



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

JOÃO ELIAS MOREIRA FILHO

**DIVERSIDADE FENOTÍPICA DE *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill., ACESSADA POR
MARCADORES MORFOLÓGICOS E BROMATOLÓGICOS**

**AREIA
2021**

JOÃO ELIAS MOREIRA FILHO

**DIVERSIDADE FENOTÍPICA DE *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill., ACESSADA POR
MARCADORES MORFOLÓGICOS E BROMATOLÓGICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à
Universidade Federal da Paraíba, como
requisito parcial à obtenção do título de
Licenciatura em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Mailson Monteiro do
Rego.

Coorientadora: Prof. Dra. Elizanilda Ramalho
do Rêgo.

Catálogo na publicação
Seção de Catálogo e Classificação

M838d Moreira Filho, João Elias.

Diversidade fenotípica de *Opuntia ficus-indica* (L.)
Mill., acessada por marcadores morfológicos e
bromatológicos / João Elias Moreira Filho. -
Areia:UFPB/CCA, 2021.

41 f. : il.

Orientação: Mailson Monteiro do Rego.

Coorientação: Elizanilda Ramalho do Rego.

TCC (Graduação) - UFPB/CCA.

1. Ciências Biológicas. 2. Bromatologia. 3. Palma
forrageira. 4. Descritores morfológicos. 5.
Melhoramento. 6. Variabilidade. I. Rego, Mailson
Monteiro do. II. Rego, Elizanilda Ramalho do. III.
Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 573(02)

JOÃO ELIAS MOREIRA FILHO

**DIVERSIDADE FENOTÍPICA DE *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill., ACESSADA POR
MARCADORES MORFOLÓGICOS E BROMATOLÓGICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à
Universidade Federal da Paraíba, como
requisito parcial à obtenção do título de
Licenciatura em Ciências Biológicas

Aprovado em: 12/03/2021.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Mailson Monteiro do Rego (Orientador)
Universidade Federal da Paraíba



Isaías Vitorino Batista de Almeida
Doutor em Agronomia



Jucilene Silva Araújo
Doutora em Agronomia

Dedico a Raimundo Valci Lopes (*in
memorian*), meu querido avô.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, pois sem Ele nada seria possível.

Aos meus pais e ao meu irmão, pelo apoio e compreensão. Com a distância, muitas coisas aconteceram, muitos entes queridos se foram, mas nosso alicerce é resistente. Obrigado por tudo, essa conquista também é de vocês.

Ao longo desses 6 anos em Areia, fiz grandes amizades que levarei para toda a minha vida. Foi aqui que conheci Thayná de Sena Siqueira, a minha companheira. Obrigado por sempre estar ao meu lado e me incentivar em todas as minhas decisões, não imagino um futuro sem você ao meu lado, comemorando cada vitória.

Aos meus orientadores Mailson e Elizanilda. Lembrarei sempre da ótima relação que tive com vocês, foi a minha melhor experiência orientador-orientando. Obrigado por toda amizade e ensinamento em todos esses anos.

Aos meus amigos da biologia que estiveram sempre comigo: Thayse Ferraz, Matheus Lagares, Gabriel Leite, Harisson Luiz e Henrique Reis. Agradeço aos amigos que fiz fora da minha “zona de conforto”: João Luiz, Lívia Albuquerque, Natália Matos, Gabriel Ferreira, Lavínia Soares, Alice Montenegro e Iorrany Maria, perdi a conta de quantas vezes queria conversar sobre ciência e acabei conhecendo mais sobre cirurgias, protocolos e afins. Não poderia esquecer de Érika Foncesca, uma pessoa de coração enorme, sinto falta do pão de queijo e os assuntos aleatórios nos fins de semana em sua casa.

À Universidade Federal da Paraíba, pela oportunidade de concluir mais uma etapa da minha vida acadêmica. A todos os servidores técnicos-administrativos de todos os setores que me ajudaram ao longo desses anos.

RESUMO

A palma forrageira é o nome popular da espécie *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. A planta possui adaptações as regiões áridas e semiáridas, sendo uma espécie cosmopolita. A palma forrageira possui propriedades agronômicas, medicinais e ecológicas e, há uma ampla diversidade de formas e cores de cladódios e frutos. Esse trabalho oferece uma visão geral da diversidade morfológica e bromatológica de 30 acessos de *O. ficus-indica* (L.) Mill. Foram avaliadas características quantitativas e qualitativas, morfológicas e bromatológicas. Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA), e a partir das médias foram estimados herdabilidade em amplo, variâncias e correlações fenotípicas e genotípicas. Além disso, foi realizado o agrupamento dos acessos pelo Tocher modificado e pelo método hierárquico UPGMA. Ainda foi determinado a importância relativa dos caracteres para a diversidade e análise dos componentes principais. Apesar de, as populações de *O. ficus-indica* (L.) Mill., serem provenientes, em sua maioria, de clones por meio da propagação vegetativa de seus cladódios, observou-se que há diversidade genética entre os acessos estudados. Maiores estimativas de herdabilidade foram encontradas nos marcadores bromatológicos, quando comparados aos morfológicos, sugerindo maior influência do controle genético do que ambiental. As correlações fenotípicas e genotípicas foram altas e positivas em todas as variáveis do cladódio. O agrupamento de Tocher, reuniu os acessos em 3 grupos distintos, enquanto que o dendrograma, organizou os acessos em 4 grupos. Os dois primeiros Componentes Principais (PCA) explicaram 74% da variabilidade. Foi verificado que os descritores cor do cladódio, distribuição de espinhos e comprimento do espinho foram as variáveis que mais contribuíram para a diversidade dos acessos. Existe variabilidade genética dentro de *Opuntia ficus-indica*, e os acessos que se destacaram foram os acessos 4, 5, 7, 8, 12, 13 e 30, sendo os mesmos promissores para os programas de melhoramento de palma forrageira.

Palavras-chaves: bromatologia; descritores morfológicos; melhoramento; palma forrageira; variabilidade.

ABSTRACT

The forage cactus is the popular name for the species *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. The plant has adaptations to arid and semiarid regions, being a cosmopolitan species. The forage cactus has agronomic, medicinal and ecological properties, and there is a wide diversity of shapes and colors of cladodes and fruits. This work provides an overview of the morphological and bromatological diversity of 30 accessions of *O. ficus-indica* (L.) Mill. Quantitative and qualitative, morphological and bromatological characteristics were evaluated. Data were subjected to analysis of variance (ANOVA), and from the means, broad heritability, variances and phenotypic and genotypic correlations were estimated. In addition, accesses were grouped using the modified Tocher and the UPGMA hierarchical method. The relative importance of the characters for the diversity and analysis of the principal components was also determined. Although the populations of *O. ficus-indica* (L.) Mill. are mostly derived from clones through the vegetative propagation of their cladodes, it was observed that there is genetic diversity among the studied accessions. Higher heritability estimates were found in bromatological markers, when compared to morphological ones, suggesting greater influence of genetic control than environmental. The phenotypic and genotypic correlations were high and positive for all cladode variables. The Tocher grouping gathered accessions into 3 distinct groups, while the dendrogram organized accessions into 4 groups. The first two Principal Components (PCA) explained 74% of the variability. It was found that the descriptors cladode color, spine distribution and spine length were the variables that most contributed to the diversity of accessions. There is genetic variability within *Opuntia ficus-indica*, and the accessions that stood out were the accessions 4, 5, 7, 8, 12, 13 and 30, being the same promising for the improvement programs of cactus forage.

Key-words: bromatology; morphological descriptors; improvement; forage palm; variability.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	METODOLOGIA	11
2.2	Localização do experimento	11
2.3	Desenho experimental.....	12
2.4	Variáveis quantitativas.....	13
2.5	Variáveis qualitativas.....	14
2.6	Análise estatísticas	15
3	RESULTADOS.....	17
3.1	Variáveis quantitativas.....	17
3.2	Variáveis qualitativas.....	29
4	DISCUSSÃO	33
5	CONCLUSÃO	36
6	REFERENCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

A família Cactaceae inclui aproximadamente 2.000 espécies nativas das Américas e possuem distribuição cosmopolita, contudo, os cactos são nativos da América do Norte, América do Sul e Índias Ocidentais (NEFZAOUİ et al., 2014; SHETTY et al., 2012). O gênero *Opuntia* apresenta alta diversidade genética e, dentre as mais de 30 espécies cultivadas, *O. ficus-indica* (L.) Mill. é uma das mais importantes, por ser adaptada as regiões áridas e semiáridas. Além disso, possui utilidade como alimento, forragem, corante, fonte de energia e desempenha papel na remediação do ecossistema (DUBEUX JR, SALEM, & NEFZAOUİ, 2017).

O termo *ficus-indica* foi usado como uma “frase diagnóstico” antes de Lineu, para nomear várias espécies semelhantes (KIESLING & METZING, 2017). Devido a sua distribuição por todos os continentes, a cultura recebeu nomes vernaculares em todas as regiões inseridas (REYES-AGÜERO et al., 2005), dentre os mais usados, citam-se: figo da Índia (português); figo indiano (inglês); figuier d'Inde (francês); Indianische feige (alemão); fico d'India (italiano) (REYNOLDS & ARIAS, 2001). No Brasil, a *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. é denominada “palma forrageira”, sendo assim, trataremos a espécie pelo seu nome vernacular.

Palma forrageira possui importância econômica e ecológica. Do ponto de vista alimentício, os frutos são consumidos na forma *in natura*, por serem ricos em glicose, frutose, proteínas, vitaminas, minerais, fibras dietéticas, pigmentos, compostos fenólicos e aminoácidos (SHETTY et al., 2012). Os cladódios são fonte de fibra e, em alguns países, são consumidos na forma de salada (SHETTY et al., 2012; Yahia and Sáenz 2011). Os cladódios e frutos também são usados na indústria farmacêutica como anticancerígeno, anti-inflamatório e neuroprotetor, como preventivo de doenças degenerativas e na redução do nível de colesterol no sangue (SHETTY et al., 2012; YAHIA et al., 2011).

Atualmente, o uso da palma forrageira como alimento para os ruminantes está bem estabelecido nas regiões semiáridas de todo o mundo (PAULA et al., 2018; SHACKLETON et al., 2017), por oferecer benefícios na nutrição, no rendimento de biomassa fresca, na palatabilidade e digestibilidade e por serem ricos em água. Os ruminantes são capazes de transformar forrageiras em produtos de valor econômico (MARQUES et al., 2017; CRUZ FILHO et al., 2019; JARDIM et al., 2020;). Uma forrageira de qualidade é baseada em algumas condições nutricionais, tais como: proteína, energia, minerais, vitaminas, fibras e gordura. A presença de carboidratos não fibrosos na palma forrageira, permite uma melhor digestão e fornece nutrientes para os animais em períodos de estiagem, tornando-se um alimento

fundamental na dieta de ruminantes (COSTA et al., 2016; ROUHOU et al., 2018; CRUZ FILHO et al., 2019).

Do ponto de vista ecológico, a palma forrageira desempenha papel significativo na regeneração da vegetação de terras áridas e semiáridas e na desaceleração do desmatamento, perda de biodiversidade, degradação e erosão do solo (SHETTY et al., 2012; SÁENZ et al., 2013; NEFZAOU et al., 2014; PAIVA et al., 2016;). Segundo Sáenz et al., (2013), a palma forrageira está bem adaptada para lidar com futuras alterações climáticas globais e diminuição do CO₂ atmosférico, causado pelo desmatamento e uso de combustível fóssil em larga escala, uma vez que absorve o equivalente a 30 toneladas de CO₂ por hectare ao ano (Louhaichi et al., 2017).

A plasticidade da palma forrageira em ocupar ambientes adversos deve-se a sua diversidade genética. Dentro da espécie *O. ficus-indica* (L.) Mill. já foram reportados diferentes níveis de ploidia ($2n = 2x = 22$, $2n = 4x = 44$, $2n = 6x = 66$, $2n = 8x = 88$ cromossomos), com consequentes mudanças nos descritores morfológicos qualitativos e quantitativos da palma forrageira.

Descritores morfológicos são marcadores genéticos amplamente usados para avaliar a diversidade genética, devido a sua simplicidade, rapidez e baixo custo na aquisição da informação dos acessos (MONDRAGÓN-JACOBO & CHESSA, 2013). Desse modo, a caracterização fenotípica da palma forrageira pode ser descrita a partir dos cladódios, frutos, espinhos, gloquídios e sementes. Existem listas, catálogos e diversos trabalhos com vários descritores para as espécies de *Opuntia* que buscam melhorar a utilização e padronização de caracteres fenotípicos, por exemplo, Amani et al., (2019) utilizou cerca de 63 características ao estudar a variabilidade morfológica de espécies de *Opuntia* em uma coleção *ex situ* na Tunísia.

