

ANNA REGINA TIAGO CARNEIRO

**LÓGICA FUZZY NA RECOMENDAÇÃO DE CULTIVARES DE FEIJOEIRO
COMUM QUANTO À ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Produção Vegetal, do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Produção Vegetal.

Área de Concentração: Produção Vegetal

Orientador: Prof. Dr. Demerson Arruda Sanglard.

Coorientador: Prof. Dr. Alcinei Místico Azevedo.

Coorientador: Dr. Thiago Lívio Pessoa Oliveira de Souza.

Montes Claros
2016

C289I
2016

Carneiro, Anna Regina Tiago.

Lógica *fuzzy* na recomendação de cultivares de feijoeiro comum quanto à adaptabilidade e estabilidade/ Anna Regina Tiago Carneiro. Montes Claros, MG: Instituto de Ciências Agrárias/UFMG, 2016.
125 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Universidade Federal de Minas Gerais, 2016.

Orientador: Prof. Demerson Arruda Sanglard.

Banca examinadora: Alcinei Místico Azevedo, Sílvia Nietzsche, Thiago Lívio Pessoa Oliveira de Souza, Demerson Arruda Sanglard.

Referências: f: 99-112.

1. Feijoeiro comum. 2. Lógica *fuzzy*. I.Sanglard, Demerson Arruda. II. Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais. III. Título.

CDU: 633.35

Elaborada pela Biblioteca Comunitária em Ciências Agrárias do ICA/UFMG

ANNA REGINA TIAGO CARNEIRO

**LÓGICA FUZZY NA RECOMENDAÇÃO DE CULTIVARES DE FEIJOEIRO
COMUM QUANTO À ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE**

Prof. Dr. Demerson Arruda Sanglard.
Orientador (ICA/UFMG)

Aprovada em 25 de fevereiro de 2016.

Montes Claros
2016

RESUMO

O melhoramento de plantas é uma ferramenta para obter plantas superiores às pré-existentes. Logo, utilizar ferramentas que auxiliem na tomada de decisões assertivas é necessário para o sucesso dos programas de melhoramento. Neste contexto, surge a lógica *fuzzy* como uma técnica de inteligência computacional com grande aplicabilidade no melhoramento genético, em especial, na automação da tomada de decisões em estudos de adaptabilidade e estabilidade. Assim, objetivou-se empregar a lógica *fuzzy* a metodologias de adaptabilidade e estabilidade a fim de automatizar a tomada de decisão na recomendação de cultivares. No primeiro estudo, objetivou-se avaliar a eficiência da metodologia de lógica *fuzzy*, aplicada por Carneiro (2015), como ferramenta para auxiliar na recomendação de cultivares de feijoeiro comum, quanto à adaptabilidade e estabilidade e comparar os resultados obtidos, usando as diferentes metodologias apresentadas por este autor. Os ensaios constituíram-se de 18 cultivares de feijoeiro comum conduzidos nos municípios de: Ponta Grossa - PR, Santo Antônio de Goiás - GO e Uberlândia - MG, nas safras das “águas”, “seca” e “inverno”, em 2006, 2007, 2008 e 2010. Os controladores *fuzzy* desenvolvidos foram fundamentados no sistema de inferência *fuzzy*, proposto por Mamdani, baseados no método de Eberhart e Russell (1966) ou em conjunto com o método Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998). Para as análises, foi utilizado o software R por meio de programação. Os métodos de lógica *fuzzy* utilizados possibilitaram a classificação dos genótipos de forma adequada, de acordo com os parâmetros de cada método e apresentaram resultados semelhantes para a maioria dos casos. O modelo híbrido, baseado nos métodos de Eberhart e Russell (1966) e Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), permitiu distinguir melhor a reação dos genótipos frente às variações ambientais. No segundo estudo, objetivou-se desenvolver controladores *fuzzy* a fim de automatizar a tomada de decisão, em estudos de adaptabilidade e estabilidade pelos métodos de Annicchiarico (1992) e de Cruz, Torres e Vencovsky (1989) e verificar sua eficiência, utilizando dados de experimentos com cultivares de feijoeiro comum. Foram desenvolvidos controladores *fuzzy*, baseados no sistema de inferência, proposto por Mamdani, para os dois métodos de adaptabilidade e estabilidade estudados. Para verificar o desempenho dos controladores, foram considerados dados de ensaios 18 cultivares de feijoeiro comum conduzidos em 11 ambientes. Os controladores foram desenvolvidos com base em rotinas estabelecidas no programa R. Os controladores *fuzzy*, baseados nos métodos de Cruz, Torres e Vencovsky (1989) e de Annicchiarico (1992), classificaram as 18 cultivares de forma adequada de acordo com os critérios de cada um dos métodos. Logo, a lógica *fuzzy* é uma ferramenta de grande utilidade na automação da tomada de decisão, em estudos de adaptabilidade e estabilidade, sendo importante para o melhoramento genético.

Palavras-chave: Inteligência computacional. Melhoramento genético. Interação genótipo por ambientes. Recomendação de genótipos. Lógica nebulosa.

FUZZY LOGIC IN RECOMMENDATION CULTIVARS BEAN-COMMON FOR ADAPTATION AND STABILITY

GENERAL ABSTRACT

The plant breeding is a tool for higher plants to pre-existing. Soon, use tools that assist in making assertive decisions are necessary to the success of breeding programs. In this context, arises the fuzzy logic as a computational intelligence technique with wide applicability in the genetic improvement, especially in the automation of decision making in adaptability and stability studies. Thus, it aimed to employ fuzzy logic adaptability methodologies and stability in order to automate the decision-making on the recommendation of cultivars. In the first study aimed to evaluate the efficiency of fuzzy logic methodology applied by Carneiro (2015), as a tool to support the recommendation of common bean cultivars to adaptability and stability and to compare the results obtained using different methodologies presented by this author. The tests consisted of 18 common bean cultivars conducted in the cities of Ponta Grossa - PR, Santo Antônio de Goiás - GO and Uberlândia - MG, in crops of "water", "dry" and "winter" in 2006, 2007, 2008 and 2010. The fuzzy controllers were developed based on fuzzy inference system proposed by Mamdani based on the method Eberhart and Russell (1966) or in conjunction with the method of Lin and Binns (1988) modified by Ram (1998). For the analysis we used the R software through programming. The fuzzy logic methods enabled a classification of genotypes appropriately according to the parameters of each method, and showed similar results for most cases. The hybrid model, based on the methods of Eberhart and Russell (1966) and Lin and Binns (1988) modified by Carneiro (1998) allowed better distinguish the reaction of the front genotypes to environmental variations. In the second study aimed to develop fuzzy controllers to automate the decision-making adaptability studies and stability by methods Annicchiarico (1992) and Cruz, Torres and Vencovsky (1989) and check its efficiency by using experimental data with cultivars bean commonplace. Fuzzy controllers have been developed based on the Mamdani inference system proposed by the two methods of adaptability and stability studies. To check the performance of the drivers were considered test data 18 common bean cultivars grown in 11 environments. The controllers have been developed from established routines in the program R. The fuzzy controllers based on the methods of Cross and Vencovsky Torres (1989) and Annicchiarico (1992) classified 18 cultivars appropriately according to the criteria of each methods. So, fuzzy logic is a very useful tool in the automation of decision making in adaptability and stability studies, it is important for genetic improvement.

Keywords: Computational Intelligence. Genetical enhancement. Genotype by environment. Recommendation genotypes. Fuzzy logic.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FAO – *Food and Agriculture Organization*.

CIAT – Centro Internacional de Agricultura Tropical.

CONPAF – Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina.

EPAMIG – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IAPAR – Instituto Agronômico do Paraná.

IAC – Instituto Agronômico de Campinas.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.

UFLA – Universidade Federal de Lavras.

UFV – Universidade Federal de Viçosa.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1 – REFERENCIAL TEÓRICO

Figura 1 - Desenho comparativo da lógica clássica da <i>fuzzy</i>	32
Gráfico 2 - Representação gráfica das operações <i>fuzzy</i>	34
Gráfico 3 - Representação <i>fuzzy</i> da variável linguística temperatura.....	34
Gráfico 4 - Gráfico das funções de pertinência na forma <i>de Z</i> (" <i>zmf</i> "), forma de " π " (" <i>pimf</i> ") e forma <i>de S</i> (" <i>smf</i> "), para representar a variável <i>fuzzy</i> linguística – "Temperatura" – utilizando as funções de pertinência – "Baixa", "Média" e "Alta", respectivamente.....	37
Gráfico 5 - Gráfico da função triangular.....	38
Gráfico 6 - Gráfico da função trapezoidal.....	39
Gráfico 7 - Grafico com função gaussiana.....	39
Figura 8 - Esquema do sistema de lógica <i>fuzzy</i>	40

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2 – ESTUDO DE ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE EM CULTIVARES DE FEIJOEIRO COMUM POR MEIO DE LÓGICA FUZZY

Tabela 1 - Nome de registro, instituição de origem e/ou lançamentos e ano de lançamento das 18 cultivares de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) do grupo comercial “Carioca”50

Tabela 2 - Descrição dos ambientes, características climáticas, coordenadas geográficas, época de plantio e ano de cultivo dos ensaios vitrine do grupo comercial “Carioca”, realizados nos municípios de Ponta Grossa - PR, Santo Antônio de Goiás - GO e Uberlândia - MG, nos anos de 2006, 2007, 2008 e 2010.....53

Tabela 3 - Regras *fuzzy* linguísticas, implementadas no controlador *fuzzy*, baseadas no comportamento dos genótipos quanto à adaptabilidade e estabilidade, usando o método de Eberhart e Russell (1966) e adaptadas de Carneiro (2015).....57

Tabela 4 - Regras *fuzzy* linguísticas implementadas no controlador *fuzzy* híbrido, baseado nos métodos de Eberhart e Russell (1966) e de Lin e Binns (1988) modificado (Carneiro, 1998), estabelecidas por Carneiro (2015).....58

Tabela 5 - Resumo da análise de variância conjunta para produtividade de grãos de 18 cultivares de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) em onze ambientes.....60

