

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA**  
**PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - MELHORAMENTO GENÉTICO DE**  
**PLANTAS**

**SÉRGIO ROGÉRIO ALVES DE SANTANA**

**MELHORAMENTO DO FEIJÃO-CAUPI PARA GRÃOS VERDES**  
**VISANDO RESISTÊNCIA AOS VÍRUS DO MOSAICO SEVERO DO**  
**CAUPI E DO MOSAICO DO CAUPI TRANSMITIDO POR AFÍDEOS**

**RECIFE, PE**

**2021**

**SÉRGIO ROGÉRIO ALVES DE SANTANA**

**MELHORAMENTO DO FEIJÃO-CAUPI PARA GRÃOS VERDES  
VISANDO RESISTÊNCIA AOS VÍRUS DO MOSAICO SEVERO DO  
CAUPI E DO MOSAICO DO CAUPI TRANSMITIDO POR AFÍDEOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Melhoramento Genético de Plantas da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia - Melhoramento Genético de Plantas.

**COMITÊ DE ORIENTAÇÃO:**

Prof. Dr. José Luiz Sandes de Carvalho Filho - Orientador - DEPA/UFRPE

Dr. Antônio Félix da Costa - Coorientador - IPA

Prof<sup>a</sup>. Dra. Rejane Rodrigues da Costa e Carvalho - Coorientadora - DEPA/UFRPE

**RECIFE, PE**

**2021**

**SÉRGIO ROGÉRIO ALVES DE SANTANA**

**MELHORAMENTO DO FEIJÃO-CAUPI PARA GRÃOS VERDES VISANDO  
RESISTÊNCIA AOS VÍRUS DO MOSAICO SEVERO DO CAUPI E DO MOSAICO  
DO CAUPI TRANSMITIDO POR AFÍDEOS**

Tese defendida e aprovada pela banca examinadora em: 17/11/2021

**ORIENTADOR:**

---

Prof. Dr. José Luiz Sandes de Carvalho Filho (DEPA/UFRPE)

**EXAMINARODES:**

---

Dra. Jacqueline Wanessa de Lima Pereira (DCR/IPA)

---

Dra. Emmanuelle Rodrigues Araujo (DCR/IPA)

---

Prof. Dr. Kleyton Danilo da Silva Costa (IFAL)

---

Prof. Dr. Antonio Francisco de Mendonça Júnior (DEPA/UFRPE)

**RECIFE, PE**

**2021**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- S232m Santana, Sérgio Rogério Alves de  
Melhoramento do Feijão-caupi para grãos verdes visando resistência aos vírus do mosaico severo do caupi e do mosaico do caupi transmitido por afídeos / Sérgio Rogério Alves de Santana. - 2021.  
93 f. : il.
- Orientador: Jose Luiz Sandes de Carvalho Filho. Coorientador: Antonio Felix da Costa.  
Inclui referências e anexo(s).
- Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Melhoramento Genético de Plantas, Recife, 2022.
1. Vigna unguiculata. 2. herança. 3. CPSMV. 4. CABMV. 5. melhoramento vegetal. I. Filho, Jose Luiz Sandes de Carvalho, orient. II. Costa, Antonio Felix da, coorient. III. Título

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado a vida e por ter me acobertado sob suas asas, me protegendo desde a hora em que nasci. Por ter me dado a oportunidade de chegar a lugares que nunca imaginei que poderia chegar. Não alcançaria nada sem a Sua permissão, bondade, força e amor por mim. Muito obrigado meu Deus!;

Aos meus pais, Sergio Humberto Santana e Gelead Alves de Pinho Santana, por todo amor, carinho e dedicação que sempre tiveram comigo e minhas irmãs, abdicando de seus desejos e vontades para que nós pudéssemos realizar os nossos. Trabalhando duro para nos proporcionar a melhor educação possível, mesmo diante de todas as dificuldades. As minhas conquistas não seriam possíveis sem vocês comigo;

Às minhas irmãs Renata Alves e Gizelle Karoline, por todo amor e incentivo dado durante toda a minha vida. Aos meus queridos sobrinhos Anna Gabrielly, Davi Humberto, Raquel Emanuely e Isabella Sophia. Aos demais familiares, avós, tios (as) e primos (as), muito obrigado por tudo;

À minha amada e companheira de vida e de curso, minha noiva Jackeline Terto, por toda força, compreensão, amizade e amor. Por ter compartilhado dos momentos tristes e felizes. Seria muito mais difícil alcançar esse objetivo se não tivesse você comigo.

Ao meu orientador e amigo Prof. Dr. José Luiz Sandes de Carvalho Filho, não só pela orientação durante a graduação e o doutorado. Mas também, por todos os conselhos que precisei nos momentos decisivos da minha vida profissional e pessoal. Sou muito grato por ter tido a oportunidade de aprender e conviver com o senhor;

Ao meu coorientador e amigo Dr. Antônio Felix da Costa, por ter me dado a oportunidade de conviver e aprender todos os dias, desde o mestrado, como ser um verdadeiro profissional que ama o que faz. Por todo ensinamento extra profissional,

pelas conversas e conselhos. Muito obrigado por cada ensinamento, levarei por toda a minha vida;

À minha coorientadora Dra. Rejane Rodrigues, por toda disponibilidade, orientações, ensinamentos, conversas e amizade durante todo o curso;

Aos meus amigos e colegas do PPGAMGP Jackeline Terto, Islan Diego, Djayran Sobral, Antonio Costa, Jackson da Silva, Jamile Erica, Kleyton Danilo, Flavia Gomes, Bianca Galucio, Ricardo de Normandes, Eduardo Lopes, Damião Queiroz, João Albuquerque, Ana Maria, Robson Ramos, Fabian Santana, Rhuan Pasthoriza, Fernando Rocha, entre outros;

Aos professores do PPAMGP e do DEPA, Dr. Clodoaldo da Anunciação, Dr. José Wilson, Dr. Gerson Quirino, Dr. Dimas Menezes, Dra. Vivian Loges, Dr. Francisco Rodrigues, Dr. Edson Ferreira, Dra. Gheysa Coelho, Dra. Luiza Semen, Dr. Reginaldo de Carvalho, Dr. Pericles Albuquerque, Dr. Antônio Mendonça, Dra. Rosimar Musser, Dr. Roberto Albuquerque, Dra. Roseane Cavalcanti, muito obrigado por todos os ensinamentos e conselhos;

À Prof. Dra. Rosana Blawid, por ter dado todo suporte e ter disponibilizado o Laboratório de virologia da UFRPE para realização das avaliações referentes aos vírus;

Aos amigos do grupo de pesquisa com feijão do IPA, Emmanuelle Rodrigues, Luciana Gonçalves, Katiane Gomes, Mariele Carneiro Leão, Jeferson Araújo e Manassés Daniel, muito obrigado por todos os momentos vividos juntos;

A todos os funcionários do IPA, em especial Luiz Gilvan da Silva "Nazaré" e a Valdenilson das Neves "Nilsinho" por todo auxílio e disponibilidade para comigo durante a realização de todas as atividades do doutorado na sede do IPA e na Estação Experimental de Belém do São Francisco;

Aos colegas e estagiários do grupo de pesquisa em Melhoramento visando à Resistência a Doenças de Plantas da UFRPE, Rayonay, Gabriel, Jacqueline Pereira, Elidy, Lucas, Gustavo, Wesley, Jordana, obrigado pelo apoio;

Aos funcionários da horta, técnicos e secretária do PPAMGP, muito obrigado por todo suporte dado;

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco - FACEPE, pela concessão da bolsa durante todo período do desenvolvimento da pesquisa;

Ao instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA, por todo suporte em materiais, laboratórios, casas de vegetação, campos experimentais e mão-de-obra durante a pesquisa desenvolvida;

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, por ter contribuído com meu crescimento como pessoa e como profissional desde a graduação, mestrado e doutorado;

A todos os que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigado a todos vocês!

Ao Meu Deus, Senhor da minha vida!

## **OFERECIMENTO**

Aos meus avós Caitana Pereira e João Batista Santana

## **DEDICATÓRIA**

## BIOGRAFIA DO AUTOR

Sérgio Rogério Alves de Santana, filho de Sérgio Humberto Santana e Gelead Alves de Pinho Santana, nasceu no dia 06 de julho de 1991, no município de Sirinhaém, Estado de Pernambuco.



Realizou o Ensino Fundamental na Escola Municipal Centro Educacional Cristo Redentor e na Escola Agrícola Municipal Antônio José de Barros Wanderley, ambas localizadas no município de Sirinhaém, entre os anos de 1994 a 2005.

No ano de 2006 ingressou na Escola Agrotécnica Federal de Barreiros, atualmente Instituto Federal de Pernambuco - *Campus* Barreiros, realizando o ensino médio, concomitantemente ao ensino profissionalizante em Técnico em Agropecuária, concluindo no ano de 2008.

Em 2009, iniciou a graduação em Bacharelado em Engenharia Agrônoma na Universidade Federal Rural de Pernambuco, unidade sede. Foi bolsista de iniciação científica na área de Solos, por dois anos e na área de Melhoramento Genético de Plantas por um ano, concluindo a graduação no ano de 2013.

Durante o ano de 2014, trabalhou na Empresa Afonso Agricultura, no Município de Petrolândia - PE como engenheiro Agrônomo, nas áreas de produção de melão e cebola.

Em 2015.2 iniciou o curso de Mestrado em Agronomia - Melhoramento Genético de Plantas, na Universidade Federal Rural de Pernambuco, sob a orientação do Professor Dr. Gerson Quirino Bastos, desenvolvendo o projeto intitulado de "Divergência Genética entre Genótipos de Feijão-caupi por Caracteres Morfoagronômicos", obtendo o título de Mestre no ano de 2017.1.

Em 2017.2, ingressou no curso de Doutorado em Melhoramento Genético de Plantas desta mesma instituição, sob a orientação do Professor Dr. José Luiz Sandes de Carvalho Filho, desenvolvendo o projeto intitulado de "Melhoramento do Feijão-caupi para Grãos Verdes Visando Resistência aos Vírus do Mosaico Severo do Caupi e do Mosaico do Caupi Transmitido por Afídeos", finalizando na data especificada acima.

## LISTA DE SIMBOLOS E ABREVIATURAS

**CPSMV** – *Cowpea severe mosaic virus*

**CONAB** – Companhia Nacional de Abastecimento

**CABMV** – *Cowpea aphid-borne mosaic virus*

**CPGMV** - *Cowpea golden mosaic virus*

**CMV** – *Cucumber mosaic virus*

**DAS** – Dias após a semeadura

**DAI** – Dias após a inoculação

**FAO** - Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação

**FACEPE** - Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco

**GMD** – Grau médio de dominância

**IPA** – Instituto Agronômico de Pernambuco

**IITA** - International Institute of Tropical Agriculture

**MAPA** – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

**Poly A** - extremidade 3' do mRNA com 200 a 250 nucleotídeos

**RC** – Retrocruzamento

**UFRPE** - Universidade Federal Rural de Pernambuco

**VPg** – Proteína viral

**X<sup>2</sup>** – Qui-quadrado

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO II

**Tabela 1.** Número de plantas de acordo com os sintomas de Mosaico Severo do Caupi causado por *Cowpea severe mosaic virus* em plantas dos genitores CNC-0434, Sempre Verde Salgueiro e das gerações F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, RC<sub>11</sub> e RC<sub>21</sub> resultantes do cruzamento entre eles. Recife-PE, 2021.....60

**Tabela 2.** Avaliação da segregação fenotípica para resistência ao Mosaico Severo do Caupi causado por *Cowpea severe mosaic virus* inoculado em plantas dos genitores CNC-0434, Sempre Verde Salgueiro e das gerações F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, RC<sub>11</sub> e RC<sub>21</sub> resultantes do cruzamento entre eles. Recife-PE, 2021.....60

**Tabela 3.** Número de plantas de acordo com os sintomas de Mosaico do Caupi Transmitido por Afídeos causado por *Cowpea aphid-borne mosaic virus* em plantas dos genitores TVu-966, Sempre Verde Salgueiro e das gerações F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, RC<sub>11</sub> e RC<sub>21</sub> resultantes do cruzamento entre eles. Recife-PE, 2021.....62

**Tabela 4.** Avaliação da segregação fenotípica para resistência ao Mosaico do Caupi Transmitido por Afídeos causado por *Cowpea aphid-borne mosaic virus* em plantas dos genitores TVu-966, Sempre Verde Salgueiro e das gerações F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, RC<sub>11</sub> e RC<sub>21</sub> resultantes do cruzamento entre eles. Recife-PE, 2021.....62

### CAPÍTULO III

**Tabela 1.** Sintomatologia das 50 linhagens F<sub>2:5</sub> avaliadas em casa de vegetação quanto à resistência simultânea aos vírus do Mosaico Severo do Caupi (CPSMV) e Mosaico do Caupi Transmitido por Afídeo (CABMV). Recife-PE, 2021.....83

**Tabela 2.** Resumo das análises de variância, referente às características avaliadas em 50 linhagens F<sub>2:5</sub> de Feijão-caupi verde no Município do Belém do São Francisco-PE, 2021.....85

**Tabela 3.** Valores médios resultantes da aplicação do teste de Scott–Knott nas variáveis: número de dias para o início de floração (NDIF); número dias para maturação fisiológica (NDMF); comprimento da vagem verde (CVV); peso de dez vagens verdes (P10VV); peso de grãos de dez vagens verdes (PG10VV); número de grãos por vagem verde (NGVV); peso de cem grãos verdes (P100GV); índice de grãos verdes (IGV%) e rendimento de grãos verdes por hectare (REND), obtidos a partir da avaliação de 50 linhagens F<sub>2:5</sub> de Feijão-caupi verde no Município de Belém do São Francisco-PE, 2021.....86

**Tabela 4.** Média da população original ( $X_0$ ), média da população selecionada ( $X_s$ ), herdabilidade no sentido restrito ( $h_r$ ), ganho de seleção (GS) a partir da seleção baseada no índice de seleção de soma de ranks de Mulamba e Mock em 50 linhagens  $F_{2:5}$  de Feijão-caupi verde no Município de Belém do São Francisco-PE, 2021.....89

**Tabela 5.** Médias das características das linhagens  $F_{2:5}$  de Feijão-caupi verde selecionadas com base no ganho de seleção proporcionado pelo índice de soma de ranks de Mulamba e Mock no Município de Belém do São Francisco-PE, 2021.....90

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

**Figura 1.** Distribuição das regiões produtoras de feijão-caupi no Brasil.....21

**Figura 2.** Representação do genoma bipartido das partículas isométricas do CPSMV.....24

**Figura 3.** Sintomas observados em plantas infectadas com CPSMV: mosaico severo e bolhosidade (A), necrose sistêmica (B), redução foliar e morte da planta (C) e planta sem sintomas (D).....25

**Figura 4.** Representação da partícula viral flexível, filamentosa do CABMV.....27

**Figura 5.** Sintomas observados em plantas infectadas com CABMV: mosaico intenso (A), lesões cloróticas (B), redução no crescimento (C) e plantas sem sintomas (D).....28

### CAPÍTULO II

**Figura 1.** Distribuição de frequências de plantas (N° de plantas) resistentes e suscetíveis ao Mosaico Severo do Caupi causado por *Cowpea severe mosaic virus* aos 10, 20 e 30 dias após a inoculação (DAI) em plantas dos genitores CNC-0434, Sempre Verde Salgueiro e das gerações F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, RC<sub>11</sub> e RC<sub>21</sub>. Recife-PE, 2021..... 59

**Figura 2.** Distribuição de frequência de plantas (N° de plantas) resistentes e suscetíveis ao Mosaico do Caupi Transmitido por Afídeos causado por *Cowpea aphid-borne mosaic virus* aos 10, 20 e 30 dias após a inoculação (DAI) em plantas dos genitores TVu-966, Sempre Verde Salgueiro e das gerações F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, RC<sub>11</sub> e RC<sub>21</sub>. Recife-PE, 2021..... 61

## SUMÁRIO

RESUMO GERAL .....	32
GENERAL ABSTRACT .....	33
CAPÍTULO I .....	17
1. INTRODUÇÃO GERAL .....	18
2. REFERENCIAL TEÓRICO .....	20
2.1. Botânica, origem e distribuição do feijão-caupi .....	20
2.2. Importância socioeconômica e cultural do feijão-caupi .....	22
2.3. Vírus como agente etiológico de doenças no feijão-caupi.....	24
2.3.1. <i>Cowpea severe mosaic virus</i> (CPSMV) .....	24
2.3.2. <i>Cowpea aphid-borne mosaic virus</i> (CABMV).....	26
2.4. Melhoramento do Feijão-caupi visando à resistência a vírus e produção de grãos verdes.....	29
2.5. Herança da resistência do Feijão-caupi aos vírus CPSMV e CABMV .....	32
2.6. Índice de seleção de Mulamba e Mock .....	34
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	36
CAPÍTULO II .....	43
HERANÇA GENÉTICA DA RESISTÊNCIA DO FEIJÃO-CAUPI AOS VÍRUS <i>Cowpea severe mosaic virus</i> E <i>Cowpea aphid-borne mosaic virus</i> .....	44
RESUMO.....	44
ABSTRACT .....	45
INTRODUÇÃO .....	46
MATERIAL E MÉTODOS.....	48
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
CONCLUSÕES .....	55

AGRADECIMENTOS .....	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	56
CAPÍTULO III .....	63
LINHAGENS DE FEIJÃO-CAUPI RESISTENTES AO <i>Cowpea severe mosaic virus</i> E AO <i>Cowpea aphid-borne mosaic virus</i> DESTINADAS À PRODUÇÃO DE GRÃOS VERDES.....	64
RESUMO.....	64
ABSTRACT .....	65
INTRODUÇÃO .....	66
MATERIAL E MÉTODOS .....	68
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	71
CONCLUSÕES .....	77
AGRADECIMENTOS .....	77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	78
ANEXO.....	91

## RESUMO GERAL

O feijão-caupi apresenta uma grande importância socioeconômica para as regiões Norte e Nordeste, sendo responsável pela geração de emprego e renda para a população rural, destinado à produção de grãos verdes e secos. No entanto, um problema limitante para seu cultivo é a suscetibilidade de suas variedades a doenças ocasionadas por vírus, principalmente ao CPSMV (*Cowpea severe mosaic virus*) e ao CABMV (*Cowpea aphid borne mosaic virus*). Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar a herança genética da resistência e desenvolver linhagens de feijão-caupi para grãos verdes que sejam resistentes aos vírus CPSMV e CABMV. Na primeira etapa realizaram-se cruzamentos entre o genótipo suscetível Sempre Verde Salgueiro, que possui boa aceitação comercial, e os genótipos CNC 0434, imune ao CPSMV, e TVu-966 resistente ao CABMV, obtendo-se as gerações F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, RC<sub>11</sub> e RC<sub>21</sub>, para cada cruzamento, sendo avaliadas em casa de vegetação quanto à sua segregação pelo teste do qui-quadrado. Na segunda etapa foi obtida uma população segregante F<sub>2</sub> e, posteriormente, avançadas até a geração F<sub>2:5</sub>. De posse das sementes de cada geração, foram avaliadas quanto à sua resistência, em casa de vegetação, e suas características agronômicas, em experimento de campo em blocos casualizados, instalados na estação experimental do Instituto Agronômico de Pernambuco, em Belém do São Francisco, realizando teste de agrupamento de médias e índice de seleção de Mulamba e Mock. A herança da resistência ao CPSMV em CNC-0434 e ao CABMV em TVu-966 é monogênica recessiva. A avaliação da resistência pode ser realizada aos dez dias após a inoculação. Os genótipos CNC-0434 e o TVu-966 podem ser utilizados como genitores doadores em programas de melhoramento genético do feijão-caupi visando resistência aos vírus. As linhagens L300.026, L300.039, L300.040 e L300.049 se mostraram resistentes a ambos os vírus e possuem elevado potencial para a produção de grãos verdes. O índice de seleção de Mulamba e Mock facilitou a seleção de linhagens superiores e promissoras para futuros lançamentos de novas variedades resistentes destinadas à produção de grãos verdes.

**Palavras-chave:** *Vigna unguiculata*, herança, CPSMV, CABMV, melhoramento vegetal.

## GENERAL ABSTRACT

The cowpea has a great socioeconomic importance for the North and Northeast region, being responsible for the generation of employment and income for the rural population, destined to the production of green and dry grains. However, a limiting problem for its cultivation is the susceptibility of its varieties to diseases caused by viruses, mainly to CPSMV (*Cowpea severe mosaic virus*) and CABMV (*Cowpea aphid borne mosaic virus*). In this sense, this thesis work aimed to evaluate the genetic inheritance of resistance and develop cowpea strains for green beans that are resistant to CPSMV and CABMV viruses. In the first stage, crosses were carried out between the susceptible genotype Sempre Verde Salgueiro, which has good commercial acceptance, and the CNC 0434 genotypes, resistance to CPSMV, and with the TVu-966, resistant to CABMV, obtaining the F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, RC<sub>11</sub> generations and RC<sub>21</sub>, for each cross, being evaluated in a greenhouse for their segregation by the chi-square method. In the second stage, an F<sub>2</sub> segregating population was obtained and subsequently lines that were advanced to the F<sub>2:5</sub> generation, which were evaluated for their resistance, in a greenhouse, and their agronomic characteristics, in field experiments, installed in the Institute's experimental stations Agronomic of Pernambuco in Belém do São Francisco. The inheritance of resistance to Cowpea severe mosaic virus and Cowpea aphid-borne mosaic virus, in the variety CNC-0434 and in the lineage TVu-966, respectively, is monogenic recessive. The evaluation of inoculated plants can be carried out ten days after inoculation. CNC-0434 and TVu-966 can be used as donor parents in cowpea breeding programs aiming at resistance to both viruses. Lines L300.026, L300.039, L300.040 and L300.049 were resistant to both viruses and have a high potential for green grain production. The Mulamba and Mock selection index facilitated the selection of superior and promising strains for future releases of new resistant varieties for green grain production.

**Keywords:** *Vigna unguiculata*, inheritance, CPSMV, CABMV, plant breeding

## **CAPÍTULO I**

---

### **INTRODUÇÃO GERAL E REFERENCIAL TEÓRICO**

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] é uma cultura de elevada importância para o desenvolvimento socioeconômico da região Nordeste do Brasil. Nesta região, segundo a CONAB (2020), se concentra a maior área produtora de caupi, em torno de 1,057 milhão de hectares, seguida da região Norte com 70 mil hectares. No entanto, a cultura vem conquistando mais espaço na região Centro Oeste, geralmente sendo cultivada no intervalo da safra da soja (safrinha) em solos com bons níveis de fertilidade e totalmente mecanizados (Zilli et al. 2011), sendo o Estado do Mato Grosso o maior produtor brasileiro (Freire Filho et al. (2020).

O Estado de Pernambuco é o quinto maior produtor de feijão-caupi do Brasil (CONAB 2020) e apresenta potencial para estar entre os três primeiros, devido às suas condições edafoclimáticas, estar localizado no centro da região Nordeste (facilitando o escoamento e comercialização) e possuir órgãos de pesquisa que trabalham com feijão-caupi, como o Instituto Agrônomo de Pernambuco, Universidade Federal Rural de Pernambuco e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Semiárido-Petrolina).

A escolha dessa cultura por parte dos agricultores se dá principalmente pela sua rusticidade, produtividade e tolerância à seca, adaptadas às mais diversas condições de clima e solo (Ehlers e Hall 1997). O feijão-caupi apresenta duas formas de consumo, o grão seco cozido e o grão verde cozido (Rocha et al. 2009). Apesar de seu cultivo ser destinado a maior parte para a produção de grãos secos, a produção e consumo de grãos verdes vem crescendo e ganhando importância (Adewale et al. 2010). O feijão verde é assim caracterizado por se encontrar próximo à maturação fisiológica, quando as vagens param de acumular fotossintatos e seus grãos se encontram com 60 a 70% de umidade (Oliveira et al. 2001).

Características como a possibilidade de cultivar o feijão verde durante todo o ano, independentemente de safra específica (Silveira et al. 2014), e sua elevada importância para a geração de emprego e renda, tendo em vista que para esse tipo de produção é necessário bastante trabalho manual, principalmente na colheita e debulha dos grãos (Freire Filho et al. 2017), torna a pesquisa com o feijão-caupi verde de extrema importância para o desenvolvimento dessa cultura.

Existem poucas variedades de feijão-caupi destinadas para produção de grãos verdes, como BRS Rouxinol, BR 17 Gurguéia, Sempre Verde, Setentão (Freire Filho et al. 2011; Rocha et al. 2017) e muitas outras são utilizadas, mas não são

Santana SRA (2021) Melhoramento do feijão-caupi para grãos verdes visando resistência aos vírus do mosaico severo do caupi e do mosaico do caupi transmitido por afídeos

específicas para a produção de grãos verdes, como BRS Novaera, BRS Guariba, BRS Cauamé, BRS Tumucumaque, BRS Marataoã (Melo et al. 2021), esse fato traz consequências como perda de qualidade e rendimento de produção (Rocha et al. 2017). Além disso, ao longo do seu ciclo, a cultura tem sofrido danos causados por diversas doenças, sendo as ocasionadas por vírus as mais importantes, devido à sua disseminação e às dificuldades para seu controle (Lima e Nelson 1974).

No Brasil, são relacionadas várias doenças causadas por vírus que infectam o caupi, podendo ser mencionadas: *Cowpea severe mosaic virus* – CPSMV; *Cowpea aphid borne mosaic virus* – CABMV; *Cucumber mosaic virus* – CMV; *Cowpea golden mosaic virus* – CPGMV. Dentre todas essas viroses citadas, o CPSMV e CABMV recebem destaque em relação às demais por serem fatores limitantes à produtividade de várias cultivares em diferentes locais do Brasil e do mundo, influenciando na qualidade e quantidade de grãos produzidos (Amorim et al. 2021), em Pernambuco, essas doenças estão presentes em todas as mesorregiões.

O CPSMV e o CABMV são disseminados por espécies de coleópteros e de afídeos, respectivamente. Ambos têm a capacidade de reduzir a produtividade, devido à diminuição da atividade da clorofila nos tecidos vegetais e, conseqüentemente, das atividades fotossintéticas (Lima et al. 2005).

Não existe controle químico que atue diretamente nesse tipo de patógeno, além disso, o controle de seus vetores através de inseticidas não é eficiente, principalmente nos períodos chuvosos. Sendo a utilização de cultivares resistentes a forma mais eficiente, por ser de baixo custo, baixo impacto ao meio ambiente e de fácil adoção pelo produtor (Oliveira et al. 2012). Dessa forma, é fundamental o conhecimento do controle genético da resistência aos vírus, permitindo aumentar a eficiência do programa de melhoramento da cultura, especialmente no planejamento e na escolha do método a ser utilizado (Lopes e Boiteux 2012).

