UFU HIB4.....	17
Figura 4-Dendrograma de divergência genética entre dez híbridos de alface obtida pelo método UPGMA, utilizando a distância generalizada de Mahalanobis (D2) como medida de dissimilaridade baseada em cinco fatores determinantes.	19

SUMÁRIO

RESUMO	5
1. INTRODUÇÃO.....	8
2. OBJETIVO.....	9
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	9
3.1. A cultura da alface	9
3.2. Híbridos de alface	9
3.3. Tropicalização.....	10
3.4. Biofortificação	10
4. MATERIAL E MÉTODOS	11
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
5.1. Análise de variância (ANOVA) e potencial de seleção.....	13
5.2. Seleção multivariada utilizando o índice MGIDI	14
5.3. Desempenho agrônômico e teor relativo de clorofila dos híbridos	16
5.4. Divergência genética entre os híbridos	19
6. Conclusão.....	21
REFERÊNCIAS.....	22

1. INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.) destaca-se como a hortaliça folhosa de maior relevância no cenário olerícola brasileiro, tanto pelo volume de produção quanto pelo valor econômico gerado na cadeia produtiva (SALA; COSTA, 2012). Seu consumo é amplamente estimulado pelo baixo valor calórico e pela presença de fibras (FILGUEIRA, 2008).

O melhoramento genético da alface no Brasil tem avançado para além da produtividade, focando no desenvolvimento de genótipos que apresentem não apenas tolerância ao calor, mas também um perfil nutricional enriquecido. Essa tendência busca atender à crescente demanda por alimentos funcionais por meio da seleção de plantas com elevados teores de clorofilas, carotenoides e antocianinas (SOUZA, 2023).

O cultivo de alface em regiões de clima tropical e subtropical enfrenta desafios relacionados às altas temperaturas, que podem induzir ao pendoamento precoce e comprometer a qualidade comercial das folhas (RESENDE et al., 2017). Portanto, o melhoramento genético focado na tropicalização é essencial para garantir a oferta de cultivares produtivas durante todo o ano (SALA; COSTA, 2012).

A biofortificação surge como uma estratégia agrônômica promissora para aumentar a densidade nutricional dos alimentos. No caso da alface, o enriquecimento com compostos bioativos, como clorofilas, carotenoides e antocianinas auxiliam na prevenção de doenças degenerativas devido ao seu alto potencial antioxidante (CARVALHO et al., 2012; SOUZA, 2023).

A utilização de híbridos permite a exploração do vigor híbrido ou heterose, resultando em plantas com maior uniformidade, precocidade e resistência a doenças (MALUF, 2001). Embora híbridos simples sejam comuns, o seu desenvolvimento busca maximizar a variabilidade genética e a concentração de bioativos e a tropicalização.

A avaliação desses genótipos pode fornecer subsídios importantes para programas de melhoramento genético, permitindo identificar combinações híbridas promissoras que conciliem alto desempenho produtivo, estabilidade fenotípica e maior concentração de compostos bioativos (SMOLEN et al., 2019; SALA; COSTA, 2012).

2. OBJETIVO

Este trabalho terá como objetivo a seleção de híbridos com destaque para a biofortificação e tropicalização por índice de seleção multicriterial.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. A cultura da alface

A alface (*Lactuca sativa* L.) consolida-se como a hortaliça folhosa de maior relevância econômica e volume de consumo no cenário brasileiro. De acordo com os dados do último Censo Agropecuário do IBGE (2017), a cultura ocupa uma área de aproximadamente 86,8 mil hectares, envolvendo a atividade de mais de 670 mil estabelecimentos agropecuários, o que demonstra sua importância social na geração de emprego e renda, especialmente na agricultura familiar.

Quanto às preferências de mercado, a Associação Brasileira do Comércio de Sementes e Mudas (ABCSEM, 2025) aponta que a variedade crespa verde-clara permanece como a favorita do consumidor nacional. Contudo, observa-se uma expansão consistente dos tipos Americana e Romana, além das variedades segmentadas para o processamento mínimo.

O ciclo biológico da cultura, que varia em torno de 35 dias (COSTA; SALA, 2005), favorece o rápido giro de capital, embora exija do produtor um manejo rigoroso quanto à irrigação e ao controle de pragas e doenças para garantir a qualidade visual e fitossanitária do produto.

