



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

SUANE DE OLIVEIRA SOUZA BRASIL

**REAÇÃO DE CLONES E PROGÊNIES DE CAJUEIRO À ANTRACNOSE, MOFO
PRETO E OÍDIO**

FORTALEZA

2019

SUANE DE OLIVEIRA SOUZA BRASIL

REAÇÃO DE CLONES E PROGÊNIES DE CAJUEIRO À ANTRACNOSE, MOFO
PRETO E OÍDIO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Fitotecnia.

Orientador: Prof. PhD. José Emilson Cardoso

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- B83r Brasil, Suane de Oliveira Souza.
 Reação de clones e progênies de cajueiro à antracnose, mofo preto e oídio / Suane de Oliveira Souza
 Brasil. – 2019.
 55 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de
 Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia), Fortaleza, 2019.
 Orientação: Prof. Dr. José Emilson Cardoso.

1. *Anacardium occidentale* L.. 2. Resistência genética. 3. Fenotipagem. I. Título.

CDD 630

SUANE DE OLIVEIRA SOUZA BRASIL

REAÇÃO DE CLONES E PROGÊNIES DE CAJUEIRO À ANTRACNOSE, MOFO
PRETO E OÍDIO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Fitotecnia.

Aprovado em: 25/07/2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. PhD. José Emilson Cardoso (Orientador)
Embrapa Agroindústria Tropical (Embrapa)

Prof. Dr. Márcio Cleber de Medeiros Corrêa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Marlon Vagner Valentim Martins
Embrapa Agroindústria Tropical (Embrapa)

A Deus.

Ao meu esposo Alexander Brasil, minha mãe
Maria e a todos que me desejem sucesso.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a **Deus**, por me promover sanidade e paciência ao longo dessa jornada.

À **Universidade Federal do Ceará e aos professores** com quem partilhei tantos anos. Obrigada por todo o conhecimento adquirido nesta instituição.

Ao **Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico**, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

Ao **Prof. José Emilson Cardoso**, por me proporcionar uma excelente orientação e um “*start*” para a vida acadêmica e profissional.

Aos participantes da minha banca de qualificação **Dra. Patrícia Bordallo, Dra Cândida Bertini e Dr. Márcio Corrêa**.

Aos participantes da banca examinadora, pelo tempo que dispuseram para ler e criticar o meu trabalho, complementando-o com suas valiosas colaborações e sugestões.

Aos meus colegas de trabalho e funcionários do laboratório de Fitopatologia e do Campo Experimental de Pacajus que tornaram esta pesquisa possível: **Wéverson Lima, Maria Viera, Regimara Bernardo, Francisca Samara, Lívia, Seite, Dr Francisco Freire, Dra Celli, Dr Marlon Valentin, Justino** e a todos os outros colaboradores diretos e indiretos.

Aos colegas que fiz ao longo do curso e pelos locais que passei, pois, de alguma forma, eles contribuíram com algo no que eu sou hoje e tantos outros que a UFC e a Embrapa me proporcionaram.

Ao querido Professor **Benito Azevedo** e a todos os funcionários e bolsistas da estação meteorológica da UFC, pois todos são parte do que me tornei e sempre serão lembrados em cada conquista.

À minha mãe (**Maria**) e irmãos **Suéllen, Nárjara e Lucas**.

Aos meus amigos pessoais: Simone, Lucas, Jéssica Mara, Márcia Batista e Roberta.

Aos meus amigos de turma (2017. 2) e, principalmente, , Anália, Linco, Johnhy, Flenna, Bruno, Wenner, Luilson, Laís.

À **Tinker** (minha Schnauzer linda e carinhosa).

Por fim e em especial, ao meu esposo, **Alexander Brasil**, que me proporcionou a oportunidade de estudar em tempo integral, me auxiliou no que pôde e enxugou minhas lágrimas quando necessário. Além de todo seu puro amor ofertado a mim e à minha família. Muito obrigada! ETA!

*“No matter how small you believe your task is,
everything has importance and can take you
places you've never imagined”.*

Autor desconhecido

RESUMO

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) é uma frutífera tropical arbórea de grande importância social, econômica e cultural no Nordeste brasileiro. Entretanto, nos últimos anos, doenças fúngicas como o oídio, a antracnose e mofo preto, tornaram-se uma grande ameaça à exploração comercial desta cultura, pelos danos causados às folhas, inflorescências, maturis, mas em especial aos pedúnculos e castanhas. Trabalhos recentes evidenciaram grande diversidade genética na reação de clones comerciais às doenças, possibilitando a exploração da resistência no manejo das doenças. Assim, o trabalho aqui proposto objetivou realizar a fenotipagem de progênies de irmãos completos e de clones disponíveis para as três doenças mais comuns da cultura em questão. Desse modo, foram utilizadas escalas diagramáticas, já validadas, e realizadas avaliações de rotina nos experimentos instalados no Campo experimental da Embrapa Pacajus. Para avaliar as doenças de forma individual, os dados foram submetidos análise de conglomerados e, para doenças agrupadas, segmentação por redes neurais com o uso da técnica *Self Organizing Maps*. Os resultados preliminares demonstraram que para a cultura do cajueiro, três grandes grupos foram identificados, cada um guardando características peculiares de suscetibilidade as principais doenças da cultura do caju, o que pode ajudar produtores e pesquisadores na escolha e triagem de clones e progênies mais resistentes e com características mais aderentes à cultura do caju no estado.

Palavras – chave: *Anacardium occidentale* L. Resistência genética. Fenotipagem.

ABSTRACT

Cashew Apple tree is a tropical fruit known by its social, economic, and cultural importance in the Brazilian Northeast. However, several fungal diseases are jeopardizing the commercial exploration of this crop once they damage leaves, inflorescences, young cashews, peduncles, and cashews. Given the losses caused by them, researchers have been searching for resistant genotypes that could be incorporated into breeding programs. Recent studies showed high genetic diversity among clones' reaction over powdery mildew, black mold, and anthracnose, allowing a better disease resistance management. Hence, this research aimed to undertake a phenotyping study of full-sibling progenies and clones for these three diseases. To achieve these goals, validated diagrammatic scales were used to evaluate regular experiments installed at Embrapa Experimental Field, in Pacajus. The data collected was submitted to cluster analysis to verify these ills separately and neural networks (Self Organizing Maps - SOM) to classify groups when all illnesses were taken together. The results showed three main groups regarding plant resilience to each one of the diseases (cluster analysis), as well as for all of them (SOM). The findings may aid farmers and researchers to consider choosing resistant clones and progenies suitable to be cultivated in the region, for the former, and further breeding studies, for the latter.

Keywords: *Anacardium occidentale* L. Genetic resistance. Phenotyping.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	–	Caju.....	14
Figura 2	–	Cajuína.....	15
Figura 3	–	Estruturas, conídios, folhas, inflorescências e castanhas de cajueiro com incidência de <i>E. quercicola</i>	16
Figura 4	–	Estruturas, conídios, folhas de cajueiro com incidência de <i>E. necator</i>	17
Figura 5	–	Folhas de cajueiro com antracnose.....	18
Figura 6	–	Folhas de cajueiro com mofo preto.....	19
Figura 7	–	Área experimental da Embrapa em Pacajus.....	22
Quadro 1	–	Clones e potenciais avaliados quanto as doenças.....	23
Quadro 2	–	Cruzamentos avaliados quanto as doenças.....	23
Figura 8	–	Apresentação dos <i>protoclusters</i> para clones.....	32
Figura 9	–	Representação em gradiente de cores da distância entre os <i>protoclusters</i> no mapa topográfico para clones.....	32
Figura 10	–	Representação gráfica do teste Davies-Bouldin Index para clones.....	21
Figura 11	–	Agrupamento dos clusters para clones.....	33
Figura 12	–	Distância entre o agrupamento de clusters no mapa topográfico para clones.....	33
Figura 13	–	Apresentação dos <i>protoclusters</i> para progênies.....	35
Figura 14	–	Representação em gradiente de cores da distância entre os <i>protoclusters</i> no mapa topográfico para progênies.....	35
Figura 15	–	Representação gráfica do teste de Davies-Bouldin Index para progênies.....	36
Figura 16	–	Agrupamento de <i>clusters</i> para progênies.....	36
Figura 17	–	Distância entre o agrupamento de <i>clusters</i> no mapa topográfico para progênies.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Experimentos selecionados para avaliação fenotípica.....	24
Tabela 2	–	Padrão e descrição de notas atribuídas para a avaliação fenotípica em campo, oídio.....	24
Tabela 3	–	Padrão e descrição de notas atribuídas para a avaliação fenotípica em campo, antracnose e mofo preto.....	25
Tabela 4	–	Resultados da análise de clusters para clones de cajueiro quanto a resistência e suscetibilidade à oídio.....	27
Tabela 5	–	Resultados do teste de Scott-Knott para clones - Oídio.....	27
Tabela 6	–	Resultados da análise de clusters para clones de cajueiro quanto a resistência e suscetibilidade à mofo preto.....	27
Tabela 7	–	Resultados do teste de Scott-Knott para clones – Mofo Preto.....	27
Tabela 8	–	Resultados da análise de clusters para clones de cajueiro quanto a resistência e suscetibilidade à antracnose.....	28
Tabela 9	–	Resultados do teste de Scott-Knott para clones - Antracnose.....	28
Tabela 10	–	Resultados da análise de clusters para cruzamentos de cajueiro quanto a resistência e suscetibilidade à oídio.....	29
Tabela 11	–	Resultados do teste de Scott-Knott para cruzamentos referentes às progênies - Oídio.....	29
Tabela 12	–	Resultados da análise de clusters para cruzamentos de cajueiro quanto a resistência e suscetibilidade à mofo preto.....	29
Tabela 13	–	Resultados do teste de Scott-Knott para cruzamentos referentes às progênies – Mofo Preto.....	30
Tabela 14	–	Resultados da análise de clusters para cruzamentos de cajueiro quanto a resistência e suscetibilidade à antracnose.....	30
Tabela 15	–	Resultados do teste de Scott-Knott para cruzamentos referentes às progênies - Antracnose.....	30
Tabela 16	–	Relação dos clones avaliados para as três doenças em conjunto agrupados nos seus respectivos grupos.....	34
Tabela 17	–	Resultados do teste de Scott-Knott para clones.....	34

Tabela 18	–	Relação dos cruzamentos referentes às progênies quando avaliadas em conjunto para as três doenças agrupados nos seus respectivos grupos.....	37
Tabela 19	–	Resultados do teste de Scott-Knott para cruzamentos referentes às progênies.....	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGROFIT	Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários
CNPAT	Embrapa Agroindústria Tropical
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPACE	Empresa de Pesquisa Agropecuária do Ceará
MAPA	Ministério Público da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
SOM	<i>Self Organizing Maps</i>
SPSS	<i>Statistical Package for the Social Sciences</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	A CULTURA DO CAJUEIRO.....	14
3	DOENÇAS.....	15
3.1	Oídio: classificação, sintomas e controle da doença.....	15
3.2	Antracnose: classificação, sintomas e controle da doença.....	18
3.3	Mofo Preto: classificação, sintomas e controle da doença.....	19
4	CLONES E PROGÊNIES DE CAJUEIRO.....	20
5	OBJETIVO.....	21
5.1	Objetivo Geral.....	21
5.2	Objetivos específicos.....	21
6	MATERIAL E MÉTODOS.....	22
6.1	Localização da área de estudo.....	22
6.2	População base para análise fenotípica.....	22
6.2.1	<i>Experimento 1: Avaliação de clones comerciais e potenciais.....</i>	22
6.2.2	<i>Experimento 2: Avaliação de progênies.....</i>	23
6.3	Avaliações fenotípicas e análise estatística dos dados.....	24
7	RESULTADOS.....	26
7.1	Experimento – Clones (individuais).....	26
7.2	Experimento – Progênies (individuais).....	28
7.3	Experimento – Clones (agrupados).....	31
7.4	Experimento – Progênies (agrupadas).....	34
8	DISCUSSÃO.....	38
9	CONCLUSÕES.....	42
	REFERÊNCIAS.....	43
	ANEXO A - OÍDIO DENDROGRAMAS – CLONES 1.....	49
	ANEXO B - MOFO PRETO DENDROGRAMAS – CLONES 2.....	50
	ANEXO C - ANTRACNOSE DENDROGRAMAS – CLONES 3.....	51
	ANEXO D - OÍDIO DENDROGRAMAS – PROGÊNIES 1.....	52
	ANEXO E - MOFO PRETO DENDROGRAMAS – PROGÊNIES 2.....	53
	ANEXO F - ANTRACNOSE DENDROGRAMAS – PROGÊNIES 3.....	54

1 INTRODUÇÃO

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) representa uma importante atividade econômica e social do agronegócio brasileiro (OLIVEIRA; IPIRANGA, 2009). Os avanços tecnológicos têm promovido a expansão da cultura com excepcionais resultados técnicos e econômicos na utilização industrial, tanto do fruto como do pedúnculo. Com produção de amêndoa em torno de 99 mil toneladas em 2017, o estado do Ceará apresenta a maior área plantada de cajueiro da região Nordeste, com aproximadamente 370 mil hectares (CONAB, 2017). Contudo, nos últimos anos, fortes ameaças fitossanitárias têm causado danos à produtividade da cultura, sendo as principais ameaças o oídio, a antracnose e o mofo preto (CARDOSO *et al.*, 2012).

A mitigação de danos à produção causados por essas doenças ao cajueiro se faz por meio do uso de fungicidas, sendo este o principal método de controle (CAVALCANTI JUNIOR; CHAVES, 2001). No entanto, o uso contínuo do mesmo princípio ativo, poderá trazer diversos efeitos negativos, tais como desequilíbrios ambientais, contaminação de aplicadores, aumento no custo de produção, além de não garantir a erradicação da doença. Na tentativa de reduzir esses efeitos, o plantio de clones resistentes ou tolerantes representa uma forma econômica, ecológica e autossustentável no manejo desses patógenos (CARDOSO *et al.*, 1999).

Dentre muitos dos valores agregados às plantas através das técnicas de melhoramento vegetal, a produtividade, estabilidade e sanidade de clones, progênies e/ou cultivares promovida pela seleção de plantas resistentes são características indispensáveis para aceitação comercial por parte dos produtores (ALZATE-MARIN *et al.*, 2005). Além disso, pesquisas sobre resistência genética em doenças de plantas têm sido consideradas a abordagem de maior impacto socioeconômico e político (DURÃES *et al.*, 2004; BROGIN, 2005; CAVALCANTI; WILKINSON, 2007; LAMAS, 2010).

