



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA/FITOTECNIA

ANTÔNIO MOREIRA BARROSO NETO

**IDENTIFICAÇÃO DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI PARA PRODUÇÃO DE
BIOMASSA DE FORRAGEM**

FORTALEZA

2021

ANTÔNIO MOREIRA BARROSO NETO

IDENTIFICAÇÃO DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI PARA PRODUÇÃO DE
BIOMASSA DE FORRAGEM

Tese submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito para obtenção do grau de Doutor em Agronomia/Fitotecnia. Área de concentração: Genética e melhoramento de plantas.

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

B285i Barroso Neto, Antônio Moreira.
Identificação de genótipos de feijão-caupi para produção de biomassa de forragem / Antônio Moreira Barroso Neto. – 2021.
70 f.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia), Fortaleza, 2021.
Orientação: Profa. Dra. Cândida Campos de Magalhães.

1. Análise de fatores. 2. Seleção. 3. *Vigna unguiculata*. 4. Morfofisiologia. I. Título.

CDD 630

ANTÔNIO MOREIRA BARROSO NETO

Identificação de genótipos de feijão-caupi para produção de biomassa de forragem

Tese submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito para obtenção do grau de Doutor em Agronomia/Fitotecnia. Área de concentração: Genética e melhoramento de plantas.

Aprovado em __/__/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. D.Sc. Cândida Hermínia Campos de Magalhães (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. D.Sc. Marcos Neves Lopes
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof^a. D.Sc. Rosilene Oliveira Mesquita
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. D.Sc. Júlio César do Vale
Universidade Federal do Ceará (UFC)

D.Sc. Gilberto Antonio Peripolli Bevilaqua
Embrapa Clima Temperado

À Deus.

Aos meus pais, Joaquim e Regina.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pelo amor, esperança, fé, força, conquistas e presença constante em minha vida e que me deu forças para transpor mais esta etapa da vida.

Aos meus pais, Joaquim Moreira da Silva e Regina Costa Moreira, pelo amor, confiança, dedicação.

Aos meus irmãos: João Carlos e Wendel pela amizade e apoio.

A minha namorada Flenna, pelo apoio, amor e força sempre a mim concedidos neste período de doutorado.

A UFC pelo apoio na minha formação como servidor público, me permitindo conciliar as atividades do trabalho com as atividades do doutorado.

Ao Departamento de Fitotecnia nas pessoas da professora Carmem (atual chefe do departamento).

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia.

À Professora Cândida Hermínia Campos de Magalhães, pela compreensão e dedicação a mim oferecido durante todo o doutorado.

Ao professor e amigo Marcos Neves Lopes, pelo auxílio na condução das análises do experimento, pelas orientações e conversas.

Ao professor Júlio César do Vale, pelo seu empenho em me orientar nas análises e ao apoio concedido na construção desta tese.

À professora Rosilene Mesquita, pelo grande apoio e empenho em nos auxiliar nas análises e articulando seus contatos para usarmos o laboratório no Departamento de bioquímica.

Ao motorista do CCA e amigo Sr. Luiz pelo grande apoio dado durante a pós-graduação (mestrado e doutorado), auxiliando nas viagens e nos descontraindo após dia em campo.

Aos colegas de trabalho (professores e técnicos) do Departamento de Fitotecnia.

Aos amigos e colegas de trabalho: Francisco Vieira e Pedro Djacir pela acolhida que me deram quando entrei como servidor, além das conversas, apoio e conselhos. Ao Pedro Djacir pela ajuda nos experimentos e aprendizados. Ao Manoel Barbosa (Manelzim) pelas conversas descontraídas.

Ao Engenheiro Agrônomo da Fazenda Experimental Vale do Curu, Kleyton Chagas e toda equipe da fazenda, pelo apoio dado nos dias de experimento.

À colega de doutorado e amiga Linda Brenna, pelo grande apoio dado na condução do experimento, em dias de chuva e sol, apoio fundamental para execução.

Aos amigos de pós-graduação: Renata, Tamiris, Marcelo, Leane, Fernanda e Ingrid, pela convivência e amizade nestes anos.

Aos alunos de graduação em agronomia (Bruno, Ana Virgília, Jéssica, Vitor, Marcos, Letícia, Lorena e Kátia) que de alguma forma me ajudaram na condução do experimento.

Aos meus ex-bolsistas de Iniciação Acadêmica: Reijane, Edlaine, Louise, Josias e Evelane.

“...todas as coisas cooperam para o bem
daqueles que amam a Deus...”

Romanos 8:28a

RESUMO

Na busca por novas espécies leguminosas para compor o mix forrageiro, o feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] tem sido uma espécie pouco estudada no Brasil para tal finalidade, apesar de vários estudos no mundo que comprovam o potencial desta espécie para produção de forragem. Objetivou-se elaborar um índice seletivo que permita auxiliar na recomendação de cultivares de feijão-caupi para produção de forragem e selecionar os melhores genótipos com base no mesmo. O ensaio foi conduzido na Fazenda Experimental Vale do Curú (FEVEC/UFC), localizada no município de Pentecoste-CE. Foram avaliados 64 genótipos, 61 são acessos do Banco de Germoplasma da Universidade Federal do Ceará, e 3 genótipos provenientes da Embrapa Clima Temperado-RS, os quais são cultivados para produção de forragem. O delineamento experimental utilizado foi o de látice simples (8x8), com duas repetições. Cada tratamento foi representado por uma parcela constituída de cinco linhas de 4 m de comprimento e espaçadas em 0,50 m, apresentando como área útil as três fileiras centrais. Avaliaram-se as características fisiológicas e morfológicas. A análise de deviance revelou diferenças significativas quanto aos efeitos de genótipo para maior parte dos caracteres avaliados. Foram significativos para genótipos a fluorescência inicial (Fo), coeficiente de dissipação-fotoquímica (qP), coeficiente de dissipação não-fotoquímica (qN), índice relativo de clorofila (IRC), altura do dossel (AD) e índice de área foliar (IAF). Isto indica diferenças nas respostas relativas dos genótipos para os caracteres avaliados. Houve correlação entre as características morfológicas (AD e IAF) e fisiológicas (Fo, IRC, qN, qP), de feijão-caupi. Por meio de componentes principais foram identificados três variáveis passíveis de descarte (Fo, qN, IAF). Com base na comunalidade, nos sinais e magnitudes das cargas fatoriais iniciais e finais, foram identificados três grupos de caracteres. Para cada grupo, as correlações entre os caracteres foram de magnitude moderada, portanto, foi possível descartar os caracteres que eram relativamente difíceis de medir e / ou eram redundantes em cada grupo, como Fo no grupo 2 e IAF no grupo 3. De maneira geral, obteve-se um índice de seleção $I_2 = 0,066169 \text{ IRC} + 0,191538 \text{ qP} + 0,661189 \text{ AD}$. Este índice permitiu recomendar genótipos promissores de feijão-caupi para produção de forragem.

Palavras-chave: Análise de fatores. Seleção. *Vigna unguiculata*. Morfofisiologia.

ABSTRACT

In the search for new legumes species to compose the forage mix, the CAUPI beans [*Vigna Unguiculata* (L.) Walp.] It has been a little studied in Brazil for such purpose, despite several studies in the world that prove the potential of this species for forage production. The objective was to elaborate a selective index that allows to aid in the recommendation of CAUPI bean cultivars for forage production and to select the best genotypes based on it. The essay was conducted on the Experimental Farm Vale do Curú (FEVEC / UFC), located in the municipality of Pentecote-CE. 64 genotypes were evaluated, 61 are accessed from the Germlasm Bank of the Federal University of Ceará, and 3 genotypes from Embrapa Climate Temperado-RS, which are cultivated for forage production. The experimental design used was simple latic (8x8), with two replicates. Each treatment was represented by a portion consisting of five lines of 4 m in length and spaced at 0.50 m, presenting as useful area the three central rows. The physiological and morphological characteristics were evaluated. Devian's analysis revealed significant differences in the effects of genotype for most characters. It was significant for initial fluorescence genotypes (F_o), coefficient of photochemistry (qP), non-photochemical dissipation coefficient (qN), relative chlorophyll index (IRC), canopy height (AD) and leaf area index (IAF). This indicates differences in the relative responses of genotypes for evaluated characters. There was a correlation between the morphological characteristics (AD and IAF) and physiological (F_o , IRC, qN , qP), of Caupi beans. Three different disposal (F_o , qN , IAF) variables were identified. Based on the communality, the signs and magnitudes of the initial and final factorial charges, three character groups were identified. For each group, the correlations between the characters were moderate magnitude, therefore, it was possible to discard the characters that were relatively difficult to measure and / or were redundant in each group, such as F_o in Group 2 and IAF in Group 3. Generally, a selection index was obtained $I_2 = 0.066169 \text{ IRC} + 0,191538 \text{ } qP + 0.661189 \text{ AD}$. This index allows you to recommend promising bean-caupi genotypes for forage production.

Keywords: Analysis of factors. Selection. *Vigna unguiculata*. Morfophysiology.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Genótipos de feijão-caupi avaliados no trabalho.....	35
Tabela 2-	P-valores para os caracteres de florescência da clorofila “a”, trocas gasosas, índice relativo de clorofila e estrutura e produção de biomassa de forragem, avaliados em 64 genótipos de feijão-caupi destinados a produção de forragem no município de Pentecoste, estado do Ceará, 2018.....	43
Tabela 3-	Coeficientes de correlações fenotípicas de Pearson (rf) entre os caracteres índice relativo de clorofila (IRC), dissipação não-fotoquímica (qN), dissipação-fotoquímica (qP), altura do dossel (AD) e índice de área foliar (IAF), avaliados em 64 genótipos de feijão-caupi destinados a produção de forragem no município de Pentecoste, estado do Ceará, 2018	46
Tabela 4-	Estimativas dos autovalores e da fração cumulativa da variância explicada pelos componentes principais envolvendo os caracteres fluorescência inicial (Fo), índice relativo de clorofila (IRC), dissipação não-fotoquímica (qN), dissipação-fotoquímica (qP), altura do dossel (AD) e índice de área foliar (IAF), avaliados em 64 genótipos de feijão-caupi destinados a produção de forragem no município de Pentecoste, estado do Ceará, 2018	48
Tabela 5-	Comunalidade, cargas fatoriais iniciais e finais, estimadas para os caracteres índice relativo de clorofila (IRC), dissipação não-fotoquímica (qN), dissipação-fotoquímica (qP), altura do dossel (AD), fluorescência inicial (Fo) e índice de área foliar (IAF), avaliados em 64 genótipos de feijão-caupi destinados a produção de forragem no município de Pentecoste, estado do Ceará, 2018	50
Tabela 6-	Produção de biomassa de forragem total e consumo de matéria seca de feijão-caupi para suprir as exigências nutricionais de manutenção, produção e ganho de peso de vacas de 400 kg, durante a fase intermediária e final de lactação, avaliados em duas porcentagens da dieta total dos animais.....	52

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVO	16
2.1	Objetivo geral	16
2.2	Objetivos específicos	16
3	HIPÓTESE	16
4	REVISÃO DE LITERATURA	17
4.1	Aspectos gerais do feijão-caupi	17
4.2	Importância econômica do feijão-caupi	18
4.3	Uso do feijão-caupi como forrageira	20
4.4	Efeitos do corte e pastejo sobre a morfofisiologia de plantas forrageiras	21
4.5	Estrutura e produção de biomassa de plantas forrageiras	23
4.5.1	<i>Trocas gasosas</i>	24
4.5.2	<i>Florescência da clorofila “a”</i>	26
4.6	Melhoramento genético para leguminosas forrageiras	28
4.7	Índices de seleção	30
5	MATERIAL E MÉTODOS	34
5.1	Material vegetal e localização da área experimental	34
5.2	Avaliações	35
5.2.1	<i>Avaliações fisiológicas</i>	36
5.2.1.1	<i>Trocas gasosas</i>	36
5.2.1.2	<i>Fluorescência da clorofila “a”</i>	36
5.2.1.3	<i>Índice Relativo de Clorofila (IRC)</i>	37
5.2.2	<i>Avaliações morfológicas</i>	37
5.3	<i>Simulação de produção</i>	39
5.4	<i>Análises genético-estatísticas</i>	40
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
7	CONCLUSÕES	54
	REFERÊNCIAS	55
	APÊNDICE A – CARGAS CANÔNICAS DAS VARIÁVIES PADRONIZADAS	70

**APÊNDICE B - VALORES DE BLUEs ESTIMADOS PARA OS
CARACTERES SELECIONADOS PARA A COMPOSIÇÃO DO
ÍNDICE DE SELEÇÃO COM RESPECTIVO PESO FINAL DE CADA
GENÓTIPO**

1 INTRODUÇÃO

Com a diminuição da área disponível para produção animal, a alta dos preços dos insumos agrícolas, bem como a demanda por mais sistemas produtivos eficientes e sustentáveis, há uma necessidade de se buscar espécies ou cultivares de plantas adequadas para cada região, tornando-se objeto essencial no planejamento de implantação de sistemas de produção de forragem (PORQUEDDU *et al.*, 2005; BARCELLOS *et al.*, 2008; SIMEÃO *et al.*, 2017; ASSIS *et al.*, 2018; TERRA *et al.*, 2019). Em busca destes objetivos, fica evidente o benefício do uso de leguminosas forrageiras nos sistemas de produção animal, tanto no âmbito do bom funcionamento da digestão das forragens pelos microorganismos ruminais, como pelo benefício da fixação de nitrogênio ao solo pelas leguminosas (NEPOMUCENO *et al.*, 2013; SOUZA *et al.*, 2018).

Neste contexto, a baixa adoção de leguminosas em pastagens tropicais tende a ser gradativamente superado pelo lançamento de novas cultivares, mais adaptadas e produtivas, oriundas de metodologias e estratégias cada vez mais modernas, eficientemente aplicadas e que buscam novas maneiras de detectar e analisar variabilidade e o potencial de novas espécies (ANNICCHIARICO; PIANO, 2010; GUARDA; CAMPOS, 2014; SIMEÃO *et al.*, 2017; MIQUELONI *et al.*, 2019).

Nesta busca por novas espécies leguminosas para compor o *mix* forrageiro, o feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] tem sido uma espécie pouco estudada no Brasil (com estudos restritos a produção de grãos para alimentação humana), apesar de vários estudos no mundo que comprovam o potencial desta espécie para produção de forragem (KUMAR; PHOGAT; BHUSAL, 2015; KATSANDE *et al.*, 2016; ANITHA *et al.*, 2016; KANDIL; SHAREIF; GAD, 2017; WORKU *et al.*, 2018).

Na região Nordeste, o feijão-caupi tem sido utilizado majoritariamente para a produção de grãos. Nesta região, durante as estações secas, a oferta de forragem é reduzida, sendo o principal fator determinante do nível de produtividade dos animais. Essa característica reforça a necessidade de alternativas alimentares, e o feijão-caupi, por adaptar-se bem as regiões de clima semiárido, pode ser utilizado como forma de suplementação nutricional para animais, objetivando melhorar os índices de produtividade e, conseqüentemente, a renda familiar dos produtores desse setor (BEVILAQUA *et al.*, 2013;

ANTOVA; STOILOVA; IVANOVA, 2014; BAPTISTA *et al.*, 2016; RODRIGUES *et al.*, 2018; SILVA, A.C. *et al.*, 2018).

No Brasil ainda não existem relatos de programas de melhoramento destinado à obtenção e identificação de genótipos de feijão-caupi para forragem. Nesse sentido, torna-se necessário o desenvolvimento de pesquisas que visem à identificação de genótipos de feijão-caupi com potencial forrageiro, como uma alternativa estratégica, visto que possibilitaria sua recomendação ao agricultor ou ainda, a utilização como genitores em programas de melhoramento (LIRA *et al.*, 2017; MIQUELONI *et al.*, 2019).

Para identificação de novos genótipos, muitas técnicas têm sido utilizadas visando a construção de índices de seleção que possam resultar em um processo de seleção mais acurado, que identifique genótipos com boa resposta produtiva, que possuam atributos que satisfaçam às exigências do produtor e do mercado consumidor (FREITAS *et al.*, 2013; RODRIGUES *et al.*, 2013). Assim, técnicas como análise de fatores associadas a componentes principais tem auxiliado para viabilizar o uso de índice de seleção, pois permitem descartar caracteres com baixo poder discriminativo de genótipos, gerando índices mais elaborados (DOVALE; FRITSCHÉ-NETO; SILVA, 2011; GRANATO *et al.*, 2014).

A técnica de análise de fatores consiste em reunir, previamente, as características mais correlacionadas em complexos de interpretação biológica e, depois da simplificação estrutural. Os caracteres avaliados inicialmente são substituídos por um menor número de caracteres latentes, chamados de fatores. Fatores são então usados para agrupar caracteres para minimizar a variação dentro dos grupos e maximizar a variação entre os grupos (DOVALE; FRITSCHÉ-NETO; SILVA, 2011; CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI, 2014; HONGYU, 2018). Já a análise dos componentes principais é uma técnica multivariada que transforma linearmente um conjunto original de variáveis, inicialmente correlacionadas entre si, num conjunto substancialmente menor de variáveis não correlacionadas que contém a maior parte da informação do conjunto original (GRANATO *et al.*, 2014; HONGYU; SANDANIELO; OLIVEIRA JUNIOR, 2016).

A associação de tais análises permite a retirada ou descarte de variáveis redundantes por estarem correlacionadas com as de maior importância. Assim, um menor número de variáveis é necessário para construção do índice de seleção, o que permite a predição de ganhos simultâneos adequados em todas as características (HONGYU, 2018).

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

Elaborar um índice seletivo que permita auxiliar na recomendação de cultivares de feijão-caupi para produção de forragem e selecionar os melhores genótipos com base no mesmo.

2.2 Objetivos específicos

- a) Analisar a variabilidade genética quanto a parâmetros mofo-agronômicos e a atividade fotoquímica existente entre os acessos de feijão-caupi do banco de germoplasma da Universidade Federal do Ceará (UFC);
- b) Reduzir a quantidade de variáveis para seleção de genótipos de feijão-caupi para produção de forragem;
- c) Identificar os melhores genótipos de feijão-caupi para forragem com base na seleção simultânea de caracteres.

3 HIPÓTESE

Os acessos de feijão-caupi do banco de germoplasma da UFC apresentam potencial para produção de biomassa e podem ser utilizados para a produção de forragem.

Os acessos de feijão-caupi do banco de germoplasma da UFC suportam o estresse pós corte, com recuperação das características morfofisiológicas.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Aspectos gerais do feijão-caupi

O feijão-caupi [*Vigna Unguiculata* (L.) Walp.] é uma das culturas anuais mais importantes e cultivadas no mundo, particularmente na África, América Latina e em algumas regiões da Ásia (XIONG *et al.*, 2016). É uma cultura de origem africana, a qual foi introduzida no Brasil na época da colonização, inicialmente no Estado da Bahia, posteriormente, expandiu-se para outros Estados (BEVILAQUA *et al.*, 2007). Pertence ao gênero *Vigna*, considerado um grupo bastante heterogêneo incluído na família Fabaceae (PADULOSI; NG, 1997). É uma espécie autógama, sendo a incidência de alogamia pouco frequente, cerca de 5% (TIMKO *et al.*, 2007).