A cultivar CNC-0434 apresenta imunidade ao CPSMV (Assunção et al. 2005) e tem sido utilizada em diversos cruzamentos, os quais já originaram algumas cultivares resistentes ao CPSMV como: BR10-Piauí (Santos et al. 1987), BR12-Canindé (Santos et al. 1990), BR14-Mulato (Cardoso et al. 1990) e BR17-Gurguéia (Freire Filho 1994). A cultivar TVu-966 apresenta resistência ao CABMV (Oliveira et al. 2012), ambas quando utilizadas em programas de melhoramento permitem obter linhagens que combinem resistência e boas características agrônômicas. Já a Sempre Verde Salgueiro é uma variedade crioula do grupo Sempre Verde, com alta

produtividade, bastante cultivada nas regiões produtoras de feijão-caupi do estado de Pernambuco, no entanto, possui elevada suscetibilidade a ambos os vírus.

Alguns estudos da base genética da resistência ao CPSMV e CABMV apontam em sua maioria para uma herança recessiva monogênica (Assunção et al. 2005; Silva et al. 2012; Barros et al. 2013). Outros estudos atribuem a resistência ao CPSMV a três genes recessivos não ligados (Umaharam et al. 1996) ou a um gene dominante (Ombakho et al. 1987). Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar o controle genético da herança da resistência ao CPSMV e CABMV, assim como, desenvolver linhagens avançadas de feijão-caupi resistentes destinadas à produção de grãos verdes.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Botânica, origem e distribuição do feijão-caupi

O feijão-caupi é classificado como uma planta Dicotyledoneae pertencente à classe Magnoliopsida, Ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Faboideae, tribo Phaseoleae, subtribo Phaseolineae, gênero *Vigna*, espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp.). O gênero *Vigna* é subdividido em quatro grupos cultivados: Unguiculata, Sesquipedalis, Biflora e Textilis (Padulosi; Ng 1997; Maréchal et al. 1978). No Brasil, são cultivados o Unguiculata, destinado à produção de grãos secos e grãos verdes, e o Sesquipedalis, mais conhecido como feijão-de-metro, para produção de vagem (Freire Filho et al. 2011).

É uma espécie herbácea, diploide ( $2n=2x=22$  cromossomos), autógama, com aproximadamente 99% de autofecundação, flores hermafroditas e cleistogâmicas (Freire Filho et al. 2005). Possui um ciclo variando em média de 60 a 90 dias após a semeadura-DAS, o que permite classificar as cultivares precoces, quando a maturidade é atingida entre 60 e 90 DAS, e tardias quando a maturidade é atingida acima dos 90 DAS (Lima et al. 2015).

Segundo Freire Filho (2011), o feijão-caupi apresenta porte que varia entre ereto, semiereto, semiprostrado e prostrado, com hábito de crescimento determinado, onde as plantas param de crescer após a emissão da inflorescência na extremidade da haste principal ou indeterminado, quando as plantas apresentam inflorescência nas axilas foliares e mantêm seu crescimento até o final do ciclo.

Apresentam características como folhas trifolioladas, com presença de estipulas na base do pecíolo, inflorescência do tipo racemo modificado, contendo de

Santana SRA (2021) Melhoramento do feijão-caupi para grãos verdes visando resistência aos vírus do mosaico severo do caupi e do mosaico do caupi transmitido por afídeos

seis a oito pares de gemas florais, dispostas de forma alternada. Suas flores são perfeitas, zigomorfas e distribuídas aos pares nas extremidades do pedúnculo. Seu cálice é do tipo pentâmero, gamossépalo, com coloração verde ou roxa. Sua corola é pentâmera e dialipétala, sendo a maior pétala o estandarte, caracterizada por uma única pétala que se abre completamente na antese (Freire Filho 2011).

Suas pétalas possuem uma coloração que varia entre totalmente brancas a roxas. Cada flor apresenta dez estames, sendo nove unidos uns aos outros e um livre. Seu carpelo apresenta estigma encurvado e úmido. O ovário é alongado e estreito, com os óvulos distribuídos em linha, dando origem ao fruto tipo vagem. As flores se abrem no início do dia, por volta das cinco horas da manhã, o que dificulta a polinização por insetos (Freire Filho 2011).

Tem como centro de origem o continente africano, sendo introduzido no Brasil em meados do século XVI pelos colonizadores portugueses, inicialmente no Estado da Bahia, pelo fato deste Estado ter sido a capital administrativa do Brasil na época, e possuir comércio com o Oeste da África, de Guiné a Angola (Barraclog et al. 1995). A partir daí foi disseminado por todo o país, principalmente nas regiões Nordeste e Norte (Freire Filho 1988). Atualmente é cultivado predominantemente nas regiões Nordeste, Norte e Centro-Oeste do Brasil (Figura 1).



**Figura 1.** Distribuição das regiões produtoras de feijão-caupi no Brasil. Adaptado de Freire Filho et al. (2011).

Na região Nordeste, sua produção é concentrada principalmente nas áreas semiáridas, onde outras espécies de leguminosas não se desenvolvem de forma satisfatória, isso podendo ser explicado pela rusticidade e adaptação às condições edafoclimáticas que essa espécie possui (Freire Filho 2011).

## **2.2. Importância socioeconômica e cultural do feijão-caupi**

No país, são cultivadas diversas espécies de feijão, no entanto, as duas espécies mais importantes do ponto de vista social e econômico são: o feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), além disso, apenas os dois são considerados feijões pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). O Brasil é um dos maiores produtores de feijão-caupi do mundo, atrás apenas de países como Nigéria, responsável por cerca de 45% da produção mundial, e Níger com 30% do volume produzido (FAO 2020).

A área plantada com feijão-caupi no Brasil, na safra 2019/2020, foi de 1.285,9 mil hectares (ha), sendo que mais de 80% dessa área está concentrada na região Nordeste, com uma produção de 386.500 toneladas (t), o que representa 63,27% da produção total de feijão-caupi no Brasil (CONAB 2020).

Nas regiões Norte e Nordeste, o cultivo está pulverizado em alguns milhares de produtores, onde a maior parte deles são agricultores familiares. Já na região Centro-Oeste, o cultivo do feijão-caupi se expandiu em meados de 2010, a partir do desenvolvimento de cultivares de porte ereto/semiereto (Rocha et al. 2017), o que viabilizou a mecanização da lavoura e obtenção de elevada produtividade, tornando a região como a de maior produtividade do país, cerca de 1055 Kg<sup>-1</sup> ha contra 366 Kg<sup>-1</sup> ha da região Nordeste (CONAB 2020).

Em Pernambuco, o feijão-caupi é cultivado especialmente no Agreste e Sertão do Estado, regiões com histórico de baixa precipitação, cuja adaptação é explicada devido à sua rusticidade e tolerância ao estresse hídrico, o que possibilita seu cultivo nessas mesoregiões (CONAB 2020). O Estado é o quarto colocado em relação à área cultivada no Nordeste (136,8 mil ha) e na produção (42,9 mil t). Na safra de 2019/2020 houve um aumento de 12% na produção se comparada à safra 2018/2019 (CONAB 2020), o que demonstra a aptidão dos agricultores do Estado para o cultivo do feijão-caupi.

Entre os anos de 2005 a 2009 a cultura gerou mais de um milhão de empregos/ano, supriu a necessidade alimentar de mais de 28 milhões de pessoas e

gerou aproximadamente 600 milhões de reais (Freire Filho et al. 2011). É uma importante fonte de proteínas (23-25% em média), possui todos os aminoácidos essenciais, carboidratos (62%), vitaminas e sais minerais, possui baixa quantidade de gordura e alta quantidade de fibras dietéticas, sendo considerado um alimento básico para a dieta das populações do Norte e Nordeste brasileiro (Andrade Junior et al. 2007; Salgado et al. 2008). Souza et al. (2014) relatam a importância dessa leguminosa para a saúde pública, devido à existência da molécula BTI (*Black eyed-pea Trypsin Chymotrypsin Inhibitor*) que tem capacidade de danificar células cancerígenas humanas sem que haja danos as células saudáveis.

O consumo do feijão-caupi já faz parte da cultura gastronômica na região Nordeste do Brasil, sendo utilizado para a elaboração de vários pratos típicos. Depois de debulhado ele é cozido e consumido na forma de ensopados, farofas, biscoitos, acarajé e principalmente no baião de dois, onde os grãos do feijão-caupi são cozidos juntamente com o arroz (Freire Filho and Rocha 2021).

A produção do grão verde é uma importante alternativa para geração de emprego e renda para os agricultores familiares (Andrade et al. 2010). As variedades mais utilizadas para a produção do feijão verde são as classificadas como grupo cores e subgrupo sempre verde. A comercialização tem grande importância para as regiões Nordeste, Norte e em algumas capitais das regiões Sudeste e Centro-Oeste (Sousa et al. 2015). Esse fator contribui consideravelmente na agregação de valor do produto e na expansão da produção e consumo.

Essa cultura apresenta um grande potencial para o processamento industrial nas formas de enlatados, resfriado ou congelado, especialmente quando produzido no período da entressafra, o que eleva os preços pagos no mercado pelo feijão verde e possibilita a comercialização em outros mercados e regiões (Freire Filho et al. 2007; 2011). Além da importância para a alimentação humana, apresenta importância para a alimentação animal, onde suas folhas são ofertadas como forragem verde, feno ou silagem (Freire Filho et al. 2005).

Apesar do feijão-caupi ser considerado uma espécie rústica e bem adaptada às condições de clima e solo das regiões Norte e Nordeste, alguns fatores contribuem significativamente para uma drástica redução em sua produtividade. Dentre eles, os bióticos representados por pragas e doenças, destacam-se por ser de difícil controle, atrelado a um alto custo de resolução.

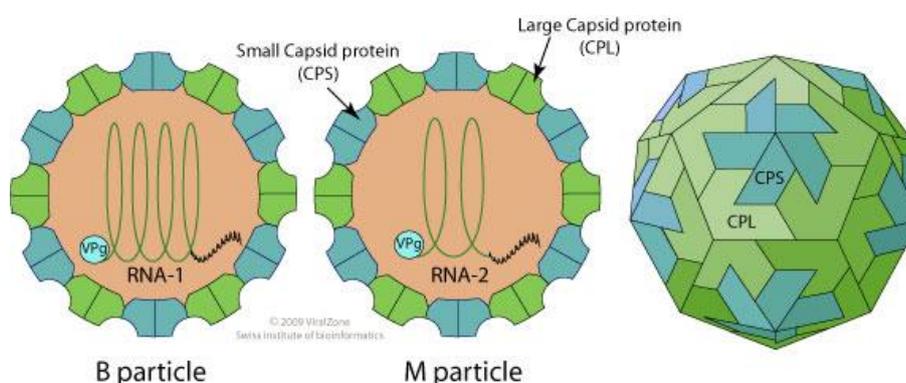
### 2.3. Vírus como agente etiológico de doenças no feijão-caupi

Várias doenças se destacam na cultura do feijão-caupi, causando grandes perdas de produtividade ou até mesmo impossibilitando seu cultivo em determinadas áreas, como, por exemplo, a mela (*Rhizoctonia solani* Kühn); antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*); cercosporiose (*Pseudocercospora cruenta* (Sacc.) Deigtom) e murcha-de-fusarium (*Fusarium oxysporum* f. sp. *tracheiphilum*) (Athayde Sobrinho et al. 2005; Barreto et al. 2007; Nechet and Halfeld-Vieira 2011). No entanto, as doenças ocasionadas por vírus merecem destaque, por serem agentes infecciosos de maior importância para a cultura, gerando perdas expressivas na produção (Camarço et al. 2009; Cruz e Aragão 2014).

No Brasil, os principais vírus que infectam o feijão-caupi são: *Cowpea severe mosaic virus* (CPSMV); *Cowpea aphid-borne mosaic virus* (CABMV); *Cucumber mosaic virus* (CMV) e *Cowpea golden mosaic virus* (CPGMV) (Lima et al. 2005), sendo os dois primeiros de maior importância, o CPSMV por sua severidade, podendo levar a grandes perdas na produção, e o CABMV devido à sua ampla distribuição e ocorrência (Freire Filho 2011).

#### 2.3.1. *Cowpea severe mosaic virus* (CPSMV)

É um vírus de RNA do gênero *Comovirus*, pertencente à família Comoviridae, apresenta genoma bipartido em duas moléculas de hélice simples, uma com 6,0 kb e a segunda com 3,73 kb, e ainda a região *VPg* e *Poly A* (Viralzone 2021). É necessária a presença das duas moléculas para que ocorra a infecção (figura 2).

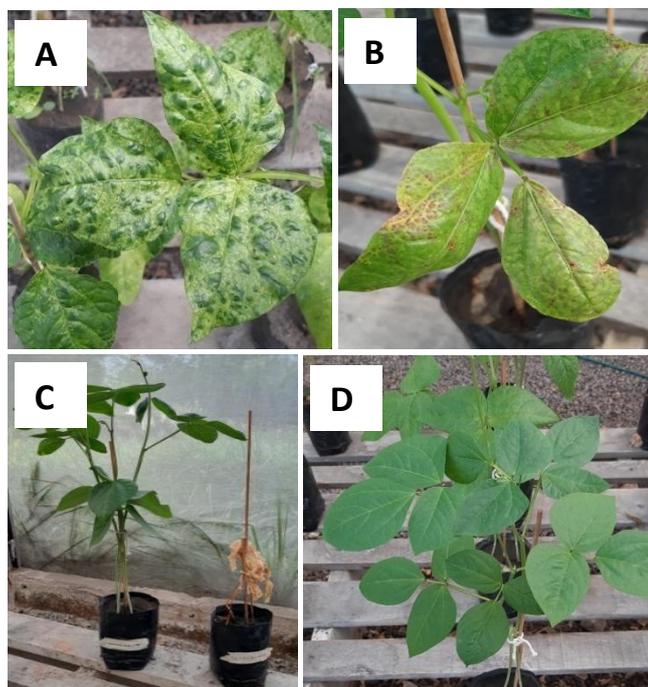


**Figura 2.** Representação do genoma bipartido das partículas isométricas do CPSMV. Fonte: [viralzone.expasy.org](http://viralzone.expasy.org).

O CPSMV não é transmitido por sementes (Lima et al. 1986) e encontra-se disseminado por várias regiões em diversas espécies de plantas hospedeiras, o que

dificulta seu controle. Em condições naturais pode ser disseminado por mais de dez espécies de coleópteros de forma circulativa, não propagativa (Lima et al. 2005), sendo principalmente transmitido por insetos adultos de *Cerotoma arcuata* (Olivier) e *Diabrotica speciosa* (Germar 1824), da família Chrysomelidae, conhecidas comumente por vaquinhas (Barros et al. 2013). Estas espécies têm a capacidade de reduzir a produção de feijão-caupi em até 85%, dependendo do estágio de desenvolvimento em que se encontra a planta quando é infectada, da época de infecção e da susceptibilidade da cultivar (Booker et al. 2005).

Em inoculações experimentais com o CPSMV em feijão-caupi, os primeiros sintomas surgem após o terceiro dia da infecção, podendo ser observados sintomas como lesões locais cloróticas, deformações do limbo foliar do tipo bolhosidade; mistura de cores, tendo manchas amarelas de diferentes tonalidades de verde que surgem devido à diminuição da atividade da clorofila nos tecidos, dando um aspecto de mosaico, e também se observa uma redução do crescimento dos entrenós, ficando a planta com aspecto enfezado (Fernandes et al. 2010) (Figura 3).



**Figura 3.** Sintomas observados em plantas infectadas com CPSMV: mosaico severo e bolhosidade (A), necrose sistêmica (B), redução foliar e morte da planta (C) e planta sem sintomas (D). Autor: Santana SRA

No Brasil, o CPSMV foi relatado por Oliveira (1947) no Rio Grande do Sul, desde então pode ser encontrado em todas as regiões produtoras de caupi do país.

Além do Brasil, diversos outros países têm relatos de sua presença em áreas de produção, como: Estados Unidos, Porto Rico, Venezuela, Costa Rica, Suriname e Peru (Pio-Ribeiro et al. 2005). Segundo Hampton et al. (1997), já foram identificados nove diferentes sorotipos do CPSMV, no entanto, no Brasil só foram identificados quatro grupos sorológicos denominados de sorotipos I, II, III e IV (Lin et al. 1984).

Medidas de prevenção como eliminação de plantas invasoras que atuam como hospedeiras para o vírus (Neves et al. 2011) e utilização de inseticidas para controlar os insetos vetores podem ser utilizadas, no entanto, essa última prática apresenta baixa eficácia, principalmente nas épocas chuvosas, além disso, esse método de controle é bastante dispendioso (Umaharan et al. 1996).

A alternativa mais eficiente para o controle desse vírus é pelo cultivo de genótipos resistentes, como a Linhagem FP 7733-2 (Rios e Neves, 1982), CNC-0434 (Rios et al. 1982), BR10 Piauí (Santos et al. 1987), BR12 Canindé (Santos et al. 1990), BR14 Mulato (Cardoso et al. 1990), BR17 Gurguéia (Freire Filho et al. 1994) e Macaibo (Vale e Lima 1995).

Alguns estudos realizados com o objetivo de avaliar a resistência de variedades e linhagens provenientes de cruzamentos em feijão-caupi têm mostrado sucesso na obtenção de genótipos resistentes. Segundo Lima et al. (2011), avaliando 33 genótipos de feijão-caupi inoculados com quatro isolados de CPSMV, observaram que as linhagens CNCx249 272F, CNCx284 66E, CNCx172 3E/P, CNCx251 11E, CNCx251 76E apresentaram-se imunes (o vírus não consegue se replicar) a todos os isolados testados, enquanto as variedades Marataoã e BRS Rouxinol, apresentaram resistência (ocorre uma limitação da infecção) para todos os quatro isolados.

### **2.3.2. Cowpea aphid-bourne mosaic virus (CABMV)**

É um vírus de RNA de fita simples do gênero *Potyvirus*, pertencente à família Potyviridae. Esse gênero é o que possui a maior importância econômica entre os vírus vegetais (Lima et al. 2005). Apresenta partículas flexuosas e filamentosas, com comprimento variando de 650 a 900 nm e diâmetro variando de 12 a 15 nm, envolto por um capsídeo formado por cerca de 2.000 cópias da proteína capsidial, que possui uma massa molecular de aproximadamente 34 kDa, juntamente com a região VPg e Poly A (Viralzone 2021) (Figura 4).



**Figura 4.** Representação da partícula viral flexível, filamentosa do CABMV. Fonte: [viralzone.expasy.org](http://viralzone.expasy.org)

O CABMV é responsável por uma das doenças mais conhecidas e de elevada importância econômica, que causa grandes perdas de produtividade na cultura do feijão-caupi (Maia et al. 2017), podendo chegar a perdas acima de 50% (Pio-Ribeiro et al. 2016). Quando presente de forma isolada, provoca menores perdas na produção, no entanto, quando ocorre a infecção simultânea com o CPSMV pode ocasionar perdas severas, devido ao sinergismo entre esses vírus.

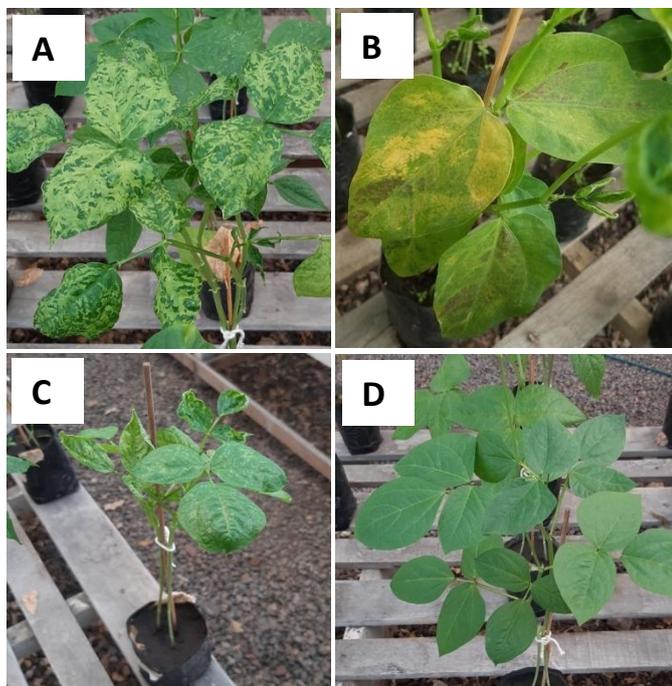
O CABMV também ocasiona prejuízos a outras espécies como a Soja (*Glycine max* (L.) Merr.), Feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.), Fava (*Phaseolus lunatus* L.), Amendoim (*Arachis hypogaea* L.), Maracujá (*Passiflora edulis* Sims) e Gergelim (*Sesamum indicum* L.) (Sousa et al. 1996; Barros et al. 2011; Oliveira et al. 2012; González-Segnana et al. 2013).

Diferentemente do vírus do mosaico severo, o CABMV pode ser transmitido por sementes. Santos et al. (1999) observaram uma transmissibilidade do CABMV por sementes em uma taxa de 0,16%, que ainda sendo baixa, contribui na dispersão do vírus pelos campos de produção. Sua transmissão também pode ocorrer de forma mecânica onde plantas infectadas próxima de plantas saudas podem transmitir o vírus através do atrito entre elas.

A principal forma de disseminação é através de vetores naturais, ocasionada por diferentes espécies de afídeos, com destaque para o pulgão preto *Aphis craccivora* Koch (Lima et al. 2005), mas outros como o *Myzus persicae* Sulzer, *Aphis gossypii* Glover, *Aphis spiraecola* Patch e *Toxoptera citricidus* Kirkaldy também podem disseminar o CABMV (Fischer and Resende 2008).

Os principais sintomas apresentados por plantas de feijão-caupi infectadas pelo CABMV são: mosaico intenso no limbo foliar com diferentes tonalidades de verde, distorção foliar, lesões cloróticas, necrose sistêmica e redução no crescimento da planta (Vale e Lima 1994) (Figura 5).

Uma característica facilmente observada em preparações de células infectadas por potyvirus é a formação de estruturas denominadas de inclusões, que são provenientes da agregação de partículas virais no interior das células hospedeiras.



**Figura 5.** Sintomas observados em plantas infectadas com CABMV: mosaico intenso com formação de inclusões (A), lesões cloróticas (B), redução no crescimento (C) e plantas sem sintomas (D). Autor: Santana SRA.

O primeiro relato do CABMV em feijão-caupi ocorreu na década de 1960, na Itália (Lovisollo e Conti 1966), logo em seguida foi identificado na Nigéria, na década de 1970 (Lapido 1976). Atualmente, esse vírus encontra-se presente em diversos continentes, como: África (Quênia, Uganda, Nigéria, Zâmbia), Europa (Itália, Holanda) e Ásia (Índia, Irã, Japão, China) (Viralzone 2021). No Brasil, a região com maior número de relatos é a Nordeste (Camarço et al. 2009; Freitas et al. 2012; Lima et al. 2015; Maia et al. 2017).

Assim como para o CPSMV, algumas medidas de prevenção como eliminação de plantas infectadas e invasoras, utilização de sementes saudáveis e utilização de inseticidas para controlar os insetos vetores podem ser utilizadas, no entanto, o método de controle mais indicado por ser mais eficaz, econômico e sustentável é a utilização de variedades resistentes (Pio-Ribeiro et al. 2005; Orawu et al. 2013).

Alguns genótipos já foram identificados como resistentes ao CABMV, como: TVu 379, TVu 382, TVu 966, TVu 3961, V-17, Lot. 7909-Purple, Bunch Purple Hull,

Santana SRA (2021) Melhoramento do feijão-caupi para grãos verdes visando resistência aos vírus do mosaico severo do caupi e do mosaico do caupi transmitido por afídeos

Dixiecream, Cowpea 535 (Lima et al. 1986), Purple Knucle Hull-55, MNC-03-731C-21 (Lima et al. 2011), BRS Cauamé, BRS Itaim, BRS Potengi, BRS Xiquexique, BRS Rouxinol, IT85S-2135, IT85F-2687, BRS Mazagão, Patativa, MNC01-631F-20-5, TE86-716-2, IT 860-716-1, TE 96-282-22G, TE 96-290-5G (Oliveira et al. 2012).

A provável explicação para resistência de plantas a doenças causadas por potyvirus tem sido relacionada a fatores produzidos pelo hospedeiro que são fundamentais para o ciclo de vida do vírus, como, por exemplo, o fator de iniciação da tradução (eIF4E) que atua no mecanismo de movimentação do vírus célula a célula e na replicação viral. Uma simples mutação nesse fator (eIF4E) ou na proteína VPg ligada à extremidade do mRNA viral, pode impossibilitar a interação e, conseqüentemente, levar à resistência da planta devido à redução na replicação ou movimentação do vírus (Tavert-Roudet et al. 2017).

Outra proteína que é determinante para a expressão dos sintomas em uma planta suscetível e responsável pela supressão dos mecanismos de silenciamento gênico é a HC-Pro que se sofrer alguma mutação a planta também apresentará sintomas mais brandos da doença (Valli et al. 2018).

#### **2.4. Melhoramento do Feijão-caupi visando à resistência a vírus e produção de grãos verdes.**

O melhoramento do feijão-caupi no Brasil teve início na década de 70, quando surgiu o primeiro programa de melhoramento genético do feijão-caupi. Este programa foi iniciado pela Embrapa Arroz e Feijão, localizada no município de Santo Antônio de Goiás – Goiás, juntamente com outras unidades da Embrapa e instituições de pesquisa parceiras (Freire Filho et al. 2005). Nos anos 90, este programa foi transferido para a unidade da Embrapa Meio-Norte, localizada em Teresina - Piauí, onde permanece até os dias atuais.

O principal objetivo deste programa é desenvolver cultivares de feijão-caupi com elevada produtividade, melhor qualidade de grão e resistência a pragas e doenças. Segundo Bertini et al. (2009), este programa foi responsável pelo lançamento de diversas cultivares destinadas às regiões Norte e Nordeste do Brasil com características melhoradas quanto à produtividade, porte e resistência a doenças.

Freire Filho et al. (2011) afirmam que de maneira geral os principais objetivos dos programas de melhoramento genético existentes para esta espécie são:

Santana SRA (2021) Melhoramento do feijão-caupi para grãos verdes visando resistência aos vírus do mosaico severo do caupi e do mosaico do caupi transmitido por afídeos

desenvolver cultivares de porte semiprostrado para atender à agricultura familiar e cultivares de porte ereto para atender à agricultura empresarial mecanizada; aumentar a produtividade, adaptabilidade e estabilidade de produção; melhorar as características nutricionais, visuais e culinárias; desenvolver cultivares adaptadas a todas as regiões do país; tolerância a altas temperaturas e estresse hídrico e, principalmente, desenvolver cultivares resistentes a pragas e doenças.