Tabela 6 - Médias de produtividade de grãos (kg/ha) e método de agrupamento de Scott-knott, das 18 cultivares de feijoeiro comum do grupo comercial “Carioca”, nos 11 ambientes, nos anos de 2006 a 2010.....62

Tabela 7 - Entradas padronizadas e classificação quanto ao comportamento Geral (GE), Pouco adaptado (PA), Favorável (FAV) e Desfavorável (DESF) das 18 cultivares submetidas ao controlador baseado em Eberhart e Russell (1966).....69

Tabela 8 - Entradas e classificação quanto ao comportamento Geral (GE), Pouco adaptado (PA), Favorável (FAV) e Desfavorável (DES), de 18 cultivares de feijoeiro comum, submetidas aos controladores híbridos, baseado em Eberhart e Russell (1966) e Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro(1998).....70

CAPÍTULO 3 – LÓGICA FUZZY NO ESTUDO DE ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE PELOS MÉTODOS DE ANNICCHIARICO E CRUZ, TORRES E VENCovsky

Tabela 1 - Nome de registro, instituição de origem e/ou lançamentos e ano de lançamento das 18 cultivares de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) do grupo comercial “Carioca”79

Tabela 2 - Regras *fuzzy* linguísticas implementadas no controlador *fuzzy* baseados no comportamento quanto à adaptabilidade e estabilidade do método de Annicchiarico (1992)..... 84

Tabela 3 - Regras *fuzzy* linguísticas implementadas no controlador *fuzzy* baseados no comportamento quanto à adaptabilidade e estabilidade do método Cruz, Torres e Vencovsky (1989)..... 86

Tabela 4 - Resumo da análise de variância conjunta para produtividade de grãos de 18 cultivares de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) em onze experimentos.....88

Tabela 5 - Entradas e classificação quanto ao comportamento de 18 cultivares de feijoeiro comum submetidas ao controlador *fuzzy* baseado no método de Cruz, Torres e Vencovsky (1989).....93

Tabela 6 - Entradas e classificação quanto ao comportamento Geral (GE), Ambiente favorável (AF), Ambiente desfavorável (AD) e Não indicado (NI) de 18 cultivares de feijoeiro comum, submetidas ao controlador <i>fuzzy</i> , baseado no método de Annicchiarico (1992).....	95
---	----

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – REFERENCIAL TEÓRICO	13
1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 Aspectos gerais da cultura do feijoeiro comum	16
2.2 Melhoramento genético do feijoeiro comum	18
2.3 Interação genótipo x ambiente	21
2.4 Adaptabilidade e Estabilidade	23
2.4.1 Método proposto por Eberhart e Russell (1966)	24
2.4.2 Método Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998)	26
2.4.3 Método de Annicchiarico (1992)	28
2.4.4 Método de Cruz, Torres e Vencovsky (1989)	29
2.5 Inteligência computacional	30
2.5.1 Lógica <i>Fuzzy</i>	31
2.5.1.1 Conjuntos <i>fuzzy</i>	32
2.5.1.2 Operações <i>fuzzy</i>	33
2.5.1.3 Variáveis linguísticas <i>fuzzy</i>	34
2.5.1.4 Função de Pertinência	35
2.5.1.5 Sistema lógico <i>fuzzy</i>	40
2.5.1.6 Modelo <i>fuzzy</i> de Mamdani	43
2.6 Aplicações da lógica <i>fuzzy</i>	43
CAPÍTULO 2 – ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE CULTIVARES DE FEIJOEIRO COMUM ESTIMADA POR MEIO DA LÓGICA <i>FUZZY</i>	46
RESUMO	46
1 INTRODUÇÃO	48
2 MATERIAL E MÉTODOS	50
2.1 Material genético e delineamento experimental	50
2.2 Análises de adaptabilidade e estabilidade	54
2.3 Lógica <i>fuzzy</i>	54
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
4 CONCLUSÃO	73

CAPÍTULO 3 – LÓGICA <i>FUZZY</i> APLICADA AO ESTUDO DE ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE PELOS MÉTODOS DE ANNICCHIARICO E CRUZ, TORRES E VENCOVSKY	74
RESUMO	74
1 INTRODUÇÃO	76
2 MATERIAL E MÉTODOS	79
2.1 Material genético e delineamento experimental	79
2.2 Análises de adaptabilidade e estabilidade	80
2.3 Lógica <i>fuzzy</i>	83
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	88
4 CONCLUSÃO	98
REFERÊNCIAS	99
APÊNDICES	113

CAPÍTULO 1 – REFERENCIAL TEÓRICO

1 INTRODUÇÃO

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma importante leguminosa utilizada para o consumo humano, considerada a principal fonte de proteína vegetal de consumo direto (GONCALVES, 2015). O Brasil destaca-se como um dos principais produtores e consumidores de feijão do mundo e seu cultivo ocorre em, praticamente, todas as regiões do país, em diferentes épocas e sistemas de cultivo. Além disso, é utilizado por diversas categorias de agricultores, desde os que praticam agricultura de subsistência, com escasso ou sem nenhum uso de tecnologia, até os empresários agrícolas, com a utilização de alta tecnologia (VIEIRA *et al.*, 2013).

Segundo a Embrapa Arroz e Feijão (2015), na safra de 2014, o Brasil produziu 472.902 mil toneladas de feijoeiro comum, em uma área de 192.014 mil hectares, com uma produtividade média de 2.437 kg/ha. Esta produtividade é considerada baixa. Porém os agricultores brasileiros que utilizam alta tecnologia já ultrapassam a marca de 3.000 kg/ha (VIEIRA *et al.*, 2013). Assim, o melhoramento de plantas tem sido uma das ferramentas determinantes para elevar a produtividade e atender a demanda interna do feijão.

A obtenção de genótipos superiores quanto à produtividade de grãos, arquitetura de planta, qualidade tecnológica dos grãos, resistência a estresses, ampla adaptabilidade e estabilidade de produção é uma tarefa incessante nos programas de melhoramento de plantas (MODA-CIRINO *et al.*, 2012). A presença da interação entre genótipo e ambientes, ou seja, a alteração no desempenho relativo dos genótipos, em função da diferença de ambiente (G x A) (BORÉM e MIRANDA, 2013), é comum durante o processo de avaliação e seleção de genótipos nos programas de melhoramento.

Sendo o feijão uma cultura sensível às variações ambientais, à seleção de genótipos com ampla adaptação, alta estabilidade e média elevada de produtividade, tem sido alternativas para atenuar os efeitos da interação G x A e tornar o processo de indicação de cultivares mais seguro

(MELO *et al.*, 2007). Assim, estimar os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade contribui na caracterização desses genótipos quanto à sua resposta às variações ambientais, o que propicia segurança na recomendação de novas cultivares (SILVA *et al.*, 2013).

As análises de adaptabilidade e estabilidade são procedimentos estatísticos, que permitem identificar cultivares de comportamento mais estável e que respondem, previsivelmente, às variações ambientais. Algumas delas permitem, também, dividir os efeitos da interação G x A em efeitos de genótipos e de ambientes, revelando a contribuição relativa de cada um para a interação total (SILVA e DUARTE, 2006).

Apesar da importância das metodologias de adaptabilidade e estabilidade, seus parâmetros são complexos de interpretar, principalmente, quando envolve grande número de genótipos e ambientes, dificultando a tomada de decisões pelo melhorista. Desta maneira, utilizar ferramentas que auxiliem na tomada de decisões assertivas é necessário para o sucesso dos programas de melhoramento. Neste contexto, surge a inteligência computacional, que apresenta a capacidade de transferir o conhecimento humano às máquinas, que vão interpretar, raciocinar e agir para tomar decisões, realizar tarefas ou solucionar problemas que antes seriam realizadas pelos seres humanos.

Existem várias técnicas que podem auxiliar na solução de problemas, uma das principais é a lógica *fuzzy*, que é uma modelagem matemática que permite trabalhar com pontos de imprecisão. (ZADEH, 1965). Ela é utilizada na resolução de problemas de automação de processos, no qual a modelagem convencional não consegue otimizar a resposta (SIMÕES e SHAW, 2011 e GOMIDE e GUDWIN, 1994). Em razão desta propriedade e da capacidade de realizar inferências, a lógica *fuzzy* tem encontrado grandes aplicações em várias áreas (BEZDEK e PAL, 1992).

Nas Ciências Agrárias, o uso da lógica *fuzzy* é variado. Já foi utilizada na irrigação e conservação na agricultura (GIUSTI e MARSILI-LIBELLI, 2015); na determinação da evapotranspiração (KISI e KERMANI, 2013); na seleção de genótipos de trigo (ISLAM, *et al.*, 2012); no sistema de suporte à adubação nitrogenada (PAPADOPOULOS *et al.*, 2011); na

determinação da produtividade do solo em função de suas características físicas e químicas (DURU *et al.*, 2010) e no risco de infestação de plantas daninhas em lavouras (BRESSAN *et al.*, 2008).

A lógica *fuzzy*, também, apresenta grande potencial de uso nos programas de melhoramento, principalmente, nos estudos dos métodos de adaptabilidade e estabilidade, pois exibe a capacidade de interpretar os parâmetros dos métodos e, assim, automatizar decisões que antes seriam realizadas pelos melhoristas.

Carneiro (2015) aplicou a lógica *fuzzy*, por meio de controladores, como ferramenta auxiliar na avaliação do comportamento de linhagens de feijoeiro comum do grupo vermelho na Zona da Mata de Minas Gerais. Este autor baseou-se nos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade dos métodos de Eberhart e Russell (1966) e Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), para desenvolver controladores *fuzzy*. Com isso, ele demonstrou o potencial da lógica *fuzzy* como ferramenta auxiliar junto às metodologias de adaptabilidade e estabilidade na tomada de decisões para recomendação de cultivares.