O gênero *Vigna* é considerado pantropical e altamente variável com várias espécies, cerca de 84 a 184. Essa variabilidade incluindo o tipo de folha, hábito de crescimento, maturidade, tipo de vagem, tipo e cor de semente, tem sido observado em espécies selvagens de feijão-caupi (SINGH, 2005). Todas as cultivares de feijão-caupi estão agrupadas sobre a espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp., que foi subdividida em quatro cultigrupos, *Unguiculata* (feijão-caupi comum), *Sesquipedalis* (feijão-chicote), *Biflora* (usado principalmente como forragem) e *Textilis* (usado para fibras) (SINGH; CHAMBLISS; SHARMA, 1997; COULIBALY *et al.*, 2002), sendo o primeiro a forma mais cultivada no mundo. No Brasil, são cultivados os cultigrupos *Unguiculata*, para produção de grão seco e feijão-verde, e *Sesquipedalis*, comumente chamado de feijão-de-metro, para produção de vagem (FREIRE FILHO *et al.*, 2011).

De acordo com Bevilaqua *et al.* (2007) e Freire Filho *et al.* (2011) existem mais de 300 variedades dessa planta, que apresentam diferenças quanto ao porte, precocidade, forma, tamanho e coloração de sementes, sendo conhecidas por vários nomes populares como caupi, ervilha-de-vaca, fava-de-vaca, feijão-de-chicote, feijão-fradinho, feijão macassar, feijão-de-metro, feijão-de-corda, feijão-miúdo, feijão-de-vaca, feijão-da-china, feijão-da-praia, feijão-de-olho-preto e feijãozinho-da-índia.

O feijão-caupi é uma planta anual que se reproduz por semente e cuja rusticidade é amplamente reconhecida, devido a vários aspectos observados nestas plantas, tais como, tolerar vários tipos de solo, mal drenados, arenosos e de baixa fertilidade, salinos e com baixa

disponibilidade de água, sendo, desta forma, especialmente indicado como recuperador de solo. Sua multiplicidade de usos tornou-o uma importante opção aos agricultores familiares, podendo ser utilizado além de recuperador de solo, como forragem verde e na produção de grãos para alimentação de animais (BEVILAQUA *et al.*, 2007). Além disso, o feijão-caupi tem considerável adaptação a ambientes secos e de temperaturas elevadas quando comparado a outras culturas (EHLERS; HALL, 1997).

Aparentemente, essa leguminosa é mais vigorosa do que o feijão (*Phaseolus vulgaris*), com um sistema radicular mais desenvolvido, com hastes e ramos mais espessos. Apresenta hábito de crescimento ereto, semiereto, prostrado ou trepador, além da maioria dos genótipos exibirem caule com crescimento indeterminado, porém algumas cultivares precoces apresentam fenótipo com crescimento determinado. As flores são axilares, formadas sobre um pedúnculo com 10 a 30 cm de comprimento, que facilita a colheita manual. Suas folhas são compostas, trifoliada, longo-peciolada, com formato ovalado. Os genótipos precoces podem produzir grãos secos em 60 dias, enquanto genótipos tardios podem exigir mais do que 150 dias para maturação. As vagens são cilíndricas, podendo ser curvadas ou retas, com uma variação de 8 a 15 sementes por vagem (TIMKO *et al.*, 2007; TIMKO; SINGH, 2008).

Um bom conhecimento da taxonomia, morfologia e aspectos fisiológicos da cultura contribui para o uso eficiente do germoplasma em programas de melhoramento genético (SINGH, 2005).

4.2 Importância econômica do feijão-caupi

O feijão-caupi é uma das leguminosas mais adaptadas, versáteis e nutritivas entre as espécies cultivadas, sendo uma excelente fonte de proteínas nos grãos e folhas (23-27%). Apresenta alguns aminoácidos essenciais como a lisina, carboidratos (62%), vitaminas e minerais, além de possuir grande quantidade de fibras. É cultivado, principalmente, nas regiões áridas e semiáridas, onde é uma das leguminosas mais tolerantes à seca (EHLERS; HALL, 1997; SINGH *et al.*, 2003). Por ser uma planta de clima tropical e subtropical, encontra ótimas condições de cultivo na região Nordeste. Utilizada tanto para corte quanto para pastejo (com dois a três ciclos/safra) proporciona fixação de até 212,6 kg ha⁻¹ciclo⁻¹ de nitrogênio, substituindo a adubação nitrogenada em alguns sistemas de produção (BEVILAQUA *et al.*, 2013).

Na região Nordeste, o cultivo do feijão-caupi, quase sempre está associado à agricultura de sequeiro e ao sistema de produção de subsistência consorciado com outras culturas como o milho e a mandioca, embora o seu monocultivo seja crescente, tanto em condições de sequeiro quanto irrigado. Constitui alimento básico para a população, exercendo a função social de suprir as necessidades alimentares das populações mais carentes e contribui substancialmente como fonte principal na alimentação animal devido sua qualidade nutricional (ALEMU *et al.*, 2016).

As folhas e ramos dessa leguminosa apresentam ótima palatabilidade e boa digestibilidade, além de baixo conteúdo em fibra, sendo uma das principais forrageiras de verão recomendadas para bovinos de leite (BEVILAQUA *et al.*, 2008; RATHORE *et al.*, 2015). O feijão-caupi produz grande quantidade de biomassa, que é utilizada diretamente como pastejo pelo gado. Muhammad *et al.* (2010), avaliando quatro genótipos locais de feijão caupi para produção de forragem, relataram um aumento médio na produção de biomassa fresca de 14 t ha⁻¹ para 64 t ha⁻¹ quando o período de crescimento se estendeu de 50 para 125 dias, sendo verificado uma redução na produção após os 150 dias. Esta espécie vem sendo pesquisada e utilizada como forrageira para bovinos, principalmente na produção leiteira e carne (BEVILAQUA *et al.*, 2008; ETANA *et al.*, 2013). Desse modo, aumenta a capacidade do produtor em flexibilizar seu sistema de cultivo, aproveitando toda a planta, gerando assim mais renda no setor familiar.

Apesar da ampla variabilidade genética dentro do gênero *Vigna*, os programas de melhoramento genético têm desenvolvido cultivares visando apenas a produção de grãos, enquanto informações sobre o potencial forrageiro de cultivares melhoradas dessa leguminosa ainda são escassas no mercado brasileiro. Sendo assim, torna-se necessário explorar a diversidade genética em bancos de germoplasmas e identificar genótipos que apresentem bons atributos agrônômicos como produtividade de biomassa, além da produção de grãos adaptados às condições do estado do Ceará.

4.3 Uso do feijão-caupi como forrageira

Na região Nordeste, a produção de feijão-caupi tradicionalmente concentra-se nas áreas semiáridas, onde outras culturas leguminosas anuais, em razão da irregularidade das chuvas e das altas temperaturas, não se desenvolvem satisfatoriamente, sendo cultivado por empresários e agricultores familiares que ainda utilizam práticas tradicionais (FREIRE FILHO *et al.*, 2011). Essa leguminosa é possuidora de uma grande variabilidade genética, facilitando seu uso em diferentes sistemas de produção, tradicionais ou modernos (BEVILAQUA *et al.*, 2007).

Além da produção de grãos como alimentação humana, acredita-se que o feijão-caupi apresenta outros benefícios como, uma excelente cobertura vegetal, inibindo o crescimento de ervas daninhas; ajuda a evitar a erosão e contribui para a melhoria da fertilidade de solos em áreas marginais, ao fornecer matéria e resíduos orgânicos que se incorporam ao substrato após a colheita de seus grãos, melhorando a estrutura edáfica, aumentando a disponibilidade de fósforo; e contribui para a fixação de nitrogênio, por meio da associação com bactérias fixadoras de N₂ atmosférico (VALENZUELA; SMITH, 2002). Gerrano *et al.* (2015) estudaram a diversidade genética entre genótipos de feijão-caupi e identificaram linhagens com peso de biomassa de forragem elevado. Segundo esses autores, genótipos com essa característica podem ser úteis como alimento para o gado em estações secas, quando a produção de forragem é escassa.

Quando a finalidade é produção de forragem, essa leguminosa pode ser utilizada em consórcio com outras culturas como, milho, milheto, sorgo, cana-de-açúcar e algodão (SINGH; EMECHEBE, 1997; ISLAM *et al.*, 2006; POTTORFF *et al.*, 2012; ALEMU *et al.*, 2016). Pode ser considerada uma planta de crescimento rápido, capaz de proporcionar uma cobertura rápida do solo, evitando perdas por erosão (SINGH *et al.*, 2003). O feijão-caupi, também denominado feijão miúdo, principalmente quando é utilizado como forrageira, é uma das leguminosas que tem ganhado importância nos últimos anos devido ao seu alto valor nutritivo, ótimas características para forragem e excelente cultura de adubação verde, além da sua facilidade de cultivo em solos secos e regiões quentes (BEVILAQUA *et al.*, 2007).

Todas as partes dessa planta que são utilizadas para alimentação são nutritivas, fornecendo proteína, vitaminas e minerais. Produz grande quantidade de biomassa, de modo que, seus grãos apresentam em média 23-25% de proteína e 50-70% de amido (VIR; SINGH,

2014), enquanto que suas folhas apresentam teores de proteína total e nutrientes digestivos totais de 17,6% e 60,4%, respectivamente (BEVILAQUA *et al.*, 2007), além de uma palatabilidade particular em pequenos ruminantes (RATHORE *et al.*, 2015), o que a caracteriza como uma excelente forrageira animal.

A espécie vem sendo pesquisada e utilizada como forrageira para bovinos, principalmente na produção leiteira, e como recuperadora do solo, caracterizando-se como adaptada a solos com baixa fertilidade (BEVILAQUA *et al.*, 2007). Segundo esses autores, a cultura proporciona dois a três cortes por safra, à uma altura de corte de 8 cm do solo objetivando favorecer a rebrotação. Fontaneli *et al.* (2000), relataram um rendimento de biomassa fresca de forragem de 5 a 7 t ha⁻¹, o que permite uma produção de 5 L de leite, considerando uma proporção de 1 kg de biomassa de forragem produzida para 1 L de leite. Desse modo, o feijão-caupi apresenta potencial como planta forrageira para ser utilizado em regiões semiáridas, uma vez que se desenvolve bem em regiões de clima seco e quente, principalmente em períodos que ocorre deficiência na produção de pastagem.

4.4 Efeitos do corte e pastejo sobre a morfofisiologia de plantas forrageiras

Em sistemas de pastejo ou corte, há a necessidade de conhecer os mecanismos de competição entre plantas individuais dentro da comunidade e suas consequências sobre a dinâmica estrutural; os mecanismos morfogenéticos adaptativos das plantas à desfolhação e suas consequências sobre a morfologia e estrutura; e as interações entre esses dois mecanismos para o entendimento da dinâmica da vegetação (SBRISSIA; SILVA; NASCIMENTO-JUNIOR, 2007). De acordo com Pimentel *et al.* (2016), o entendimento dessas alterações morfofisiológicas, em um determinado ambiente, permite estabelecer práticas de manejo consistentes com a capacidade produtiva das plantas forrageiras, em cada situação em particular.

Neste sentido, a compreensão dos efeitos do pastejo ou corte sobre a planta requer conhecimento e análise das alterações morfológicas, fisiológicas e de biomassa. Dentre as principais alterações morfofisiológicas, pode-se citar: a) diminuição na absorção de água e, conseqüentemente de nutrientes; b) paralisação temporária no crescimento de raízes; e c) menor eficiência fotossintética (COSTA *et al.*; 2004).

Além das alterações morfofisiológicas supracitadas, deve-se levar em consideração o modo de utilização da forrageira, se é sob corte ou pastejo, tendo em vista as diferenças que podem ocasionar sobre a planta. Segundo Vidor e Jacques (1988) inúmeros são os fatores que podem causar superioridade de uma ou de outra forma de utilização de uma planta forrageira. Dentre os principais pontos pode-se citar: a influência do animal em seu pastejo seletivo e desuniforme, a reciclagem dos nutrientes na pastagem, e a melhor adaptação de espécies ao corte do que ao pastejo ou vice-versa.

No âmbito fisiológico, um dos principais efeitos das plantas submetidas ao corte e/ou pastejo está nos processos fotossintéticos. A remoção da parte aérea, pelo corte ou pastejo, representa um estresse para as plantas, por reduzir a interceptação luminosa, conseqüentemente reduzindo a taxa fotossintética líquida do dossel, bem como a quantidade de compostos orgânicos de reserva e o crescimento de raízes (DAVIDSON; MILTHORPE, 1966; PIMENTEL *et al.*; 2016).

Confortin *et al.* (2010) afirmam que a resposta das plantas à desfolha é dependente da proporção de tecido removido, do grau de desfolhação da planta e das plantas vizinhas e da capacidade fotossintética das folhas remanescentes na planta. Tais repostas são corroboradas por Bortolini, Moraes e Carvalho (2005), ao avaliarem aveia branca sob pastejo, verificaram que em períodos longos de pastejo (cinco a oito semanas) a rebrotação das plantas foi mais lenta, devido a intensidade de pastejo não favorecer o armazenamento de reservas, uma vez que a prioridade de demanda é a produção foliar.

Esses estudos mostram que para as plantas se adaptarem ao pastejo ou corte, características fisiológicas e morfológicas podem ser alteradas. Gomide *et al.* (2002), observaram que a desfolhação total de plantas de capim-mombaça limitou a fotossíntese e comprometeu o crescimento do sistema radicular. Monteiro, Corsi e Carvalho (1999) observaram que cortes realizados rente ao solo, em alfafa, mostraram-se desfavoráveis a rebrotação, indicando a importância de remanescente foliar pós corte para acelerar o ritmo de crescimento da nova rebrotação. Estas alterações são explicadas devido a alteração da relação fonte e dreno nos órgãos remanescentes da planta, conseqüentemente as raízes e caules atuam como órgãos fonte, com o papel de transferir carboidratos e proteínas para as folhas em rebrotação (órgãos drenos) até que a área foliar seja reestabelecida (VOLENEC; OURRY; JOERN, 1996).

Essas alterações morfofisiológicas são respostas das plantas forrageiras à desfolhação, sendo estratégias à recuperação e manutenção do equilíbrio dinâmico do processo de acúmulo de forragem. Respostas estas que potencializam o uso de todos os recursos para maximizar o crescimento após a desfolhação. O conhecimento das respostas das plantas a desfolhação é básico para seleção de genótipos com boa capacidade adaptativa ao corte e pastejo, e que proporcione uma boa produtividade com elevado valor nutritivo, sem comprometer a pastagem (RODRIGUES; RODRIGUES, 1987; SILVA; NASCIMENTO JÚNIOR, 2006).

Neste sentido, implicações quanto à ecofisiologia de plantas forrageiras submetidas ao corte ou pastejo constitui-se um desafio ao pesquisador, pois cada espécie requer uma prática de manejo diferenciada, que afeta as plantas individuais, refletindo sobre a população de plantas e a capacidade produtiva do pasto (PIMENTEL *et al.*; 2016).

4.5 Estrutura e produção de biomassa de plantas forrageiras

Um grande desafio para a sustentabilidade do sistema de produção de forragem é compreender o indutor de persistência sob condições ambientais estressantes. Nesse sentido, levando-se em conta que os fatores causadores de estresses geralmente prejudicam as propriedades fisiológicas e fotossintéticas das plantas, os parâmetros ecofisiológicos, tais como os relacionados com as trocas gasosas e com a fluorescência da clorofila “a”, podem fornecer informações úteis do desempenho fotossintético das plantas. Estas informações são de grande relevância para seleção de novos genótipos, tendo em vista que os fatores fotossintéticos controlam a expressão das características agronômicas (VOLENEC; OURRY; JOERN, 1996; ALVES *et al.* 2011; GALON *et al.*, 2013; SILVA, 2015).

Galon *et al.* (2013) avaliaram a influência do estresse biótico e abiótico em cana de açúcar e destacaram a importância de avaliar as variáveis agronômicas como taxa de crescimento e biomassa, para correlacionar com as avaliações fisiológicas para obter conclusões mais precisas sobre os efeitos na planta pós estresse. Desta forma, a avaliação conjunta de fatores fisiológicos e agronômicos geram mais subsídios para responder com precisão o potencial de cada indivíduo estudado.

4.5.1 Trocas gasosas

As variações nas produções das diferentes culturas são explicadas através do metabolismo do carbono (C) e trocas gasosas que ocorre de maneira diferente nas espécies vegetais, através das trocas gasosas. Esses processos metabólicos no interior das células ocorrem com a troca de dióxido de carbono (CO₂) e vapor d'água (H₂O) entre o interior da planta e a atmosfera. Durante a fotossíntese, a planta fixa CO₂ e libera oxigênio (O₂) para o meio, sendo esse oxigênio um subproduto da fotossíntese por não participar diretamente dos processos metabólicos fotossintéticos. Já na respiração o O₂ é requerido como substrato, sendo o inverso do processo fotossintético, ou seja, a planta libera CO₂ e consome O₂, revertendo assim as trocas desses gases (LARCHER, 2006; TAIZ et al., 2017).

Estes gases entram na célula através de processos de difusão, com a formação de um gradiente de concentração estabelecido em um determinado momento. Mecanismos como a abertura e fechamento estomático favorece a entrada de CO₂ no mesófilo foliar, aumentando a concentração interna de CO₂ potencializando a assimilação fotossintética. Diferentes fatores ambientais podem influenciar a abertura e fechamento dos estômatos e, conseqüentemente, a condutância estomática (LARCHER, 2006). Estresses causados pelo ambiente podem provocar o fechamento estomático, declínio da condutância estomática e, conseqüente, redução da concentração interna de CO₂ e da taxa fotossintética (ALVES *et al.*, 2011).

Prazeres *et al.* (2015) ao estudarem o efeito da salinidade em feijão-caupi verificaram que o estresse salino reduziu a taxa fotossintética das plantas. Com o aumento da salinidade na água de irrigação a taxa fotossintética reduziu até ao valor de 17,5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ no maior nível de salinidade (5,0 dS m⁻¹). Resultados semelhantes para a cultura foram observados por Souza *et al.* (2011) com redução da taxa fotossintética de 6,5, 21,3 e 47,1%, sob 50, 100 e 200 mmol L⁻¹ de NaCl, respectivamente. Além de reduções da condutância estomática (0,1 mol m⁻² s⁻¹) em tratamento com 200 mmol L⁻¹ de NaCl. Silva *et al.* (2010) observaram baixos valores de fotossíntese (10 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática (0,4 mol m⁻² s⁻¹) e transpiração (2,5 mmol m⁻² s⁻¹), em um nível de salinidade de 6,0 dS m⁻¹, corroborando com os autores supracitados.

Em situação de estresse hídrico, Dutra *et al.* (2015) verificaram reduções na condutância estomática de 27 e 34% com valores críticos de 0,375 e 0,298 mol m⁻² s⁻¹., nas cultivares de feijão caupi BRS Guariba e BRS Marataoã. Silva *et al.* (2010) encontraram

resultados semelhantes com valores de condutância estomática de 0,157 e 0,153 mol m⁻² s⁻¹, sob estresse hídrico e, resultados semelhantes foram encontrados por Souza *et al.* (2016) com redução da assimilação de CO₂ e condutância estomática. Para espécies forrageiras, Lopes *et al.* (2011) ao avaliarem os níveis de adubação nitrogenada em capim massai, verificaram que as plantas submetidas ao estresse após a desfolha apresentaram redução na taxa de fotossíntese (6,70 μmol m⁻² s⁻¹) e aumento nos valores de condutância estomática (3,79 μmol m⁻² s⁻¹) após a rebrota.