Dentre os trabalhos que visam à obtenção de cultivares resistentes a doenças, os que mais se destacam estão relacionados à resistência ao CPSMV e CABMV, vírus responsáveis pelas principais doenças que acometem a cultura, o mosaico severo do caupi e o mosaico do caupi transmitido por afídeo.

Oliveira et al. (2012) avaliaram a reação de 57 genótipos (incluindo cultivares e linhagens brasileiras e introduzidas do *International Institute of Tropical Agriculture - IITA*), a isolados de CMV, CABMV e CPSMV, tendo como objetivo avaliar a resistência desses genótipos para posteriormente indicar sua utilização em programas de melhoramento. Observaram que as coinfeções reduziram a altura da planta e a massa fresca. Já Silva et al. (2012), avaliando o comportamento da resistência de uma população F<sub>3</sub>, oriunda do cruzamento entre CNC-0434 x IPA-206 a cinco isolados do vírus CPSMV, encontraram 183 plantas resistentes em 185 plantas inoculadas, concluindo que o cruzamento CNC-0434 X IPA-206 pode ser utilizado em programas de melhoramento.

Barros et al. (2013) realizaram cruzamentos e retrocruzamentos entre os genótipos resistentes TE 97-309G-9 e Patativa com as cultivares suscetíveis BR3-Tracuateua, BRS-Urubuquara, BRS-Guariba e Pretinho e avaliaram quanto à sua resistência aos vírus CPSMV e CABMV. Observaram que os cruzamentos foram promissores, com potencial para seleção de novas cultivares altamente produtivas e resistentes a ambos os vírus. Leão et al. (2016) avaliaram genótipos de feijão-caupi oriundos de cruzamentos entre genótipos resistentes ao CPSMV e CABMV com genótipos suscetíveis, com características comerciais. De 40 progênies F<sub>4</sub> selecionadas, quatro apresentaram resistência cruzada ao CPSMV e CABMV e 36 progênies apresentaram resistência apenas ao CPSMV.

O feijão-caupi cultivado é predominantemente destinado à produção de grãos secos, no entanto, a demanda por vagens e grãos verdes se encontra crescendo ano após ano, ganhando cada vez mais importância (Adewale et al. 2010). Para atender a essa crescente demanda, estão surgindo diferentes pesquisas com

objetivo de auxiliar os programas de melhoramento na seleção de genótipos de feijão-caupi, visando recomendá-los como cultivar destinada à produção de grãos verdes que possuam características como maior tempo de prateleira, arquitetura da planta ereta e semiprostrada, resistência ao acamamento, facilidade de debulha da vagem, índice de grãos e excelentes qualidades física e nutricional do grão (Silva et al. 2013).

Andrade et al. (2010) estimaram os parâmetros genéticos em caracteres associados à produção de grãos verdes em 14 genótipos de feijão-caupi sob condições de irrigação e sequeiro. Observaram que as correlações genotípicas foram superiores às fenotípicas e ambientais em todas as características avaliadas, demonstrando a probabilidade de obtenção de ganhos genéticos em ciclos adicionais de seleção com base no fenótipo.

Sousa et al. (2015), também em dois sistemas de cultivo (irrigado e sequeiro), avaliaram o potencial de 16 genótipos de feijão-caupi, oriundos do Banco de Germoplasma e do Programa de Melhoramento de Feijão-caupi da Embrapa Meio-Norte, quanto à produção de grãos. Avaliaram características como número de dias para floração, comprimento da vagem verde, número de grãos por vagem, massa de cem grãos verdes, produtividade de vagens e grãos verdes e índice de grão verde. Observaram que algumas cultivares como BRS-Tumucumaque apresentam potencial para produção de grãos verdes em sequeiro, enquanto a linhagem MNC00-595F-27 apresenta potencial para condições de irrigação.

Freitas et al. (2016) avaliaram doze variedades crioulas de feijão-caupi na região de Mossoró sob sistema irrigado e sequeiro, de forma a identificar quais variedades possuíam maior rendimento de grãos verdes e quais características possuíam os maiores efeitos positivos diretos sobre esse rendimento. O rendimento das variedades sob a condição irrigada foi superior; oito variedades se mostraram altamente produtivas e o número de vagens por planta foi a característica que apresentou maior efeito positivo direto sobre o rendimento de grãos.

Para realizar melhoramento visando o desenvolvimento de novas cultivares resistentes aos vírus do Mosaico Severo do Caupi e do Mosaico do Caupi Transmitido por Afídeo destinados à produção de grãos verdes é fundamental o conhecimento sobre o controle genético da herança de resistência nos genitores a serem utilizados no programa de melhoramento genético.

## **2.5. Herança da resistência do Feijão-caupi aos vírus CPSMV e CABMV**

Na relação entre as plantas e os vírus existem algumas particularidades, se comparados com outros fitopatógenos. De acordo com Hull et al. (2009), existem diferentes tipos de reação como: Imune (não hospedeira) – o vírus não consegue se replicar nas células de plantas saudáveis; Infectada (hospedeira) – o vírus pode infectar e se replicar nas células saudáveis; Resistente (hipersensitiva extrema) – a multiplicação do vírus é limitada às primeiras células infectadas, não havendo movimento célula-célula; Resistente (hipersensitiva) – o hospedeiro emite resposta, através de lesões necróticas locais as quais limitam a infecção a uma zona de células ao redor das células infectadas inicialmente; Tolerante – a planta hospedeira apresenta poucos sintomas ou até mesmo não apresenta sintomas, porém a replicação do vírus não é afetada; Suscetível – os sintomas são claros, há replicação e movimentação sistêmica do vírus nas células.

Diante desses vários tipos de relação planta-vírus, o estudo da herança genética, conhecida também como controle genético é de fundamental importância para o melhoramento de plantas, especificamente para o desenvolvimento de novas variedades imunes ou resistentes. Dentro deste cenário, existem dois tipos de resistência que estão relacionadas à herança genética, que são: resistência vertical ou qualitativa (conferida por um gene de efeito maior ou poucos genes, confere resistência a isolados específicos e geralmente possui baixa duração) e resistência horizontal ou quantitativa (conferida por vários genes de efeito menor, que conferem resistência a diferentes isolados e geralmente possui longa duração) (Lopes e Boiteux 2012).

Quando a herança genética da resistência é condicionada por um único gene, facilita a obtenção de novas variedades resistentes, pois a resistência em um programa de melhoramento pode ser atingida rapidamente através do retrocruzamento (Caixeta e Zambolim 2014). Entretanto, quando a herança é conferida por muitos genes, o fator ambiental torna a obtenção de variedades resistentes mais difícil (Borém e Miranda 2013).

A forma mais utilizada para estudar a herança genética da resistência é por meio do cruzamento entre dois genitores homocigóticos que apresentem características contrastantes em relação à característica desejada. A variabilidade existente entre esses indivíduos será observada nas gerações segregantes, sendo

comum aos estudos de herança a utilização das gerações  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $RC_1$  e  $RC_2$  (Ramalho et al. 2012).

Para testar as proporções fenotípicas nessas gerações segregantes, o teste não paramétrico do qui-quadrado ( $\chi^2$ ) é bastante utilizado. Essa metodologia baseia-se nas frequências observadas e nas frequências esperadas para gerar um valor calculado e esse valor é comparado com outro valor já tabelado. Se o valor calculado for menor que o valor tabelado, aceita-se a hipótese testada ( $H_0$ ), caso contrário, rejeita-se a hipótese testada, o que significa que os desvios das frequências observadas em relação às frequências esperadas não foram devido ao acaso ( $H_1$ ) (Viana et al. 2012).

Os estudos sobre base genética da resistência ao CPSMV têm indicado em sua maior parte uma herança monogênica com dois alelos recessivos *ims* (Jimenez et al. 1989; Barros et al. 2013). Estudos realizados por Vale e Lima (1995) constataram que a herança da resistência ao CPSMV na cultivar Macaibo é conferida por um gene recessivo. Posteriormente, Assunção et al. (2005) confirmaram que a herança da resistência ao CPSMV na cultivar Macaibo realmente era controlada por um gene monogênico recessivo, sendo este mesmo gene o que confere a resistência na cultivar CNC-0434, enquanto que na linhagem L.254.008 a resistência era conferida por dois genes recessivos não ligados.

Porém, Umaharan et al. (1997), utilizando as cultivares resistentes TVu 1948, TVu 3961, TVu 382 e CNCx-102, cruzando com a cultivar suscetível Bush Sitao, observaram que a herança da resistência ao CPSMV era controlada por três genes recessivos não ligados.

Os estudos da herança genética da resistência ao CABMV têm se mostrado divergente. Ombakho et al. (1987) avaliaram os genótipos ICV 11 e TVu 310 e chegaram à conclusão que a herança da resistência ao CABMV é controlada por um gene dominante. O mesmo resultado foi encontrado por Antoine et al. (2016), ao avaliarem populações  $F_2$  provenientes de cruzamentos entre dois genótipos resistentes e dois suscetíveis ao CABMV observaram uma segregação de 15 plantas resistentes para uma planta suscetível, confirmando que a herança é monogênica dominante.

Barros et al. (2013) avaliaram a herança genética da resistência ao CABMV na linhagem TE97-309-G e na cultivar Patativa e observaram que a herança é controlada por um gene recessivo. Resultados semelhantes foram encontrados por

Santana SRA (2021) Melhoramento do feijão-caupi para grãos verdes visando resistência aos vírus do mosaico severo do caupi e do mosaico do caupi transmitido por afídeos

Orawu et al. (2013), que avaliaram quinze populações  $F_2$  de cruzamentos entre três variedades suscetíveis e cinco linhagens resistentes IT82D-889, IT85F-2841, IT82D-516, UM-93 e SECOW-2W e verificaram que em sete populações um único gene recessivo era responsável pelo controle genético da resistência.

Silva et al. (2021) ao avaliar a herança da resistência ao CABMV em cruzamentos e retrocruzamentos entre IT85F-2687 (resistente) e BR-14 Mulato (suscetível), empregando o teste do qui-quadrado, observaram a segregação de uma planta resistente para três plantas suscetíveis na população  $F_2$  e de uma planta resistente para uma planta suscetível na população  $F_7$ , indicando que a herança que controla a resistência é do tipo monogênica recessiva.

Dessa forma, o conhecimento exato sobre a base genética da herança da resistência aos vírus CPSMV e CABMV em genótipos resistentes candidatos a genitores, como é o caso do Sempre Verde Salgueiro, CNC-0434 e TVu-966 é imprescindível para o correto planejamento e execução de um programa de melhoramento genético do feijão-caupi, buscando a incorporação de genes de resistência em genótipos com boas características agronômicas destinadas a produção de grãos verdes.

## **2.6. Índice de seleção de Mulamba e Mock**

Em programas de melhoramento de feijão-caupi é comum se avaliar diversas características agronômicas e morfológicas, sendo bastante dificultoso realizar a seleção com base em uma única característica avaliada, dessa forma, os índices de seleção se apresentam como importante ferramenta para facilitar a predição de ganhos genéticos a partir da seleção simultânea de várias características. Esses índices têm capacidade de indicar qual genótipo avaliado tem a melhor combinação de características de interesse (Santos et al. 2019).

Entre os índices de seleção, o de soma de ranks de Mulamba e Mock (1978) tem recebido destaque na seleção em programas de melhoramento do feijão-caupi, contribuindo para os ganhos de seleção (Oliveira et al. 2017). Esse índice baseia-se em classificar os genótipos em relação a cada uma das características avaliadas, conforme a ordem de melhoramento. Em seguida, os ranks de cada genótipo são somados, resultando no índice de seleção.

Bertini et al. (2010) avaliaram a divergência genética de genótipos de feijão-caupi e identificaram através do índice de seleção de Mulamba e Mock aqueles que

apresentaram melhor combinação para diferentes características. Sendo possível identificar 13 genótipos apresentando características superiores quanto à produção, precocidade e qualidade do grão. Rodrigues et al. (2017), avaliando diferentes critérios para identificar genótipos de feijão-caupi tolerantes ao déficit hídrico, encontraram progressos satisfatórios a partir da seleção simultânea de características utilizando a soma de ranks de Mulamba e Mock.

Oliveira et al. (2017) estimaram o ganho de produção através de seleção simultânea de características relacionadas à produção, nutrição e culinárias em cruzamentos e retrocruzamentos de feijão-caupi comparando diferentes índices de seleção. O índice de ranks de Mulamba e Mock se apresentou como a melhor alternativa para a seleção de características nas populações de feijão-caupi, com destaque para as populações  $F_4BC_{12}$ ,  $F_4C_{21}$  e  $F_4C_{12}$  tendo os maiores ganhos genotípicos.

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adewale BD, Okonji CAA, Oyekanmi AA, Akintobi AC and Aremu CO (2010) Genotypic variability and stability of some grain yield components of Cowpea. **Academic Journals 5**: 874-880.

Amorim LLB, Nicoli A, Ferreira-Neto JR, Ferreira JDC, Borges ANC, Jesús-Pires C, Araújo FC, Matos MKS, Oliveira WD, Costa AF and Benko-Iseppon AM. **Viroses em feijão-caupi: fontes de resistência, marcadores moleculares, ômicas e biotecnologia**. In: Rios JA, Alemeida LC, Souza EB (Org.). Resistência de Plantas a Patógenos. 1ed. Recife: Editora da Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2021, v.1, 211-241.

Andrade Junior AS, Santos AA, Sobrinhos CA, Bastos EA, Melo EB, Viana FFP, Freire Filho FR, Carneiro JS, Rocha MM, Cardoso MJ, Silva PHS and Ribeiro VQ. **Cultivo de feijão-caupi**. In: EMBRAPA MEIO-NORTE. Available at <<http://sistemadeprodução.cnptia.embrapa.br/fontesHTML/feijao/feijaoCaupi/index.htm>> Accessed on January 02, 2019.

Andrade FN, Rocha MM, Gomes RLF, Freire Filho FR and Ramos SRR (2010) Estimativa de parâmetros em genótipos de feijão-caupi avaliados para feijão fresco. **Revista Ciência Agronômica 41**: 253–258.

Antoine B, La Salle TJB, Zakaria D, Zakaria K, Leandre P and Mahamadou S (2016) Inheritance and allelic relationship of resistance to *Cowpea aphid-borne mosaic virus* (CABMV) in two cowpea genotypes, KVx640 and KVX396-2D, in Burkina Faso. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 5**: 285-292.

Assunção IP, Matos Filho LR, Resende LV, Barros MCS, Lima GSA, Coelho RSB and Lima AA (2005) Genes diferentes podem conferir resistência ao *Cowpea severe mosaic virus* em caupi. **Fitopatologia Brasileira 30**: 333-242.

Athayde Sobrinho C, Viana FMP, Santos AA (2005) Doenças fúngicas e bacterianas. In: Freire Filho FR, Lima JAA and Ribeiro VQ. (Eds.). **Feijão-caupi: avanços tecnológicos** 461-484p.

Barraclough G (1995) Atlas da história do mundo da Folha de São Paulo/Times. **Revista São Paulo: Folha da Manhã 4**: 154-157.

Barreto, ALH, Vasconcelos IM, Grangeiro T and Melo VMM (2007) Infection process and host defense responses in compatible and incompatible interactions between cowpea (*Vigna unguiculata*) and *Colletotrichum gloeosporioides*. **International Journal of Plant Science 168**: 193-203.

Barros GB, Nogueira MSR, Oliveira CRR, Freire Filho FR, Ribeiro VQ, Veiga CFM, Brioso PST and Eiras M (2013) Obtenção de plantas de feijão-caupi resistente ao *Cowpea severe mosaic virus* e ao *Cowpea aphid-borne mosaic virus*. **Suma Phytopathologica 39**: 130-136.

Barros FR, Anunciação Filho CJ, Rocha MM, Nunes JAR, Silva KJD and Freire Filho FR (2011) Potencial genético de progênies de feijão-caupi segregantes quanto ao tipo da inflorescência. **Pesquisa Agropecuária Brasileira 46**: 182-189.

Santana SRA (2021) Melhoramento do feijão-caupi para grãos verdes visando resistência aos vírus do mosaico severo do caupi e do mosaico do caupi transmitido por afídeos

Bertini CHCM, Teófilo EM and Dias FTC (2009) Divergência genética entre acessos de feijão-caupi do banco de germoplasma da UFC. **Revista Ciência Agronômica** **40**: 99-105.

Bertini CHCM, Almeida WS, Silva APM, Silva JWL and Teófilo EM (2010) Análise multivariada e índice de seleção na identificação de genótipos superiores de feijão-caupi. **Acta Scientiarum Agronomy** **32**: 613-619.

Borém A and Miranda GV (2013) **Melhoramento de plantas**, 6.ed, Editora UFV, Viçosa, 523p.

Booker HM, Umaharan P and McDavid CR (2005) Effect of *Cowpea severe mosaic virus* on crop growth characteristics and yield of cowpea. **Plant Disease** **89**: 515-520.

Caixeta ET and Zambolim EM (2014) **Melhoramento genético de plantas visando resistência a doenças**. In: Zambolim L, Jesus-Júnior WC, Rodrigues FA. (Eds.) O essencial da fitopatologia: controle de doenças de plantas. Suprema Gráfica e Editora, Viçosa, 553-576p.

Camarço RFEA, Nascimento AKQ, Andrade EC and Lima JAA (2009) Biological, serological and molecular comparison between isolates of Cowpea severe mosaic virus. **Tropical Plant Pathology** **34**: 239-344.

Cardoso MJ, Freire Filho FR and Athayde Sobrinho C (1990) **BR-14-Mulato: nova cultivar de feijão macassar para o estado de Piauí**. Embrapa-UEPAE de Teresina, 4p.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v.7, n.5. Available at <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos?start=10>> Accessed on February 22, 2021.

Cruz ARR and Aragão FJL (2014) RNAi-based enhanced resistance to Cowpea severe mosaic virus and Cowpea aphid-borne mosaic virus in transgenic cowpea. **Plant Pathologic** **63**: 831-837.

Ehlers JD and Hall AE (1997) Cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. **Field Crops Research** **53**: 187-204.

FAO. Organização das Nações Unidas (2020) **FAOSTAT**. Available at <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>> Accessed on December 02, 2020.

Fernandes CF (2019) **Principais Doenças e Pragas do Feijão de corda**. Available at <<http://www.agronline.com.br/artigos/principais-doencas-pragas-feijao-de-corda>> Accessed on September 13, 2019.

Fernandes CF, Vieira Junior JR, Marcolan AL, Rosa Neto C, Diocleciano JM, Ferro GO, Antunes Junior H, Reis ND and Silva DSG (2010) **Ocorrência do vírus do mosaico severo (*Cowpea severe mosaic virus*- CPSMV) no feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)**. Embrapa, Rondônia, 4p.

Fischer IH and Rezende JAM (2008) Diseases of Passion Flower (*Passiflora* spp.). **Pest Tech** **2**: 1-19.

Santana SRA (2021) Melhoramento do feijão-caupi para grãos verdes visando resistência aos vírus do mosaico severo do caupi e do mosaico do caupi transmitido por afídeos

Freitas SF, Cezar MA, Ambrosio MMQ, Silva AKF, Aragão ML and Lima JAA (2012) Ocorrência de vírus em cultivos de feijoeiro-caupi no Sertão da Paraíba. **Tropical Plant Pathology 37**: 286-290.

Freire Filho FR, Rocha MM, Riberio VQ, Ramos SRR and Machado CF (2007) Novo gene produzido cotilédone verde em feijão-caupi. **Ciência Agronômica 38**: 286-290.

Freire Filho FR, Santos AA, Cardoso MJ, Silva PHS and Ribeiro VQ (1994) **BR17-Gurguéia: Nova cultivar de caupi com resistência a vírus para o Piauí**. Teresina: Embrapa-CPAMN, 6p.

Freire Filho FR and Costa AF (2020) Feijão-caupi: classificação botânica e importância. **Cadernos do Semiárido - riquezas & oportunidades**, Editora: UFRPE, p.17-20.

Freire Filho FR (1988) **Origem, evolução e domesticação do caupi**. In: Araújo JPP, Watt EE. O caupi no Brasil. Brasília, DF: IITA: EMBRAPA, p.26-46.

Freire Filho FR (2011) **Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 84p.

Freire Filho FR and Costa AF (2021) **Grãos verdes**. Available at <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijaocaupi/arvore/CONTAG01\\_76\\_510200683537.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijaocaupi/arvore/CONTAG01_76_510200683537.html)>. Accessed on December 16, 2021.

Freitas TGG, Silva PSL, Dovale JC and Silva EM (2016) Green Bean yield and path analysis in cowpea landraces. **Revista Caatinga 29**: 866-877.

González-Segnana LR, Fariña AE, Gonzáles DD, Melo APOA, Rezende AM and Kitajima EW (2013) Alternative hosts of Cowpea aphid-borne mosaic virus (CABMV) in sesame (*Sesamum indicum*) crops grown in Paraguay. **Tropical Plant Pathology 38**: 539-542.

Hampton RO, Thottappilly G and Rossel HW (1997) Viral diseases of cowpea and their control by resistance-conferring genes. In: Singh BB, Mohao Raj DR, Dashirell RE, Jachail LEN. **Advances in Cowpea Research**. International Institute of Tropical Agriculture. Ibadan, p.159-175.

Halfeld-Vieira BA, Nechet KL, Araujo SLF (2010) **Principais Doenças em Cultivos de Pequenas Propriedades do Entorno de Boa Vista**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 31p.

Hull R (2009) **Comparative Plant Virology**. 2 ed. Elsevier, 376p.

Jimenez CCM, Borges OL and Debbrot EA (1989) Herança de la resistência del frijol (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) al virus del mosaic severo del caupi. **Fitopatologia Venezolana 2**: 5-9.

Lapido JL (1976) A vein-banding strain of *Cowpea aphid-borne mosaic virus* in Nigerian. **Nigeria Journal of Science 10**: 77-78.

Leão US, Eiras M, Freire Filho FR, Nogueira MSR, Rodrigues LK, Ribeiro VQ and Lopes ACA (2016) Selection of phenotypic traits and resistance to *Cowpea severe mosaic virus* and *Cowpea aphid-borne mosaic virus* in cowpea [*Vigna unguiculata*

Santana SRA (2021) Melhoramento do feijão-caupi para grãos verdes visando resistência aos vírus do mosaico severo do caupi e do mosaico do caupi transmitido por afídeos

(L.) Walp.] seeds with rugose whithe coat. **Australian Journal of Crop Science 10:** 470-481.

Lopes CA and Boiteux LS (2012) Melhoramento para resistência a doenças bacterianas. In **Melhoramento de plantas para condições de estresses bióticos**. Editores: Fritse-Neto R and Borém A. Suprema. Editora UFV, Viçosa-MG, p.61-88.

Lima JAA and Nelson MR (1974) Purificação e identificação sorológica de “*Cowpe amosaic virus*” em *Vigna sinensis* Endl. no Ceará. **Ciência Agrônômica 3:** 5-8.

Lima JAA, Santos CDG and Silveira LFS (1986) Comportamento de genótipos de Caupi em relação aos dois principais vírus que ocorrem no Ceará. **Fitopatologia Brasileira 11:** 151-161.

Lima JAA, Sittilin IM and Lima RCA (2005) Diagnose e estratégias de controle de doenças ocasionadas por vírus. In: Freire Filho, FR (Ed.). **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas, p.404-459.

Lima JAA, Silva AKF, Aragão ML, Ferreira NRAF and Teófilo EM (2011) Simple and multiple resistances to viruses in cowpea genotypes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira 46:** 1432-1238.

Lima JAA (2015) **Virologia e viroses em culturas tropicais**. Fortaleza: Edições UFC, 605p.

Lin MT, Hill JH, Kitajima EW and Costa CL (1984) Two new serotypes of *cowpea severe mosaic virus*. **Phytopathology 74:** 581-585.

Lovisollo O and Conti M (1966) Identification of an aphid-transmitted *Cowpea mosaic virus*. Netherlands. **Journal of Plant Pathology 72:** 265-269.

Maia LM, Lima JAA, Nascimento AKQ and Rabelo Filho AC (2017) Biological differences and unilateral cross-protection between biotypes of Cowpea aphid-borne mosaic virus. **Revista Ciência Agrônômica 48:** 310-217.

Maréchal R, Mascherpa JM and Stainier F (1978) Étude taxonomique d'un groupe complexe d'espèces de genres *Phaseolus* et *Vigna* (Papilionaceae) sur la base de données morphologiques et polliniques, traitées par l'analyse informatique. **Boissiera 28:** 1-273.

Melo LF, Silva TP, Pereira JS, DoVale JC and Bertini CHCM (2021) Selection index for recommendation of cowpea cultivars for Green bean production. **Revista Ciência Agrônômica 52:** 1-9.

Mulamba NN and Mock JJ (1978) Improvement of yield potential of the method Eto Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. **Egyptian Journal of Genetics and Cytology 7:** 40-51.

Nechet KL and Halfeld-Vieira BA (2011) Efeito do inóculo, período de molhamento foliar e do estágio fenológico do feijão-caupi no desenvolvimento da mela. **Revista Tropical Plant Pathology 36:** 104-109.

Neves AC, Câmara JAS, Cardoso MJ, Silva PHS and Athayde Sobrinho C (2011) **Cultivo do Feijão-caupi em Sistema Agrícola Familiar**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 15p.

Santana SRA (2021) Melhoramento do feijão-caupi para grãos verdes visando resistência aos vírus do mosaico severo do caupi e do mosaico do caupi transmitido por afídeos

Oliveira CRR, Freire Filho FR, Nogueira MSR, Barros GB, Eiras M, Ribeiro VQ and Lopes ACA (2012) Reação de genótipos de feijão-caupi revela resistência às coinfeções pelo *Cucumber mosaic virus*, *Cowpea aphid-borne mosaic virus* e *Cowpea severe mosaic virus*. **Bragantia** **71**: 59-66.

Oliveira AP, Araujo JS, Alves EU, Noronha MAS, Cassimiro CM and Mendonça FM (2001) Rendimento de feijão-caupi cultivado com esterco e adubo mineral. **Horticultura Brasileira** **19**: 81-84.

Oliveria DG, Rocha MM, Damasceno-Silva KJ, Sá FV, Lima LRL and Resende MDV (2017) Genotypic gain with simultaneous selection of production, nutrition and culinary traits in cowpea crosses and backcrosses using mixed models. **Genetics and Molecular Research** **16**: 1-11.

Ombakho GA, Tyagi AP and Pathak RS (1987) In herance of resistance to the cowpea aphid in cowpea. **Theoretical and Applied Genetics** **74**: 817-819.

