



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA



VICTOR MARTINS DA SILVEIRA

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE GENÓTIPOS DE ALGODÃO
COLORIDO UTILIZANDO LÓGICA FUZZY

UBERLÂNDIA-MG
DEZEMBRO/2019

VICTOR MARTINS DA SILVEIRA

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE GENÓTIPOS DE ALGODÃO
COLORIDO UTILIZANDO LÓGICA FUZZY

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Federal de
Uberlândia, como parte das exigências do Curso
de graduação em Agronomia, para obtenção do
título de “Engenheiro Agrônomo”.

Orientadora: Prof. Dr^a Larissa Barbosa de Sousa

UBERLÂNDIA-MG
DEZEMBRO/2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por iluminar o meu caminho durante toda esta jornada, dando-me saúde, conhecimento e força para conseguir superar os desafios da vida.

Aos meus pais, Epsom e Ednamar pelo amor, carinho, dedicação e incentivo para que me permitisse alcançar mais este objetivo.

Ao meu irmão Matheus pela amizade, compreensão, paciência e incentivo.

Aos meus familiares que sempre me apoiaram em minhas decisões e sempre me apoiaram de alguma forma.

A professora Larissa Barbosa de Sousa, pela excelente orientação, pelos conhecimentos transmitidos, paciência e sobretudo pela amizade. Exemplo de dedicação, competência e humildade.

Aos integrantes do Programa de Melhoramento Genético do Algodoeiro, especialmente Daniel Bonifácio, pelo suporte e aprendizado ao longo dos anos de trabalho juntos.

A todos os professores e amigos que me acompanharam ao longo da graduação. Sem dúvidas, os momentos vivenciados ficarão registrados na minha história.

A todos estes, Gratidão! Caminhar na presença de pessoas que nos apoiam e acreditam em nós, dá um sentido especial à conquista e isso, me toma de alegria.

RESUMO

O algodão é uma das principais culturas do país, com grande importância para a economia. A cada ano se busca aumentar a produtividade, a fim de atender a demanda mundial pela fibra. Assim sendo, programas de melhoramento buscam por genótipos cada vez mais produtivos para recomendação. No entanto, devido a grande diversidade de ambientes em que o algodão é cultivado, torna-se necessário estudos sobre a existência de interação genótipo x ambiente e, caso exista, avaliar a adaptabilidade e estabilidade dos genótipos frente aos estímulos ambientais e sua previsibilidade em relação às oscilações do ambiente. Desta forma, este trabalho teve como objetivo verificar a presença de interação genótipo x ambiente para produtividade em genótipos de algodoeiro de fibra colorida e analisar as classificações dadas pelos métodos Centróide e Eberhart e Russel, a partir da lógica Fuzzy, para adaptabilidade e estabilidade. Os experimentos foram realizados na fazenda experimental Capim Branco, em Uberlândia-MG, na safra 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017. Foram avaliados 12 genótipos de algodoeiro de fibra colorida, sendo 10 do Programa de Melhoramento Genético do Algodoeiro da Universidade Federal de Uberlândia: UFUJP-01, UFUJP-02, UFUJP-05, UFUJP-08, UFUJP-09, UFUJP-10, UFUJP-11, UFUJP-13, UFUJP-16, UFUJP-17 e duas testemunhas: BRS Rubi e BRS Topázio. O delineamento experimental foi de blocos completamente casualizado com três repetições. As análises realizadas foram: teste F para verificação da interação genótipo x ambiente, teste de Scott-Knott, adaptabilidade e estabilidade pelos métodos Centróide e Eberhart e Russel a partir da lógica Fuzzy. A produtividade apresentou interação GxA, que evidencia o comportamento diferencial dos genótipos frente às oscilações ambientais. Os métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade apresentaram baixa concordância entre eles (33,3%), porém, a classificação dada utilizando a Lógica Fuzzy condiz bastante com os comportamentos de produtividade dos genótipos.

Palavras-chave: *Gossypium hirsutum*, interação GxA, Inteligência computacional.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	6
2.1 ALGODÃO	8
2.2 MELHORAMENTO DE ALGODÃO	9
2.3 INTERAÇÃO GENÓTIPO x AMBIENTE	9
2.4 ANÁLISES DE ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE	10
2.5 MÉTODO CENTROIDE	11
2.6 MÉTODO EBERHART E RUSSEL A PARTIR DA LÓGICA FUZZY	12
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
5. CONCLUSÕES	25
6. REFERÊNCIAS.....	26

1. INTRODUÇÃO

O algodoeiro pertence ao gênero *Gossypium*, da família Malvaceae e representa uma das maiores cadeias produtivas do mundo, tendo grande importância social e econômica, movendo setores da sociedade, principalmente a indústria têxtil (CHITARRA, 2014). Além da fibra, a planta pode gerar outros subprodutos, como o caroço e farelo, que são utilizados na ração animal e também o óleo, que é extraído de sua semente.

Atualmente o algodoeiro é cultivado em diversos países espalhados pelo planeta. O gênero *Gossypium* possui mais de 50 espécies (SILVA et. al, 2010) das quais apenas quatro são cultivadas para produção do algodão, sendo elas: *G. hirsutum* L. (90% da produção mundial), *G. barbadense* L. (8% da produção mundial), *G. arboreum* L. e *G. herbaceum* (2% da produção mundial) (PENNA, 2005; ZHANG, 2008). Calcula-se que a espécie *G. hirsutum* é cultivada em mais de 60 países, sendo que, na safra 2018/2019 o Brasil alcançou a quarta posição entre os maiores e principais produtores de algodão no mundo (ABRAPA, 2018).

A produção da cultura no Brasil se concentra na região Centro Oeste, mas a cultura também tem grande importância socioeconômica na região Nordeste (CARVALHO et al., 2015). Em Minas Gerais, devido aos resultados de safras anteriores e a perspectiva no mercado da cultura, a expectativa para safra 2018/2019 é que haja um aumento de 57,6% em relação a safra 2017/2018, totalizando 39,4 mil hectares (CONAB, 2019).

Durante todo seu período de exploração a produção da fibra sempre se baseou no cultivo de cultivares de fibra branca, sendo que os cultivares de fibra colorida foram utilizados apenas artesanalmente ou como planta ornamental. Porém com maior interesse na produção da fibra colorida no Nordeste, algumas cultivares foram produzidas e cultivadas na região (CARVALHO et al., 2015).

O interesse na produção de fibra colorida no lugar da fibra branca se deu principalmente devido ao seu valor superior de mercado, comparado às fibras brancas disponíveis, uma vez que, a coloração natural agrega valor aos produtos ecologicamente corretos, pois dispensam o tingimento artificial que polui o meio ambiente (CARVALHO, ANDRADE e SILVA FILHO, 2011).

No entanto, a produção de fibras coloridas enfrenta diversos desafios quando se trata de qualidade de fibras, como o alto índice de fibras curtas, baixa resistência, fibras grossas e desuniformes. Essas características dificultam a fiação da fibra, o que limita a aceitação de indústrias têxteis. Com isso, o melhoramento genético é uma das importantes

ferramentas para melhorar a qualidade e produtividade da fibra colorida em diversos ambientes distintos (BELTRÃO, 2004), sendo que, a recomendação e multiplicação somente é realizada depois dos testes em ambientes (SANTOS et al., 2014).

Devido a heterogeneidade dos ambientes, podem ocorrer interações entre genótipo e ambiente ($G \times E$), o que afeta o ganho com a seleção e faz necessário calcular a magnitude e natureza dessa interação (ROSADO et al., 2012). A mensuração dessa interação é de grande importância no melhoramento, pois existe a possibilidade de o melhor genótipo em um ambiente não ser o melhor em outro (CRUZ et al., 2012).