3.2. Híbridos de alface

O uso da heterose é uma das ferramentas mais eficazes para o aumento da produtividade e uniformidade em culturas agrícolas. A concentração de pigmentos fotossintéticos, como clorofilas e carotenoides, varia expressivamente entre as cultivares de

alface, sendo uma característica intrinsecamente ligada ao genótipo estudado (NASCIMENTO et al., 2014). Esta estratégia permite reunir, em um único genótipo, características complementares provenientes de dois parentais distintos, aumentando a base genética e a plasticidade fenotípica da planta frente a variações ambientais.

Dentro das estratégias de melhoramento, o uso de híbridos simples, pode contribuir para ampliar a base genética e potencializar a expressão de características desejáveis. A heterose resultante pode favorecer não apenas o desempenho agrônomo das plantas, mas também a expressão de características fisiológicas relacionadas à produção de pigmentos e compostos antioxidantes nas folhas (MALUF, 2001).

3.3. Tropicalização

Um dos maiores entraves à produção de alface em latitudes tropicais é a ocorrência do pendoamento precoce, induzido por altas temperaturas e fotoperíodo longo (RESENDE et al., 2017). A tropicalização das cultivares busca selecionar genótipos que apresentem emissão do botão floral de forma tardia, mantendo o aspecto comercial e evitando o amargor das folhas.

O conceito da alface tropicalizada é caracterizado pela tolerância ao pendoamento, permitindo adaptação do cultivo em diferentes regiões e condições climáticas sob alta temperatura, comum nas regiões tropicais brasileiras. As novas variedades de alface para cultivo no Brasil devem ser direcionadas para tolerância ao pendoamento precoce limitante ao cultivo nas condições tropicais (SALA; COSTA, 2016).

3.4. Biofortificação

No contexto do melhoramento genético de hortaliças, a biofortificação pode ser incorporada como um dos objetivos de seleção, buscando genótipos que apresentem maior concentração de compostos nutricionais e funcionais, sem comprometer características agrônomicas como produtividade, uniformidade e adaptação ambiental. Em alface, essa estratégia torna-se particularmente relevante devido ao elevado consumo da cultura e à

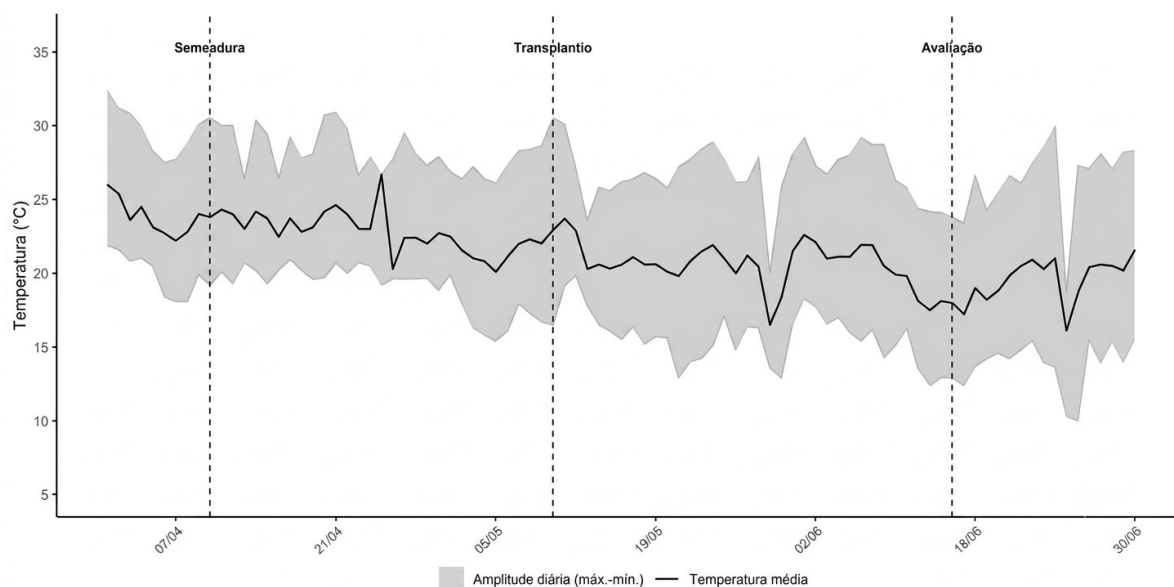
crescente demanda por alimentos com maior valor nutricional e funcional (SMOLEN et al., 2019).