A lógica *fuzzy* apresenta a capacidade de automatizar procedimentos, assim, agregá-la às metodologias de adaptabilidade e estabilidade torna-se interessante para automação da tomada de decisões na recomendação de cultivares. Principalmente, quando envolve um grande número de genótipos e ambientes.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos gerais da cultura do feijoeiro comum

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das principais culturas produzidas no Brasil e no mundo. Sua importância extrapola o aspecto econômico, por sua relevância enquanto fator de segurança alimentar, nutricional e cultural na culinária de diversos países e culturas (BARBOSA e GONZAGA, 2012). Essa espécie, além de possuir, em seus grãos, alto teor proteico, variando entre 20 a 28%, tem elevado conteúdo de carboidratos, fibras e considerável teor de ferro (YOKOYAMA *et al.*, 1996). É originário das Américas e foi domesticado por povos indígenas (MENSACK *et al.*, 2010). Apresenta taxa de fecundação cruzada, estimada entre 3% e 5%, sendo uma planta herbácea, anual, autógama e diploide ($2n=2x=22$ cromossomos) (BURLE *et al.*, 2010).

Os principais países produtores de feijoeiro comum são Índia, Birmânia, Brasil, China e Estados Unidos (FAO, 2014). Atualmente o consumo per capita, no Brasil, situa-se na ordem de 16,7 kg/habitante/ano. Diversos aspectos culturais determinam grandes variações regionais quanto ao gosto e preferência por tipos de grãos consumidos (IBGE, 2014). Segundo a Embrapa Arroz e Feijão (2015), na safra de 2014, o Brasil produziu 472.902 mil toneladas de feijoeiro comum, em uma área de 192.014 mil hectares, com uma produtividade média de 2.437 kg/ha.

No Brasil, o *Phaseolus vulgaris* L. é cultivado sob diversas condições edafoclimáticas e épocas de semeadura e, praticamente, em todos os estados (BONETT *et al.*, 2006). Os principais Estados produtores são Paraná, Minas Gerais, Bahia, Mato Grosso e Goiás, que representam mais de 50% da produção (IBGE, 2016). De modo geral, o feijão é cultivado, expressivamente, nas chamadas safras das “águas” (semeadura de agosto a novembro), da “seca” (semeadura de janeiro a abril) e do “inverno” (semeadura de maio a julho, utiliza irrigação) (EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2015). O feijão das safras das “águas” e da “seca” são cultivados, de forma tradicional, por pequenos e médios agricultores, muitos ainda, com uso de sistemas consorciados e baixo nível tecnológico. Já a safra de “inverno” é

praticada, na sua maioria, por produtores que se enquadram como empresários agrícolas, com o uso de alta tecnologia (ARAÚJO *et al.*, 1996; VIEIRA *et al.*, 2013).

A média de produtividade de feijão no Brasil, em torno de 2.437 kg/ha, é considerada baixa (EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2015). Em alguns estados, essa média é superior a 1.000 kg/ha, porém os agricultores brasileiros que utilizam alta tecnologia já ultrapassam a marca de 3.000 kg/ha (VIEIRA *et al.*, 2013). Grandes áreas de cultivo utilizam maquinário moderno e semeadura direta, com elevado nível tecnológico para alcançar alta produtividade de grãos. Na região Centro-Oeste do país, por exemplo, atingiu uma produtividade de 2.036 kg/ha na safra 2014/2015. Na 3ª safra, onde predomina o uso de sistemas agrícolas intensivos, irrigados e altamente tecnificados, a produtividade nas regiões Centro-Oeste e Sudeste, na safra 2014/2015, foi de 2.652 e 2.458 kg/ha, respectivamente (EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2015).

Os avanços tecnológicos obtidos por pesquisas disponibilizam ao setor produtivo do feijoeiro comum tecnologias como cultivares produtivas e adaptadas a diferentes regiões brasileiras, manejo adequado de solos, adubação e calagem, manejo integrado de pragas e doenças, dentre outras, para o maior aumento do potencial produtivo da cultura (BARBOSA *et al.*, 2009). Porém, existem fatores limitantes como o clima, dificuldade de comercialização do produto e a dificuldade em tecnificação dos processos produtivos que faz com que haja perdas expressivas, o que leva à baixa produtividade (ARAÚJO *et al.*, 1996). Como a demanda é grande, existem vários fatores que contribuem para o aumento da produtividade, dentre elas, destaca-se o melhoramento genético (VENCOVSKY e RAMALHO, 2000).

O melhoramento genético de plantas desempenha um importante papel para o bem-estar da sociedade, principalmente, no que se refere à quantidade e à qualidade de alimentos e fibras requeridos para atender sua crescente demanda (ZIMMERMANN *et al.*, 1996). Estima-se que, aproximadamente, 50% do aumento do rendimento das principais espécies cultivadas sejam em função do melhoramento genético (FEHR, 1987).

2.2 Melhoramento genético do feijoeiro comum

O melhoramento genético de plantas é a ciência, a arte e o gerenciamento dos recursos para aperfeiçoamento das plantas visando ao benefício da sociedade (BERNARDO, 2010). De acordo com Moose e Mumm (2008), o melhoramento é constituído de métodos que envolvem a criação ou seleção de genótipos adaptados de acordo com os critérios dos agricultores e consumidores.

A condição fundamental para execução de um programa de melhoramento é a existência da variabilidade genética (BUENO *et al.*, 2006). No caso de espécies autógamas pode-se utilizar a variabilidade natural ou, então a artificial, obtida por meio da hibridação de dois ou mais genitores (RAMALHO *et al.*, 2012).

O feijoeiro comum é considerado uma espécie autógama, pois apresenta taxa de fecundação cruzada inferior a 5%, havendo o predomínio da autopolinização (BURLE *et al.*, 2010). Nesse contexto, considerando que se deseja reunir alelos favoráveis presentes em vários genótipos, o melhoramento do feijão baseia-se, principalmente, na hibridação de cultivares e/ou linhagens com a finalidade de gerar populações segregantes, nas quais se procede à seleção das melhores linhagens (ZIMMERMANN *et al.*, 1996).

Na condução de um programa de melhoramento por hibridação, segundo Ramalho *et al.* (1993), a escolha de genitores é a decisão mais importante a ser tomada pelo melhorista, pois dela dependerá o futuro do programa. Essa escolha dependerá das características a serem melhoradas, da herança dessas características e do germoplasma disponível (FEHR, 1987). Assim, geram-se as populações segregantes que são conduzidas por algum método de melhoramento, em geral, até a geração F_6 , quando se obtém o nível de homozigose almejado. As melhores plantas são selecionadas e colhidas, individualmente, originando as famílias F_7 . Essas famílias são multiplicadas por um ciclo para a obtenção das linhagens. Essas linhagens são submetidas a diferentes ensaios de competição para avaliação do seu potencial agrônomico. Posteriormente, as linhagens mais promissoras são avaliadas em ensaios de valor de cultivo e uso (VCU) (BORÉM e

MIRANDA, 2013). Os ensaios de VCU, para a cultura do feijoeiro, seguem regras específicas determinadas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Esses ensaios são necessários para a realização do registro das novas cultivares junto ao Serviço Nacional de Proteção de Cultivares (SNPC) (BRASIL, 2001).

Além dos ensaios de valor de cultivo e uso (VCU), para avaliar linhagens promissoras, há, também os ensaios de teste e comparação de cultivares, denominado de “ensaios vitrines”, que visam auxiliar ou complementar a recomendação de cultivares e selecionar genitores promissores. Ainda, estes ensaios têm como objetivo avaliar cultivares já lançadas pelas diversas instituições que trabalham com melhoramento genético do feijoeiro comum, para comparar seus rendimentos (NASCENTE *et al.*, 2005). Assim, é possível selecionar dentre as cultivares comerciais aquelas mais promissoras para reintrodução com genitores num programa de melhoramento do feijoeiro comum.

Os programas de melhoramento do feijoeiro comum, no Brasil, são conduzidos na Universidade Federal de Viçosa – UFV e Universidade Federal de Lavras - UFLA, na Embrapa Arroz e Feijão e na Embrapa Clima Temperada, na Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado de Minas Gerais - Epamig, no Instituto Agrônomo de Campinas - IAC, no Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR e na Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária - IPA. No Brasil, estes programas visam ao aumento da produção de grãos e à resistência a doenças. Além disso, a busca por cultivares mais resistentes à seca e mais apropriados à colheita mecanizada, em geral, ficam em segundo plano de importância (BORÉM, 2013).

Os principais objetivos dos programas de melhoramento de feijoeiro comum visam atender às demandas dos produtores e consumidores. Neste sentido, a obtenção de cultivares mais produtivas do que as atuais e a busca por uma elevada estabilidade produtiva constituem num dos maiores objetivos nos programas de melhoramento do feijoeiro (CARMO *et al.*, 2007). Para o aumento de tal característica, alguns fatores devem ser considerados. Isto porque, este caractere é resultado de um somatório de fatores, tais

como, número de vagens, grãos por vagens e massa de mil grãos que podem influenciar nessa característica.

A utilização de cultivares resistentes destaca-se como procedimento mais eficaz e econômico, no controle de doenças, além de reduzir os impactos danosos ao ambiente ocasionados pelo uso excessivo de defensivos agrícolas (ABREU e RAMALHO, 2005). O feijoeiro comum é hospedeiro de inúmeras doenças de origem fúngica, bacteriana e virótica (SARTORATO *et al.*, 2003). As enfermidades mais importantes associadas a essa cultura são a antracnose, a mancha-angular, a ferrugem, o crestamento bacteriano comum e o mosaico-dourado (VIEIRA *et al.*, 2013). Além da resistência a doenças, a resistência a insetos é um fator importante que, geralmente, dá-se pela diminuição da atratividade da planta ao inseto (TSUTSUMI *et al.*, 2015).

O porte da planta é outro objetivo importante no melhoramento do feijoeiro comum. O porte ereto é um caráter desejável, pois favorece os tratos culturais, especialmente, nas operações de cultivo mecânico, adubação em cobertura, aplicação de defensivos e a colheita mecanizada. Além disso, facilitam a locomoção dos implementos sem danificar as plantas e a redução de perdas na colheita, com grãos de melhor qualidade. Ainda, nas plantas eretas, as vagens não encostam no solo úmido, assim, não apodrecem; e, como a circulação do ar é maior, as condições são menos favoráveis à incidência de patógenos (ABREU e RAMALHO, 2005).