Entretanto, no cajueiro, por ser uma planta perene, utilizando-se de métodos convencionais de melhoramento vegetal, para que o melhorista consiga providenciar um material resistente para o campo o período total dura, em média, 14 anos (NETO, 2013). A fim de encurtar esse tempo, modernos métodos seleção precoce intensiva vem sendo utilizados. Estes, baseiam-se na seleção de caracteres de alta herdabilidade, objetivando a eliminação de indivíduos inferiores ainda nos estágios iniciais da cultura, visando a posterior seleção dos melhores indivíduos quando na fase adulta (CAVALCANTI *et al.*, 2012). Esse tipo de metodologia agrega rapidez e torna o processo mais eficiente.

Neste contexto, diversos estudos baseados em técnicas de fenotipagem e genotipagem foram desenvolvidos na tentativa de demonstrar a importância do controle de doenças no campo (MELO *et al.*, 2018). A fenotipagem se refere à fase um (1), na qual a cultura em estudo é avaliada no campo quanto as suas características morfológicas, neste caso mais específico, quanto à reação a doença em questão. Essa etapa é a base para estudos de genotipagem, pois, a partir da seleção dos materiais desejados no campo, a pesquisa é levada para o laboratório e os tecidos vegetais são analisadas à nível molecular, com técnicas associadas ao mapeamento genético (CAVALCANTI; WILKINSON, 2007).

De acordo com teoria de Flor (1955), para cada gene que condiciona uma reação de resistência no hospedeiro, existe um gene complementar no patógeno que condiciona uma avirulência. Seguindo essa premissa, estudos realizados com marcadores morfológicos têm evoluído, tendo contribuído para a elucidação do fundamento teórico da análise de ligação gênica e para a construção das primeiras versões de mapas genéticos consistentes (KNAPP, 1991). A aplicação de técnicas adicionais a estes estudos têm proporcionado a criação de materiais resistentes às doenças, mais produtivos, tolerantes à seca, ao estresse salino, entre outras características desejáveis (DE MORAES FERNANDES, 1987; ALZATE-MARIN *et al.*, 2005; THUROW; CASTRO; PEREIRA, 2018).

Diversos estudos utilizaram essas técnicas objetivando classificar grupos de resistência de plantas às doenças (MICHEREFF *et al.*, 2003; SANTOS *et al.*, 2007; LAURINDO, 2015), tendo-se obtido resultados interessantes no que tange a redução da quantidade de unidades de análise, bem como a simplificação na identificação das observações e suas características quanto a similaridades e dissimilaridades. Nesse sentido, técnicas de agrupamento para segmentação constituem-se importantes aliadas para a análise de dados, uma vez que permitem classificar várias unidades amostrais (também chamadas de observações) em um número reduzido de grupos. Esse tipo de análise separa os elementos da amostra em grupos, de forma que os elementos pertencentes a um mesmo grupo sejam similares, de acordo com alguma característica comum (MINGOTI, 2005; LINDEN, 2009; SILVEIRA, 2010).

Face ao exposto, este trabalho visou determinar a reação (fenotipagem) de clones comerciais de cajueiros e algumas de suas progênes às três principais doenças desta frutífera no Brasil.

2 A CULTURA DO CAJUEIRO

Segundo Barros (2002), as análises das evidências circunstanciais sugerem que o centro de origem da cultura do *A. occidentale* é o Brasil ou, pelo menos, o norte da América do Sul e parte da América Central. Com relação a ocorrência, é possível verificar registros que relatam sua presença nos mais diversos ecossistemas tropicais (VIDAL NETO *et al.*, 2013), englobando áreas geográficas que compreendem desde a Flórida à África. Contudo, afirma-se que quanto mais bem definida for a estação seca na região de cultivo, maior a tendência de que a planta complete seu ciclo produtivo, de modo a proporcionar melhores resultados para a exploração comercial.

Nesse contexto, o Nordeste brasileiro, afamado por apresentar condições críticas de cultivo devido, principalmente, à disponibilidade de recursos hídricos limitados, apresenta-se como ambiente ideal para cajucultura (Figura 1), pois a cultura evoluiu e adaptou-se de tal modo à região que é considerada, por muitos agricultores e pesquisadores, a principal fonte de renda local (SERRANO *et al.*, 2013). Sua expressão social e econômica são significativas e os Estados que se destacam como principais produtores no Brasil, são: o Ceará; Rio Grande do Norte e Piauí (BRAGA SOBRINHO; MESQUITA; HAWERROTH, 2013).

Figura 1 – Caju



Fonte: Brasil (2018).

Com efeito, mesmo com a instabilidade hídrica e o acometimento de problemas fitossanitários vivenciados pelos principais polos produtivos, a safra brasileira de castanha de caju *in natura* para o ano de 2017 foi estimada, até o mês de setembro, em 99.073 toneladas,

exibindo um aumento na produtividade de 31,15% em relação à safra obtida no ano anterior (CONAB, 2017). Esse parâmetro ratifica a capacidade e o potencial produtivo da planta na região semiárida. Não obstante, demonstra ainda que, em havendo controle dos principais problemas associados aos pomares, a cultura pode ser beneficiada, com resultados bem superiores, contribuindo para o mercado interno do país e desenvolvimento econômico da região.

Não obstante, é uma cultura muito versátil, pois sua aplicabilidade nos mercados industrial, artesanal e culinário são imensas, podendo ter seu pedúnculo utilizado para a fabricação de sucos, doces, quitutes desidratados, néctar, vinho e cajuína, todavia, seu principal produto ainda é a castanha, fruto que possui alto valor comercial agregado e elevado consumo (PAIVA; GARRUTTI; DA SILVA NETO, 2000). De fato, apesar das muitas possibilidades de aplicação do caju para gerar subprodutos, os principais itens comercializados provenientes da cajucultura ainda são a castanha inteira descascada, o líquido da castanha de caju, a torta da amêndoa da castanha, o suco concentrado e a fibra do pedúnculo (PAIVA; GARRUTTI; DA SILVA NETO, 2000; LIMA; GARCIA; LIMA, 2004).

Figura 2– Cajuína



Fonte: Tijuca Alimentos (2019).

3 DOENÇAS

3.1 Oídio: classificação, sintomas e controle da doença

Esta doença foi descrita pela primeira vez no estado de São Paulo, sendo o patógeno nomeado de *Oidium anacardii* (NOACK, 1898). Desde então há relatos de ocorrência em todo o Brasil (LIMA, 2017). Uma detalhada monografia taxonômica elaborada por Braun e Cook

(2012) reclassificou esse fungo como *Pseudoidium anacardii* (Noack) U. Braun e R.T.A Cook como sendo um patógeno específico causador de oídio em plantas da família *Anacardiaceae* (Figura 4). Recentemente, Cardoso *et al.* (2017) e Fonseca *et al.* (2019), baseados na morfologia e no sequenciamento de genes, relataram a ocorrência de duas espécies de *Erysiphe* (*E. quercicola* e *E. necator*) causando oídio em cajueiro no Brasil. Sendo *E. necator* identificada como a espécie originalmente descrita como *Oidium anacardii* (sin. *Pseudoidium anacardii*), enquanto que *E. quercicola* refere-se ao novo tipo de oídio no Brasil.

Os oídios do cajueiro (*Erysiphe quercicola* e *Erysiphe necator*) caracterizam-se, em geral, pela presença de uma cobertura pulverulenta, branco-acinzentada, na forma de manchas isoladas sobre a superfície das folhas, brotações, inflorescências e maturis (MAIA, 2014; CARDOSO, 2016; CARDOSO *et al.*, 2017; FONSECA *et al.*, 2019). Essa massa branca é formada por estruturas do patógeno, constituindo-se assim, num sinal da doença (BEDENDO, 2011). O oídio tornou-se um problema fitossanitário de extrema relevância por causar depreciação do pedúnculo para o mercado de mesa em razão dos sintomas que acometem o fruto e pseudofruto (SERRANO *et al.*, 2013; LIMA, MARTINS, CARDOSO, 2019).

Taxonomicamente, essas espécies pertencem ao reino Fungi, filo Ascomycota, subfilo Pezizomycotina, classe Leotiomycetes, ordem Erysiphales, família Erysiphaceae, gênero *Erysiphe*, (forma anamórfica: *Oidium*, subgênero *Pseudoidium*) (CABI, 2016).

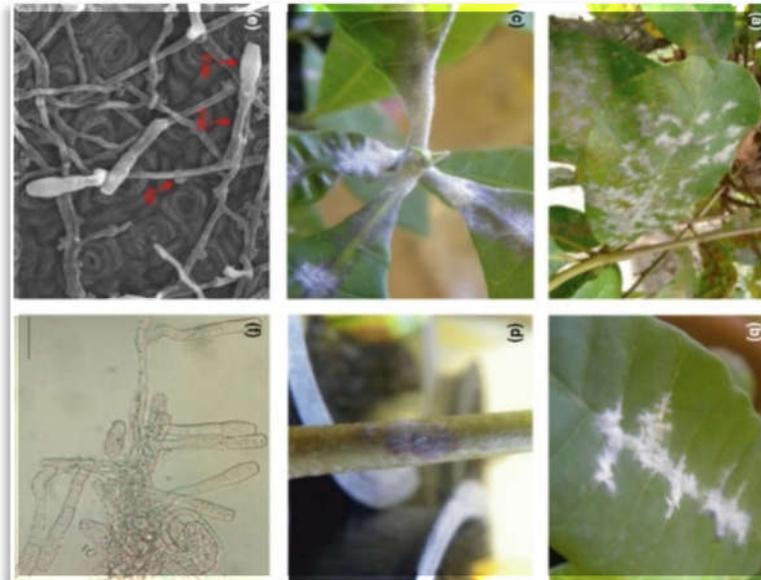
Figura 3- Estruturas, conídios, folhas, inflorescências e castanhas de cajueiro com incidência de *E. quercicola*



Fonte: Fonseca (2019).

Quanto à evolução da doença ao longo do tempo, inicialmente, essa patologia caracterizou-se como uma moléstia foliar endêmica, entretanto, pouco tempo depois, esta patologia, que era considerada secundária e sem importância econômica, foi detectada em todas as áreas produtoras de caju no Nordeste do Brasil e correlacionada aos mais diversos órgãos e partes da planta (FREIRE *et al.*, 2002; CARDOSO *et al.*, 2012). Entretanto, conforme apresentado no artigo de Fonseca *et al.* (2019), a rápida evolução da doença agora é atribuída a dois patógenos distintos *E. necator* e *E. quercicola*, sendo o primeiro associado aos sintomas limitados a folhas maduras sob condições ambientais específicas e o segundo, mais agressivo, encontrado em diversos órgãos e tecidos das plantas.

Figura 4 – Estruturas, conídios, folhas de cajueiro com incidência de *E. necator*



Fonte: Fonseca (2019).

O novo comportamento da doença caracteriza-se por meio de sintomas que acometem inflorescências, maturis, castanhas e pedúnculos (FREIRE *et al.*, 2002). Além disso, a violência dos sintomas evoluiu de tal forma que abortamento de flores, deformações nas castanhas, rachaduras e estrias nos pedúnculos se tornaram cenas comuns em pomares de cajueiros (FREIRE *et al.*, 2002; CARDOSO *et al.*, 2013). Não obstante, a velocidade com que essa desordem fitossanitária tem se alastrado é preocupante, pois tem refletido grandes prejuízos aos cajucultores, uma vez que são relatadas elevadas perdas produtivas nos pomares acometidos pelo patógeno, bem como alterações na qualidade dos frutos e pseudofrutos (CARDOSO *et al.*, 2013). Entretanto, até o momento, a medida mais empregada para o manejo da doença é o controle químico, sendo rotineiramente indicada a utilização de fungicidas de

contato à base de enxofre (LINHARES; GHINI, 2001; MARINHO *et al.*, 2002; CARDOSO *et al.*, 2012).

3.2 Antracnose: classificação, sintomas e controle da doença

A antracnose é relatada na literatura também como sendo uma das principais doenças presentes nos pomares de cajueiro, seu aparecimento é atribuído ao complexo de fungos *Colletotrichum* sp. (VELOSO, *et al.*, 2018) (Figura 5). Os sintomas característicos na planta são lesões foliares de coloração pardo-purpura que não apresentam uma forma bem definida ou um padrão de disposição no limbo foliar (BARROS, 2002; CARVALHO, 2010). Normalmente, são mais frequentes em folhas jovens e causam uma torção nas folhas deixando-as com um aspecto encarquilhado (CARDOSO; FREIRE, 2002; CARVALHO, 2010). Em casos mais severos, é possível visualizar os corpos de frutificação (acérvulos) do patógeno nas lesões, bem como lesões e depressões necróticas no tecido vegetal dos frutos e pseudofrutos (BARROS, 2002; CARDOSO; FREIRE, 2002; CARDOSO, 2013).

Taxonômicamente, o micro-organismo pertence ao reino Fungi, filo Ascomycota, subfilo Pezizomycotina, subclasse Hypocreomycetidae, família Glomerellaceae, classe Sordariomycetes, ordem Glomerellales, gênero *Colletotrichum*, tendo como teleomorfo *Glomerella cingulata* (Stonem) Spauld. et Schrenk. (INDEX FUNGORUM, 2019; KIMATI *et al.*, 2005).

Figura 5 – Folhas de cajueiro com antracnose



Foto: Brasil (2018).

Segundo Barros (2002) e Cardoso (2002), esta doença causa mais danos aos pomares nos anos são registrados altos índices pluviométricos e no período de brotação do cajueiro, pois essas condições climáticas são mais favoráveis ao estabelecimento e desenvolvimento do patógeno. De modo geral, a doença é controlada através de produtos químicos que devem ser aplicados no pomar, de forma profilática, após as primeiras chuvas e durante o período de floração do cajueiro (TEIXEIRA *et al.*, 1991.). As principais moléculas em uso são o oxiclreto de cobre, Azoxistrobina (estrobilurina) + difenoconazol (triazol), difenoconazol (triazol) (AGROFIT., 2019). Entretanto, sabe-se que apesar de o controle com o uso de defensivos ser eficiente, no longo prazo, o uso de substâncias químicas pode gerar problemas como contaminação de mananciais hídricos e do solo, seleção de resistência dos patógenos, além da necessidade de registro do produto comercial.

3.3 Mofo Preto: classificação, sintomas e controle da doença

O mofo preto é uma doença foliar causada pelo fungo ectoparasita *Pilgeriella anacardii* (Bat., J.L. Bezerra, Castr. & Matta) Arx & E. Müll. (Figura 6). De modo geral, a doença acomete os pomares de caju em períodos de alta pluviosidade (CARDOSO *et al.*, 2006). Esta doença apresenta como principais características fenotípicas: queda foliar, amarelecimento e escurecimento na porção abaxial da folha, com formação de colônias escuras, quase pretas. A obstrução total ou parcial dos estômatos da folha contribui para redução da produtividade da cultura (CARDOSO *et al.*, 2006; CARDOSO; 2013).