A caracterização de germoplasma é essencial para fornecer informação sobre os caracteres de cada acesso, promovendo sua classificação por meio das estimativas da diversidade genética dentro e entre grupos (NEFZAOU et al., 2019). Outra forma de acessar a diversidade genética de *Opuntias* é por meio de marcadores moleculares, amplamente utilizados na avaliação de bancos de germoplasma, porém apresentam alguns inconvenientes, dentre eles, altas quantidades de polissacarídeos e metabólitos secundários, tornando o isolamento do DNA notoriamente difícil (REIS et al., 2018)

Nos últimos anos, tem sido dado maior atenção aos aspectos nutricionais, medicinais e fitoquímicos da palma forrageira (MAZRI, 2018). Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a diversidade genética de 30 acessos de *O. ficus-indica* (L.) Mill. pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma (BAG) da EMPAER, baseada descritores

morfológicos e bromatológicos e sugerir acessos como potenciais genitores para iniciar o programa de melhoramento de palma com aptidão forrageira.

2 METODOLOGIA

2.2 Localização do experimento

O Banco Ativo de Germoplasma (BAG) está localizado na Estação Experimental Pendência da Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária (EMPAER), vinculada à Secretaria do Desenvolvimento Agropecuário e da Pesca (Sedap), no município de Soledade, no cariri Paraibano.

O clima é do tipo semiárido com precipitação média anual de 44.2 mm, com maior concentração de chuvas nos meses de fevereiro a abril, o que representa 81.4% das chuvas anuais. O Banco Ativo de Germoplasma é composto por 121 acessos distribuídos em 12 espécies, destes, 30 acessos são da espécie *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. e estão listados na Tabela 1.

Tabela 1. Lista dos acessos de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill., mantidos em conservação *ex-situ* no Banco Ativo de Germoplasma da Estação Experimental Pendência da EMPAER, Soledade (PB) e seus respectivos centros de diversidade.

Acesso	Origem	Coordenadas
1	La Purificación, Texcoco, México	19°31'27.04"N, 98°49'0.95"W
2	Faculdade Agronomia, Marín, Nuevo León, México	25°52'29.13"N, 100° 2'48.92"W
3	Nopalera UACH, Chapingo, México	19°29'28.05"N, 98°53'2.69"W
4	Nopalera UACH, Chapingo, México	19°29'28.05"N, 98°53'2.69"W
5	Nopalera UACH, Chapingo, México	19°29'28.05"N, 98°53'2.69"W
6	San Pedro de los Naranjos, Guanajuato, México	20°13'36.09"N, 100°56'23.52"W
7	Rancho M.R. Ramos Arizpe, Coahuila, México	25°32'24.63"N, 100°56'41.83"W
8	Nopalera UACH, Chapingo, México	19°29'28.05"N, 98°53'2.69"W
9	Nopalera UACH, Chapingo, México	19°29'28.05"N, 98°53'2.69"W
10	Nopalera UACH, Chapingo, México	19°29'28.05"N, 98°53'2.69"W
11	Villanueva, Zacatecas, México	22°21'14.25"N, 102°53'2.83"W
12	Nopalera UACH, Chapingo, México	19°29'28.05"N, 98°53'2.69"W
13	Rancho M.R. Ramos Arizpe, Coahuila, México	25°32'24.63"N, 100°56'41.83"W
14	Nopalera UACH, Chapingo, México	19°29'28.05"N, 98°53'2.69"W
15	Guardados de Arriba, Miguel Alemán, Tamaulipas, México	26°22'53.00"N, 98°57'51.00"W
16	Nopalera UACH, Chapingo, México	19°29'28.05"N, 98°53'2.69"W
17	Nopalera UACH, Chapingo, México	19°29'28.05"N, 98°53'2.69"W
18	Nopalera UACH, Chapingo, México	19°29'28.05"N, 98°53'2.69"W

19	Las Papas, Ojuelos de Jalisco, Jalisco, México	21 ° 43.293 'N, 101 ° 40.041' W
20	Socorro Rios, Bill Maltzberger, Cotulla, Texas, EUA	28°26'8.33"N, 99°14'5.55"OW
21	Nopalera UACH, Chapingo, México	19°29'28.05"N, 98°53'2.69"W
22	Campo Narro, Matehuala, San Luis Potosí, México	23°15'49.40"N, 100°33'41.07"W
23	Nopalera UACH, Chapingo, México	19°29'28.05"N, 98°53'2.69"W
24	CRUCEN - UACH, Zacatecas, México	22°54'3.51"N, 102°39'21.81"W
25	CRUCEN - UACH, Zacatecas, México	22°54'3.51"N, 102°39'21.81"W
26	Nopalera UACH, Chapingo, México	19°29'28.05"N, 98°53'2.69"W
27	Campo Narro, Matehuala, San Luis Potosí, México	23°15'49.40"N, 100°33'41.07"W
28	Faculdade Agronomia, Marín, Nuevo León, México	25°52'29.13"N, 100° 2'48.92"W
29	Colección UACH-Barrientos, CRUCEN-UACH, Zacatecas, México	22°54'3.51"N, 102°39'21.81"W
30	Soledade, Paraíba, Brasil	7° 3'31.18"S, 36°22'1.66"W

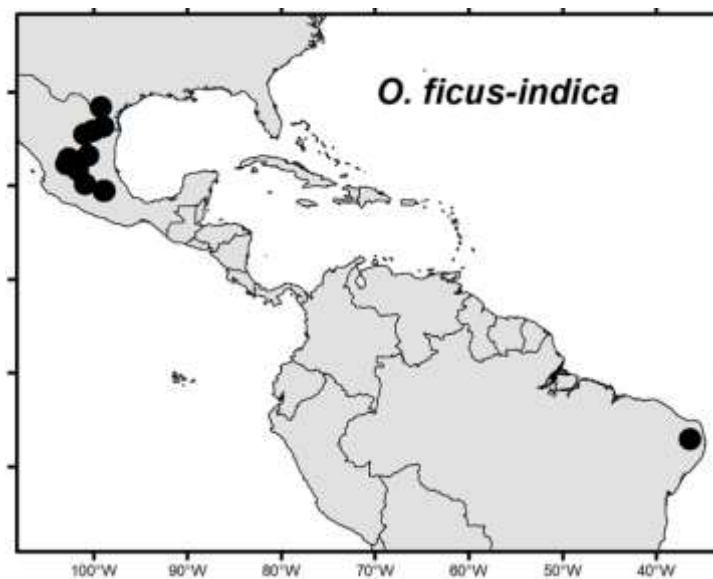
Fonte: Dados do autor, 2021.

De todos os acessos estudados neste trabalho, apenas um acesso possui centro de distribuição no Brasil, sendo este uma variedade cultivada pela EMPAER, no município de Soledade/PB.

2.3 Desenho experimental

O BAG foi instalado na Fazenda Pendência em um Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), constituído de 30 genótipos (tratamentos) e 4 repetições. O experimento foi montado em agosto de 2018, e as descrições foram realizadas em dezembro de 2019. Não haviam florações ou frutificações em nenhum dos acessos no período da avaliação.

Figura. 1. Representação dos centros de diversidade dos 30 acessos de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill



Fonte: dados do autor, 2021.

2.4 Variáveis quantitativas

Foram avaliadas 23 características quantitativas: Área do Cladódio (ACL), Área Fotossintética (AFT), Altura da Planta (ALT), Comprimento do Cladódio (CCL), Carboidratos Totais (CHOT), Carboidratos não Fibrosos (CNF), Diâmetro do Cladódio (DCL), Diâmetro da Copa da Planta (DCP), Extrato Etéreo (EE), Fibra em Detergente Ácido (FDA), Fibra em Detergente Neutro (FDN), Largura do Cladódio (LCL), Matéria Mineral (MM), Matéria Orgânica (MO), Matéria Seca do Cladódio (MSC), Matéria Seca do Cladódio em Campo (MSCC), Porcentagem de Matéria Seca (MSP), Matéria Seca Total (MST), Matéria Fresca do Cladódio (MVC), Número de Cladódios (NC), Nitrogênio Total (NT), Proteína Bruta (PB), Umidade (UMD).

Utilizou-se fita métrica para determinar a ALT e DCP, além das dimensões do cladódio (LCL e CCL). Para avaliar o DCL foi utilizado paquímetro digital. A estimativa da Área do Cladódio e Área Fotossintética foi realizada conforme descrito por (Garcia de Cortázar & Nobel, 1991), por meio da expressão: $ACLA = CCLA \times LCLA \times 0.632$. Para a Área Fotossintética é possível obter-se pela expressão: $AFT = ACLA \times NCLA$.

A MVC e MSCC foram pesadas em balança de precisão (0.01g). Para estimar a MSCC, o material foi limpo, cortado em pedaços de 2 a 3 centímetros de comprimento e secos em estufa de circulação forçada de ar entre 50-55°C, por 72 horas, até peso constante. Posteriormente, o material foi triturado em moinho e determinado o teor de MSP à 105°C por 16 horas. Baseado nisso, é possível determinar os teores de EE, MM, MO, MST, NT, PB, UMD, conforme descrito

em AOAC (1990). Para FDA e FDN, utilizou-se metodologia descrita por Van Soest et al. (1994). Os descritores CHOT e CNF foram estimados pelas seguintes formulas, respectivamente: $CHOT = 100 - (PB + EE + MM)$ e $CNF = 100 - (FDN + PB + EE + MM)$ segundo metodologia de (Sniffen et al. 1993).

2.5 Variáveis qualitativas

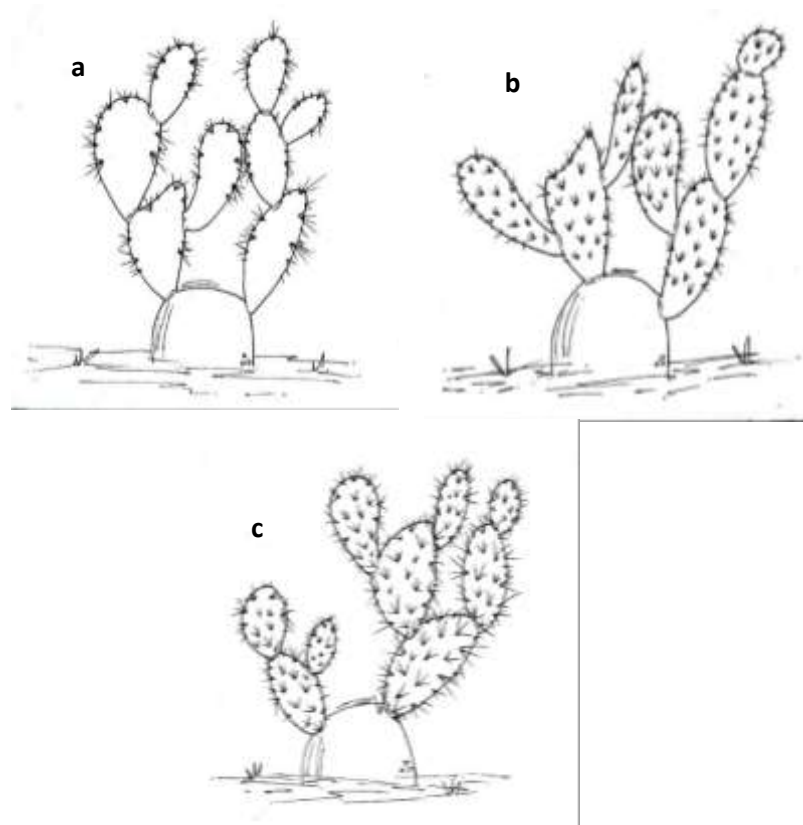
Foi utilizada a lista de descritores morfológicos para o gênero *Opuntia* spp., de CHESSA & GIOVANNI (1997) com modificações. Foram analisadas quatro variáveis qualitativas (Tabela 2). Além disso, a variável localização do espinho (LoES) foi acrescida à lista de descritores (Figura 2). Além disso, foi possível estimar a contribuição individual de cada acesso para a diversidade genética e a contribuição relativa de cada descritor morfológico.

Tabela 2. Variáveis qualitativas de acessos de palma forrageira, pertencentes ao Banco de Germoplasma da Fazenda Pendencia/EMEPA, baseado na lista de descritores de Chessa & Giovanni, (1997). Adaptado.