A variabilidade genética presente em diferentes linhagens de alface constitui a base para a seleção de genótipos com maiores teores de compostos bioativos, como clorofilas, carotenoides e antocianinas. Dessa forma, programas de melhoramento podem explorar essa variabilidade para desenvolver cultivares que combinem características agronômicas desejáveis com maior qualidade nutricional. Nesse processo, a escolha adequada dos parentais torna-se um fator fundamental, pois a recombinação genética permite reunir alelos favoráveis associados tanto à produtividade quanto ao acúmulo de metabólitos secundários de interesse (YANG et al., 2022).

4. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na Estação Experimental de Hortaliças da Universidade Federal de Uberlândia, no município de Monte Carmelo (873 m de altitude), Minas Gerais, Brasil., sob as coordenadas geográficas de 18°43' S de latitude e 47°29' W de longitude, apresentando uma altitude média de 880 metros. De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, o clima da região é do tipo Cwa (tropical de altitude), caracterizado por verões quentes e chuvosos e invernos secos (ALVARES et al., 2013) (Figura 1).

Figura 1-Flutuação térmica diária (média e amplitude máxima-mínima) registrada ao longo do período de condução do experimento



FONTE: AUTOR (2026).

Foram avaliados dez híbridos simples de alfaces provenientes do cruzamento entre parentais pertencentes ao Programa de Melhoramento Genético de Alface Biofortificada e Tropicalizada da UFU.

A semeadura foi realizada em bandejas preenchidas com substrato. Trinta dias após a semeadura foi realizado o transplântio para o campo. Cada parcela do experimento foi composta por dezesseis plantas, arranjadas em quatro linhas com espaçamento de 0,25m x 0,25m, sendo avaliadas as quatro plantas centrais. O delineamento experimental realizado foi feito em blocos casualizados com três repetições.

Após 35 dias do transplântio foram avaliados os seguintes parâmetros agrônômicos: peso total, peso das folhas, diâmetro da planta, número de folhas, comprimento do caule, diâmetro do caule, temperatura da planta, temperatura de solo e índice SPAD.

A significância das diferenças entre os dados obtidos foi avaliada por meio da análise de variância, pelo teste F ($p < 0,05$). As médias foram comparadas pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$). Foram realizadas análises multivariadas de dissimilaridade genética entre os genótipos baseadas na distância generalizada de Mahalanobis, representada por dendrograma obtido pelo método UPGMA. Todos os dados foram analisados no software R, versão 4.6.0 (R CORE TEAM, 2026).

Baseado na busca da biofortificação e tropicalização de alface, os híbridos foram selecionados para um ideótipo com altos teores de clorofila (Índice SPAD) e reduzido comprimento de caule. O índice MGIDI foi utilizado para selecionar genótipos com valores máximos (ganhos positivos), conforme proposto por Olivoto; Nardino (2021).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Análise de variância (ANOVA) e potencial de seleção

A análise de variância (Tabela 1) revelou a existência de variabilidade genética significativa entre os dez genótipos de alface avaliados. O teste F foi significativo a 0,1% de probabilidade ($p < 0,001$) para as variáveis número de folhas e comprimento do caule, a 1% de probabilidade ($p < 0,01$) para o índice SPAD, e a 5% de probabilidade ($p < 0,05$) para peso total e peso das folhas. Os resultados confirmam a presença de base genética propícia para a aplicação de índices e pressões de seleção multivariada (SOUZA et al., 2020) (Tabela).

Tabela 1-: Resumo da análise de variância (teste F) e coeficientes de variação (CV%) para as variáveis avaliadas em dez híbridos de alface. Monte Carmelo, MG, 2026.

Variável	F (Tratamento)	p-valor	Significância	CV (%)
PESO TOTAL (g)	2,711	0,0343	*	19,07
NÚMERO DE FOLHAS	5,687	0,0009	***	12,57
PESO DAS FOLHAS (g)	2,796	0,0303	*	18,20
DIÂMETRO DO CAULE (mm)	0,420	0,9080	Ns	18,84
COMPRIMENTO DO CAULE (cm)	8,000	0,0001	***	27,74
DIÂMETRO DA PLANTA (cm)	1,035	0,4510	Ns	8,88

TEMPERATURA DA PLANTA (°C)	1,844	0,1287	Ns	6,78
TEMPERATURA DO SOLO (°C)	2,047	0,0936	Ns	9,00
SPAD	4,832	0,0022	**	11,22

**Nota: ns, *,.: não significativo, significativo a 5%, 1% e 0,1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente*

FONTE: AUTOR (2026).