Segundo os autores supracitados a redução na taxa fotossintética deve-se ao estresse causado pelo corte, com redução na taxa de alongamento foliar, uma vez que a desfolha induz a mudanças de respostas no crescimento do dossel forrageiro. Quanto o aumento da condutância estomática, os autores explicam que em condições de estresse pós-corte há um maior perfilhamento das gemas basais o que conseqüentemente aumenta a abertura estomática para atender a demanda por CO₂ para equilibrar a temperatura foliar através da transpiração.

Esses resultados corroboram com Gomide *et al.* (2002) que observaram que plantas submetidas a desfolha apresentaram rápida recuperação com altas taxas de crescimento relativo e de expansão foliar, mostrando uma recuperação na taxa fotossintética. Resultados similares foram observados por Maranhão (2019), ao avaliar híbridos de sorgo o autor verificou que o índice relativo de clorofila (43,41 unidades SPAD) e a taxa de fotossíntese foliar (32,27 μmol m⁻² s⁻¹) foram maiores para maior intensidade de corte.

Neste sentido, estudos das trocas gasosas em plantas forrageiras permitem a quantificação da resposta da planta em termos de concentração interna de CO₂ (C_i) na folha, condutância estomática (g_s), taxa fotossintética líquida (A), transpiração (E), entre outros, em função da disponibilidade dos fatores abióticos, constituindo parâmetros essenciais para expressão do potencial de produção de biomassa da forrageira utilizada (LONG; BERNACCHI, 2003; POMPEU *et al.*, 2010; LOPES *et al.*, 2011; LOPES, 2012).

Essas interações entre fatores genéticos e do ambiente e seus efeitos sobre os processos fisiológicos e agrônômicos influenciam na produção de biomassa de forragem nas plantas forrageiras. Portanto, a análise das características relacionadas às trocas gasosas é uma ferramenta valiosa para correlacionar a influência do estresse pós corte com a recuperação dos aparatos fotossintéticos e produção de biomassa. (COOPER; WILSON, 1970; WOLEDGE, 1971; SILVA; PEDREIRA, 1997).

4.5.2 Florescência da clorofila “a”

Segundo Lopes *et al.* (2011), a agricultura é basicamente um sistema de exploração da energia solar por meio da fotossíntese, visto que este processo é responsável pelo acúmulo de toda a matéria orgânica das plantas. Qualquer fator que interfira na eficiência deste processo influenciará no desenvolvimento da planta.

Nas plantas, para que o processo fotossintético possa ocorrer é preciso que, previamente, a energia radiante disponível seja absorvida pelos cloroplastos – sítio onde acontece a fotossíntese – o que ocorre por meio de receptores denominados pigmentos fotossintéticos, que em sua maioria funcionam como um complexo-antena, captando a luz e enviando a energia para o respectivo centro de reação. Esses pigmentos/receptores são as clorofilas e os pigmentos acessórios (caroteno e xantofila) (SILVA, 2015).

A concentração desses pigmentos fotossinteticamente ativos está diretamente relacionada à capacidade de absorção da radiação e, por isso, a deficiência reduz consideravelmente a assimilação fotossintética das plantas. A deficiência de clorofila pode estar relacionada a diversos fatores de estresse, tanto biótico quanto abiótico, e pode ser reconhecida pela alteração da coloração do tecido fotossintetizante, que se torna mais amarelo (clorose) (LARCHER, 2006). Silva e Nascimento (2019) verificaram redução na concentração de clorofila em feijão-caupi, com valores de índice SPAD reduzindo de 65,03 a 33,6 sob condições de estresse salino. Estes resultados são corroborados por Silva (2019), que verificaram redução do índice SPAD em 14,52% (redução de 48,20 para 42,09) em plantas de feijão-caupi sob estresse hídrico. Assim, a mensuração das clorofilas *a* e *b* nas folhas pode ser um indicador útil para identificar plantas que apresentam altas taxa fotossintéticas, conseqüentemente mais produtivas.

Diversos trabalhos no âmbito da forragicultura têm utilizado, além de análises de trocas gasosas, análises da fluorescência da clorofila como uma ferramenta para subsidiar a explicação sobre as respostas das plantas quando submetidas ao corte ou pastejo, por se tratar de um indicador útil quanto à ação de algum fator de estresse capaz de provocar a redução do potencial fotossintético a partir da degradação das clorofilas (SILVA *et al.*, 2006; ARAÚJO *et al.*, 2010; SOUZA *et al.*, 2019).

A análise da fluorescência da clorofila tornou-se uma das mais poderosas e amplamente utilizadas técnicas disponíveis para fisiologistas e ecofisiologistas (MALAVASI;

MALAVAS, 2013). Um dos motivos é por se tratar de método não destrutivo, no qual o pesquisador é capaz de observar as reações metabólicas da planta em seu pleno desenvolvimento, sendo capaz de captar informações relevantes dos processos fotossintéticos de acordo com diferentes fatores ambientais sobre o desenvolvimento vegetal (MAXWELL; JOHNSON, 2000). Baker e Rosenqvist (2004) afirmam que tal avaliação ajuda a monitorar o desempenho fotossintético das plantas por meio de comparações com parâmetros de fluorescência da clorofila, auxiliando nos processos de seleção que buscam identificar plantas com melhor desempenho produtivo.

Dentre as principais variáveis observadas da fluorescência da clorofila “a” pode-se citar: fluorescência inicial (F_o), fluorescência máxima (F_m), fluorescência variável (F_v), máximo rendimento quântico do PSII (F_v/F_m), quenching fotoquímico [$Y(qP)$], quenching não-fotoquímico [$Y(NPQ)$], rendimento quântico efetivo do PSII [$Y(II)$] e a taxa de transporte de elétrons (ETR) (CHAVES, 2015). No qual, o máximo rendimento quântico fotoquímico do PSII (F_v/F_m), frequentemente avaliado pela máxima taxa de fluorescência da clorofila “a”, tem sido amplamente utilizado para comparar tecidos saudáveis e danificados devido a fatores bióticos (ROUSSEAU *et al.* 2013).

Em feijão-caupi vários autores têm usado estas variáveis como forma de identificar os efeitos de estresses abióticos sobre as plantas. Souza *et al.* (2011) ao avaliarem o efeito da salinidade verificaram que a eficiência quântica potencial do fotossistema II (F_v/F_m) variou entre 0,82 e 0,85, evidenciando resistência da atividade fotoquímica do feijão-caupi ao estresse salino. Oliveira *et al.* (2018) verificaram redução nos valores do rendimento quântico do PSII (F_v/F_m), em feijão-caupi submetido a água salina de CEs 10 e 12,5 $dS\ m^{-1}$, indicando inibição da atuação do aparelho fotossintético.

Souza *et al.* (2004) verificaram que plantas de feijão-caupi submetidas ao estresse hídrico apresentaram F_v/F_m de 0,83, valor este que diminuía à medida que as plantas eram submetidas a condições de mais escassez hídrica. Além disso, as plantas apresentaram valores de F_o e F_m baixos (433,0 e 257,2; respectivamente) após a recuperação do estresse, quando comparados ao controle. Foram observados valores de ETR, qP e NPQ para o controle (95,92; 0,888 e 4,311) e para plantas sob estresse salino (69,02; 0,726 e 5,296; respectivamente). A análise da fluorescência da clorofila “a” é capaz de detectar com segurança e confiabilidade efeitos de estresse e injúrias no processo fotossintético causados por fatores bióticos ou abióticos. As mudanças na cinética de emissão de fluorescência da clorofila “a” a partir de

organismos fotossintéticos, são resultados de frequentes modificações na atividade fotossintética, principalmente com relação a eficiência quântica do transporte de elétrons através do PSII em folhas (YUSUF *et al.* 2010, BAKER & ROSENQVIST, 2004).

4.6 Melhoramento genético para leguminosas forrageiras

O Brasil se destaca por sua produção pecuária graças as grandes áreas de pasto e por técnicas eficientes para manejo e desenvolvimento de espécies forrageiras tropicais mais produtivas e mais eficientes às intempéries ambientais. Apesar da grande importância das forrageiras tropicais para a pecuária brasileira, os programas de melhoramento são recentes e contam com poucos especialistas, além de poucas empresas privadas envolvidas ou restritas a instituições públicas, não apenas no Brasil, como em todo mundo tropical (VALLE; JANK; RESENDE, 2009; PEREIRA *et al.*, 2001).

Segundo os autores supracitados, há uma carência generalizada de equipes de melhoristas de forrageiras nos trópicos e uma grande ausência do melhoramento de forrageiras na formação das ciências agrárias no Brasil, isso resulta em lentos progressos no desenvolvimento de novas cultivares. Enquanto que para forrageiras de clima temperado há um desenvolvimento mais acelerado, com programas de melhoramento específicos para as espécies forrageiras, empregando tecnologias como o uso de marcadores moleculares, facilitando o desenvolvimento de novas cultivares.

Por esse motivo há uma maior dificuldade para os produtores rurais adquirirem uma maior variabilidade de espécies para compor o *mix* forrageiro em seu empreendimento, devido a falta de boas opções no mercado, onde as gramíneas compõem a maior parte da oferta em detrimento de leguminosas forrageiras (ASSIS, 2009). O que dificulta uma melhor adequação de cada espécie ou cultivar a suas características edafoclimáticas e ao sistema de produção, aumentando a vulnerabilidade do sistema produtivo (ARAÚJO; DEMINICIS; CAMPOS, 2008).

No entanto, com intensificação da atividade pecuária, diante de pressões ecológicas, fundiárias e até mercadológicas, há uma necessidade crescente do desenvolvimento de cultivares e identificação de espécies com potencial forrageiro para uma melhor adequação ao sistema produtivo, maximizando a produção através de um melhor desempenho agrônomo e zootécnico, visando à utilização sustentável dos recursos naturais.

Neste sentido há uma grande demanda por diferentes espécies de forrageiras que atendam as particularidades dos diferentes sistemas de produção, havendo a necessidade da dinamicidade dos programas de melhoramento (VALLE; JANK; RESENDE, 2009).

Nestes novos arranjos produtivos é perceptível a demanda por leguminosas forrageiras, por apresentarem uma série de benefícios. Os principais benefícios da introdução de leguminosas forrageiras são: incorporação do nitrogênio atmosférico ao sistema; elevação do teor de matéria orgânica do solo; aumento do teor de proteína do volumoso oferecido aos animais; diversificação do ecossistema; maior cobertura do solo, protegendo-o contra erosão e lixiviação de nutrientes e; aumento da produção de forragem, particularmente no período seco do ano (SHELTON *et al.*, 2005; ASSIS; VALENTIM, 2009).

Tais fatos comprovam a necessidade de leguminosas que contribuam para a diversidade genética em áreas de pastagens, hoje bastante homogêneas. Atualmente os gêneros botânicos com maior número de informações destacam-se os estilosantes (*Stylosanthes* spp.), o amendoim forrageiro (*Arachis pintoi*) e a leucena (*Leucaena* spp.), principalmente por serem os mais cultivados e/ou mais promissores (BARCELLOS *et al.*, 2008). *Vigna unguiculata* (caupi) é uma espécie que tem se destacado em pesquisas de melhoramento com finalidade de produção de forragem, como estudaram diversos pesquisadores (NOUBISSIÉ *et al.*, 2011; OLAYIWOLA; SOREMI, 2014; BADAWY, 2018; NAVASEL VAKKUMARAN *et al.*, 2019).

Não diferente dos objetivos do melhoramento genético de grandes culturas, o melhoramento de espécies forrageiras compartilham de objetivos similares, de forma geral, os quais são: aumento da produtividade e da qualidade, a resistência a pragas e doenças, a produção de sementes de boa qualidade, o uso eficiente de fertilizantes e a adaptação a estresses edáficos e climáticos (DOVALLE; SIMIONI, 2008). Neste sentido, além dos objetivos supracitados (os quais podem ser compartilhados com os de grandes culturas), o melhoramento de forrageiras abraça como objetivo final a maximização de ganhos de peso/leite por animal e por área (DOVALLE; SIMIONI, 2008; RESENDE *et al.*, 2008).

Para alcançar tais objetivos, alguns critérios de seleção devem ser atendidos, em leguminosas forrageiras: a) produtividade: matéria seca, sementes e resistência a pragas e doenças; b) persistência: sobrevivência, precocidade, capacidade de estabelecimento e competição; c) fatores qualitativos: teor proteico, redução de componentes de antiqualidade nutricional e associados à palatabilidade e digestibilidade. Estes objetivos são alcançados

através de programas de melhoramento que visam desenvolver/selecionar novas espécies com potencial forrageiro, atendendo aos critérios supracitados (ASSIS, 2009).

4.7 Índices de seleção

A seleção é um passo importante no melhoramento genético que deve ser realizada tão cuidadosamente quanto possível. Muitas vezes a seleção efetuada pelo melhorista de plantas baseia-se em um ou poucos caracteres, podendo resultar em alterações indesejáveis em outros caracteres, devido principalmente à presença de correlações genéticas negativas (SANTOS; ARAÚJO, 2001). A definição de quais caracteres serão analisados é fundamental no programa de melhoramento. No entanto, a identificação de genótipos superiores através de apenas um caractere pode levar a uma falha que acarretará no insucesso de uma cultivar no mercado, principalmente quando as preferências do consumidor não são levadas em consideração (CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI, 2014; BERTINI *et al.*, 2010).

Para evitar tais problemas, tem-se como alternativa eficiente a seleção simultânea de caracteres, o que pode fornecer ganhos genéticos em caracteres diferentes, já que essa seleção baseia-se em um único índice obtido através de informações de vários caracteres medidos nas progênies / indivíduos (SILVA, J.D.L. *et al.*, 2018).

O índice de seleção é uma técnica multivariada que associa as informações relativas a vários caracteres de interesse agrônomo com as propriedades genéticas da população avaliada. Este permite gerar um agregado genotípico sobre o qual se exerce a seleção, funcionando como caráter adicional, resultante da combinação de determinadas características escolhidas pelo melhorista, permitindo separar genótipos superiores, independentemente da existência ou não de correlações entre características. Assim, tendo em vista a complexidade da seleção simultânea, os índices de seleção são usados como uma alternativa para a identificação de genótipos superiores para diferentes caracteres (VILARINHO *et al.*, 2003; CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012; AMARAL JÚNIOR *et al.*, 2010).

Na literatura são descritas várias propostas de índices de seleção, os quais auxiliam na identificação de genótipos superiores para vários caracteres (CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI, 2014). Entre as propostas de índices de seleção que estão na literatura, alguns tem se destacado para a cultura do feijão-caupi (DIAS, 2009; BERTINI *et*

al., 2010; OLIVEIRA, 2014; SILVA, 2014; TORRES, 2015; OLIVEIRA *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2018), os mais eficientes para esta cultura são: o clássico, o proposto por Smith (1936) e Hazel (1943), o multiplicativo, proposto por Subandi *et al.* (1973), a soma das classificações, proposta por Mulamba e Mock (1978), e o índice de seleção, proposto por Williams (1962).

No entanto, tais índices são geralmente construídos a partir de estimativas de parâmetros genéticos e médias fenotípicas obtidas pelo método da análise de variância, o que pode diminuir a acurácia seletiva e aumentar o erro na identificação de genótipos superiores, pois os valores fenotípicos são influenciados pelo ambiente. Isto justifica a necessidade de uma análise mais detalhada dos efeitos ambientais no experimento, em busca de obter uma melhor acurácia (RESENDE, 2002,2007).

Neste sentido, a construção de índices que possam resultar em um processo de seleção e identificação mais acurado, se faz necessário. Desta forma o uso de modelos mistos possibilita estimar parâmetros associados às definições do modelo ou de se prever o comportamento das suas variáveis aleatórias para um dado conjunto de observações. Isso porque se diz que os parâmetros populacionais (esperança de efeitos fixos e variâncias populacionais de variáveis aleatórias) são estimáveis, enquanto que as variáveis aleatórias podem ser preditas, mas não estimadas, pois não possuem valor fixo (BUENO FILHO, 1997).

Uma alternativa muito utilizada atualmente e com grande acurácia no processo seletivo é o emprego de componentes de variância estimados por máxima verossimilhança restrita (REML) e por valores genéticos ou genotípicos preditos pelo melhor preditor linear não viciado (BLUP), além de estimativas através do melhor estimador linear não viciado (BLUE). Esta metodologia permite estimar os valores genotípicos e fenotípicos reais (FREITAS *et al.*, 2013; RODRIGUES *et al.*, 2013), nos quais os efeitos aleatórios são preditos via BLUP (com expansão das inferências para uma população de tratamentos) e os efeitos fixos são estimados via BLUE (com inferências limitadas apenas aos níveis dos fatores testados)- (BUENO FILHO, 1997; GRANATO *et al.*, 2016).

Bueno Filho (1997) e Resende (2007) afirmam que estas metodologias permitem uma determinação precisa das estimativas dos componentes da variância, além disso, melhora tanto o processo de estimação quanto o de predição, podendo resultar em alterações no ordenamento e na magnitude, tanto dos efeitos fixos como das variáveis aleatórias (base do ordenamento para a seleção).

Assis *et al.* (2008) afirmam que a metodologia de modelo misto permite avaliar um elevado número de genótipos, além de auxiliar na formação de índices de seleção mais precisos em seleção simultânea de vários caracteres, se caracterizando como um método ótimo, que minimiza o erro quadrático médio. Estes autores obtiveram elevada acurácia seletiva usando esta metodologia na seleção de genótipos de amendoim forrageiro, possibilitando a identificação dos genótipos superiores. Santos (2014) verificou que a metodologia de modelos mistos se mostrou superior que a de quadrados mínimos (teste de Tukey), foi observado maior ganho tanto para população balanceada (1,76%) quanto desbalanceada (7,78%) quando os genótipos foram classificados pelo REML/BLUP em relação ao ganho obtido quando se utilizou teste de médias. Os autores concluem que a superioridade, em geral, observada no método REML/BLUP/BLUE em relação à metodologia de quadrados mínimos para o ganho com a seleção de genótipos superiores, é de grande importância para o melhoramento de plantas forrageiras tropicais. Considerando que o tempo para obtenção de novas cultivares forrageiras é longo, o que traz grandes vantagens no decorrer dos ciclos de seleção e identificação de genótipos superiores.

No entanto, mesmo com predição de valores genotípicos via modelos mistos, em condições que há um grande número de caracteres a ser usado para avaliação e seleção é possível a ocorrência de multicolinearidade, que invalida o uso da teoria convencional de índice de seleção (FERREIRA *et al.*, 2005). A multicolinearidade (inter-relação) ocorre quando as variáveis analisadas apresentam certo grau de correlação entre si. Isso pode ocasionar resultados prejudiciais e absurdos, gerando índices pouco confiáveis e, portanto, inadequados para uso no melhoramento (CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI, 2014).

Assim, a técnica de análise de fatores pode ser uma solução biométrica, para viabilizar o uso de índice de seleção, sem a necessidade de exclusão de variáveis ou adoção de técnica alternativa de estimação. Esta análise consiste em reunir, previamente, as características mais correlacionadas em complexos de interpretação biológica e, depois da simplificação estrutural. Nesse método, os caracteres avaliados inicialmente são substituídos por um menor número de caracteres latentes, chamados de fatores. Fatores são então usados para agrupar caracteres para minimizar a variação dentro dos grupos e maximizar a variação entre os grupos (CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI, 2014). Esse resultado, quando combinados com análise de componentes principais, possibilita descartar os caracteres que menos discriminam genótipos. Desta forma elimina-se o problema de multicolinearidade, gerando

uma maior confiabilidade em seleção simultânea de caracteres, auxiliando na criação do índice de seleção (FERREIRA *et al.*, 2005; DOVALE; FRITSCHÉ-NETO; SILVA, 2011; GRANATO *et al.*, 2014).