Desta forma, análises de adaptabilidade e estabilidade possibilitam a identificação do comportamento de diferentes genótipos em ambientes distintos, de maneira a auxiliar na recomendação de cultivares (CARNEIRO, 2015). Borém e Miranda (2013) conceituam adaptabilidade como a capacidade de um genótipo se beneficiar frente as modificações do ambiente e estabilidade como a capacidade de se expressar altamente previsível mesmo com as variações ambientais. Esses conceitos são dependentes de sua constituição genética, ou seja, do número de genótipos que a constitui e da heterozigose dos genótipos.

As análises de adaptabilidade e estabilidade são ferramentas estatísticas que possibilita reconhecer os genótipos de comportamento mais estável e que reagem previsivelmente as variações do ambiente (ROCHA, 2002). Desse modo, a mensuração de parâmetros de adaptabilidade e estabilidade fenotípica tem sido muito difundida entre os melhoristas de plantas, avaliando novos genótipos antes de sua recomendação como cultivares (SILVA e DUARTE, 2006)

O método de Eberhart e Russel (1966) é muito utilizado no melhoramento devido a sua facilidade de interpretação. Todavia, tem como desvantagem menor precisão quando o número de ambientes é inferior a 10, além de causar a não rejeição de hipóteses nulas falsas (NASCIMENTO et al., 2013). Com isso, a inteligência computacional aparece como uma alternativa, visto que a mesma utiliza de modelagem matemática para simular a lógica humana com suas aproximações e indecisões (CARNEIRO, 2015). O objetivo deste trabalho foi verificar a presença de interação genótipo $\times$ ambiente e comparar os resultados de adaptabilidade e estabilidade analisados pelo método Centróide (ROCHA et al., 2005; NASCIMENTO et al., 2009) e método Eberhart e Russel (1966) a partir da lógica Fuzzy, em genótipos de algodoeiro de fibra colorida.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ALGODÃO

O algodoeiro é uma planta dicotiledônea hirsuta ou glabra, anual ou perene, herbácea, arbustiva ou arbórea, pertencente à família das Malváceas e do gênero *Gossypium* (TROPICOS, 2013).

Das espécies catalogadas desse gênero, 17 são endêmicas na Austrália e todas têm número de cromossomos ($n = 13$) e algumas diploides ($2n = 26$); outras, tetraploides, com $n = 26$ e $2n = 52$, surgiram na América do Sul, possivelmente do cruzamento do *G. raimondii* com o diploide exótico *G. herbaceum* da raça Africanum. O ancestral tetradiploide se diferenciou com o passar do tempo, originando diversas espécies, dentre elas, *G. hirsutum* e *G. barbadense*, as quais são as principais espécies produtoras de fibra do mundo (BELTRÃO, 1999).

O algodão se tornou umas das principais culturas do Brasil, sendo a principal fonte natural de fibras e um importante *commoditie* (ARAUJO; SOFIATTI, 2017). As fibras são o principal produto da planta, representando cerca de 35 a 45% da produção total e são matéria prima para abastecer cerca de 50% do mercado mundial de fibras têxteis (VIDAL NETO; FREIRE, 2013).

Nos últimos anos a cultura do algodoeiro manteve um constante índice de produção no Brasil, ocupando um lugar de destaque entre as principais culturas produzidas no país. Na safra 2017/2018 a cultura totalizou cerca de 1,174 milhões de hectares, com aumento de 33% para a safra 2018/2019, totalizando 1,561 milhões de hectare (CONAB, 2019).

A principal fibra produzida é a fibra de coloração branca. Porém, a produção de fibra naturalmente colorida, vêm se mostrando vantajosa, visto que minimiza a quantidade de corantes, além de reduzir a quantidade de água utilizada nos processos para obtenção da coloração artificial, o que gera benefícios econômicos e ambientais (CARDOSO, 2009; CARDOSO et al., 2010).

Diversas espécies desse gênero apresentam a fibra naturalmente colorida, sendo que as espécies cultivadas apresentam baixa qualidade de fibra e baixa produtividade. Porém, em busca de atender a um nicho de mercado, e melhores ganhos, novas cultivares com maior produtividade e com boa qualidade de fibra tem sido lançadas no mercado.

2.2 MELHORAMENTO DE ALGODÃO

O melhoramento do algodoeiro no Brasil se iniciou em 1921, pelo Ministério da Agricultura, objetivando dar assistência técnica, melhorar as variedades, realizar estudos sobre solos e clima, incentivar a abertura de campos experimentais e realizar o estudo e o controle de pragas e doenças da cultura do algodoeiro. Mais tarde em 1924, o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) iniciou os trabalhos de melhoramento genético na cultura. Na mesma época foram iniciados estudos do algodoeiro herbáceo e arbóreo em diversas regiões do Nordeste (MOREIRA; SANTOS, 1994).

Inúmeros desses programas que existiam no Nordeste do país foram desativados na década de 80, quando o bicudo-do-algodoeiro (*Anthonomus grandis*) entrou no Brasil, levando a decadência do algodoeiro arbóreo (VIDAL NETO; FREIRE, 2013).

Durante as décadas de 1980 e 1990, o melhoramento genético da cultura realizados no Cerrado ficaram a cargo do IAC, Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) e Embrapa Algodoeiro. O objetivo desses programas era selecionar somente produtividade, sendo que, as cultivares que apresentavam comportamento produtivo superior eram indicadas para o plantio (FREIRE, 1998).

Em 1995, novas empresas de melhoramento começaram a realizar pesquisas no Cerrado. Entre elas destacam-se: Fundação Mato Grosso, Bayer CropScience e Deltapine. Em 2007 existiam quatro instituições públicas (Embrapa, Epamig, IAC e IAPAR) e cinco privadas (Deltapine, Stoneville, Bayer CropScience, Coodetec e Fundação Mato Grosso) que possuíam programas de pesquisas consolidados (FREIRE, MORELLO; FARIAS, 2007).

O programa de melhoramento genético em algodoeiro da Universidade Federal de Uberlândia se iniciou no ano de 1995, pelo professor Dr. Júlio César Viglioni Penna, com objetivo de desenvolver genótipos de fibra colorida. Foram realizados cruzamentos e retrocruzamentos entre *Gossypium barbadense* e *Gossypium hirsutum*, para se obter plantas de melhor porte, qualidade de fibra e produtividade.

Atualmente o programa é coordenado pela professora Dr^a. Larissa Barbosa de Sousa, e visa melhorar as tecnologias de produção da cultura na região de Uberlândia, com o objetivo de desenvolver novas cultivares branca e colorida convencionais.

2.3 INTERAÇÃO GENÓTIPO x AMBIENTE

As características fenotípicas pertinentes a produção vegetal estão subordinadas ao controle genotípico do organismo, ao ambiente em que está introduzido e a interação entre

esses dois componentes. A interação genótipo x ambiente (GxE) é caracterizada pelas diferentes respostas fenotípicas às variações das condições ambientais dos distintos genótipos (YAMAMOTO, 2006).

Borém e Miranda (2013) definem a interação genótipo x ambiente como a alteração no desempenho relativo dos genótipos, em virtude de diferenças de ambiente. Os autores também definem ambiente como sendo as condições edafoclimáticas, somadas ao manejo da cultura, a presença de patógenos (pragas, doenças e plantas infestantes) e diversas outras variáveis que afetam o desenvolvimento da planta e que não são de origem genética.