Além destes objetivos, têm-se há outros, como: a fixação biológica do nitrogênio (FBN), um parâmetro de extrema importância, dentro do cultivo do feijoeiro, que, em comparação com a soja, não tem interação simbiote considerada de alta eficiência e exige adubação nitrogenada para se obter produtividade adequada (TSUTSUMI *et al.*, 2015). O desenvolvimento de cultivares tolerantes à seca, visto que a cultura do feijão pode ser altamente influenciada pelas condições ambientais, faz com que os fatores adversos causem a diminuição da produção (ROCHA *et al.*, 2010). A qualidade nutricional dos grãos, pois apesar de o feijão representar uma importante fonte de proteínas, na alimentação, principalmente, levando-se em conta as populações de baixa renda, a digestibilidade dessas proteínas, é

relativamente baixa (MESQUITA *et al.*, 2007). O tempo de cozimento é um fator fundamental, para a aceitação de uma cultivar de feijão pelos consumidores, pois a disponibilidade, para o preparo das refeições é, muitas vezes, restrita (COSTA *et al.*, 2001), sendo priorizadas cultivares que apresentam grãos com cozimento rápido. A precocidade, também, é uma característica desejável, pois oferece condição do genótipo ser cultivado duas vezes na safra irrigada, cujo plantio se inicia, nos meses de abril e maio, o que possibilita não só a redução de ocorrência de patógenos, como também aproveitar as oportunidades de comercialização em épocas em que há escassez de oferta do produto no mercado (ABREU e DEL PELOSO, 2004).

2.3 Interação genótipo x ambiente

A alteração no desempenho relativo dos genótipos, em função da diferença de ambiente, é denominada interação genótipos por ambientes (G x A) (BORÉM e MIRANDA, 2013), ou seja, o genótipo terá comportamento diferencial de acordo com o ambiente em que se encontra.

Entende-se por ambiente todos os fatores intra e extracelulares que influem na expressão do genótipo (VENCOVSKY *et al.*, 1992). Segundo Allard e Bradshaw (1964), existem duas condições ambientais que contribuem para a interação G x A, ou seja, previsíveis e imprevisíveis. As previsíveis incluem as variações de ambiente que ocorrem de região para região, dentro da área de distribuição da cultura. Enquadram-se as características gerais de clima e solo e aquelas que flutuam de maneira sistemática, como o comprimento do dia, o grau de insolação e outras. Também se incluem neste grupo os fatores de ambiente que estão sob o controle do homem, como as práticas agronômicas, tais como a época de semeadura, as doses e fórmulas de adubação, dentre outros. As variações imprevisíveis compreendem, por exemplo, as climáticas, no âmbito de uma mesma região, como a quantidade e distribuição de chuvas, as oscilações de temperatura, ataques de pragas e doenças, entre outras.

Nos programas de melhoramento, tem sido frequente a avaliação do comportamento de um grupo de cultivares relativo às variações ambientais, considerando-se como ambientes diferentes locais, épocas, anos de plantio e

distintos níveis tecnológicos (CRUZ *et al.*, 2012). Os estudos de interação exigem integradas abordagens que combinam muitas áreas, incluindo agricultura, biologia, estatística, informática e genética (BONDARI, 2003). A interação é um componente importante e desafiante para os melhoristas que atuam nos testes comparativos e na recomendação de cultivares. Quanto maior a diversidade genética entre os genótipos e entre os ambientes, maior importância terá a interação G x A (BORÉM e MIRANDA, 2013).

A interação G x A pode ser classificada em simples ou complexa. A interação simples ocorre pela diferença de variabilidade genética entre genótipos dentro dos ambientes. Já a interação complexa reflete a ausência de correlação linear entre genótipos de um ambiente para outro, ou seja, haverá genótipos com desempenho superior em um ambiente, mas não em outro, tornando mais difícil a recomendação desses genótipos (CRUZ *et al.*, 2012). A interação simples ou a ausência de interação representa menor importância para os melhoristas, pois não alteram a classificação dos genótipos nos ambientes, assim, permite a definição de estratégias de seleção.

Existem inúmeras implicações da interação G x A, em um programa de melhoramento, sendo mais evidente, na etapa de avaliação de linhagens, para indicação de novas cultivares aos agricultores. As avaliações das linhagens devem ser realizadas, em redes de ensaios, para que se estime seu valor de cultivo e uso, o que viabiliza sua indicação para cultivo nas regiões onde foram testadas (PEREIRA *et al.*, 2009).

O feijoeiro comum é cultivado em uma grande diversidade de solos, climas, níveis de tecnologia e épocas de plantio, o que resulta em grandes variações ambientais (SILVA, 2011a). Essas condições expõem os genótipos à forte ação do ambiente, o que favorece a interação entre eles, dificulta a precisão na seleção de linhagens e influencia, diretamente, a produtividade de grãos, visto que esta é uma característica quantitativa, resultante da manifestação vários genes e suas interações com o ambiente. Isto é comprovado em vários trabalhos conduzidos com essa cultura no Brasil (MELO *et al.*, 2007).

Apesar da grande relevância dos estudos da interação G x A ao melhoramento, ela não fornece informações sobre o comportamento de cada genótipo em diferentes ambientes. Assim, devem-se buscar alternativas para amenizar o efeito da interação G x A, dentre as alternativas, merecem destaque as análises de adaptabilidade e estabilidade fenotípica, que fornecem informações detalhadas sobre o comportamento das cultivares (CRUZ *et al.*, 2012).

2.4 Adaptabilidade e Estabilidade

Os estudos de adaptabilidade e de estabilidade fenotípica referem-se à avaliação de como ocorre a resposta diferencial dos genótipos à variação das condições de ambiente. Estes estudos têm sido uma forma muito difundida, entre os melhoristas de plantas, para avaliar novos genótipos antes de sua recomendação como cultivares (MARQUES *et al.*, 2011).

Assim, na última fase dos programas de melhoramento de plantas, linhagens candidatas, com potencial de mercado, devem ser avaliadas sob uma variedade de condições semelhantes às reais condições que venham a sofrer quando em uso. Para ser bem sucedida, uma nova cultivar deve ter alta produtividade de grãos e alto desempenho, para características agronômicas, em uma ampla gama de condições ambientais (FERREIRA *et al.*, 2006).

O estudo da estabilidade e adaptabilidade é uma maneira de avaliar o fenômeno da interação entre genótipos e ambientes. Sendo de importância capital para o melhorista, cujo interesse maior é obter informações do ambiente, caracterizando-os como favoráveis ou desfavoráveis, e do genótipo, identificando aquele com capacidade de aproveitar o estímulo do ambiente, que apresente um comportamento previsível e que seja responsivo às variações ambientais em condições distintas (CRUZ *et al.*, 2012).

Melhoristas de plantas, normalmente, concordam sobre a importância da estabilidade elevada de produção, mas não necessariamente sobre a definição adequada de estabilidade (FERREIRA *et al.*, 2006). Dois conceitos de estabilidade fenotípica foram propostos por Becker e Leon (1988): a

estabilidade estática e a dinâmica. A estabilidade estática existe, quando um genótipo mantém o seu desempenho, independentemente, das variações do meio ambiente e, chamado de estabilidade biológica, com variância em ambientes, estatisticamente, iguais a zero. Na estabilidade dinâmica, o desempenho do genótipo varia com as mudanças ambientais, mas de uma forma previsível, ou seja, somente os desvios relacionados com a reação geral do genótipo contribuem para a instabilidade. Este tipo é chamado estabilidade agrônômica. Já a adaptabilidade refere-se à capacidade de uma cultivar aproveitar vantajosamente o estímulo do ambiente (BORÉM e MIRANDA, 2013).

Diferentes métodos estatísticos permitem inferir sobre a adaptabilidade e estabilidade fenotípica, com a identificação de genótipos estáveis e que podem ser recomendados para todos os ambientes, desde que apresentem características desejáveis aos objetivos do programa de melhoramento e superem as cultivares do mercado (DUARTE e VENCOVSKY, 1999).

Entre as metodologias estudadas, para adaptabilidade e estabilidade de genótipos, destacam-se os métodos baseados em análise de variância (PLAISTED e PETERSON, 1959; WRICKE, 1965; ANNICCHIARICO, 1992), regressão linear (FINLAY e WILKINSON, 1963; EBERHART e RUSSELL, 1966; TAI, 1971 e CRUZ *et al.*, 1989) e os métodos não paramétricos (LIN e BINNS, 1988; CARNEIRO, 1998; ROCHA *et al.*, 2005). A escolha de um método depende dos dados experimentais, principalmente, dos relacionados com o número de ambientes disponíveis, da precisão requerida e do tipo de informação desejada (CRUZ *et al.*, 2012).

2.4.1 Método proposto por Eberhart e Russell (1966)

Um dos métodos mais empregados por melhoristas de plantas para estudar a adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos é o de Eberhart e Russell (1966). Este método baseia-se na análise de regressão linear simples, na qual o efeito do ambiente é a variável independente e a produtividade média de cada genótipo, em cada ambiente, representa a variável dependente.

Nela a adaptabilidade é avaliada, por meio do coeficiente de regressão dos valores fenotípicos de cada genótipo (β_{1i}), em relação ao índice ambiental de análise de regressão linear, na qual é estimada uma equação de regressão para cada genótipo em teste. A estabilidade é calculada por meio dos desvios dessa regressão (δ_{ij}) e do coeficiente de determinação (R^2). O modelo estatístico é dado por:

$$\bar{Y}_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i} I_j + \delta_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Em que:

\bar{Y}_{ij} : média estimada de a cultivar i no ambiente j ;

β_{0i} : média do genótipo i em todos os ambientes;

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

I_j : índice ambiental codificado;

δ_{ij} : desvio da regressão da cultivar;

ε_{ij} : erro experimental médio.