A análise dos componentes principais é uma técnica estatística de análise multivariada que transforma linearmente um conjunto original de variáveis, inicialmente correlacionadas entre si, num conjunto substancialmente menor de variáveis não correlacionadas que contém a maior parte da informação do conjunto original (GRANATE *et al.*, 2001; RESENDE, 2007; HONGYU; SANDANIELO; OLIVEIRA JUNIOR, 2016). Por este motivo tem sido de grande utilidade no melhoramento genético, pois permite simplificar um conjunto de variáveis em poucos componentes (DOVALE; FRITSCHÉ-NETO; SILVA, 2011).

Essas técnicas tem sido utilizadas por diversos pesquisadores apresentando resultados positivos na construção de índices de seleção em *C. canephora* var. Conilon (FERREIRA *et al.*, 2005) e *Zea mays* L. (GRANATE *et al.*, 2001; DOVALE; FRITSCHÉ-NETO; SILVA, 2011; GRANATO *et al.*, 2014), tendo em vista que os resultados obtidos, na análise de fatores e componentes principais se mostrou efetiva e permitiu a retirada ou descarte de variáveis que foram redundantes por estarem correlacionadas com as de maior importância para dois componentes principais. Assim, um menor número de variáveis foram necessárias para construção do índice de seleção, o que permitiu a predição de ganhos simultâneos adequados em todas as características.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Material vegetal e localização da área experimental

O ensaio foi conduzido na Fazenda Experimental Vale do Curú (FEVEC), pertencente à Universidade Federal Ceará (UFC), localizada no município de Pentecoste-CE, situada a uma latitude de 3°47' S, longitude 39°16'13'' W a 45 metros de altitude. Foram avaliados 64 genótipos (Tabela 1), sendo 61 acessos do Banco de Germoplasma da Universidade Federal do Ceará, e 3 genótipos provenientes da Embrapa Clima Temperado-RS, os quais são cultivados para produção de forragem. Os acessos do Banco de Germoplasma da Universidade Federal do Ceará foram escolhidos com base em suas características agrônômicas, optando por acessos de porte prostrado a semi-prostrado.

O delineamento experimental utilizado foi o de látice simples (8x8), com duas repetições. Cada tratamento foi representado por uma parcela constituída de cinco linhas de 4 m de comprimento e espaçadas em 0,50 m, apresentando como área útil as três fileiras centrais. Os acessos foram semeados em metro linear, distribuindo-se 12 sementes por metro linear, com excedente de 20%. As parcelas (bloquinhos) contendo os diferentes acessos foram espaçadas umas das outras em 2,00 m e as repetições do látice foram espaçadas em 4,00 m.

O manejo das plantas e os tratos culturais, desde o preparo do solo, plantio, correção da fertilidade do solo, manejo de doenças, pragas, plantas daninhas e irrigação foram realizados de acordo com as recomendações propostas por DoVale *et al.* (2017).

Tabela 1- Genótipos de feijão-caupi avaliados no trabalho

Acessos BAG Caupi-UFC			
CE-01	Seridó ⁽¹⁾	CE-439	Tvu 1029 ⁽¹⁾
CE-06	Vinagre-2 ⁽¹⁾	CE-441	Tvu 1194 ⁽¹⁾
CE-07	Das Almas ⁽¹⁾	CE-568	TVu 2331 X Pitiúba ⁽³⁾
CE-19	Africano-1 ⁽¹⁾	CE-577	TVu 2331 X Seridó ^{(3)*}
CE-25	Sempre Verde ⁽¹⁾	CE-584	TVu 2331 X Seridó ^{(3)*}
CE-31	Pitiúba ⁽¹⁾	CE-596	Setentão ⁽¹⁾
CE-53	Seleção de Roxão ⁽⁴⁾	CE-628	CNCx 167-18F ⁽²⁾
CE-70	Quarenta Dias-1 ⁽¹⁾	CE-674	CNCx 252-9E ⁽²⁾
CE-85	Feijão da Igreja-2 ⁽¹⁾	CE-681	CNCx 284-66E ⁽²⁾
CE-96	421-07-44 ⁽¹⁾	CE-721	CNCx 535-05F ⁽²⁾
CE-101	Hagreen-66 ⁽¹⁾	CE-729	CNCx658-35E ⁽²⁾
CE-104	7917-Dixie hee ⁽¹⁾	CE-778	CNCx 249-4F ⁽²⁾
CE-135	Tvu 793 ⁽¹⁾	CE-784	CNCx 180-3F ⁽²⁾
CE-136	Tvu 1015 ⁽¹⁾	CE-785	L-1101 ⁽²⁾
CE-177	Tvu 4388 ⁽¹⁾	CE-817	Pitiúba x Tvu 59 ^{(3)#}
CE-188	Costa Rica V-9 ⁽¹⁾	CE-819	Pitiúba x TVu 59 ^{(3)#}
CE-222	V-11-Rubi ⁽¹⁾	CE-873	Epace-10 ⁽¹⁾
CE-237	Jaguaribe ⁽¹⁾	CE-895	CNCx 333-33E ⁽²⁾
CE-239	Cinzento ⁽¹⁾	CE-930	Pingo de ouro ⁽¹⁾
CE-261	Tvu 356 ⁽¹⁾	CE-931	Seleção de Isabel-1 ⁽⁴⁾
CE-263	Tvu 401 ⁽¹⁾	CE-933	BRS Marataoã ⁽¹⁾
CE-281	Tvu 853 ⁽¹⁾	CE-935	BR-17 Gurguéia ⁽¹⁾
CE-282	Tvu 857 ⁽¹⁾	CE-937	BRS Rouxinol ⁽¹⁾
CE-293	Tvu 1423-P1 ⁽¹⁾	CE-942	BRS Juruá ⁽¹⁾
CE-302	Tvu 1565 ⁽¹⁾	CE-943	BRS Aracê ⁽¹⁾
CE-318	Tvu 2430-P1 ⁽¹⁾	CE-971	Sem nomenclatura
CE-320	Tvu 2455-P2 ⁽¹⁾	CE-979	Inhumã
CE-366	Tvu 662 ⁽¹⁾	CE-978	BRS Tumucumaque ⁽¹⁾
CE-432	Tvu 707 ⁽¹⁾	CE-983	TE93-244-23F ⁽²⁾
CE-435	Tvu 801 ⁽¹⁾	T-RS1	Mamoninha ^(T)
CE-437	Tvu 942 ⁽¹⁾	T-RS2	Baio ^(T)
CE-438	Tvu 1016-1 ⁽¹⁾	T-RS3	Amendoim ^(T)

Fonte: elaborada pelo autor.

(1) Cultivar, (2) Linhagem, (3) Cruzamento avançado até geração F8, (4) seleção e (T) Testemunha.

*Genitores iguais, mas características morfoagronômicas diferentes.

5.2 Avaliações

As avaliações foram realizadas em dois ciclos de crescimento sob corte, compostas por duas etapas de avaliação em cada ciclo, a primeira etapa consistiu em uma avaliação fisiológica (pré-corte) e, a segunda etapa, de uma avaliação morfológica (pré e pós-corte).

5.2.1 Avaliações fisiológicas

As avaliações fisiológicas foram realizadas quando as plantas atingiram seu estágio de maturidade, estágio esse alcançado com início da floração, e estabilidade no crescimento vegetativo.

5.2.1.1 Trocas gasosas

As variáveis taxa fotossintética (taxa de assimilação líquida de CO_2)-(A), condutância estomática ao vapor d'água (g_s), taxa transpiratória (E), concentração interna do CO_2 (C_i) e a razão interna e externa de carbono (razão C_i/C_a) foram determinadas utilizando-se um analisador portátil de gás no infravermelho, IRGA (*Infra-Red Gas Analyzer* modelo LCpro-SD), com fonte artificial de radiação de $1500 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. As eficiências intrínsecas (A/ g_s) e instantâneas (A/E) do uso da água, bem como a eficiência instantânea de carboxilação (A/ C_i), foram estimadas pelo quociente da assimilação líquida do carbono com a condutância estomática ao vapor de água, transpiração e concentração interna de CO_2 respectivamente.

As medições de trocas gasosas foram realizadas em cada uma das unidades experimentais (área útil de 4 m^2 , composta pelas 3 linhas centrais), sendo as leituras feitas entre 9h e 11h, selecionando-se o folíolo central expandido da sexta folha para serem efetuadas as leituras na parte mediana da folha.

5.2.1.2 Fluorescência da clorofila “a”

As variáveis de fluorescência da clorofila “a” foram obtidas na mesma área da folha em que foram realizadas as medidas das trocas gasosas, usando-se um fluorômetro portátil (Multi-Mode Chlorophyll Fluorometer) modelo: OS5p da Opti-Sciences. Antes de cada determinação individual, uma porção da folha foi mantida no escuro, ou seja, permaneceu com a pinça fechada por pelo menos 30 minutos para que todos os centros de reação naquela região da folha adquirissem a condição de “abertos” (extintor fotoquímico não-reduzido).

Após adaptação ao escuro receberam um fluxo de radiação igual a $0,12 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para a obtenção de fluorescência mínima (F_o). A fluorescência máxima (F_m) foi determinada durante um pulso de fótons saturante de $4.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. As mensurações foram realizadas no período entre 09:00 e 13:00 horas.

As variáveis de indução da fluorescência obtidas foram: fluorescência inicial (F_o); fluorescência máxima (F_m); fluorescência variável (F_v), determinada pela diferença entre F_o e F_m . Com os valores de F_v e F_m foi obtido a eficiência fotoquímica potencial do Fotossistema II (F_v/F_m). Além de tais variáveis foi obtido a dissipação-fotoquímica (qP), dissipação não-fotoquímica (qN), eficiência quântica efetiva do fotossistema II (Y), extinção não fotoquímica de Stern-Volmer (NPQ) e a taxa de transporte de elétrons (ETR) (GENTY *et al.*, 1989).

5.2.1.3 Índice Relativo de Clorofila (IRC)

Para determinação dos índices relativos de clorofila foram realizadas leituras em uma planta por parcela. Para a determinação dos índices relativos de clorofila foram realizadas leituras em uma planta por parcela, usando-se um clorofilômetro SPAD-502. As leituras foram efetuadas em três pontos ao lado da nervura central do folíolo central da sexta folha, na face adaxial do folíolo, antes e após o primeiro corte. Com essa avaliação foi determinado o teor de clorofila total (através do índice relativo de clorofila) entre os diferentes acessos de feijão-caupi.

5.2.2 Avaliações morfológicas

No pré-corte e pós-corte foram realizadas as seguintes avaliações, com o uso de moldura para amostragem de forrageiras de 1m^2 :

- a) Altura do dossel (AD) - (cm) determinada a partir da média de dez medições avaliadas em 1m^2 (área útil) da parcela com auxílio de uma régua graduada, antes de cada corte.
- b) Produção de biomassa fresca de forragem (BFF) - (kgha^{-1}) – para determinação de biomassa fresca foi cortada a parte área das plantas dentro da área amostral

- de 1 m². As plantas foram cortadas a 15 cm do solo quando estavam em seu pico de produção de biomassa (início do aparecimento das primeiras flores).
- c) em seguida foi pesado, e separada uma subamostra de 400 g da amostra cortada. Foi separado folha e caule para pesagem e identificação da biomassa fresca de caule e folha. Os dados obtidos foram extrapolados para quilos de massa fresca ha⁻¹.
- d) Produção de biomassa de forragem total (BFT) - (kg ha⁻¹) – o material coletado para análise da BFF foi pesado e posteriormente acondicionado em saco de papel e levado para estufa com circulação forçada de ar a 65 °C por 72 horas para pré-secagem, sendo, então, novamente pesada em balança de precisão. Os dados obtidos foram extrapolados para quilos de biomassa de forragem por ha⁻¹ período⁻¹. Os valores de produção de matéria seca obtidos são resultados do somatório dos valores dos cortes acumulados dentro do período.
- e) Relação folha/caule (RFC) - foi realizado corte, retirando a amostra em 1 m² na área útil, em seguida foi pesado e separada uma subamostra de 400 g da amostra cortada (biomassa verde). Estes, foram levados para laboratório, onde foi separada em folhas (lâminas e pecíolos) e caule, pesadas, acondicionadas em saco de papel e levadas para secar em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C por 72 horas, sendo, então, novamente pesadas em balança de precisão.
- f) Índice de área foliar (IAF) – foi utilizada a amostra para obtenção da BFT, sendo usadas antes da secagem, para a medição da área foliar, por meio do medidor da área foliar, LI 3100C Area Meter com resolução de 0,1 mm², em laboratório. Foi realizada uma correção com extrapolação das plantas da subamostra para uma área de 1m² (área da amostra). Após a medição e correção foi obtido o índice da área foliar segundo Evans (1972) determinado através da razão entre os valores da área foliar total (AF_{total}) e área de solo (AS) ocupada pelas plantas, obtidos em cada amostragem para as diferentes cultivares: $IAF = AF_{total}/AS$.

5.3 Simulação de produção

Após a identificação dos genótipos mais promissores foi elaborado um cenário avaliando os seis genótipos selecionados e as testemunhas quanto à capacidade de produção de biomassa de forragem total (BFT), capacidade de manutenção e produção de vacas de leite (com 4% de gordura) de acordo Salman; Osmari e Dos Santos (2011). Foram avaliados cinco níveis de produção de leite (10, 15, 20, 25 e 30 litros de leite) com 100% e 30% de feijão-caupi no fornecimento do volumoso. Os dois níveis na composição da dieta (100% e 30%) foram estabelecidos de acordo com Bevilaqua *et al.*(2007) e Heuzé *et al.* (2015), tendo em vista que os baixos níveis (38,6%) de FDN (Fibra em Detergente Neutro) do feijão-caupi não ser ideal para compor uma dieta de volumoso completa com esta cultura, tendo em vista a baixa quantidade de fibra que pode comprometer a ruminação. A simulação foi realizada para comparar os diferentes genótipos e corroborar a aplicação do índice de seleção elaborado.

5.4 Análises genético-estatísticas

Com o intuito de estimar os componentes de variância para determinação dos principais parâmetros genéticos os dados fenotípicos foram submetidos à análise de modelos mistos pelo Método da Máxima Verossimilhança Restrita (REML), conforme descrito por Resende e Sturion (2001) e Resende (2002). Os valores fenotípicos foram estimados através do melhor estimador linear não viciado (BLUE), quando os efeitos foram considerados como fixos. Para efeitos aleatórios os valores genéticos ou genotípicos foram preditos pelo melhor preditor linear não viciado (BLUP).

Os dados avaliados foram submetidos à análise de deviance (ANADEV) utilizando o seguinte modelo genético-estatístico: $Y_{ijk} = m + b_k + g_i + c_j + e_{ij}$, em que, Y_{ijk} = observação referente ao i -ésimo genótipo no j -ésimo ciclo e no k -ésimo bloco; m = média geral; b_k = efeitos blocos dentro de repetição, assumidos como fixos; g_i = efeito do i -ésimo genótipo ($i = 1, 2, \dots, 64$), considerado como fixo; c_j = efeito do j -ésimo ciclo ($j = 1$ a 2), considerado como aleatório e; e_{ijk} = erro experimental associado à observação Y_{ijk} .

Posteriormente, os dados das avaliações dos experimentos foram submetidos às análises por esse mesmo modelo, no entanto, com os efeitos de genótipo (g) foram

considerados como fixo para fins de estimações de médias ajustadas (BLUEs) e os efeitos de ciclo (c) foram considerados como aleatórios para predições genotípicas (BLUPs).

Os efeitos considerados como aleatórios foram testados pela razão de verossimilhança (LRT) via análises de deviance (ANADEV) (RESENDE, 2007) e os fixos pelo teste F de Wald.

A acurácia (\hat{r}_g) foi obtida a partir dos valores de herdabilidades, estimadas pela expressão: $\hat{r}_g = \sqrt{h_m^2}$, com \hat{r}_g entre 0 e 1.

A herdabilidade em nível de médias (h_m^2) foi a obtida para todos os caracteres a cada metodologia pela seguinte expressão: $h_m^2 = \frac{\hat{\sigma}_g^2}{\hat{\sigma}_g^2 + \frac{\hat{\sigma}_e^2}{rl}}$, em que, $\hat{\sigma}_g^2$ = variância genotípica,

$\hat{\sigma}_e^2$ = variância residual, l = número de ciclos, r = número de blocos.

As variáveis que apresentaram significância para efeitos de genótipos foram avaliadas para correlações fenotípicas. As estimativas das correlações fenotípicas de Pearson (r_f) entre os caracteres foram obtidas por meio da seguinte expressão: $r_f =$

$$\frac{\sum_{j=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{j=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{j=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

em que x_1, x_2, \dots, x_n e y_1, y_2, \dots, y_n foram obtidas da matriz de médias dos genótipos nos diferentes ambientes. Estas estimativas foram testadas a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t.

A importância relativa dos caracteres estudados foi estimada por meio do método dos componentes principais (Singh, 1981). Para a eliminação de caracteres optou-se por descartar os que menos contribuíram para explicar a variância global dos dados entre os genótipos avaliados. Desse modo, para a construção do índice de seleção foram ignorados os caracteres que apresentaram os maiores valores de ponderação nos componentes de menores autovalores.

Em seguida, foram realizadas as análises de fatores utilizando o seguinte modelo: $X_j = 1_{j1} F_1 + 1_{j2} F_2 + \dots + 1_{jm} F_m + \varepsilon_j$, em que X_j é o caráter estimado em cada parcela com $j = 1, 2, \dots, v$, 1_{jk} é a carga fatorial para o j -ésimo caráter associado ao k -ésimo fator, sendo $k=1, 2, \dots, m$, F_k é o k -ésimo fator comum e ε_j é o fator específico associado ao j -ésimo caráter. A carga fatorial inicial é dada por: $1_{jk} = \lambda_{ij}^2 V_{ij}^2$, sendo λ_{ij} o i -ésimo autovalor maior que 1 obtido da matriz de correlações fenotípicas e V_{ij} o j -ésimo valor do i -ésimo vetor, sendo j o número de caracteres e k o número de fatores. A comunalidade é representada por: $C_j = 1_{j1}^2 + 1_{j2}^2 + \dots$

+ 1_{jm}^2 . O número de fatores finais considerados para o agrupamento de caracteres foi dado pelo número de autovalores iguais ou superiores a 1. O agrupamento dos caracteres foi feito pelas magnitudes e sinais dos valores observados nas comunalidades, nas cargas fatoriais iniciais e, sobretudo, nas cargas fatoriais finais obtidas após a rotação, indicando que esses caracteres apresentam alta correlação e podem ser agrupados em um mesmo fator. A extração das cargas fatoriais foi feita pelo método dos componentes principais, e os fatores estabelecidos pelo método de rotação varimax (CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI, 2014).