As variáveis diâmetro do caule, diâmetro da planta, temperatura da planta e temperatura do solo não apresentaram diferenças significativas ($p > 0,05$) pelo teste F. A ausência de significância para caracteres de conformação arquitetônica, como o diâmetro da planta e do caule, sugere que os híbridos avaliados mantiveram uma estabilidade e uniformidade morfológica próximas ao padrão comercial. Do mesmo modo, a homogeneidade observada nas variáveis ambientais de temperatura da planta e do solo corrobora com a condução equitativa do ensaio em blocos, minimizando possíveis ruídos ambientais localizados na área experimental (SALA; COSTA, 2012).

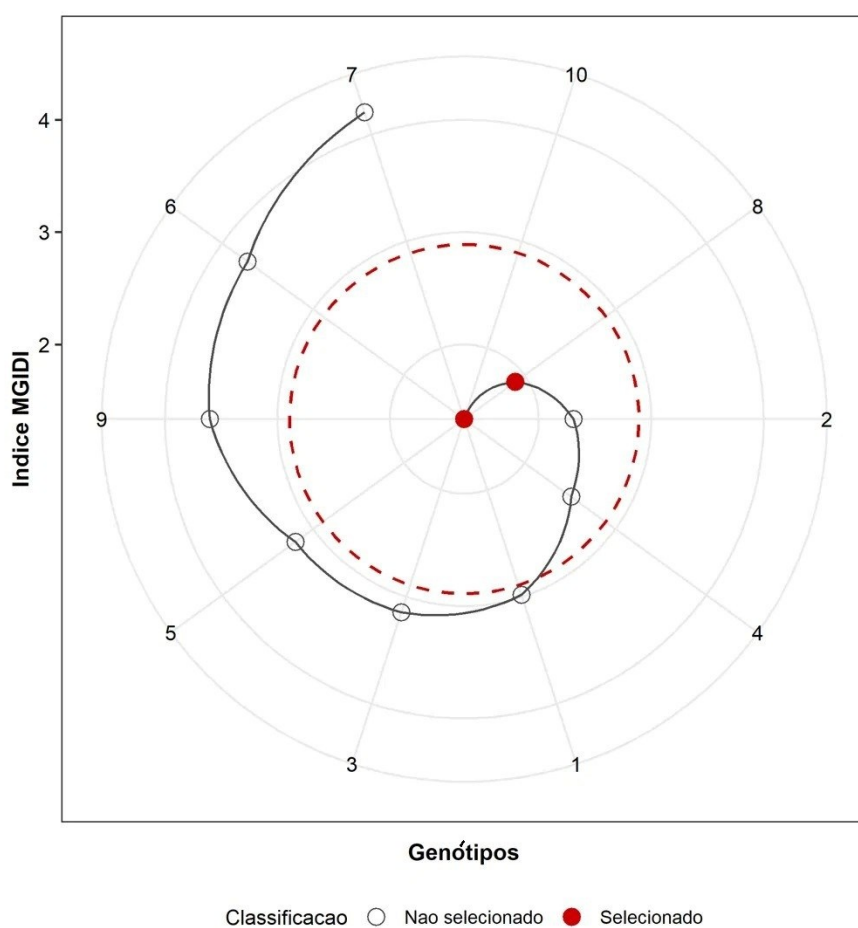
A alta significância observada para o comprimento do caule assume papel crítico sob as condições climáticas de Monte Carmelo, MG. Sabendo que o calor e a transição estacional do Cerrado atuam acelerando o ciclo fisiológico da alface, o alongamento do caule é o principal indicativo morfológico do pendoamento precoce (MALUF, 2001). A variação detectada nesta característica evidencia que os genótipos possuem diferentes níveis de tolerância ao estresse térmico, permitindo discriminar e descartar os materiais que tendem a pendear precocemente, garantindo a seleção de híbridos verdadeiramente tropicalizados.