Padulosi S and Ng NQ (1997) Origin taxonomy, and morphology of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. In: Singh BB, Mohan Raj DR, Dashiell KE, Jackai LEN. (Ed.). **Advances in cowpea research**. Ibadan: International Institute of Tropical Agriculture; Tsukuba: Japan International Research Center for Agricultural Sciences, p.1-12.

Orawo M, Melis R, Laing M and Derera J (2013) Genetic inheritance of resistance to Cowpea aphid-borne mosaic virus in cowpea. **Euphytica** **189**: 191-201.

Pio-Ribeiro G, Assis Filho MF and Andrade GP (2016) Doenças do feijão-caupi. In: Amorim L, Rezende JAM, Bergamim Filho A, Camargo LEA. (Eds.) **Manual de Fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. 5°. Ed. São Paulo: Agronômica Ceres, p.373-382.

Pio-Ribeiro G, Assis Filho FM and Andrade GP (2005) Doenças do caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). In: Kimati H, Amorim L, Rezende JAM, Bergamin Filho A, Camargo LEA. **Manual de Fitopatologia: doenças das Plantas cultivadas**. Ed. São Paulo: Agronômica Ceres, p.215-221.

Ramalho APR, Abreu AFB, Santos JB and Nunes JAR (2012) **Aplicações de genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**, Editora UFLA, Lavras-MG, 522p.

Rodrigues EV, Damasceno-Silva KJ, Rocha MM, Bastos EA and Teodoro PE (2017) Selection of cowpea populations tolerant to water déficit by selection index. **Revista Ciência Agronômica** **48**: 889-896.

Rocha MM (2009) **O feijão-caupi para consumo na forma de grãos frescos**. 2009. Available at <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca>>. Accessed on February 22, 2021.

Rocha MM, Silva KJD and Menezes Junior J (2017) Avaliação de Cultivares. In: Dovale JC, Bertini C, Borém A. (Ed.). **Feijão-caupi: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Ed. UFV, p.113-142.

Santana SRA (2021) Melhoramento do feijão-caupi para grãos verdes visando resistência aos vírus do mosaico severo do caupi e do mosaico do caupi transmitido por afídeos

Rocha MM, Silva KJD, Freire Filho FR and Menezes Junior J (2017) Cultivo do feijão-caupi: cultivares. **Sistema de produção da Embrapa**, 2017. Available at <<https://www.spo.cnptia.embrapa.br/infoteca>>. Accessed on April 04, 2020.

Rocha MM, Soares MC, Freire Filho FR, Ramos SRR and Ribeiro VQ (2007) Avaliação preliminar de genótipos de feijão-caupi para feijão-verde. **Revista Científica Rural 12**: 153-156.

Rios GP, Watt EE, Araujo JPP and Neves BP (1982) **Cultivar CNC-0434 imune ao mosaico severo do caupi**. In: Reunião de Pesquisa de Caupi, Goiânia. Resumo, Goiânia: Embrapa-CNPAF, p113-115.

Salgado SM, Oliveira AVS and Guerra NB (2008) **Aspectos alimentares**. In: Brito ES (Ed.) Feijão-caupi. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical. p.25-38.

Santos SP, Araújo MS, Aragão WFL, Silva MMS and Rocha MM (2019) **Ganho genético por meio da seleção simultânea de caracteres agrônômicos em linhagens de feijão-caupi**. In: Congresso Nacional de Feijão-caupi. Resumo, Fortaleza: V CONAC.

Santos AA, Freire Filho FR and Cardoso MJ (1987) BR10-Piauí: cultivar de feijão macassar (*Vigna Unguiculata* (L.) Walp) com resistência múltipla a vírus. **Fitopatologia Brasileira 12**: 400-402.

Santos FML, Lima JAA and Barreto PD (1999) Infecções simples e múltiplas de vírus em caupi no Ceará. **Fitopatologia Brasileira 24**: 518-522.

Santos AA, Freire Filho FR and Cardoso MJ (1990) Nova cultivar de feijão macassar (*Vigna unguiculata*) com resistência múltipla a vírus. **Fitopatologia Brasileira 15**: 84-86.

Souza LC, Camargo R, Demasi M, Santana JM, Sá CM, Freitas SM (2014) Effects of an anticarcinogenic Bowman-Birk protease inhibitor on purified 20S proteasome and MCF-7 breast cancer cells. **PloS one**. Available at <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0086600>> Accessed on April 22, 2021.

Sousa JLM, Rocha MM, Silva KJD, Neves AC and Sousa RR (2015) Potencial de genótipos de feijão-caupi para o mercado de vagens e grãos verdes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira 50**: 392-398.

Sousa AEBA, Lima JÁ and Campos FAP (1996) Caracterização de uma estirpe de *Cowpea aphid-borne mosaic virus* obtida de soja no Ceará. **Fitopatologia Brasileira 21**: 470-478.

Silva EF, Barros-Junior AP, Silveira LM, Santana FM and Santos MG (2013) Avaliação de cultivares de feijão-caupi irrigado para produção de grãos verdes em Serra Talhada-PE. **Revista Caatinga 26**: 21-26.

Silva LA, Garcêz RM, Chaves ALR, Colariccio A and Eiras M (2012) Transmissão experimental revela novos potenciais reservatórios do *Cowpea aphid-borne mosaic virus*. **Summa Phytopathologica 38**: 168-169.

Santana SRA (2021) Melhoramento do feijão-caupi para grãos verdes visando resistência aos vírus do mosaico severo do caupi e do mosaico do caupi transmitido por afídeos

Silva EKC, Nascimento AVS, Coutinho AE, Costa JC and Resende LV (2012) Avaliação da resistência em população F<sub>3</sub> oriunda do cruzamento CNC-0434 X IPA-206 de feijão-caupi ao mosaico severo. **Revista Caatinga 25**: 199-203.

Silva, JA, Costa AF, Benko-Iseppon AM, Guimarães LMP, Leitão DAHS and Nicoli A (2021) Inheritance of cowpea resistance to *Cowpea aphid-borne mosaic virus*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira 56**: 1-4.

Silveira MA, Johann ARG, Wander AE and Campos WP (2014) Estratégia de comercialização do feijão-caupi produzido por agricultores familiares: Um estudo de caso na Região Leste de Goiás. **Conjuntura Econômica goiana 30**: 36-54.

Tavert-Roudet G, Anne A, Barra A, Chovin A, Demaille C and Michon T (2017) The Potyvirus particle recruits the plant translation initiation factor eIF4E by means of the VPg covalently linked to the viral RNA. **Molecular Plant-Microbe Interactions 30**: 754-762.

Umaharan P, Ariyanayagan RP and Haque SQ (1996) Resistance to cowpea severe mosaic virus, determined by three dosage dependent genes in *Vigna unguiculata* (L.) Walp. **Euphytica 95**: 49-55.

Vale CC and Lima JAA (1994) Efeitos de infecção isoladas e mista de vírus de grupos distintos em caupi. **Fitopatologia Brasileira 19**: 193-197.

Vale CC, Lima JAA (1995) Herança da imunidade da cultivar Macaibo de *Vigna unguiculata* ao vírus do mosaico severo do caupi. **Fitopatologia Brasileira 20**: 30-32.

Valli AA, Gallo A, Rodamilans B, López-Moya JJ and Gracia JA (2018) The HCPro from the Potyviridae family: a non-essential multitasking Helper Component every virus would like to have. **Molecular Plant Pathology 19**: 744-763.

Viana JMS, Cruz CD and Barros EG (2012) **Genética Vol 2 – Fundamentos**. Editora UFV, Viçosa, 326p.

Viralzone, SIB. Available at <[https://viralzone.expasy.org/48?outline=all\\_by\\_species](https://viralzone.expasy.org/48?outline=all_by_species)> Accessed on January 05, 2021.

Zilli JE, Silva Neto MS, França Júnior I, Perin L and Melo AR (2011) Resposta do feijão-caupi à inoculação com estirpes de *Bradyrhizobium* recomendadas para a soja. **Revista Brasileira de Ciências do Solo 35**: 739-742.

## CAPÍTULO II

---

### HERANÇA GENÉTICA DA RESISTÊNCIA DO FEIJÃO-CAUPI AOS VÍRUS

*Cowpea severe mosaic virus E Cowpea aphid-borne mosaic virus*

## **HERANÇA GENÉTICA DA RESISTÊNCIA DO FEIJÃO-CAUPI AOS VÍRUS *Cowpea severe mosaic virus* E *Cowpea aphid-borne mosaic virus***

### **RESUMO**

Apesar da rusticidade do feijão-caupi, duas doenças conhecidas como Mosaico Severo do Caupi e Mosaico do Caupi Transmitido por Afídeo têm ocasionado elevados prejuízos para os agricultores. A utilização de variedades resistentes é a maneira mais eficiente de controlar essas doenças. Para desenvolver novas variedades é fundamental que se realize o estudo da herança da resistência, a fim de se obter informações necessárias para o correto planejamento e execução do programa de melhoramento genético. O objetivo deste trabalho foi avaliar a herança da resistência da variedade CNC-0434 ao *Cowpea severe mosaic virus* (CPSMV) e da linhagem TVu-966 ao *Cowpea aphid-borne mosaic virus* (CABMV) por meio de cruzamentos manuais biparentais e retrocruzamentos entre genitores contrastantes em relação à resistência. Foram realizados dois experimentos independentes, no primeiro foram conduzidos os genitores CNC-0434 (imune ao CPSMV), Sempre Verde Salgueiro (suscetível ao CPSMV) e as gerações F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, RC<sub>11</sub> e RC<sub>21</sub>, sendo inoculados e avaliados quanto à resistência ao CPSMV. No segundo, foram conduzidos os genitores TVu-966 (resistente ao CABMV), Sempre Verde Salgueiro (suscetível ao CABMV) e as gerações F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, RC<sub>11</sub> e RC<sub>21</sub>, sendo inoculados e avaliados quanto à resistência ao CABMV. As plantas foram avaliadas por inspeção visual aos 10, 20 e 30 dias após a inoculação quanto ao surgimento e desenvolvimento dos sintomas visuais para cada um dos vírus, classificando-as como resistentes ou suscetíveis. A herança da resistência ao CPSMV na variedade CNC-0434 é controlada por um único gene homocigoto recessivo com dois alelos; A herança da resistência ao CABMV na linhagem TVu-966 é controlada por um único gene homocigoto recessivo com dois alelos; A avaliação das plantas inoculadas pode ser realizada aos dez dias após a inoculação; O CNC-0434 e o TVu-966 podem ser utilizados como genitores doadores nos programas de melhoramento genético do feijão-caupi visando resistência a ambos os vírus.

**Palavras-chave:** *Vigna unguiculata*, controle genético, CPSMV, CABMV.

## **GENETIC INHERITANCE OF RESISTANCE OF COWPEA BEAN TO VIRUSES** ***Cowpea severe mosaic virus AND Cowpea aphid-borne mosaic virus***

### **ABSTRACT**

Despite the rusticity of cowpea, two diseases known as Mosaic Severe Cowpea and Mosaic Cowpea Aphid-Transmitted have caused high losses to farmers. Genetic resistance through resistant varieties is the main form of control and for the development of these varieties it is necessary to study the genetic inheritance of resistance, in order to provide information for planning and conducting the genetic improvement program. The objective of this work was to evaluate the inheritance behavior of the variety CNC-0434 to *Cowpea severe mosaic virus* and the line TVu-966 to *Cowpea aphid-borne mosaic virus* through biparental crossings and backcrosses. Two independent experiments were carried out. In the first, the parents CNC-0434, Sempre Verde Salgueiro and the generations F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, RC<sub>11</sub> and RC<sub>21</sub> were carried out, being inoculated and evaluated for resistance to the CPSMV. In the second, the parents TVu-966, Sempre Verde Salgueiro and the F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, RC<sub>11</sub> and RC<sub>21</sub> generations were conducted, being inoculated and evaluated for resistance to the Virus Mosaic Cowpea Aphid-Transmitted. Plants were evaluated by visual inspection at 10, 20 and 30 days after inoculation for the appearance and development of qualitative symptoms for each virus, being classified as resistant or susceptible. The inheritance of resistance to *Cowpea severe mosaic virus* in cultivar CNC-0434 is controlled by a single homozygous recessive gene with two alleles; The inheritance of resistance to CABMV in the TVu-966 lineage is controlled by a single homozygous recessive gene with two alleles; The evaluation of inoculated plants can be carried out ten days after inoculation; CNC-0434 and TVu-966 can be used as donor parents in cowpea breeding programs aiming at resistance to both viruses.

**Keywords:** breeding, *Vigna unguiculata* L., CPSMV, CABMV.

## INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é umas das principais espécies leguminosas cultivadas nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, e vem ganhando cada vez mais espaço na região Centro-Oeste, durante a entressafra da soja (Zilli et al. 2011). A Nigéria e o Níger são os dois maiores produtores de feijão-caupi do mundo, com o Brasil logo atrás, em terceiro lugar (FAO 2020). A área plantada com feijão-caupi no Brasil, na safra 2019/2020 foi de 1.285,9 mil hectares (ha), sendo que mais de 80% dessa área se encontra na região Nordeste, com uma produção de 386.500t, representando 63,27% de toda a produção nacional (CONAB 2020).

Esta espécie possui grande importância na alimentação humana, assim como na geração de emprego e renda (Freire Filho et al. 2017). Apresenta um alto valor de proteínas, carboidratos, vitaminas, sais minerais, fibras e compostos fenólicos com ação antioxidante (Medeiros et al. 2017). É uma planta altamente rústica, que se adapta a diferentes condições edafoclimáticas. Apesar dessa rusticidade, diversas doenças vêm afetando a sua produção, chegando até a limitar seu cultivo.

Dentre as doenças que acometem o feijão-caupi, aquelas causadas por vírus são as que mais afetam a produtividade da cultura, causando elevados prejuízos (Cruz and Aragão 2014); destacam-se os vírus *Cowpea severe mosaic virus* (CPSMV) e o *Cowpea aphid-borne mosaic virus* (CABMV), o primeiro pela severidade de sua infecção e o segundo pela ampla ocorrência nos campos de produção (Barros et al. 2013). Já foram relatadas perdas de 50 a 85% com infecção do CPSMV, variando a intensidade dos danos com a época de infecção e com a suscetibilidade da cultivar (Booker et al. 2005).

O CPSMV é um vírus de RNA que pertence ao gênero *Comovirus*, família Comoviridae, é disseminado em condições naturais por cerca de dez espécies de insetos da ordem Coleóptera, sendo a maior parte deles dos gêneros *Cerotoma* e *Diabrotica* (Freire Filho et al. 1999), conhecidas como vaquinhas. Os primeiros sintomas surgem após o terceiro dia da infecção, podendo ser observadas bolhosidade, mosaico e redução do crescimento da planta (Fernandes et al. 2010).

Já o CABMV é um vírus de RNA do gênero *Potyvirus*, pertencente à família Potyviridae. Este gênero possui um elevado número de espécies virais que infectam plantas, sendo o gênero de maior importância econômica entre os vírus vegetais (Lima et al. 2005). A principal forma de disseminação deste vírus é através de vetores naturais de diferentes espécies de afídeos, destacando-se o pulgão *Aphis*

Santana SRA (2021) Melhoramento do feijão-caupi para grãos verdes visando resistência aos vírus do mosaico severo do caupi e do mosaico do caupi transmitido por afídeos

*craccivora* Koch (Lima et al. 2005) e também podem ser disseminados por sementes infectadas. Os principais sintomas observados são mosaico intenso, distorção foliar, lesões cloróticas, necrose sistêmica e redução no crescimento da planta (Vale and Lima 1994).

O método de controle mais utilizado para diminuir a incidência de doenças causadas por vírus no campo é pela aplicação de inseticida para controlar os insetos vetores, no entanto, essa prática apresenta baixa eficiência atingindo índices ainda mais inferiores em épocas chuvosas, além de ser uma prática dispendiosa. Dessa forma, a resistência genética através do desenvolvimento e utilização de variedades resistentes é apontada como a principal forma de controle (Lima 2015).

Diversos trabalhos evidenciam diferentes fontes de resistência ao CPSMV em variedades de feijão-caupi, como CNC-0434 (Rios et al. 1982), BR10 Piauí (Santos et al. 1987), BR12 Canindé (Santos et al. 1990), BR14 Mulato (Cardoso et al. 1990), BR17 Gurgueia (Freire Filho et al. 1994), Macaibo (Vale and Lima, 1995). E ao CABMV como TVu-379, TVu-382, TVu-966, TVu-3961 (Lima et al. 1986), BRS Cauamé, BRS Itaim, BRS Potengi, BRS Xiquexique, BRS Rouxinol, IT85S-2135, IT85F-2687, Mazagão, Patativa (Oliveira et al. 2012). Entretanto, a natureza da herança genética da resistência para muitas dessas fontes não está definida, o que é imprescindível para aumentar a eficiência dos programas de melhoramento na escolha do método de melhoramento mais adequado (Lopes and Boiteux, 2011).

Alguns estudos realizados com esse objetivo têm apresentado resultados divergentes, como a herança genética para o CPSMV é do tipo monogênica recessiva (Jiménez et al. 1989; Vale and Lima, 1995) enquanto outros relatam que é do tipo poligênico com três genes recessivos não ligados (Umaharam et al. 1997). Da mesma forma acontece para o CABMV, resultados apontam para herança monogênica dominante (Ombakho et al. 1987; Antoine et al. 2016), enquanto outros para herança monogênica recessiva (Orawu et al. 2013; Silva et al. 2021). Dessa forma, é de fundamental importância definir quais tipos de herança genética de resistência é conferida pela variedade CNC-0434 e pela linhagem TVu-966.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar a herança da resistência da variedade CNC-0434 ao CPSMV e da linhagem TVu-966 ao CABMV por meio de cruzamentos e retrocruzamentos, visando sua utilização no desenvolvimento de novas variedades resistentes.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os estudos foram conduzidos em casa de vegetação, localizada na sede do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), no bairro do Bongi, Recife-PE, no período de julho a novembro de 2020. A temperatura no telado durante o desenvolvimento dos experimentos variou de 22,0 a 31,0°C, com umidade relativa do ar variando de 69 a 82%.

O genitor feminino utilizado foi a variedade crioula Sempre Verde Salgueiro, disponibilizada pelo Banco de Germoplasma do IPA, selecionada por apresentar alta capacidade produtiva e boa aceitação comercial no estado de Pernambuco, porém com suscetibilidade aos vírus CPSMV e CABMV. Os genitores masculinos utilizados foram a variedade CNC-0434 imune ao CPSMV, desenvolvida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), e a linhagem TVu-966 resistente ao CABMV, desenvolvida pelo International Institute of Tropical Agriculture (IITA), ambas com baixa aceitação comercial em Pernambuco, por apresentarem baixo peso de 100 grãos, baixo comprimento de vagem e grãos pequenos.

Os isolados de CPSMV e CABMV foram obtidos a partir de plantas infectadas de feijão-caupi coletadas em campo experimental da Embrapa Meio-Norte, em Teresina-PI, os quais foram purificados biologicamente em sucessivas inoculações nas linhagens TE 97-200-49F, TE 94-256-2E, diferenciadoras do CPSMV sorotipos I e II, e na cultivar Pampo, diferenciadora do CABMV. Estes isolados foram cedidos para o IPA, sendo mantidos em plantas suscetíveis em telados antiafídeos. Posteriormente, foi confirmada sua identificação através do teste sorológico de ELISA indireto (*Enzyme-Linked Immunosorbent Assay*) utilizando anticorpos policlonais específicos para CPSMV e CABMV no Laboratório de Fitovirologia da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

Para a obtenção das populações segregantes foram realizados cruzamentos e retrocruzamentos manuais entre genitores contrastantes para a característica resistência ao CPSMV e ao CABMV, no período de março a agosto de 2018. Os genitores foram semeados em canteiros dentro da casa de vegetação, com sistema de irrigação por aspersão. Após o início da floração, cerca de 45 dias, foram realizados cruzamentos biparentais entre (Sempre Verde Salgueiro x CNC-0434) e (Sempre Verde Salgueiro x TVu-966).

Os cruzamentos foram realizados segundo o método descrito por Zary and Miller Júnior (1982), onde se coletam as flores abertas, doadoras de pólen, nas

primeiras horas da manhã e realizam-se os cruzamentos no final da tarde, a partir das 16h, com auxílio de pinça de ponta curva para realizar emasculação da flor receptora e lápis de ponta 0,7 para realizar a retirada do pólen da flor doadora e polinização da flor receptora. Em seguida, cerca de 30 dias após a realização da hibridação, foram obtidas as sementes  $F_1$  de cada cruzamento, as quais foram semeadas e, por autofecundação, originaram duas populações segregantes  $F_2$ , assim como parte das plantas  $F_1$  foi cruzada com seus respectivos parentais resistentes e suscetíveis, resultando nos retrocruzamentos ( $RC_{11}$ ) e ( $RC_{21}$ ).

De posse das sementes dos genitores  $P_1$  e  $P_2$ , juntamente com as gerações  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $RC_{11}$ ,  $RC_{21}$  foram montados dois experimentos em casa de vegetação, sendo o primeiro para avaliar a herança da resistência da variedade CNC-0434 ao CPSMV no período de outubro a novembro de 2020, utilizando-se 96 plantas do  $P_1$ , 96 do  $P_2$ , 96 do  $F_1$ , 144 do  $RC_{11}$ , 144 do  $RC_{12}$  e 396 do  $F_2$ . Já no segundo experimento, para avaliar a herança da resistência da linhagem TVu-966 ao CABMV no período de julho a agosto de 2020, foram utilizadas 96 plantas do  $P_1$ , 96 do  $P_2$ , 96 do  $F_1$ , 96 do  $RC_{11}$ , 96 do  $RC_{21}$  e 396 plantas do  $F_2$ . A semeadura ocorreu em sacos plásticos de 1,0 kg para produção de mudas, contendo solo esterilizado, sendo semeadas quatro sementes por saco.

As plântulas receberam a inoculação nas folhas cotiledonais aos oito dias após a semeadura, nas quais foi polvilhada uma pequena quantidade do abrasivo Carborundum 600 mesh (cerca de 1g), de forma a causar pequenas ranhuras para facilitar a penetração dos vírus. Em seguida, realizou-se a fricção do extrato vegetal tamponado, obtido através da maceração de 1,0g de tecido foliar infectado com o vírus CPSMV para o primeiro experimento e 1,0g de tecido foliar infectado com o vírus CABMV para o segundo experimento, em 9,0 mL de solução tampão fosfato de sódio na concentração de 0,01M e pH 7,0 (Paz et al. 1999). Em seguida, realizou-se a lavagem das folhas com água destilada para retirar o excesso de Carborundum e do inóculo. Três dias após a primeira inoculação foi realizada uma reinoculação a fim de evitar possíveis escapes.

Quarenta plantas de cada progenitor foram utilizadas como testemunhas, sendo inoculadas apenas com o extrato vegetal tamponado, sem a presença do vírus. O número de plantas inoculadas no total foi de 1052 plantas no primeiro experimento e 956 no segundo experimento.

As plantas inoculadas foram avaliadas por inspeção visual aos 10, 20 e 30 dias após a inoculação (DAI) quando foram observados o surgimento e desenvolvimento dos sintomas visuais característicos para cada um dos vírus como: bolhosidade (Bl), lesão clorótica (Lc), mosaico leve (Ml), mosaico severo (Ms), morte apical (Ma), morte da planta (Mo), necrose sistêmica (Ne), redução foliar (Rf) e sem sintomas (Ss) (Vale and Lima 1994; Rocha et al. 2003), classificando-as quanto à presença ou ausência de sintomas. Plantas com sintomas característicos claros foram consideradas como suscetíveis, enquanto plantas que apresentaram sintomas leves ou não apresentaram sintomas foram consideradas resistentes (Lima et al. 2011).

Após a obtenção dos dados, foi aplicado o teste não paramétrico do qui-quadrado ( $\chi^2$ ) para testar hipóteses formuladas, considerando a frequência das segregações observadas em relação às frequências esperadas para cada uma das gerações, de forma a estimar o número de genes envolvidos no controle da resistência ao CPSMV e ao CABMV. O valor de  $\chi^2$  foi obtido pela seguinte expressão:  $\chi^2 = \sum^{nc} [(FO_i - FE_i)^2 / FE_i]$ , onde  $nc$  = número de classes da distribuição de frequências,  $FO_i$  = número de plantas observadas para a  $i$ -ésima classe avaliada; e  $FE_i$  = número de plantas esperadas para a  $i$ -ésima classe avaliada. As hipóteses testadas foram: hipótese nula ( $H_0$ ) - as frequências observadas não são significativamente diferentes das frequências esperadas e hipótese alternativa ( $H_1$ ) - as frequências observadas são significativamente diferentes das frequências esperadas. A tomada de decisão foi feita comparando-se os dois valores de  $\chi^2$ , se  $\chi^2$  calculado  $\geq \chi^2$  tabelado rejeita-se  $H_0$ ; se  $\chi^2$  calculado  $< \chi^2$  tabelado aceita-se  $H_0$ . O nível de significância utilizado foi de 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa GENES (Cruz 2013).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Primeiro experimento – Herança do CNC-0434 ao CPSMV**

Após as avaliações foi observado que não houve variação no número de plantas consideradas resistentes e suscetíveis, em relação aos períodos de avaliação realizada aos 10, 20 e 30 DAI, ou seja, até os dez dias após a inoculação todas as plantas suscetíveis apresentaram os sintomas relacionados ao vírus (Figura 1), não sendo necessário, dessa forma, aguardar até o 30º dia de avaliação para verificar surgimento de sintomas. Esse resultado demonstra que os sintomas

ocasionados pelo CPSMV nas plantas não é progressivo ao longo do tempo, o que possibilita a realização de seleção precoce, a fim de diminuir os ciclos de seleção para o melhoramento visando à resistência a esse vírus.

Quanto às frequências observadas, 100% das plantas do genitor masculino CNC-0434 ( $P_1$ ) comportaram-se como resistentes, não apresentando sintomas do vírus, enquanto para o genitor feminino Sempre Verde Salgueiro ( $P_2$ ) foi observado que 100% das plantas inoculadas apresentaram sintomas de lesão clorótica sistêmica (Lc), bolhosidade (BI), mosaico severo (Ms) e redução foliar (Rf), sendo classificadas como suscetíveis. O mesmo resultado observado no  $P_2$  foi observado na primeira geração  $F_1$  (Sempre Verde Salgueiro x CNC-0434), a qual apresentou sintomas em 100% das plantas inoculadas (Figura 1).