Os escores utilizados na confecção dos índices foram obtidos por meio do sistema de equações: $F_k = b_{1k}X_1 + b_{2k}X_2 + \dots + b_{vk}X_v$, sendo b_{jk} ($k = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, v$) o elemento da matriz β , dada por $\beta = (\Lambda \Lambda')^{-1} \Lambda$, em que Λ é a matriz de dimensões $m \times v$ das cargas fatoriais rotacionadas finais e β a matriz de dimensão $m \times v$ de coeficientes de ponderação dos caracteres para obtenção dos escores dos fatores.

Todas as análises foram realizadas com o auxílio do pacote lme4 do software R (R CORE TEAM, 2015).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de deviance revelou diferenças significativas quanto aos efeitos de genótipo para maior parte dos caracteres (Tabela 2). Foram significativos fluorescência inicial (F_o), dissipação-fotoquímica (qP), dissipação não-fotoquímica (qN), índice relativo de clorofila (IRC), altura do dossel (AD) e índice de área foliar (IAF). A fluorescência inicial (F_o) se apresentou significativo, mostrando que entre os genótipos há diferença quanto a capacidade de transferência da energia no centro de reação do fotossistema II. Isto indica diferenças nas respostas relativas dos genótipos para os caracteres avaliados.

Foram observadas diferenças significativas para o efeito de bloco/repetição para a grande maioria dos caracteres estudados, com exceção da eficiência instantânea de carboxilação (A/C_i), razão interna e externa de carbono (razão C_i/C_a), eficiência fotoquímica potencial do fotossistema II (F_v/F_m), dissipação-fotoquímica (qP), dissipação não-fotoquímica (qN) e extinção não fotoquímica de Stern-Volmer (NPQ), o que exprime a existência de variabilidade ambiental, devido à heterogeneidade da área experimental, justificando a escolha do delineamento.

Houve diferença significativa para efeito de ciclo para quase todos os caracteres, com exceção da concentração interna do CO_2 (C_i), razão interna e externa de carbono (razão C_i/C_a), fluorescência máxima (F_m), fluorescência variável (F_v), eficiência fotoquímica potencial do fotossistema II (F_v/F_m), dissipação-fotoquímica (qP), eficiência quântica efetiva do fotossistema II (Y) e a taxa de transporte de elétrons (ETR). Assim, evidencia-se que os genótipos apresentaram distintas respostas quanto aos ciclos de corte para os caracteres estudados.

Valores significativos para efeito de ciclo nos caracteres índice relativo de clorofila (IRC), biomassa fresca de forragem (BFF), biomassa de forragem total (BFT), índice de área foliar (IAF), relação folha/caule (RFC) e altura do dossel (AD), indicam que houve mudanças conformacionais e estruturais na fisiologia dos genótipos estudados após o corte, havendo um reajuste morfofisiológico. Estes resultados são promissores, pois indicam que os genótipos estudados apresentam capacidade de adaptações morfológicas em resposta à perda foliar, evidenciando uma adaptação gradual e reversível da planta em resposta a um fator ambiental (plasticidade fenotípica), a fim de manter sua atividade fotossintética. Estes resultados são corroborados pela não significância de F_v/F_m para ciclo, mostrando que não

houve comprometimento do aparato fotossintético mesmo após o corte, o que pode indicar uma adaptação fisiológica dos genótipos, afim de manter a atividade fotossintética (GRATANI, 2014; HAZRATI *et al.*, 2016).

Tabela 2 - P-valores para os caracteres de florescência da clorofila “a”, trocas gasosas, índice relativo de clorofila e estrutura e produção de biomassa de forragem, avaliados em 64 genótipos de feijão-caupi destinados a produção de forragem no município de Pentecoste, estado do Ceará, 2018¹

Efeitos	p-valores							
	A	gs	E	ci	A/Ci	A/E	A/gs	Ci/Ca
Bloco/Repetição ¹	< 0,05	< 0,05	< 0,001	< 0,001	0,9998	< 0,001	< 0,01	0,9998
Genótipo ¹	0,1866	0,1817	0,9608	0,9744	0,2738	0,9635	0,9842	0,9502
Repetição ¹	0,1915	0,6067	0,4744	0,5129	0,285	0,3586	0,4304	0,9468
Ciclo ²	< 0,001	< 0,001	< 0,005	0,2403	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,4624
Média	17,941	2,232	5,568	297,093	0,061	3,406	15,562	0,778
Acurácia	0,495	0,539	0,000	0,000	0,495	0,000	0,000	0,000
	Fo	Fm	Fv	Fv/Fm	qP	qN	NPQ	Y
Bloco/Repetição ¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,9999	0,9998	0,9997	0,9999	< 0,05
Genótipo ¹	< 0,001	0,6962	0,9233	0,6796	< 0,05	< 0,01	0,4054	0,1922
Repetição ¹	0,713	0,7416	0,8273	0,8761	0,4088	0,4414	0,405	0,2735
Ciclo ²	< 0,05	0,2197	0,4373	0,4293	0,5784	< 0,01	< 0,05	0,1087
Média	133,289	533,191	399,902	0,746	0,843	0,833	1,671	0,282
Acurácia	0,687	0,000	0,000	0,000	0,571	0,583	0,000	0,015
	ETR	IRC	RFC	AD	IAF	BFF	BFT	-
Bloco/Repetição ¹	< 0,001	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,05	< 0,001	< 0,001	-
Genótipo ¹	0,1908	< 0,001	0,2272	< 0,001	< 0,001	0,9999	0,9999	-
Repetição ¹	0,2729	0,3278	< 0,05	0,5626	0,4617	< 0,001	< 0,001	-
Ciclo ²	0,109	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	-
Média	14,184	42,835	0,671	45,706	2,871	5.232,361	982,915	-
Acurácia	0,013	0,816	0,587	0,781	0,712	0,000	0,000	-

¹ Teste F de Wald.

² Teste de razão de verossimilhança (LRT), testado via qui-quadrado com 1 grau de liberdade.

Valores em negrito são significativos (p<0,001), (p<0,01) ou (p<0,05) para ambos os testes.

¹ Taxa de assimilação líquida do CO₂ (A), condutância estomática ao vapor d'água (gs), taxa transpiratória (E), concentração interna do CO₂ (Ci) e a razão interna e externa de carbono (razão Ci/Ca), eficiência instantânea do uso da água (A/E), eficiência instantânea de carboxilação (A/Ci), a eficiência intrínseca do uso da água (A/gs), florescência da clorofila, eficiência quântica efetiva do fotossistema II (Y), fluorescência inicial (Fo); fluorescência máxima (Fm); fluorescência variável (Fv), eficiência fotoquímica potencial do fotossistema II (Fv/Fm), dissipação-fotoquímica (qP), dissipação não-fotoquímica (qN), extinção não fotoquímica de Stern-Volmer (NPQ), a taxa de transporte de elétrons (ETR), índice relativo de clorofila (IRC), biomassa fresca de forragem (BFF), biomassa de forragem total (BFT), índice de área foliar (IAF), relação folha/caule (RFC), e altura do dossel (AD).

A significância do efeito de ciclo para assimilação líquida do CO₂ (A) mostra uma clara relação do corte sobre a taxa de fotossíntese. Percebe-se que o valor médio de A (17,941 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) foi baixo quando comparado com outros trabalhos de feijão-caupi sob condições ótimas (SILVA *et al.*, 2010; SOUZA *et al.*, 2011; FERNANDES *et al.*, 2015), mas dentro dos limites estabelecidos para feijão-caupi (entre 12 e 31 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) apresentados por Neves *et al.* (2009); Souza *et al.* (2011) e Furtado *et al.* (2013). No entanto, o valor médio de *g_s* foi elevado (2,232 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), quando comparado a outros estudos (PRAZERES *et al.*, 2015 e SILVA *et al.*, 2019), próximo aos valores máximos (entre 0,28 à 2,5 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) para a cultura do feijão-caupi como apresentado por Neves *et al.* (2009); Souza *et al.* (2011) e Furtado *et al.* (2013).

A redução na taxa fotossintética deve-se ao estresse causado pelo corte, com redução na taxa de alongamento foliar, uma vez que a desfolha induz a mudanças de respostas no crescimento do dossel forrageiro. Em condições de estresse pós-corte há uma maior rebrota o que conseqüentemente aumenta a abertura estomática para atender a demanda por CO₂ para equilibrar a temperatura foliar através da transpiração, o que explica o aumento da condutância estomática (ZANCHI *et al.*, 2009; LOPES *et al.*, 2011; LOPES, 2015).

Verifica-se que a relação Fv/Fm apresentou um valor médio de 0,746 elétrons quantum⁻¹. Segundo Reis e Campostrini (2011), Souza *et al.* (2011) e Souza *et al.* (2019) plantas com valores de Fv/Fm entre 0,75 e 0,85 elétrons quantum⁻¹ estão com o aparelho fotossintético intacto e as que apresentam valores inferiores a 0,75 elétrons quantum⁻¹ tem seu potencial fotossintético reduzido, indicando que os genótipos utilizados neste trabalho sofreram pouca influência do corte, o que levou ao um leve comprometimento do aparato fotossintético.

Os resultados da dissipação-fotoquímica (qP) e dissipação não-fotoquímica (qN) mantiveram suas médias próximo ao valor máximo (1,0), o que demonstra que o aparelho fotossintético dos genótipos em estudo não foi danificado, tendo em vista que mantiveram valores elevados, de 0,843 e 0,833; respectivamente, o que indica provável regulação fotoprotetora, possibilitada pela capacidade de dissipação da energia absorvida em excesso, seja pelo aumento do gradiente de prótons entre o lúmen e o estroma do cloroplasto, seja pela ação da zeaxantina (Maxwell & Johnson, 2000; SILVA *et al.*, 2006). Estes resultados refletem o desempenho dos genótipos estudados, indicando maior capacidade de tolerar as condições fotoinibitórias ocasionadas pelo corte.

Observaram-se baixos valores de acurácia seletiva, os maiores valores foram observados para *gs*, *Fo*, *qP*, *qN*, *IRC*, *RFC*, *AD* e *IAF*, com valores superiores a 0,5. O maior valor observado foi de 0,816 para variável *IRC*.

Os baixos valores de acurácia podem ser explicados por quatro pontos: 1) se tratarem de caracteres complexos controlados por vários genes com possíveis interações alélicas e gênicas. 2) São altamente influenciados pelo ambiente e qualquer alteração detectada nas variáveis climáticas como luz solar, umidade do solo, umidade relativa do ar e temperatura, o que podem resultar em variação intra e interbloco; 3) houve perda de parcelas, por não suportarem o manejo do corte, não rebrotando; 4) a biomassa fresca de forragem (BFF) apresentou alta umidade, podendo decrescer diferentemente durante o transporte para aferição em laboratório, o que possivelmente influenciou na biomassa de forragem total (BFT). Além do uso de subamostras para aferição dos resultados em laboratório, o que pode ter influenciado as variáveis de biomassa.

É importante ressaltar que os valores de acurácia seletiva, decrescem no sentido da complexidade de cada caráter avaliado, o que já era esperado, pois caracteres de maior complexidade tanto envolvem um maior número de genes para determinação, assim quanto sofre uma maior influência do efeito ambiental (ROSADO *et al.*, 2012; SINCLAIR, 2012; SOUZA; 2016). Características fisiológicas, como as respostas de trocas gasosas e fluorescência da clorofila “*a*” mostram baixa herdabilidade, ao passo que características morfológicas, como a altura de dossel, podem ser mais substancialmente herdáveis, refletindo na baixa acurácia (ACKERLY *et al.*, 2000; MALARVIZHI *et al.*, 2005).

Mesmo com tais restrições, Basnayake *et al.* (2015) e Jackson *et al.* (2016), em estudos com cana-de-açúcar, demonstraram que informações a partir de avaliações fisiológicas tem potencial para caracterizar a variação genotípica para maiores índices de colheita e melhor eficiência em condições de estresse. O que indica que tais variáveis tem grande potencial para uso na indicação e seleção de melhores genótipos em programas de melhoramento genético.

Em razão da baixa acurácia (decorrente da baixa herdabilidade apresentada) houve a avaliação de correlação fenotípica, compreendendo a associação entre os caracteres que se apresentaram significativos para o efeito de genótipo (Tabela 2), o que auxilia no processo de indicação e seleção (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

As análises de correlações revelaram que os genótipos apresentaram correlação fenotípica positiva e significativa, para a maior parte dos caracteres estudados (Tabela 3). Tais resultados mostram correlação entre os caracteres que compõem os componentes de produção (i.e. caracteres morfológicos) e características fisiológicas (Fo, IRC, qN, qP), de feijão-caupi.

Tabela 3 - Coeficientes de correlações fenotípicas de *Pearson* (r_f) entre os caracteres índice relativo de clorofila (IRC), dissipação não-fotoquímica (qN), dissipação-fotoquímica (qP), altura do dossel (AD) e índice de área foliar (IAF), avaliados em 64 genótipos de feijão-caupi destinados a produção de forragem no município de Pentecoste, estado do Ceará, 2018

	IRC	qN	qP	AD	IAF
Fo	-0,071	0,501 ¹	0,399 ²	0,224 ³	-0,131
IRC		-0,032	-0,083	0,149 ³	0,155 ³
qN			0,650 ¹	0,271 ²	-0,111
qP				-0,024	0,012
AD					0,544 ¹

¹, ² e ³ significativos a ($p < 0,001$), ($p < 0,01$), a ($p < 0,05$) e não significativo, respectivamente, pelo teste t.

As correlações entre os caracteres morfológicos (AD e IAF) avaliados e os fisiológicos (Fo, IRC, qN, qP) geralmente mostraram estimativas significativas e positivas, independentemente dos caracteres fisiológicos. Resultados semelhantes são observados para cultura do feijão-caupi, quanto a correlação de variáveis agrônômicas e fisiológicas (SOUZA *et al.*, 2004; SINGH, REDDY, 2011; SILVA *et al.*, 2016; NAVASELVAKKUMARAN *et al.*, 2019).

Foram verificadas correlações positivas entre os caracteres Fo, qN, qP e IRC, pois são parâmetros de fluorescência e estão intimamente ligados a etapa fotoquímica da fotossíntese, conseqüentemente ao crescimento e produção de biomassa vegetal (ROMO-CAMPOS *et al.*, 2013; BRITO *et al.*, 2018; OLIVEIRA *et al.*, 2018; LIMA *et al.*, 2019).

A correlação positiva entre IRC com AD e IAF indicam que aumentos nos valores de IRC refletem de modo positivo no crescimento das plantas, conseqüentemente no rendimento de biomassa de forragem. Este resultado se deve ao fato que a clorofila é o principal pigmento responsável pela captação da energia luminosa no processo de fotossíntese, logo está relacionada a eficiência fotossintética e crescimento das plantas (BASTOS *et al.*, 2012; MORAIS; FONTES; GONÇALVES, 2013). Strieder *et al.* (2008) e Oliveira (2014) afirma que o IAF está relacionado com maior interceptação da radiação

fotossinteticamente ativa e conseqüente aumento da atividade fotossintética e a produção de matéria seca por planta.

A constatação de existência de variabilidade para a altura do dossel (AD) - (Tabela 1) e as correlações positivas observadas com os caracteres fisiológicos e da fluorescência da clorofila (Tabela 2) são resultados bastante promissores, tendo em vista a possibilidade de se selecionar genótipos que proporcionem um maior crescimento e volume de biomassa em condições adversas (DOMICIANO *et al.*, 2015). Isso se deve ao fato que altos valores de clorofila são relacionados às melhores taxas de fotossíntese foliar, sendo frequentemente associada a taxas de crescimento mais rápidas das culturas. Assim, uma combinação de fotossíntese mais alta e plantas mais altas pode desempenhar um papel vital para o aumento da produtividade, com aumento na produção de biomassa (CONDON *et al.*, 2002 e PARRY; FLEXAS; MEDRANO, 2005).

De acordo com os resultados é possível inferir que o uso da seleção indireta para cada um destes caracteres será eficiente e, logo, é possível obter ganhos para a produção de biomassa via seleção indireta de caracteres fisiológicos. Estes resultados estão de acordo com a literatura, onde vários autores encontraram correlações semelhantes para, pelo menos, um destes pares de caracteres (SILVA *et al.*, 2006; SILVA *et al.*, 2016; BRITO *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2019, SOUZA *et al.*, 2019 e LIMA *et al.*, 2019).

Na análise por meio de componentes principais, o percentual de variância acumulada pelos três primeiros componentes foi de 79,476% (Tabela 4), considerado como suficiente para interpretação dos dados com acurácia (RESENDE, 2007; BENIN *et al.*, 2009; NASCIMENTO *et al.*, 2009; DOVALE; FRITSCHÉ-NETO; SILVA, 2011; CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI, 2014; GRANATO *et al.*, 2014). Assim, observando a análise dos elementos dos três últimos autovetores, ou seja, do último até aquele em que o valor do autovetor obtido da matriz de correlação é inferior a 0,7; foram identificados três variáveis passíveis de descarte, com exceção da altura do dossel (AD), dissipação-fotoquímica (qP) e índice relativo de clorofila (IRC).

Observa-se (Tabela 4) que, para o primeiro componente principal a variável de maior contribuição para discriminação dos genótipos foi a dissipação não-fotoquímica (qN) com 0,585 e no segundo componente, destaca-se a altura do dossel (AD) com 0,6619. No entanto, quando avaliado os últimos componentes principais, os caracteres que menos

contribuíram para a variação total, sendo, portanto, passivos de descarte, foi a dissipação não-fotoquímica (qN) cujo autovetores foi de -0,7019 (para o ultimo componente principal).

Tabela 4 - Estimativas dos autovalores e da fração cumulativa da variância explicada pelos componentes principais envolvendo os caracteres fluorescência inicial (Fo), índice relativo de clorofila (IRC), dissipação não-fotoquímica (qN), dissipação-fotoquímica (qP), altura do dossel (AD) e índice de área foliar (IAF), avaliados em 64 genótipos de feijão-caupi destinados a produção de forragem no município de Pentecoste, estado do Ceará, 2018

λ_j	$\lambda_j \%$	Fo	IRC	qN	qP	AD	IAF
2,4319219	40,532032	0,5097	-0,2651	0,585	0,5613	-0,0715	0,0866
1,4188601	64,179701	-0,1745	-0,2358	-0,1165	0,1505	0,6619	0,663
0,9178151	79,476619	0,2247	0,8383	0,0345	0,2275	0,4255	-0,1131
0,6428549	90,190868	0,0665	0,3865	0,0886	-0,1505	-0,5285	0,7324
0,4218605	97,221876	0,8083	-0,1481	-0,3775	-0,4033	0,1266	0,0589
0,1666874	100	0,0384	-0,0122	-0,7019	0,652	-0,2834	0,0174

A possibilidade de descarte de qN justifica-se por apresentar autovetores elevados no último componente principal. A simultaneidade da resposta é um indicativo que esta variável é pouco explicativa para a variabilidade entre os genótipos, com discriminação de baixo peso entre estes. Os resultados diferem da literatura (AZEVEDO NETO *et al.*, 2011; BRITO *et al.*, 2018; OLIVEIRA *et al.*, 2018; SOUZA *et al.*, 2019), pois tal variável tem sido amplamente utilizada para distinguir genótipos quanto a sua eficiência fotossintética para produção de biomassa, quando submetido a diferentes tratamentos.

Essa diferença, possivelmente, se deve ao fato que os estudos realizados para forrageiras (diferentes espécies) ou para o feijão-caupi (em produção de grãos) utilizam estatística univariada e sem separação dos efeitos das inter-relações (multicolinearidade) entre os caracteres. Existindo multicolinearidade, em níveis considerados, entre o conjunto de variáveis explicativas, torna-se difícil avaliar a influência destas sobre a resposta na variável principal. O que pode levar a resultados danosos quando se tem por objetivo construir um índice de seleção (RESENDE, 2007; CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI, 2014).