Variável	Abreviação	Escala de notas	Característica
Cor do Cladódio	CoCL	1	Verde amarelado
		2	Verde claro
		3	Verde
		4	Verde escuro
		5	Verde azulado
Cor do Espinho	CoES	1	Cinza
		2	Branco
		3	Amarelo
		4	Marrom
		5	Marrom/Amarelo
		6	Branco/Amarelo
Distribuição do espinho	DistSpin	0	Sem espinho
		1	Pouco espinho
		2	Razoável
		3	Muito espinho
Localização do Espinho	LoES	1	Borda
		2	Borda e Centro

Fonte: dados do autor, 2021.

Figura. 2. Representação gráfica do descritor Localização do Espinho (LOCESP) em espécies do gênero *Opuntia* spp., onde: (a). Espinhos presentes somente na borda do cladódio; (b). Espinhos presentes na borda e no centro do cladódio; (c). Espinhos presentes em todo o cladódio (borda, centro e base).



Fonte: dados do autor, 2021.

2.6 Análise estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância (ANOVA), e as médias comparadas pelo teste de Scott e Knott (1974), em nível de 1% de probabilidade.

A herdabilidade no sentido amplo foi calculada pelo estimador: $\hat{h}_A^2 = \frac{\hat{\sigma}_G^2}{\hat{\sigma}_P^2} \times 100 =$; onde: $\hat{\sigma}_G^2$ = variância genética e $\hat{\sigma}_P^2$ = variância fenotípica. A variância genética foi calculada pelo estimador $\hat{\sigma}_G^2 = (\text{MSTreat} - \text{MSRes})/r$; onde: MSTreat = média do quadrado do tratamento; MSRes = média do quadrado do resíduo e r = número de repetições (RÊGO et al., 2011, VENCOVSKY e BARRIGA, 1992).

Foram estimadas as correlações fenotípicas (*r_{fe}*) e genotípicas (*r_{ge}*) das características morfológicas, pelo estimador $r = \frac{COV_{xy}}{\sqrt{\sigma_x^2 \cdot \sigma_y^2}}$. As correlações entre as características

foram obtidas e submetidas ao teste t a 1 e 5% de probabilidade. A diversidade genética entre os acessos foi estimada utilizando a medida de (dis)similaridades expressa pela distância de Mahalanobis (D^2), (Cruz et al., 2012). Também foi realizado agrupamento usando método de Otimização de Tocher modificado (RAO, 1952).

A importância relativa dos caracteres em relação à diversidade genética foi avaliada pelo método de Singh (1981), e pelo método de componentes principais (KASSAMBARA, 2015). Realizou-se o agrupamento pelo método hierárquico UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean). A estabilização do cluster foi determinado pelo coeficiente cofenético.

As análises dos dados foram realizadas com o auxílio do programa estatístico GENES®, Aplicativo Computacional em Genética e Estatística (CRUZ, 2013) e Software R 3.6.3 (29/02/2020), usando os pacotes factoextra, FactoMineR e Cluster.

3 RESULTADOS

3.1 Variáveis quantitativas

Há diversidade genética entre os acessos avaliados de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill., revelada pela diferença estatística ($p \leq 0.01$) das 23 variáveis analisadas, com exceção da altura da planta (ALT) (Tabela 3). As estimativas de herdabilidade e dos coeficientes de variação genética e ambiental (Tabela 3). As variáveis do cladódio (CCL, LCL, DCL, ACL) e ALT sofrem maior influência do ambiente, pois, as relações entre os coeficientes genéticos e ambientais foram inferiores a 1 e a herdabilidade também foi inferior (75%) quando comparado a outras variáveis (LEITE et al., 2015; PESSOA et al., 2018). Todos os valores de coeficiente de variação (C.V.%) foram inferiores a 35%.

Tabela 3. Fonte de Variação (FV). Análise de variância e estimativas de quadrados médios, herdabilidade no sentido amplo (h^2), coeficiente de variação genética e ambiental (CVg/Cve) e coeficiente de variância (C.V.%) de 23 variáveis de 30 acessos de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. pertencentes ao BAG/Empaer.

F.V.	Quadrados Médios das Características							
	ACL	AFT	ALT	CCL	CHOT	CNF	DCL	DCP
Tratamentos	24972.83**	7110423.99**	547.79ns	79.05**	113.31**	165.26**	55.61**	3535.13**
h^2 (%)	70.66	86.22	18.75	68.84	99.3	99.41	61.76	95.5
CVg/Cve	0.76	1.25	0.24	0.74	5.97	6.47	0.63	2.3
C.V. (%)	25.97	33.70	35.56	16.43	1.13	2.00	25.73	17.19

F.V.	Quadrados Médios das Características							
	EE	FDA	FDN	LCL	MM	MO	MSC	MSCC
Tratamentos	0.62**	44.98**	87.54**	32.21**	47.92**	36.94**	1265.52**	17.19**
h^2 (%)	96.88	99.52	99.92	79.04	98.84	98.81	98.56	96.3
CVg/Cve	2.78	18.64	17.68	0.97	25.71	3.42	4.14	2.55
C.V. (%)	9.04	2.57	0.90	15.33	5.58	0.77	8.84	11.57

F.V.	Quadrados Médios das Características						
	MSP	MST	MVC	NC	NT	PB	UMD
Tratamentos	6.10**	12.98**	224716.05**	29.37**	1.06**	41.52**	12.98**

h² (%)	95.89	97.46	97.43	89.48	99.79	99.79	97.46
CVg/Cve	2.41	3.1	3.08	1.46	10.9	10.9	3.1
C.V. (%)	0.57	9.55	10.46	20.76	4.7	4.7	0.61

Significância a 1% de probabilidade. ACL – Área do Cladódio; AFT – Área Fotossintética; ALT – Altura da Planta; CCL – Comprimento do Cladódio; CHOT – Porcentagem de Carboidratos Totais; CNF – Carboidratos não fibrosos; DCL – Diâmetro do Cladódio; DCP – Diâmetro da Copa; EE – Extrato Etéreo; FDA – Fibra em Detergente Ácido; FDN – Fibra em Detergente Neutro; LCL – Largura do Cladódio; MM – Matéria Mineral; MO – Matéria Orgânica; MSC – Matéria Seca do Cladódio; MSCC – Matéria Seca Cladódio no Campo; MSP – Porcentagem de Matéria Seca; MST – Matéria Seca Total; MVC – Matéria Verde do Cladódio; NC – Número de Cladódios; NT – Nitrogênio Total; PB – Proteína Bruta; UMID – Umidade. **Fonte: dados do autor, 2021.

Constatada a existência da variabilidade genética, procedeu-se o estudo da divergência genética entre os materiais. As características, em que a análise de variância foi significativa, foram identificadas diferenças entre os acessos de *O. ficus-indica* (L.) Mill. ($p \leq 0.01$), quando se comparou as médias por meio do teste de Scott-Knott (Tabela 4). Como não houve diferença significativa na característica ALT, não foi realizado o teste de média e nem avaliado sua correlação com as outras características, em função da ausência de variância, e por conseguinte, a correlação também seria nula.

Na Figura. 3 estão representadas as redes de correlações fenotípicas (*rfe*) e genotípicas (*rge*) entre os 23 caracteres estudados. A cor verde representa uma correlação positiva e a cor vermelha uma correlação negativa; a espessura dos traços é diretamente proporcional ao valor da correlação. Na tabela 5 contém as estimativas das correlações (*rfe* e *rge*).

Tabela 4. Média das características quantitativas dos 30 acessos de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill., pertencentes ao BAG/Empaer. Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de média de Scott-Knott, ($p < 0,01$).

Acessos	ACL	AFT	CCL	CHOT	CNF	DCL	DCP	EE	FDA	FDN	LCL
1	248.22 b	2491.50 b	29.75 a	74.63 g	49.84 e	13.81 b	44.50 d	1.26 d	17.77 f	24.79 m	12.63 b
2	240.79 b	953.37 b	23.25 b	82.06 c	55.09 c	17.92 b	36.75 d	1.22 d	18.65 f	26.98 k	15.75 b
3	386.94 a	5155.86 a	33.75 a	83.31 c	58.49 b	17.06 b	108.25 a	1.41 d	16.40 g	24.82 m	18.13 a
4	280.15 b	2524.52 b	27.58 b	79.92 e	56.15 c	15.32 b	59.00 c	1.63 c	14.79 h	23.77 n	15.88 b
5	380.78 a	3364.93 a	30.88 a	83.10 c	56.80 c	19.28 a	75.75 b	1.84 c	16.19 g	26.3 l	19.50 a
6	325.48 a	3907.97 a	29.50 a	76.99 f	53.34 d	12.61 b	91.75 b	0.99 e	14.83 h	23.65 n	16.38 b
7	345.86 a	2766.90 a	34.63 a	75.77 f	54.16 d	17.65 b	73.50 b	1.56 c	11.10 i	21.61 o	15.63 b
8	370.00 a	4439.96 a	33.38 a	85.96 b	41.27 h	14.81 b	116.50 a	1.69 c	10.22 j	44.70 a	17.25 a
9	425.22 a	5321.60 a	28.63 b	81.03 d	52.65 d	21.11 a	102.00 a	1.75 c	16.68 g	28.38 j	23.50 a
10	314.18 b	2043.34 b	35.13 a	81.04 d	48.85 e	25.18 a	47.50 d	1.68 c	20.49 d	32.19 f	14.13 b
11	397.21 a	4136.12 a	30.50 a	85.80 b	49.97 e	19.79 a	90.75 b	1.04 e	15.00 h	35.83 b	20.50 a
12	375.72 a	3370.46 a	31.75 a	87.75 a	61.28 a	19.24 a	93.00 b	0.96 e	17.02 g	26.47 l	18.88 a
13	226.18 b	1287.07 b	24.25 b	71.79 h	43.33 g	16.85 b	29.50 e	2.57 a	16.09 g	28.47 j	14.25 b
14	309.50 b	2912.36 a	25.88 b	80.71 d	55.57 c	13.63 b	67.00 c	2.14 b	15.38 h	25.14 m	18.58 a
15	413.80 a	2896.61 a	30.38 a	80.83 d	47.30 f	17.88 b	91.00 b	1.46 d	19.39 e	33.53 e	20.75 a
16	396.26 a	4126.64 a	34.75 a	75.59 f	46.24 f	15.00 b	110.50 a	1.81 c	22.49 b	29.36 i	18.13 a
17	426.52 a	4291.04 a	34.63 a	78.85 e	49.96 e	13.23 b	105.50 a	1.72 c	18.80 f	28.89 j	19.50 a

18	449.59 a	4273.98 a	37.75 a	74.39 g	44.52 g	18.21 b	88.00 b	2.28 b	22.24 b	29.87 h	18.88 a
19	401.75 a	3814.00 a	37.38 a	75.53 f	42.17 h	16.15 b	108.50 a	1.77 c	19.73 e	33.36 e	17.00 a
20	252.80 b	1398.66 b	26.13 b	80.54 d	52.12 d	16.95 b	45.00 d	1.09 e	18.54 f	28.41 j	15.00 b
21	257.78 b	1288.89 b	25.75 b	74.99 g	45.02 g	24.97 a	45.75 d	1.81 c	20.88 c	29.97 h	15.75 b
22	375.96 a	3196.02 a	33.75 a	83.18 c	53.91 d	15.13 b	83.50 b	1.41 d	18.40 f	29.27 i	17.63 a
23	355.37 a	3888.23 a	32.03 a	83.09 c	59.80 b	17.63 b	111.00 a	0.91 e	16.03 g	23.29 n	17.38 a
24	159.42 b	561.45 b	21.50 b	87.35 a	52.98 d	20.86 a	16.00 e	0.97 e	18.51 f	34.37 d	11.75 b
25	245.77 b	1344.11 b	24.38 b	75.89 f	47.39 f	24.90 a	43.00 d	1.60 c	19.43 e	28.50 j	15.63 b
26	358.82 a	3595.45 a	30.88 a	74.47 g	44.07 g	14.33 b	69.00 c	1.43 d	22.57 b	30.40 h	18.38 a
27	160.21 b	566.75 b	22.38 b	70.29 i	40.33 h	14.82 b	28.00 e	1.41 d	21.31 c	29.96 h	11.38 b
28	413.80 a	3724.22 a	30.75 a	81.01 d	49.66 e	16.96 b	108.50 a	1.45 d	19.68 e	31.35 g	21.25 a
29	294.20 b	2647.76 b	30.25 a	82.42 h	37.17 i	19.83 a	69.75 c	1.77 c	25.47 a	35.25 c	15.38 b
30	300.99 b	1805.94 b	34.50 a	65.38 j	38.04 i	26.55 a	43.50 d	1.54 c	14.28 h	27.34 k	13.75 b
Média	329.64	2936.52	30.2	78.79	49.58	17.92	73.41	1.54	17.95	29.21	16.95