Figura 6– Folhas de cajueiro com mofo preto



Foto: Brasil (2018).

Pilgeriella anacardii pertence ao reino Fungi, filo Ascomycota, subfilo Pezizomycotina, família Parodiopsidaceae, classe Dothideomycetes, com a forma anamórfica em *Septoidium glaziovii* (INDEX FUNGORUM, 2019).

Até a corrente data, não existem defensivos registrados no Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários (AGROFIT) para o controle da patologia no cajueiro. Entretanto, na literatura é possível encontrar resultados positivos no controle da doença para certos clones e produtos, como, por exemplo, a aplicação de oxiclreto de cobre quinzenalmente à partir dos primeiros sinais da doença no campo, tendo este tratamento sido eficaz no controle do mofo-preto no Clone CCP 09 (VIANA *et al.*, 2010). Os autores também verificaram que aplicações mensais de acibenzolar-S-methyl foram tão eficazes quanto aplicações quinzenais de oxiclreto de cobre no controle do mofo-preto no mesmo clone. Em outra pesquisa, Viana *et al.* (2012) demonstraram a eficácia do acibenzolar-S-methyl. No entanto, os autores ressaltam que, pesquisas adicionais são necessárias para que seu uso seja indicado aos produtores para integrar as práticas culturais de controle da doença, pois os testes foram realizados apenas para o clone CCP 76.

4 CLONES E PROGÊNIES DE CAJUEIRO

Paiva *et al.* (2000) contam que no Ceará, na metade da década de 1950, o Governo Federal subsidiou o estabelecimento de uma coleção de matrizes de cajueiros a fim de possibilitar o desenvolvimento de pesquisas de cunho agrônomo. De acordo com eles, atualmente, este local, se denomina campo experimental de Pacajus, vinculado à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e, neste, foi instalado uma coleção de plantas a partir de genótipos coletados nas áreas de produtores e de outras instituições, algumas, hoje, já extintas, como, por exemplo, a Empresa de Pesquisa Agropecuária do Ceará (EPACE). Essa área possui grande diversidade de clones e progênies de cajueiro que vêm sendo objeto de pesquisa há muitos anos para o desenvolvimento de clones e progênies (PAIVA *et al.*, 2000).

O desenvolvimento de clones melhorados de cajueiro proporcionam uma cajucultura com flexibilidade ecológica, produtiva e sustentável, pois busca entre outras vantagens promover a redução do uso de defensivos químicos nos plantios comerciais pela geração de cultivares resistentes aos principais patógenos, proporcionando equilíbrio para o ecossistema local, bem como pode envolver características produtivas quantitativas e qualitativas importantes e de interesse para o produtor e o mercado consumidor (BARROS, 2002).

Ao longo dos últimos anos foram obtidas centenas de progênes de cruzamentos de clones comerciais e de plantas de interesse específico. Considerando que, cada indivíduo envolvido no cruzamento é em essência um híbrido, a análise dessas plantas segregantes permite grandes ganhos para melhorar a cultura do cajueiro. A partir daí, os indivíduos obtidos formam um conjunto semelhante a uma população F2 onde, nessa geração, a segregação é mais intensa e onde deve ser iniciada a seleção para fixação dos melhores indivíduos (BARROS; CRISÓSTOMO, 1995). Entretanto, sabe-se que para plantas como o cajueiro, devido ao caráter perene da cultura, o melhoramento é laborioso e desafiador (CAVALCANTI; DE RESENDE, 2010; DE RESENDE *et al.*, 2005).

Pinto *et al.* (2018) monitoraram, durante três anos consecutivos, a reação de clones comerciais de cajueiro lançados pela Embrapa, identificando que diversos clones apresentaram resistência ao oídio. Em suas avaliações, os clones CCP 1001, BRS 274, BRS 275 e BRS 226 foram os que se apresentaram essa característica de forma mais nítida. Já os clones BRS 189 e CCP 06 foram relatados como os mais suscetíveis ao oídio, enquanto os clones BRS 265, CCP 76, CCP 09, EMBRAPA 50 foram avaliados como suscetíveis intermediários. Já para a antracnose e o mofo preto a literatura disponível é insuficiente.

Entretanto, servem de base e são norteadoras para estudos na área de melhoramento vegetal, pois os resultados desses tipos de avaliações direcionam os pesquisadores para o uso das diferentes técnicas utilizadas em programas de melhoramento vegetal (CROXFORD, 2005; CAVALCANTI; WILKISON, 2007; LAMAS, 2012; HAWERROTH, 2017).

5 OBJETIVOS

5.1 Objetivo Geral

Determinar as reações de clones e progênes provenientes de cruzamentos entre clones comerciais resistentes e suscetíveis ao oídio, antracnose e mofo preto, visando subsidiar o mapeamento genético da resistência.

5.2 Objetivos específicos

Avaliar os principais grupos de progênes e clones quanto à reação ao oídio, a antracnose e ao mofo preto

Utilizar segmentação por redes neurais, técnica *Self Organizing Maps*, para avaliar a fenotipagem das doenças em conjunto

6 MATERIAL E MÉTODOS

6.1 Localização da área de estudo

As plantas de cajueiro utilizadas no estudo pertencem ao Campo Experimental da Embrapa, localizado no município de Pacajus 4°10' S e 38°27' W, com altitude de 60 m (Figura 1). Na região, o clima é, predominantemente, do tipo seco/subúmido (C2), segundo classificação climática de Thornthwaite. A precipitação pluvial média é 1.100 mm/ano, com regime caracterizado por chuvas de verão/outono. O solo da área experimental é Podzólico Vermelho-Amarelo Tb Eutrófico, A franco, com textura arenosa/média (BARROS *et al.*, 2000; VIDAL NETO *et al.*, 2018).

6.2 População base para análise fenotípica

Figura 7 – Área experimental da Embrapa em Pacajus.



Fonte: Google Earth (2018).

6.2.1 Experimento 1: Avaliação de clones comerciais e potenciais

Neste experimento, a população base foi composta por dezoito clones distintos de cajueiro, sendo 14 deles registrados e 4 potenciais. O experimento foi distribuído em blocos ao acaso, sendo este composto por quatro blocos e cada tratamento composto por 4 plantas, totalizando assim 183 unidades experimentais uteis.

Quadro 1– Clones e potenciais avaliados quanto as doenças.

BRS 226	COPAN 221	FAGA 11
BRS 274	CCP 76	BRS 275
BRS 253	CCP 09	CCP 1001
COPAN 265	BRS 189	EMBRAPA 51
FAGA 1	EMBRAPA 50	BRS 265
CCP 06	(CSJP 01)	"Chico"

Fonte: Dados da pesquisa.

*Clones em negrito são registrados no MAPA (2013).

6.2.2 Experimento 2: Avaliação de progênies

A população base para análise é formada pelas progênies de irmãos completos dos cruzamentos de clones de cajueiro listados no Quadro 2 abaixo. Cada progênie possui um diferente número de repetições, pois estão alocadas em diferentes áreas e datas de plantio. Entretanto, estas totalizam 335 unidades experimentais.

Quadro 2- Cruzamentos avaliados quanto as doenças.

Cruzamentos
CCP 76 x BRS 226
CCP 76 x BRS 253
BRS 226 x BRS 265
BRS 226 x BRS 189
BRS 226 x BRS 274
BRS 226 x CCP 76
BRS 226 x BRS 275
CCP 1001 x CCP 76
CCP 1001 x BRS 226
BRS 265 x BRS 253
CCP 09 x BRS 253
CCP 09 x BRS 275
BRS 265 x EMBRAPA 51
BRS 275 x BRS 226
BRS 189 x BRS 253

Fonte: Dados da pesquisa.

As progênies avaliadas estão distribuídas (ver Tabela 1) no Campo Experimental de Pacajus nos Experimentos implantados em 2007 (campo A), 2007 (campo B), 2008, 2009, 2010 e 2013, todos em blocos ao acaso.

Tabela 1 – Experimentos selecionados para avaliação fenotípica

Progênes de irmãos completos	Espaçamento	Data da instalação
Pacajus (a) – 2007	8m x 6m	11/04/2007
Pacajus (b) – 2007	8m x 6m	27/03/2007
Pacajus – 2008	8m x 6m	24/03/2008
Pacajus – 2009	8m x 3m	08/04/2009
Pacajus – 2010	9m x 3m	29/03/2010
Pacajus – 2013	5m x 5m	17/04/2013

Fonte: Dados da pesquisa.

Saliente-se que, na análise estatística dos dois experimentos, foram excluídas as observações que apresentaram valores perdidos. Os dados ausentes nas observações foram relativos a certos períodos que não foram computados no levantamento, o que prejudicava a obtenção da média para os materiais utilizados (clones e progênes).

Nesse sentido, para não prejudicar a análise estatística e a interpretação dos resultados, optou-se por excluir os que dispunham de dados insuficientes. Dessa forma, na análise individual, por doença, foram excluídos o BRS 274, BRS 253 e o CCP 09 de clones e BRS 265 x EMBRAPA 51, CCP 09 x BRS 253, BRS 275 x BRS 226, BRS 226 x BRS 274, BRS 265 x BRS 253 referentes a progênes. Já para a análise conjunta das três doenças foram excluídos clones BRS 253, BRS 274, CCP 76, COPAN 221 e FAGA 11 e para progênes os cruzamentos BRS 265 x BRS 253, BRS 265 x EMBRAPA 51, CCP 09 x BRS 253, BRS 226 x BRS 274 e BRS 275 x BRS 226.

6.3 Avaliações fenotípicas e análise estatística dos dados

A severidade do oídio do cajueiro nas progênes e pais selecionados foi avaliada durante um período de três anos e três avaliações em um ano, respectivamente. As avaliações foram empreendidas no segundo semestre do ano, no período de julho a dezembro, variando conforme o período de floração de cada planta. Ambas as avaliações foram conduzidas obedecendo a escala descritiva de notas (Cardoso *et al.* 2012), variando de 0 a 4 (Tabela 2).

Tabela 2 – Padrão e descrição de notas atribuídas para a avaliação fenotípica em campo, oídio

Escala	Descrição
0	Ausência da doença
1	Com pouca doença, ou seja, inflorescências com até 10% de flores infectadas

2	Com um pouco mais de doença, ou seja, inflorescências entre 11% a 25% de flores infectadas
3	Aumento da doença, inflorescências com 26 a 50% de flores infectadas
4	Nível alto da doença, inflorescências com mais de 50% de flores infectadas

*Essas notas estão em função de uma média de 20 inflorescências por planta.

Fonte: Cardoso *et al.* (2012), adaptada.

Já a severidade da antracnose e a do mofo preto do cajueiro foram avaliadas da mesma forma descrita anteriormente, mas com o uso da escala diagramática abaixo (Tabela 3).

Tabela 3 – Padrão e descrição de notas atribuídas para a avaliação fenotípica em campo, antracnose e mofo preto

Escala	Descrição
0	ausência de sintomas
1	presença de pequenas lesões (< 2 cm), cobrindo até 2% da área foliar avaliada
2	lesões maiores (> 2 cm), cobrindo até 5% da área foliar avaliada
3	lesões coalescidas, cobrindo de 5 a 25% da área foliar avaliada
4	lesões grandes (> 4cm), cobrindo mais que 25% da área foliar avaliada

Fonte: Cardoso *et al.* (2006), adaptada.

Nesse estudo, com o objetivo de identificar grupos de suscetibilidade para segmentação de clones e progênies para as três doenças em conjunto, empreendeu-se o cálculo das médias de ocorrência das doenças no período analisado (três anos de avaliação para progênies e três avaliações para clones), a partir dos dados coletados com uso das escalas diagramáticas acima. Essas médias foram utilizadas como *inputs*, para o cálculo da segmentação por redes neurais, utilizando a técnica *Self Organizing Maps* (SOM) (KOHONEN, 1982), no *software Matrix Laboratory* (MATLAB, versão 2018b). A primeira clusterização seguiu as recomendações de Lee *et al.* (2004), que utiliza como base a expressão $5\sqrt{N}$ para a definição do número de neurônios, sendo N relacionado ao tamanho da amostra. Seguindo os passos de Lee *et al.* (2004), López García e Machón Gonzáles (2004), e com o intuito de reduzir os erros e melhorar a classificação dos grupos, foi empreendida uma segunda clusterização para a reclassificação das observações em um dado número de *clusters* utilizando-se a avaliação Davies-Bouldin, conforme fórmula 1 abaixo.

$$\frac{1}{C} \sum_{K=1}^C \max_{l \neq K} \left\{ \frac{S_c(Q_k) + S_c(Q_l)}{d_{ce}(Q_k, Q_l)} \right\} \quad (1)$$

Onde:

C = Número de clusters;

$S_c(Q_k)$ = Distância interna do cluster K

$S_c(Q_l)$ = Distância interna do cluster L

$d_{ce}(Q_k, Q_l)$ = Distância entre o cluster K e o cluster L

A definição do número ideal de *clusters* para progênies e clones foi feita após 50 testes para cada amostra, na qual foi observada que a maior recorrência de grupos para progênies foi de três (73,7%) e para clones foi de quatro (93%) *clusters*, por meio de um *script* criado para este fim. Em seguida, os dados do agrupamento proposto pelo MATLAB foram utilizados no programa Rstudio, onde foi utilizado o teste Scott-Knott (JELIHOVSKI; FARIA; ALLAMAN, 2014; FÁVERO; BELFIORE, 2016), a fim de verificar se a distinção entre as médias dos grupos para progênies e clones fora estatisticamente significativa.

Utilizando-se dos mesmos dados já citados anteriormente, foi empreendida uma análise de *clusters* hierárquica a fim de verificar a associação de características de resistência e suscetibilidade dos clones e das progênies, associando essas características diretamente a cada uma das três doenças. Desse modo, a base de dados foi utilizada para gerar os dendrogramas no programa *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) (FÁVERO; BELFIORE, 2016) e a separação de *clusters* foi embasada nos testes Scott-Knott realizados no programa Rstudio (JELIHOVSKI; FARIA; ALLAMAN, 2014).

7 RESULTADOS

7.1 Experimento – Clones (individuais)

Os dendrogramas (Anexos) demonstram o agrupamento hierárquico para oídio. Nas imagens é possível verificar que os clones e os cruzamentos de onde as progênies são provenientes foram agrupados em seus respectivos *clusters*. Nas tabelas seguintes, elaboradas conforme os resultados das análises de *clusters* e estatísticas é possível verificar as divisões de cada grupo específico de clones e de cruzamentos.