Outro fato relevante é que a análise de componentes principais possibilita a avaliação da importância de cada caráter estudado sobre a variação total disponível entre os

genótipos avaliados, e quando associada com análise de fatores, auxiliam para ignorar caracteres que não são úteis para discriminar os genótipos, permitindo índices de seleção mais elaborados (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012; GRANATO *et al.*, 2014; FRAGA *et al.*, 2016; HONGYU; SANDANIELO; OLIVEIRA JUNIOR, 2016; KIRCH *et al.*, 2019).

Quanto ao caráter dissipação-fotoquímica (qP) foi observado elevado peso nos últimos autovetores, o que não o classifica como passível de descarte pela análise da tabela 4. A possibilidade de descarte dos caracteres fluorescência inicial (Fo), dissipação não-fotoquímica (qN), e índice de área foliar (IAF), justifica-se por estes apresentarem, respectivamente, correlação com dissipação-fotoquímica (qP) e altura do dossel (AD) (Tabela 3).

Por meio da análise de fatores buscou-se obter fatores relacionados aos caracteres que contribuem para produção de biomassa de forragem de feijão-caupi. Por conseguinte, utilizaram-se os três primeiros componentes principais para agrupamento dos caracteres, pois concentraram mais de 70% da variação total (Tabela 4). As comunalidades, que retratam a proporção da variância do caráter padronizado (GRANATO *et al.*, 2014), apresentaram valores maiores que 0,7 (Tabela 5). Valores de comunalidades superiores a 0,64 têm sido aceitos como razoáveis, pois equivalem a uma correlação próxima de 0,80 entre a variável padronizada (X_j) e a parte comum que explica esta variável (Z_j) (GARBUGLIO *et al.*, 2007; MENDONÇA *et al.*, 2007; RIBEIRO; ALMEIDA, 2011). Assim, a alta eficiência da representação das variáveis por uma parte comum é evidente, para todos os caracteres em virtude de suas elevadas comunalidades, tornando adequada a discriminação do desempenho dos genótipos com base nesses caracteres. Fato este corroborado pelos autovalores apresentados na tabela 4.

Com base na comunalidade, nos sinais e magnitudes das cargas fatoriais iniciais e finais, identificamos três grupos de caracteres (Tabela 5). Para cada grupo, as correlações entre os caracteres foram de magnitude moderada, portanto, foi possível descartar os caracteres que eram relativamente difíceis de medir e / ou eram redundantes em cada grupo, como Fo no grupo 2 e IAF no grupo 3. A alta correlação entre AD e IAF (Tabela 3) e a baixa explicação de IAF referente a distinção entre os genótipos (Tabela 4), explicam o motivo de descarte de IAF para composição do índice de seleção. Desta forma por AD se tratar de uma análise mais simples e que dispensa o uso de equipamento de alto custo e de difícil manuseio,

foi decidido pelo descarte de IAF, o que ratifica a sugestão de descarte obtida pela análise de componentes principais (Tabela 4).

Tabela 5 - Comunalidade, cargas fatoriais iniciais e finais, estimadas para os caracteres índice relativo de clorofila (IRC), dissipação não-fotoquímica (qN), dissipação-fotoquímica (qP), altura do dossel (AD), fluorescência inicial (Fo) e índice de área foliar (IAF), avaliados em 64 genótipos de feijão-caupi destinados a produção de forragem no município de Pentecoste, estado do Ceará, 2018

Caráter avaliado	Nº grupo	Comunalidades	Cargas iniciais			Cargas finais		
			Fator			Fator		
			1	2	3	1	2	3
IRC	1	0,895	-0,413	-0,281	0,803	-0,142	-0,035	0,935
qN	2	0,853	0,912	-0,139	0,033	0,893	-0,120	-0,202
qP		0,846	0,875	0,179	0,218	0,881	0,238	-0,111
Fo		0,721	0,795	-0,208	0,215	0,839	-0,133	0,018
AD	3	0,800	-0,111	0,788	0,408	-0,062	0,873	0,186
IAF		0,654	0,135	0,790	-0,108	0,027	0,724	-0,359

Neste sentido, para elaborar o índice que possibilitasse a indicação de genótipos com potencial para produção de forragem, utilizou-se o fator 2 (Apêndice A), pois o mesmo atribuiu os maiores pesos e sinais favoráveis aos caracteres de maior importância para a produção de forragem. Assim, o índice recomendado foi: $I_2 = 0,0066169 \text{ IRC} + 0,191538 \text{ qP} + 0,661189 \text{ AD}$. O que corresponde respectivamente ao índice relativo de clorofila, dissipação-fotoquímica e altura do dossel.

Lal *et al.* (2006) e Songsri *et al.* (2009) ao trabalharem com amendoim mostram que os caracteres IRC e qP podem ser bons indicadores na seleção de genótipos mais eficientes no uso de água e conseqüentemente apresentarem uma maior produção de biomassa. Isso se deve ao fato que reduções nos valores de qP e IRC sinalizam redução na capacidade fotossintética e como conseqüência redução no incremento de biomassa de forragem (com redução da altura de dossel e área foliar). Resultado este comprovado pela tabela 3, o qual demonstra a correlação de IRC com AD e IAF, como conseqüência na produção de biomassa total (SILVA *et al.*, 2006; FALQUETO *et al.*, 2007; DOMICIANO *et al.*, 2015).

O índice de seleção proposto no presente estudo foi construído desconsiderando-se os caracteres de difícil mensuração e os que não foram adequados para a discriminação de genótipos (conforme sugerido por DOVALE; FRITSCHÉ-NETO; SILVA,

2011; CRUZ, REGAZZI;CARNEIRO, 2012), como fluorescência inicial (Fo), dissipação não-fotoquímica (qN) e índice de área foliar (IAF). A partir do índice obtido, verificou-se que os genótipos CNCx658-35E (linhagem número de acesso CE-729), Tvu 2455-P2 (Cultivar número de acesso CE-320), Tvu 2430-P1 (Cultivar número de acesso CE-318), CNCx 333-33E (linhagem número de acesso CE-895), TVu 2331 X Seridó (Cruzamento avançado até geração F8 número de acesso CE-584) e Tvu 942 (Cultivar número de acesso CE-437) proporcionaram os maiores escores, respectivamente (Apêndice 2). Logo, esses genótipos podem ser utilizados para produção de forragem.

Em trabalhos com amendoim forrageiro, diversos autores demonstram que a seleção simultânea através de índices de seleção com uso de multivariada se mostrou eficiente, apresentando resultados promissores para fins de produção de forragem (ASSIS *et al.*, 2008; FERNANDES *et al.*, 2017; SIMEÃO *et al.*, 2017). O uso da análise multivariada é importante para a avaliação de um grande número de caracteres e a construção de índices. Em particular, além de produzir índices confiáveis que atribuem pesos a caracteres mais importantes, esse processo também é eficaz para descartar caracteres que pouco contribuem para a discriminação de genótipos (RESENDE, 2002; CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI; 2014; GRANATO *et al.*, 2014; SIMEÃO *et al.* 2017).

Estes resultados são corroborados pela simulação apresentada na tabela 6. Apesar do caráter BFT, estatisticamente, não ser significativo para distinção dos genótipos, o mesmo pode ser usado para compor a simulação, contribuindo com mais uma validação dos parâmetros usados para seleção dos genótipos. Ao comparar os seis genótipos selecionados com as três testemunhas provenientes do Rio Grande Sul, verifica-se que a maior parte destes apresenta maior valores de BFT, com exceção de CNCx658-35E, Tvu 2430-P1 e Tvu 942.

Para composição de 100% da dieta de matéria seca em uma média de produção de 15 litros de leite por vaca/dia, percebe-se que a produção de BFT do feijão-caupi é capaz de atender a demanda de matéria seca de 120 vacas para o melhor genótipo (Tvu 2455-P2), enquanto para uma dieta de 30% é possível manter 399 vacas para produção. Em relação a pior testemunha (Baio) há uma diferença de 39 vacas para dieta integral de feijão-caupi e 128 vacas para dieta composta apenas por 30% do volumoso. Apesar das avaliações não pontuarem diferenças significativas entre os genótipos para BFT, os resultados numéricos mostram que há diferença no número de vacas a ser mantido pelos genótipos estudados, o que

mostra a importância da elaboração de índices de seleção com maior robustez e que não apresente informações redundantes.

Tabela 6 – Produção de biomassa de forragem total e consumo de matéria seca de feijão-caupi para suprir as exigências nutricionais de manutenção, produção e ganho de peso de vacas de 400 kg, durante a fase intermediária e final de lactação, avaliados em duas porcentagens da dieta total dos animais

Genótipo	BFT* (Kg/ha)	100% na dieta					30% na dieta				
		101	151	201	251	301	101	151	201	251	301
CNCx658-35E	1.073,03	99	84	75	67	61	331	279	248	224	203
Tvu 2455-P2	1.532,19	142	120	106	96	87	473	399	355	319	290
Tvu 2430-P1	1.065,95	99	83	74	67	61	329	278	247	222	202
CNCx 333-33E	1.146,91	106	90	80	72	65	354	299	265	239	217
TVu 2331 X Seridó	1.267,80	117	99	88	79	72	391	330	293	264	240
Tvu 942	791,55	73	62	55	49	45	244	206	183	165	150
Mamoninha¹	1.147,29	106	90	80	72	65	354	299	266	239	217
Baio¹	1.040,31	96	81	72	65	59	321	271	241	217	197
Amendoim¹	1.079,30	100	84	75	67	61	333	281	250	225	204

Elaborado pelo autor com informações de Salman; Osmari; Dos Santos (2011) para produção de leite com 4% gordura.

*Não compôs o índice de seleção.

¹ Testemunhas.

Apesar dos genótipos CNCx658-35E, Tvu 2430-P1 e Tvu 942 apresentarem menores valores de BFT quando comparado as testemunhas, os valores de qP são superiores para os genótipos selecionados (Apêndice B). Estes resultados são relevantes, pois corroboram a robustez do índice de seleção, tendo em vista que altos valores de qP refletem altos valores de ETR e conseqüentemente altos valores de fotossíntese (MAXWELL, JOHNSON, 2000); SILVA *et al.*, 2006; SILVA *et al.*, 2019).

Outro caráter a ser verificado na comparação dos genótipos selecionados e testemunhas é o IAF, as testemunhas apresentaram menores valores de IAF, com exceção do genótipo Mamoninha (4,31 m²/m²). Trata-se de um parâmetro importante para o entendimento da fotossíntese, interceptação luminosa, uso da água e nutrientes e o potencial produtivo, pois as variações naturais no IAF, AD e BFT são respostas às variações sazonais e interanual do clima e a umidade no solo (ZANCHI *et al.*, 2009). Segundo Schmidt *et al.* (2015) mensurar IAF é de extrema importância para avaliar o crescimento e desenvolvimento das plantas, pois refletem a produção de biomassa de forragem, além de influenciar diretamente sobre o consumo de matéria seca pelos bovinos (FAGUNDES *et al.*, 2005; BLANCO; FOLLEGATTI, 2005; LUCENA *et al.*, 2011).

O valor IAF acima de 3 representa para o feijão-caupi máximo desenvolvimento do dossel, possibilitando uma maior interceptação de luz solar, resultando em maior taxa fotossintética líquida (SUMMERFIELD *et al.*, 1985). Estes resultados são corroborados pela correlação positiva e significativa entre IAF e AD (tabela 3), demonstrando que seleções para maiores valores de AD estão correlacionados indiretamente com plantas de maior IAF, conseqüentemente com maior taxa fotossintética e maior produção de biomassa.

Assim, um menor número de variáveis foi necessário para explicar a variação total resultando em economia de tempo e de recursos em futuros trabalhos que utilizarão essa mesma base de dados, sem perda significativa de informação. As variáveis que compõem o índice de seleção são, portanto, as mais responsivas à indicação para os genótipos de feijão-caupi para produção de forragem. Portanto, pode-se inferir, com base nos resultados, que os genótipos selecionados, representam boas alternativas para a recomendação de cultivo como forragem.

7 CONCLUSÕES

Os genótipos provenientes de acesso do Banco Ativo de Germoplasma de Feijão-caupi da UFC apresentaram variabilidade genética para os caracteres fluorescência inicial (Fo), dissipação-fotoquímica (qP), dissipação não-fotoquímica (qN), índice relativo de clorofila (IRC), índice de área foliar (IAF) e altura do dossel (AD).

O uso da estatística multivariada através de componentes principais e análises de fatores permitiu a redução de 23 caracteres para 3 caracteres para composição do índice de seleção, o que auxiliará em novos programas de melhoramento para cultura do feijão-caupi com finalidade de produção de biomassa de forragem. Resultando em economia de recursos financeiros e humanos para execução de novas pesquisas.

A recomendação de genótipos de feijão-caupi para produção de forragem, pode ser realizada pelo índice de seleção: $I_2 = 0,0066169 \text{ IRC} + 0,191538 \text{ qP} + 0,661189 \text{ AD}$. Pelo índice de seleção, os genótipos CNCx658-35E (linhagem número de acesso CE-729), Tvu 2455-P2 (Cultivar número de acesso CE-320), Tvu 2430-P1 (Cultivar número de acesso CE-318), CNCx 333-33E (linhagem número de acesso CE-895), TVu 2331 X Seridó (Cruzamento avançado até geração F8 número de acesso CE-584) e Tvu 942 (Cultivar número de acesso CE-437) são as mais promissoras e podem ser recomendadas para a produção de forragem.

REFERÊNCIAS

- ACKERLY, D. D. et al. The evolution of plant ecophysiological traits: recent advances and future directions: new research addresses natural selection, genetic constraints, and the adaptive evolution of plant ecophysiological traits. **Bioscience**, Estados Unidos, v. 50, n. 11, p. 979-995, 2000.
- ALEMU, M. et al. Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) (Fabaceae) landrace diversity in Northern Ethiopia. **International Journal of Biodiversity and Conservation**, Ethiopia, v. 8, n. 11, p. 297-309, 2016.
- ALVES, A. A. et al. Leaf gas exchange and chlorophyll *a* fluorescence of *Eucalyptus urophylla* in response to *Puccinia psidii* infection. **Acta Physiologiae Plantarum**, Polônia, v. 33, n.5, p. 1831-1839, 2011.
- AMARAL JÚNIOR et al. Improvement of a popcorn population using selection indexes from a fourth cycle of recurrent selection program carried out in two different environments. **Genetics And Molecular Research**, São Paulo, v. 9, n. 1, p.340-347, 2010.
- ANITHA, K. R. et al. Heterosis for yield and it's components in fodder cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). **Electronic Journal of Plant Breeding**, v. 7, n. 4, p. 1208-1215, 2016.
- ANNICCHIARICO, P.; PROIETTI, S. White clover selected for enhanced competitive ability widens the compatibility with grasses and favours the optimization of legume content and forage yield in mown clover grass mixtures. **Grass and Forage Science**, v. 65, n. 3, p. 318-324, 2010.
- ANTOVA, G. A.; STOILOVA, T. D.; IVANOVA, M. M. Proximate and lipid composition of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) cultivated in Bulgaria. **Journal of Food Composition and Analysis**, Estados Unidos, v. 33, n. 2, p. 146-152, 2014.
- ARAÚJO, S. A. do C. et al. Características fotossintéticas de genótipos de capim-elefante anão (*Pennisetum purpureum* Schum.), em estresse hídrico. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Paraná, v. 32, n. 1, p. 1-7, 2010.
- ARAÚJO, S. A. do C.; DEMINICIS, B. B.; CAMPOS, P.R. S.S. Melhoramento genético de plantas forrageiras. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 37, n. 2, p. 61-76, 2008.
- ASSIS, G. M. et al. Identification of stylo lines with potential to compose mixed pastures with higher productivity. **Grass and Forage Science**, v. 73, n. 4, p. 897-906, 2018.
- ASSIS, G. M. L. et al. Seleção de genótipos de amendoim forrageiro para cobertura do solo e produção de biomassa aérea no período de estabelecimento utilizando metodologia de modelos mistos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 11, p. 1905-1911, 2008.

ASSIS, G. M. L. Melhoramento Genético de Forrageiras Tropicais: Importância e Complexidade. *In: RIVADALVE C. G.; LUIS C. DE O. (Org.). Embrapa Acre: Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento Sustentável do Sudoeste da Amazônia.* Rio Branco: Embrapa, 2009, p. 209-220.

ASSIS, G. M. L.; VALENTIM, J. F. Programa de melhoramento genético do amendoim forrageiro: avaliação agrônômica de acessos no Acre. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, Belém, v. 4, n.8, p. 207-216, 2009.

AZEVEDO NETO, A. D. et al. Fluorescência da clorofila como uma ferramenta possível para seleção de tolerância à salinidade em girassol. **Revista ciência agrônômica**, Fortaleza, v. 42, n. 4, p. 893-897, 2011.

BADAWY, A. S. M. Assessment of Fodder Cowpea (*Vigna unguiculata*, Walp) Genotypes Selected for Forage Yield. **Alexandria Journal of Agricultural Sciences**, Egito, v. 63, n.5, p. 283-291, 2018.

BAKER, N. R.; ROSENQVIST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, Inglaterra, v. 55, n. 403, p. 1607–1621, 2004.

BAPTISTA, A. et al. Characterization of protein and fat composition of seeds from common beans (*Phaseolus vulgaris* L.), cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) and bambara groundnuts (*Vigna subterranea* L. Verdc) from Mozambique. **Journal of Food Measurement and Characterization**, Estados Unidos, v. 11, n. 2, p. 442-450, 2016.

BARCELLOS, A. de O. et al. Sustentabilidade da produção baseada em pastagens consorciadas e no emprego de leguminosas exclusivas, na forma de banco de proteína, nos trópicos brasileiros. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. SPE, p. 51-67, 2008.

BASNAYAKE, J. et al. Sugarcane for water-limited environments. Variation in stomatal conductance and its genetic correlation with crop productivity. **Journal of experimental botany**, Inglaterra, v. 66, n. 13, p. 3945-3958, 2015.

BASTOS, E. A. et al. Parâmetros fisiológicos e produtividade de grãos verdes do feijão-caupi sob déficit hídrico. **Water Resources and Irrigation Management**, v.1, n.1, p.31-37, 2012.

BENIN, G. et al. Capacidade de combinação em genótipos de trigo estimada por meio de análise multivariada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, p.1145-1151, 2009.

BERTINI, C. H. C. de M. et al. Análise multivariada e índice de seleção na identificação de genótipos superiores de feijão-caupi. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Paraná, v. 32, n. 4, p.613-619, 2010.

BEVILAQUA, G. A. P. et al. **Manejo de sistemas de produção de sementes e forragem de feijão-miúdo para a agricultura familiar.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 23 p. 2007.

BEVILAQUA, G. A. P. et al. Produção de sementes e qualidade bromatológica da biomassa e fixação de nitrogênio em feijão-sopinha. **Cadernos de Agroecologia**, Porto Alegre, v.8, n. 2, 2013.

BEVILAQUA, G. A. P. et al. Sistemas ecológicos de produção de sementes e forragem de feijão-miúdo. *In: 46th Congress, 2008, Rio Branco*. Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural (SOBER), 2008.