Se algum determinado gene, ocorre interação com o ambiente quando o genótipo se expressa, então, essa deve ser mais um fator a considerar na análise. No processo de seleção, em programas de melhoramento vegetal, também há a necessidade de se estimar essa interação, para que não ocorra queda inesperada de desempenho de um material testado (YAMAMOTO, 2006). Pois, o melhor genótipo em um ambiente, pode não ser em outro (CRUZ et al., 2012).

Os estudos de interação demandam conhecimento de diversas áreas, que interagem entre si, e incluem agricultura, biologia, estatística, informática e genética (BONDARI, 2003). E pode ser classificada como simples ou complexa, sendo que, a simples ocorre pela diferença de variabilidade genética entre genótipos dentro dos ambientes. Por outro lado, a interação complexa representa a ausência de correlação linear entre genótipos mudando de ambientes, ou seja, um genótipo terá desempenho superior em um ambiente, mas não em outro, dificultando a recomendação desse genótipo. (CRUZ et. al, 2012).

2.4 ANÁLISES DE ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE

As análises sobre adaptabilidade e estabilidade fenotípica referem-se à avaliação das respostas diferenciais dos genótipos a mudanças nas condições ambientais. As pesquisas com melhoramento de plantas auxiliam na recomendação de novos genótipos como cultivares, levando em consideração o ambiente em que estes serão introduzidos (MARQUES et al., 2011).

Os estudos têm como objetivo obter mais informações dos ambientes e dos genótipos a serem trabalhados, podendo caracterizá-los como favoráveis ou desfavoráveis, além de reconhecer os que aproveitam melhor os estímulos ambientais, que apresentam boa estabilidade, sendo seu comportamento previsível e que sejam responsivos às variações as diferentes condições ambientais (CRUZ et al., 2012).

Existem diversos métodos estatísticos que possibilitam os estudos da adaptabilidade e estabilidade fenotípica, identificando os genótipos estáveis que poderão ser lançados no mercado, se apresentarem as características desejáveis pelo programa de melhoramento e que sejam mais produtivos do que cultivares já existentes no mercado (DUARTE e VENCOVSKY, 1999).

Dentre esses, pode-se destacar o método de análise de variância (WESTCOTT, 1986), método da ecovalência (WRICKE, 1965), método da análise de regressão (FINLAY e WILKINSON, 1963); método Centróide (ROCHA et al., 2005; NASCIMENTO et al., 2009) e método de Eberhart e Russel (1966). A escolha do método a ser utilizado depende dos dados experimentais, sobretudo, dos associados com o número de ambientes, da precisão requisitada e do tipo de informação requerida (CRUZ et al., 2012)

2.5 MÉTODO CENTROIDE

O método Centróide foi proposto por Rocha et al. (2005) e baseia-se em análise multivariada utilizando parâmetros principais, que se configura por vincular as vantagens dessa metodologia a estudos sobre interação genótipo x ambiente. Essa análise consiste na comparação das respostas individuais dos cultivares com a respostas de quatro cultivares ideais, de máxima ou mínima resposta em relação ao conjunto de dados avaliados.

É um método não paramétrico que tem como objetivo proporcionar maior facilidade na recomendação de genótipos, visto que direciona os genótipos em relação à variedade do ambiente e não requer a análise de vários parâmetros, o que acontece em outros métodos. Baseia-se na comparação de valores de distância cartesiana entre os genótipos e quatro ideótipos, que representam valores de genótipos de máxima adaptabilidade geral e específica a ambientes favoráveis e desfavoráveis e bem como, os de mínima adaptabilidade.

- Ideótipo I: máxima adaptabilidade geral, cujos valores em cada ambiente são representados pelos máximos obtidos a partir do conjunto de genótipos estudado;
- Ideótipo II: máxima adaptabilidade específica a ambientes favoráveis, cujos valores nos ambientes favoráveis são representados pelos máximos e nos desfavoráveis, pelos mínimos obtidos no conjunto de genótipos estudado;
- Ideótipo III: máxima adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis, cujos valores nos ambientes favoráveis são representados pelos mínimos e nos desfavoráveis, pelos máximos obtidos no conjunto de genótipos estudado;

- Ideótipo IV: mínima adaptabilidade, cujos valores, em cada ambiente, são representados pelos mínimos obtidos no conjunto de genótipos estudado.

Nascimento et al. (2009) contestaram esse método, visto que embora seja de fácil utilização, tem como pressuposto a existência de genótipos com respostas elevadas em determinado ambiente e muito baixo em outro, não considerando a existência de genótipos com desempenhos alto e médio ou baixo e médio, principalmente, em análises de caracteres quantitativos.

Por isso, esses autores realizaram uma alteração desse método de avaliação de adaptabilidade e estabilidade fenotípica de genótipos, para deixá-lo com maior sentido biológico e melhorar aspectos quantitativos e qualitativos de sua análise. A alteração se deu pela adição de mais três ideótipos (totalizando sete ideótipos) definidos de acordo com valores médios dos genótipos nos ambientes.

- Ideótipo V: média adaptabilidade geral, cujos valores, em cada ambiente, são representados pelas médias obtidas pelo conjunto de genótipos estudado;
- Ideótipo VI: média adaptabilidade específica a ambientes favoráveis, cujos valores nos ambientes favoráveis são representados pelos valores máximos e, nos desfavoráveis, pelas médias obtidas pelo conjunto de genótipos estudado;
- Ideótipo VII: média adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis, cujos valores, nos ambientes favoráveis. São representados pelas médias e, nos desfavoráveis, pelos valores máximos obtidos pelo conjunto de genótipos estudado

2.6 MÉTODO EBERHART E RUSSEL A PARTIR DA LÓGICA FUZZY

O método de Eberhart e Russel (1966), é baseado na análise de regressão linear simples, que avalia o comportamento de cada genótipo como respostas em relação as variações do ambiente.

Este método considera que o coeficiente de regressão dos valores fenotípicos de cada genótipo (β_1), em relação ao índice ambiental, proporcionam estimativas de parâmetros de adaptabilidade, enquanto que os desvios dessa regressão (σ^2_{di}) e o coeficiente de determinação (R^2) proporcionam estimativas de parâmetros de estabilidade. O modelo estatístico adotado no método de Eberhart e Russell (1966) é o seguinte:

$$Y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i} I_j + \delta_{ij} + \bar{\varepsilon}_{ij}$$

Em que:

Y_{ij} : média do genótipo i no ambiente j

β_{0i} : média geral do genótipo

β_{1i} : coeficiente de regressão linear, que mede a resposta do i-ésimo genótipo à variação do ambiente

I_j : índice ambiental codificado ($\sum I_{ji} = 0$)

δ_{ij} : desvio da regressão

$\bar{\varepsilon}_{ij}$: erro experimental médio

Desta forma, é possível calcular a resposta fenotípica do genótipo com base em parâmetros de qualidade ambiental. A partir dessa análise é possível fornecer estimativas sobre a estabilidade e adaptabilidade, ou seja, tanto os coeficientes de regressão dos valores fenotípicos de cada genótipo, em referência ao índice ambiental, quanto os desvios da regressão proporcionam estimativas de índices de adaptabilidade e estabilidade, respectivamente (CRUZ et al., 2012).

Os parâmetros de adaptabilidade (β_i) são calculados por:

$$\beta_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} I_j / \sum_{j=1}^n I_j^2$$

Onde:

Y_{ij} : média do i-ésimo genótipo no j-ésimo ambiente;

I_j : índice ambiental, onde:

$$I_j = [(Y_j/p) - (Y_{..}/pn)]$$

Onde:

Y_j : média de todos os genótipos no j-ésimo ambiente;

$Y_{..}$: média geral;

n : número de genótipos;

p : número de ambientes.