5.2. Seleção multivariada utilizando o índice MGIDI

A seleção com foco no desenvolvimento de híbridos de alface exige uma abordagem criteriosa que concilie o desempenho agrônômico clássico com o incremento de compostos funcionais associados à biofortificação. Para contornar os efeitos de correlação indesejada entre as variáveis avaliadas, explorou-se o Índice de Desempenho de Genótipos Multi-Characterísticas (MGIDI), conforme proposto por Olivoto e Nardino (2020). O ordenamento

e a classificação dos genótipos avaliados com base na proximidade geométrica com o ideótipo ideal são apresentados na Figura 2.

Figura 2-Gráfico de índice multivariado baseado na distância genótipo-ideótipo (MGIDI) para dez híbridos de alface avaliados em Monte Carmelo, MG. 1 – UFU HIB1; 2 – UFU HIB 2; 3 – UFU HIB 3; 4 – UFU HIB 4; 5 – UFU HIB 5; 6 – UFU HIB 6; 7 – UFU HIB 7; 8 – UFU HIB



FONTE: AUTOR (2026).

O gráfico radial em espiral divide os materiais avaliados em função do limiar de seleção, representado graficamente pela linha circular tracejada em vermelho (Figura 2). Os genótipos situados na região interna ou abaixo desse limite crítico apresentam menor

distância geométrica em relação ao ideótipo estipulado, reunindo o melhor equilíbrio de caracteres desejáveis, como altos teores de clorofila e reduzido comprimento de caule.

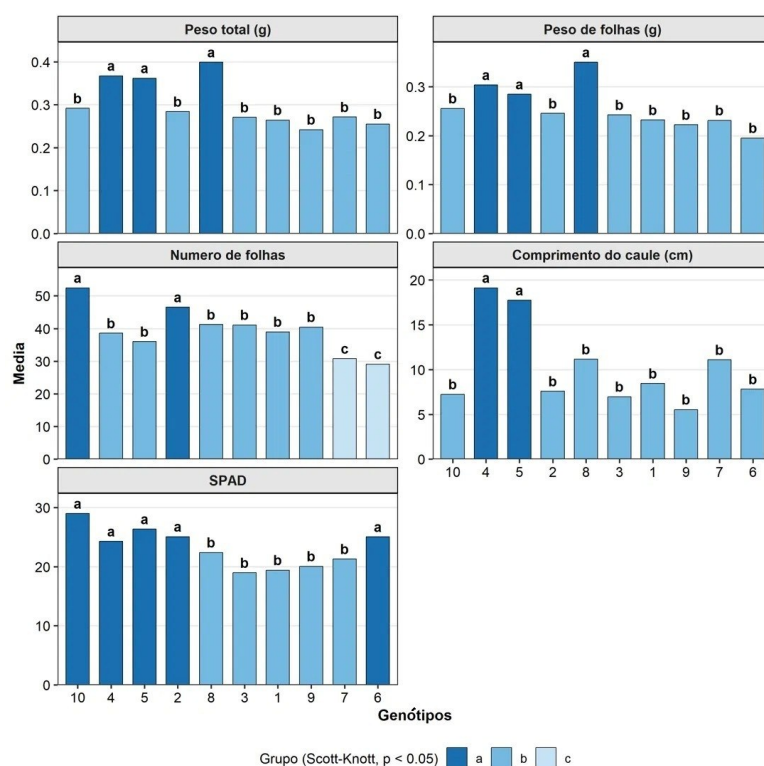
Dessa forma, os genótipos *UFU HIB 8* e *UFU HIB 10* foram o classificados (representados pelos pontos preenchidos em vermelho), posicionando-se estrategicamente no centro do gradiente radial. O genótipo *UFU HIB 10* demonstrou o máximo potencial adaptativo e comercial, alcançando o menor valor numérico para o índice MGIDI.

Em contrapartida, os demais genótipos plotaram-se externamente à linha tracejada de corte, seguindo a trajetória ascendente da curva em espiral. O genótipo *UFU HIB 7* posicionou-se na extremidade oposta da ordenação, apresentando o maior valor do índice (superior a 4), o que reflete seu forte distanciamento das metas fenotípicas e nutricionais estabelecidas para o programa de melhoramento.

5.3. Desempenho agrônômico e teor relativo de clorofila dos híbridos

O desdobramento das médias para as características avaliadas permitiu estratificar o comportamento dos dez genótipos de alface, evidenciando variabilidade genética promissora para o programa de melhoramento. Para contornar as ambiguidades geradas por testes de comparações múltiplas tradicionais, aplicou-se o teste de agrupamento de Scott e Knott (1974), permitindo discriminar as médias de biomassa, arquitetura de planta e teor relativo de clorofila de forma mutuamente exclusiva (Figura 3).