Assim, torna-se possível estimar a resposta fenotípica de todo genótipo com base em índices de qualidade ambiental. Esta análise é capaz de fornecer estimativas referentes à estabilidade, bem como à adaptabilidade, ou seja, tanto os coeficientes de regressão dos valores fenotípicos de cada genótipo, em relação ao índice ambiental, quanto os desvios da regressão proporcionam estimativas de parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, respectivamente (CRUZ *et al.*, 2012).

A adaptabilidade pode ser estimada pelo coeficiente de regressão (β_1) e os genótipos podem ser classificados em genótipos de adaptabilidade ampla ou específica. Genótipos de adaptabilidade ampla são aqueles que apresentam coeficiente de regressão (β_1) igual a 1 (um), ou seja, este genótipo é capaz de apresentar bons resultados tanto em ambientes de ótima qualidade, quanto em ambientes ruins. Já os genótipos de adaptabilidade específica são aqueles capazes de apresentar bons resultados apenas em ambientes específicos, de acordo com a exigência de cada genótipo. Existem genótipos específicos, para ambientes de baixa qualidade ($\beta_1 < 1$), bem como

genótipos específicos para ambientes de ótima qualidade ($\beta_1 > 1$). Estes genótipos, normalmente, não são de grande interesse para os melhoristas, uma vez que as condições ambientais estão sempre flutuando e, assim, tais genótipos nunca apresentariam previsibilidade produtiva (CRUZ *et al.*, 2012).

Para o parâmetro de estabilidade, é tomada a estimativa dos desvios da regressão ($S_d^2 = \delta_i^2$) e são considerados estáveis aqueles genótipos que apresentam, estatisticamente, iguais a zero. Entretanto, algumas vezes, pode ocorrer que muitos dos genótipos avaliados, com produtividade média de grãos superior, apresentem (δ_i^2), estatisticamente, diferentes de zero, dificultando a seleção. Neste caso, uma medida auxiliar que pode ser utilizada para a comparação da estabilidade destes genótipos é o coeficiente de determinação R^2 (CRUZ *et al.*, 2012). Assim, a estabilidade está relacionada à previsibilidade de produção. Sendo assim, o genótipo mais estável será aquele que não apresentar desvios da regressão significativos ($S_d^2 = 0$), considerando-se um nível de probabilidade de erro α ou coeficiente de determinação (R^2) o mais próximo de 1.

De acordo com Eberhart e Russell (1966), a cultivar ideal é aquela com produção média alta (β_0), coeficiente de regressão igual a 1 ($\beta_1 = 1$), coeficiente de determinação (R^2), elevado e desvio da regressão (δ_d^2) nulo ou o menor possível, ou seja, aquela com resposta positiva à melhoria das condições de ambiente e de comportamento altamente previsível.

2.4.2 Método Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998)

O método Lin e Binns (1988) é baseado na análise não paramétrica que possibilita identificar uma ou mais cultivares mais estáveis por meio de um único parâmetro de estabilidade e adaptabilidade. Vem sendo muito utilizado por melhoristas de plantas, por se tratar de um método, relativamente, simples quanto a sua interpretação; e por proporcionar resultados seguros quanto à estabilidade produtiva dos genótipos (SANTOS, 2014).

Lin e Binns (1988) caracterizam as cultivares superiores por meio de um simples parâmetro P_i e define um genótipo superior como aquele que

apresenta *performance* próxima do máximo nos vários ambientes testados. Nesse caso, determina-se, para cada cultivar, a variância ou quadrado médio (P_i) tendo como referência o valor máximo de cada ambiente, cuja expressão é:

$$P_i = \frac{\sum_{j=1}^n (Y_{ij} - M_j)^2}{2.n}$$

Em que:

P_i : estimativa do parâmetro de adaptabilidade e estabilidade do genótipo i em relação ao máximo;

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

M_j : resposta média máxima do genótipo mais produtivo observada entre todos os genótipos no ambiente j ;

n : número de ambientes.

Posteriormente, o método de Lin e Binns (1988) foi modificado por Carneiro (1998) para suprir as necessidades de identificar genótipos superiores nos grupos de ambientes favoráveis e desfavoráveis. A modificação proposta por Carneiro (1998), preconiza a decomposição da medida P_{ig} o quadrado médio da distância entre a média da cultivar e a resposta média máxima para todos os ambientes, nas suas partes relativas a ambientes favoráveis (P_{if}) e desfavoráveis (P_{id}). A classificação dos ambientes em favoráveis ou desfavoráveis é efetuada por meio do índice de ambiente, que é a diferença entre a média dos genótipos avaliados em dado ambiente e a média geral dos experimentos.

Para ambiente favorável (índice de ambiente ≥ 0), estima-se:

$$P_{if} = \frac{\sum_{j=1}^f (Y_{ij} - M_j)^2}{2.f}$$

Em que P_{if} é a medida de adaptabilidade e estabilidade de comportamento do genótipo em ambientes favoráveis i ; Y_{if} é a produtividade do i -ésimo genótipo, no j -ésimo ambiente; M_j é a resposta máxima entre todos os genótipos no ambiente j e f é o número de ambientes favoráveis.

Para ambiente desfavorável (índice de ambiente ≤ 0), estima-se:

$$P_{id} = \frac{\sum_{j=1}^d (Y_{ij} - M_j)^2}{2 \cdot d}$$

Em que P_{id} é a medida de adaptabilidade e estabilidade de comportamento do genótipo, em ambiente desfavorável i ; Y_{ij} é a produtividade do i -ésimo genótipo, no j -ésimo ambiente; M_j é a resposta máxima entre todos os genótipos no ambiente j e d é o número de ambientes desfavoráveis.

Lin e Binns (1988) consideram como genótipo ideal aquele que apresenta menor valor para o P_i original, já Carneiro (1998) considera genótipos, a serem recomendados, para ambientes favoráveis ou desfavoráveis aqueles que apresentam menores valores de P_{if} ou P_{ij} , respectivamente.

2.4.3 Método de Annicchiarico (1992)

Annicchiarico (1992) considera que toda atividade agrícola envolve um risco e que este pode ser medido, ajudando no poder de decisão sobre o uso de cultivares. Assim, esta medida é estimada, por meio do índice de confiança ou índice de recomendação genotípico ($\omega_{i(g)}$), que representa a chance de uma cultivar i apresentar *performance* fenotípica superior à média geral do conjunto genotípico que está sendo avaliado.

O índice de recomendação genotípico leva em conta a adaptabilidade e a estabilidade, simultaneamente, pois utiliza, em seu cálculo, a média percentual de cada genótipo como parâmetro de adaptabilidade e os desvios de cada genótipo nos ambientes, como parâmetro de estabilidade (CRUZ *et al.*, 2014). Assim, o índice de confiança genotípico $\omega_{i(g)}$, proposto por Annicchiarico, é dado por:

$$\omega_{i(g)} = \mu_{i(g)} - Z_{(1-\alpha)} \sigma_{zi(g)}$$

Em que $\mu_{i(g)}$ é a média percentual dos genótipos i ; $Z_{(1-\alpha)}$ é o percentual da função de distribuição normal padrão; $\sigma_{(g)}$ é o desvio-padrão

dos valores Z_{ij} , associado ao i -ésimo genótipo. Conforme Annicchiarico (1992), os maiores valores do índice de recomendação ($\omega_{i(g)}$) serão adquiridos pelos genótipos que exibirem maior média percentual (μ_i) e o menor desvio (σ_{zi}), representando, assim, os genótipos mais estáveis.

O índice deve ser calculado para os ambientes favoráveis ($\omega_{i(f)}$) e desfavoráveis ($\omega_{i(d)}$). Annicchiarico (1992) não define qual o melhor valor de significância a ser adotado. Porém alguns autores assumem o valor de $\alpha = 0,25\%$ para o nível de significância. Assim, se uma cultivar obtiver índice igual a 103,0%, quer dizer que, com 75% de probabilidade, esta cultivar terá desempenho 3% superior à média ambiental (PEREIRA *et al.*, 2009).

Este método apresenta a vantagem de poder ser aplicado nas situações em que se dispõe de um número restrito de ambientes. Gomes et al. (2002) afirmam que o método de Annicchiarico tem a vantagem de auxiliar na recomendação das cultivares considerando o risco de apresentarem desempenho abaixo de um dado padrão, como, por exemplo, a média geral. Quanto maior o índice de confiança da cultivar, menor será sua probabilidade de insucesso.

2.4.4 Método de Cruz, Torres e Vencovsky (1989)

A metodologia proposta por Cruz, Torres e Vencovsky (1989), é operacionalmente simples e com propriedades estatísticas adequadas aos propósitos do melhoramento (CRUZ *et al.*, 2012). Baseia-se na análise de regressão bissegmentada, considerando como parâmetros de adaptabilidade a média (β_0) e a resposta linear aos ambientes favoráveis ($\beta_{1i} + \beta_{2i}$) e desfavoráveis (β_{1i}). A estabilidade dos genótipos é avaliada pelos desvios de regressão (δ_{ij}) de cada genótipo e pelo valor do coeficiente de determinação (R^2), em função das variações ambientais. O modelo segue a equação:

$$Y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i}I_j + \beta_{2i}T(I_j) + \delta_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Em que:

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

β_{0i} : média geral do i -ésimo genótipo;

β_{1i} : coeficiente de regressão linear;

$\beta_{1i} + \beta_{2i}$: resposta do i -ésimo genótipo à melhoria nos ambientes favoráveis

I_j : índice ambiental codificado ($\sum_j I_j = 0$). Em que se $I_j \leq 0$, então, $T(I_j) = 0$, no entanto, se $I_j > 0$, então, $T(I_j) = I_j - I_+$, sendo o I_+ a média dos índices (I_j) positivos. Nesta metodologia o índice ambiental é calculado conforme descrito por Eberhart e Russell (1966). São utilizadas as seguintes medidas para avaliação da adaptabilidade e estabilidade: β_{0i} é a média geral do i -ésimo genótipo; β_{1i} é a resposta do i -ésimo genótipo à melhoria nos ambientes desfavoráveis; $\beta_{1i} + \beta_{2i}$ resposta do i -ésimo genótipo à melhoria nos ambientes favoráveis; e δ_{ij} é a média da estabilidade ou previsibilidade do i -ésimo genótipo, baseado no modelo linear bissegmentado.