Acessos	MM	MO	MSC	MSCC	MSP	MST	MVC	NC	NT	PB	UMD
1	19.11 a	83.27 h	52.13 d	6.40 d	87.53 d	5.60 e	815.00 c	10.00 b	0.80 f	5.00 f	94.40 c
2	12.21 e	89.46 c	44.09 e	5.06 e	86.34 e	4.36 f	872.25 b	4.00 c	0.72 g	4.51 g	95.64 b
3	10.28 f	91.13 b	54.35 d	8.19 c	86.29 e	7.09 d	665.00 d	13.50 a	0.80 f	4.99 f	92.91 d

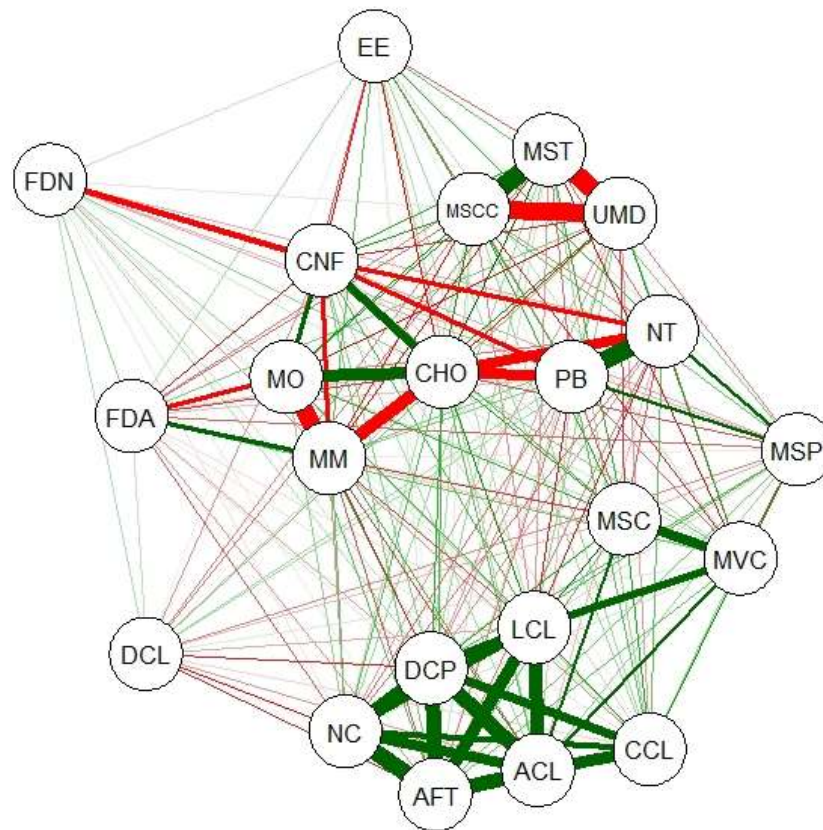
4	13.38 e	88.26 d	47.00 e	8.22 c	87.74 d	7.22 d	572.50 d	9.00 b	0.81 f	5.07 f	92.78 d
5	9.91 f	91.44 b	60.75 c	6.55 d	86.32 e	5.66 e	927.50 b	9.00 b	0.82 f	5.15 f	94.34 c
6	15.79 c	86.04 f	24.09 h	10.07 b	88.46 c	9.02 b	242.50 e	12.00 a	1.00 e	6.23 e	90.99 f
7	8.62 g	92.07 b	57.05 c	9.36 b	92.02 a	7.17 d	639.00 d	8.00 b	2.25 b	14.05 b	92.83 d
8	7.83 g	93.07 a	44.95 e	8.70 c	88.55 c	7.98 c	535.00 d	12.00 a	0.72 g	4.52 g	92.02 e
9	13.53 e	88.19 d	32.99 g	3.27 f	87.30 d	2.87 g	1015.00 b	12.50 a	0.59 h	3.69 h	97.13 a
10	11.99 e	89.63 c	49.05 e	7.06 d	86.48 e	6.20 e	705.00 c	6.50 c	0.85 f	5.29 f	93.80 c
11	8.73 g	92.40 a	28.02 g	3.32 f	87.30 d	2.90 g	845.00 b	10.50 b	0.71 g	4.43 g	97.10 a
12	7.24 g	93.75 a	68.64 b	7.75 c	86.58 e	6.72 d	887.50 b	9.00 b	0.65 g	4.06 g	93.28 d
13	15.34 c	86.74 e	19.68 h	4.84 e	86.43 e	4.18 f	407.00 e	5.50 c	1.65 d	10.29 d	95.82 b
14	12.80 e	88.86 d	64.24 b	7.55 c	87.06 e	6.57 d	850.00 b	9.50 b	0.70 g	4.36 g	93.43 d
15	13.51 e	88.45 d	108.15 a	7.04 d	85.44 e	6.02 e	1537.50 a	7.00 c	0.67 g	4.19 g	93.98 c
16	16.30 c	85.65 f	51.63 d	6.35 d	88.02 c	5.58 e	810.00 c	10.50 b	1.01 e	6.29 e	94.42 c
17	14.50 d	87.24 e	48.85 e	6.82 d	88.04 c	6.02 e	717.50 c	10.00 b	0.79 f	4.94 f	93.98 c
18	16.90 b	85.11 g	59.69 c	6.88 d	88.14 c	6.06 e	867.50 b	9.50 b	1.03 e	6.43 e	93.94 c
19	9.61 f	91.39 b	60.48 c	7.85 c	89.64 b	7.04 d	770.00 c	9.50 b	2.09 c	13.08 c	92.96 d
20	14.37 d	87.46 e	39.21 f	5.37 d	87.24 d	4.67 e	727.50 c	5.50 c	0.64 g	4.00 g	95.33 c
21	16.85 b	85.26 g	45.72 e	6.20 d	87.45 d	5.44 e	740.00 c	5.00 c	1.02 e	6.36 e	94.56 c
22	10.14 f	91.19 b	70.17 b	9.57 b	86.89 e	8.43 c	742.50 c	8.50 b	0.84 f	5.27 f	91.58 e

23	12.93 e	88.57 d	45.17 e	8.41 c	88.35 c	7.47 d	540.00 d	11.00 a	0.49 i	3.06 i	92.53 d
24	9.50 f	91.78 b	39.40 f	12.77 a	86.53 e	11.01 a	307.50 e	3.50 c	0.35 j	2.18 j	88.99 g
25	16.10 c	85.90 f	48.18 e	6.41 d	87.58 d	5.49 e	752.50 c	5.50 c	1.02 e	6.40 e	94.51 c
26	17.23 b	84.86 g	43.37 e	5.90 d	87.89 c	5.19 e	735.00 c	10.00 b	1.10 e	6.87 e	94.81 c
27	17.64 b	84.65 g	19.23 h	3.42 f	86.91 e	2.97 g	562.00 d	3.50 c	1.71 d	10.66 d	97.03 a
28	12.54 e	89.16 c	56.36 c	6.35 d	86.47 e	5.49 e	887.50 b	9.00 b	0.80 f	5.00 f	94.51 c
29	19.14 a	83.10 h	38.59 f	6.46 d	88.29 c	5.73 e	600.00 d	9.00 b	1.07 e	6.67 e	94.27 c
30	17.55 b	84.67 g	24.10 h	4.70 e	87.24 d	4.10 f	513.00 d	6.00 c	2.48 a	15.52 a	95.90 b
Média	13.39	88.29	48.18	6.90	87.48	6.01	726.28	8.47	1.01	6.29	93.99

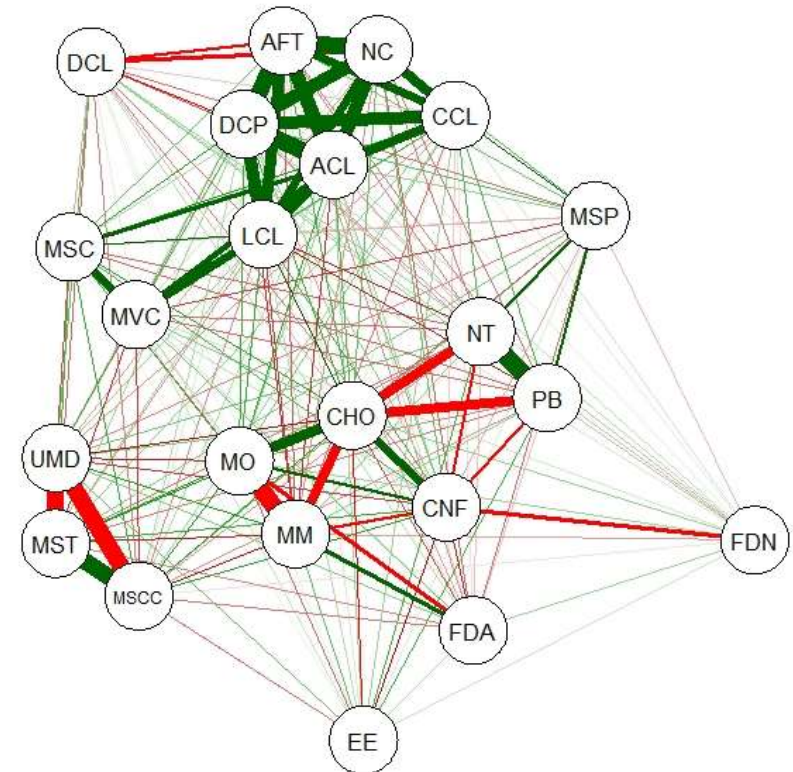
ACL – Área do Cladódio; AFT – Área Fotossintética; ALT – Altura da Planta; CCL – Comprimento do Cladódio; CHOT – Porcentagem de Carboidratos Totais; CNF – Carboidratos não fibrosos; DCL – Diâmetro do Cladódio; DCP – Diâmetro da Copa; EE – Extrato Etéreo; FDA – Fibra em Detergente Ácido; FDN – Fibra em Detergente Neutro; LCL – Largura do Cladódio; MM – Matéria Mineral; MO – Matéria Orgânica; MSC – Matéria Seca do Cladódio; MSCC – Matéria Seca Cladódio no Campo; MSP – Porcentagem de Matéria Seca; MST – Matéria Seca Total; MVC – Matéria Verde do Cladódio; NC – Número de Cladódios; NT – Nitrogênio Total; PB – Proteína Bruta; UMID – Umidade. **Fonte:** dados do autor, 2021.

Figura. 3. Rede de interações das correlações fenotípica (rfe) e genóticas (rge) de 30 acessos de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. acessadas por 22 caracteres quantitativos. ACL – Área do Cladódio; AFT – Área Fotossintética; ALT – Altura da Planta; CCL – Comprimento do Cladódio; CHOT – Porcentagem de Carboidratos Totais; CNF – Carboidratos não fibrosos; DCL – Diâmetro do Cladódio; DCP – Diâmetro da Copa; EE – Extrato Etéreo; FDA – Fibra em Detergente Ácido; FDN – Fibra em Detergente Neutro; LCL – Largura do Cladódio; MM – Matéria Mineral; MO – Matéria Orgânica; MSC – Matéria Seca do Cladódio; MSCC – Matéria Seca Cladódio no Campo; MSP – Porcentagem de Matéria Seca; MST – Matéria Seca Total; MVC – Matéria Verde do Cladódio; NC – Número de Cladódios; NT – Nitrogênio Total; PB – Proteína Bruta; UMID – Umidade.

rfe



rge



Fonte: dados do autor, 2021.

Tabela 5. Estimativas das correlações fenotípicas (acima) e genotípicas (abaixo da diagonal) de 22 caracteres de 30 acessos de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.