Figura 3-Médias para peso total (g), peso de folhas (g), número de folhas, comprimento do caule (cm) e índice SPAD de dez híbridos de alface obtidas pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) em Monte Carmelo, MG. 1 – UFU HIB1; 2 – UFU HIB2; 3 – UFU HIB3; 4 – UFU HIB4



FONTE: AUTOR (2026).

Na avaliação das características relacionadas a produtividade (peso total e peso das folhas), os genótipos foram divididos em dois grupos distintos. Os genótipos *UFU HIB4*, *UFU HIB5* e *UFU HIB8* integraram a classe superior (grupo 'a'), demonstrando o maior acúmulo de fitomassa fresca. De acordo com Filgueira (2008), a massa fresca foliar é o principal componente de rendimento comercializado na cadeia de hortaliças folhosas, sendo diretamente influenciada pelo vigor híbrido e pela eficiência no aproveitamento dos recursos edafoclimáticos.

No entanto, a avaliação isolada do peso não é suficiente para determinar o potencial comercial em alfaces, devendo ser analisada em conjunto com a arquitetura do caule. Para a variável comprimento do caule, os genótipos *UFU HIB4* e *5* apresentaram os maiores valores médios (isolando-se no grupo 'a') com comprimentos indesejáveis (próximos a 18

cm). Esse alongamento excessivo do caule indica uma forte tendência ao pendoamento precoce.

Conforme discutido por Sala e Costa (2012), sob condições de temperaturas elevadas e fotoperíodo crescente, típicas de regiões tropicais, a planta acelera a transição da fase vegetativa para a reprodutiva; o caule se alonga para a formação da inflorescência e ocorre a ativação de vasos laticíferos, o que eleva a concentração de látex e compostos fenólicos amargos, depreciando completamente o padrão comercial do produto.

Em contrapartida, o genótipo UFU HIB8, embora altamente produtivo em peso de folhas, manteve um comprimento de caule significativamente menor, integrando o grupo 'b'. Essa característica denota maior estabilidade genotípica e tolerância ao pendoamento nas condições do Triângulo Mineiro, corroborando as metas seletivas preconizadas por Resende et al. (2017) para o cultivo de verão.

No que tange a característica de número de folhas, os genótipos UFU HIB2 e UFU HIB10 destacaram-se significativamente na classe superior ('a'), ultrapassando a marca de 45 folhas por planta. O elevado número de folhas correlaciona-se diretamente com uma maior área fotossinteticamente ativa.

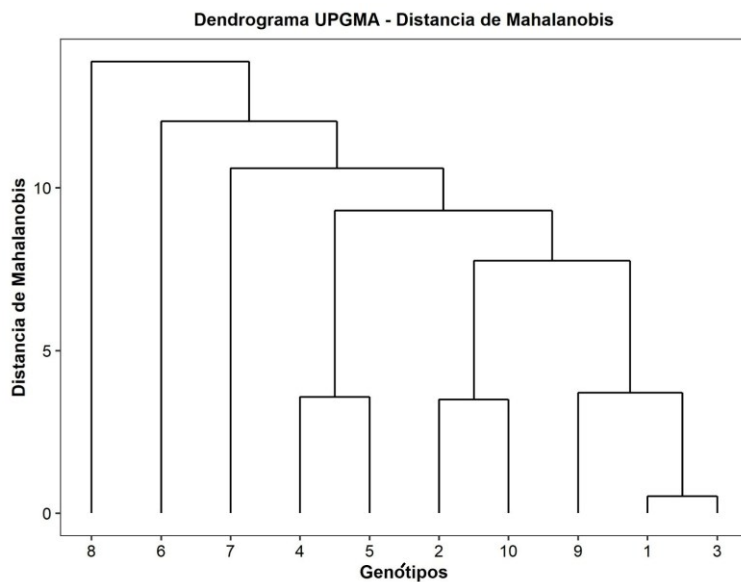
Fisiologicamente, o Índice SPAD atuou como um indicador fidedigno do teor relativo de clorofila e do potencial de biofortificação. Os genótipos UFU HIB2, UFU HIB5, UFU HIB6 e UFU HIB10 formaram o grupo de elite ('a'), exibindo maiores teores de clorofila. Madeira et al. (2003) apontam que a leitura não destrutiva do índice SPAD apresenta alta correlação linear com os teores reais de clorofilas a e b extraídos em laboratório. Assim, a seleção de híbridos com elevados valores de SPAD indica não apenas maior eficiência no aparato fotossintético, mas também o sucesso na retenção de pigmentos bioativos associados à qualidade nutricional exigida no nicho de alimentos funcionais.