Analisando as Tabelas 4 e 5, é possível perceber que os clones avaliados foram divididos em três grandes grupos bem definidos. Sendo que o Grupo III (BRS 226; BRS 275; COPAN 265; CSPJ 01; EMBRAPA 50) agrupa os clones mais resistentes à oídio e o Grupo II,

os mais suscetíveis. Além disso, no Grupo I estão expostos os clones que tiveram um comportamento intermediário.

Tabela 4– Resultados da análise de clusters para clones de cajueiro quanto a resistência e suscetibilidade à oídio.

OÍDIO		
GI (I)	GII (S)	GIII (R)
BRS 265	BRS 189	BRS 226
CCP 09	CCP 06	BRS 275
CCP 1001	EMBRAPA 51	COPAN 265
COPAN 265	FAGA 1	CSPJ 01
EMBRAPA 50		EMBRAPA 50

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5 – Resultados do teste de Scott-Knott para clones - Oídio

Cluster	GI	GII	GIII	GIV	<i>F</i>	<i>p</i>
Oídio	1.9882b	2.9239a	0.8861c		627.9	<2e-16 ***

Fonte: Elaboração própria.

Na classificação das Tabelas 6 e 7 é o Grupo III é considerado o de clones mais resistentes a mofo preto (BRS 226; BRS 275; COPAN 265; EMBRAPA 50; EMBRAPA 51; FAGA 1), enquanto o Grupo I o de clones mais suscetíveis e os outros dois grupos é preenchido com materiais intermediários.

Tabela 6 –Resultados da análise de *clusters* para clones de cajueiro quanto a resistência e suscetibilidade à mofo preto.

MOFO PRETO			
GI (S)	GII (I)	GIII (R)	GIV (I)
BRS 189	CCP 1001	BRS 226	CCP 06
BRS 265		BRS 275	CCP 09
		COPAN 265	CSPJ 01
		EMBRAPA 50	
		EMBRAPA 51	
		FAGA 1	

Fonte: Elaboração própria

Tabela 7 – Resultados do teste de Scott-Knott para clones – Mofo Preto

Cluster	GI	GII	GIII	GIV	<i>F</i>	<i>p</i>
Mofo Preto	2.6049a	1.8214b	0.1693d	0.9751c	500.6	<2e-16 ***

Fonte: Elaboração própria.

Para antracnose, as Tabelas seguintes (8 e 9) deixam claro a divisão em três grupos, sendo o Grupo III o de clones mais resistentes (BRS 189; BRS 226; BRS 275; CCP 06; CCP 1001; COPAN 265; CSPJ 01; EMBRAPA 50; EMBRAPA 51; FAGA 1), o Grupo II composto pelos mais suscetíveis e o Grupo I contendo os materiais intermediários.

Tabela 8 – Resultados da análise de *clusters* para clones de cajueiro quanto a resistência e suscetibilidade à antracnose.

ANTRACNOSE		
GI (I)	GII (S)	GIII (R)
CCP 06	BRS 265	BRS 189
		BRS 226
		BRS 275
		CCP 06
		CCP 1001
		COPAN 265
		CSPJ 01
		EMBRAPA 50
		EMBRAPA 51
		FAGA 1

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 9 – Resultados do teste de Scott-Knott para clones - Antracnose

Cluster	GI	GII	GIII	GIV	<i>F</i>	<i>p</i>
Antracnose	2.0243b	3.0000a	0.8320c		287.6	<2e-16 ***

Fonte: Elaboração própria.

7.2 Experimento – Progênies (individuais)

A Tabela 10 abaixo exibe o comportamento das progênies avaliadas com seus respectivos cruzamentos. É possível perceber que, o dendrograma (Anexos) dividiu estes em três grupos distintos. Conforme o resultando do teste estatístico de Scott-Knott exibido na Tabela 11 o Grupo III estão os cruzamentos cujas progênies demonstraram mais suscetibilidade ao oídio, no Grupo II os suscetíveis intermediários e no Grupo I os mais resistentes. Desse modo, as progênies provenientes dos cruzamentos CCP76 x BRS 226; BRS 226 x BRS 275*; BRS 266 x BRS 265*; CCP 1001 x BRS 226; CCP1001 x CCP 76; CCP76 x BRS 253 foram as mais resistentes à oídio.

Tabela 10 – Resultados da análise de *clusters* para cruzamentos de cajueiro quanto a resistência e suscetibilidade à oídio.

OÍDIO		
GI (R)	GII (I)	GIII (S)
CRUZAMENTO	CRUZAMENTO	CRUZAMENTO
CCP76 X BRS 226	BRS 189 X BRS 253	BRS 226 x BRS 275
BRS 226 x BRS 275	BRS 226 x BRS 275	BRS 266 X BRS 265
BRS 266 X BRS 265	BRS 266 X BRS 265	CCP 09 x BRS 275
CCP 1001 X BRS 226	CCP 09 x BRS 275	
CCP1001X CCP 76		
CCP76 X BRS 253		

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 11– Resultados do teste de Scott-Knott para cruzamentos referentes às progênes - Oídio

Cluster	GI	GII	GIII	GIV	<i>F</i>	<i>p</i>
<i>N</i>						
Oídio	1.3578c	2.5283b	3.0869a		347.4	<2e-16 ***

Fonte: Elaboração própria.

Os resultados abaixo (Tabela 12 e Tabela 13) demonstram o comportamento das progênes avaliadas quanto a doença mofo preto. Neste caso, conforme a análise de *clusters* foi possível gerar um dendrograma no qual dividiu os dados em quatro grupos, sendo o Grupo I o que demonstrou maior resistência as doenças e o Grupo IV maior suscetibilidade. Já os Grupos II e III ficaram como intermediários. Por fim, as progênes provenientes dos cruzamentos CCP76 x BRS 253, BRS 189 x BRS 253, BRS 226 x BRS 275, CCP 09 x BRS 275 e CCP 76 X BRS 226 são as mais resistentes à mofo preto.

Tabela 12 – Resultados da análise de *clusters* para cruzamentos de cajueiro quanto a resistência e suscetibilidade à mofo preto.

MOFO PRETO			
GI (R)	GII (I)	GIII (I)	GIV (S)
CRUZAMENTO	CRUZAMENTO	CRUZAMENTO	CRUZAMENTO
CCP76 X BRS 253	BRS 226 x BRS 275	BRS 266 X BRS 265	BRS 266 X BRS 265
BRS 189 X BRS 253	BRS 266 X BRS 265	CCP 1001 X BRS 226	CCP 1001 X BRS 226
BRS 226 x BRS 275	CCP 1001 X BRS 226	CCP 76 X BRS 226	
CCP 09 x BRS 275	CCP1001X CCP 76	CCP1001X CCP 76	
CCP 76 X BRS 226	CCP76 X BRS 226		

CCP76 X BRS 253

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 13 – Resultados do teste de Scott-Knott para cruzamentos referentes às progênes – Mofo Preto

Cluster	GI	GII	GIII	GIV	<i>F</i>	<i>p</i>
<i>N</i>						
Mofo Preto	0.45161d	1.13829c	1.8476b	2.1489a	405.2	<2e-16 ***

Fonte: Elaboração própria

Do mesmo modo, de posse das Tabelas 14 e 15, é possível visualizar a ocorrência três grupos para antracnose, sendo o Grupo I o de maior resistência e o Grupo III o mais suscetível. Os cruzamentos pertencentes ao Grupo I são: BRS 189 x BRS 253, BRS 226 x BRS 275, BRS 266 x BRS 265*, CCP 09 x BRS 275, CCP 1001 x BRS 226, CCP 76 x BRS 226, CCP 76 x BRS 253e CCP1001 x CCP 76.

Tabela 14 – Resultados da análise de *clusters* para cruzamentos de cajueiro quanto a resistência e suscetibilidade à antracnose.

ANTRACNOSE		
GI (R)	GII (I)	GIII (S)
CRUZAMENTO	CRUZAMENTO	CRUZAMENTO
BRS 189 X BRS 253	CCP 76 X BRS 226	BRS 266 X BRS 265
BRS 226 x BRS 275	BRS 226 x BRS 275	
BRS 266 X BRS 265	BRS 266 X BRS 265	
CCP 09 x BRS 275	CCP 09 x BRS 275	
CCP 1001 X BRS 226	CCP 1001 X BRS 226	
CCP 76 X BRS 226	CCP1001X CCP 76	
CCP 76 X BRS 253		
CCP1001X CCP 76		

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 15 – Resultados do teste de Scott-Knott para cruzamentos referentes às progênes - Antracnose

Cluster	GI	GII	GIII	GIV	<i>F</i>	<i>p</i>
<i>N</i>						
Antracnose	0.92959c	1.6550b	2.5882a		259.6	<2e-16 ***

Fonte: Elaboração própria.

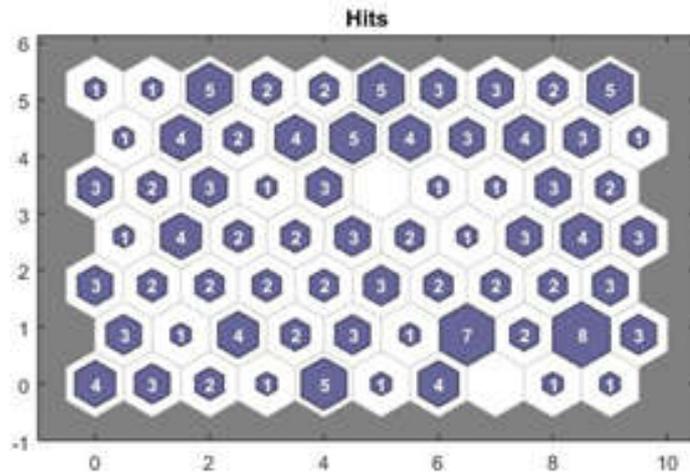
Em uma análise geral das Tabelas 10, 12 e 14, é possível verificar que um mesmo cruzamento pode ser encontrado em diferentes *clusters*, tal fato já foi verificado em plantas alógamas como o cajueiro, sendo considerado um indicativo de existência de variabilidade

genética em progênies (FERREIRA *et al.* 2012). Tais cruzamentos foram identificados ao longo do texto com um asterisco (*).

7.3 Experimento – Clones (agrupados)

Para clones, neste primeiro passo, o número de “neurônios” para a primeira clusterização foi definido pela expressão $5\sqrt{183}$. Assim, o número inicial de *protoclusters* foi definido em 70. É possível visualizar na imagem que todos os *protoclusters* estão preenchidos e que o maior número de clones para um *protocluster* foi 8.

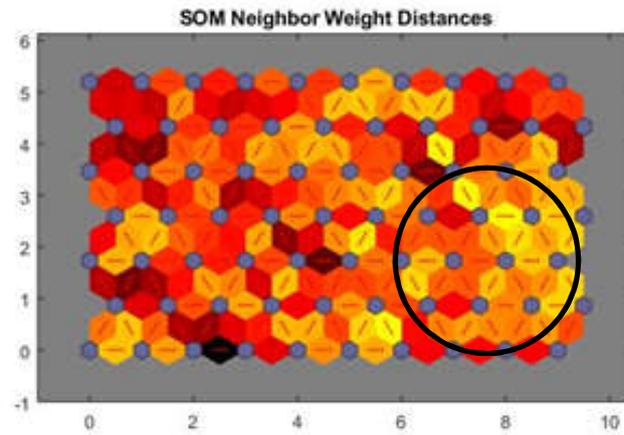
Figura 8– Apresentação dos *protoclusters* para clones



Fonte: Elaboração própria.

A Figura 9 abaixo representa o mapa topográfico dos *protoclusters*, ou seja, as cores mais claras indicam proximidade, enquanto tons mais escuros indicam afastamento. Nesta imagem é possível verificar a existência de muitos *protoclusters* próximos (lado direito da figura, dentro do círculo), alguns cuja distância é intermediária (distribuídos por toda a figura) e um grupo de *protoclusters* mais distante dos demais (canto inferior esquerdo representado por hexágono de cor preta).

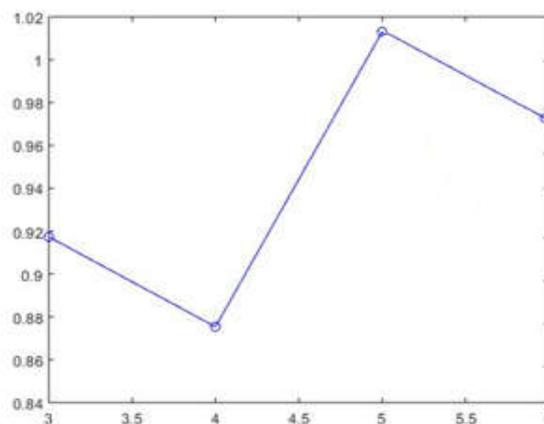
Figura 9– Representação em gradiente de cores da distância entre os *protoclusters* no mapa topográfico para clones



Fonte: Elaboração própria.

Para escolher o número ideal de *clusters* utilizou-se o teste de Davies-Bouldin, conforme prescreve a fórmula 1. O resultado deste teste está ilustrado na Figura 10 abaixo, onde se verifica a possibilidade de três, quatro, cinco, ou seis, *clusters* (eixo das abscissas) para os clones. Entretanto, o cluster escolhido deve ser o que apresentar menor valor no eixo das ordenadas (LEE *et al.*, 2004). Como é possível constatar na figura, o índice de menor valor para o eixo Y ajusta o resultado para quatro *clusters*.

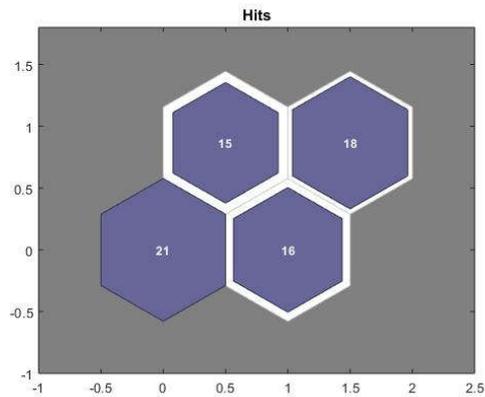
Figura 10- Representação gráfica do teste Davies-Bouldin Index para clones



Fonte: Elaboração própria.

Na Figura 11 é possível visualizar um total de formado de 70 *protoclusters*, agrupados e quatro grupos distintos, ou seja, em quatro *clusters*. Grupo I com 21, Grupo II com 15, Grupo III com 16 e Grupo IV com 18.