	ACL	AFT	CCL	CHO	CNF	DCL	DCP	EE	FDA	FDN	LCL	MM	MO	MSC	MSCC	MSP	MST	MVC	NC	NT	PB	UMD
ACL	1.00	0.89	0.79	0.25	0.14	-0.17	0.89	0.14	-0.06	0.09	0.86	-0.30	0.29	0.47	-0.01	0.16	0.00	0.50	0.73	-0.10	-0.10	0.00
AFT	0.95	1.00	0.69	0.29	0.21	-0.34	0.92	0.05	-0.17	0.05	0.78	-0.27	0.25	0.24	0.05	0.22	0.08	0.24	0.94	-0.20	-0.20	-0.08
CCL	0.75	0.73	1.00	-0.04	-0.08	-0.07	0.69	0.14	-0.05	0.07	0.38	-0.19	0.17	0.34	0.14	0.40	0.15	0.17	0.59	0.25	0.25	-0.15
CHO	0.30	0.31	-0.04	1.00	0.70	-0.10	0.33	-0.43	-0.31	0.18	0.40	-0.79	0.80	0.36	0.39	-0.27	0.40	0.20	0.25	-0.75	-0.75	-0.40
CNF	0.17	0.22	-0.09	0.70	1.00	-0.17	0.18	-0.43	-0.38	-0.58	0.28	-0.53	0.54	0.29	0.36	-0.14	0.34	0.10	0.24	-0.53	-0.53	-0.34
DCL	-0.29	-0.50	-0.09	-0.13	-0.22	1.00	-0.35	0.03	0.10	0.12	-0.13	0.02	-0.02	-0.11	-0.20	-0.19	-0.22	0.06	-0.42	0.14	0.14	0.22
DCP	1.00	1.00	0.85	0.34	0.19	-0.44	1.00	-0.02	-0.15	0.13	0.77	-0.35	0.33	0.36	0.13	0.26	0.15	0.29	0.84	-0.18	-0.18	-0.15
EE	0.16	0.07	0.17	-0.44	-0.43	0.05	-0.03	1.00	0.14	0.09	0.11	0.25	-0.25	0.04	-0.24	0.06	-0.24	0.10	0.00	0.32	0.32	0.24
FDA	-0.07	-0.18	-0.06	-0.31	-0.38	0.13	-0.15	0.14	1.00	0.17	-0.05	0.55	-0.54	0.10	-0.23	-0.24	-0.20	0.23	-0.26	-0.10	-0.10	0.20
FDN	0.11	0.05	0.08	0.18	-0.58	0.15	0.13	0.09	0.17	1.00	0.07	-0.16	0.17	0.00	-0.05	-0.11	0.00	0.08	-0.05	-0.13	-0.13	0.00
LCL	0.86	0.81	0.33	0.45	0.31	-0.25	0.88	0.12	-0.06	0.08	1.00	-0.30	0.30	0.42	-0.18	-0.08	-0.17	0.62	0.62	-0.35	-0.35	0.17
MM	-0.36	-0.29	-0.24	-0.79	-0.53	0.03	-0.36	0.26	0.55	-0.17	-0.34	1.00	-1.00	-0.32	-0.40	-0.04	-0.38	-0.08	-0.18	0.19	0.19	0.38
MO	0.35	0.27	0.21	0.79	0.53	-0.02	0.34	-0.26	-0.54	0.17	0.34	-1.00	1.00	0.32	0.39	0.00	0.37	0.10	0.16	-0.21	-0.21	-0.37
MSC	0.56	0.26	0.41	0.36	0.30	-0.15	0.37	0.03	0.09	0.00	0.47	-0.32	0.33	1.00	0.33	-0.13	0.31	0.73	0.13	-0.25	-0.25	-0.31
MSCC	-0.02	0.06	0.17	0.40	0.37	-0.22	0.13	-0.25	-0.23	-0.05	-0.20	-0.41	0.40	0.34	1.00	0.24	0.99	-0.35	0.12	-0.19	-0.19	-0.99
MSP	0.18	0.24	0.47	-0.28	-0.14	-0.24	0.27	0.06	-0.25	-0.12	-0.10	-0.04	0.00	-0.13	0.25	1.00	0.20	-0.31	0.27	0.48	0.48	-0.20
MST	0.00	0.09	0.19	0.41	0.34	-0.27	0.16	-0.25	-0.21	0.00	-0.19	-0.39	0.38	0.32	1.00	0.21	1.00	-0.36	0.15	-0.23	-0.23	-1.00
MVC	0.59	0.27	0.21	0.20	0.11	0.05	0.30	0.10	0.23	0.08	0.70	-0.09	0.11	0.73	-0.34	-0.32	-0.36	1.00	0.08	-0.25	-0.25	0.36
NC	0.93	0.99	0.76	0.26	0.25	-0.56	0.91	0.02	-0.26	-0.05	0.74	-0.19	0.17	0.15	0.13	0.29	0.16	0.10	1.00	-0.22	-0.22	-0.15

NT	-0.13	-0.22	0.30	-0.76	-0.53	0.18	-0.18	0.32	-0.10	-0.13	-0.39	0.19	-0.21	-0.26	-0.19	0.49	-0.23	-0.25	-0.24	1.00	1.00	0.23
PB	-0.13	-0.22	0.30	-0.76	-0.53	0.18	-0.18	0.32	-0.10	-0.13	-0.39	0.19	-0.21	-0.26	-0.19	0.49	-0.23	-0.25	-0.24	1.00	1.00	0.23
UMD	0.00	-0.09	-0.19	-0.41	-0.34	0.27	-0.16	0.25	0.21	0.00	0.19	0.39	-0.38	-0.32	-1.00	-0.21	-1.00	0.36	-0.16	0.23	0.23	1.00

ACL – Área do Cladódio; AFT – Área Fotossintética; CCL – Comprimento do Cladódio; CHOT – Porcentagem de Carboidratos Totais; CNF – Carboidratos não fibrosos; DCL – Diâmetro do Cladódio; DCP – Diâmetro da Copa; EE – Extrato Etéreo; FDA – Fibra em Detergente Ácido; FDN – Fibra em Detergente Neutro; LCL – Largura do Cladódio; MM – Matéria Mineral; MO – Matéria Orgânica; MSC – Matéria Seca do Cladódio; MSCC – Matéria Seca Cladódio no Campo; MSP – Porcentagem de Matéria Seca; MST – Matéria Seca Total; MVC – Matéria Verde do Cladódio; NC – Número de Cladódios; NT – Nitrogênio Total; PB – Proteína Bruta; UMID – Umidade. **Fonte:** dados do autor, 2021.

O método de agrupamento de Tocher Modificado reuniu os 30 acessos de *O. ficus-indica* (L.) Mill. em 3 grupos distintos (Tabela 6). Observa-se que embora haja variabilidade genética entre os acessos, esses são muito similares, pois 93,3% dos acessos (28) foram incluídos no grupo I. Os grupos II e III, foram constituídos de apenas um acesso em cada, 7 e 8, respectivamente.

Tabela 6. Agrupamento de 30 acessos de *Opuntia ficus-indica* palma forrageira pelo método de otimização de Tocher, baseado nas distâncias de Mahalanobis (D2).

Grupos	Acessos
I	16, 18, 26, 21, 25, 20, 17, 2, 5, 22, 12, 3, 28, 9, 10, 27, 14, 1, 13, 23, 4, 6, 15, 24, 19, 29, 30, 11
II	7
III	8

Fonte: dados do autor, 2021.

Mesmo havendo alta homogeneidade dos acessos de *O. ficus-indica* (L.) Mill. pertencente ao BAG/EMPAER, há de se observar a existência de variabilidade entre os acessos dentro do grupo I, sendo os acessos 16 e 11, os mais divergentes.

Pelo método de Singh (1981), determinou-se que três características contribuíram com 93.06% da divergência genética: Matéria Verde do Cladódio (MVC) (64.68%), Área do Cladódio (18.70%), Diâmetro da Copa (9.68%), enquanto que, 9 variáveis contribuíram com apenas 6.94% e 11 delas não contribuem para acessar a diversidade genética (Tabela 6).

Tabela 6. Estimativas da contribuição real de cada variável (S.j) para o desvio genético entre os acessos de palma forrageira, com base na distância de Mahalanobis (D2) para 23 variáveis de 30 acessos de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.

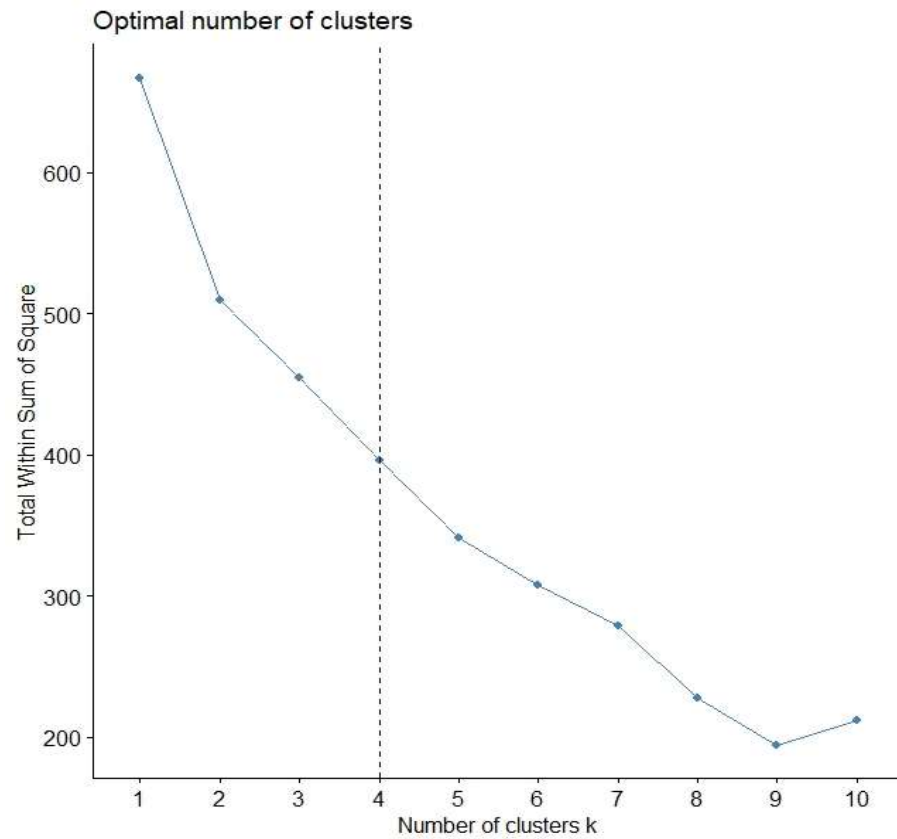
Variável	Contribuição relativa	
	S.j	Valor (%)
ACL	5297.70	18.70
AFT	0.00	0.00
ALT	0.00	0.00
CCL	1578.42	5.57
CHOT	23.38	0.08
CNF	5.28	0.02
DCL	0.00	0.00

DCP	2743.52	9.68
EE	0.62	0.00
FDA	0.00	0.00
FDN	7.14	0.03
LCL	0.00	0.00
MM	8.64	0.03
MO	0.00	0.00
MSC	0.00	0.00
MSCC	205.51	0.73
MSP	17.87	0.06
MST	37.33	0.13
MVC	18324.63	64.68
N	0.00	0.00
NC	0.00	0.00
PB	0.00	0.00
UMD	80.53	0.28

ACL – Área do Cladódio; AFT – Área Fotossintética; ALT – Altura da Planta; CCL – Comprimento do Cladódio; CHOT – Porcentagem de Carboidratos Totais; CNF – Carboidratos não fibrosos; DCL – Diâmetro do Cladódio; DCP – Diâmetro da Copa; EE – Extrato Etéreo; FDA – Fibra em Detergente Ácido; FDN – Fibra em Detergente Neutro; LCL – Largura do Cladódio; MM – Matéria Mineral; MO – Matéria Orgânica; MSC – Matéria Seca do Cladódio; MSCC – Matéria Seca Cladódio no Campo; MSP – Porcentagem de Matéria Seca; MST – Matéria Seca Total; MVC – Matéria Verde do Cladódio; NC – Número de Cladódios; NT – Nitrogênio Total; PB – Proteína Bruta; UMD – Umidade. **Fonte:** dados do autor, 2021.

De acordo com o dendrograma obtido pelo método de agrupamento hierárquico de UPGMA, os 30 acessos de palma forrageira foram reunidos em quatros clusters, consistente com o algoritmo padrão de Hartigan-Wong (1979) (Figura. 4). A consistência do dendrograma também foi corroborada pela Correlação Cofenética (0.91**). A hierarquia distribuída no dendrograma (Figura. 5) dos 30 acessos de *O. ficus-indica* (L.) Mill., corrobora com o método de otimização de Tocher. As (dis)similaridades baseadas nos 23 caracteres quantitativos (morfológicos e bromatológicos) de cada acesso foi suficiente para separar o grupo I, obtido pelo método de otimização de Tocher em clusters diferentes.