Um genótipo desejável, por essa metodologia, seria aquele que apresentasse alta média de produção (β_{0i}), baixo β_{1i} (inferior a um), $\beta_{1i} + \beta_{2i}$ maior que um e coeficiente de determinação (R^2) acima de 80%.

2.5 Inteligência computacional

A Inteligência Computacional (IC) possui vasta abrangência e relação com diversas áreas do conhecimento, sendo vista como uma ciência cujo objetivo é compreender e construir entidades inteligentes (RUSSEL e NORVIG, 2013). Ela é caracterizada pelo uso intensivo de dados, dada a relação simbiótica entre o computador e o especialista e pelo emprego de técnicas que apresentam algum tipo de adaptação, aprendizado ou evolução (KORDON, 2010). Por intermédio da IC pode-se simular capacidades cognitivas de um ser humano. Isso acontece, pois projetam-se máquinas capazes de exibir um comportamento inteligente, semelhante às reações humanas (RAUBER, 2005).

Assim, a IC é uma área da ciência da computação e matemática, que permite a transferência do conhecimento humano às máquinas. Com base neste conhecimento, as máquinas vão interpretar, raciocinar e agir para tomar decisões, realizar tarefas ou solucionar problemas que se aproximem de situações reais. Existem várias técnicas e metodologias que podem

auxiliar no processo de solução de um problema, uma das principais é a lógica *fuzzy*.

2.5.1 Lógica *Fuzzy*

A lógica *fuzzy* traduz em valores numéricos expressões verbais, vagas, imprecisas e qualitativas, comuns na comunicação humana, permitindo converter a experiência humana em uma linguagem decodificável por computador (SIMÕES e SHAW, 2011).

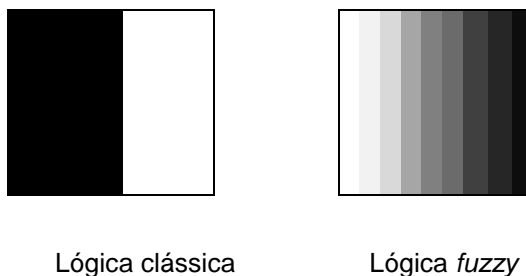
Também conhecida como lógica nebulosa ou difusa, a lógica *fuzzy* foi apresentada em 1965, por Lotfi A. Zadeh, professor no departamento de engenharia elétrica e ciências da computação da Universidade da Califórnia, em Berkeley, por meio da publicação do artigo *Fuzzy Sets* no jornal *Information and Control* (ZADEH, 1965). Neste artigo, Zadeh demonstrou, de forma matemática o tratamento dos aspectos imprecisos e ambíguos apresentados na lei da contradição. Nesta lei, proposta por Jan Lukasiewicz, em 1930, uma determinada afirmação pode ser verdadeira e falsa ao mesmo tempo. Isso se torna possível desde que não apresente apenas dois níveis, verdadeiro e falso, mas, sim, um grau de verdade, existindo, assim, vários níveis (KANDEL, 1986 e CAMPOS FILHO, 2004).

A lógica *fuzzy* é baseada na teoria dos conjuntos *fuzzy*, enquanto na teoria dos conjuntos um determinado elemento pertence ou não a um conjunto e a cada elemento é associado o valor de 1 ou 0, discriminando um elemento como membro ou não membro, respectivamente. Na lógica *fuzzy*, um elemento pode ser associado a qualquer valor, dentro de um intervalo fechado de 0 a 1, de tal forma que esse número indica o grau de pertinência do elemento dentro de um conjunto. Isto é, um elemento pode não pertencer a um conjunto (valor 0), pertencer ao conjunto (valor 1) ou pode pertencer, parcialmente, ao conjunto ($0 < \text{valor} < 1$) (BRESSAN *et al.*, 2008).

Este conceito contrapõe-se ao da lógica clássica, bivalente, fundada por Aristóteles, segundo a qual uma determinada proposição somente pode assumir os valores: verdadeiro ou falso, representados respectivamente, pelos números 0 e 1, excluindo-se, definitivamente, qualquer possibilidade de ocorrerem valores intermediários. Trata-se do Princípio do Meio Excluído

(BOYER, 2012). De modo figurativo, enquanto a lógica clássica enxerga apenas o preto e o branco, a lógica *fuzzy* é capaz de, além do preto e o branco, enxergar vários tons de cinza, ilustrada na figura 1.

Figura 1 – Desenho comparativo da lógica clássica e da *fuzzy*



Fonte: Da autora.

2.5.1.1 Conjuntos *fuzzy*

Um conjunto *fuzzy* é caracterizado por uma função de pertinência (característica), em que a transição de não pertinência para pertinência é gradual, não abrupta dentro de um intervalo entre zero e um (ZADEH, 1965). Ela está baseada no fato de que os conjuntos existentes no mundo real não possuem limites precisos. Logo, é compreendido como um agrupamento impreciso e indefinido, ou seja, não possui contorno bem definido.

Na teoria clássica de conjuntos, o conceito de pertinência de um elemento a um conjunto é definido por uma função de pertinência f_A , mapeada em um conjunto A de um universo X :

$$f_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{se e somente se } x \in A \\ 0 & \text{se e somente se } x \notin A \end{cases}$$

Na extensão para a teoria de conjuntos *fuzzy*, a função de pertinência passa a ter uma abrangência maior, assumindo valores no intervalo $[0,1]$. Um conjunto *fuzzy* A do universo X é definido por uma função de pertinência $\mu_A(x) : X \rightarrow [0,1]$ e representado por um par ordenado $A \{(x, \mu_A(x) \mid x \in X)\}$, em que $\mu_A(x)$ indica o quanto x é compatível com A .

Com base nessa definição, pode-se afirmar que um elemento x_1 pertence ao conjunto A $\mu_A(x_1) = 1$; não pertence ao conjunto A $\mu_A(x_1) = 0$; ou pode pertencer ao conjunto A com um determinado grau de pertinência, com valores $\mu_A(x_1) \in (0,1)$.

2.5.1.2 Operações *fuzzy*

Assim como na teoria clássica dos conjuntos, na teoria dos conjuntos *fuzzy*, existem operações típicas como união ($A \cup B$), intersecção ($A \cap B$) e complemento ($\neg A$). Essas operações básicas de em conjuntos *fuzzy* são, geralmente, definidas em função dos operadores máximo (max) e mínimo (min), os quais são análogos aos operadores produto e soma da álgebra elementar (ZADEH, 1965). Utilizando as funções max e min, em dois conjuntos *fuzzy* A e B , definidos em um conjunto universo X , tem-se as definições:

- Conjunto União. O conjunto união C entre dois conjuntos *fuzzy* A e B , pertencentes a um mesmo conjunto universo, $C = A \cup B$, é definido como:

$$\{x \in X: C(x) = \text{Max} [\mu_A(x), \mu_B(x)] = \mu_A(x) \vee \mu_B(x)\}$$

- Conjunto Intersecção. Sejam A e B dois conjuntos *fuzzy* de X . O conjunto de intersecção de A e B , $D = A \cap B$, é definido como:

$$\{x \in X: D(x) = \text{min} [\mu_A(x), \mu_B(x)] = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x)\}$$

- Conjunto Complemento. O conjunto complemento de um conjunto *fuzzy* A normalizado, pertencente ao conjunto universo X , é formado pela subtração de $\mu_A(x)$ do valor unitário. Formalmente, há:

$$\{x \in X: \mu_{\neg A}(x) = 1 - \mu_A(x)\}$$

Na figura 2, ilustram-se exemplos de gráficos de união, intersecção e complemento de conjuntos *fuzzy*. As operações de união e intersecção assim definidas podem ser vistas como casos especiais de situações abrangentes de agregação de conjuntos nebulosos (BOTELHO, 2012).

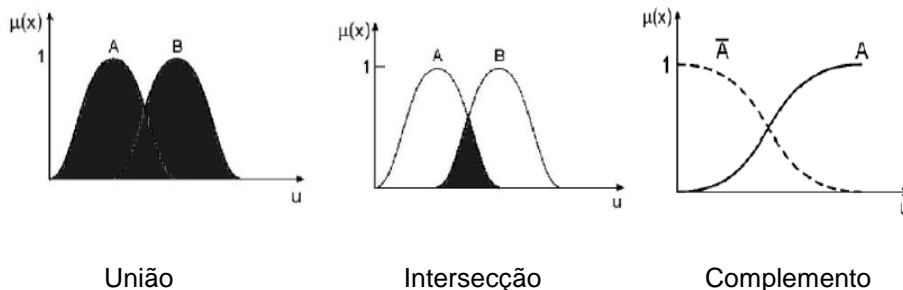


Gráfico 2 - Representação gráfica das operações *fuzzy*.
Fonte: BOTELHO, 2012, p 20.

2.5.1.3 Variáveis linguísticas *fuzzy*

Uma variável linguística é um conjunto de termos linguísticos, que são nomes ou rótulos representados por conjuntos *fuzzy*, dentro de um determinado universo de discurso. A lógica *fuzzy* prevê o uso destas variáveis, de forma que sejam usadas como símbolos mais adequados à formulação de proposições naturais em comparação com valores numéricos (SIMÕES e SHAW, 2011).

Na figura 3, pode-se visualizar uma representação *fuzzy* para a temperatura ambiente. Por exemplo, 18° C não é totalmente agradável. Pode-se dizer, contudo, que 18° C possui uma pertinência 0,45 que é frio, e, ao mesmo tempo, 0,30 que é agradável. Assim, 18° C está mais para frio do que para agradável, mas não deixa de ser um pouco agradável (CORNOLL-SPINA, 2010).