Os autores desse método entendem adaptabilidade como a capacidade de os genótipos aproveitarem vantajosamente os estímulos do ambiente, classificando-os em genótipos com adaptabilidade geral ou ampla ($\beta_1 = 1$) ou com adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis ($\beta_1 < 1$) ou com adaptabilidade específica a ambientes favoráveis

($\beta_1 > 1$). Este método utiliza o resultado do teste t para o parâmetro de classificação, em que se avalia a hipótese de que $\beta_1 = 1$.

O parâmetro de estabilidade ($\sigma^2_{di} = S^2 d_i$) é estimado de acordo com a seguinte expressão:

$$\sigma^2_{di} = S^2 d_i = [(QMD_i - QMR) / r]]$$

Onde:

QMD_i: é o quadrado médio dos desvios de regressão do i-ésimo genótipo;

QMR: é o quadrado médio do resíduo;

r: é o número de repetições.

A estabilidade é entendida pelos autores desse método, como a capacidade de os genótipos mostrarem comportamento previsível em função do estímulo do ambiente. Os genótipos são classificados segundo o elemento variância atribuído aos desvios de regressão (σ^2_{di}) com alta previsibilidade ($\sigma^2_{di} = 0$) ou com baixa previsibilidade ($\sigma^2_{di} > 0$). Para estabilidade, a hipótese $\sigma^2_{di} = 0$ é avaliada com base no teste da distribuição F. Outro coeficiente considerado como parâmetro de previsibilidade de comportamento é o R^2 , sendo que quanto maior seu valor, maior a previsibilidade.

De forma geral, pode-se organizar as classificações dos genótipos pelo método de Eberhart e Russel (1966) conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Classes de genótipos por meio da metodologia de Eberhart e Russell (1966) e os respectivos valores paramétricos

Classes	Classificação prática	Valores paramétricos
1	Adaptabilidade geral e previsibilidade baixa	$\beta_{1i} = 1$ e $\sigma^2_{di} > 0$
2	Adaptabilidade específica a ambientes favoráveis e previsibilidade baixa	$\beta_{1i} > 1$ e $\sigma^2_{di} > 0$
3	Adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis e previsibilidade baixa	$\beta_{1i} < 1$ e $\sigma^2_{di} > 0$
4	Adaptabilidade geral e previsibilidade alta	$\beta_{1i} = 1$ e $\sigma^2_{di} = 0$
5	Adaptabilidade específica a ambientes favoráveis e previsibilidade alta	$\beta_{1i} > 1$ e $\sigma^2_{di} = 0$
6	Adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis e previsibilidade alta	$\beta_{1i} < 1$ e $\sigma^2_{di} = 0$

Uma desvantagem que esse método apresenta é o alto número de ambientes necessários para que haja uma boa precisão nos resultados, não podendo ser inferior a 10

(NASCIMENTO et al., 2013). Por isso, tem-se estudado a utilização da inteligência computacional como alternativa, para simular resultados e reduzir o número de ambientes necessários, mantendo o padrão de precisão (CARNEIRO, 2015).

A inteligência computacional é uma área da ciência da computação que possui vasta abrangência e relação com diversas áreas do conhecimento e visa simular em máquinas a capacidade de resolver problemas e realizar tarefas, que são habilidade da inteligência humana (NORVIG; RUSSELL, 2013).

É caracterizada pelo uso de dados devido a relação entre o computador e o especialista, e o emprego de técnicas que apresentam adaptação, aprendizado ou evolução (KORDON, 2010). Pode simular capacidades cognitivas do ser humano por meio da projeção de máquinas capazes de possuir um comportamento inteligente, semelhante as reações humanas (RAUBER, 2005). Existem várias técnicas que auxiliam no desenvolvimento para solucionar esses problemas, sendo a Lógica Fuzzy uma das mais importantes.

A lógica Fuzzy, também conhecida como lógica nebulosa ou lógica difusa, foi proposta por Zadeh (1965), sendo aperfeiçoada com o passar do tempo e utilizada na área da inteligência computacional de forma que se assemelha ao raciocínio humano, baseando-se em aproximações e incertezas (CARNEIRO, 2015). Esta técnica traduz em valores numéricos expressões verbais vagas, imprecisas e qualitativas, comuns na comunicação humana, possibilitando converter a vivência do ser humano em uma linguagem decodificável computacional (SIMÕES; SHAW, 2011).

A lógica Fuzzy tem sido estudada nas Ciências Agrárias em diversos ramos, dentre estes pode-se destacar os estudos no uso na irrigação e conservação na agricultura (GIUSTI; MARSILI-LIBELLI, 2015); na determinação da evapotranspiração (KISI, 2013); em seleção de genótipos de trigo (ISLAM et al., 2012); na adubação nitrogenada (PAPADOPOULOS et al., 2011), simulação da produtividade de trigo por nitrogênio e hidrogel (MAMANN et al., 2018) e na avaliação da vitalidade de plantas da espécie *Catsetum fimbriatum* (PUTTI et al., 2014).

No melhoramento de plantas diversos estudos estão sendo realizados utilizando a lógica Fuzzy. Azeredo (2017) utilizou a técnica para selecionar clones de cana-de açúcar; Carneiro (2015) em análises fenotípicas de feijoeiro e recomendação de cultivares; Carneiro (2016) na recomendação de cultivares de feijoeiro comum quanto adaptabilidade e estabilidade.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na fazenda Capim Branco, pertencente a Universidade Federal de Uberlândia (UFU), na cidade de Uberlândia – MG, cujas coordenadas geográficas são 18° 52' S e 48° 20' W, com altitude de 805 metros, durante período de 5 anos safras: 2013/2014 (ambiente 1), 2014/2015 (ambiente 2), 2015/2016 (ambiente 3), 2016/2017 (ambiente 4) e 2017/2018 (ambiente 5).

Segundo classificação de Koppen o município está localizado na região de clima Aw (tropical de savana) com temperaturas médias entre 19 e 27°C, com média de 1500 mm de pluviosidade anual, sendo a época chuvosa no verão e época seca no inverno. Temperaturas mais elevadas ocorrem no verão e menores no inverno (SILVA; ASSUNÇÃO 2004).

A área em que foi realizado o experimento situa-se sobre um Latossolo Vermelho Escuro distrófico (EMBRAPA, 2013), de textura argilosa. Antes da implantação do experimento, foi coletada uma amostra de solo para realização das análises químicas e físicas para recomendação de calagem e adubação. Após a retirada das amostras, o solo foi preparado de forma convencional, com uma subsolagem, duas arações e uma gradagem. A aplicação de gesso agrícola e cal hidratada foram realizadas 30 dias antes do plantio e a adubação da área com NPK foi realizada no sulco de plantio de forma manual

Foram avaliados 10 genótipos do Programa de Melhoramento Genético do Algodoeiro, da Universidade Federal de Uberlândia, sendo esses: UFUJP-01, UFUJP-02, UFUJP-05, UFUJP-08, UFUJP-09, UFUJP-10, UFUJP-11, UFUJP-13, UFUJP-16, UFUJP-17, e duas cultivares comerciais: BRS Rubi (RC) e BRS Topázio (TC). Totalizando 12 genótipos avaliados.

O experimento foi realizado em delineamento de blocos casualizado (DBC) com três repetições. Cada parcela experimental foi constituída de quatro linhas de cinco metros, espaçadas de um metro. A avaliação foi realizada nas duas linhas centrais de cada parcela, desconsiderando 0,5 m de cada extremidade da linha.