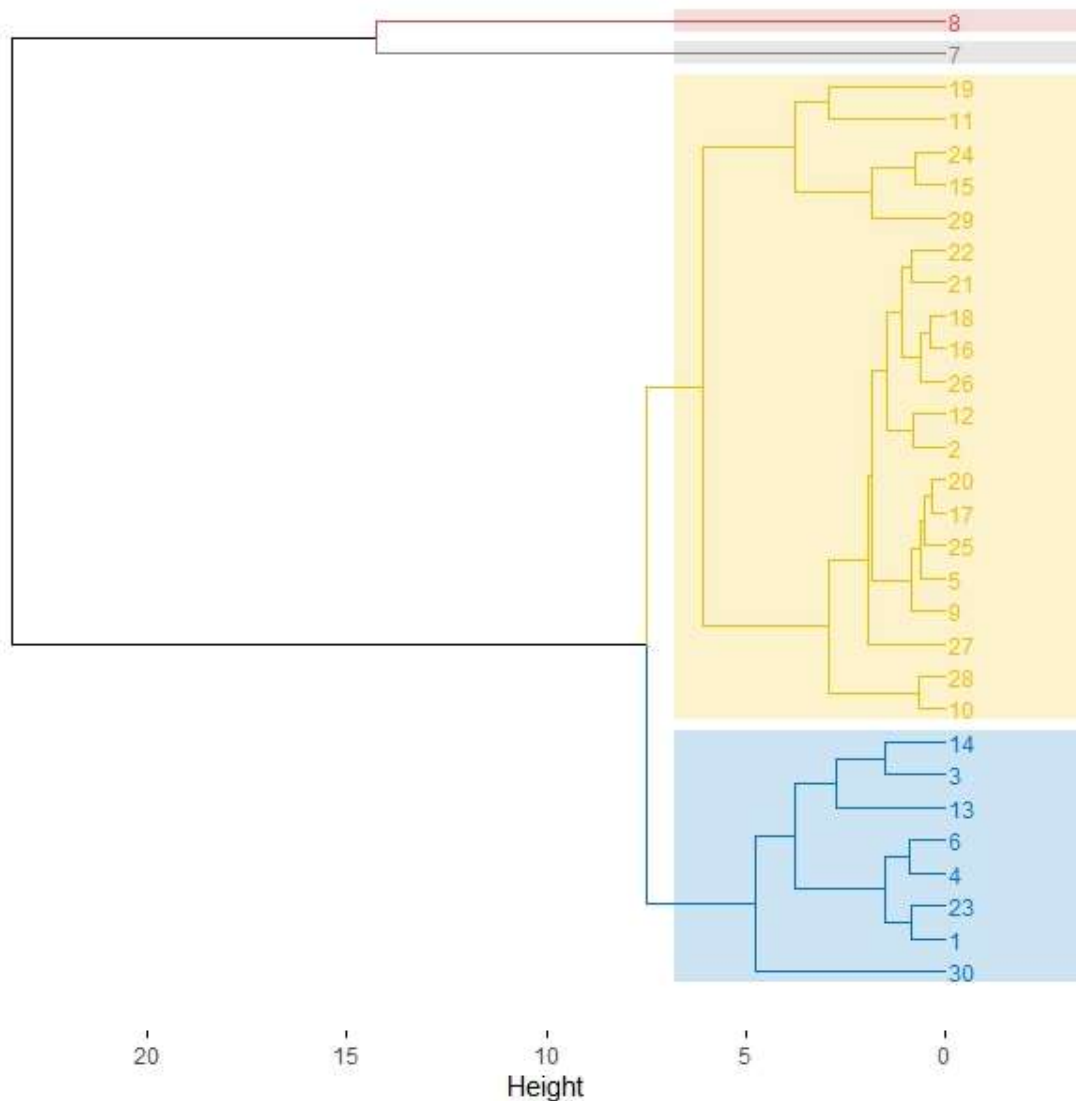
Figura. 4. Número ótimo de cluster determinado a partir do algoritmo padrão de Hartigan-Wong (1979), baseado na variação genética intergrupo em 23 variáveis de 30 acessos de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.



Fonte: dados do autor, 2021.

Figura. 5. Dendrograma de 30 acessos de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill., obtido pelo método de agrupamento UPGMA, a partir da distância generalizada de Mahalanobis (D^2) acessadas de 23 caracteres quantitativos morfológicos e bromatológicos.

Cluster Dendrogram



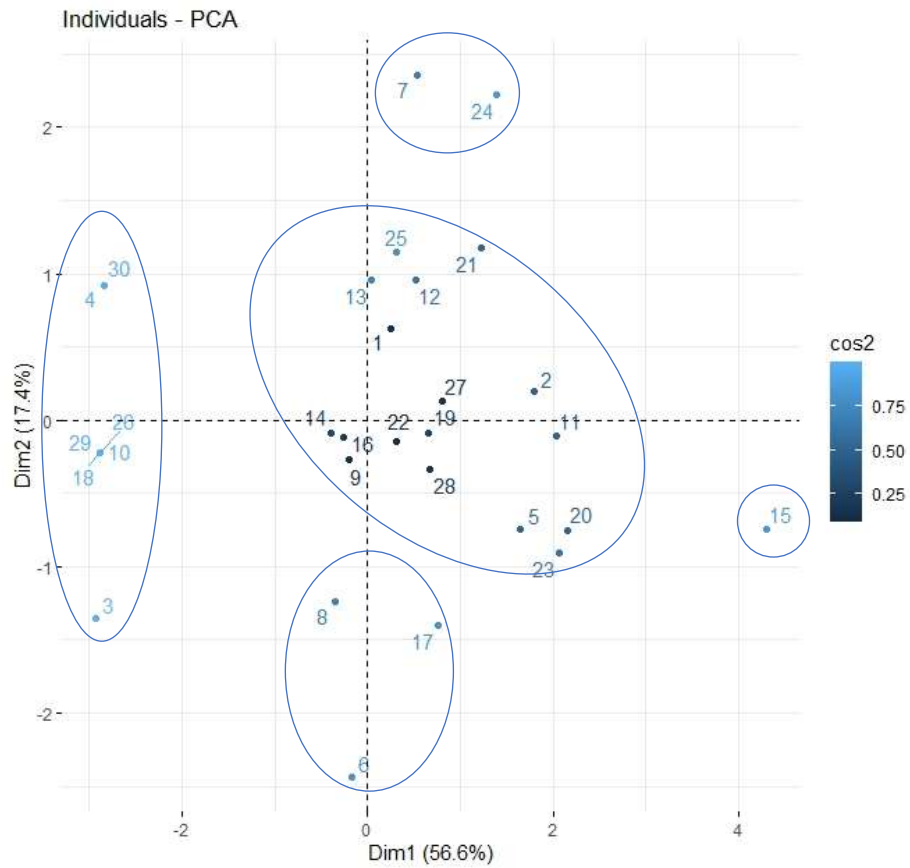
Fonte: dados do autor, 2021.

3.2 Variáveis qualitativas

A análise de componentes principais (PCA) foi usada para características contínuas avaliadas nos 30 acessos de *O. ficus-indica* (L.) Mill. Os eixos 1 e 2 explicam 74% da variação genética total, entre os acessos analisados. Foi possível estimar a correlação dos 30 acessos baseado nos descritores qualitativos, as correlações entre os acessos 3, 4, 10, 18, 26, 29 e 30 são altas, evidencia de que esses acessos devam, ser agrupados em um único grupo. Estes acessos não possuem espinhos e são promissores no uso como forragens, por facilitar

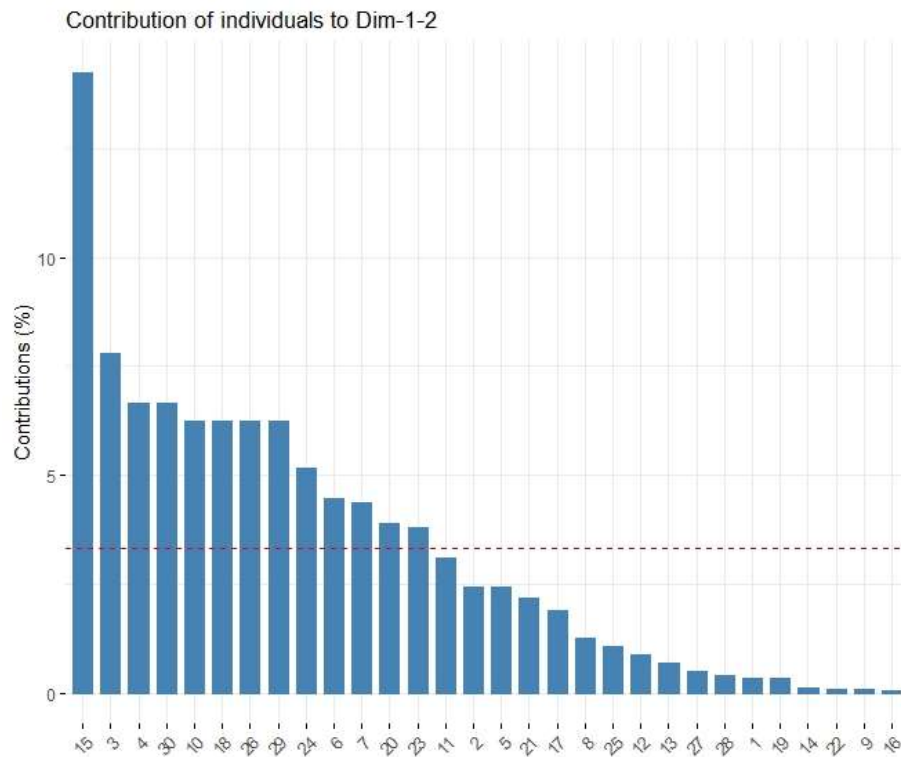
seu manuseio (Figura. 6). Além disso, foi observado que o acesso 15 foi aquele que mais contribuiu individualmente para a diversidade genética (Figura. 7).

Figura. 6. Correlação entre os 30 acessos de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill., baseado em caracteres qualitativos.



Fonte: dados do autor, 2021.

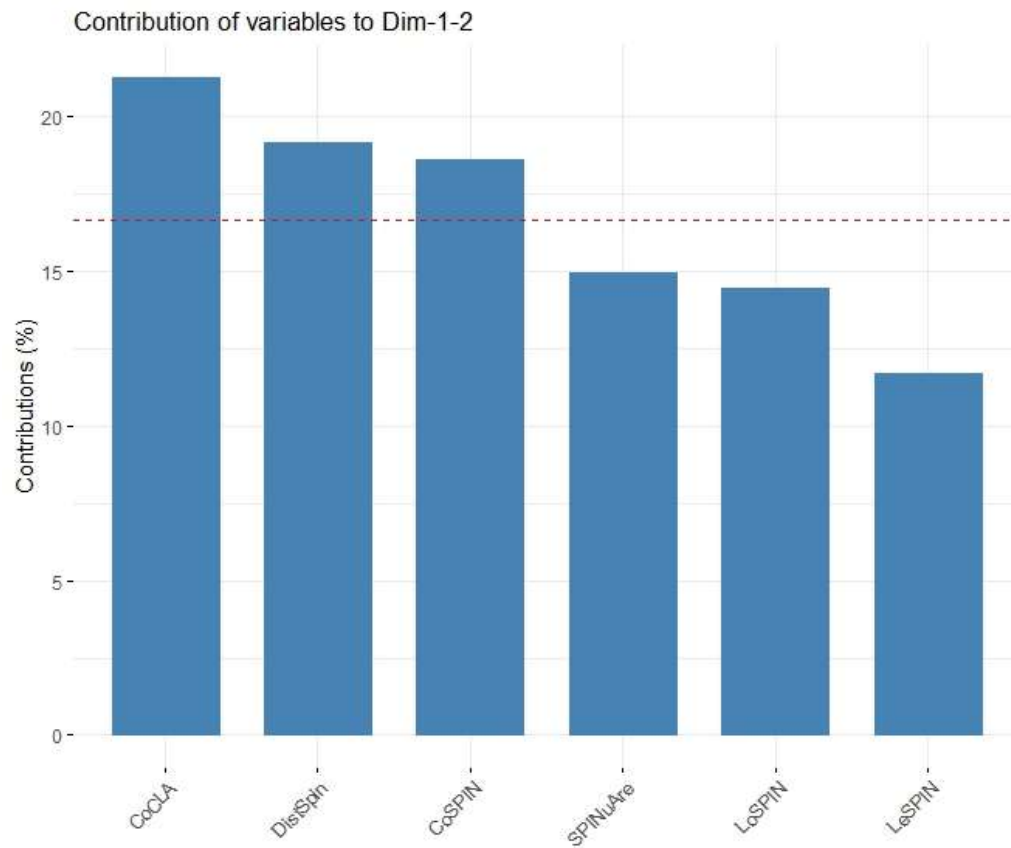
Figura. 7. Contribuição individual dos 30 acessos de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. para a diversidade genética, baseado em caracteres qualitativos.



Fonte: dados do autor, 2021.