No retrocruzamento  $RC_{11}$  ( $F_1$  x CNC-0434) foram observadas plantas com sintomas e sem sintomas, com frequência de 74 plantas suscetíveis (51,4%) e 70 plantas resistentes (48,6%), enquanto no retrocruzamento  $RC_{21}$  ( $F_1$  x Sempre Verde Salgueiro), 100% das plantas inoculadas apresentaram sintomas do vírus, sendo classificadas como suscetíveis. Já na segunda geração ( $F_2$ ) foi observada a existência dos dois tipos de reação, sendo 299 plantas com sintomas, classificadas como suscetíveis (75,5%), e 97 plantas sem sintomas, classificadas como resistentes (24,5%) (Figura 1). Os sintomas mais observados nas plantas suscetíveis foram: bolhosidade, lesão clorótica sistêmica, mosaico severo (não houve diferença na intensidade do mosaico) e redução foliar (Tabela 1).

Diante dos resultados observados, foi elaborada a hipótese de que: a herança genética da resistência ao CPSMV é controlada por um único gene recessivo, tendo em vista que a frequência de plantas na geração  $F_2$  foi de 299 plantas suscetíveis e 97 plantas resistentes, o que resulta na proporção de 3:1 (suscetível: resistente). Outro fator que contribui para o desenvolvimento dessa hipótese é o retrocruzamento  $RC_{11}$ , sendo observadas 74 plantas suscetíveis e 70 plantas resistentes ou 1:1 (suscetível: resistente), assim como o resultado encontrado no retrocruzamento  $RC_{21}$ , no qual todas as plantas foram classificadas como suscetíveis, fato esperado quando a herança genética é controlada por um gene recessivo.

O teste do qui-quadrado realizado confirma que a herança genética da resistência ao CPSMV na variedade CNC-0434 é monogênica recessiva, pois o  $\chi^2$  calculado em  $F_2$  (0,0538) e em  $RC_{11}$  (0,1111) foram menores que o tabelado (3,84),

aceitando-se a hipótese testada (Tabela 2). Esse resultado corrobora com o encontrado por Jiménez et al. (1989), um dos primeiros estudos de herança para o CPSMV em feijão-caupi, que realizaram avaliações em populações  $F_2$  de nove cruzamentos segregantes, constatando que a segregação observada se ajustava à proporção de uma planta resistente para três plantas suscetíveis, caracterizando um padrão de resistência controlada por um único gene homozigoto recessivo.

Vale and Lima (1995) ao estudarem a herança da resistência na cultivar Macaibo, verificaram que apenas um gene recessivo era responsável pela resistência ao CPSMV. Resultados semelhantes foram relatados por Assunção et al. (2005), avaliando três fontes de resistência ao CPSMV e Silva et al. (2012) avaliando a resistência de uma população  $F_3$  (CNC-0434 x IPA-206) a diferentes isolados de CPSMV, observaram que a herança da resistência ao CPSMV é controlada por um único gene recessivo.

No entanto, pode ser observado resultado contrário à herança encontrada no presente trabalho, como o de Umaharam et al. 1997, avaliando as gerações  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $RC_1$  e  $RC_2$  em quatro cruzamentos de genótipos resistentes x suscetível e três cruzamentos entre genótipos resistentes, inoculados de forma natural por insetos em casa de vegetação, observaram uma proporção de 63 plantas suscetíveis para uma planta resistente na geração  $F_2$ , assim como nos retrocruzamentos e na  $F_3$ , concluindo que a herança da resistência ao CPSMV é conferida por três genes recessivos não ligados.

A segregação fenotípica observada neste estudo foi de três plantas suscetíveis para uma planta resistente (Tabela 2), essa segregação está relacionada apenas a uma característica, resistência ao CPSMV. Barros et al. (2013) avaliando plantas resistentes ao CPSMV e ao CABMV, observaram uma segregação de 15 plantas suscetíveis para uma planta resistente, segregação esta que corrobora com a encontrada no presente trabalho, haja visto que se trata de duas características distintas, comprovando que a herança da resistência ao CPSMV é do tipo monogênica recessiva.

## **Segundo experimento – Herança do Tvu-966 ao CABMV**

Para o CABMV não foi observada variação significativa no número de plantas resistentes e suscetíveis em relação às avaliações realizadas aos 10, 20 e 30 DAI (Figura 2), dessa forma pode-se inferir que os sintomas ocasionados pelo CABMV

surgem logo após o início da infecção e não têm efeito progressivo com o passar do tempo, possibilitando a seleção precoce dos indivíduos resistentes.

Quanto às frequências observadas, 100% das plantas do genitor masculino Tvu-966 ( $P_1$ ) foram consideradas resistentes, não apresentando sintomas do vírus, enquanto para o genitor feminino Sempre Verde Salgueiro ( $P_2$ ) foi observado que 100% das plantas inoculadas apresentaram sintomas claros de mosaico severo (Ms), bolhosidade (Bl), e redução foliar (Rf), sendo classificadas como suscetíveis. Na geração  $F_1$  (Sempre Verde Salgueiro x TVu-966), 100% das plantas apresentaram sintoma de mosaico, sendo classificadas como suscetíveis (Figura 2).

No retrocruzamento  $RC_{11}$  ( $F_1$  x Tvu-966) observou-se a presença de 50 plantas suscetíveis (52,1%) e 46 plantas resistentes (47,9%). No retrocruzamento  $RC_{21}$  ( $F_1$  x Sempre Verde Salgueiro), 100% das plantas observadas apresentaram sintomas do vírus, sendo classificadas como suscetíveis. Já na geração  $F_2$ , 300 plantas apresentaram mais de um sintoma do vírus, sendo classificadas como suscetíveis (75,6%), enquanto 96 plantas não apresentaram nenhum sintoma, sendo classificadas como resistentes (24,4%) (Figura 2). Os sintomas observados em maior frequência nas plantas suscetíveis foram: mosaico leve, mosaico severo, bolhosidade e redução foliar (Tabela 3).

Diante dos resultados encontrados, assim como ocorreu no estudo da herança do CPSMV, a hipótese testada e avaliada foi que a herança genética da resistência ao CABMV é controlada por um único gene recessivo, de modo que a frequência de plantas na geração  $F_2$  foi de 300 plantas suscetíveis e 96 plantas resistentes (3:1), ajustando-se na frequência de três plantas suscetíveis para uma planta resistente.

Os retrocruzamentos  $RC_{11}$  ( $F_1$  x TVu-966) e  $RC_{21}$  ( $F_1$  x Sempre Verde Salgueiro) contribuem para o desenvolvimento dessa hipótese, pois as frequências de plantas suscetíveis e resistentes foram na proporção de (1:1) e (1:0), respectivamente. Essas frequências são esperadas para características controladas por apenas um gene recessivo com dois alelos. O  $\chi^2$  calculado em  $F_2$  foi de 0,121 e em  $RC_{11}$  foi de 0,166 sendo menores que o  $\chi^2$  tabelado de 3,84, dessa forma confirma-se que a herança da resistência ao CABMV na variedade Tvu-966 é monogênica recessiva (Tabela 4).

O resultado encontrado está de acordo com Orawu et al. (2013), que realizaram cruzamentos e retrocruzamentos entre três variedades suscetíveis com cinco variedades resistentes ao CABMV, observando que em sete, de 15

populações, a resistência foi condicionada por apenas um gene recessivo. Barros et al. (2013), avaliando uma população segregante  $F_2$  e as populações  $RC_{11}$  e  $RC_{21}$ , encontraram como resultado que o controle da herança ao CABMV é conferida por um gene recessivo.

Resultados semelhantes também foram encontrados por Silva et al. (2021) que, ao avaliar a herança da resistência ao CABMV em cruzamentos e retrocruzamentos entre a linhagem resistente IT85F-2687 e cultivar suscetível BR-14 Mulato, empregando o teste do qui-quadrado, observaram que houve segregação de três plantas suscetíveis para uma planta resistente na população  $F_2$  e de uma planta resistente para uma planta suscetível na população  $F_7$ , indicando que a herança é do tipo monogênica recessiva

No entanto, resultados contrários como o de Ombakho et al. (1987) que, avaliando os genótipos ICV 11 e TVu 310, chegaram à conclusão que a herança da resistência ao CABMV é controlada por um gene dominante. Esse mesmo resultado foi encontrado por Antoine et al. (2016) que, ao avaliarem populações  $F_2$  provenientes de cruzamentos entre dois genótipos resistentes (KVX640 e KVX396-4-5-2D) e dois suscetíveis ao CABMV, observaram uma segregação de 15 plantas resistentes para uma planta suscetível, concluindo que a herança para essas variedades é monogênica dominante.

Os resultados encontrados comprovam a existência de diferentes genes de resistência ao CABMV em feijão-caupi, sendo imprescindível a realização do estudo da herança genética para o genótipo que se planeja utilizar no programa de melhoramento de plantas, especificamente no desenvolvimento de novas variedades resistentes ao CABMV.

Quando a herança genética da resistência é condicionada por um único gene, facilita a obtenção de novas cultivares resistentes, pois a incorporação de um gene de resistência em um programa de melhoramento pode ser atingida rapidamente por meio de retrocruzamentos sucessivos (Caixeta and Zambolim, 2014). Quando esse gene é recessivo, torna-se ainda mais rápida a obtenção de uma nova cultivar resistente, pois na avaliação eliminam-se os genótipos homocigotos dominantes e os heterocigotos, restando apenas os homocigotos recessivos de interesse.

Dessa forma, como a herança da resistência na variedade CNC-0434 ao CPSMV é do tipo monogênica recessiva, assim como na linhagem TVu-966 ao

Santana SRA (2021) Melhoramento do feijão-caupi para grãos verdes visando resistência aos vírus do mosaico severo do caupi e do mosaico do caupi transmitido por afídeos

CABMV, a utilização de métodos como retrocruzamento ou seleção recorrente podem ser utilizados em programas de melhoramento.

## **CONCLUSÕES**

A herança da resistência ao *Cowpea severe mosaic virus* na variedade CNC-0434 é controlada por um único gene homocigoto recessivo com dois alelos; O mesmo resultado monogênico recessivo foi encontrado para a herança da resistência ao *Cowpea aphid-born mosaic virus* na linhagem TVu-966;

A avaliação das plantas inoculadas pode ser realizada aos dez dias após a inoculação;

A cultivar CNC-0434 e a linhagem TVu-966 podem ser utilizadas como progenitores doadores em programas de melhoramento genético do feijão-caupi visando resistência a ambos os vírus.

## **AGRADECIMENTOS**

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco – FACEPE, pela concessão da bolsa de estudo e ao Instituto Agrônomo de Pernambuco–IPA, pelo apoio no desenvolvimento da pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Antoine B, La Salle TJB, Zakaria D, Zakaria K, Leandre P and Mahamadou S (2016) Inheritance and allelic relationship of resistance to *Cowpea aphid-borne mosaic virus* (CABMV) in two cowpea genotypes, KVx640 and KVX396-2D, in Burkina Faso. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences** 5: 285-292.

Assunção IP, Matos Filho LR, Resende LV, Barros MCS, Lima GSA, Coelho RSB and Lima AA (2005) Genes diferentes podem conferir resistência ao *Cowpea severe mosaic virus* em caupi. **Fitopatologia Brasileira** 30: 333-242.

Barros GB, Nogueira MSR, Oliveira CRR Freire Filho FR, Ribeiro VQ, Veiga CFM, Bioso PST and Eiras M (2013) Obtenção de plantas de feijão-caupi resistente ao *Cowpea severe mosaic virus* e ao *Cowpea aphid-borne mosaic virus*. **Suma Phytopathologica** 39: 130-136.

Booker HM, Umaharan P and McDavid CR (2005) Effect of *Cowpea severe mosaic virus* on crop growth characteristics and yield of cowpea. **Plant Disease** 89: 515-520.

Caixeta ET and Zambolim EM (2014) **Melhoramento genético de plantas visando resistência a doenças**. In: Zambolim L, Jesus-Júnior WC, Rodrigues FA. (Eds.) O essencial da fitopatologia: controle de doenças de plantas. Viçosa: Suprema Gráfica e Editora, p.553-576.

Cardoso MJ, Freire Filho FR and Athayde Sobrinho C (1990) **BR-14-mulato: nova cultivar de feijão macassar para o estado de Piauí**. Embrapa-UEPAE de Teresina, 4p.

CONAB Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v.7, n.5. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/gaos/boletim-da-safra-de-graos?start=10> > Acesso em: 22 fev.de 2021.

Cruz ARR and Aragão FJL (2014) RNAi-based enhanced resistance to *Cowpea severe mosaic virus* and *Cowpea aphid-borne mosaic virus* in transgenic cowpea. **Plant Pathologic** 63: 831-837.

Cruz CD (2013) GENES - Software para análise de dados em estatística experimental e em genética quantitativa. **Acta Scientiarum – Agronomy** 35: 271–276.

FAO. Organização das Nações Unidas (2020). FAOSTAT. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 02 Dez. 2020.

Fernandes CF, Vieira Junior JR, Marcolan AL, Rosa Neto C, Diocleciano JM, Ferro GO, Antunes Junior H, Reis ND and Silva DSG (2010) **Ocorrência do vírus do mosaico severo (*Cowpea severe mosaic virus*- CPSMV) no feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)**. Rondônia: Embrapa, 4p.

Freire Filho FR (1999) **Melhoramento genético do caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] na Região Nordeste**. In: Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o Nordeste Brasileiro. EMBRAPA, CPATSA, Petrolina. p.1-30.

Santana SRA (2021) Melhoramento do feijão-caupi para grãos verdes visando resistência aos vírus do mosaico severo do caupi e do mosaico do caupi transmitido por afídeos

Freire Filho FR, Ribeiro VQ, Rocha MM, Silva KJD, Nogueira MS and Rodrigues EV (2011) **Feijão-caupi: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 84p.

Freire Filho FR, Santos AA, Cardoso MJ, Silva PHS and Ribeiro VQ (1994) **BR17-Gurguéia: Nova cultivar de caupi com resistência a vírus para o Piauí**. Teresina: Embrapa-CPAMN, 6p.

Freire Filho FR, Ribeiro VQ, Rodrigues JELF and Vieira PFM (2017) A cultura: Aspectos Socioeconômicos. In: Vale JC, Bertini C, Borém A. (Ed.). **Feijão-caupi: do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, v.1, p.9-34.

Jimenez CCM, Borges OL and Debbrot EA (1989) Herencia de la resistencia del frijol (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) al virus del mosaic severo del caupi. **Fitopatologia Venezolana 2**: 5-9.

Lima JA, Sittolin IM and Lima RCA (2005) **Diagnoses e Estratégias de Controle de Doenças Ocasionadas por Vírus**. In: Freire Filho FR (Eds). Feijão-Caupi: avanços tecnológicos. p.405-459.

Lima JAA (2015) **Virologia essencial e viroses em culturas tropicais**. Fortaleza: Edições UFC, 605p.

Lima JAA, Santos CDG and Silveira LFS (1986) Comportamento de genótipos de Caupi em relação aos dois principais vírus que ocorrem no Ceará. **Fitopatologia Brasileira 11**: 151-161.

Lima JAA, Silva AK, Aragão ML, Ferreira NRA and Teófilo EM (2011) Simple and multiple resistances to in cowpea genotypes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília 46**: 1432-1438.

Lopes CA and Boiteux LS (2011) Melhoramento para resistência a doenças bacterianas. Em: **Melhoramento de plantas para condições de estresses bióticos**. Editores: Fritse-Neto R and Borém A. Suprema. Editora UFV, Viçosa-MG, p.61-88.

Medeiros WR, Silva JDC, Silva PRR, Girão Filho JE, Padua LEM and França SM (2017) Resistência de genótipos de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] ao Ataque do Caruncho *Callosobruchus maculatus* (Fabr.) (Coleoptera: *Chrysomelidae*). **Revista Entomo Brasiliis 10**: 19-25.

Oliveira CRR, Freire Filho FR, Nogueira MSR, Barros GB, Eiras M, Ribeiro VQ and Lopes ACA (2012) Reação de genótipos de feijão-caupi revela resistência às coinfeccões pelo *Cucumber mosaic virus*, *Cowpea aphid-borne mosaic virus* e *Cowpea severe mosaic virus*. **Bragantia 71**: 59-66.

Ombakho GA, Tyagi AP and Pathak RS (1987) In herance of resistance to the cowpea aphid in cowpea. **Theoretical and Applied Genetics 74**: 817-819.

Orawo M, Melis R, Laing M and Derera J (2013) Genetic inheritance of resistance to *Cowpea aphid-borne mosaic virus* in cowpea. **Euphytica 189**: 191-201.

Padulosi S and Ng NQ (1995) Origin taxonomy, and morphology of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. In: Singh BB, Mohan Raj, Dashieil KE, Jackai LEN. (Ed.).

Santana SRA (2021) Melhoramento do feijão-caupi para grãos verdes visando resistência aos vírus do mosaico severo do caupi e do mosaico do caupi transmitido por afídeos

**Advances in cowpea research.** Ibadan: International Institute of Tropical Agriculture; Tsukuba: Japan International Research Center for Agricultural Sciences, 1997. p. 1-12. Trabalhos selecionados do Second World Cowpea Research Conference, 1995, Accra, Ghana.

Paz CD, Lima JAA, Pio-Ribeiro G, Assis Filho FM, Andrade GP and Gonçalves MFB (1999) Purificação de um isolado do vírus do mosaico severo do caupi, obtido em Pernambuco, produção de antissoros e determinação de fontes de resistência em caupi. **Summa Phytopathologica 25:** 285-188.

Rios GP, Watt EE, Araujo JPP and Neves BP (1982) **Cultivar CNC-0434 imune ao mosaico severo do caupi.** In: Reunião de Pesquisa de Caupi, 1, 1982. Goiânia: Embrapa-CNPAP, p.113-115.

Rocha MM, Lima JAA, Freire Filho FR, Rosal CJS and Lopes ACA (2003) Resistência de genótipos de Caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) de tegumento branco a isolados de vírus das famílias Bromoviridae, Comoviridae e Potyviridae. **Ciência Rural 8:** 85-92.

Santos AA, Freire Filho FR and Cardoso MJ (1987) BR10-Piauí: cultivar de feijão macassar (*Vigna Unguiculata* (L.) Walp) com resistência múltipla a vírus. **Fitopatologia Brasileira 12:** 400-402.

Santos AA, Freire Filho FR and Cardoso MJ (1990) Nova cultivar de feijão macassar (*Vigna unguiculata*) com resistência múltipla a vírus. **Fitopatologia Brasileira 15:** 84-86.

Silva EKC, Nascimento AVS, Coutinho AE, Costa JC and Resende LV (2012) Avaliação da resistência em população F<sub>3</sub> oriunda do cruzamento CNC-0434 X IPA-206 de feijão-caupi ao mosaico severo. **Revista Caatinga 25:** 199-203.

Silva JA, Costa AF, Benko-Iseppon AM, Guimarães LMP, Leitão DAHS and NICOLI A (2021) Inheritance of cowpea resistance to *Cowpea aphid-borne mosaic virus*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira 56:** 1-4.

Umaharan P, Ariyanayagan RP and Haque SQ (1997) Resistance to *cowpea severe mosaic virus*, determined by three dosage dependent genes in *Vigna unguiculata* (L.) Walp. **Euphytica 95:** 49-55.

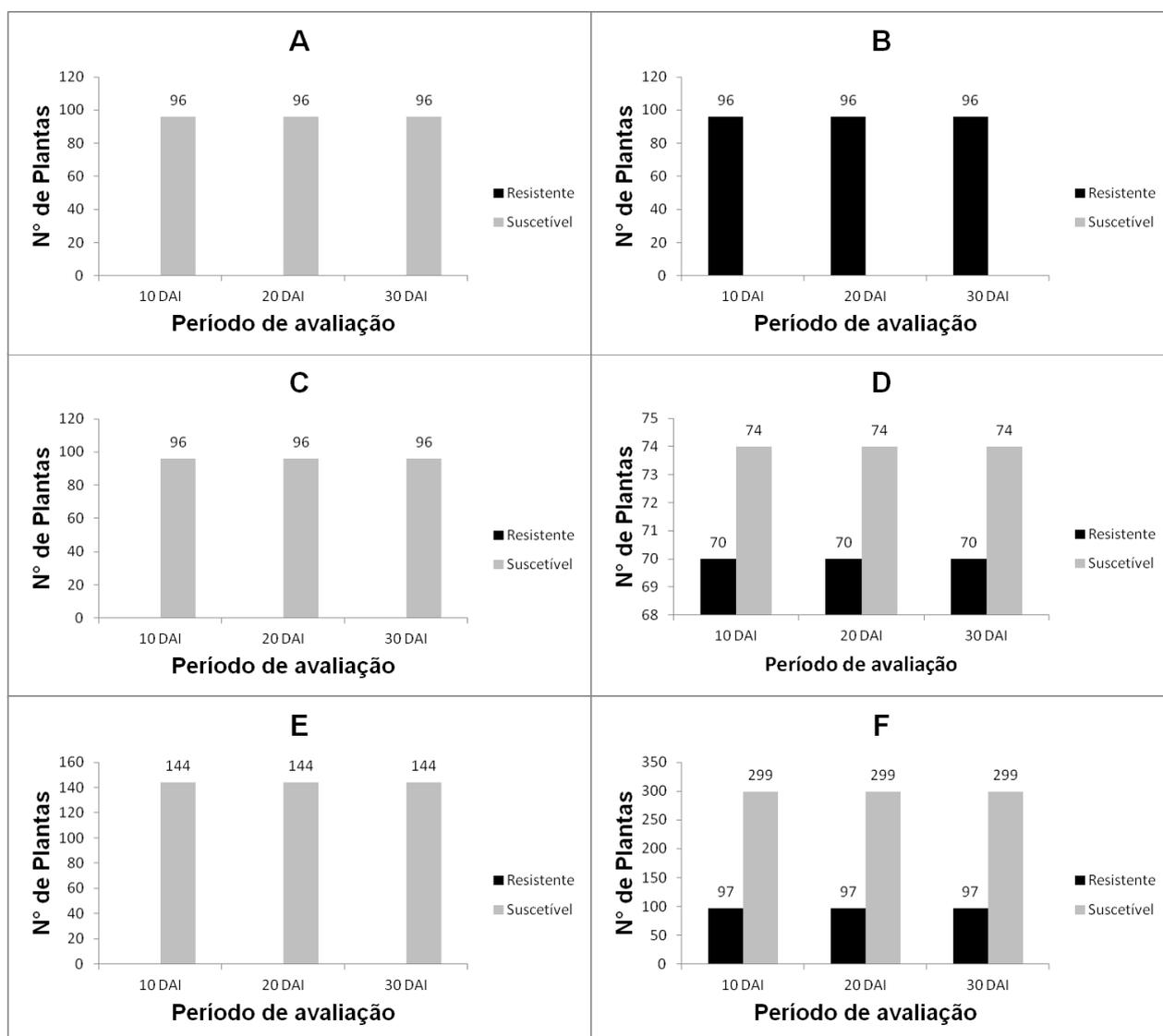
Vale CC and Lima JAA (1995) Herança da imunidade da cultivar Macaibo de *Vigna unguiculata* ao vírus do mosaico severo do caupi. **Fitopatologia Brasileira 20:** 30-32.

Vale CC and Lima JAA (1994) Efeitos de infecção isoladas e mista de vírus de grupos distintos em caupi. **Fitopatologia Brasileira 19:** 193-197.

Zary KW and Miller Júnior JC (1982) Comparison of two methods of hand-crossing *Vigna unguiculata* (L.) Walp. **HortScience 17:** 246-248.

Zilli JE, Silva NETO MS, França Júnior I, Perin L and Melo AR (2011) Resposta do feijão-caupi à inoculação com estirpes de *Bradyrhizobium* recomendadas para a soja. **Revista Brasileira de Ciências do Solo 35:** 739-742.

**Figura 1.** Distribuição de frequências de plantas (N° de plantas) resistentes e suscetíveis ao Mosaico Severo do Caupi causado por *Cowpea severe mosaic virus* aos 10, 20 e 30 dias após a inoculação (DAI) em plantas dos genitores CNC-0434, Sempre Verde Salgueiro e das gerações F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, RC<sub>11</sub> e RC<sub>21</sub>. Recife-PE, 2021.



<sup>1</sup>Geração: **A**- P<sub>1</sub> (Sempre Verde Salgueiro); **B**- P<sub>2</sub> (CNC-0434); **C**- F<sub>1</sub> (Sempre Verde Salgueiro X CNC-0434); **D**- RC<sub>11</sub> (Sempre Verde Salgueiro X F<sub>1</sub>); **E**- RC<sub>21</sub> (CNC-0434 X F<sub>1</sub>) e **F**- F<sub>2</sub> [(Sempre Verde Salgueiro x CNC-0434) X (Sempre Verde Salgueiro x CNC-0434)].

**Tabela 1.** Número de plantas de acordo com os sintomas de Mosaico Severo do Caupi causado por *Cowpea severe mosaic virus* em plantas dos genitores CNC-0434, Sempre Verde Salgueiro e das gerações F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, RC<sub>11</sub> e RC<sub>21</sub> resultantes do cruzamento entre eles. Recife-PE, 2021.