Antes da realização da semeadura, as sementes foram tratadas com inseticida Sombbrero e o fungicida Vitavax Thiram 200 SC. A semeadura foi realizada na última semana de cada mês de dezembro, sendo colocadas 16 sementes por metro linear. Após 30 dias da emergência, foi realizado desbaste, a fim de se manter 8 plantas por metro linear, totalizando 80.000 plantas ha⁻¹.

Durante o desenvolvimento da cultura foram realizadas pulverizações com produtos registrados para o algodoeiro, para o controle das principais pragas, sendo elas: mosca branca (*Bemisia tabaci*), pulgão (*Aphis gossypii*), bicudo do algodoeiro (*Anthonomus grandis*), tripses (*Frankliniella spp.*), curuquerê (*Alabama argilacea*) e ácaro rajado (*Tetranychus urticae*).

O controle de plantas daninhas foi realizado de forma mecânica, através de capinas e de forma química utilizando herbicidas de forma pré e pós a emergência das invasoras. As principais ocorrentes na área foram: apaga-fogo (*Alternanthera tenella*), carrapicho (*Cenchrus echinatus*), tiririca (*Cyperus rotundus*), capim pé-de-galinha (*Eleusine indica*), carrapicho de carneiro (*Acanthospermum hispidum*), trapoeraba (*Commelina benghalensis*) e picão preto (*Bidens pilosa*).

Foram realizadas pulverizações do regulador de crescimento cloreto de mepiquat (1,1-dimethylpiperidinium chloride), produto comercial PIX HC.

Para análise de produtividade foi coletado todo o algodão em caroço da área útil de cada parcela, sendo pesados utilizando uma balança e estimado a produtividade por hectare, em kg ha⁻¹.

Os dados obtidos foram analisados pelo programa estatístico GENES (CRUZ, 2016) e MATLAB (BEALE et al., 2017), específico para estatística aplicada ao melhoramento genético de plantas. Foram realizadas as seguintes análises: análise de variância (ANOVA), teste de Scott-Knott, adaptabilidade e estabilidade pelos métodos Centróide e lógica Fuzzy.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado da análise de variância (Tabela 2) referente ao caráter produtividade (kg.ha^{-1}) de 12 genótipos de algodão de fibra colorida, de cinco safras cultivados em Uberlândia –MG, mostrou efeitos significativos de genótipos, ambientes e para interação genótipo x ambiente ao nível de 1%. A significância para o ambiente mostra que apesar do experimento ter sido realizado no mesmo local, houve diferença nos ambientes em pelo menos uma das safras. A interação G x A evidencia o comportamento diferencial dos genótipos frente as oscilações ambientais, na expressão fenotípica dos genótipos quanto a produtividade, sendo necessário estudos mais detalhados para se entender essa interação.

O Coeficiente de Variância (CV) foi de 22,83%, valor considerado médio (até 28,54%), porém, ainda é aceitável (SANTOS, 1998). Ensaios com CV baixos são almejados pelos pesquisadores e melhoristas, visto que proporcionam a obtenção de estimativas de parâmetros genéticos mais confiáveis, as quais são importantes nas tomadas de decisões do programa de melhoramento (CARGNELUTTI FILHO et al., 2012).

Tabela 2. Análise de variância de produtividade de genótipos de algodoeiro em 5 safras em Uberlândia-MG.

FV	GL	Quadrados médios
		PRODUTIVIDADE
BLOCO X AMBIENTE	8	123450.9653
GENÓTIPOS	11	1249330.36**
AMBIENTES	4	38284518.86**
GENÓTIPOS X AMBIENTES	44	872142.35**
RESÍDUO	110	294189.2645
CV (%)	22.83	

** Significativo a 1% de probabilidade, respectivamente pelo teste F; FV = Fontes de variação; GL = Graus de liberdade; CV= Coeficiente de variação.

Na Tabela 3, observa-se o detalhamento das médias da produtividade dos genótipos por safra. É possível observar uma grande variação dos resultados a cada safra, o que demonstra diferença ambiental a cada ano de cultivo.

Tabela 3. Média de produtividade de algodão em caroço (kg ha⁻¹) de genótipos de algodoeiros em 5 safras em Uberlândia-MG

Genótipos	Safra				
	2013/2014	2014/2015	2015/2016	2016/2017	2017/2018
UFUJP-01	2501.6 Ab	131.2 Ba	2157.0 Aa	2581.5 Aa	2661.9 Ab
UFUJP-02	3478.1 Aa	687.0 Ba	3135.6 Aa	2069.7 Ba	3272.5 Aa
UFUJP-05	1972.5 Ab	647.7 Ba	2266.0 Aa	2496.2 Aa	3014.6 Aa
UFUJP-08	2681.2 Bb	409.3 Ca	2743.9 Ba	2295.8 Ba	3058.8 Aa
UFUJP-09	3630.0 Aa	381.0 Ba	2342.9 Aa	2778.3 Aa	2788.6 Ab
UFUJP-10	2983.3 Ab	332.7 Ba	2969.1 Aa	2231.5 Aa	3277.1 Aa
UFUJP-11	2841.8 Ab	1050.6 Aa	2572.0 Aa	2350.4 Aa	1798.7 Ac
UFUJP-13	1687.5 Bb	486.8 Ba	2664.8 Aa	2478.4 Aa	3156.1 Aa
UFUJP-16	3229.1 Ab	616.8 Ba	2642.5 Aa	2969.4 Aa	2679.5 Ab
UFUJP-17	3689.5 Aa	449.3 Ba	2529.8 Aa	3310.4 Aa	2729.2 Ab
BRS-Rubi	4670.0 Aa	387.9 Ca	2300.0 Ba	4275.9 Aa	2977.7 Aa
BRS-Topázio	4665.0 Aa	1303.3 Ba	2401.4 Ba	2946.8 Ba	2668.7 Bb

*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e minúsculas na vertical constituem grupo estatisticamente homogêneo pelo teste de Scott-Knott a 0,05% de significância.

A safra 2013/2014 apresentou boas condições de temperatura e precipitação (726 mm) acima do exigido pela cultura (720 mm), com boa distribuição, atendendo a cultura na fase de germinação e enchimento de maçãs de forma ideal.

A safra 2014/2015 apresentou um grande ataque de Curuquerê (*Alabama argillacea*) por volta dos 110 dias após a emergência, período mais sensível para a cultura. Além disso, nessa safra, o volume de precipitação não atingiu o requerido pela cultura, somando apenas 679 mm. Esses fatos podem explicar a grande queda das médias de produtividade, apresentando as menores médias entre as safras.

Na safra 2015/2016, apesar da precipitação ser acima do exigido pela cultura (796 mm), houve redução da precipitação após os 90 dias de emergência, quando a cultura estava no período de enchimento de maçãs. Outro fato relevante foi que as temperaturas médias (22°C) foram consideradas abaixo do ideal para período reprodutivo, sendo o recomendado para a cultura 28°C, o que prejudicou o desenvolvimento reprodutivo.

A safra 2016/2017 a produtividade média foi influenciada pela alta incidência do bicudo do algodoeiro (*Anthonomus grandis*) o que causou grande abortamento de maçãs e queda dos frutos. Além disso, houve um baixo volume de chuva, sendo abaixo do requerido pela cultura.

A safra 2017/2018 assim como a safra anterior, também ocorreu uma alta incidência do bico do algodoeiro. Ademais, foram registrados veranicos em uma época sensível a cultura, que é no enchimento de maçãs.

A produtividade média de algodão em caroço de todas as safras foi de 2.375 kg.ha⁻¹. Média superior ao encontrado por Cardoso (2018), ao avaliar os mesmos genótipos em 4 anos safras, superando em 117 Kg ha⁻¹, o que representa média de 5,2 % a mais em produtividade. A média também é superior a encontrada por Alves et al. (2019) que avaliaram o desempenho de 10 genótipos no estado de Pernambuco por dois anos, atingindo média de 1092,63 Kg ha⁻¹.