Foi possível determinar quais características que mais contribuíram para a variabilidade, nesse caso, os descritores cor do cladódio (CoCLA), distribuição do espinho (DistSpin) e comprimento do espinho (CoSPIN) foram os que mais contribuíram (Figura. 8).

Figura. 8. Contribuição relativa de 6 descritores morfológicos na variabilidade entre os 30 acessos da espécie *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. CoCLA = Cor do cladódio; CoSPIN = Comprimento do espinho; DistSpin = Distribuição do espinho; LeSPI = Cor do espinho; LoSPIN = Localização do espinho; SPINuAre = Número de espinhos por auréola.



Fonte: dados do autor, 2021.

4 DISCUSSÃO

As diferenças significativas observadas entre os acessos confirmam a hipótese de que há diversidade genética entre os 30 acessos de palma forrageira estudadas (Tabela 2) para todas as características, exceto para ALT. Esta variabilidade pode ser observada no agrupamento de médias de Scott-Knott (Tabela 3), sendo esta fundamental nos programas de melhoramento genético, tornando possível identificar plantas superiores para serem utilizados como genitores (ABIDI et al., 2009; COSTA et al., 2013; PESSOA et al., 2013; ALVES et al., 2016; SIQUEIRA et al., 2017; SANTOS et al., 2018; PASCOE-ORTIZ et al., 2019).

As altas estimativas de herdabilidade observadas para os caracteres quantitativos morfológicos e bromatológicos (AFT, CHOT, CNF, DCP, EE, FDA, FDN, MM, MO, MSC, MSCC, MSP, MST, MVC, NC, NT, PB e UMD), evidenciam a existência de variabilidade e controle genético na expressão do fenótipo destes caracteres. Altas estimativas de herdabilidade são importantes indicadores de sucesso para programas de melhoramento genético da espécie, quando aplicados em populações segregantes, quando próximas de um, indicam que a seleção pode ser eficiente levando a ganhos genéticos para estes caracteres (PESSOA et al., 2018) (Tabela 2). Por outro lado, os caracteres do cladódio estudados e a altura da planta, sofreram maior influência do ambiente, fato também reportado por Adli et al. (2019).

Embora haja diversidade genética entre os 30 acessos de *O. ficus-indica*, conforme já descrito, o método de otimização de Tocher, revelou-nos que a mesma é baixa, formando apenas 3 grupos. O grupo I, composto por 93,3% dos acessos, sendo os acessos 11 e 16, os mais divergentes.

Em programas de melhoramento, o melhorista deve considerar não somente a distância entre grupos como critério para orientar os cruzamentos, mas também o desempenho individual do acesso para cada característica de interesse agrônomo e zootécnico. Assim, no grupo I, merecem destaque os acessos 4, 5, 12, 13 e 30, por possuírem atributos desejáveis numa planta forrageira de qualidade e devem ser utilizados como genitores em programas de melhoramento em palma forrageira (Tabela 5). Dentre esses acessos, apenas dois não apresentam espinhos, acessos 4 e 30.

Os acessos 7 e 8, alocados nos grupos II e III, respectivamente, também são promissores como genitores em programas de melhoramento, pois apresentam teores nutricionais à uma forrageira de qualidade. Todos os acessos selecionados possuem teores nutricionais superiores ao relatado por Santos et al., (2018), que estudaram a divergência nutricional de 13 genótipos de palma forrageira sem espinho. Apesar da palma forrageira sem espinho ser adequada para a

alimentação dos ruminantes, este estudo mostrou que os acessos com espinhos possuem teores nutricionais iguais ou superiores aos sem espinhos, também corroborado por estudos reportados por Abidi et al., (2009) avaliando palma forrageira *in vitro*.

A maioria das populações de *O. ficus-indica* (L.) Mill. são clones resultantes da propagação vegetativa dos cladódios (SAMAH et al. 2016; ADLI et al., 2019;), no entanto, a variação genética detectada em nosso trabalho pode ser atribuída as mutações contínuas ou ao alto nível de plasticidade fenotípica e níveis de ploidia (SAMAH & VALADEZ-MOCTEZUMA, 2014). De acordo com Segura et al., (2007), *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. possui indivíduos com 4 níveis de ploidia ($2n=2x=22$, $2n=4x=44$, $2n=6x=66$ e $2n=8x=88$). Essa diversidade na espécie é o resultado de milhares de anos de domesticação, uma vez que, esses genótipos foram cruzados repetidas vezes (MAJURE et al., 2012).

Diversos estudos tentam entender as relações filogenéticas entre as espécies de palma forrageira (MAZRI, 2018). A avaliação taxonômica desse grupo é complexa devido a variação fenotípica e ecológica, além da ocorrência de poliploidia e hibridação intra e intergênica (WALLACE & GIBSON, 2002; CARUSO et al., 2010; MAJURE et al., 2012;). O acesso 30 (variedade do BAG/Empaer) não apresenta espinho, este possui maior similaridade com acessos com espinho, o que corrobora com a hipótese da domesticação.

Baseado nos 23 caracteres quantitativos estudados foi gerado um dendrograma para esclarecer as relações dos 30 acessos de *O. ficus-indica* (L.) Mill. do BAG/Empaer (Figura. 5). O acesso 8, proveniente de Chapingo/México, possui (dis)similaridade com outros treze acessos do mesmo centro de diversidade, por apresentar o maior e o menor teor de FDN e FDA, respectivamente, dentro de *O. ficus-indica* (L.) Mill. Da mesma forma, o acesso 7 oriundo de Coahuila/México, possui o menor teor de FDN e um dos maiores teores de PB dentro da espécie. No cluster laranja agruparam-se 20 acessos de palma forrageira, a homogeneidade entre os acessos agrupados não é tão clara como no cluster azul. Porém dos 20 acessos, 8 foram agrupados juntos por possuírem os menores teores de FDA e FDN.

A expressão de qualquer característica sofre interferência genética e ambiental, conhecer a correlação genética entre os caracteres é de extrema importância para o melhoramento de plantas. Inicialmente, as correlações fenotípicas entre todas as características do cladódio (ACL, AFT, CCL, DCP, LCL e NC) foram altas e positivas (Figura 3). Apesar de não ficar evidente na rede de interações, a AFT apresenta correlações positivas com as variáveis CHO, CNF e FDN (tabela 5), e esta parece uma relação interessante, pois maiores valores de AFT indicam maior taxa de fotoassimilados. Outra correlação importante é a correlação negativa

entre proteína (PB) e carboidrato (CHO e CNF). Observe que o teor de MO está correlacionado positivamente com os determinadores de carboidrato e negativamente com FDN e PB.

Na rede interação genotípica, destaca-se a semelhança entre os padrões de correlação fenotípica e genotípica. As correlações genotípicas foram tão fortes quanto as fenotípicas. Na verdade, os resultados semelhantes confirmam as altas herdabilidades observadas. Neste caso, a variabilidade fenotípica dos acessos é determinada principalmente pela variabilidade genotípica. Entretanto, apenas as correlações genéticas são utilizadas, porque estão associadas a ligações fatoriais ou pleiotropia, permitindo realizar seleção indireta, para obtenção de ganhos em características de herdabilidade baixa e que sofre grande influência do ambiente ou é de difícil mensuração (CRUZ et al., 2012).

A Análise dos Componentes Principais (PCA) mostrou variação entre os acessos estudados, esta diferença está relacionada com a contribuição dos caracteres CoCLA, DistSpin e CoSPIN na variabilidade dos materiais (Figura. 8). A (dis)similaridade revelada pela PCA (Figura. 6) corrobora em parte com aquelas encontradas pelo método de Tocher e UPGMA, particularmente os acessos 7 e 8, que permanecem distantes. Entretanto, deve-se ponderar que o método de Tocher formou três grupos, UPGMA quatro e a PCA, cinco grupos distintos. Os resultados mostram ainda uma similaridade entre os acessos sem espinhos de *O. ficus-indica* (3, 4, 10, 18, 26, 29 e 30), distribuindo-se em 3 pontos na PCA. Na Figura 7, podemos notar que o acesso 15 contribuiu em maior proporção para a diversidade genética, isso deve apenas que esse acesso apresentou as maiores notas adotadas na metodologia para todas as variáveis estudadas. Baseado apenas na PCA, acessos mais distantes devem ser utilizados como genitores, porque são mais distantes geneticamente e irão ampliar variabilidade existente.

Nossos resultados destacam a importância de estudos bromatológicos na variabilidade genética dentro de acessos de palma forrageira em Bancos de Germoplasma, com o propósito de recomendar materiais potenciais dessa espécie para programas de melhoramento em palma forrageira.

5 CONCLUSÃO

Há variabilidade genética entre os 30 acessos de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. pertencentes ao banco ativo de germoplasma (BAG) da EMPAER quanto aos marcadores bromatológicos e morfológicos.

Dos 30 acessos avaliadas do BAG, sete (4, 5, 7, 8, 12, 13 e 30) são promissores para os programas de melhoramento em palma forrageira.

6 REFERENCIAS

- ABIDI, S.; BEN SALEM, H.; MARTÍN-GARCÍA, A. I.; MOLINA-ALCAIDE, E. Ruminant fermentation of spiny (*Opuntia amyclae*) and spineless (*Opuntia ficus-indica* f. *inermis*) cactus cladodes and diets including cactus. **Animal Feed Science and Technology**, 149(3–4), 333–340. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2008.06.006>. 2009.
- ADLI, B.; TOUATI, M.; YABRIR, B.; BAKRIA, T.; BEZINI, E.; BOUTEKRABT, A. Morphological characterization of some naturalized accessions of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. in the Algerian steppe regions. **South African Journal of Botany**, 124, 211–217. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.04.017>. 2019
- ALVES, A.; PASCOAL, L.; CAMBUÍ, G.; TRAJANO, J.; SILVA, C.; GOIS, G. Fibra para ruminantes: Aspecto nutricional, metodológico e funcional. **Pubvet**, 10(7), 568–579. <https://doi.org/10.22256/pubvet.v10n7.568-579>. 2016
- AMANI, E.; MARWA, L.; SALEM, B.; AMEL, S.; GHADA, B. Scientia Horticulturae Morphological variability of prickly pear cultivars (*Opuntia* spp.) established in ex-situ collection in Tunisia. **Scientia Horticulturae**, 248(December 2018), 163–175. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.004>. 2019.
- AOAC. (1990). **Official Methods of Analysis**. In K. Helrich (Ed.), Association of Official Analytical Chemists (Issue 15). <https://doi.org/10.7312/seir17116-004>. 1990.
- BECCARO, G. L.; BONVEGNA, L.; DONNO, D.; MELLANO, M. G.; CERUTTI, A. K.; NIEDDU, G.; CHESSA, I.; BOUNNOUS, G. *Opuntia* Spp. Biodiversity Conservation and Utilization on the Cape Verde Islands. **Genetic Resources and Crop Evolution** 62(1): 21–33. 2015.
- Beccaro, G. L. TORELLO-MARINONI, D.; BINELLI, G.; DONNO, D.; BOCCACCI, P.; BOTTA, R.; CERUTTI, A. K.; CONEDERA, M. Insights in the Chestnut Genetic Diversity in Canton Ticino (Southern Switzerland). **Silvae Genetica** 61(6): 292–300. 2012.
- CARUSO, M., CURRÒ, S., CASAS, G. LAS, LA MALFA, S., & GENTILE, A. Microsatellite markers help to assess genetic diversity among *Opuntia ficus-indica* cultivated genotypes and their relation with related species. **Plant Systematics and Evolution**, 290(1), 85–97. <https://doi.org/10.1007/s00606-010-0351-9>. 2010.
- CHEIKH ROUHO, M., ABDELMOUMEN, S., THOMAS, S., ATTIA, H., & GHORBEL, D. Use of green chemistry methods in the extraction of dietary fibers from cactus rackets (*Opuntia ficus-indica*): Structural and microstructural studies. **International Journal of Biological Macromolecules**, 116, 901–910. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.05.090>. 2018.
- CHESSA, I., & GIOVANNI, N. Descriptor Cactus Pear (*Opuntia* spp.). **Cactusnet. FAO International Cooperation Network on Cactus Pear**. 1997.
- COSTA, C. T. F., FERREIRA, M. A., CAMPOS, J. M. S., GUIM, A., SILVA, J. L., SIQUEIRA, M. C. B., BARROS, L. J. A., & SIQUEIRA, T. D. Q. Intake, total and partial digestibility of nutrients, and ruminal kinetics in crossbreed steers fed with multiple supplements containing spineless cactus enriched with urea. **Livestock Science**, 188, 55–60. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.04.008>. 2016.