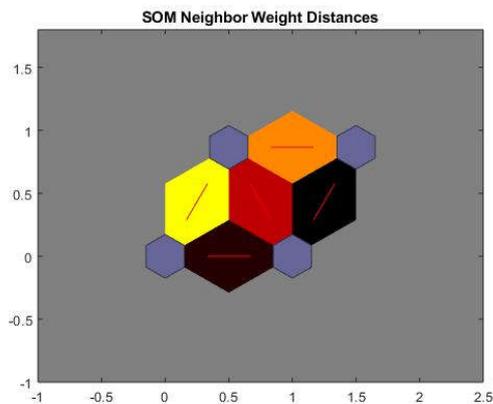
Figura 11– Agrupamento dos *clusters* para clones



Fonte: Elaboração própria.

A Figura 12 mostra que os Grupos I e III são os de características mais próximas, ou seja, esses clones têm comportamento semelhante no campo, já o Grupo II e IV são os mais diferentes entre si.

Figura 12 - Distância entre o agrupamento de *clusters* no mapa topográfico para clones



Fonte: Elaboração própria.

Na figura 12 o mapa topográfico mostra que os grupos que ficaram mais próximos foram I e o III, representados pela conexão na cor amarelo claro. Os grupos mais distantes foram o II e o IV, unidos pelo hexágono em preto.

Na Tabela 16, é possível verificar onde cada clone avaliado ficou alocado após a análise que os separaram em quatro grupos.

Tabela 16– Relação dos clones avaliados para as três doenças em conjunto agrupados nos seus respectivos grupos.

	Grupo 1 (60) (R)	Grupo 2 (40) (I)	Grupo 3 (I)	Grupo 4 (42) (S - ANT)			
11	BRS 226	15	CCP 76	7	FAGA 1	12	COPAN 221
9	EMBRAPA 50	11	BRS 189	9	CCP 06	11	BRS 265
10	COPAN 265	10	CCP 1001	11	FAGA 11		
5	CSPJ 01			10	EMBRAPA 51		
7	BRS 275						

Fonte: Elaboração própria.

Desse modo, analisando as Tabelas 16 e 17, pode-se afirmar que, os melhores clones, ou seja, os mais resistentes para as três principais doenças do cajueiro são os exibidos no Grupo 1, pois apresentaram as menores médias estatísticas aferidas por escala diagramática. Já o Grupo 3 foi o que apresentou uma maior suscetibilidade para oídio e mofo preto. Para antracnose os clones mais suscetíveis ficaram inseridos no Grupo 4.

Tabela 17 – Resultados do teste de Scott-Knott para clones

Cluster	GI	GII	GIII	GIV	F	p
N	60	40	41	42		
Oídio	1.2222c	2.2000b	2.8699a	2.2142b	98.21	***
Mofo Preto	0.4055c	2.1916a	0.5528c	1.4841b	113.4	***
Antracnose	0.9277c	0.6333d	1.2845b	2.4841a	116	***

Fonte: Elaboração própria.

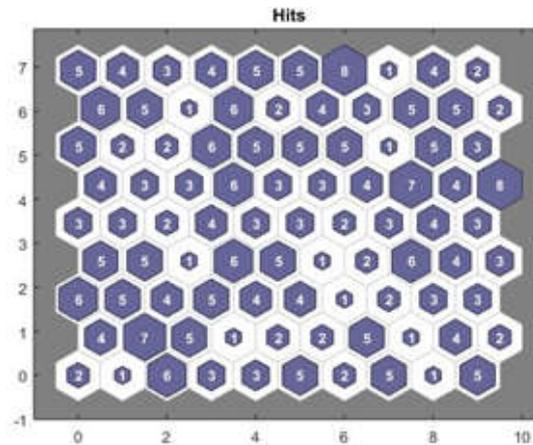
Por fim, tem-se que os melhores clones avaliados, com relação a resistência para as três principais doenças do cajueiro são: o BRS 226, EMBRAPA 50, COPAN 265, CSPJ 01 e BRS 275, sendo estes mesmos clones os mais resistentes ao oídio e ao mofo preto. Já os mais resistentes à antracnose são o CCP 76, BRS 189 e o CCP 1001. Já em relação aos clones mais suscetíveis tem-se o FAGA 1, CCP 06, FAGA 11 e o EMBRAPA 51, como os mais suscetíveis ao oídio; o CCP 76, BRS 189 e o CCP 1001, mais suscetíveis ao mofo preto, e; BRS 265 e o COPAN 261, mais suscetível à antracnose.

7.4 Experimento – Progênes (agrupadas)

Como resultado da análise, temos que cada hexágono encontrado na Figura 13 abaixo recebe o nome de *protocluster* e dentro de cada *protocluster* está o número de progênes classificadas. Nesse primeiro passo, o número de neurônios para a primeira clusterização foi definido pela expressão $5\sqrt{335}$. Assim, o número inicial de *protoclusters* foi definido em 90. É

possível visualizar na imagem que todos os *protoclusters* estão preenchidos e que o maior número de progênies para um *protocluster* foi 8.

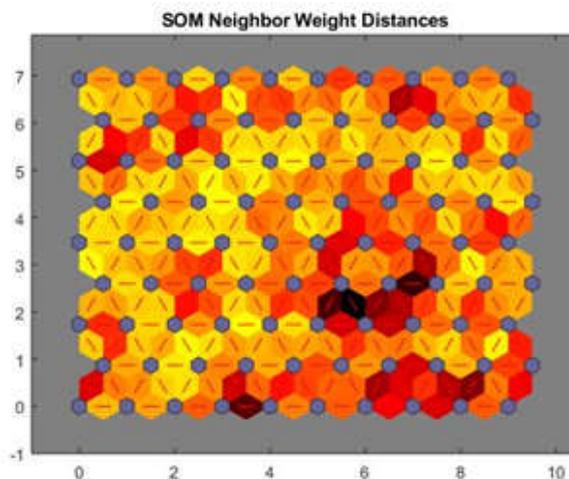
Figura 13– Apresentação dos *protoclusters* para progênies



Fonte: Elaboração própria.

A Figura 14 abaixo representa o mapa topográfico dos *protoclusters*, ou seja, as cores mais claras indicam proximidade, enquanto tons mais escuros indicam afastamento. Nesta imagem é possível verificar a existência de muitos *protoclusters* próximos (representados na cor amarelo claro), alguns cuja distância é intermediária (hexágonos em tons de laranja) e grupos de *protoclusters* mais distantes dos demais (hexágonos de coloração mais escura).

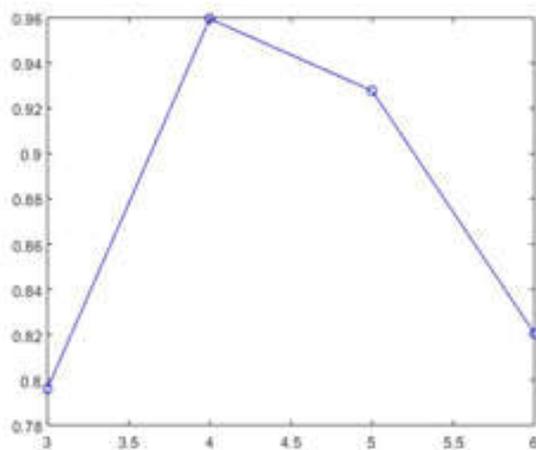
Figura 14 - Representação em gradiente de cores da distância entre os *protoclusters* no mapa topográfico para progênies



Fonte: Elaboração própria.

Para escolher o número ideal de *clusters* utilizou-se o teste de Davies-Bouldin, conforme prescreve a fórmula 1. O resultado deste teste está ilustrado na Figura 15 abaixo, onde se verifica a possibilidade de três, quatro, cinco, ou seis, *clusters* (eixo das abscissas) para as progênies. Entretanto, o *cluster* escolhido deve ser o que apresentar menor valor no eixo das ordenadas (LEE *et al.*, 2004). Como é possível constatar na figura, o índice de menor valor para o eixo Y ajusta o resultado para três *clusters*.

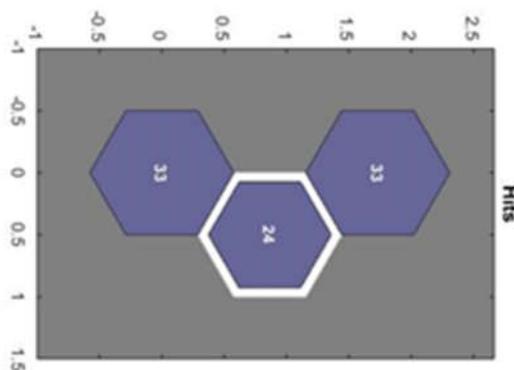
Figura 15- Representação gráfica do teste de Davies-Bouldin Index para progênies



Fonte: Elaboração própria.

Na Figura 16 é possível visualizar um total formado de 90 *protoclusters*, agrupados em três grupos distintos, ou seja, em três *clusters*. Grupo I com 33, Grupo II com 24, Grupo III com 33 *protoclusters*.

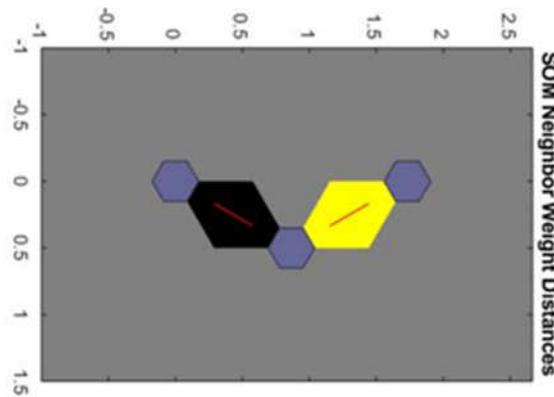
Figura 16– Agrupamento de *clusters* para progênies



Fonte: Elaboração própria.

Na Figura 17 é possível verificar que os Grupos I e II são os de características mais próximas, ou seja, esses grupos de progênies têm comportamento semelhante no campo, já os Grupo II e III mais diferentes entre si.

Figura 17- Distância entre o agrupamento de *clusters* no mapa topográfico para progênies



Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 18 mostra onde cada progênie ficou alocada após a análise. É possível perceber diferentes comportamentos de uma mesma progênie, ou seja, algumas observações de mesma progênie se repetem entre os grupos. Tal fato pode ser atribuído pela diferença entre a localização das plantas no croqui, dado que algumas ficam na bordadura assim como outras pelas diferentes idades. Adicionalmente, este comportamento é um indicativo de existência de variabilidade genética (FERREIRA *et al.*, 2012). Além disso, é importante salientar que cada experimento avaliado foi instalado em anos diferentes. Entretanto, o maior número de observações está inserido no Grupo III (125), seguido dos Grupos I (122) e IV (88).

Tabela 18 – Relação dos cruzamentos referentes às progênies quando avaliadas em conjunto para as três doenças agrupados nos seus respectivos grupos

Grupo 1 (122) (S - O)		Grupo 2 (88) (S - MP)		Grupo 3 (125) (R)	
17	CCP76 X BRS 226	24	CCP76 X BRS 226	40	CCP76 X BRS 226
7	BRS 189 X BRS 253	11	BRS 266 X BRS 265	10	CCP76 X BRS 253
21	BRS 266 X BRS 265	25	CCP1001X CCP 76	9	BRS 226 x BRS 275
6	BRS 226 x BRS 189	22	CCP 1001 X BRS 226	22	CCP1001X CCP 76
34	BRS 226 x BRS 275			23	CCP 1001 X BRS 226
7	CP 09 x BRS 275				
20	CCP 09 x BRS 275				

Fonte: Elaboração própria.

A comparação das médias, de acordo com o teste de Scott-Knott (Tabela 19), e com base nas escalas diagramáticas de Cardoso *et al.*, (2006; 2012), demonstraram que, é possível inferir que as progênes que pertencem ao Grupo I são as mais suscetíveis à oídio e antracnose. Os elementos do Grupo II, por sua vez, apresentaram baixa suscetibilidade ao oídio e à antracnose, se comparados aos elementos do Grupo I, contudo, demonstraram elevada propensão ao desenvolvimento de mofo preto. O Grupo III, que pode ser considerado o melhor grupo, no que tange aos parâmetros de resistência às doenças estudadas, apresentou as menores médias de incidência para todas as três doenças, contudo, a suscetibilidade para a antracnose nos Grupos II e III não foi estatisticamente significativa, o que significa dizer que não é possível inferir, por meio dos dados coletados, que existe diferença na ocorrência dessa patologia para os dois grupos em questão.

Tabela 19 – Resultados do teste de Scott-Knott para cruzamentos referentes às progênes

Cluster	GI	GII	GIII	<i>F</i>	<i>p</i>
<i>N</i>	122	88	125		
Oídio	3,0698a	1,5057b	1,3352c	512.7	***
Mofo Preto	0,9462b	2,1072a	0,7473c	204.2	***
Antracnose	1,3225a	1,1647b	1,1021b	1.491	0.227

Fonte: Elaboração própria.

Por fim, tem-se que as melhores progênes avaliadas, com relação a resistência para as três principais doenças do cajueiro são provenientes dos cruzamentos: CCP76 X BRS 226; CCP76 X BRS 253; BRS 226 x BRS 275; CCP1001 X CCP 76 e CCP 1001 X BRS 226, sendo as mesmas progênes as mais resistentes ao oídio e mofo preto. Quanto à antracnose não foram constatadas diferenças significativas fortes entre os grupos.

8 DISCUSSÃO

Os resultados extraídos desta pesquisa, apresentados nas Tabelas 4,6 e 8 complementam as pesquisas de Pinto *et al.* (2018), utilizando técnicas de agrupamento, identificaram os clones BRS 274, BRS 275, BRS 226 e CCP 1001 como sendo os mais resistentes ao oídio, enquanto os clones BRS 189 e CCP 06 foram indicados como os mais suscetíveis. Nos resultados deste trabalho, o BRS 274, BRS 275 e BRS 226, também foram classificados como resistentes ao oídio e às outras duas patologias avaliadas nesta pesquisa.

Ademais, Lima *et al.* (2019), por meio de análises de curvas de progresso da doença, verificaram que os clones de cajueiro BRS 265 e BRS 226 foram os menos afetados mofo preto,

enquanto os clones BRS 189 e CCP 76 foram os mais suscetíveis. Adicionalmente, o manuscrito de Lima *et al.* (2019) corroboram com estas afirmações, pois os autores afirmaram que os clones CCP 06, CCP 76 e CCP 1001 são resistentes a antracnose. Por fim, Viana *et al.* (2011) verificaram resistência genética à antracnose nos clones CCP 76, Embrapa 51 e CCP 09.