Dentre os genótipos do PROMALG, UFUJP-17 e UFUJP-02 se destacaram com os maiores médias de produtividade para os ambientes avaliados, porém, não superaram as testemunhas. Enquanto, os genótipos UFUJP-01 e UFUJP-05 se demonstraram pouco favorecidos pelas condições ambientais, apresentando as menores médias.

A adaptabilidade e estabilidade pelo método de Eberhart e Russell (1966) utilizando a lógica Fuzzy (Tabela 4), mostrou que os genótipos UFUJP-02, UFUJP-09, UFUJP-16, UFUJP-17 e BRS-Topázio foram classificados como Adaptabilidade Ampla, o que demonstra aproveitar vantajosamente aos estímulos ambientais. Para estabilidade desses genótipos, apenas UFUJP-09, UFUJP-16 e UFUJP-17 demonstraram previsibilidade em relação aos estímulos ambientais, portanto adaptados e estáveis segundo o método, acrescidos de alta confiabilidade, pois apresentaram valores de R² acima de 90%.

Tabela 4. Entradas padronizadas e classificação quanto ao comportamento Ampla, Pouco adaptado, Favorável e Desfavorável de 12 genótipos submetidas ao controlador fuzzy baseado no método de Eberhart e Russell (1966).

Genótipos	Média	β_1	R ²	Classificação
UFUJP-01	2006.7	1.1319	96.0612	Pouco Adaptado
UFUJP-02	2528.6	1.2659	82.6020	Adaptabilidade Ampla
UFUJP-05	2079.4	-1.7020	72.4331	Pouco Adaptado
UFUJP-08	2237.8	0.7361	90.1726	Pouco Adaptado
UFUJP-09	2384.2	2.5751	96.6489	Adaptabilidade Ampla
UFUJP-10	2358.7	1.9154	88.3977	Pouco Adaptado
UFUJP-11	2122.7	-3.1139	73.4874	Pouco Adaptado
UFUJP-13	2094.7	-1.2357	59.1914	Pouco Adaptado
UFUJP-16	2427.5	0.9879	98.1338	Adaptabilidade Ampla

UFUJP-17	2541.7	2.8611	94.4625	Adaptabilidade Ampla
BRS-Rubi	2922.3	5.9548	80.9375	Adaptabilidade Favorável
BRS-Topázio	2797.0	0.6223	66.6207	Adaptabilidade Ampla

As testemunhas obtiveram as maiores produtividades, contudo, ambas apresentaram baixa previsibilidade, não podendo afirmar que serão os melhores genótipos em outros locais. É possível notar essa baixa previsibilidade ao analisar os dados da Tabela 3, verifica-se alta instabilidade da produtividade em resposta ao ambiente que se cultiva o genótipo.

A BRS-Rubi ainda foi classificada como Adaptabilidade Favorável, o que representa que, quando esse genótipo é cultivado em boas condições, onde possa expressar seu potencial, se obtém altas produtividades, o que é possível observar nos ambientes 1 e 4, no qual esse genótipo apresentou maior produtividade em relação aos demais.

Dentre os genótipos do PROMALG, recomenda-se UFUJP-16 e UFUJP-17 que apresentaram produtividades médias, além de serem adaptados e estáveis. A UFUJP-02, apesar de ter boa produtividade, apresentou baixa estabilidade produtiva, o que pode restringir sua recomendação, necessitando estudos sobre sua resposta em ambientes específicos.

A tabela 5, mostra as classificações dadas pelo método Centróide. Cerca de 75% dos genótipos foram classificados como adaptabilidade geral alta, com alta estabilidade fenotípica para produtividade, o que quer dizer, alta previsibilidade aos estímulos ambientais.

Tabela 5. Classificação dos ideótipos, calculados pelo método Centroide, para produtividade (kg.ha⁻¹) de genótipos de algodoeiro, avaliados em 5 ambientes, em Uberlândia – MG.

Genótipos	Médias	Classif.	I	II	III	IV	V	VI	VII
UFUJP-01	2006.7	V	0.05	0.05	0.16	0.21	0.27	0.05	0.18
UFUJP-02	2528.6	V	0.06	0.06	0.11	0.11	0.30	0.07	0.26
UFUJP-05	2079.4	V	0.05	0.05	0.19	0.20	0.22	0.05	0.20
UFUJP-08	2237.8	VI	0.17	0.17	0.09	0.10	0.14	0.17	0.13
UFUJP-09	2384.2	V	0.05	0.05	0.10	0.10	0.38	0.05	0.22
UFUJP-10	2358.7	V	0.05	0.06	0.11	0.12	0.36	0.06	0.22
UFUJP-11	2122.7	III	0.05	0.05	0.23	0.19	0.20	0.05	0.20
UFUJP-13	2094.7	V	0.06	0.06	0.19	0.21	0.21	0.06	0.19
UFUJP-16	2427.5	V	0.04	0.04	0.10	0.10	0.40	0.04	0.24
UFUJP-17	2541.7	V	0.06	0.06	0.11	0.11	0.33	0.07	0.24
BRS-Rubi	2922.3	V	0.11	0.12	0.11	0.11	0.21	0.12	0.19
BRS-Topázio	2797.0	VII	0.09	0.09	0.12	0.11	0.23	0.09	0.25

Classif. = Classificação; I: Adaptabilidade geral alta; II: Adaptabilidade específica a ambientes favoráveis; III: Adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis; IV: Pouco adaptado; V: Adaptabilidade geral alta; VI: Adaptabilidade específica a ambientes favoráveis; VII: Adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis.

Os genótipos UFUJP-11 e a testemunha BRS-Topázio, foram classificados como máxima e média adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis, respectivamente, portanto, com potencial para inclusão em áreas com baixa tecnificação ou condições ambientais desfavoráveis, pois mesmo nestas condições estão propensos a obter bons resultados de produtividade. Pode justificar-se isso pela alta estabilidade do genótipo UFUJP-11 e pela alta média produtiva quando esse genótipo foi exposto ao ambiente 2 (safra 2014/2015) que foi o ambiente que os genótipos menos produziram.

O genótipo UFUJP-08 foi classificado como média adaptabilidade específica a ambientes favoráveis, sendo necessários estudos do comportamento produtivo desse genótipo em ambientes apropriados para que o genótipo possa se expressar.

Na Tabela 6 temos uma comparação da classificação dos genótipos quanto a adaptabilidade pelos dois métodos. Os métodos registraram pouca concordância dos resultados, apenas quatro dos doze genótipos (UFUJP-02, UFUJP-09, UFUJP-16 e UFUJP-17) apresentaram classificação semelhante. Com isso, faz-se necessário observarmos melhor o comportamento das médias dos genótipos com a mudança dos ambientes.

Tabela 6. Comparação das saídas de adaptabilidade do método Eberhart e Russell utilizando a lógica Fuzzy e método Centroide

Genótipos	Eberhart e Russell	Centroide
UFUJP-01	Pouco Adaptado	Adaptabilidade geral alta
UFUJP-02	Adaptabilidade Ampla	Adaptabilidade geral alta
UFUJP-05	Pouco Adaptado	Adaptabilidade geral alta
UFUJP-08	Pouco Adaptado	Adaptabilidade específica a ambientes favoráveis
UFUJP-09	Adaptabilidade Ampla	Adaptabilidade geral alta
UFUJP-10	Pouco Adaptado	Adaptabilidade geral alta
UFUJP-11	Pouco Adaptado	Adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis
UFUJP-13	Pouco Adaptado	Adaptabilidade geral alta
UFUJP-16	Adaptabilidade Ampla	Adaptabilidade geral alta
UFUJP-17	Adaptabilidade Ampla	Adaptabilidade geral alta
BRS-Rubi	Adaptabilidade Favorável	Adaptabilidade geral alta
BRS-Topázio	Adaptabilidade Ampla	Adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis

Os genótipos UFUJP-01 e UFUJP-05, apresentaram baixas médias produtivas nos ambientes, sendo os menos produtivos. Assim, a classificação de Eberhart e Russel, se assemelha mais com o comportamento do genótipo, que os classificou como pouco adaptados.