Essa caracterização individual justifica com precisão a seleção multivariada realizada posteriormente pelo índice MGIDI: o genótipo UFU HIB10 consolida-se como um híbrido de destaque por reunir o maior índice SPAD, excelente número de folhas e caule compacto, enquanto o híbrido UFU HIB8 garante o ganho genético focado no teto produtivo de fitomassa sem incorrer no problema de pendoamento precoce observado nos híbridos UFU HIB4 e UFU HIB5.

5.4. Divergência genética entre os híbridos

A quantificação da divergência genética entre os genótipos é uma etapa estratégica em programas de melhoramento de hortaliças, permitindo prever o comportamento de cruzamentos futuros e a exploração da heterose. A distância generalizada de Mahalanobis (D^2) foi estimada com base nas cinco características com efeito genotípico significativo, conforme recomendação de Cruz et al. (2014), para garantir a estabilidade da estimativa da matriz de covariância. A partir dessa matriz, gerou-se o dendrograma pelo método de agrupamento hierárquico Unweighted Pair-Group Method with Arithmetic Average (UPGMA). Adotando-se um critério de corte visual baseado no ponto de maior salto combinatório entre os níveis de fusão (estabelecido na distância de 9,5), os dez genótipos de alface foram estratificados de forma clara.

Figura 4-Dendrograma de divergência genética entre dez híbridos de alface obtida pelo método UPGMA, utilizando a distância generalizada de Mahalanobis (D^2) como medida de dissimilaridade baseada em cinco fatores determinantes.



FONTE: AUTOR (2026).

A análise topológica do dendrograma permitiu a divisão dos genótipos avaliados em grupos distintos, revelando uma forte correspondência entre a divergência genética e os perfis morfofisiológicos observados no teste de Scott-Knott.

O Grupo I foi o bloco mais expressivo em número de componentes, sendo subdividido em dois subgrupos principais. O primeiro subgrupo reuniu os genótipos UFU HIB1, UFU HIB3 e UFU HIB9, apresentando a menor dissimilaridade biológica do ensaio ($D^2 \approx 0,5$) entre UFU HIB1 e UFU HIB3), indicando uma constituição alélica altamente homogênea. O segundo subgrupo revelou o emparelhamento estreito entre os genótipos UFU HIB2 e UFU HIB10, associando-se a uma distância de apenas 3,6. Essa forte similaridade genética entre UFU HIB2 e UFU HIB10 é corroborada pelo fato de que ambos integraram a classe de elite (grupo 'a') para as variáveis número de folhas e índice SPAD, consagrando-se como os híbridos de maior destaque para o potencial de biofortificação foliar.

O Grupo II foi composto pelos genótipos UFU HIB4 e UFU HIB5, que se uniram a uma distância de 3,7. Este agrupamento isolado reflete com precisão o comportamento agrônomo compartilhado por esses dois genótipos: ambos demonstraram os maiores valores de fitomassa (peso total e peso de folhas), porém atrelados a um comprimento de caule indesejável. A proximidade genética entre eles confirma que compartilham blocos de genes que governam tanto o alto rendimento quanto a sensibilidade ao estresse térmico que acelera o pendoamento.

Os demais híbridos posicionaram-se de forma isolada e periférica devido às suas respostas singulares. O genótipo UFU HIB7 e o genótipo UFU HI 6 ligaram-se ao bloco principal apenas em patamares elevados de distância (10,6 e 12,1, respectivamente), o que evidencia suas naturezas divergentes dentro do germoplasma avaliado.

O maior destaque prático do dendrograma reside no isolamento completo do Genótipo 8, que se posicionou na extremidade oposta de todo o ensaio, fundindo-se à população apenas no topo do gradiente de fusão, a uma distância de 13,5. De acordo com Cruz, Regazzi e Carneiro (2012), a ocorrência de um genótipo que exibe superioridade para caracteres comerciais de interesse e, simultaneamente, se mantém isolado em um grupo exclusivo é o cenário ideal para programas de melhoramento.