Geração	Bl	Lc	Ms	Ma	Mo	Ne	Rf	Ss
CNC-0434	0	0	0	0	0	0	0	96
Sempre V.	96	96	96	5	5	2	96	0
F <sub>1</sub>	96	96	96	0	0	0	96	0
RC <sub>11</sub>	74	74	74	4	4	0	74	70
RC <sub>21</sub>	144	144	144	0	0	0	144	0
F <sub>2</sub>	299	299	299	44	44	0	299	97

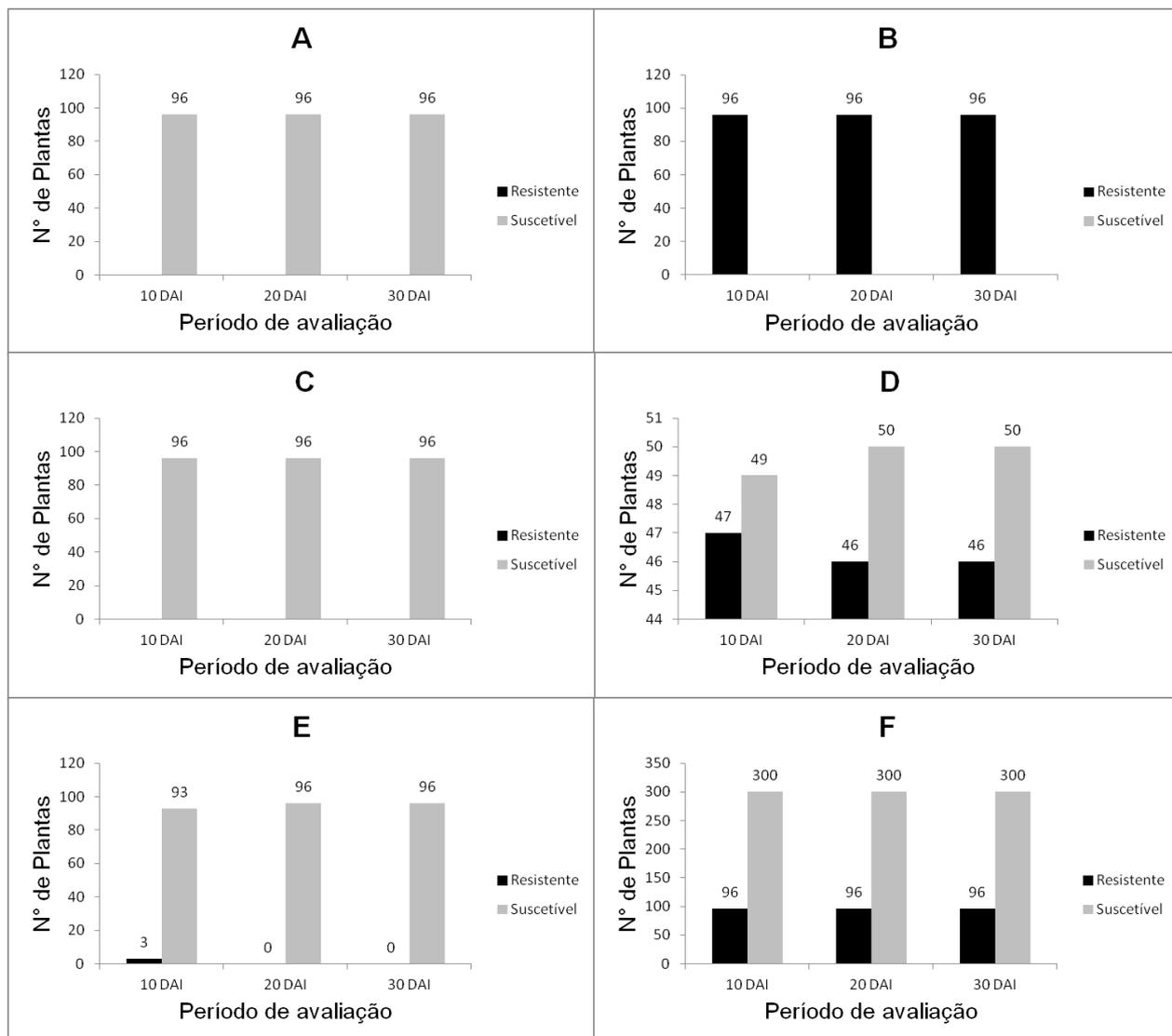
<sup>1</sup>Bl-bolhosidade, Lc-lesão clorótica, Ms-mosaico severo, Ma-morte apical, Mo-morte da planta, Ne-necrose sistêmica e Rf-redução foliar, Ss-sem sintomas.

**Tabela 2.** Avaliação da segregação fenotípica para resistência ao Mosaico Severo do Caupi causado por *Cowpea severe mosaic virus* inoculado em plantas dos genitores CNC-0434, Sempre Verde Salgueiro e das gerações F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, RC<sub>11</sub> e RC<sub>21</sub> resultantes do cruzamento entre eles. Recife-PE, 2021.

Geração	Número de Plantas		Taxa	$\chi^2$	P (%)
	S	R	S:R		
CNC-0434	0	96	0:1	-	-
Sempre V.	96	0	1:0	-	-
F <sub>1</sub>	96	0	1:0	-	-
RC <sub>11</sub>	74	70	1:1	0,1111 <sup>ns</sup>	73,89
RC <sub>21</sub>	144	0	1:0	-	-
F <sub>2</sub>	299	97	3:1	0,0538 <sup>ns</sup>	81,65

<sup>ns</sup>Não significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $\chi^2$  calculado <  $\chi^2$  tabelado 3,84). S-suscetível, R-resistente.

**Figura 2.** Distribuição de frequência de plantas (N° de plantas) resistentes e suscetíveis ao Mosaico do Caupi Transmitido por Afídeos causado por *Cowpea aphid-borne mosaic virus* aos 10, 20 e 30 dias após a inoculação (DAI) em plantas dos genitores TVu-966, Sempre Verde Salgueiro e das gerações F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, RC<sub>11</sub> e RC<sub>21</sub>. Recife-PE, 2021.



<sup>1</sup>Geração: **A-** P<sub>1</sub> (Sempre Verde Salgueiro); **B-** P<sub>2</sub> (TVu-966); **C-** F<sub>1</sub> (Sempre Verde Salgueiro X TVu-966); **D-** RC<sub>11</sub> (Sempre Verde Salgueiro X F<sub>1</sub>); **E-** RC<sub>21</sub> (TVu-966 X F<sub>1</sub>) e **F-** F<sub>2</sub> [(Sempre Verde Salgueiro x TVu-966) X (Sempre Verde Salgueiro x TVu-966)].

**Tabela 3.** Número de plantas de acordo com os sintomas de Mosaico do Caupi Transmitido por Afídeos causado por *Cowpea aphid-borne mosaic virus* em plantas dos genitores TVu-966, Sempre Verde Salgueiro e das gerações F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, RC<sub>11</sub> e RC<sub>21</sub> resultantes do cruzamento entre eles. Recife-PE, 2021.

Geração	Bo	Lc	MI	Ms	Ma	Mo	Ne	Rf	Ss
TVu-966	0	0	0	0	0	0	0	0	96
Sempre V.	96	96	0	96	3	3	0	96	0
F <sub>1</sub>	0	96	18	78	0	0	0	96	0
RC <sub>11</sub>	0	50	7	43	0	0	0	50	46
RC <sub>21</sub>	96	96	0	96	0	0	0	96	0
F <sub>2</sub>	300	300	34	266	0	0	0	300	96

<sup>1</sup>BI-bolhosidade, Lc-lesão clorótica, MI-mosaico leve, Ms-mosaico severo, Ma-morte apical, Mo-morte da planta, Ne-necrose sistêmica e Rf-redução foliar, Ss-sem sintomas.

**Tabela 4.** Avaliação da segregação fenotípica para resistência ao Mosaico do Caupi Transmitido por Afídeos causado por *Cowpea aphid-borne mosaic virus* em plantas dos genitores TVu-966, Sempre Verde Salgueiro e das gerações F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, RC<sub>11</sub> e RC<sub>21</sub> resultantes do cruzamento entre eles. Recife-PE, 2021.

Geração	Número de Plantas		Taxa	$\chi^2$	P (%)
	S	R	S:R		
TVu-966	0	96	0:1	-	-
Sempre V.	96	0	1:0	-	-
F <sub>1</sub>	96	0	1:0	-	-
RC <sub>11</sub>	50	46	1:1	0,1666 <sup>ns</sup>	68,31
RC <sub>21</sub>	96	0	1:0	-	-
F <sub>2</sub>	300	96	3:1	0,1212 <sup>ns</sup>	72,77

<sup>ns</sup>Não significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $\chi^2$  calculado <  $\chi^2$  tabelado 3,84). S-suscetível, R-resistente.

### CAPÍTULO III

---

#### **LINHAGENS DE FEIJÃO-CAUPI RESISTENTES AO *Cowpea severe mosaic virus* E AO *Cowpea aphid-borne mosaic virus* DESTINADAS À PRODUÇÃO DE GRÃOS VERDES**

## **LINHAGENS DE FEIJÃO-CAUPI RESISTENTES AO *Cowpea severe mosaic virus* E AO *Cowpea aphid-borne mosaic virus* DESTINADAS À PRODUÇÃO DE GRÃOS VERDES**

### **RESUMO**

O feijão-caupi verde é uma importante alternativa para a geração de emprego e renda para os agricultores familiares, pois contribui na agregação de valor, na expansão da produção e no consumo do grão. No entanto, fatores bióticos como os vírus *Cowpea severe mosaic virus* (CPSMV) e *Cowpea aphid-borne mosaic virus* (CABMV) causam importantes doenças na cultura, limitando sua produção. O controle mais eficiente desses vírus é por meio do cultivo de variedades resistentes, porém a maior parte das variedades utilizadas para a produção do feijão verde é suscetível a ambos os vírus. Dessa forma, objetivou-se desenvolver e identificar linhagens superiores de feijão-caupi quanto à resistência simultânea aos vírus CPSMV e CABMV com características associadas à produção de grãos verdes. Foram realizados cruzamentos manuais em casa de vegetação no Instituto Agrônomo de Pernambuco-IPA entre os genótipos Sempre Verde Salgueiro (suscetível), CNC-0434 (imune ao CPSMV) e TVu-966 (resistente ao CABMV). A partir dos cruzamentos foram selecionadas 50 linhagens F<sub>2:5</sub> com coloração do grão da subclasse Sempre Verde, as quais foram avaliadas quanto à resistência aos vírus em casa de vegetação e às suas características agrônomicas para produção de grãos verdes em experimento na Estação Experimental do IPA em Belém do São Francisco-PE. O delineamento experimental foi em blocos casualizados completos, com três repetições, sendo avaliadas características relacionadas ao grão verde. As linhagens L300.026, L300.039, L300.040 e L300.049 se mostraram resistentes a ambos os vírus e possuem elevado potencial para a produção de grãos verdes; o índice de seleção de Mulamba e Mock facilitou a seleção de linhagens superiores e promissoras para futuros lançamentos de novas variedades resistentes destinadas à produção de grãos verdes.

**Palavras-chave:** *Vigna unguiculata*, melhoramento vegetal, resistência genética, fitoviroses.

## **COWPEA LINEAGE RESISTANT TO *Cowpea severe mosaic virus* AND *Cowpea aphid-borne mosaic virus* FOR THE PRODUCTION OF GREEN BEANS**

### **ABSTRACT**

Green beans are an important alternative for generating employment and income for family farmers, as it contributes to adding value, expanding production and consumption of the grain. However, biotic factors such as *Cowpea severe mosaic virus* (CPSMV) and *Cowpea aphid-borne mosaic virus* (CABMV) cause important diseases in the crop, limiting the crop. The most efficient virus control is through the cultivation of resistant varieties, but most of the varieties used for green bean production are susceptible to both viruses. Thus, the objective was to develop and identify superior lines of cowpea for simultaneous resistance to CPSMV and CABMV viruses with characteristics associated with the production of green beans. Crosses were carried out between the resistant genotypes CNC-0434 and TVu-966, with the susceptible Sempre Verde Salgueiro in a greenhouse at the Instituto Agrônomo de Pernambuco-IPA. From the crosses, 50 lines F<sub>2:5</sub> with grain coloration of the Sempre Verde subclass were selected, as they were evaluated for virus resistance in the greenhouse and their agronomic characteristics for green grain production in an experiment at the IPA Experimental Station in Belém do São Francisco-PE. The experimental design was in complete randomized blocks, with three replications, with characteristics related to the green grain being evaluated. Lines L300.026, L300.039, L300.040 and L300.049 are resistant to both viruses and have a high potential for green grain production; the Mulamba and Mock selection index facilitated the selection of promising superior strains for future releases of new varieties resistant plants intended for the production of green beans.

**Keywords:** *Vigna unguiculata*, plant breeding, genetic resistance, phytoviruses.

## INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é uma espécie leguminosa de elevada importância em países tropicais e subtropicais por ser uma rica fonte de proteínas, carboidratos, vitaminas, sais minerais, fibras e compostos fenólicos (Carvalho et al. 2012; Medeiros et al. 2017). O Brasil está entre os maiores produtores de feijão-caupi do mundo (FAO 2020). Na safra 2019/2020, apresentou uma área plantada de 1.285,9 mil hectares, sendo que mais de 80% dessa área está concentrada na região Nordeste (CONAB 2020).

O consumo do feijão-caupi é realizado essencialmente de duas formas, o grão seco cozido e o grão verde cozido (Rocha et al. 2009). Apesar de seu cultivo ser destinado a maior parte para a produção de grãos secos, a produção e consumo de grãos verdes vêm crescendo e ganhando importância (Adewale et al. 2010). O feijão verde é assim caracterizado por ser colhido em torno da maturação fisiológica, quando as vagens param de acumular fotossintatos e seus grãos se encontram com uma umidade em torno de 60 a 70% (Oliveira et al. 2001).

Algumas características favorecem o cultivo e comercialização do feijão verde, como a possibilidade de cultivar o feijão verde durante todo o ano, independentemente de safra específica (Silveira et al. 2014), especialmente quando produzido no período da entressafra, o que eleva os preços, e sua elevada importância para a geração de emprego e renda, devido à elevada necessidade de mão-de-obra, principalmente na colheita e debulha dos grãos (Freire Filho et al. 2017).

O baixo número de variedades específicas para produção de grãos verdes contribui para a utilização de variedades de grãos secos com essa finalidade, fato que traz consequências negativas como perda de qualidade e rendimento de produção (Rocha et al. 2017). Além desse fator, a cultura tem sofrido danos causados por diversas doenças, especialmente as causadas por vírus, agentes infecciosos de maior importância, devido às perdas expressivas que ocasionam na produção (Cruz and Aragão 2014).

Dentre as viroses que acometem o feijão-caupi, o *Cowpea severe mosaic virus* (CPSMV) e *Cowpea aphid-borne mosaic virus* (CABMV) recebem destaque em relação às demais por serem fatores limitantes à produtividade de várias cultivares em diferentes locais do Brasil e do mundo, influenciando na qualidade e quantidade de grãos produzidos (Amorim et al. 2021). O CPSMV é um vírus de RNA do gênero

*Comovirus*, pertencente à família Comoviridae bastante severo, podendo levar a grandes perdas na produção. Em condições naturais é disseminado por mais de dez espécies de coleópteros, sendo *Cerotoma arcuata* (Olivier) e *Diabrotica speciosa* (Germar 1824), conhecidas comumente por vaquinhas, os principais vetores (Barros et al. 2013), não sendo transmitido por sementes (Lima et al. 1986).

Os sintomas observados em plantas infectadas por CPSMV são, inicialmente lesões locais cloróticas, seguido por deformações do limbo foliar do tipo bolhosidade; mosaico, sendo caracterizado pela presença de mistura de cores, tendo manchas amarelas de diferentes tonalidades da cor verde e enfezamento da planta (Fernandes et al. 2010). Pode reduzir a produção de feijão-caupi em até 85%, dependendo do estágio de desenvolvimento da planta quando infectada, da época de infecção e da susceptibilidade da cultivar (Booker et al. 2005).

Já o CABMV é um vírus de RNA de fita simples do gênero *Potyvirus*, da família Potyviridae com uma ampla distribuição e ocorrência nas áreas de cultivo (Freire Filho 2011). É responsável por grandes perdas de produtividade na cultura do feijão-caupi (Maia et al. 2017), podendo chegar a perdas acima de 50% (Pio-Ribeiro et al. 2016). Quando presente de forma isolada, provoca menores perdas na produção, no entanto, quando ocorre a coinfeção com o CPSMV pode ocasionar perdas severas, devido ao sinergismo entre esses vírus (Silva et al. 2011).

Em condições naturais é disseminado por diferentes espécies de afídeos, com destaque para o pulgão preto *Aphis craccivora* Koch (Lima et al. 2005). Os principais sintomas apresentados por plantas infectadas pelo CABMV são mosaico no limbo foliar, distorção foliar, lesões cloróticas sistêmicas, necrose sistêmica e redução no crescimento da planta (Vale and Lima 1994).

Medidas de prevenção como eliminação de plantas hospedeiras e utilização de inseticidas para controlar os insetos vetores podem ser utilizadas, no entanto, apresentam baixa eficácia e são bastante dispendiosas (Umaharan et al. 1997; Neves et al. 2011). O controle mais eficiente é pela utilização de variedades resistentes (Pio-Ribeiro et al. 2010; Orawu et al. 2013; Lima et al. 2015). No entanto, são escassas as variedades destinadas à produção de grãos verdes que possuam resistência simultânea a esses vírus.

Para realizar a identificação de linhagens superiores é necessária à utilização de metodologias que utilizem a seleção simultânea de características, aumentando as chances de sucesso no programa de melhoramento, como é o caso do índice de

Santana SRA (2021) Melhoramento do feijão-caupi para grãos verdes visando resistência aos vírus do mosaico severo do caupi e do mosaico do caupi transmitido por afídeos

seleção (Cruz, Regazi, Carneiro 2012). Dentre os vários índices existentes, o Índice de soma de ranks de Mulamba e Mock (1978) tem sido bastante utilizado no melhoramento do feijão-caupi, pois classifica os genótipos quanto à ordem de melhoramento para cada característica, sem que seja necessária a determinação de pesos econômicos, assim como a estimativa de variâncias e covariâncias (Cruz, Regazi, Carneiro 2012).

Diante do exposto, objetivou-se desenvolver e identificar linhagens superiores de feijão-caupi quanto à resistência simultânea aos vírus CPSMV e CABMV com características associadas à produção de grãos verdes.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Os cruzamentos foram realizados em casa de vegetação, no Instituto Agrônomo de Pernambuco-IPA, bairro do Bongi - Recife/PE, entre os meses de março e agosto de 2018. Para a obtenção das populações segregantes foram realizados cruzamentos, de forma manual, entre genótipos contrastantes quanto à resistência aos vírus CPSMV e CABMV, tendo como genitor feminino Sempre Verde Salgueiro e os genitores masculinos CNC-0434 e TVu-966.

A variedade crioula Sempre Verde Salgueiro foi cedida pelo Banco de Germoplasma do IPA, selecionada por apresentar alta capacidade produtiva para grãos verdes e alta aceitação comercial no estado de Pernambuco, porém com suscetibilidade ao CPSMV e CABMV. A variedade CNC-0434 apresenta resistência ao CPSMV e foi desenvolvida pelo Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Já a linhagem TVu-966 apresenta resistência ao CABMV e foi desenvolvida pelo Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA).

Para a obtenção dos cruzamentos os genitores foram semeados em canteiros, em de casa de vegetação, com sistema de irrigação por aspersão, com lâmina de irrigação de 10 mm no período de 30 minutos de forma diária. A partir do início da floração, cerca de 45 dias após o plantio, foram realizados cruzamentos biparentais entre Sempre Verde Salgueiro x CNC-0434 e Sempre Verde Salgueiro x TVu-966. Os cruzamentos foram realizados segundo o método descrito por Zary and Miller Júnior (1982). Coletam-se as flores abertas, doadoras de pólen, nas primeiras horas da manhã e realizam-se os cruzamentos no final da tarde, a partir das 16h, período no qual a superfície do estigma das flores receptoras está mais receptível aos grãos

de pólen, assim como as condições ambientais de temperatura, a baixo dos 30°C e umidade relativa do ar acima de 80%, favorecem o pegamento. Com auxílio de uma pinça de ponta curva, realiza-se a emasculação da flor receptora e com um lápis de ponta 0,7mm realiza-se a retirada do pólen da flor doadora e poliniza-se a flor receptora.

Foram obtidos dois cruzamentos biparentais, originando duas populações  $F_1$ , as quais foram semeadas em canteiros e, por autofecundação, obtiveram-se duas populações segregantes  $F_2$ , as quais foram semeadas em vasos com capacidade de 3,7 litros, contendo solo e esterco bovino na proporção de 3:1. Seis dias após a semeadura foi realizada a inoculação de cada vírus de forma separada, povilhando-se Carborundum 600 mesh em pequena quantidade, cerca de 1g, na superfície das folhas (Paz et al. 1999), seguido por uma fricção do extrato vegetal tamponado, obtido pela maceração de 1,0 g de tecido foliar infectado com cada um dos vírus, em 9,0 mL de solução tampão fosfato de sódio na concentração de 0,01M e pH 7,0. Três dias após a primeira inoculação foi realizada uma segunda inoculação, a fim de evitar possíveis escapes.

As plantas inoculadas foram avaliadas diariamente por meio de inspeção visual durante quarenta dias após a primeira inoculação, observando-se o surgimento e desenvolvimento dos sintomas qualitativos característicos para cada um dos vírus (Vale and Lima 1994; Rocha et al. 2003). As plantas  $F_2$  inoculadas que não apresentaram sintomas ou apresentaram pequenas lesões necróticas locais, inicialmente foram classificadas como resistentes (Hull et al. 2009; Lima et al. 2011), sendo transplantadas para canteiros em casa de vegetação. Já as plantas com sintomas característicos dos vírus foram consideradas como suscetíveis e, portanto, eliminadas em ambas as populações.

A fim de se obter uma única população resistente aos dois vírus de forma simultânea, foram realizados cruzamentos entre as plantas  $F_2$  resistentes ao CPSMV (100 plantas) com as plantas  $F_2$  resistentes ao CABMV (100 plantas). A nova população  $F_1$  foi semeada em canteiros e, por autofecundação, originou a população segregante  $F_2$ , a qual passou pelo mesmo processo de inoculação e avaliação (10 DAI) mencionado anteriormente, sendo que desta vez, inoculada com os dois vírus de forma simultânea. As plantas  $F_2$  resistentes a ambos os vírus foram avançadas pelo método de condução de população de uma vagem por planta (*Single Pod Descent-SPD*) (Borém and Miranda 2013) até a geração  $F_{2:5}$  em casa de vegetação.

Após o avanço de gerações foram obtidas 181 linhagens  $F_{2:5}$  com grande variabilidade de cor de tegumento, sendo avaliadas, classificadas e selecionadas de acordo com a coloração do grão. Foram selecionadas 50 linhagens  $F_{2:5}$  com tegumento da classe cores e subclasse Sempre-Verde para serem avaliadas em casa de vegetação quanto à resistência isolada ao CPSMV e ao CABMV, assim como aos dois vírus de forma conjunta (Tabela 1). Em seguida, essas mesmas linhagens foram avaliadas quanto às suas características agrônômicas associadas à produção de grãos verdes em experimento na Estação Experimental do IPA, localizada em Belém do São Francisco-PE (latitude:  $8^{\circ}45'14''S$ , longitude:  $38^{\circ}57'67''W$  e 305 m de altitude), com solo classificado como Neossolo Flúvico (Araújo Neto et al. 2000), no período de novembro a fevereiro de 2020/2021. Foram utilizados como testemunhas os genótipos parentais Sempre Verde Salgueiro, CNC-0434 e TVu-966, tendo como padrão para produção de grãos verdes a variedade Sempre Verde Salgueiro.

O ensaio foi realizado em delineamento de blocos casualizados, com 53 tratamentos, sendo 50 linhagens  $F_{2:5}$  e três testemunhas: CNC-0434, TVu-966 e Sempre Verde Salgueiro, com três repetições. A parcela experimental foi representada por uma fileira de 5,0m de comprimento, com espaçamento entre plantas de 0,25m e 0,80m entre fileiras, sendo semeadas quatro sementes por cova, realizando-se o desbaste 15 dias após a semeadura, deixando-se duas plantas.

Trinta dias antes do plantio foram realizadas as práticas convencionais do preparo de solo como aração e gradagem, e no momento do plantio foi realizado o sulcamento e marcação das covas. A adubação do solo foi realizada de acordo com o manual de recomendação para a cultura, com base na análise química do solo. O cultivo foi realizado no sistema irrigado por aspersão, utilizando-se uma lâmina de  $10 \text{ mm h}^{-1}$  por uma hora, com turno de rega a cada dois dias. O controle de plantas invasoras, doenças e pragas foram realizados de acordo com a necessidade. A colheita ocorreu sempre que havia vagens em torno da maturação fisiológica.

As avaliações foram conduzidas de acordo com os descritores propostos pela *Biodiversity International* (2007), com modificações (Andrade et al. 2010), sendo avaliadas as seguintes características quantitativas: número de dias para o início da floração (NDIF) – intervalo do plantio até o surgimento da primeira flor; número de dias para a maturação fisiológica (NDMF) - intervalo do plantio até o ponto de colheita de grãos verdes; comprimento de vagens verdes (CVV) – média do

comprimento de dez vagens verdes tomadas ao acaso; peso de 10 vagens verdes (P10VV) – peso de dez vagens verdes avaliadas; peso de grãos de 10 vagens verdes (PG10VV) - peso dos grãos das dez vagens avaliadas; número de grãos por vagem verde (NGVV) – média do número de grãos presentes nas 10 vagens avaliadas; peso de 100 grãos verdes (P100GV) – média de três repetições do peso de 100 grãos verdes; índice de grãos verdes (IGV%) - relação entre o peso de grãos de dez vagens verdes e o peso de dez vagens verdes; produtividade de grãos verdes (REND) – produção total de grãos verdes por hectare; e também as características qualitativas: porte da planta (PP); facilidade de debulha da vagem verde (FDVV) e valor de cultivo e uso (VCU).

As variáveis PP, FDVV e VCU foram avaliadas baseadas em escala de notas como PP: 1= ereto, 2= semiereto, 3= semiprostrado e 4= prostrado; FDVV: 1= muito difícil de debulha, 2= difícil, 3= fácil, 4= muito fácil e VCU: 1= linhagem sem características comerciais, 2= com poucas características comerciais, 3= com a maioria das características comerciais, 4= com todas as características comerciais e 5= com excelentes características comerciais.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade para todos os descritores quantitativos avaliados. Em seguida, para identificação das linhagens superiores, foi utilizado o índice de soma de ranks de Mulamba e Mock (1978) a partir das características quantitativas avaliadas, determinando-se a seleção no sentido decrescente para as características NDIF e NDMF, sendo as demais no sentido crescente. Todas as análises foram realizadas com auxílio do programa GENES (Cruz 2013).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A partir da avaliação das 50 linhagens  $F_{2:5}$  quanto à resistência ao CPSMV, CABMV e CPSMV+CABMV foi possível identificar: 50 linhagens que se mostraram resistentes ao CPSMV; 40 linhagens ao CABMV e 27 linhagens a ambos os vírus simultaneamente (Tabela 1). A diferença entre o número de linhagens resistentes a cada um dos vírus e o número de linhagens resistentes a ambos os vírus de forma simultânea indica que houve a coinfeção entre os vírus causada pelo sinergismo existente entre eles (Silva et al. 2011).

De acordo com o teste F na análise de variância, todas as características avaliadas apresentaram diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ), demonstrando a existência de variabilidade entre as linhagens estudadas (Tabela 2). Os coeficientes de variação para as nove variáveis respostas analisadas ficaram abaixo dos limites máximos aceitáveis para a cultura do feijão (Augusto et al. 2009) e estão de acordo com os observados em outros estudos com feijão-caupi destinados à produção de grãos verdes (Silva et al. 2013; Sousa et al. 2015; Santos et al. 2018; Melo et al. 2021).

Foi observada a formação dos grupos de médias, nos quais as linhagens que possuíam médias sem diferença estatística foram agrupadas no mesmo grupo para cada uma das características avaliadas pelo teste de Agrupamento de Scott-Knott a 5% de probabilidade (Tabela 3).