O genótipo UFUJP-08, apresentou média produtiva inferior à média geral (5,8%), apresentando valores médios em cada safra e com média de 2237 kg.ha⁻¹. Para esse genótipo é necessário que se realize um cultivo em um ambiente onde possa expressar todo o seu potencial, para assim, verificar qual classificação melhor se adequa ao seu comportamento.

O genótipo UFUJP-10, mostrou-se como um genótipo com produtividade média, alcançando 2.358 kg.ha⁻¹. Observa-se grande oscilação em suas médias, o que demonstra baixa estabilidade. Porém, quanto a adaptabilidade, a classificação pelo método Centroide se mostra mais adequada, visto que em o genótipo mostra-se de médio a alta produtividade, sendo o mais produtivo no ambiente 5.

A UFUJP-11 tem sua classificação mais semelhante a dada pelo método Eberhart e Russel, pois, embora tenha sido uma das que mais se adaptou ao ambiente 2, apresentando a segunda melhor produtividade nesse ambiente, o genótipo apresentou-se pouco produtivo em relação a média geral.

A UFUJP-13 assemelhou-se mais com a classificação dada pelo método Centroide, pois, apesar de ter a média impactada no ambiente desfavorável (ambiente 2) e apresentar média abaixo da média geral, o genótipo teve regularidade produtiva nos ambientes 3, 4 e 5, obtendo grande produtividade no ambiente 5.

A testemunha BRS-Rubi apresentou-se altamente produtiva, principalmente quando exposta aos ambientes mais favoráveis (ambientes 1 e 4), apresentando queda na produtividade quando exposta a ambientes mais desfavoráveis (ambiente 2). Por essa razão, a classificação de Eberhart e Russel se assemelha mais ao comportamento do genótipo.

A testemunha BRS-Topázio também se apresentou altamente produtiva, com média superior à média geral. A classificação de Eberhart e Russel se assemelha mais com o comportamento do genótipo, pois, no ambiente 2 houve grande perda de produtividade, havendo uma queda de mais de 50% em relação a média geral do genótipo.

5. CONCLUSÕES

Houve interação entre os genótipos e os ambientes avaliados.

A classificação de adaptabilidade e estabilidade utilizando os métodos Centróide e Eberhart e Russel utilizando a lógica Fuzzy apresentaram baixa concordância (33,3%). Porém, a classificação dada utilizando a lógica Fuzzy se mostrou similar aos comportamentos dos genótipos, o que garante êxito na sua utilização.

6. REFERÊNCIAS

- ABRAPA. Exportação mundial de algodão. 2018. Disponível em: <https://www.abrapa.com.br/Paginas/dados/producao-mundial-algodao_backup2017.aspx>. Acesso em: 08 de out. 2019
- ABRAPA. Produção mundial de algodão. 2018. Disponível em: <https://www.abrapa.com.br/Paginas/dados/producao-mundial-algodao_backup2017.aspx>. Acesso em: 08 de out. 2019
- ALVES, F. A. L.; CAVALCANTE, F. S.; OLIVEIRA JÚNIOR, I. S.; FERRAZ, I.; SILVA, S. M. S. Competição de variedades de algodão herbáceo pra cultivo no agreste pernambucano. **Pesq. agropec. pernamb.**, Recife, 24(1), e1971242019, 2019
- ARAUJO, A de; SOFIATTI, V. **Cultura do Algodão no Cerrado**. 2017.
- AZEREDO, A. A. C. **Índice de seleção e lógica Fuzzy aplicada à seleção de clones de cana-de-açúcar**. 2017. 71p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.
- BEALE, M. H.; HAGAN, M.; DEMUTH, H. B. Neural network performance-MATLAB cross entropy-the MathWorks United Kingdom. **Mathworks. Com**, 2017.
- BELTRÃO, N. E. M. Algodão brasileiro em relação ao mundo: situação e perspectivas. In: Beltrão, N. E. de M. (Org.). **O agronegócio do algodão no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa-CNPA. v.1, cap. 1, p. 17-27, 1999.
- BELTRÃO, N. E. M.; CARVALHO, L. P. Algodão colorido no Brasil, e em particular no Nordeste e no Estado da Paraíba. Brasília, DF, Brasil: **Embrapa Algodão**-Documentos (INFOTECA-E), 2004.
- BONDARI, K. Statistical analysis of genotype x environment in agricultural research. **Proceedings of the 11th. Annual Conference of the South East SAS Users Group-Statistics**; Data Analysis Section, Paper SD15, 2003.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de Plantas**. 6ª ed. Viçosa: Editora Viçosa, 2013.
- CARDOSO, G. D.; CARDOSO, G. D.; ALVES, P. L. D. C. A.; DE MACÊDO BELTRÃO, N. E.; DO VALE, L. S.; Períodos de interferência das plantas daninhas em algodoeiro de fibra colorida BRS Safira. **Revista Ciência Agronômica** (UFC. Impresso), v. 41, p. 456-462, 2010.
- CARNEIRO, D. B. **O Melhoramento genético de algodoeiro colorido: Redes Neurais Artificiais versus métodos convencionais**. Dissertação de mestrado em agronomia. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.
- CARDOSO, G. D. **Períodos de interferência de plantas daninhas em Algodoeiro cultivares BRS safira e BRS verde**. 2009.

CARGNELUTTI FILHO, A.; JUNIOR, R.L.C.B.; DAL'COL LÚCIO, A. Medidas de precisão experimental e número de repetições em ensaios de genótipos de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.10, p.1413-1421, 2012.

CARNEIRO, V. Q. Rede neural e lógica Fuzzy aplicadas no melhoramento do feijoeiro. Dissertação de mestrado em agronomia. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

CARNEIRO, A. R. T. **Lógica Fuzzy na recomendação de cultivares de feijoeiro comum quanto à adaptabilidade e estabilidade**. Dissertação de mestrado em agronomia. Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2016.

CARVALHO, L. P.; ANDRADE, F. P.; SILVA FILHO, J. L. Cultivares de algodão colorido no Brasil. **Revista brasileira oleaginosas e fibrosas**. Campina Grande, v.15, n.1, p.37-44, jan. - abr., 2011

CARVALHO, L. P.; SALGADO, C. C.; FARIAS, F. J. C.; CARNEIRO, V. Q. Estabilidade e adaptabilidade de genótipos de algodão de fibra colorida quanto aos caracteres de fibra. **Ciência Rural**, v.45, n.4, p. 598-605, abr., 2015.

Companhia Nacional de Abastecimento **CONAB**. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v. 6, n.9, safra 2018/2019, nono levantamento, julho 2019. Disponível em: <file:///C:/Users/Dell/Downloads/GrosZjunhoZ-ZresumoZ2019_1%20(1).pdf>. Acesso em: 24 de nov. 2019.

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

CRUZ, C. D. Genes Software – extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum**. v.38, n.4, p.547-552, 2016.

CHITARRA, L. G. Identificação e controle das principais doenças do algodoeiro. Luiz Gonzaga Chitarra – 3. ed. – Campina Grande: Embrapa Algodão, 2014.