Sob a ótica do melhoramento de alfaces biofortificadas e tropicalizadas, esse arranjo genético é altamente promissor. Cruzamentos direcionados entre o genótipo UFU HIB8 (Grupo Isolado com alto peso e caule curto) e componentes de elite do Grupo I, como UFU

HIB10 (alto SPAD e número de folhas), tendem a maximizar a capacidade combinatória, promovendo uma ampla quebra de correlações indesejadas e permitindo a manifestação de vigor híbrido superior nas gerações subsequentes

6. CONCLUSÃO

O uso de ferramentas biométricas multivariadas permitiu discriminar com precisão o potencial agrônomo, nutricional e a estrutura de divergência genética de híbridos de alface. Constatou-se a existência de variabilidade genética suficiente entre os híbridos para ganho de seleção simultâneo em caracteres comerciais e teores de clorofila. O índice multivariado MGIDI identificou os genótipos UFU HIB8 e UFU HIB10 como os híbridos de elite do ensaio, reunindo o melhor equilíbrio fenotípico em relação ao ideótipo comercial preconizado. O UFU HIB10 destaca-se pelo elevado potencial para biofortificação, expressando altos índices SPAD (teor relativo de clorofila) e excelente arquitetura comercial devido ao elevado número de folhas e reduzido comprimento do caule. Por sua vez, o UFU HIB 8 consagra-se pelo elevado teto produtivo de fitomassa, tanto para peso total quanto para peso de folhas, associado a uma alta tolerância ao pendoamento precoce, mantendo o caule curto sob o estresse térmico característico do Cerrado. Além disso, a análise de agrupamento UPGMA revelou que UFU HIB8 apresenta elevado distanciamento genético em relação aos componentes de elite do Grupo I, onde se insere o UFU HIB10.

REFERÊNCIAS

ABCSEM – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO COMÉRCIO DE SEMENTES E MUDAS. **Manual técnico para cultivo de hortaliças**. 5. ed. Campinas: ABCSEM, 2025.

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

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

DE, M. et al. Desempenho produtivo de genótipos de alface crespa no Submédio do Vale do São Francisco. **Scientia Plena**, v. 13, n. 11, 14 dez. 2017.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2008.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário 2017: resultados definitivos**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br/resultados-censo-agro-2017>. Acesso em: 1 abr. 2026.

LICHTENTHALER, H.; WELLBURN, A. Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. **Biochemical Society Transactions**, v. 11, p. 591–592, 1983.

LUIZ, J.; DE CARVALHO, V.; NUTTI, M. **BIOFORTIFICAÇÃO DE PRODUTOS AGRÍCOLAS PARA NUTRIÇÃO HUMANA**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/951786/1/2012296.pdf>. Acesso em: 1 abr. 2026.

MADEIRA, A. C. et al. Non-destructive measurement of total chlorophyll in lettuce using a SPAD-502 meter. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 4, n. 4, p. 399–405, 2003.

MALUF, W. R. Heterose e emprego de híbridos F1 em hortaliças. In: NASS, L. L. et al. (ed.). **Recursos genéticos e melhoramento: plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 327–356. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/920338>. Acesso em: 1 abr. 2026.

NASCIMENTO, T. B. et al. Teor de carotenoides e clorofila em diferentes cultivares de alface. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 4, p. 2427–2436, 2014.

OLIVOTO, T.; NARDINO, M. MGIDI: Toward an effective multivariate selection in biological experiments. **Bioinformatics**, [s.l.], v. 37, n. 10, p. 1383–1389, 2021.

RESENDE, G. M. et al. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de alface crespa em condições tropicais. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 2, p. 148-154, 2017.

R CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2025. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 10 abr. 2025.

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

SCOTT, A. J.; KNOTT, T. M. **A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance**. **Biometrics**, v. 30, n. 3, p. 507-512, 1974.

SMOLEŃ, S. et al. Biofortification of Six Varieties of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) With Iodine and Selenium in Combination With the Application of Salicylic Acid. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, 19 fev. 2019.

WITHAM, F. H.; BLAYDES, D. F.; DEVLIN, R. M. **Experiments in plant physiology**. New York: Van Nostrand, 1971.

YANG, X. et al. Bioactive compounds in lettuce: Highlighting the benefits to human health and impacts of preharvest and postharvest practices. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 21, n. 1, p. 4–45, 21 dez. 2021.