Quanto aos cruzamentos avaliados para progênies, encontrados nas Tabelas 10,12 e 14, é possível verificar os grupos que estão associados à resistência e à suscetibilidade e sugerir a presença de variabilidade genética dentre as progênies, em alguns casos (FERREIRA *et al.*, 2012). Hawerth *et al.* (2017), afirmam que as progênies avaliadas provenientes do cruzamento CCP 76 x BRS 226 apresentam menor severidade ao oídio, enquanto o cruzamento CCP 76 x BRS 253, menor severidade à antracnose e ao mofo preto. Entretanto, ainda é difícil versar sobre, pois a literatura sobre a reação de progênies de cajueiro a doenças no campo ainda não aponta amplos direcionamentos e resultados.

Além disso, o presente estudo também buscou determinar a relação de progênies de cruzamentos entre clones comerciais resistentes e suscetíveis associados, ou seja, em conjunto para às doenças mais comuns na cajucultura: oídio, antracnose e mofo preto, com o intuito de subsidiar o mapeamento genético da resistência dessas patologias por meio da utilização de marcadores moleculares. Dos dados auferidos foi possível identificar que clones e progênies possuem comportamento diferenciado em relação as patologias estudadas, especialmente no que concerne a resistência a antracnose. De fato, enquanto o Grupo IV dos clones (ver Tabelas 16 e 17) apresentou elevada taxa de suscetibilidade para a doença, o mesmo não foi observado para os grupos das progênies, podendo-se inferir que todas as progênies do estudo em questão são igualmente resistentes à antracnose, dado que a diferença entre as médias não foi significativa entre GII e GIII (ver Tabelas 18 e 19).

O estudo endereça ainda importantes achados no que concerne a composição dos grupos para clones e progênies. De forma geral, os melhores materiais para plantio compõem o Grupo I, para os clones, e o Grupo III, para as progênies, dado que estes grupos apresentaram as menores médias gerais nas avaliações de campo com as escalas diagramáticas de Cardoso *et al.* (2006; 2012). Por outro lado, os grupos mais suscetíveis são bastante heterogêneos no que tange o desenvolvimento das patologias. Por exemplo, para as progênies agrupadas, o grupo mais suscetível ao oídio foi o Grupo I, enquanto que o mais suscetível ao mofo preto foi o grupo II. Em relação aos clones, o Grupo III pode ser considerado extremamente suscetível ao oídio, enquanto que o grupo dois apresenta suscetibilidade moderada para mofo preto e oídio. Nesse sentido, a busca pelos melhores materiais, pela parte do produtor, estaria relacionada especificamente ao *trade-off* entre o custo dos tratamentos e o potencial de perda produtiva do

material em questão em casos atípicos. Assim, não seria uma questão de escolher o melhor clone ou progênie com “a melhor doença”, mas aquela cujos possíveis danos possam ser mitigados, dado o espaço e os recursos disponíveis do produtor.

No caso do mapeamento genético, é possível inferir que a melhor perspectiva de pesquisa estaria naqueles materiais que compõem o Grupo I dos clones, e no Grupo III das progênies, dado que ambos os grupos obtiveram resultados bastante significativos em relação aos demais grupos do estudo. Entretanto, é importante salientar que os resultados para os grupos e seus materiais não foram homogêneos. Em verdade, observou-se que os materiais que figuraram nos grupos mais resistentes às três doenças estudadas também apareceram em grupos extremamente suscetíveis. Esse fato pode ser explicado por fatores diretos e indiretos, tais como a posição dos materiais no campo, variabilidade genética, vento (posição e intensidade), animais (pequenas aves e mamíferos), bem como fatores de estresse que podem acometer a cultura, mesmo sob condições de controle moderado, como no experimento em questão.

Adicionalmente, métodos não hierárquicos, como o utilizado neste estudo, são mais versáteis do que os métodos hierárquicos, usados por Hawerth *et al.* (2017) e Pinto *et al.* (2018), pois permitem a reclassificação de observações em outros grupos, bem como são mais robustos para utilização com grandes amostras (BIGNÉ *et al.*, 2010), sugerindo a variabilidade.

De Sá (2018) utilizou a técnica de *Self Organizing Maps* para realizar seus estudos de inteligência computacional aplicada ao estudo da divergência e fenotipagem em cultivares de soja. A autora verificou que a técnica é eficaz na avaliação da diversidade genética de cultivares de soja. Além disso, constatou dissimilaridade genética entre os genótipos em avaliação, com formação de 6 *clusters*. A leitura dos seus resultados permitiu inferir ainda que os genótipos de soja agrupados no *cluster* I eram mais distantes dos genótipos do *cluster* V, ou seja, conforme seus dados, os genótipos alocados no *cluster* I e no *cluster* V apresentaram o melhor potencial como genitores em programas de hibridação, pois podem gerar grande variabilidade genética em suas progênies. Ao analisar os resultados deste trabalho é possível obter a mesma informação para os materiais de cajueiros que foram objeto de pesquisa.

Ainda tecendo comentários sobre a forma de análise dos dados, o SOM é uma técnica moderna e eficiente, por isso seu uso tem sido cada vez mais recorrente nas diversas áreas da agricultura. Essa técnica tem inúmeras aplicações e usualmente é encontrada já integrada, sendo utilizada para auxiliar na seleção imagens de plantas infestadas com patologias e classifica-los; em programas de melhoramento para fenotipagem e genotipagem de materiais ou ainda pesquisas a níveis de ácido desoxirribonucleico (DNA); mapeamentos florestais,

dentre outros (RUANET; KOCHIEVA ; RYZHOVA, 2005; ARCOVERDE, 2011; HERNÁNDEZ-RABADÁN; RAMOS-QUINTANA; GUERRERO JUK, 2014; SINGH, 2016; NOVAES *et al* .,2017)

Conforme Törönen *et al.* (1999) o uso dá técnica SOM, além de ser rápida e conveniente, é um exelente método para organizar e interpretar dados de expressão gênica. Segundo os autores, os perfis de expressão de um grupo de genes são representados por um vetor de peso comum e os dados são facilmente visualizados como uma matriz bidimensional promovida pelas análises realizadas com a técnica SOM.

Por fim, pesquisas sobre fenotipagem de plantas perenes associadas a bons tratamentos estatísticos, objetivando realizar inferências sobre o comportamento de doenças no campo são os pilares para o desenvolvimento de pesquisas de melhoramento vegetal mais modernas, como, por exemplo, o mapeamento de QTLs. A partir das informações geradas por estudos desse tipo, é possível extrair os potenciais materiais para conduzir pesquisas mais minuciosas, de alto custo, mas com muitos benefícios para o produtor, para economia e para o mercado consumidor.

Ademais, espera-se que as informações aqui geradas sejam, em breve, sejam utilizadas para identificação da resistência do cajueiro às doenças a nível molecular possibilitando a identificação precoce de doenças, promovendo facilidades no monitoramento e acelerando a introdução desses genes de interesse no germoplasma cultivado.

9 CONCLUSÕES

A – Oídio - Os clones e potenciais BRS 226; BRS 275; COPAN 265; CSPJ 01; EMBRAPA 50 são resistentes e os clones BRS 189; CCP 06; EMBRAPA 51; FAGA 1 são suscetíveis.

As progênies provenientes do cruzamento e CCP 09 x BRS 275 são suscetíveis. Já as provenientes dos cruzamentos CCP 76 x BRS 226; CCP 1001 x BRS 226; CCP1001 x CCP 76; CCP76 x BRS 253 são resistentes.

B – Mofo preto - Os clones e potenciais BRS 226; BRS 275; COPAN 265; EMBRAPA 50; EMBRAPA 51; FAGA 1 são resistentes, enquanto que o BRS 189 e o BRS 265 são suscetíveis.

As progênies provenientes dos cruzamentos BRS 266 x BRS 265 e o CCP 1001 x BRS 226 são suscetíveis ao mofo preto. As provenientes dos cruzamentos CCP76 x BRS 253; BRS 189 x BRS 253; BRS 226 x BRS 275; CCP 09 x BRS 275 e CCP 76 x BRS 226 são resistentes.

C – Antracnose - Os clones e potenciais BRS 189; BRS 226; BRS 275; CCP 06; CCP 1001; COPAN 265; CSPJ 01; EMBRAPA 50; EMBRAPA 51; FAGA 1 são resistentes, enquanto o BRS 265 é suscetível.

As progênies mais resistentes são provenientes dos cruzamentos BRS 189 x BRS 253; BRS 226 x BRS 275; CCP 09 x BRS 275; CCP 1001 x BRS 226; CCP 76 x BRS 226; CCP 76 x BRS 253 e CCP1001 x CCP 76

D – As progênies mais resistentes avaliadas em conjunto para as três doenças, oídio, antracnose e para o mofo preto são resultantes dos cruzamentos CCP76 x BRS 226; CCP76 x BRS 253; BRS 226 x BRS 275; CCP1001 x CCP 76 e CCP 1001 x BRS 226.

Os clones e potenciais mais resistentes em conjunto para as três doenças avaliadas são o BRS 226, EMBRAPA 50, COPAN 265, CSPJ 01 e BRS 275.

E – O uso da técnica *Self Organizing Maps*, foi eficaz para avaliar a fenotipagem das doenças em conjunto

REFERÊNCIAS

- ALZATE-MARIN, A. L. *et al.*. Seleção assistida por marcadores moleculares visando ao desenvolvimento de plantas resistentes a doenças, com ênfase em feijoeiro e soja. **Fitopatologia brasileira**, Brasília-DF, v. 30, n. 4, p. 333-342, 2005.
- ARCOVERDE, G. F. B. *et al.*. Identification of priority areas for forest restoration using self-organizing maps neural network. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba -PR, v. 17, n. 3, p. 379-400, 2011.
- BARROS, L. M.; CRISÓSTOMO, J. R. Melhoramento genético do cajueiro. In: ARAÚJO, J.P.P.; SILVA, V.V. (Ed.). **Cajucultura: modernas técnicas de produção**. Fortaleza: **Embrapa-CNPAT**, 1995. p. 73-93.
- BARROS, L. de M. *et al.*. Seleção de clones de cajueiro-anão para o plantio comercial no Estado do Ceará. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 35, n. 11, p. 2197-2204, 2000.
- BARROS, L. de M. *et al.*. Desempenho de clones de cajueiro anão em condições de sequeiro. **Embrapa Agroindústria Tropical**. **Boletim de Pesquisa**, 2000.
- BARROS, L. de M. Caju, produção: aspectos técnicos. **Embrapa Agroindústria Tropical**, Fortaleza-CE, 2002.
- BEDENDO, I. P. **Oídios**. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. Manual de Fitopatologia. São Paulo: Ceres, p. 473 – 477, 2011.
- BIGNÉ, E.; MANZANO-ALDAS, J.; KÜSTER, I.; VILA, N. Mature market segmentation: a comparison of artificial neural networks and traditional methods. **Neural Computing and Applications**, Germany, v. 19, n. 1, p. 1-11, 2010.
- BRAGA SOBRINHO, R.; MESQUITA, ALM; HAWERROTH, F. J. Pragas da cultura da atemóia monitoramento e controle. **Embrapa Agroindústria Tropical-Documents (INFOTECA-E)**, 2013.
- BRAUN, U.; COOK, R. T. A. Taxonomic manual of the Erysiphales. **Utrecht: CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre**, 2012.
- BROGIN, R. L. "**Mapeamento de genes de resistência à ferrugem e de QTLs envolvidos na resistência à septoriose em soja**." Tese de Doutorado . Universidade de São Paulo, 2005.
- CABI. "*Oidium Anacardii* (Cashew Powdery Mildew)." Retrieved (<http://www.cabi.org/isc/datasheet/37161>). 2016.
- CARDOSO, J. E. *et al.*. Genetic resistance of dwarf cashew (*Anacardium occidentale* L.) to anthracnose, black mold, and angular leaf spot. **Crop Protection**, Guildford, v. 18, n. 1, p. 23-27, 1999.
- CARDOSO, J.E. *et al.*. **Monitoramento de doenças na cultura do cajueiro**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2006.

CARDOSO, J. E.; FREIRE, F. C. O. Identificação e manejo das principais doenças. **Caju-Fitossanidade**. Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**, p. 41-51, 2002.

CARDOSO, J. E. *et al.*. Controle Químico do Oídio do Cajueiro. **Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, Ceará, Brasil**, 2012, p.4 (Comunicado Técnico, 196).

CARDOSO, J. E. *et al.*. Doenças do cajueiro. In: ARAÚJO, J. P. P. de (Ed.). **Agronegócio caju: práticas e inovações**. Brasília, DF: Embrapa, parte 3, cap. 2, p. 217-238. 2013.

CARDOSO, J. E. **Enxofre é indicado para controle do oídio do cajueiro**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/10847075/enxofre-e-indicado-para-controle-do-oidio-do-cajueiro>. Acesso em: 02/05/2018.

CARDOSO, J. E. *et al.*. First report of *Erysiphe quercicola* causing powdery mildew on cashew in Brazil. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 101, n. 7, p. 1327, 2017.

CARVALHO, P.R.S.. **Extratos vegetais: potencial elicitador de fitoalexinas e atividade antifúngica em antracnose do cajueiro**, 2010.

CAVALCANTI, J. J. V.; WILKINSON, M. J.. The first genetic maps of cashew (*Anacardium occidentale* L.). **Euphytica**, Wageningen, v. 157, n. 1-2, p. 131-143, 2007.

CAVALCANTI, J.J.V.; DE RESENDE, M.D.V. Seleção precoce intensiva: uma nova estratégia para o programa de melhoramento genético do cajueiro. **Embrapa Florestas-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2010.

CAVALCANTI, J.J.V. *et al.*. Predição simultânea dos efeitos de marcadores moleculares e seleção genômica ampla em cajueiro. **Embrapa Florestas-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2012.

CAVALCANTI JUNIOR, A.T.; CHAVES, J.C.M. Produção de mudas de cajueiro. **Embrapa Agroindústria Tropical-Documentos (INFOTECA-E)**, 2001.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Análise mensal castanha de caju**, agosto 2017.

CROXFORD, A. E.; ROBSON, M.; WILKINSON, M. J. Characterization and PCR multiplexing of polymorphic microsatellite loci in cashew (*Anacardium occidentale* L.) and their cross-species utilization. **Molecular ecology notes**, Oxford, v. 6, n. 1, p. 249-251, 2006.

DE MORAES FERNANDES, M.I.B. Perspectivas da biotecnologia para o melhoramento de plantas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 22, n. 09/10, p. 881-896, 1987.

DE SA, L.G. **Inteligência computacional aplicada ao estudo da divergência e fenotipagem em cultivares de soja**, 2018.

DE RESENDE, M. D. V. *et al.*. Métodos e estratégias de melhoramento de espécies perenes: estado da arte e perspectivas. In: **Embrapa Florestas-Artigo em anais de congresso**

(ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 3., 2005, Gramado. Anais. Passo Fundo: Embrapa Trigo;[SI]: Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas, 2005.