BLANCO, F. F.; FOLEGATTI, M. V. Estimation of leaf area for greenhouse cucumber by linear measurements under salinity and grafting. **Scientia Agrícola**, v. 62, n. 4, p. 305-309, 2005.

BORGES, V. et al. Seleção de clones de batata-doce pelo procedimento REML/BLUP. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Paraná, v. 32, n. 4, p.643-649, 1 dez. 2010.

BORTOLINI, P. C.; MORAES, A. de; CARVALHO, P. C. de F. Produção de forragem e de grãos de aveia branca sob pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, n. 6, p.2192-2199, 2005.

BRITO, C. F. B. et al. Photochemical efficiency in cladodes of 'Gigante' cactus pear cultivated under different spacings and organic fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 22, n. 5, p. 338-343, 2018.

BUENO FILHO, Júlio Sílvio de Sousa. **Modelos mistos na predição de valores genéticos aditivos em testes de progênies florestais**. 1997. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CHAVES, V. V. **Trocas gasosas e fluorescência da clorofila "a" em genótipos de cana-de-açúcar infestados por cigarrinha-das-raízes *Mahanarva fimbriolata***. 2015. 33 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, UFV, Viçosa, 2015.

CONDON, A. G. et al. Improving Intrinsic Water-Use Efficiency and Crop Yield. **Crop Science**, [s; l.], v. 42, n. 1, p. 122, 2002.

CONFORTIN, A. C. C. et al. Structural and morphogenical characteristics of black oats and Italian ryegrass on pasture submitted to two grazing intensities. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, n. 11, p.2357-2365, 2010.

COOPER, J. P.; WILSON, D. Variation in photosynthetic rate in *Lolium*. *In: INTERNATIONAL GRASSLANDS CONGRESS*, 11., 1970, Surfers Paradise. **Proceedings...** Surfers Paradise: University of Queensland Press, 1970. p. 522-527.

COSTA, N. de L. et al. **Fisiologia e manejo de plantas forrageiras**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2004. 32 p. (Documentos, 85).

COULIBALY, S. et al. Analysis of the phenetic organization and genetic diversity of *Vigna unguiculata* L. Walp. reveals extensive gene flow between wild and domesticated types. **Theoretical and Applied Genetics**, Alemanha, v. 104, n. 2, p. 358-366, 2002.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P.C.; REGAZZI, A. D. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa, MG: UFV, 2014.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2012. 514p.

DAVIDSON, J. L.; MILTHORPE, F. L. The effect of defoliation on the carbon balance in *Dactylis glomerata*. **Annals of Botany**, Reino Unido, v.30, n.118, p.185-198, 1966.

DIAS, F. T. C. **Utilização de técnicas multivariadas e moleculares na caracterização e seleção de genótipos de feijão-caupi de porte ereto e ciclo precoce**. 2009. 99 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Área de Concentração em Fitotecnia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

DOMICIANO, G. P. et al. Parâmetros genéticos e diversidade em progênies de Macaúba com base em características morfológicas e fisiológicas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 9, p. 1599-1605, 2015.

DOVALE, J. C.; BERTINI, C.; BROÉM, A. **Feijão-caupi: do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2017.

DOVALE, J. C.; FRITSCHÉ-NETO, R.; SILVA, P. S. L. Índice de seleção para cultivares de milho com dupla aptidão: minimilho e milho verde. **Bragantia**, São Paulo, v. 70, n. 4, p.781-787, 2011.

DOVALLE, C. B.; SIMIONI, C. Melhoramento genético da Braquiária. In. RESENDE, R. M. S.; DO VALLE, C. B.; JANK, L. **Melhoramento de forrageiras tropicais**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, p. 13-53. 2008.

DUTRA, A. F. et al. Parâmetros fisiológicos e componentes de produção de feijão-caupi cultivado sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Brasil, v. 10, n. 2, p.189-197, 2015.

EHLERS, J. D.; HALL, A. E. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). **Field crops research**, Holanda, v. 53, n. 1, p. 187-204, 1997.

ETANA, A. et. al. Advanced evaluation of cowpea (*Vigna unguiculata*) accessions for fodder production in the central rift valley of Ethiopia. **Journal of Agricultural Extension and Rural Development**, Nigéria, v. 5, n. 3, p. 55-61, 2013.

EVANS, G. C. **The quantitative analysis of plant growth**. Oxford: Blackwell, 1972.

FAGUNDES, L.J. et al. Índice de área foliar, densidade de perfilho e acúmulo de forragem em pastagem de capim-braquiária adubada com nitrogênio. **Bol Ind Anim**, v.62, p. 125-133, 2005.

- FALQUETO, A. R. et al. Características da Fluorescência da Clorofila em Cultivares de Arroz Com Ciclo Precoce , Médio e Tardio. **Revista Brasileira de Biociências**. Porto Alegre v. 5, n. 2, p. 579–581, 2007.
- FERNANDES, F. B. P. et al. Effect of soil management on water deficit, gas exchange and cowpea yield in the semi-arid region. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 46, n. 3, p. 506-515, 2015.
- FERNANDES, F. D. et al. Forage yield and nutritive value of *Arachis* spp. genotypes in the Brazilian savanna. **Tropical Grasslands**, Cali, v. 5, n. 1, p. 19-28, 2017.
- FERREIRA, A. et al. Seleção simultânea de *Coffea canephora* por meio da combinação de análise de fatores e índices de seleção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 12, p.1189-1195, 2005.
- FONTANELI, R. S. et al. **Sistema de produção de grãos com pastagens anuais de inverno, sob plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 84 p. 2000. (Circular Técnica, 6).
- FRAGA, A. B. et al. Multivariate analysis to evaluate genetic groups and production traits of crossbred Holstein × Zebu cows. **Trop Anim Health Production**, [s. l.], v. 8, n. 3, p. 533-538, 2016.
- FREIRE FILHO, F. F. et al. **Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 84 p. 2011.
- FREITAS, I. L. de J. et al. Ganho genético avaliado com índices de seleção e com REML/Blup em milho-pipoca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 11, p.1464-1471, 2013.
- FURTADO, G. F. et al. Alterações fisiológicas em feijão-Caupi irrigado com água salina e adubação nitrogenada. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.8, p.175-181, 2013.
- GALON, L. et al. Influence of biotic and abiotic stress factors on physiological traits of sugarcane varieties. *In*: DUBINSKY, Z. (Ed.). **Photosynthesis**. Rijeka: In Tech. p. 185-208, 2013.
- GARBUGLIO, D. D. et al. Análise de fatores e regressão bissegmentada em estudos de estratificação ambiental e adaptabilidade em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n. 2, p.183-191, 2007.
- GENTY, B.; BRIANTAIS, J. M.; BAKER, N. R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects**, Holanda, v. 990, n.1, p. 87-92, 1989.
- GERRANO, A. S. et al. Genetic variability in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) genotypes. **South African Journal of Plant and Soil**, Reino Unido, v. 32, n. 3, p. 165-174, 2015.

- GOMIDE, C. A. M., GOMIDE, J. A.; MARTINEZ, C.A. Fotossíntese, reservas orgânicas e rebrota do capim-mobaça (*Panicum maximum*, Jacq.) sob diferentes intensidades de desfolha do perfilho principal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, 31, p.2165-2175, 2002.
- GRANATE, M. J. et al. A análise de fatores na predição de ganhos por seleção em milho (*Zea mays* L.). **Acta Scientiarum Agronomy**, Paraná, v.23, p.1271-1279, 2001.
- GRANATO, I. S. C. et al. Effects of using phenotypic means and genotypic values in GGE biplot analyses on genotype by environment studies on tropical maize (*Zea mays*). **Genetics and Molecular Research**, v. 15, p. 1-11, 2016.
- GRANATO, I. S. C. et al. Index selection of tropical maize genotypes for nitrogen use efficiency. **Bragantia**, São Paulo, v. 73, p. 153-159, 2014.
- GRATANI, L. Plant phenotypic plasticity in response to environmental factors. **Advances in botany**, v. 2014, 2014.
- HAZEL, L. H. The genetic basis for constructing selection indexes. **Genetics**, v.28, p.476-490, 1943.
- HAZRATI, S., TAHMASEBI-SARVESTANI, Z., MODARRES-SANAVY, S. A. M., MOKHTASSI-BIDGOLI, A., & NICOLA, S. Effects of water stress and light intensity on chlorophyll fluorescence parameters and pigments of *Aloe vera* L. **Plant Physiology and Biochemistry**, 106, 141-148., 2016.
- HEUZÉ, V. et al. **Forragem de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*)** . Feedipedia, um programa do INRAE, CIRAD, AFZ e FAO. Disponível em <<https://www.feedipedia.org/node/233>> . Acessado em: 20 de maio de 2021.
- HONGYU, K. Análise Fatorial Exploratória: resumo teórico, aplicação e interpretação. **E&S Engineering and Science**, v. 7, n. 4, p. 88-103, 2018.
- HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; OLIVEIRA JUNIOR, G. J. de. Análise de Componentes Principais: Resumo Teórico, Aplicação e Interpretação. **E&S Engineering And Science**, [s.l.], v. 5, n. 1, p.83-90, 29 jun. 2016.
- ISLAM, S.; CARMEN, R. C.; GARNER, S. O. Screening for tolerance of stress temperature during germination of twenty five cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) cultivars. **Journal of Food Agriculture and Environment**, Finlândia, v. 4, n. 2, p. 191, 2006.
- JACKSON, P. et al. Genetic variation in transpiration efficiency and relationships between whole plant and leaf gas exchange measurements in *Saccharum* spp. and related germplasm. **Journal of experimental botany**, Inglaterra, v. 67, n. 3, p. 861-871, 2016.
- KANDIL, A. A.; SHAREIF, A. E.; GAD, M. A. Effect of salinity on germination and seeding parameters of forage cowpea seed. Res. **J. Seed Sci**, v. 10, p. 17-26, 2017.

KATSANDE, S. et al. Apparent digestibility and microbial protein yield of *Desmodium uncinatum*, *Mucuna pruriens* and *Vigna unguiculata* forage legumes in goats. **African Journal of Range & Forage Science**, África, v. 33, n. 1, p. 53-58, 2016.

KIRCH, J. L. et al. Aplicação da Análise de Componentes Principais e de Agrupamento para os Indicadores de Desempenho das Universidades Federais do Brasil. **Sigmae**, Alfenas, v. 8, n. 2, p. 55-66, 2019.

KUMAR, S.; PHOGAT, D.; BHUSAL, N. Characterization of elite forage cowpea genotypes for various DUS traits. **Forage Fes**, v. 40, p. 232-236, 2015.

LAL, C. et al. Gene action for surrogate traits of water-use efficiency and harvest index in peanut (*Arachis hypogaea*). **Annals of applied biology**, v. 148, n. 2, p. 165-172, 2006.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2006.

LIMA, G. S. de et al. Eficiência fotoquímica, partição de fotoassimilados e produção do algodoeiro sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 42, n. 1, p. 211-220, 2019.

LIRA, M. de A. et al. Animal production in tropical pastures of Latin America. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**, v. 25, n. 1-2, 2017.

LONG, S. P.; BERNACCHI, C. J. Gas exchange measurements, what can they tell us about the underlying limitations to photosynthesis? Procedures and sources of error. **Journal of Experimental Botany**, Inglaterra, v.54, n. 392, p. 2393–2401, 2003.

LOPES, M. N. **Trocas gasosas e morfofisiologia em capim-massai sob pastejo e adubado com nitrogênio**. 2012. 118 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

LOPES, M. N. et al. Gas exchange in massai grass under five nitrogen fertilization levels during establishment and regrowth. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 40, n. 9, p. 1862-1869, 2011.

LOPES, N. F. **Fisiologia da Produção**. Viçosa: UFV, 2015.

LUCENA, R. R. M. et al. Medição de área foliar de aceroleira. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 2, p. 40-45, 2011.

MALARVIZHI, D. et al. Genetic variability studies in fodder cowpea (*vigna unguiculata* l. Walp). **Legume Research - An International Journal**, Vamban, v. 28, n. 1, p. 52-54, 2005.

MALAVASI, U. C.; MALAVAS, M. M. Quantifying abiotic stress of plants - advantages and disadvantages of chlorophyll fluorescence / Quantificação do estresse abiótico em plantas - vantagens e desvantagens da fluorescência da clorofila. **Ambiência**, Paraná, v. 9, p. 421-432, 2013.

MARANHÃO, T. D. **Trocas gasosas, índices de crescimento e composição morfológica de híbridos de sorgo em sequeiro sob frequências de pastejo com ovinos.** 2019. 52 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence - a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, Inglaterra, v.51, n. 345, p. 659–668, 2000.

MENDONÇA, O. et al. Análise de Fatores e estratificação ambiental na avaliação da adaptabilidade de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 11, p. 69-74, 1567-1575, 2007.

MIQUELONI, D. P. About the use of Longitudinal data Analysis in Forage Legumes Breeding: A Review. **International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology**, v. 4, n. 4, 2019.

MONTEIRO, A. L. G.; CORSI, M.; CARVALHO, D. D. de. Frequências de corte e intensidades de desfolha em duas cultivares de alfafa (*Medicago sativa*, L). 1. peso, número, produção estacional e dinâmica de aparecimento das brotações basilares. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 28, n. 3, p.446-452, 1999.

MORAIS, R. R.; FONTES, J. R. A.; GONÇALVES, J. R. P. **Estimativa dos Teores de Nutrientes Foliares em Feijão-Caupi Utilizando Clorofilômetro.** Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 8 p. 2013 (Comunicado Técnico).

MUHAMMAD, A. et al. Characterization and fodder production potential of local cowpea germplasm. **ARPN Journal of Agricultural and Biological Science**, Paquistão, v. 5. n. 6. p. 47-49, 2010.

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

NASCIMENTO, M. et al. Alteração no método de centroide de avaliação da adaptabilidade genotípica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 44, n. 3, p. 263-269, 2009.

NAVASELVAKKUMARAN, T. et al. Studies on interrelationship and path coefficient analysis of fodder yield and yield component traits in fodder cowpea (*Vigna unguiculata* L.Walp). **Electronic Journal of Plant Breeding**, Indian, v. 10, n. 2, p. 720-726, 2019.

NEPOMUCENO, D. D. et al. Medidas lineares na estimativa da área foliar de leguminosas forrageiras tropicais. **Global Science and Technology**, v. 06, n. 1, p. 63-71, 2013.

NEVES, A. L. R. et al. Trocas gasosas e teores de minerais no feijão-de-corda irrigado com água salina em diferentes estádios. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.873- 881, 2009.

NOUBISSIÉ, J. T. et al. Genetic Architecture of Some Leaf Yield and Quality Attributes in Dual-purpose Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). **American Journal of Experimental Agriculture**, [s.l.], v.1, n. 4, p. 400-413, 2011.

OLAYIWOLA, M. O.; SOREMI, P. A. S. Variability for dry fodder yield and component traits in cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp]. **Electronic Journal of Plant Breeding, Indian**, v. 5, n.1, p. 58-62, 2014.

OLIVEIRA, D. G. **Seleção simultânea para produção, biofortificação e culinária em populações segregantes de feijão-caupi**. 2014. 72 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento: Área de Concentração em Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2014.

OLIVEIRA, D.G. et al. Genotypic gain with simultaneous selection of production, nutrition, and culinary traits in cowpea crosses and backcrosses using mixed models. **Genetics And Molecular Research**, São Paulo, v. 16, n. 3, p.1-11, 2017.

OLIVEIRA, ODILUZA MARIA SALDANHA DE et al. **Capacidade competitiva de cultivares de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) combinada com espaçamento na supressão de plantas daninhas** / Odiluz Maria Saldanha de Oliveira. – Manaus, 2014. 70f. Tese (doutorado em Agronomia Tropical) – Universidade Federal do Amazonas, 2014.

OLIVEIRA, W. J. de et al. Fluorescência da clorofila como indicador de estresse salino em feijão caupi. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Brasil, v. 12, n. 3, p.2592-2603, 2018.

PADULOSI, S.; N. G, N. Q. Origin, taxonomy, and morphology of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. *In*: SINGH, B. B. (Ed.) **Advances in cowpea research**, Nigeria: PMB, 1997. p. 1-12.

PARRY, M. A. J.; FLEXAS, J.; MEDRANO, H. Prospects for crop production under drought: research priorities and future directions. **Annals of Applied Biology**, [s. l.], v. 147, n. 3, p. 211-226, 2005.

PEREIRA, A. V. et al. **Melhoramento de forrageiras tropicais**. *In*: NASS, L.L. et al. (Eds.). Recursos genéticos e melhoramento-plantas. plantas. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 549-602.

PIMENTEL, R. M. et al. Ecofisiologia de plantas forrageiras. **Pubvet**, Londrina, v. 10, n. 9, p. 666-679, 2016.

POMPEU, R. C. F. F. et al. Características morfofisiológicas do capim-aruaana sob diferentes doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Brasil, v. 11, n. 4, p. 1187-1210, 2010.

PORQUEDDU, C. et al. Strategies to mitigate seasonality of production in grassland-based systems. **Grassland: a global resource**, p. 111-22, 2005.

POTTORFF, M. et al. Leaf morphology in Cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp]: QTL analysis, physical mapping and identifying a candidate gene using synteny with model legume species. **BMC genomics**, Londres, v. 13, n. 1, p. 234, 2012.

PRAZERES, S. S. et al. Crescimento e trocas gasosas de plantas de feijão-caupi sob irrigação salina e doses de potássio. **Revista Agro@ambiente On-line**, Boa Vista, v. 9, n. 2, p.111-118, 2015.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing; 2015. Disponível em: <http://www.Rproject.org/>. Acesso em: 20 ago. 2019

RATHORE, D. K. et al. Phosphorus and zinc fertilization in fodder cowpea-A review. **Agricultural Reviews**, Indian, v. 36, n. 4, 2015.

REIS, F. O.; CAMPOSTRINI, E. Microaspersão de água sobre a copa: um estudo relacionado às trocas gasosas e à eficiência fotoquímica em plantas de mamoeiro. **Revista brasileira de agrociência**, Pernambuco, v. 17, n. 3, p. 284-295, 2011.

RESENDE, M. D. V. de. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p. 975. 2002.

RESENDE, M. D. V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 362 p. 2007

RESENDE, M. D.V. de; STURION, J.A. **Análise genética de dados com dependência espacial e temporal no melhoramento de plantas perenes via modelos geoestatísticos e de séries temporais empregando REML/BLUP ao nível individual**. Colombo: Embrapa Florestas, 80p. 2001. (Documentos, 65).

RESENDE, R. M. S. et al. Melhoramento de Leguminosas Forrageiras Tropicais. *In*: RESENDE, R. M. S.; JANK, L.; VALLE, C. B. (Org.). **Melhoramento de forrageiras tropicais**. Campo Grande: Editora Embrapa, 2008, p. 117-159.

RIBEIRO, J. Z.; ALMEIDA, M. I. M. Estratificação ambiental pela análise da interação genótipo x ambiente em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, p. 875-883, 2011.

RODRIGUES, B. H. N. et al. **Produtividade de feijão-caupi 'BRS imponente' cultivado em plantio direto, em diferentes regimes hídricos no semiárido piauiense**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 11 p. 2018 (COMUNICADO TÉCNICO).

RODRIGUES, L. R. A.; RODRIGUES, T. J. D. Ecofisiologia de plantas forrageiras. *In*: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p. 203-230.