O número de dias para o início da floração (NDIF) variou de 40 dias na linhagem L300.034 a 52 dias na L300.025, com média de 46,4 dias. Resultado semelhante foi encontrado por Silva et al. (2013) avaliando diferentes cultivares de feijão-caupi para produção de grãos verdes em condições irrigadas, no município de Serra Talhada-PE, quando obtiveram média de 46,9 dias com uma amplitude de 43,5 a 55,2 dias para o início da floração. De acordo com o teste de Skott-Knott, houve a formação de dois grupos, onde 21 linhagens apresentaram início de floração de forma precoce a normal e 29 linhagens apresentaram início de floração acima dos 45 dias. A precocidade é um dos fatores que possibilitam realizar até três ciclos por ano, usando sistema de irrigação, além disso as plantas ficam menos expostas a fatores bióticos e abióticos que possam comprometer a sua capacidade de expressar suas características produtivas (Oliveira et al. 2016).

O número de dias para a maturação fisiológica (NDMF) variou de 62 dias na linhagem L300.040 a 78,6 dias na L300.020 (Tabela 3), sendo essas linhagens classificadas como ciclo precoce e médio-precoce, respectivamente (Freire Filho et al. 2005). Para essa característica também foi observada a formação de dois grupos, o primeiro com linhagens de ciclo precoce, sendo classificadas assim por apresentar ciclo de 61 a 70 dias, no qual está inserida a variedade Sempre Verde Salgueiro com 62 dias e outras 21 linhagens, e o segundo grupo foi formado por linhagens de ciclo médio-precoce, contendo 29 linhaegens, sendo classificadas por apresentar ciclo de 71 a 80 dias. Segundo Rocha et al. (2017), para um pequeno produtor que tem possibilidade de realizar duas ou mais colheitas manuais, as cultivares de ciclo

médio são mais indicadas. Já para o cultivo em grandes áreas é recomendável utilizar duas ou mais cultivares de ciclos diferentes, de forma a escalonar a maturação e evitar perdas. Apesar de algumas linhagens apresentarem floração precoce, não significa que a maturação fisiológica para colheita também será precoce, pois o tempo para enchimento do grão varia de acordo com o número e peso de grãos, assim como com o tamanho da vagem.

O comprimento de vagem verde (CVV) variou de 13,3cm na linhagem L300.020 a 23,1cm na L300.039, com média de 17,7cm. O comprimento médio aferido foi inferior ao encontrado por Ramos et al. (2015) que, avaliando o potencial para a produção de grãos verdes de vinte genótipos de feijão-caupi do Banco de Germoplasma da Embrapa Meio-Norte avaliados em condições experimentais semelhantes, obtiveram uma média de 18,5cm, no entanto, a maior média encontrada foi de 19,9cm, muito inferior à encontrada no presente trabalho, onde foi possível verificar a formação de cinco grupos (Tabela 3), sendo dois deles formados por linhagens com médias superiores a 18,5cm, alcançando valores de 21,8cm na L300.029, 22,4cm na L300.022 e 23,1cm na L300.039 formando o grupo de maior média juntamente com a variedade Sempre Verde Salgueiro com 22cm. Os resultados encontrados atendem à preferência do mercado de feijão verde por vagens grandes acima de 18cm (Freire Filho et al. 2005).

O peso de dez vagens verdes (P10VV) variou de 51,3g na linhagem L300.013 a 136,0g na L300.045, com média de 93,8g (Tabela 3), havendo a formação de cinco grupos, sendo que dois deles (A e B) merecem destaque pois apresentaram nove linhagens com peso de 10 vagens acima de 110,0g, semelhante aos valores da variedade Sempre Verde Salgueiro (134g). Os resultados encontrados são superiores aos encontrados por Silva et al. (2013), que encontraram valores inferiores a 52g. Outra característica de bastante importância que está relacionada ao peso de vagem é o peso de grão de dez vagens (PG10VV), sendo observada uma variação de peso de grãos de dez vagens de 30,6g na linhagem L300.002 a 58,6g na L300.021, com média de 47,4g. A partir do teste de agrupamento de médias foi observada a formação de quatro grupos, sendo que a linhagem com maior peso de grãos em dez vagens L300.021 (58,6g) do grupo B, apresentou cerca de dez gramas a menos que a variedade Sempre Verde Salgueiro (68,0g), o suficiente para deixar essa variedade em um grupo isolado.

Para o número de grãos verdes por vagem (NGVV) foi observada uma variação de 11,1 grãos na linhagem L300.004 a 16,4 grãos por vagem na L300.026, com uma média de 14,2 grãos por vagem. Houve a formação de dois grupos, recebendo destaque o grupo A, em que todas as linhagens apresentaram média superior a 14 grãos por vagem, sendo agrupadas juntamente com a variedade Sempre Verde Salgueiro (15,5 grãos por vagem). As linhagens com maior número de grãos por vagem, em sua maioria, destacaram-se com alto valor para comprimento da vagem, havendo, provavelmente, uma correlação positiva entre essas características. Os resultados encontrados são semelhantes ao encontrado por Ramos et al. (2014) que, ao avaliar a produtividade de grãos verdes nas variedades BRS Guariba e BRS Paraguaçu, sob diferentes regimes hídricos, encontraram valores de 15 e 12 grãos por vagem, respectivamente, com uma lâmina de 125% do ETo. Sousa et al. (2015) avaliaram 16 genótipos de feijão-caupi do Banco Ativo de Germoplasma e do Programa de Melhoramento de feijão-caupi da Embrapa Meio-Norte quanto ao seu potencial para o mercado de vagens e grãos verdes, encontrando médias variando de 13,1 a 16,7 grãos por vagem.

O peso de cem grãos verdes (P100GV) variou de 25,3g na linhagem L300.007 a 46,6g na L300.021, com média de 34,8g. Observou-se a formação de cinco grupos, com destaque para os grupos B e C, em que 20 linhagens apresentaram peso médio de cem grãos verdes superior a 36g. O maior valor encontrado no presente estudo foi de 46,6g na L300.021, média superior ao encontrado por Ramos et al. (2015) que observaram a maior média de 32,8g na linhagem MNC03-725F-3; por Santos et al. (2018) que obtiveram como maior média 21,9g na cultivar BRS Novaera e por Melo et al. (2021) que encontraram como maior peso de cem grãos verdes 44,28g na cultivar BRS Tumucumaque. As linhagens L300.021 (46,7g), L300.045 (44,7g) e L300.046 (42,7g) que formaram o grupo B, foram as que mais se aproximaram do peso de cem grãos verdes da variedade Sempre Verde Salgueiro com 51,7g, tida como padrão para a produção de grãos verdes na região.

Para o índice de grãos verdes (IGV%) observou-se uma variação de 39,6% na linhagem L300.022 a 64,4% na L300.003, com média de 51,7%. Houve a formação de três grupos, sendo que 10 linhagens formaram o grupo C, com índice de grãos abaixo de 50%; 18 linhagens formaram o grupo B, com índice de grãos em torno de 50% e outras 21 linhagens juntamente com a variedade Sempre Verde Salgueiro, formaram o grupo A, as quais apresentaram índice de grãos acima de 53%.

Algumas delas apresentaram valores acima de 60%, resultado superior ao encontrado por Rocha et al. (2012), Silva et al. (2013) e Ramos et al. (2015), tendo como maiores índices de grãos verdes 52,6%, 58,7% e 51,1%, respectivamente. O emprego da irrigação favorece a maior relação entre o peso do grão verde e o peso da casca da vagem. De acordo com Freire Filho et al. (2005), essa característica é um importante parâmetro para selecionar cultivares produtoras de grãos verdes, pois ela contribui para a mensuração da eficiência por parte da planta na alocação de fotoassimilados para os grãos.

A produtividade de grãos por hectare (REND) variou de 1.2018Kg ha<sup>-1</sup> na linhagem L300.004 a 4.695Kg ha<sup>-1</sup> na variedade Sempre Verde Salgueiro, com média de 2.751,4Kg ha<sup>-1</sup>. Houve a formação de três grupos, 10 linhagens formaram o grupo C, grupo de pior desempenho produtivo com produtividade abaixo de 2.000 kg ha<sup>-1</sup>, 19 linhagens formaram o grupo B, com produtividade variando de 2.000 a 2.700 kg ha<sup>-1</sup> e, por fim, 21 linhagens, juntamente com a variedade Sempre Verde Salgueiro, formaram o grupo A, grupo este de melhor produtividade, onde 18 delas produziram acima dos 3.000Kg ha<sup>-1</sup>, tendo a linhagem L300.018 produzido 4.223Kg ha<sup>-1</sup>. O valor médio e as melhores produtividades encontrados no presente trabalho são superiores aos encontrados por Silva et al. (2013): 1.353,23Kg ha<sup>-1</sup> e 2.552,7Kg ha<sup>-1</sup>; Ramos et al. (2015): 1.398,75Kg ha<sup>-1</sup> e 2.182Kg ha<sup>-1</sup>; Sousa et al. (2015): 2.390Kg ha<sup>-1</sup> e 3.322Kg ha<sup>-1</sup>; Santos et al. (2018): 1.134,8Kg ha<sup>-1</sup> e 1.488,45Kg ha<sup>-1</sup> e Melo et al. (2021); 731Kg ha<sup>-1</sup>, e 1.951,70Kg ha<sup>-1</sup>. No entanto, a média encontrada no presente estudo foi inferior à encontrada por Freitas et al. (2016) que obtiveram uma produtividade média de 2.827Kg ha<sup>-1</sup> de feijão verde no primeiro semestre de 2013 ao avaliar 12 variedades crioulas no município de Mossoró-RN, irrigado por aspersão, sendo a maior produtividade de 2.990Kg ha<sup>-1</sup>, porém o número e a variabilidade das linhagens utilizadas no presente estudo podem justificar essa diferença na média.

Quanto às características qualitativas, o porte da planta (PP) variou entre semiereto (10%), semiprostrado (24%) e prostrado (66%). Segundo Rocha et al. (2017), para pequenas áreas e em plantio no sistema de consórcio, a preferência é dada para utilização de cultivares semiprostradas, com ramos de tamanho médio a longo, que é o caso de 12 das linhagens avaliadas. Já para cultivos tecnificados e cultivos irrigados, a preferência é para a utilização de cultivares de porte mais ereto, com ramos curtos e que possibilitem a colheita mecanizada. Apesar de não ter sido

observada nenhuma linhagem de porte ereto, foram observadas cinco linhagens de porte semiereto, as quais podem permitir o maior adensamento populacional, contribuindo, possivelmente, para aumentar a produtividade da área.

A partir da avaliação da facilidade de debulha da vagem verde (FDVV), foram observadas linhagens que apresentaram características de: muito difícil de debulha (8%), difícil de debulha (24%), fácil de debulha (54%) e muito fácil de debulha (14%). Essa característica é relevante, pois quanto mais difícil é a abertura da vagem verde, mais tempo e mais força são dispensados para realizar a debulha, seja manual ou mecânica. Segundo Rocha et al. (2006), os comerciantes preferem genótipos que sejam de fácil de debulha e ainda apresentem boa conservação pós-colheita. Nesse sentido, as linhagens que mais se destacaram foram L300.001, L300.010, L300.024, L300.032, L300.039, L300.041 e L300.048.

Avaliando-se o valor de cultivo e uso (VCU) foram observadas linhagens do tipo sem características comerciais (22%), com poucas características comerciais (46%), com a maioria das características comerciais (22%), com todas as características comerciais (6%) e com excelentes características comerciais (4%). Andrade et al. (2010), avaliando os parâmetros genéticos em feijão-caupi para grãos verdes, observaram a correlação fenotípica e genotípica positiva e significativa do valor de cultivo e uso com o peso de vagem, peso de grãos, índice de grãos e peso de cem grãos, evidenciando a possibilidade de realizar a seleção do genótipo por meio do fenótipo.

A partir da aplicação do índice de soma de ranks de Mulamba e Mock (1978) foi possível observar que, no geral, houve ganhos satisfatórios para as características avaliadas, com um total de 51,9% (Tabela 4). Oliveira et al. (2017) e Rodrigues et al. (2017) também encontraram progressos satisfatórios a partir da seleção simultânea de características em feijão-caupi utilizando a soma de ranks de Mulamba e Mock.

As características número de dias para o início da floração (NDIF) e número de dias para maturação fisiológica (NDMF) apresentaram ganhos negativos, o que é interessante para se obter novas cultivares com menor ciclo de produção. No entanto, o índice de grãos (IGV%) também apresentou ganho negativo de 0,3% devido às linhagens selecionadas pela soma de ranks não serem superiores para essa característica. Esse fato realça a necessidade de realizar seleção com base em

Santana SRA (2021) Melhoramento do feijão-caupi para grãos verdes visando resistência aos vírus do mosaico severo do caupi e do mosaico do caupi transmitido por afídeos

diversas características e não apenas em uma única, o que pode resultar no insucesso de cultivares no mercado (Ramalho et al. 2012).

De acordo com o índice de seleção de Mulamba e Mock, as linhagens mais promissoras quanto ao padrão de produção de grãos verdes para as condições avaliadas foram L300.047, L300.027, L300.039, L300.049, L300.006, L300.026, L300.043 e L300.040 (Tabela 5), sendo que as linhagens L300.026, L300.039, L300.040 e L300.049 apresentam resistência simultânea aos vírus CPSMV e CABMV, enquanto as demais apresentam resistência apenas ao CPSMV. Apesar de não terem sido selecionadas pelo índice de seleção as linhagens L300.008, L300.017, L300.020, L300.021, L300.025 e L300.036 apresentam resistência simultânea aos vírus e possuem boas características agrônômicas se comparadas ao padrão Sempre Verde, podendo ser utilizadas em futuros cruzamentos.

## **CONCLUSÕES**

As linhagens L300.026, L300.039, L300.040 e L300.049 se mostraram resistentes aos vírus do Mosaico Severo do Caupi e Mosaico do Caupi Transmitido por Afídeo, possuindo elevado potencial para a produção de grãos verdes;

O índice de seleção de Mulamba e Mock facilitou a seleção de linhagens superiores a partir da utilização de características simultâneas, possibilitando futuros lançamentos de novas variedades para produção de grãos verdes com resistência a ambos os vírus.

## **AGRADECIMENTOS**

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pela concessão da bolsa; ao Instituto Agrônômico de Pernambuco (IPA) e à Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

Santana SRA (2021) Melhoramento do feijão-caupi para grãos verdes visando resistência aos vírus do mosaico severo do caupi e do mosaico do caupi transmitido por afídeos

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adewale BD, Okonji CAA, Oyekanmi AA, Akintobi AC and Aremu CO (2010). Genotypic variability and stability of some grain yield components of Cowpea. **Academic Journals 5**: 874-880.

Amorim LLB, Nicoli A, Ferreira-Neto JR, Ferreira JDC, Borges ANC, Jesús-Pires C, Araújo FC, Matos MKS, Oliveira WD, Costa AF and Benko-Iseppon AM. **Viroses em feijão-caupi: fontes de resistência, marcadores moleculares, ômicas e biotecnologia**. In: Rios JA, Alemeida LC, Souza EB (Org.). Resistência de Plantas a Patógenos. 1ed. Recife: Editora da Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2021, v.1, 211-241.

Andrade FN, Rocha MM, Gomes RLF, Freire Filho FR and Ramos SRR (2010) Estimativa de parâmetros em genótipos de feijão-caupi avaliados para feijão fresco. **Revista Ciência Agronômica 41**: 253–258.

Araújo Neto JC, Burgos N, Lopes OF, Silva FHBB, Medeiros LAR, Melo Filho HFR, Parahba RBV, Cavalcanti AC, Oliveira Neto MM, Silva FBR, Leite AP, Santos JCP, Sousa Neto NC, Silva AB, Luz LRQP, Lima PC, Reis RMG and Barros AHC (2000) **Levantamento de conhecimento de baixa intensidade dos solos do Estado de Pernambuco**. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 381p.

Augusto RLO, Muniz JA, Andrade MJB and Reis RL (2009) Precisão Experimental em ensaios com a cultura do feijão. **Ciência e Agrotecnologia 33**: 113-119.

Barros GB, Nogueira MSR, Oliveira CRR, Freire Filho FR, Ribeiro VQ, Veiga CFM, Brioso PST and Eiras M (2013) Obtenção de plantas de feijão-caupi resistente ao *Cowpea severe mosaic virus* e ao *Cowpea aphid-borne mosaic virus*. **Suma Phytopathologica 39**: 130-136.

Bertini CHC, Teófilo EM and Dias FTC (2009) Divergência genética entre acessos de feijão-caupi do Banco de Germoplasma da UFC. **Revista Ciência Agronômica 40**: 99-105.

Bioversity International. **Descritores de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)** (2007) Disponível em: <<https://www.bioversityinternational.org/e-library/publicaations/detail/feijão-frade-oucaupi/>>. Acesso em 21 fev. 2018.

Booker HM, Umaharan P and McDavid CR (2005) Effect of *Cowpea severe mosaic virus* on crop growth characteristics and yield of cowpea. **Plant Disease 89**: 515-520

Borém A and Miranda GV (2013) **Melhoramento de plantas**, 6.ed, Editora UFV, Viçosa, 523p.

Carvalho AFU, Sousa NM, Farias DF, Rocha-Bezerra LCB, Silva RMP, Viana MP, Gouveia ST, Sampaio SS, Sousa MB, Lima GPG, Morais SM, Barros CC and Freire Filho FR (2012) Nutritional ranking of 30 Brazilian genotypes of cowpeas including determination. **Journal of Food Composition and Analysis 26**: 81-88.

Cavalcanti AC and Lopes OF (1994) **Condições edafoclimáticas da Chapada do Araripe e viabilidade de produção sustentável de culturas**. Embrapa, Centro de

Santana SRA (2021) Melhoramento do feijão-caupi para grãos verdes visando resistência aos vírus do mosaico severo do caupi e do mosaico do caupi transmitido por afídeos

Pesquisa Agropecuária do Trópico Semiárido, Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento, Brasília, 41p.

**CONAB** Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v.7, n.5. Available at <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos?start=10>> Accessed on February 22, 2021.

Cruz CD (2013) GENES - Software para análise de dados em estatística experimental e em genética quantitativa. **Acta Scientiarum – Agronomy 35**: 271–276.

Cruz CD, Regazzi AJ, Carneiro PCS (2012) **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. Ed. Viçosa, MG: UFV, 480p.

Cruz ARR and Aragão FJL (2014) RNAi-based enhanced resistance to Cowpea severe mosaic virus and Cowpea aphid-borne mosaic virus in transgenic cowpea. **Plant Pathologic 63**: 831-837.

FAO. Organização das Nações Unidas (2020) **FAOSTAT**. Available at <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>> Accessed on December 02, 2020.

Fernandes CF, Vieira Junior JR, Marcolan AL, Rosa Neto C, Diocleciano JM, Ferro GO, Antunes Junior H, Reis ND and Silva DSG (2010) **Ocorrência do vírus do mosaico severo (Cowpea severe mosaic virus- CPSMV) no feijão-caupi (Vigna unguiculata (L.) Walp.)**. Rondônia: Embrapa, 4p.

Freire Filho FR (2011) **Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 84p.

Freire Filho FR, Lima JAA and Ribeiro VQ (2005) Melhoramento genético. In: (Ed.). **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Editora Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, p. 29-92.

Freire Filho FR, Rocha MM, Riberio VQ, Ramos SRR and Machado CF (2007) Novo gene produzido cotilédone verde em feijão-caupi. **Ciência Agrônômica 38**: 286-290.

Freire Filho FR, Ribeiro VQ, Rodrigues JELF and Vieira PFM (2017) A cultura: Aspectos Socioeconômicos. In: Vale JC, Bertini C, Borém A. (Ed.). **Feijão-caupi: do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, v.1, p.9-34.

Freitas TGG, Silva PSL, Dovale JC and Silva SEM (2016) Green Bean and Analysis in Cowpea Landraces. **Revista Caatinga 29**: 866-877.

Hull R (2009) **Comparative Plant Virology**. 2 ed. Elsevier, 376p.

Lima JAA (2015) **Virologia e viroses em culturas tropicais**. Fortaleza: Edições UFC, 605p.

Lima JAA, Santos CDG and Silveira LFS (1986) Comportamento de genótipos de Caupi em relação aos dois principais vírus que ocorrem no Ceará. **Fitopatologia Brasileira 11**: 151-161.

Santana SRA (2021) Melhoramento do feijão-caupi para grãos verdes visando resistência aos vírus do mosaico severo do caupi e do mosaico do caupi transmitido por afídeos

Lima JAA, Silva AKF, Aragão ML, Ferreira NRAF and Teófilo EM (2011) Simple and multiple resistances to viruses in cowpea genotypes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** **46**: 1432-1238.

Lima JAA, Sittilin IM and Lima RCA (2005) **Diagnose e estratégias de controle de doenças ocasionadas por vírus**. In: Freire Filho, FR (Ed.). Feijão-caupi: avanços tecnológicos. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas, p.404-459.

Mahalanobis PC (1936) On the generalized distance in statistics. **Proceedings of the National Institute of Science of India** **12**: 49-55.

Maia LM, Lima JAA, Nascimento AKQ and Rabelo Filho AC (2017) Biological differences and unilateral cross-protection between biotypes of Cowpea aphid-borne mosaic virus. **Revista Ciência Agrônômica** **48**: 310-217.

Medeiros WR, Silva JDC, Silva PRR, Girão Filho JE, Padua LEM and França SM (2017) Resistência de genótipos de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] ao Ataque do Caruncho *Callosobruchus maculatus* (Fabr.) (Coleoptera: *Chrysomelidae*). **Revista Entomo Brasiliis** **10**: 19-25.

Melo LF, Silva TP, Pereira JS, DoVale JC and Bertini CHCM (2021) Selection index for recommendation of cowpea cultivars for Green bean production. **Revista Ciência Agrônômica** **52**: 1-9.

Mulamba NN and Mock JJ (1978) Improvement of yield potential of the method Eto Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. **Egyptian Journal of Genetics and Cytology** **7**: 40-51.

Neves AC, Câmara JAS, Cardoso MJ, Silva PHS and Athayde Sobrinho C (2011) **Cultivo do Feijão-caupi em Sistema Agrícola Familiar**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 15p.

Oliveira AP, Araujo JS, Alves EU, Noronha MAS, Cassimiro CM and Mendonça FM (2001) Rendimento de feijão-caupi cultivado com esterco e adubo mineral. **Horticultura Brasileira** **19**: 81-84.

Oliveria DG, Rocha MM, Damasceno-Silva KJ, Sá FV, Lima LRL and Resende MDV (2017) Genotypic gain with simultaneous selection of production, nutrition and culinary traits in cowpea crosses and backcrosses using mixed models. **Genetics and Molecular Research** **16**: 1-11.

Oliveira RMM, Freire Filho FR, Ribeiro VQ, Lopes ACA, Bernardo KAS and Cruzio AS (2016) Diallel analysis in cowpea aiming at selection for extra-earliness. **Crop Breeding and Applied Biotechnology** **16**: 167-173.

Orawo M, Melis R, Laing M and Derera J (2013) Genetic inheritance of resistance to Cowpea aphid-borne mosaic virus in cowpea. **Euphytica** **189**: 191-201.

**FAO**. Organização das Nações Unidas (2020) FAOSTAT. Available at <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>> Accessed on December 02, 2020.

Paz CD, Lima JAA, Pio-Ribeiro G, Assis Filho FM, Andrade GP and Gonçalves MFB (1991) Purificação de um isolado do vírus do mosaico severo do caupi, obtido em

Santana SRA (2021) Melhoramento do feijão-caupi para grãos verdes visando resistência aos vírus do mosaico severo do caupi e do mosaico do caupi transmitido por afídeos

Pernambuco, produção de antissoros e determinação de fontes de resistência em caupi. **Summa Phytopathologica 25**: 285-188.

Pio-Ribeiro G, Assis Filho FM and Andrade GP (2005) **Doenças do caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)**. In: Kimati H, Amorim L, Rezende JAM, Bergamin Filho A and Camargo LEA. Manual de Fitopatologia: doenças das Plantas cultivadas. Ed. São Paulo: Agronômica Ceres, p.215-221.

Pio-Ribeiro G, Assis Filho MF and Andrade GP (2016) **Doenças do feijão-caupi**. In: Amorim L, Rezende JAM, Bergamin Filho A and Camargo LEA. (Eds.) Manual de Fitopatologia: doenças das plantas cultivadas. 5°. Ed. São Paulo: Agronômica Ceres, p.373-382.

Ramalho MAP, Abreu AFB, Santos JB and Nunes JAR (2012) **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: Editora UFLA, 522p.

Ramos DP, Alves AF, Ferreira TA, Fidelis RR and Nascimento IR (2015) Avaliação de genótipos de feijão-caupi para produção de grãos verdes em Gurupi, Tocantins. **Revista Verde 10**: 160-164.

Ramos HMM, Bastos EA, Cardoso MJ, Ribeiro VQ and Nascimento FN (2014) Produtividade de grãos verdes do feijão-caupi sob diferentes regimes hídricos. **Engenharia Agrícola 34**: 683-694.

Rao AV, Prasad ASR, Sai Krishna T, Sechu DV and Srinivasan TE (1981) Genetic divergence among some Brown planthopper resistant Rice varieties. **The Indian Journal of Genetic Plant Breeding 41**: 179-185,

Rocha MM (2009) **O feijão-caupi para consumo na forma de grãos frescos**. 2009. Available at <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca>>. Accessed on February 22, 2021.

Rocha MM, Andrade FN, Gomes RLF, Freire Filho FR, Ramos SRR and Ribeiro VQ (2012) Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijão-caupi quanto à produção de grãos frescos, em Teresina-PI. **Revista Científica Rural 14**: 40-55.

Rocha MM, Freire Filho FR, Ramos SRR, Ribeiro VQ, Andrade FN and Gomes RLF (2006) **Avaliação agrônômica de genótipos de feijão-caupi para produção de grãos verdes**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 16p.

Rocha MM, Lima JAA, Freire Filho FR, Rosal CJS and Lopes ACA (2003) Resistência de genótipos de Caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) de tegumento branco a isolados de vírus das famílias Bromoviridae, Comoviridae e Potyviridae. **Ciência Rural 8**: 85-92.

Rocha MM, Silva KJD, Freire Filho FR and Menezes Junior JAN (2017) **Cultivo do feijão-caupi**. Available at: <<https://www.spo.cnptia.embrapa.br>> Accessed on August 18, 2021.

Rodrigues EV, Damasceno-Silva KJ, Rocha MM, Bastos EA and Teodoro PE (2017) Selection of cowpea populations tolerant to water deficit by selection index. **Revista Ciência Agrônômica 48**: 889-896.