- COSTA, R. G., TREVIÑO, I. H., DE MEDEIROS, G. R., DE MEDEIROS, A. N., NETO, S. G., DE AZEVEDO, P. S., & PINTO, T. F. Feeding behavior and performance of sheep fed cactus pear in substitution of corn. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 42(11), 785–791. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982013001100004>. 2013.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4th edn. UFV, Viçosa. 2012.
- CRUZ FILHO, I. J., DA SILVA BARROS, B. R., DE SOUZA AGUIAR, L. M., NAVARRO, C. D. C., RUAS, J. S., DE LORENA, V. M. B., DE MORAES ROCHA, G. J., VERCESI, A. E., DE MELO, C. M. L., & MAIOR, A. M. S. Lignins isolated from Prickly pear cladodes of the species *Opuntia ficus-indica* (Linnaeus) Miller and *Opuntia cochenillifera* (Linnaeus) Miller induces mice splenocytes activation, proliferation and cytokines production. **International Journal of Biological Macromolecules**, 1331–1339. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.09.120>. 2019.
- 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.
- DUBEUX JR, J. C. B., SALEM, H. BEN, & NEFZAOUI, A. **Forage production and supply for animal nutrition**. In *Crop ecology, cultivation and uses of cactus pear* (Issue March, pp. 73–90). 2017.
- GARCIA, V., CORT, D., & NOBEL, P. S. Prediction and measurement of high annual productivity for *Opuntia ficus-indica*. **Agr Forest Meteorol.** 56(3), 261–272. 1991.
- JARDIM, A. M. DA R. F., SILVA, T. G. F. DA, SOUZA, L. S. B. DE, & SOUZA, M. D. S. Interação de agroecossistema consorciado com palma-sorgo em ambiente semiárido: uma revisão. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, 5(1), 069–087. <https://doi.org/10.24221/jeap.5.1.2020.2743.069-087>. 2020.
- KASSAMBARA, A. **Multivariate Analysis 1: Practical Guide To Cluster Analysis in R**. STHDA. 2015.
- KIESLING, R., & METZING, D. **Origin and taxonomy of *Opuntia ficus-indica***. In *Crop Ecology, Cultivation and Uses of Cactus Pear* (pp. 13–20). 2017.
- LOUHAICHI, M., NEFZAOUI, A., & GUEVARA, J. C. **Cactus ecosystem goods and services**. *Crop Ecology, Cultivation and Uses of Cactus Pear*, 159–170. 2017.
- MAJURE, L. C., PUENTE, R., & PINKAVA, D. J. **Miscellaneous chromosome numbers in *Opuntia* Dc. (Cactaceae) with a compilation of counts for the group**. *Haseltonia*, 18(18), 67–78. <https://doi.org/10.2985/026.018.0109>. 2012
- MAJURE, L. C., PUENTE, R., PATRICK GRIFFITH, M., JUDD, W. S., SOLTIS, P. S., & SOLTIS, D. E. Phylogeny of *Opuntia* s.s. (Cactaceae): Clade delineation, geographic origins, reticulate evolution. **American Journal of Botany**, 99(5), 847–864. <https://doi.org/10.3732/ajb.1100375>. 2012.
- MARQUES, F. O., SOUZA, L., GOMES, P., HENRIQUE, M., MOURTHÉ, F., GOMES, T., SANTOS BRAZ, D., DE SOUZA, O., & NETO, P. Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. **Caderno de Ciências Agrárias**, 9(1), 75–93. 2017.

MAZRI, M. A. **Cactus pear (*Opuntia* spp.) breeding. In *Advances in Plant Breeding Strategies: Fruits* (Vol. 3). https://doi.org/10.1007/978-3-319-91944-7_8. 2018.**

MELLANO, M. G.; BECCARO, G. L.; DONNO, D.; TORELLO MARIONONI, D.; BOCCACCI, P.; CANTERINO, S.; CERUTTI, A. K.; BOUNOUS, G. *Castanea* Spp. Biodiversity Conservation: Collection and Characterization of the Genetic Diversity of an Endangered Species. **Genetic Resources and Crop Evolution** 59(8): 1727–41. 2012.

MONDRAGÓN-JACOBO, C., & CHESSA, I. A global perspective on genetic resources of cactus pear; An asset for the future sustainability of semiarid lands. **Acta Horticulturae**, 995, 19–26. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.995.1>. 2013.

NEFZAOU, A., LOUHAICHI, M., & SALEM, H. BEN. Cactus as a Tool to Mitigate Drought and to Combat Desertification. **Journal of Arid Land Studies**, 24(1), 121–124. 2014.

NEFZAOU, M., LIRA, M. A., BOUJGHAGH, M., UDUPA, S. M., & LOUHAICHI, M. Morphological characterization of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) accessions from Agadir, Morocco. **Acta Horticulturae**, 1247, 163–169. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1247.23> 2019.

PAIVA, P., SOUZA, I., COSTA, M., SANTOS, A., & COELHO, L. ***Opuntia* sp. Cactus: Biological Characteristics, Cultivation and Applications. Advances in Research**, 7(3), 1–14. <https://doi.org/10.9734/air/2016/26125>. 2016.

PASCOE-ORTIZ, S., RODRÍGUEZ-MACÍAS, R., ROBLEDO-ORTIZ, J. R., SALCEDO-PÉREZ, E., ZAMORA-NATERA, J. F., RABELERO-VELASCO, M., & VARGAS-RADILLO, J. J. Identificación de propiedades presentes en jugo de *Opuntia megacantha* Salm-Dyck importantes para la producción de biopolímeros. **TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas**, 22, 1–10. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2019.0.197>. 2019.

PAULA, T. A., VÉRAS, A. S. C., GUIDO, S. I., CHAGAS, J. C. C., CONCEICAO, M. G., GOMES, R. N., NASCIMENTO, H. F. A., & FERREIRA, M. A. Concentrate levels associated with a new genotype of cactus (*Opuntia stricta* [Haw]. Haw.) cladodes in the diet of lactating dairy cows in a semi-arid region. **Journal of Agricultural Science**, 156(10), 1251–1258. <https://doi.org/10.1017/S002185961900011X>. 2018.

PESSOA, A. M. DOS S., RÊGO, E. R., CARVALHO, M. G. DE, SANTOS, C. A. P., & RÊGO, M. M. Genetic diversity among accessions of *Capsicum annuum* L. Through morphoagronomic characters. **Genetics and Molecular Research**, 17(1). <https://doi.org/10.4238/gmr16039883>. 2018.

PESSOA, R. A. S., FERREIRA, M. DE A., DA SILVA, F. M., BISPO, S. V., WANDERLEY, W. L., & VASCONCELOS, P. C. Diferentes suplementos associados à palma forrageira em dietas para ovinos: Consumo, digestibilidade aparente e parâmetros ruminais. **Revista Brasileira de Saude e Producao Animal**, 14(3), 508–517. <https://doi.org/10.1590/S1519-99402013000300012>. (2013).

RAO, C. R. **Advanced statistical methods in biometric research**. John Wiley & Sons, New York. 1952.

- RÊGO, E. R., DO RÊGO, M. M., CRUZ, C. D., FINGER, F. L., & CASALI, V. W. D. Phenotypic diversity, correlation and importance of variables for fruit quality and yield traits in Brazilian peppers (*Capsicum baccatum*). **Genetic Resources and Crop Evolution**, 58(6), 909–918. <https://doi.org/10.1007/s10722-010-9628-7>. 2011.
- REIS, C. M. G., RAIMUNDO, J., & RIBEIRO, M. M. Assessment of Genetic Diversity in *Opuntia* spp. Portuguese Populations Using SSR Molecular Markers. **Agronomy**, 8(4). <https://doi.org/10.3390/agronomy8040055>. 2018.
- REYES-AGÜERO, J. A., RIVERA, J. R. A., & FLORES, J. L. F. Variación morfológica de *Opuntia* (CACTACEAE) en relación con su domesticación en la altiplanicie Meridional de México. **Interciencia**, 30(8). 2005.
- REYNOLDS, S. G.; ARIAS, E. Introduction. In Candelario Mondragón-Jacobo & S. PÉREZ-GONZÁLEZ (Eds.), *Cactus (Opuntia spp.) as forage* (pp. 1–4). **FAO Plant Production and Protection Paper**. 2001.
- SÁENZ, C. **Opuntias as a natural resource**. In: SÁENZ, C., BERGER, H., RODRÍGUEZ-FÉLIX, A., GALLETTI, L., GARCÍA, J. C., SEPÚLVEDA, E., TERESA, M., VÍCTOR, V., DE CORTÁZAR, G., CUEVAS GARCÍA, R., ARIAS, E., MONDRAGÓN, C., HIGUERA, I., & ROSELL, C. *Agro-industrial utilization of cactus pear*. 2013.
- SAMAH, S., & VALADEZ-MOCTEZUMA, E. Morphological Seeds Descriptors for Characterize and Differentiate Genotypes of *Opuntia* (Cactaceae, Opuntioideae). *Annual Research & Review in Biology*, 4(24), 3791–3809. <https://doi.org/10.9734/arrb/2014/11606>. 2014.
- SAMAH, S., DE TEODORO PARDO, C. V., SERRATO CRUZ, M. A., & VALADEZ-MOCTEZUMA, E. Genetic Diversity, Genotype Discrimination, and Population Structure of Mexican *Opuntia* sp., Determined by SSR Markers. **Plant Molecular Biology Reporter**, 34(1), 146–159. <https://doi.org/10.1007/s11105-015-0908-4>. 2016.
- SANTOS, R. D., NEVES, A. L. A., SANTOS, D. C., PEREIRA, L. G. R., GONÇALVES, L. C., FERREIRA, A. L., COSTA, C. T. F., ARAUJO, G. G. L., SCHERER, C. B., & SOLLENBERGER, L. E. Divergence in nutrient concentration, in vitro degradation and gas production potential of spineless cactus genotypes selected for insect resistance. **Journal of Agricultural Science**, 156(3), 450–456. <https://doi.org/10.1017/S002185961800031X>. 2018.
- SEGURA, S., SCHEINVAR, L., OLALDE, G., LEBLANC, O., FILARDO, S., MURATALLA, A., GALLEGOS, C., & FLORES, C. Genome sizes and ploidy levels in Mexican cactus pear species *Opuntia* (Tourn.) Mill. series *Streptacanthae* Britton et Rose, *Leucotrichae* DC., *Heliabravoanae* Scheinvar and *Robustae* Britton et Rose. **Genetic Resources and Crop Evolution**, 54(5), 1033–1041. <https://doi.org/10.1007/s10722-006-9196-z>. 2007.
- SHACKLETON, R. T., WITT, A. B. R., PIORIS, F. M., & VAN WILGEN, B. W. Distribution and socio-ecological impacts of the invasive alien cactus *Opuntia stricta* in eastern Africa. **Biological Invasions**, 19(8), 2427–2441. <https://doi.org/10.1007/s10530-017-1453-x>. 2017.

SHETTY, A. A., RANA, M. K., & PREETHAM, S. P. **Cactus: A medicinal food.** *Journal of Food Science and Technology*, 49(5), 530–536. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0462-5>. 2012.

SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. *Indian J. Genet. Plant Breed.* 41: 237-245. 1981.

SIQUEIRA, M. C. B., FERREIRA, M. DE A., MONNERAT, J. P. I. DO. S., SILVA, J. DE L., COSTA, C. T. F., DA CONCEIÇÃO, M. G., DE ANDRADE, R. DE P. X., BARROS, L. J. A., & MELO, T. T. D. B. Optimizing the use of spineless cactus in the diets of cattle: Total and partial digestibility, fiber dynamics and ruminal parameters. *Animal Feed Science and Technology*, 226, 56–64. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.12.006>. 2017.

SNIFFEN, C. J., O'CONNOR, J. D., FOX, D. G., & CHALUPA, W. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: IV. Predicting amino acid adequacy. *Journal of Animal Science*, 71(5), 1298–1311. <https://doi.org/10.2527/1993.7151298x>, Texas Press, Austin, Texas, p. 356. 1993.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. Genética biométrica no fitomelhoramento. Sociedade Brasileira de Genética, Ribeirão Preto, 1-486. 1992.

WALLACE, R. S.; GIBSON, A. C. **Evolution and Systematics.** In P. S. Nobel (Ed.), *Cacti: Biology and uses* (University, pp. 1–22). 2002.

WENIGER, D.; **Cacti of Texas and Neighboring States: A Field Guide.** University of Texas Press, Austin, Texas. 1984.

YAHIA, E. M.; SÁENZ, C. **Cactus pear (*Opuntia* species).** In YAHIA, E. M. *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits* (pp. 290-331e). Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9780857092762.290>. 2011.