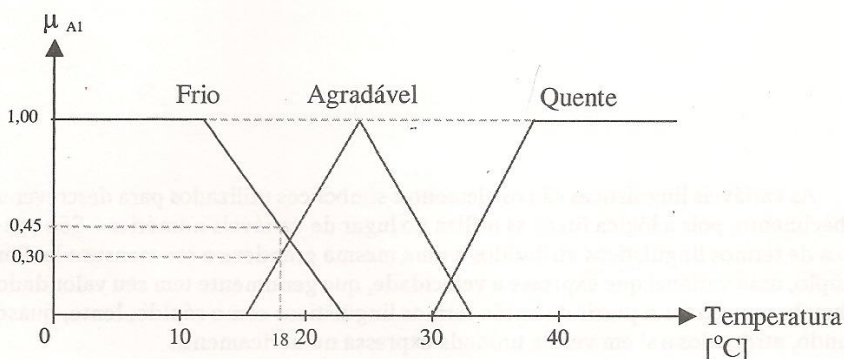


Gráfico 3 – Representação *fuzzy* da variável linguística temperatura.
Fonte: CORNOLL-SPINA, 2010.

O principal objetivo das variáveis linguísticas é fornecer uma maneira sistêmica, para caracterização aproximada de fenômenos mal definidos, permitindo o tratamento de sistemas complexos para análise por intermédio de termos matemáticos (SIMÕES e SHAW, 2011). Segundo Martínez et al. (2010), um valor linguístico é menos preciso que um número, porém é mais próximo do processo cognitivo humano, usado, com sucesso, para tratar problemas que envolvem incerteza.

2.5.1.4 Função de Pertinência

As funções de pertinência são representações de um conjunto *fuzzy* com base em relações existentes entre os valores dos elementos e seus respectivos graus de pertinência. Estas funções descrevem uma curva no plano, cujos pontos representam o valor de pertinência no intervalo $[0, 1]$ em função dos respectivos valores pertencentes ao universo (DHAR, 2012). Assim, cada conjunto *fuzzy* é caracterizado pela sua função de pertinência, geralmente, são representados por $\mu(x)$.

Considerando que um conjunto *fuzzy* é uma generalização de um conjunto clássico, a função de pertinência é uma generalização da função característica destes conjuntos (ZIMMERMANN, 2001). É por intermédio dela que será determinado o quanto um determinado elemento pertence ao conjunto.

De acordo com sua aplicação ou a maneira de representar em um determinado contexto, existem diferentes tipos de funções de pertinência, utilizadas na lógica *fuzzy*, sendo elas:

A função forma de Z (“*zmf*”), representada pela função:

$$f(x; a, b) = \begin{cases} 1, & x \leq a \\ 1 - 2 \left(\frac{x-a}{b-a} \right)^2, & a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 2 \left(\frac{x-b}{b-a} \right)^2, & \frac{a+b}{2} \leq x \leq b \\ 0, & x \geq b \end{cases}$$

em que “a” e “b” são os pontos em que assumem valores de pertinências igual a 1 e nula, respectivamente.

A função forma de S (“smf”), representada pela função:

$$f(x; a, b) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ 2 \left(\frac{x-a}{b-a} \right)^2, & a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 1 - 2 \left(\frac{x-b}{b-a} \right)^2, & \frac{a+b}{2} \leq x \leq b \\ 1, & x \geq b \end{cases}$$

em que “a” e “b” são os pontos em que assumem valores de pertinências nula e igual a 1, respectivamente.

A função “π” (“pimf”), representada pela função:

$$f(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ 2 \left(\frac{x-a}{b-a} \right)^2, & a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 1 - 2 \left(\frac{x-b}{b-a} \right)^2, & \frac{a+b}{2} \leq x \leq b \\ 1 - 2 \left(\frac{x-c}{d-c} \right)^2, & c \leq x \leq \frac{c+d}{2} \\ 2 \left(\frac{x-d}{d-c} \right)^2, & \frac{c+d}{2} \leq x \leq d \\ 0, & x \geq d \end{cases}$$

em que a e d são os valores que assumem valores de pertinência nulos e entre b e c as pertinências assumem valores iguais a 1.

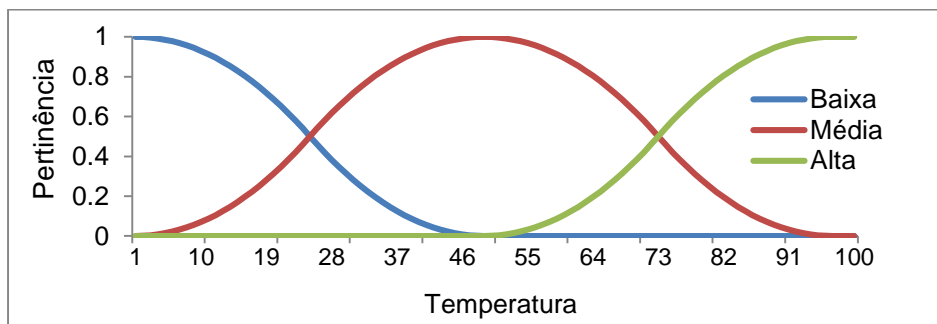


Gráfico 4 - Gráfico das funções de pertinência na forma de Z (*zmf*), forma de " π " (*pimf*) e forma de S (*smf*), para representar a variável fuzzy linguística – "Temperatura" – utilizando as funções de pertinência – "Baixa", "Média" e "Alta", respectivamente.

Fonte: Da autora.

A Função Triangular é representada pela função:

$$f(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases}$$

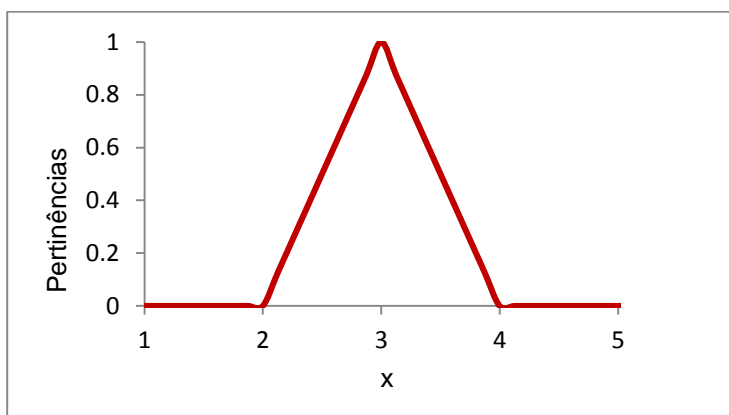


Gráfico 5 - Gráfico da função triangular

Fonte: Da autora.

O gráfico 5 mostra-se o gráfico de uma função triangular cujos valores de a , b e c são, respectivamente, 2, 3, e 4.

A Função Trapezoidal é representada pela função:

$$f(x, a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases}$$

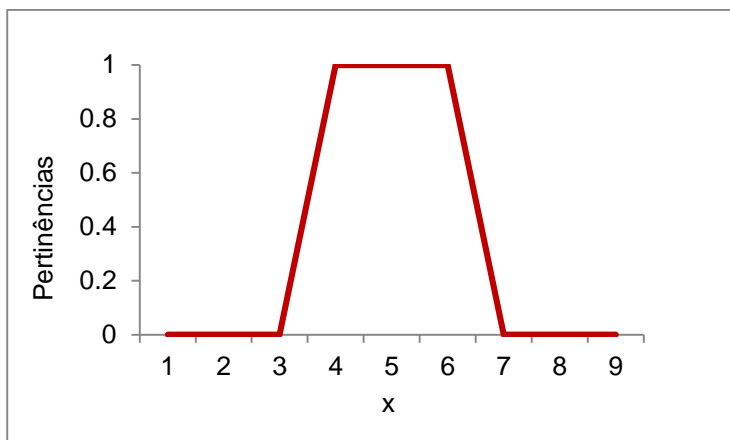


Gráfico 6 - Gráfico da função trapezoidal.

Fonte: Da autora.

O gráfico 6 mostra-se um gráfico de uma função trapezoidal cujos valores de a, b, c e d são, respectivamente, 3, 4, 6 e 7.

A Função Gaussiana é representada pela função:

$$f(x, \sigma, c) = \varepsilon \frac{-(x-c)^2}{2\sigma^2}$$

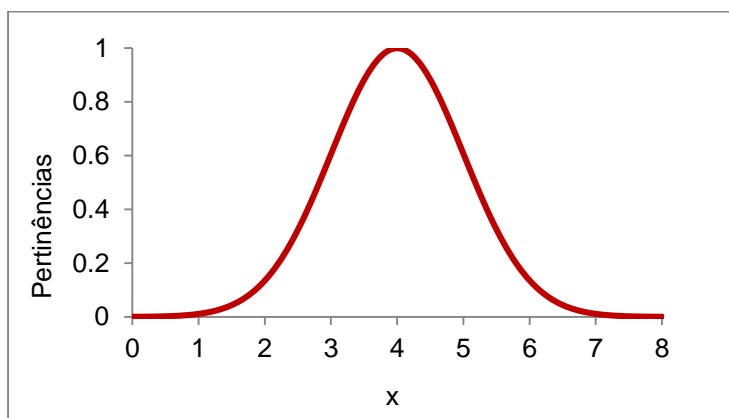


Gráfico 7 - Gráfico com função Gaussiana.

Fonte: Da autora.

2.5.1.5 Sistema lógico *fuzzy*

O sistema lógico *fuzzy* (SLF) ou raciocínio *fuzzy* (Figura 7) é uma técnica utilizada, para resolver problemas em diversas áreas do conhecimento, que se apropria dos conceitos da lógica *fuzzy*, para modelar processos, mediante os conhecimentos subjetivos de especialistas, o que conduz a uma abordagem diferente da dos métodos convencionais de controle de processos desenvolvidos pela modelagem matemática (REZENDE, 2012). O SLF está estruturado em quatro componentes básicos: fuzzificador, regras, inferência e defuzzificador, como mostra o esquema na Figura 7.