DURÃES, F.O. *et al.*. Fenotipagem associada a tolerância a seca em milho para uso em melhoramento, estudos genômicos e seleção assistida por marcadores. **Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica** (INFOTECA-E), 2004.

FÁVERO, L.P; BELFIORE, P.. **Análise de dados: modelos de regressão com Excel®, Stata® e SPSS®**. Elsevier Brasil, 2016.

FERREIRA, C.B.B. *et al.* Diversidade genética molecular de progênies de dendezeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 47, n. 3, p. 378-384, 2012.

FLOR, H.H. Host-parasite interactions in flax rust-its genetics another implications. **Phytopathology** 45:680-685. 1955.

FONSECA, W. L. *et al.*. Morphological, molecular phylogenetic and pathogenic analyses of *Erysiphe* spp. causing powdery mildew on cashew plants in Brazil. **Plant Pathology**, Oxford, 2019.

FREIRE, F. C. O. *et al.*. Diseases of cashew (*Anacardium occidentale* L.) in Brazil. **Crop Protection**, Guildford, v.21, p. 489-494, 2002.

HAWERROTH M.C., *et al.*. Busca por fontes de resistência a doenças de importância na cultura do cajueiro com base no comportamento de progênies. **Embrapa Agroindústria Tropical-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2017.

HERNÁNDEZ-RABADÁN, D.L.; RAMOS-QUINTANA, F.; GUERRERO JUK, J.. Integrating SOMs and a Bayesian classifier for segmenting diseased plants in uncontrolled environments. **The Scientific World Journal**, London, v. 2014, 2014.

INDEX FUNGORUM. Classificação taxonômica do *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. & Sacc.. Disponível em: <http://www.indexfungorum.org/names/namesRecord.asp?RecordID=158410>. Acesso em 10 de fevereiro de 2019.

JELIHOVSCHI, E.G.; FARIA, J.C.; ALLAMAN, I.B.. ScottKnott: a package for performing the Scott-Knott clustering algorithm in R. **TEMA (São Carlos)**, São Carlos, v. 15, n. 1, p. 3-17, April, 2014.

KNAPP, S.J. Mapping quantitative trait loci using molecular markers: multilocus estimators of backcross, recombinant inbred, and doubled haploid parameters. **Theoretical and Applied Genetic**, New York, v.81, p.333-338, 1991.

KIMATI, H. *et al.*. **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005.

KOHONEN, T. Self-organized formation of topologically correct feature maps. **Biological cybernetics**, Berlin, v. 43, n. 1, p. 59-69, 1982.

LAMAS, N. S. **Desenvolvimento, caracterização e uso de marcadores microsatélites no mapeamento genético de características agronômicas de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.)**. Dissertação de Mestrado no Departamento de Biologia Celular, UNB. 144p, 2010.

LAURINDO, B.S. *et al.*. Seleção de acessos de tomateiro resistentes à pinta-preta pela análise de agrupamento das curvas de progresso da doença. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 50, n. 2, p. 106-114, 2015.

LEE, S. C. *et al.*. A cross-national market segmentation of online game industry using SOM. **Expert Systems With Applications**, 27, 559–570, 2004.

LINDEN, R. Técnicas de Agrupamento. **Revista de Sistemas de Informação da FSMA**, n. 4, p. 18-36, 2009.

LIMA, A. C.; GARCIA, N. H.P. ; LIMA, J. R.. Obtenção e caracterização dos principais produtos do caju. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 22, n. 1, 2004.

LIMA, J. S. Epidemiologia quantitativa do oídio do cajueiro no clone brs 189. **Embrapa Agroindústria Tropical-Tese/dissertação (ALICE)**, 2017.

LIMA, J.S.; MARTINS, M.V.V.; CARDOSO, J.E.. Powdery mildew damage to the production of BRS 189 cashew plants. **Revista Ceres**, Viçosa-MG, v. 66, n. 2, p. 132-141, 2019.

LIMA, J.S. *et al.*. Reação de clones de cajueiro-anão à antracnose e ao mofo-preto. **Embrapa Agroindústria Tropical-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2019.

LINHARES, A.I.; GHINI, R. Comparação de métodos de monitoramento da resistência de *Sphaerotheca fuliginea* a fungicidas. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília-DF, v. 26, p. 356-357, 2001.

LÓPEZ GARCÍA, H.; MACHÓN GONZÁLEZ, I. Self-organizing map and clustering for wastewater treatment monitoring. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, Laxenburg, 17(3), 215–225, 2004.

MAIA, L. K. R. **Influência do oídio no fruto de cajueiro anão**. 2014, 87f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

MARINHO, R. E. M. *et al.*. Eficiência de fungicidas no controle do oídio em meloeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília-DF, v. 27, p. 219-220, 2002.

MELO, D. S. *et al.*. Protocolo para avaliações de plantas e de castanhas do programa de melhoramento genético do cajueiro da Embrapa Agroindústria Tropical. **Embrapa Agroindústria Tropical-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2018.

MICHEREFF, S.J. *et al.*. Variabilidade de isolados de *Alternaria brassicicola* no Estado de Pernambuco. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília-DF, v. 28, n. 6, p. 656-663, 2003.

MINGOTI, S. A. Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: Uma abordagem aplicada. Belo Horizonte, MG, ed: UFMG, 297p, 2005.

NETO, F. das C.V. *et al.*. Melhoramento genético e cultivares de cajueiro. **Agronegócio caju: práticas e inovações. Brasília, DF: Embrapa**, p. 481-508, 2013.

NETO, F. das C. V. *et al.*. **Desempenho de Clones de Cajueiro-comum em Pacajus, CE.** 2018.

NOACK, F.. Cogumelos parasitas das plantas de pomar, horta e jardim. **Boletim do Instituto Agrônômico do Estado de Sao Paulo**, v. 9, p. 75-88, 1898.

NOVAES, C. G. *et al.*. Screening of *Passiflora* L. mineral content using principal component analysis and Kohonen self-organizing maps. **Food chemistry**, Barking, v. 233, p. 507-513, 2017.

OLIVEIRA, L.G.L.; IPIRANGA, A.S.R. A inovação sustentável e a dinamização do sistema local do agronegócio do caju cearense. **Contextus–Revista Contemporânea de Economia e Gestão**, Fortaleza-CE, v. 7, n. 1, 2009.

PAIVA, F.F. de A.; GARRUTTI, D. dos S.; DA SILVA NETO, R. M. Aproveitamento industrial do caju. **Embrapa Agroindústria Tropical-Documentos (INFOTECA-E)**, 2000.

PINTO, O.R.O. *et al.*. Reaction of commercial clones of cashew to powdery mildew in northeastern Brazil. **Crop Protection**, Guildford, v. 112, p. 282-287, 2018.

RUANET, V. V.; KOCHIEVA, E. Z.; RYZHOVA, N. N. The use of a self-organizing feature map for the treatment of the results of RAPD and ISSR analyses in studies on the genomic polymorphism in the genus *Capsicum* L. **Russian Journal of Genetics**, Moscow, v. 41, n. 2, p. 202-210, 2005.

SANTOS, J.A. *et al.*. Caracteres epidemiológicos e uso da análise de agrupamento para resistência parcial à ferrugem da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 42, n. 3, p. 443-447, 2007.

SERRANO, L. A. L. *et al.*. Influência do oídio nas castanhas de diferentes genótipos de cajueiro. **Embrapa Agroindústria Tropical-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2013.

SILVEIRA, F. G. **Classificação multivariada de modelos de crescimento para grupos genéticos de ovinos de corte.** 2010. 61f. Dissertação (Mestrado em Estatística Aplicada e Biometria) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

SINGH, A. *et al.*. Machine learning for high-throughput stress phenotyping in plants. **Trends in plant science**, Oxford, v. 21, n. 2, p. 110-124, 2016.

TEIXEIRA, L. M. S. *et al.* **Recomendações para o controle de pragas e doenças do cajueiro.** EMBRAPA-CNPCa. Comunicado Técnico, 1991.

THUROW, L. B.; CASTRO, C. M.; PEREIRA, A. da S. Melhoramento de plantas visando à resistência a patógenos. **Embrapa Clima Temperado-Capítulo em livro técnico (INFOTECA-E)**, 2018.

TÖRÖNEN, P; *et al.*. Analysis of gene expression data using self-organizing maps. **FEBS letters**, Amsterdam, v. 451, n. 2, p. 142-146, 1999.

HAWERROTH, E. H. *et al.*. Busca por fontes de resistência a doenças de importância na cultura do cajueiro com base no comportamento de progênies. **Embrapa Agroindústria Tropical-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**. 2017.

VELOSO, J. S. *et al.*. Why species delimitation matters for fungal ecology: Colletotrichum diversity on wild and cultivated cashew in Brazil. **Fungal biology**, Amsterdam, v. 122, n. 7, p. 677-691, 2018.

VIANA, F. M. P. *et al.*. Frequência de aplicação de acibenzolar-s-methyl no controle do mofo-preto em cajueiro anão precoce. In: **Embrapa Agroindústria Tropical-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 21., 2010, Natal. Anais... Natal: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 2010.

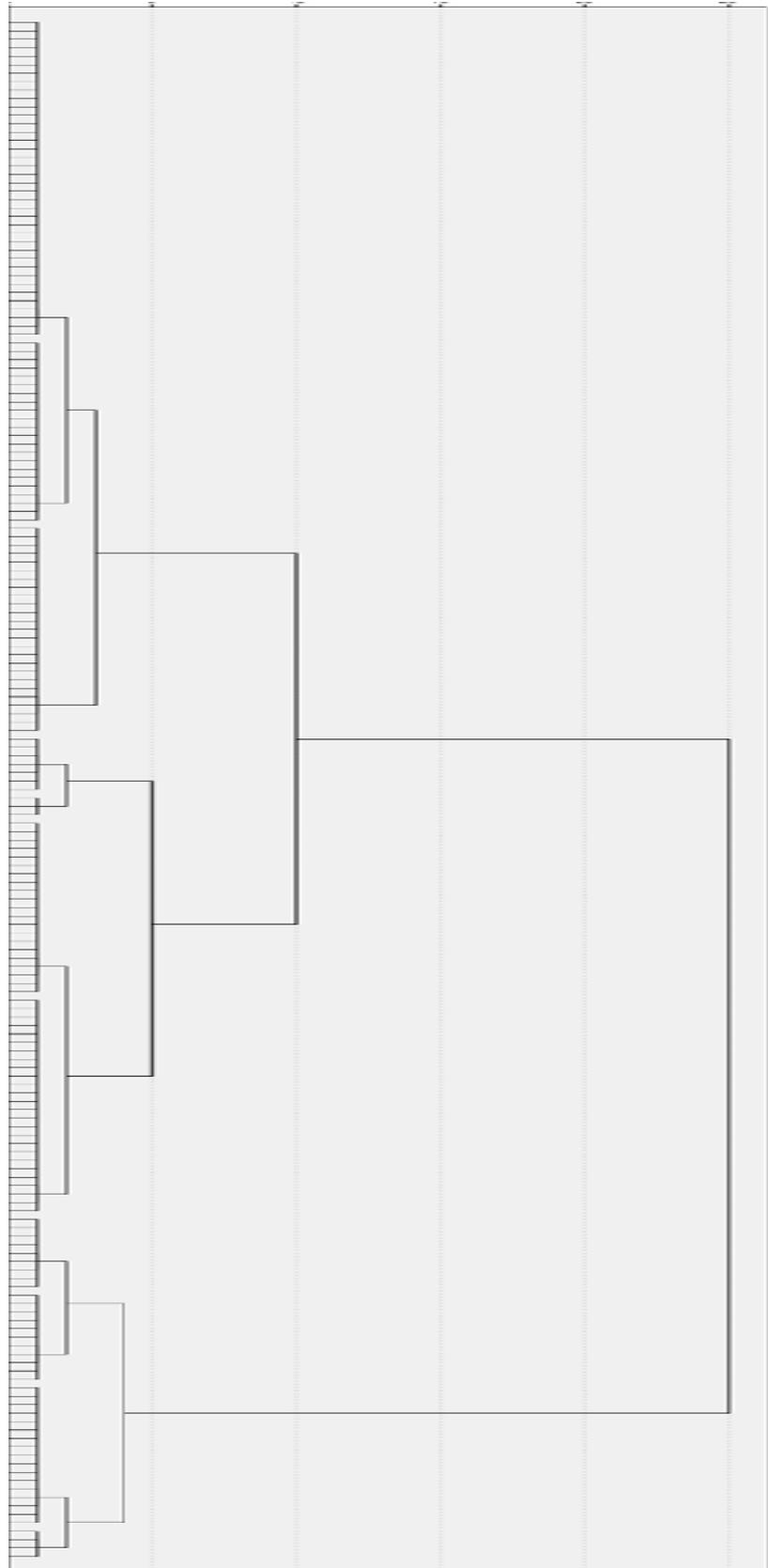
VIANA, F. M. P. *et al.*. Interação irrigação-clone-adubação na antracnose do cajueiro. **Embrapa Agroindústria Tropical-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2011.

VIANA, F.M.P. *et al.*. Control of cashew black mould by acibenzolar-S-methyl. **Tropical Plant Pathology**, Oxford, v. 37, n. 5, p. 354-357, 2012.

VIDAL NETO, F. das C. V. *et al.* Melhoramento genético e cultivares de cajueiro. **Agronegócio caju: práticas e inovações. Brasília, DF: Embrapa**, p. 481-508, 2013.