DUARTE, J. B.; VENCOVSKY, R. Interação genótipos x ambientes: uma introdução à análise “AMMI”. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 60p, 1999.

EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**. Madison, WI, v.6, p.36-40, 1966.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília. Embrapa Solos, 2013. 353 p.

FINLAY, K. W.; WILKINSON, G. N. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 14, n. 3, p. 742-754, 1963.

FREIRE, E. C. Algodão no cerrado. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 1998. 29p. (EMBRAPA-CNPA. Documentos, 57).

FREIRE, E. C.; MORELLO, C. L.; FARIAS, F. J. C. Melhoramento do algodoeiro no Cerrado. In: FREIRE, E. C. (Org.). **Algodão no cerrado do Brasil**. 1. ed. Brasília, DF: Abrapa, 2007, v. 1, p. 267-318.

GIUSTI, E.; MARSILI-LIBELLI, S. A Fuzzy Decision Support System for irrigation and water conservation in agriculture. **Environmental Modelling & Software**, Florença, v. 63, p. 73-86, 2015.

ICAC –Cotton this month – international cotton advisory committee. Disponível em: <www.icac.org> Acesso em: 16 de abril de 2019.

ISLAM, S.; KUNDU, S.; SHORAN, J.; SABIR, N.; SHARMA, K. FAROOQI, S.; SINGH, R.; AGARWAL, H. O.; CHATURVEDI, K. K.; SHARMA, R. K.; SHARMA, A. K. Selection of wheat (*Triticum aestivum*) variety through expert system. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 82, n. 1, p. 39, 2012.

KISI, O. Applicability of Mamdani and Sugeno fuzzy genetic approaches for modeling reference evapotranspiration. **Journal of Hydrology**, v. 504, p. 160-170, 2013.

KORDON, A. K. **Applying Computational Intelligence: how to create value**. Berlin: Springer Verlag, 2010.

MAMANN, A. T. W.; BREZOLIN, A. P.; SCREMIN, A. H.; REGINATTO, D. C.; HENRICHSEN, L.; DORNELLES, E. F.; SCREMIN, O. B. Lógica fuzzy na simulação da produtividade de trigo por nitrogênio e hidrogel. **Proceeding Series of the Brazilian Society of Applied and Computational Mathematics**, v. 6, n. 1, 2018.

MARQUES, M. C.; HAMAWAKI, O. T.; SEDIYAMA, T.; BUENO, M. R.; REIS, M. S.; CRUZ, C. D.; NOGUEIRA, A. P. O. Adaptability and stability of soybean genotypes under different times of sowing. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.27, n.1, p.59-69, 2011.

MOREIRA, J. de A. N.; SANTOS, R. F. dos. **Origem, crescimento e progresso da cotonicultura no Brasil**. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 1994. 169p.

NASCIMENTO, M.; CRUZ, C. D.; CAMPANA, A. C. M.; TOMAZ, R. S.; SALGADO, C. C.; FERREIRA, R. P. Alteração no método centroide de avaliação da adaptabilidade genotípica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, Brasil, v.44, p. 263-269, 2009.

NASCIMENTO, M., L.A. PETERNELLI, C.D. CRUZ, A.C.N. Campana, R. de P. Ferreira, L.L. Bhering, and C.C. Salgado. Artificial neural networks for adaptability and stability evaluation in alfalfa genotypes. **Crop Breed. Appl. Biotechnol.** 2013. 13: 152–156.

NORVIG, P.; RUSSEL, S. J. Inteligência Artificial. 3º ed., Rio de Janeiro: Campus, 2013.

PAPADOPOULOS, A.; KALIVAS, D.; HATZICHRISTOS, T. Decision support system for nitrogen fertilization using fuzzy theory. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 78, p. 130-139, 2011.

PENNA, J. C. V. **Melhoramento do algodão**. In: BORÉM, A. (Ed). Melhoramento de espécies cultivadas. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2005, p. 15-53.

PERCY, R. G.; KOHEL, R.J. Qualitative genetics. In: SMITH, C.W.; COTHREN, J.T. (Eds.). **Cotton: origin, history, technology and production**. New York: John Wiley, 1999. p.319-360.

PUTTI, F. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; SILVA, A. O.; LUDWIG, R.; GABRIEL, C. P. C. Fuzzy logic to evaluate vitality of *Catasetum fimbriatum* species (Orchidaceae). **Revista Irriga**. Botucatu, v. 19, n.3, p. 405-413, jul - set, 2014.

RAUBER, T. W. Redes neurais artificiais. Vitória, ES: Departamento de Informática - Universidade Federal do Espírito Santo: 28 p. 2005.

ROCHA, M. M. Seleção de linhagens experimentais de soja para adaptabilidade e estabilidade fenotípica. 2002. 184p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

ROCHA, R.B.; MURO-ABAD, J.I.; ARAUJO, E.F.; CRUZ, C.D. Avaliação do método centroide para estudo de adaptabilidade ao ambiente de clones de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, v.15, p.255-266, 2005.

ROSADO, A. M.; ROSADO, T. B.; ALVES, A. A.; LAVIOLA, B. G.; BHERING, L. L. Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade, estabilidade e adaptabilidade. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, 47, 964-971, 2012.

SANTOS, J. A. S.; TEODORO, P. E.; CORREA, A. M.; SOARES, C. M. G.; RIBEIRO, L. P.; ABREU, H. K. A. Desempenho agrônomo e divergência genética entre genótipos de feijão-caupi cultivados no ecótono Cerrado/Pantanal. **Bragantia**, 73, 377-382, 2014.

SANTOS, J. W.; MOREIRA, J. D. A. N.; FARIAS, F. J. C.; FREIRE, E. C. Avaliação dos coeficientes de variação de algumas características da cultura do algodão: uma proposta de classificação. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, PB, Brasil, v. 2, n. 1, p 35-40, jan-abr 1998.

SILVA, E. M.; ASSUNÇÃO, W. L. O clima na cidade de Uberlândia – MG. **Sociedade & Natureza**, v. 16, p. 91-107, 2004

SILVA, W. C. J.; DUARTE, J. B. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, 41, p. 23-30, 2006.

SILVA, T. M. S.; CAMARA, C. A.; BARBOSAFILHO, J. M.; GIULIETTI, A. M. Feoforbideo (Ettoxipurpurina-18) isolado de *Gossypium mustelinum* (Malvaceae). **Química Nova**. v. 33, p. 571-573, 2010.

SIMÕES, M. G.; SHAW, I. S. **Controle e modelagem Fuzzy**. São Paulo: Edgard Blücher, 2011.

TROPICOS. **Missouri Botanical Garden**. 2013.

VIDAL NETO, F. C.; FREIRE, E. C. **Melhoramento genético do algodoeiro**. 2013.

WESTCOTT, B. Some methods of analysing genotype-environment interactions. **Heredity**. 1986, v.56, 243—253p.

WRICKE, G. Zur Berechnung der Ökovalenz bei Sommerweizen und Hafer. **Zeitschrift für Pflanzenzüchtung**, v.52, p.127-138, 1965.

YAMAMOTO, P. Y. Interação genótipo x ambiente na produção e composição de óleos essenciais de *Lippia alba* (Mill.) N. E. Br. 2006. 71 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento)–Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2006.

ZADEH, L. **Fuzzy sets.** *Inf. Control*, 1965, 8(3): 338–353.

ZHANG, H-B; LI, Y.; WANG, B.; CHEE, P. W. Recent advances in cotton genomics. **International Journal of Plant Genomics**, Cairo, v. 2008, p. 1, 2008.