- RODRIGUES, W.p. *et al.* Adaptability and genotypic stability of *Coffea arabica* genotypes based on REML/BLUP analysis in Rio de Janeiro State, Brazil. **Genetics And Molecular Research**, São Paulo, v. 12, n. 3, p.2391-2399, 2013.
- ROMO-CAMPOS, R. *et al.* Factores abióticos involucrados en la facilitación entre leñosas y suculentas en el Altiplano Mexicano. **Botanical Sciences**, México, v. 91, n. 3, p. 319-333, 2013.
- ROSADO, A. M.; ROSADO, T. B.; ALVES, A. A.; LAVIOLA, B. G.; BHERING, L. L. Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade, estabilidade e adaptabilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 7, p. 966-973, 2012.
- ROUSSEAU, C. *et al.* High throughput quantitative phenotyping of plant resistance using chlorophyll fluorescence image analysis. **Plant Methods**, Inglaterra, v. 9, n. 17, 2013.
- SANTOS, C. A. F.; ARAÚJO, F. P. Aplicação de índices para seleção de caracteres agronômicos de feijão-de-corda. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 32, n. 1/2, p. 78-84, 2001.
- SANTOS, C. F. dos. **Uso de diferentes metodologias estatísticas no melhoramento do amendoim forrageiro**. 2014. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2014.
- SALMAN, A. K.; OSMARI, E. K.; DOS SANTOS, M. G. R. Manual prático para formulação de ração para vacas leiteiras (2ª edição). Porto Velho: **CLP Embrapa Rondônia**, 2011 (Publicações Técnico-Científicas).
- SBRISSIA, A. F.; DA SILVA, S. C.; NASCIMENTO-JUNIOR, D. **Ecofisiologia de plantas forrageiras e o manejo do pastejo**. In: PEDREIRA, C. G. S. *et al.* (Orgs.). Produção de ruminantes em pastagens. Piracicaba: FEALQ, 2007. p. 153-176.
- SCHREIBER, U. *et al.* In: **Photosynthesis: a comprehensive treatise**. (ed.) Raghavendra, A. S. Cambridge University Press, Cambridge, 1998. 320.
- SCHMILDT, E. R. *et al.* Allometric model for estimating leaf area in clonal varieties of coffee (*Coffea canephora*). **Revista Ciência Agrônômica**, v. 46, n. 4, p. 740-748, 2015.
- SHELTON, H.M.; FRANZEL, S.; PETERS, M. Adoption of tropical legume technology around the world: analysis of success. **Grassland: A Global Resource.** (Ed. DA Galloway.), Wageningen, Academic Press. p. 149-166, 2005.
- SILVA, A. C. da *et al.* Diagnóstico da produção de feijão-caupi no nordeste brasileiro. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 16, n. 2, 2018.
- SILVA, A. *et al.* Crescimento e trocas gasosas de genótipos de feijão-caupi sob estratégias de cultivo. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 11, n. 3, p. 745-758, 2016.

- SILVA, B. do N. et al. Traditional Varieties of Caupi Submitted to Water Deficit: Physiological and Biochemical Aspects. **Journal of Agricultural Science**, Canadá, v. 11, n. 6, p. 424, 2019.
- SILVA, C. D. S. et al. Curso diário das trocas gasosas em plantas de feijão-caupi submetidas a deficiência hídrica. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 4, p.7-13, 2010.
- SILVA, F. L. S. **Efeitos de estresses bióticos sobre os parâmetros ecofisiológicos e componentes de produção de quatro variedades de cana-de-açúcar**. 2015. 69 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Biodiversidade) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2015.
- SILVA, I. A. C.; NASCIMENTO, R. Influência da salinidade no índice spad em genótipos de feijão caupi. *In*: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA, PALMAS, 2019. **Anais...** Palmas: CONTEC, 2019. p.1-62.
- SILVA, J. D. L. da et al. Selection for the development of black eye cowpea lines. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 1, p.72-79, 2018.
- SILVA, J. D. L. da. **Seleção simultânea para desenvolvimento de linhagens de feijão caupi de porte ereto e do tipo fradinho**. 2014. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2014.
- SILVA, J. de S. **Estresse hídrico em variedades tradicionais de feijão-caupi: estratégias fisiológicas e bioquímicas para tolerância ao déficit hídrico**. 2019. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Agronomia - Fitotecnia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.
- SILVA, M. M. P. da et al. Eficiência fotoquímica de gramíneas forrageiras tropicais submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 1, p.67-74, fev. 2006.
- SILVA, S. C. da.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. do. **Ecofisiologia de plantas forrageiras**. *In*: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 3., 2006, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: UFV, 2006, p. 1-42.
- SILVA, S. C. da; PEDREIRA, C. G. S. Princípios de ecologia aplicados ao manejo da pastagem. *In*: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMA DE PASTAGENS, 3., 1997, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FUNEP, 1997. p.1-62.
- SIMEÃO, R. M. et al. Forage peanut (*Arachis spp.*) genetic evaluation and selection. **Grass and Forage Science**, Oxford, v. 72, n. 2, p. 322-332, 2017.
- SINCLAIR, T. R. Is transpiration efficiency a viable plant trait in breeding for crop improvement? **Functional Plant Biology**, Austrália, v. 39, n. 5, p. 359-365, 2012.

SINGH, B. B. Cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. **Genetic resources, chromosome engineering and crop improvement**, v. 1, p. 117-162, 2005.

SINGH, B. B. et al. Improving the production and utilization of cowpea as food and fodder. **Field Crops Research**, Holanda, v. 84, n. 1, p. 169-177, 2003.

SINGH, B. B.; CHAMBLISS, O. L.; SHARMA, B. Recent advances in cowpea. *In*: SINGH B. B. et al. (Eds.). **Advances in cowpea research**. Co-publication of International Institute of Tropical Agriculture (IITA) and Japan International Research Center for Agricultural Sciences (JIRCAS), Ibadan, Nigeria. p. 30-49. 1997.

SINGH, B. B.; EMECHEBE, A. M. Advances in research on cowpea Striga and Alectra. *In*: SINGH B. B. et al. (Eds.). **Advances in cowpea research**. International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Nigeria, p. 215-224, 1997.

SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. **Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**, Nova Deli, v. 41, p. 237-245, 1981.

SINGH, S. K.; REDDY, K. R. Regulation of photosynthesis, fluorescence, stomatal conductance and water-use efficiency of cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) under drought. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, [s. l.], v. 105, n. 1, p. 40-50, 2011.

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

SONGSRI, P. et al. Association of root, specific leaf area and SPAD chlorophyll meter reading to water use efficiency of peanut under different available soil water. **Agricultural water management**, v. 96, n. 5, p. 790-798, 2009.

SOUZA, J. T. A. et al. Rendimento quântico e eficiência de uso da água de genótipos de palma forrageira no Semiárido brasileiro. **Archivos de Zootecnia**, Espanha, v. 68, n. 262, p. 268-273, 2019.

SOUZA, M. de SÁ et al. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de pastagens tropicais. **PUBVET**, v. 12, p. 172, 2018.

SOUZA, N. C. dos S. de. **A difusão e assimilação de CO₂ em folhas C4 (*Saccharum spp.* e *Sorghum bicolor*) e suas relações com o nitrogênio foliar e o deficit hídrico**. 2016. 95 f. Tese (Doutorado) - Curso de Fisiologia e Bioquímica de Plantas, USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2016.

SOUZA, R. P. et al. Fotossíntese e acúmulo de solutos em feijoeiro caupi submetido à salinidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.586-592, 2011.

SOUZA, R. P. et al. Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and some associated metabolic changes in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. **Environmental And Experimental Botany**, [s.l.], v. 51, n. 1, p.45-56, 2004.

- SOUZA, T. M. A. et al. Crescimento e trocas gasosas do feijão caupi cv. Brs pujante sob níveis de água disponível no solo e cobertura morta. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 4, p.796-805, 2016.
- STRIEDER, M. L. et al. Características de dossel e rendimento de milho em diferentes espaçamentos e sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.3, p.309-317, 2008.
- SUBANDI, W.; COMPTON, A.; EMPIG, L. T. Comparison of the efficiencies of selection indices for three traits in two variety crosses of com. **Crop Science**, Madison, v. 13, n. 2, p. 184-186, 1973.
- SUMMERFIELD, R. J. et al. The physiology cowpea. In: SINGH,S.R.; RACHIE, K.O. (Eds.). **Cowpea research, production and utilization**. Chichester: John Wiley, 1985. p. 66-101.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Editora Artmed, 2017. 888p.
- TERRA, A. B. C. et al. Leguminosas forrageiras na produção animal no Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 2, p. 305-313, 2019.
- TIMKO, M. P.; EHLERS, J. D.; ROBERTS, P. A. Cowpea. **Pulses, sugar and tuber crops**, Estados Unidos, v. 3, p. 49-67, 2007.
- TIMKO, M. P.; SINGH, B.B. Cowpea, a multifunctional legume. In: MOORE, P.H.; MING, R. (Ed.). **Genomics of tropical crop plants**. New York: Springer, 2008. p.227-258.
- TORRES, M. H. R. M. **Progresso genético com base na seleção simultânea de caracteres em linhagens elite de feijão-caupi**. 2015. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2015.
- VALENZUELA, H.; SMITH, J. Cowpea. In: **Sustainable Agriculture Green Manure Crops**. Cooperative Extension Service, College of Tropical Agriculture & Human e sources, University of Hawai'I Mānoa. SA-GM-6, p. 1-3, 2002.
- VALLE, C. B. D. O.; JANK, L.; RESENDE, R. M. S. O melhoramento de forrageiras tropicais no Brasil. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 56, n. 4, p. 460-472, 2009.
- VIDOR, M. A.; JACQUES, A. V. Comportamento de uma Pastagem Sobressemeada com Leguminosas de Estação Fria e Avaliada sob Condições de Corte e Pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 27, n. 2, p.267-271, 1988.
- VILARINHO, Aloisio Alcantara *et al.* Eficiência da seleção de progênies S1 e S2 de milho-pipoca, visando à produção de linhagens. **Bragantia**, São Paulo, v. 62, n. 1, p.9-17, 2003.

- VIR, O.; SINGH, A. K. Genetic variability and inter-characters associations studies in the germplasm of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) walp] in fragile climate of western Rajasthan, India. **Legume Research-An International Journal**, India, v. 37, n. 2, p. 126-132, 2014.
- VOLENEC, J. J., OURRY, A.; JOERN, B. C. A role for nitrogen reserves in forage regrowth and stress tolerance. **Physiologia Plantarum**, Reino Unido, v. 97, 185-193, 1996.
- WILLIAMS, J. S. The evaluation of a selection index. **Biometrics**, [s. l.], v. 18, p. 375-393, 1962.
- WOLEDGE, J. The effect of light intensity during growth on the subsequent rate of photosynthesis of leaves of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb). **Annals of Botany**, Reino Unido, v. 35, n. 2, p. 311-322, 1971.
- WORKU, M. et al. Effect of cowpea (*Vigna unguiculata*) pasture grazing on growth, gastrointestinal parasite infection and immune response biomarkers of goat. **J Agric Sci**, v. 10, n. 1, p. 27-37, 2018.
- XIONG, H. et al. Genetic diversity and population structure of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). **PloS one**, Estados Unidos, v. 11, n. 8, p. 1-15, 2016.
- YUSUF, M. A. et al. Overexpression of γ -tocopherol methyl transferase gene in transgenic *Brassica juncea* plants alleviates abiotic stress: Physiological and chlorophyll a fluorescence measurements. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Bioenergética**, Holanda, v. 1797, n. 8, p. 1428- 1438, 2010.
- ZANCHI, F. B. et al. Estimativa do Índice de Área Foliar (IAF) e Biomassa em pastagem no estado de Rondônia, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 2, p. 335-347, 2009.

APÊNDICE A- CARGAS CANÔNICAS DAS VARIÁVEIS PADRONIZADAS .

Com as seguintes variáveis respectivamente, índice relativo de clorofila (IRC), dissipação não-fotoquímica (qN), dissipação-fotoquímica (qP), altura do dossel (AD), fluorescência inicial (Fo) e índice de área foliar (IAF).

Cargas canônicas das variáveis padronizadas						
Fator 1	0,39172	0,103365	0,377212	0,399556	0,031915	-0,030602
Fator 2	-0,07025	0,066169	-0,08169	0,191538	0,661189	0,497891
Fator 3	0,157902	0,904798	-0,0514	0,074697	0,264551	-0,279288

Fonte: elaborada pelo autor

APÊNDICE B- VALORES DE BLUEs ESTIMADOS PARA OS CARACTERES SELECIONADOS PARA COMPOSIÇÃO DO ÍNDICE DE SELEÇÃO COM RESPECTIVO PESO FINAL DE CADA GENÓTIPO.

Genótipos	BLUEs							Scores
	Fo*	IRC	qN*	qP	AD	IAF*	BFT*	IR
CNCx658-35E ¹	122,70	36,99	0,89	1,00	62,25	4,17	1.073,03	41,60
Tvu 2455-P2 ¹	135,59	39,48	0,84	0,95	60,17	3,15	1.532,19	40,23
Tvu 2430-P1 ¹	129,82	42,58	0,79	0,83	57,84	3,40	1.065,95	38,69
CNCx 333-33E ¹	123,51	38,50	0,81	0,85	55,34	4,10	1.146,91	37,01
TVu 2331 X Seridó ¹	112,99	51,32	0,69	0,65	55,19	2,15	1.267,80	36,95
Tvu 942 ¹	154,58	43,05	0,83	0,88	54,30	3,52	791,55	36,36
Setentão	139,33	48,65	0,79	0,87	53,32	3,01	1.223,68	35,74
Seleção de Isabel-1	129,15	43,45	0,80	0,78	52,40	2,43	1.167,17	35,09
Pingo de ouro	122,23	40,93	0,77	0,77	52,40	1,79	1.283,53	35,06
Tvu 1029	116,99	40,08	0,85	0,84	51,71	3,82	1.168,65	34,62
Costa Rica V-9	136,52	49,08	0,90	0,89	51,36	1,32	1.006,04	34,46
Tvu 1015	130,68	39,18	0,88	0,90	51,26	3,18	835,38	34,32
CNCx 535-05F	127,05	41,08	0,87	0,92	50,99	4,16	1.134,47	34,16
Tvu 401	129,21	44,93	0,83	0,82	49,49	2,08	846,25	33,18
Tvu 1194	143,09	39,62	0,83	0,91	48,92	3,05	1.032,82	32,78
L-1101	144,38	49,52	0,81	0,90	48,72	2,01	1.272,92	32,71
TVu 2331 X Seridó	132,35	40,65	0,82	0,90	48,56	3,20	1.485,49	32,55
BR-17 Gurguéia	132,19	43,19	0,81	0,81	48,53	5,17	1.099,63	32,53
Tvu 801	129,22	41,64	0,79	0,79	47,97	2,30	918,61	32,14
CNCx 180-3F	138,45	52,11	0,82	0,69	45,66	1,72	978,55	30,66
Tvu 356	122,57	44,91	0,81	0,87	45,20	1,60	1.009,84	30,35
BRS Tumucumaque	122,82	48,04	0,75	0,76	45,15	1,10	905,62	30,31
Epace-10	127,07	44,23	0,80	0,70	44,95	2,84	1.152,40	30,15
Marataoã	127,15	53,51	0,75	0,78	44,73	3,03	896,36	30,08
Tvu 857	131,30	46,10	0,84	0,87	44,71	2,78	1.185,19	30,03
Pitiúba x TVu 59	151,81	47,02	0,86	0,78	44,16	0,93	838,79	29,66
Seleção de Roxão	124,95	47,30	0,78	0,81	43,62	3,16	877,76	29,31
Inhumã	115,94	43,04	0,70	0,77	43,65	0,11	1.086,98	29,29
V-11-Rubi	168,96	38,48	0,91	0,99	42,95	2,52	1.934,22	28,84
Tvu 793	128,71	46,70	0,89	0,87	42,51	2,34	1.000,46	28,58
Tvu 1565	112,06	41,99	0,86	0,84	41,53	4,80	1.131,96	27,90
CNCx 284-66E	150,52	41,94	0,93	1,00	41,32	1,11	1.076,63	27,79
Das Almas	134,61	40,63	0,84	0,87	40,90	2,55	1.470,70	27,48
BRS Rouxinol	129,53	39,18	0,86	0,89	40,21	3,24	707,84	27,01
Tvu 707	139,38	48,35	0,85	0,89	39,79	1,69	1.109,04	26,80
CNCx 167-18F	139,70	40,55	0,85	0,86	39,77	1,83	1.327,55	26,73
Jaguaribe	143,96	46,73	0,84	0,91	39,40	4,44	1.539,47	26,53
Vinagre-2	173,34	43,08	0,90	0,90	39,18	2,33	981,84	26,36
Sem nomenclatura	132,72	38,13	0,86	0,92	39,12	1,73	1.094,25	26,30
Tvu 1016-1	121,17	44,65	0,87	0,88	38,12	2,63	884,34	25,67
Pitiúba x Tvu 59	133,47	41,92	0,83	0,78	38,01	2,63	1.244,01	25,56
Feijão da Igreja-2	146,94	37,10	0,87	0,92	38,01	2,34	964,07	25,55
TVu 2331 X Pitiúba	127,78	49,88	0,79	0,58	37,83	3,39	1.457,71	25,45
Africano-1	155,37	44,10	0,92	0,99	37,27	1,67	1.302,37	25,13
Tvu 1423-P1	136,75	46,15	0,85	0,87	36,87	4,39	1.251,85	24,85
Pitiúba	126,53	34,55	0,82	0,72	36,71	3,79	1.296,65	24,64
Seridó	151,54	42,60	0,88	0,93	36,43	2,40	1.143,30	24,54
Tvu 853	119,11	45,69	0,87	0,87	35,98	2,31	1.236,23	24,26
CNCx 252-9E	119,79	44,48	0,83	0,76	34,93	0,62	1.318,57	23,53
Tvu 662	138,74	36,48	0,86	0,90	34,88	1,85	1.094,36	23,48
CNCx 249-4F	119,88	45,20	0,79	0,77	34,73	2,91	984,55	23,41

BRS Juruá	171,77	43,64	0,96	1,00	34,63	0,73	1.077,05	23,38
TE93-244-23F	131,43	45,98	0,83	0,88	34,63	1,99	919,07	23,37
Sempre Verde	131,55	44,08	0,89	0,90	33,74	2,75	1.145,31	22,77
Tvu 4388	131,60	39,70	0,86	0,93	33,34	2,15	952,01	22,48
7917-Dixie hee	139,76	45,74	0,83	0,75	32,46	1,36	1.122,82	21,91
Quarenta Dias-1	131,88	36,08	0,82	0,70	31,72	1,39	1.106,41	21,34
Cinzento	109,79	45,44	0,81	0,69	29,31	2,22	1.175,26	19,81
Hagreen-66	127,75	34,24	0,78	0,65	28,86	1,91	1.160,80	19,43
Mamoninha	199,71	36,04	0,94	1,00	28,22	4,31	1.147,29	19,09
Baio	129,24	49,19	0,78	0,76	27,29	2,77	1.040,31	18,51
Amendoim	115,04	43,09	0,80	0,76	25,02	1,89	1.079,30	16,98
421-07-44	153,75	49,49	0,96	1,00	23,89	1,96	1.235,76	16,31
BRS Aracê	119,78	43,69	0,80	0,68	23,43	0,37	1.094,96	15,91

* Não compôs o índice, apenas a simulação

Fonte: elaborada pelo autor