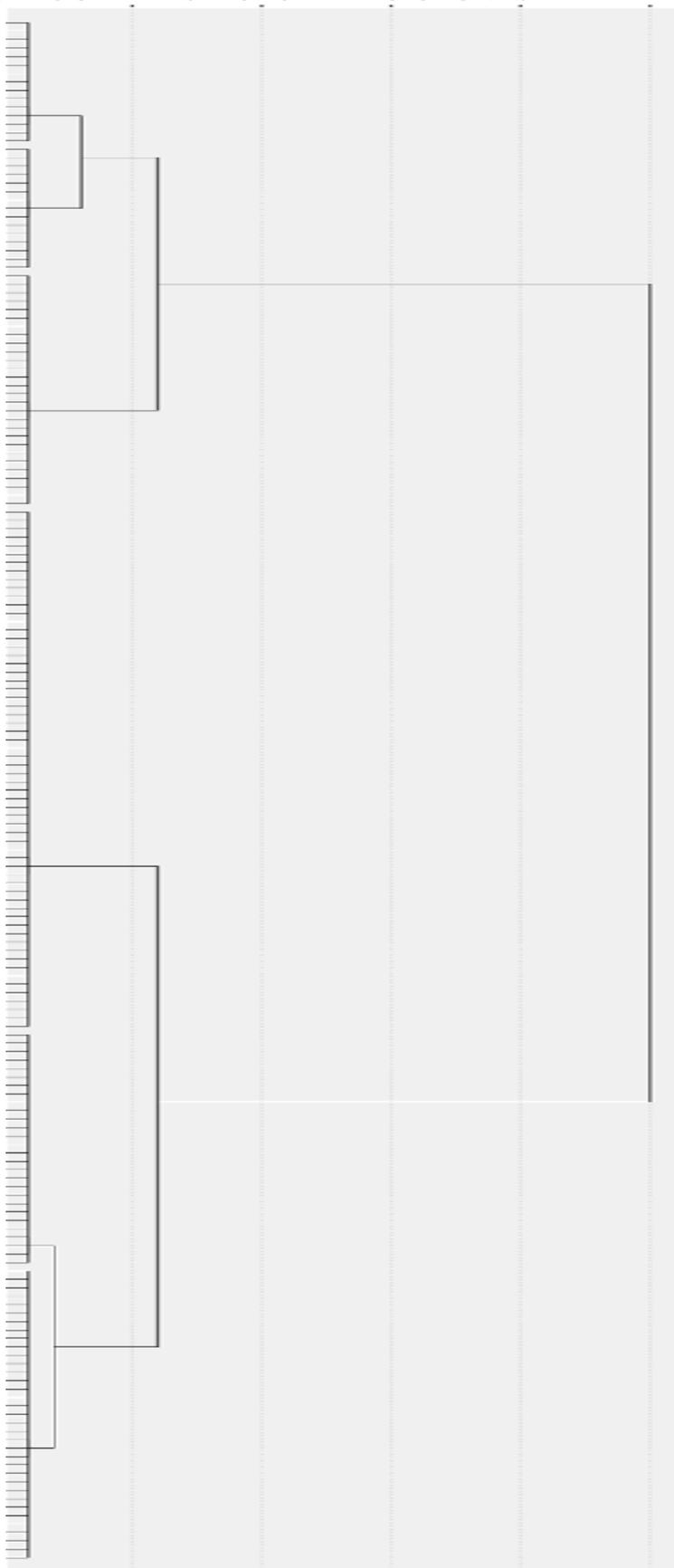
ANEXO A – DENDROGRAMAS OÍDIO CLONES 1

Oídio – Clone
<i>Cluster 1</i>
BRS 265
CCP 09
CCP 1001
COPAN 265
EMBRAPA 50
<i>Cluster 2</i>
BRS 189
CCP 06
EMBRAPA 51
FAGA 1
<i>Cluster 3</i>
BRS 226
BRS 275
COPAN 265
CSPJ 01
EMBRAPA 50



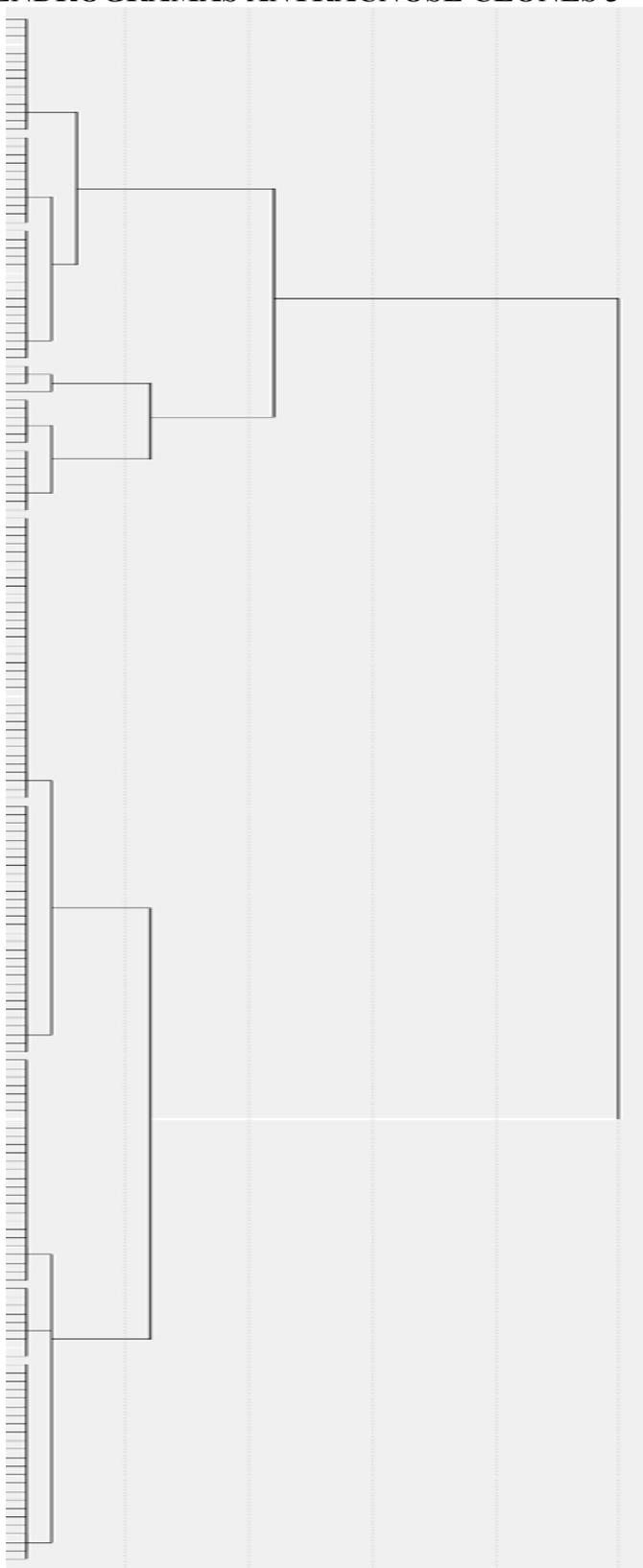
ANEXO B – DENDROGRAMAS MOFO PRETO CLONES 2

Mofa preto – Clone	
<i>Cluster 1</i>	
	BRS 189
	BRS 265
<i>Cluster 2</i>	
	CCP 1001
<i>Cluster 3</i>	
	BRS 226
	BRS 275
	COPAN 265
	EMBRAPA 50
	EMBRAPA 51
	FAGA 1
<i>Cluster 4</i>	
	CCP 06
	CCP 09
	CSPJ 01



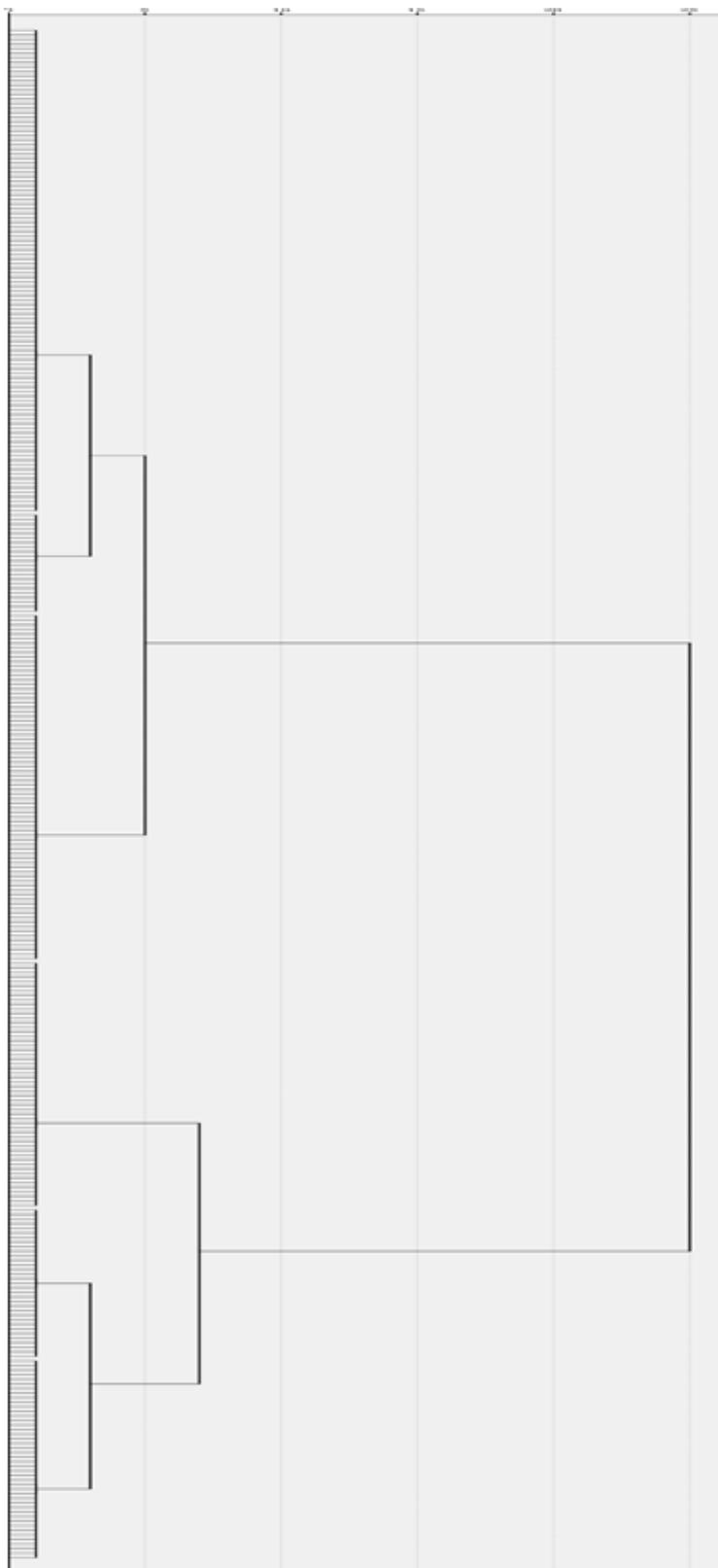
ANEXO C – DENDROGRAMAS ANTRACNOSE CLONES 3

Antacnose – Clone
<i>Cluster 1</i>
CCP 06
<i>Cluster 2</i>
BRS 265
<i>Cluster 3</i>
BRS 189
BRS 226
BRS 275
CCP 06
CCP 1001
COPAN 265
CSPJ 01
EMBRAPA 50
EMBRAPA 51



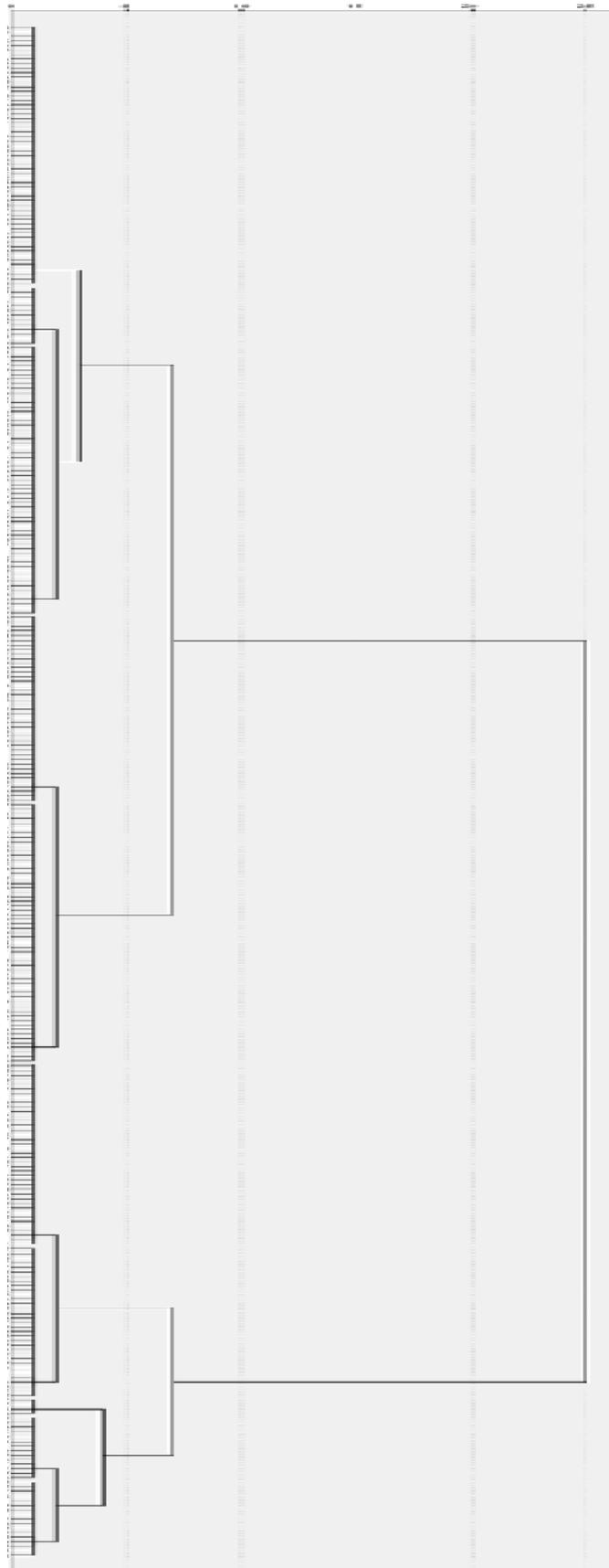
ANEXO D – DENDROGRAMAS OÍDIO PROGÊNIES 1

Oídio – Pro <i>Cluster 1</i>
CCP76 X BRS 226
BRS 226 x BRS 275
BRS 266 X BRS 265
CCP 1001 X BRS 226
CCP1001X CCP 76
CCP76 X BRS 253
<i>Cluster 2</i>
BRS 189 X BRS 253
BRS 226 x BRS 275
BRS 266 X BRS 265
CCP 09 x BRS 275
<i>Cluster 3</i>
BRS 226 x BRS 275
BRS 266 X BRS 265
CCP 09 x BRS 275



ANEXO E – DENDROGRAMAS MOFO PRETO PROGÊNIES 2

Mofa preto – Pro
<i>Cluster 1</i>
CCP76 X BRS 253
BRS 189 X BRS 253
BRS 226 x BRS 275
CCP 09 x BRS 275
CCP 76 X BRS 226
<i>Cluster 2</i>
BRS 226 x BRS 275
BRS 266 X BRS 265
CCP 1001 X BRS 226
CCP1001X CCP 76
CCP76 X BRS 226
CCP76 X BRS 253
<i>Cluster 3</i>
BRS 266 X BRS 265
CCP 1001 X BRS 226
CCP 76 X BRS 226
CCP1001X CCP 76
<i>Cluster 4</i>
BRS 266 X BRS 265
CCP 1001 X BRS 226



ANEXO F – DENDROGRAMAS ANTRACNOSE PROGÊNIES 3