Santana SRA (2021) Melhoramento do feijão-caupi para grãos verdes visando resistência aos vírus do mosaico severo do caupi e do mosaico do caupi transmitido por afídeos

Santos FML, Lima JAA and Barreto PD (1999) Infecções simples e múltiplas de vírus em caupi no Ceará. **Fitopatologia Brasileira** **24**: 518-522.

Santos MM, Machado Filho GC, França LM, Prates RG, Fidelis RR and Ribeiro MA (2018) Avaliação de cultivares de feijão-caupi em área de cerrado no sul do estado do Tocantins. **Tecnologia & Ciências Agropecuária** **12**: 9-13.

Silva EF, Barros-Junior AP, Silveira LM, Santana FM and Santos MG (2013) Avaliação de cultivares de feijão-caupi irrigado para produção de grãos verdes em Serra Talhada-PE. **Revista Caatinga** **26**: 21-26.

Silva JAL and Neves JA (2011) Produção de feijão-caupi semi-prostrado em cultivos de sequeiro e irrigado. **Revista Brasileira Ciência Agrária** **6**: 29-36.

Silveira MA, Johann ARG, Wander AE and Campos WP (2014) Estratégia de comercialização do feijão-caupi produzido por agricultores familiares: Um estudo de caso na Região Leste de Goiás. **Conjuntura Econômica goiana** **30**: 36-54.

Sousa JLM, Rocha MM, Silva KJD, Neves AC and Sousa RR (2015) Potencial de genótipos de feijão-caupi para o mercado de vagens e grãos verdes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** **50**: 392-398.

Umaharan P, Ariyanayagan RP and Haque SQ (1996) Resistance to cowpea severe mosaic virus, determined by three dosage dependent genes in *Vigna unguiculata* (L.) Walp. **Euphytica** **95**: 49-55.

Vale CC and Lima JAA (1994) Efeitos de infecção isoladas e mista de vírus de grupos distintos em caupi. **Fitopatologia Brasileira** **19**: 193-197.

Zary KW and Miller Júnior JC (1982) Comparison of two methods of hand-crossing *Vigna unguiculata* (L.) Walp. **HortScience** **17**: 246-248.

**Tabela 1.** Sintomas apresentados pelas 50 linhagens F<sub>2:5</sub> avaliadas em casa de vegetação quanto à resistência simultânea aos vírus do Mosaico Severo do Caupi (CPSMV) e Mosaico do Caupi Transmitido por Afídeo (CABMV). Recife-PE, 2021.

Linhagem	CPSMV		CABMV		CPSMV+CABMV	
	Sintomas	Resposta	Sintomas	Resposta	Sintomas	Resposta
L300.001	Ss	R	Ss	R	Ms, Nc, Rf	S
L300.002	Ss	R	Lc, MI	R	Ms, Nc, Rf	S
L300.003	Ss	R	Ss	R	Ss	R
L300.004	Ss	R	Ss	R	Ss	R
L300.005	Ss	R	Ss	R	Ss	R
L300.006	Ss	R	Lc, Ms, Nc	S	Lc, M, Nc, Rf	S
L300.007	Ss	R	Lc, MI	R	Lc, Ms	R
L300.008	Ss	R	Ss	R	Ss	R
L300.009	Ss	R	Ms, Ma, Rf	S	Ms	S
L300.010	Ss	R	Lc, Ms, Ma, Nc, Rf	S	Bl, Lc, Ms, Ma, Nc, Rf	S
L300.011	Ss	R	MI	R	Lc, Ms, Nc, Ma, Rf	S
L300.012	Ss	R	Lc, Ms, Ma, Nc, Rf	S	Bl, Lc, Ms, Ma, Nc, Rf	S
L300.013	Ss	R	Ss	R	Ss	R
L300.014	Ss	R	Lc, Ms, Nc, Rf	S	Ms	S
L300.015	Ss	R	Lc, Ms, Nc, Rf	S	Ms	S
L300.016	Ss	R	Lc, Ms, Nc, Rf	S	Bl, Lc, Ms, Nc, Rf	S
L300.017	Ss	R	Ss	R	Ss	R
L300.018	Ss	R	MI, Nc	R	Bl, Lc, Ms, Ma, Mo, Nc, Rf	S
L300.019	Ss	R	Ss	R	Ss	R
L300.020	Ss	R	Ss	R	Ss	R
L300.021	Ss	R	Ss	R	Ss	R
L300.022	Ss	R	Ss	R	Lc, Ms, Nc	S
L300.023	Ss	R	Ss	R	MI	R
L300.024	Ss	R	Lc, M, Nc	S	Bl, Lc, Ms	S
L300.025	Ss	R	Ss	R	Ss	R
L300.026	Ss	R	Ss	R	Ss	R

Continua...

Santana SRA (2021) Melhoramento do feijão-caupi para grãos verdes visando resistência aos vírus do mosaico severo do caupi e do mosaico do caupi transmitido por afídeos

<b>L300.027</b>	Ss	R	Ss	R	Ss	R
<b>L300.028</b>	Ss	R	Ss	R	Ss	R
<b>L300.029</b>	Ss	R	Ss	R	Ss	R
<b>L300.030</b>	Ss	R	Ss	R	Ss	R
<b>L300.031</b>	Ss	R	Lc, Ms, Nc, Rf	S	Lc, Ms, Nc	S
<b>L300.032</b>	Ss	R	Ss	R	Ss	R
<b>L300.033</b>	Ss	R	Ss	R	Ss	R
<b>L300.034</b>	Ss	R	Ss	R	Ss	R
<b>L300.035</b>	Ss	R	Ss	R	Ss	R
<b>L300.036</b>	Ss	R	MI	R	MI	R
<b>L300.037</b>	Ss	R	Lc, MI	R	MI	R
<b>L300.038</b>	Ss	R	Lc, Ms, Nc	S	Ms	S
<b>L300.039</b>	Ss	R	MI	R	MI	R
<b>L300.040</b>	Ss	R	Lc, MI	R	Lc, MI	R
<b>L300.041</b>	Ss	R	Lc, MI	R	BL, Lc, Ms	S
<b>L300.042</b>	Ss	R	Ss	R	BL, Ms	S
<b>L300.043</b>	Ss	R	Ss	R	Ms, Nc	S
<b>L300.044</b>	Ss	R	Ss	R	Ss	R
<b>L300.045</b>	Ss	R	MI	R	Lc, Ms, Nc	S
<b>L300.046</b>	Ss	R	Lc, MI	R	BL, Lc, Ms, Nc	S
<b>L300.047</b>	Ss	R	MI	R	Lc, Ms, Rf	S
<b>L300.048</b>	Ss	R	Lc, MI	R	Lc, Ms, Nc, Rf	S
<b>L300.049</b>	Ss	R	MI, Nc	R	MI, Nc	R
<b>L300.050</b>	Ss	R	Ss	R	Bl, Lc, Ms, Nc, Rf	S
<b>CNC-0434</b>	Ss	R	Lc, Ms, Nc	S	Bl, Lc, Ms, Nc	S
<b>TVu-966</b>	Bl, Lc, Ms, Nc	S	Ss	R	Lc, Ms, Nc	S
<b>S. Verde S.</b>	Bl, Lc, Ms, Ma, Mo, Nc, Rf	S	Lc, Ms, Ma, Mo, Nc, Rf	S	Bl, Lc, Ms, Ma, Mo, Nc, Rf	S

<sup>1</sup>Lc- lesão clorótica; Bl- bolhosidade; M- mosaico; MI- mosaico leve; Ms- mosaico severo; Ma- morte apical; Mo- morte da planta; Nc- necrose sistêmica; Rf- redução foliar; Ss- sem sintomas; R- resistente e S- suscetível.

**Tabela 2.** Resumo das análises de variância, referente às características avaliadas em 50 linhagens F<sub>2:5</sub> de Feijão-caupi verde no Município de Belém do São Francisco-PE, 2021.

FV	GL	Quadrados Médios								
		NDIF (dias)	NDMF (dias)	CVV (cm)	P10VV (g)	PG10VV (g)	NGVV (g)	P100GV (g)	IGV (%)	REND (Kg ha <sup>-1</sup> )
<b>Blocos</b>	2	22,04	13,33	0,05	72,30	57,68	0,92	66,59	18,36	353850,79
<b>Genótipos</b>	52	16,65 <sup>**</sup>	46,29 <sup>**</sup>	12,18 <sup>**</sup>	1055,1 <sup>**</sup>	125,69 <sup>**</sup>	5,57 <sup>**</sup>	78,81 <sup>**</sup>	108,08 <sup>**</sup>	16430825,1 <sup>**</sup>
<b>Resíduo</b>	104	6,83	26,06	1,01	131,80	21,98	1,42	10,49	25,92	409766,15
<b>Média</b>		46,41	69,42	17,76	93,80	47,44	14,26	34,79	51,74	2751,37
<b>CV(%)</b>		5,63	7,35	5,66	12,23	9,88	8,35	9,31	9,84	23,27

<sup>1</sup> NDIF – número de dias para o início de floração; NDMF- número dias para maturação fisiológica; CVV- comprimento da vagem verde; P10VV- peso de dez vagens verdes; PG10VV- peso de grãos de dez vagens verdes; NGVV- número de grãos verdes por vagem; P100GV- peso de cem grãos verdes IGV%- índice de grãos; e REND- rendimento de grãos verdes por hectare.

<sup>2</sup>(<sup>\*\*</sup>) Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

**Tabela 3.** Valores médios resultantes da aplicação do teste de Scott–Knott nas variáveis: número de dias para o início de floração (NDIF); número dias para maturação fisiológica (NDMF); comprimento da vagem verde (CVV); peso de dez vagens verdes (P10VV); peso de grãos de dez vagens verdes (PG10VV); número de grãos por vagem verde (NGVV); peso de cem grãos verdes (P100GV); índice de grãos verdes (IGV%) e rendimento de grãos verdes por hectare (REND), obtidos a partir da avaliação de 50 linhagens F<sub>2:5</sub> de Feijão-caupi verde no Município de Belém do São Francisco-PE, 2021.

LINHAGEM	NDIF (dias)	NDMF (dias)	CVV (cm)	P10VV (g)	PG10V (g)	NGVV (g)	P100GV (g)	IGV (%)	REND (Kg ha <sup>-1</sup> )
L300.001	47,7 A	68,3 B	18,4 C	96,0 C	50,0 B	15,6 A	33,3 D	51,9 B	1382,0 C
L300.002	45,0 B	63,7 B	14,5 E	53,0 E	30,7 D	14,9 A	28,3 E	57,9 A	3770,3 A
L300.003	47,0 A	67,3 B	15,9 D	66,0 E	42,7 C	16,1 A	30,0E	64,5 A	3090,6 A
L300.004	49,0 A	76,33 A	16,8 D	85,0 D	42,0 C	11,1 B	37,7 C	48,9 B	1218,0 C
L300.005	42,3 B	73,3 A	17,4 D	75,0 D	42,0 C	13,2 B	33,3 D	56,2 A	1617,0 C
L300.006	47,0 A	69,7 A	16,7 D	94,0 C	54,0 B	16,0 A	34,0 D	57,5 A	2849,6 A
L300.007	45,7 B	66,3 B	16,0 D	65,0 E	38,7 D	15,3 A	25,3 E	62,3 A	3561,0 A
L300.008	45,7 B	65,0 B	16,0 D	84,0 D	49,3 B	16,1 A	32,7 D	58,8 A	2276,3 B
L300.009	46,3 A	71,3 A	15,7 D	70,0 E	40,7 C	12,7 B	34,0 D	58,6 A	2594,3 B
L300.010	41,7 B	72,0 A	16,1 D	83,0 D	45,3 C	12,7 B	41,0 C	54,5 A	3391,0 A
L300.011	49,0 A	66,7 B	14,4 E	104,0 C	52,0 B	12,7 B	41,7 C	50,0 B	2747,0 B
L300.012	44,3 B	66,7 B	17,8 C	91,0 D	48,0 B	13,4 B	38,0 C	53,4 A	1958,0 C
L300.013	43,3 B	70,7 A	14,7 E	51,3 E	32,7 D	11,6 B	28,0 E	63,6 A	3296,3 A
L300.014	48,7 A	73,0 A	18,9 C	97,0 C	49,3 B	15,3 A	32,7 D	51,2 B	1693,6 C
L300.015	45,3 B	66,7 B	15,8 D	91,0 D	50,7 B	14,6 A	35,3 D	55,9 A	3256,3 A
L300.016	48,0 A	70,7 A	18,2 C	95,0 C	48,7 B	15,4 A	31,3 D	51,5 B	2327,3 B
L300.017	46,7 A	71,0 A	17,6 C	116,0 B	49,3 B	14,7 A	34,0 D	42,6 C	2363,6 B
L300.018	45,7 B	64,7 B	18,2 C	84,0 D	47,3 B	14,8 A	31,3 D	56,3 A	4223,0 A
L300.019	48,7 A	70,7 A	17,5 D	121,0 B	50,7 B	12,3 B	41,3 C	42,3 C	2520,3 B
L300.020	47,7 A	78,7 A	13,3 E	116,0 B	48,7 B	12,1 B	38,3 C	41,9 C	2635,0 B
L300.021	44,0 B	75,3 A	15,7 D	117,0 B	58,7 B	12,8 B	46,7 B	50,2 B	2200,3 B

Continua...

Santana SRA (2021) Melhoramento do feijão-caupi para grãos verdes visando resistência aos vírus do mosaico severo do caupi e do mosaico do caupi transmitido por afídeos

<b>L300.022</b>	49,0 A	70,33 A	22,4 A	133,3 A	52,7 B	14,6 A	37,3 C	39,6 C	3272,0 A
<b>L300.023</b>	43,0 B	71,3 A	17,9 C	90,1 D	42,7 C	13,3 B	32,7 D	47,1 B	1808,0 C
<b>L300.024</b>	45,0 B	74,3 A	19,1 C	111,0 B	44,0 C	11,9 B	36,7 C	39,9 C	1730,6 C
<b>L300.025</b>	52 A	74,7 A	19,1 C	105,2 C	52,7 B	13,3 B	36,0 C	49,9 B	2554,6 B
<b>L300.026</b>	45,3 B	69,7 A	20,3 B	103,0 C	51,3 B	16,4 A	32,0 D	50,0 B	2442,3 B
<b>L300.027</b>	46,0 B	63,3 B	20,4 B	99,1 C	50,7 B	16,0 A	33,3 D	50,9 B	3052,6 A
<b>L300.028</b>	48,7 A	71,7 A	15,0 E	76,3 D	39,3 D	14,1 B	28,7 E	52,0 B	2630,0 B
<b>L300.029</b>	46,3 A	68,3 B	21,8 A	98,2 C	41,3 C	13,1 B	31,3 D	43,1 C	2962,0 A
<b>L300.030</b>	47,0 A	72,3 A	17,9 C	75,0 D	37,3 D	13,1 B	28,7 E	50,8 B	2701,7 B
<b>L300.031</b>	48,7 A	64,0 B	18,9 C	100,1 C	48,7 B	14,2 A	34,7 D	48,9 B	3511,0 A
<b>L300.032</b>	49,3 A	69,3 A	10,0 E	87,0 D	44,0 C	13,8 B	32,7 D	51,0 B	2620,0 B
<b>L300.033</b>	45,0 B	68,3 B	18,0 C	93,0 C	45,3 C	15,3 A	30,0 E	49,2 B	2862,0 A
<b>L300.034</b>	40,0 B	68,7 B	16,7 D	76,1 D	42,7 C	15,2 A	29,3 E	56,1 A	3388,0 A
<b>L300.035</b>	45,0 B	64,3 B	17,4 D	88,2 D	44,0 C	14,8 A	30,7 E	50,4 B	2711,3 B
<b>L300.036</b>	49,0 A	73,0 A	17,8 C	76,3 D	46,0 C	15,7 A	30,7 E	60,5 A	2602,3 B
<b>L300.037</b>	47,7 A	70,7 A	16,6 D	64,0 E	38,0 D	13,4 B	29,3 E	59,8 A	3608,0 A
<b>L300.038</b>	43,0 B	70,0 A	17,2 D	89,0 D	49,3 B	14,9 A	33,3 D	55,2 A	2459,3 B
<b>L300.039</b>	49,0 A	69,3 A	23,13 A	102,1 C	53,3 B	15,6 A	36,7 C	52,5 A	3700,6 A
<b>L300.040</b>	44,3 B	62,0 B	18,43 C	99,0 C	47,3 B	13,8 B	33,7 D	47,6 B	3226,0 A
<b>L300.041</b>	49,3 A	77,3 A	16,2 D	99,0 C	56,7 B	15,4 A	37,3 C	57,2 A	2763,3 B
<b>L300.042</b>	47,7 A	73,3 A	15,8 D	107,0 C	49,3 B	12,8 B	40,7 C	45,9 C	1953,7 C
<b>L300.043</b>	47,0 A	67,0 B	18,5 C	93,0 C	49,3 B	13,7 B	36,0 C	53,4 A	3325,0 A
<b>L300.044</b>	44,7 B	69,0 A	17,4 D	94,0 C	45,7 C	13,7 B	34,3 D	48,8 B	2327,0 B
<b>L300.045</b>	46,7 A	73,3 A	19,3 C	136,1 A	56,0 B	12,9 B	44,7 B	41,3 C	1471,3 C
<b>L300.046</b>	47,3 A	70,0 A	19,7 C	112,1 B	49,3 B	12,1 B	42,7 B	45,1 C	1496,3 C

Continua...

Santana SRA (2021) Melhoramento do feijão-caupi para grãos verdes visando resistência aos vírus do mosaico severo do caupi e do mosaico do caupi transmitido por afídeos

<b>L300.047</b>	45,0 B	62,7 B	18,9 C	121,2 B	54,7 B	15,4 A	39,0 C	45,3 C	3818,0 A
<b>L300.048</b>	47,3 A	68,7 B	18,3 C	99,2 C	49,3 B	14,0 B	36,0 C	50,7 B	3047,6 A
<b>L300.049</b>	48,0 A	68,3 B	17,9 C	101,1 C	53,3 B	14,0 B	38,7 C	52,7 A	3230,7 A
<b>L300.050</b>	46,7 A	70,3 A	17,8 C	85,1 D	46,7 B	14,9 A	32,7 D	54,6 A	2764,0 B
<b>CNC-0434</b>	43,67 B	63,3 B	16,6 D	95,0 C	52,0 B	15,9 A	36,7 C	54,9 A	2870,3 A
<b>Tvu-966</b>	50,3 A	70,3 A	18,6 C	77,0 D	42,0 C	15,6 A	27,3 E	54,5 A	3246,6 A
<b>Sempre Verde S.</b>	44,3 B	62,0 B	22,1 A	134,0 A	68,0 A	15,6 A	51,7 A	50,7 B	4695,0 A

<sup>1</sup>Médias seguidas das mesmas letras na coluna, não diferem entre grupos ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de agrupamento de Scott-Knott (1974).

**Tabela 4.** Média da população original ( $X_o$ ), média da população selecionada ( $X_s$ ), herdabilidade no sentido restrito ( $h_r$ ), ganho de seleção (GS) a partir da seleção baseada no índice de seleção de soma de ranks de Mulamba e Mock em 50 linhagens  $F_{2:5}$  de Feijão-caupi verde no Município de Belém do São Francisco-PE, 2021.

VARIÁVEL	$X_o$	$X_s$	$h^2\%$	GS	GS%
NDIF	46,41	45,97	58,97	-0,26	-0,57
NDMF	69,42	65,73	43,70	-1,61	-2,32
CVV	17,76	19,4	91,69	1,50	8,46
P10VV	93,86	104,1	87,51	8,96	9,55
PG10V	47,44	53,4	82,51	4,91	10,37
NGVV	14,26	15,26	74,53	0,75	5,24
P100GV	34,78	37,17	86,68	2,06	5,93
IGV%	51,73	51,53	76,01	-0,15	-0,3
PROD	2751,38	3321,03	75,06	427,59	15,54
<b>GANHO TOTAL</b>				443,75	51,9

<sup>1</sup> NDIF – número de dias para o início de floração; NDMF- número dias para maturação fisiológica; CVV- comprimento da vagem verde; P10VV- peso de dez vagens verdes; PG10VV- peso de grãos de dez vagens verdes; NGVV- número de grãos verdes por vagem; P100GV- peso de cem grãos verdes IGV%- índice de grãos; e REND- rendimento de grãos verdes por hectare.

**Tabela 5.** Médias das características das linhagens F<sub>2:5</sub> de Feijão-caupi verde selecionadas com base no ganho de seleção proporcionado pelo índice de soma de ranks de Mulamba e Mock no Município de Belém do São Francisco-PE, 2021.

<b>Linhagem</b>	<b>NDIF (dias)</b>	<b>NDMF (dias)</b>	<b>CVV (cm)</b>	<b>P10VV (g)</b>	<b>PG10V (g)</b>	<b>NGVV (g)</b>	<b>P100GV (g)</b>	<b>IGV (%)</b>	<b>REND (Kg ha<sup>-1</sup>)</b>
L300.047	45,0	62,7	18,9	121,2	54,7	15,4	39,0	45,3	3818,0
L300.027	46,0	63,3	20,4	99,1	50,7	16,0	33,3	50,9	3052,6
L300.039	49,0	69,3	23,13	102,1	53,3	15,6	36,7	52,5	3700,6
L300.049	48,0	68,3	17,9	101,1	53,3	14,0	38,7	52,7	3230,7
L300.006	47,0	69,7	16,7	94,0	54,0	16,0	34,0	57,5	2849,6
L300.026	45,3	69,7	20,3	103,0	51,3	16,4	32,0	50,0	2442,3
L300.043	47,0	67,0	18,5	93,0	49,3	13,7	36,0	53,4	3325,0
L300.040	44,3	62,0	18,43	99,0	47,3	13,8	33,7	47,6	3226,0
Sempre Verde S.	44,3	62,0	22,1	134,0	68,0	15,6	51,7	50,7	4695,0

<sup>1</sup> NDIF – número de dias para o início de floração; NDMF- número dias para maturação fisiológica; CVV- comprimento da vagem verde; P10VV- peso de dez vagens verdes; PG10VV- peso de grãos de dez vagens verdes; NGVV- número de grãos verdes por vagem; P100GV- peso de cem grãos verdes IGV%- índice de grãos; e REND- rendimento de grãos verdes por hectare.

## **ANEXO**

### **Normas de redação de dissertação ou tese do PPGAMGP**

Dissertação constitui o produto final de pesquisas desenvolvidas em cursos de Mestrado e a Tese constitui o produto final de pesquisas desenvolvidas em cursos de Doutorado. Exigem investigações próprias à área de especialização e métodos específicos.

A Dissertação ou Tese é de responsabilidade do discente, da Comissão Orientadora e da Banca Examinadora.

#### **Estrutura**

A Dissertação ou Tese deverá ser composta de: (i) capa, (ii) páginas pré-textuais, (iii) corpo propriamente dito e, (iv) anexo (páginas pós-textuais).

A capa deverá conter a autoria, título, local e ano da aprovação. As capas encadernadas em mais de um volume deverão conter as mesmas informações acrescidas da identificação do respectivo volume. Dois (2) exemplares devem ser de capas duras de cor preta e letras amarelas.

As páginas pré-textuais serão compostas:

Primeira folha interna (página de rosto), contendo: (i) autoria, (ii) título; (iii) nota explicativa de que se trata de um trabalho de Dissertação ou Tese, mencionando o Programa de Pós-Graduação, a Universidade e o grau pretendido (Mestrado ou Doutorado); (iv) comitê de orientação e (v) local e ano de aprovação. Contará, no verso desta folha, a ficha catalográfica.

Segunda folha interna deve conter, o título, o nome do pós-graduando(a), a data de aprovação, os nomes e as assinaturas do orientador e dos participantes da Banca Examinadora, local e data.

Opcionalmente, poderão ser incluídas páginas adicionais contendo: (i) agradecimento (ii) oferecimento, (iii) dedicatória e (iv) biografia do autor, obrigatoriamente, deve conter (v) lista de símbolos, figuras, tabelas e sumário.

Folha (s) em que conste (m) o resumo em português, palavras-chave, o abstract em inglês e key words. O resumo com no máximo 800 palavras deve destacar: o

Santana SRA (2021) Melhoramento do feijão-caupi para grãos verdes visando resistência aos vírus do mosaico severo do caupi e do mosaico do caupi transmitido por afídeos

local da pesquisa, delineamento estatístico, caracterização do problema, focalizar o(s) objetivo(s), síntese da metodologia, resultados obtidos e conclusões.

O corpo da Dissertação ou Tese conterá todo o trabalho impresso, avaliado e aprovado pela Banca Examinadora. O corpo poderá ser organizado na forma de capítulos.

O corpo em capítulos será composto das seções:

Capítulo I: Introdução e Referencial Teórico; Capítulos (I ou mais a depender do número de artigos científicos); e Considerações Finais (opcional). As referências bibliográficas e citações seguirão as normas da Crop Breeding and Applied Biotechnology. As referências bibliográficas deverão aparecer ao final de cada capítulo.

O anexo (páginas pós-textuais) conterá material pertinente e suplementar.

Inserir cabeçalho com citação do autor e nome da dissertação ou tese, sendo a fonte tipo arial e tamanho 10, a partir do Capítulo I até a página inicial da folha anexo(s).

## **Editoração**

Composição tipográfica. As dissertações ou teses deverão ser impressas em forma permanente e legível, com caracteres de alta definição e de cor preta no tipo Arial tamanho 12, com espaçamento 1,5.

Notação científica e medidas. A nomenclatura científica deverá ser diferenciada contextualmente, de acordo com as normas internacionais. As unidades métricas deverão seguir o padrão do Sistema Internacional de Unidades.

Papel. Utilizar papel A-4 (210 x 297 mm) branco, e suficientemente opaco para leitura normal.

Margens. A margem esquerda deve ser de 3 cm e as outras margens de 2 cm.

Paginação. Todas as páginas textuais e pós-textuais deverão ser numeradas em sequência contínua, isto é, desde a página do Capítulo I (texto corrido), até a última página, em algarismos arábicos. A sequência deverá incluir tudo que estiver como mapas, diagramas, páginas em branco e outros. As páginas pré-textuais deverão ser numeradas, sequencialmente, como algarismos romanos minúsculos.

Santana SRA (2021) Melhoramento do feijão-caupi para grãos verdes visando resistência aos vírus do mosaico severo do caupi e do mosaico do caupi transmitido por afídeos

Ilustrações. Fotografias e outras ilustrações deverão ser montadas de forma definitiva e incluídas no corpo da Dissertação ou Tese. É admitido o uso de cores nas figuras e ilustrações. Em nenhuma circunstância dever-se-á empregar fita adesiva ou material similar para afixação de ilustrações no corpo da Dissertação ou Tese. Folhas de tamanho superior a A4 serão aceitáveis, desde que dobradas, de forma a resultar em dimensões inferiores ao tamanho do papel adotado.