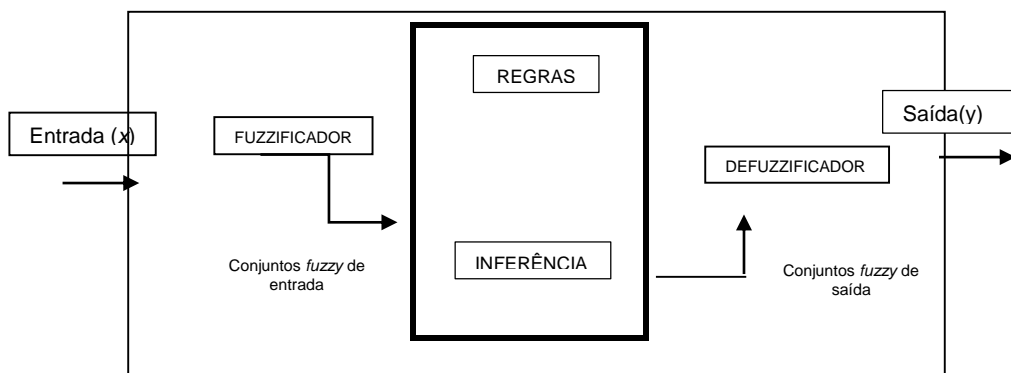


Figura 8 - Esquema do sistema lógico *fuzzy*.
Fonte: Adaptado de REZENDE, 2012, p 30.

Na Figura 8, o sistema lógico *fuzzy* é interpretado como um mapeamento de entrada e saída, por meio do modelo matemático $y = f(x)$, em que o valor y é obtido pela transformação do valor x . O x representa as variáveis linguísticas de entrada, $f(x)$ é uma função constituída das operações executadas nos componentes básicos - fuzzificador, regras, máquina de inferência e defuzzificador – e y são as variáveis numéricas de saída, que executam as ações demandadas pelo sistema (REZENDE, 2012).

No fuzzificador, consideram-se entradas precisas (não *fuzzy*), resultantes de medições ou observações, nas quais, para cada valor de um dado, ocorre a ativação de uma função de pertinência, para que seja possível fazer o mapeamento dos dados de entrada para os valores *fuzzy*

(KOHAGURA, 2007; TANSCHKEIT, 2003). No processo de fuzzificação, o vetor de pertinências de entrada é calculado com base no valor numérico de entrada e da discretização *fuzzy* de entrada (BOENTE, 2015). Na etapa de fuzzificação, é desejável que um especialista do fenômeno a ser modelado auxilie na formulação das funções de pertinência para cada conjunto *fuzzy* envolvido no processo (BOTELHO, 2012).

Após a fuzzificação, em que são determinados os graus de pertinência de cada conjunto, com os dados resultantes são realizadas as regras do tipo Se <condições> Então <conclusão>, que tem como objetivo obter uma solução aproximada para um dado problema (KOHAGURA, 2007; BOTELHO, 2012). Segundo Oliveira Jr (1999) e Simões e Shaw, (2011), as regras são criadas de formas empíricas, podendo ser fornecidas por especialistas, em forma de sentenças linguísticas e constituem em aspecto fundamental no desenvolvimento de um sistema de inferência *fuzzy*.

Um modelo, baseado nas regras do Se-Então, serve para caracterizar um sistema de acordo com uma quantidade de dados de entrada e saída. Esta forma de raciocínio é definida da seguinte maneira: Antecedente – Se x é A ; Consequente – Então y é B , sendo x a variável de entrada e y a variável de saída. Assim, A e B serão os valores linguísticos associados aos conjuntos *fuzzy* que descrevem a variável em questão. Neste caso, a regra “Se x é A então y é B ” associa uma função de pertinência $f: A \rightarrow B(x, y)$, que mede o grau de veracidade de uma implicação (COSTA, 2014).

Outro aspecto importante é a quantidade de regras que varia de um sistema para outro (em função da quantidade de entradas e saídas), mas deve existir uma quantidade suficiente de forma que possa abranger todas as possíveis combinações das entradas e saídas, pois, caso contrário, pode acontecer uma combinação de entradas em que o sistema não saberá como proceder (SIZILIO, 2012).

A inferência é a etapa em que as regras são “traduzidas” e analisadas, ao mesmo tempo, por meio de técnicas da lógica *fuzzy*, resultando a criação de novos conjuntos *fuzzy* dessa análise, ela é realizada

mapeando-se valores linguísticos de entrada em valores linguísticos de saída com o uso da base de regras (BOTELHO, 2012; BOENTE, 2015).

Nela são determinados os graus de pertinência de cada elemento ao conjunto. Dados dois conjuntos *fuzzy* A e B e os respectivos complementares A e B, para a realização da inferência *fuzzy*, existem dois procedimentos de inferência entre esses conjuntos, o *Modus Ponens* Generalizado (MPG) e o *Modus Tollens* Generalizado (MTG). O MPG tem a regra: se x é A, então, y é B. Esta regra permite a implicação de valores *fuzzy* que são se x é A, então, y é B. O MTG tem a regra: se x é A, então, y é B, que permite a implicação: se y é B, então, x é A (RAMOS, 2011).

Existem vários métodos de inferência e a escolha por um deles depende do sistema que está sendo analisado. Entretanto, o método mais utilizado, pela sua simplicidade e por se adaptar muito bem aos controladores *fuzzy*, é o método de Mamdani (MASSAD *et al.*, 2004).

A defuzzificação é um procedimento que possibilita interpretar a distribuição de possibilidade da saída de um conjunto *fuzzy* de modo quantitativo, ou seja, fornece um valor numérico representativo que captura o significado essencial dessa distribuição de possibilidades. De acordo com Simões e Shaw, (2011), na defuzzificação, o valor da variável linguística de saída inferida pelas regras *fuzzy* será traduzido num número. O objetivo é obter um único valor numérico que melhor represente os valores *fuzzy* inferidos da variável linguística de saída. Existem muitas técnicas de defuzzificação e, entre eles, as mais utilizadas são: bissetor, centroide, média dos máximos, maior dos máximos e menores dos máximos (MAMDANI, 1974).

No método centro da área (centroide), calcula-se o centro da área do conjunto de saída (CS), gerado no estágio de inferência e determina sua projeção sobre o eixo x, que é o valor de saída de controle. No método bissetor, o valor de saída do estágio de defuzzificação é a posição exata que divide o CS em duas áreas úteis. Na média dos máximos (média dos centros), realiza-se a média aritmética de todos os valores do CS e é utilizada em substituição ao critério dos máximos, há mais de um máximo na função. No método maior dos máximos, realiza-se a procura do valor máximo do CS.

A sua posição projetada sobre o eixo x será a saída do estágio de defuzzificação e o método menor dos máximos é um método alternativo ao critério dos máximos, pois neste é escolhido o menor valor máximo encontrado na varredura do conjunto CS (MATHWORKS, 2015).

2.5.1.6 Modelo *fuzzy* de Mamdani

Como já visto acima, o sistema lógico *fuzzy* ou sistema de inferência *fuzzy* apresenta uma estrutura, com base em um conjunto de regras *fuzzy*, que consiste, basicamente, no fuzzificador, regras, inferência e o defuzzificador.

Dentre elas, a etapa de inferência é caracterizada como sendo o processo de execução de operações *fuzzy*, ao longo de regras de Se-Então, para processar, por meio de um mecanismo de inferência, as informações de entrada e produzir uma conclusão (COSTA, 2014). Existem alguns métodos de inferência, destacando-se o Método de Mamdani (1974), por ser mais utilizado no estágio de inferência, por sua simplicidade e eficiência, além de ser bastante condizente com a intuição humana (SIZILIO, 2012).

No método de inferência de Mamdani (MAMDANI e ASSILIAN, 1975), uma regra Se - Então é definida pelo produto cartesiano *fuzzy* dos conjuntos *fuzzy* que compõem o antecedente (premissa) e o conseqüente da regra. Este método agrega as regras, por meio do operador lógico OU, que é modelado pelo operador máximo e, em cada regra, o operador lógico E é modelado pelo operador mínimo. As duas regras são:

Regra 1: SE (x é A_1 e y é B_1) ENTÃO (z é C_1).

Regra 2: SE (x é A_2 e y é B_2) ENTÃO (z é C_2).

2.6 Aplicações da lógica *fuzzy*

A lógica *fuzzy* pode ser definida como a parte da lógica matemática, dedicada aos princípios formais do raciocínio incerto ou aproximado, portanto mais próxima do pensamento humano e da linguagem natural. De acordo com Zadeh (1965), a lógica *fuzzy* trata-se de uma modelagem matemática que permite trabalhar com pontos de imprecisão. Ela é utilizada na resolução

de problemas de automação de processos, na qual a modelagem convencional não consegue otimizar a resposta (SIMÓES e SHAW, 2011 e GOMIDE e GUDWIN, 1994). Em razão desta propriedade e da capacidade de realizar inferências, a lógica *fuzzy* tem encontrado grandes aplicações em várias áreas (BEZDEK e PAL, 1992), para explicar fatos que a matemática clássica não consegue modelar. Assim, os sistemas baseados em regras *fuzzy* apresentam uma gama de aplicações para solucionar problemas.

Nas Ciências Agrárias, o uso da lógica *fuzzy* é variado. Dentre eles: na irrigação e conservação na agricultura (GIUSTI e MARSILI-LIBELLI, 2015); na determinação da evapotranspiração (KISI e KERMANI, 2013); na seleção de genótipos de trigo (ISLAM, *et al.*, 2012); no sistema de suporte à adubação nitrogenada (PAPADOPOULOS *et al.*, 2011); na determinação da produtividade do solo em função de suas características físicas e químicas (DURU *et al.*, 2010); na produção de clorofila no Brasil (PEREIRA *et al.*, 2009c) e na determinação do risco por infestação de plantas daninhas em lavouras foram mais precisos (BRESSAN *et al.*, 2008).

No melhoramento de plantas, Carneiro (2015) aplicou a lógica *fuzzy*, por meio de controladores, como ferramenta auxiliar na avaliação do comportamento de linhagens de feijoeiro comum do grupo vermelho em diferentes ambientes. Este autor baseou-se, nos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de Eberhart e Russell (1966) e Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), para desenvolver controladores *fuzzy* com sistema de inferência Mamdani e Sugeno. A partir disso, ele verificou que os controladores *fuzzy* podem ser aplicados para determinar o comportamento das linhagens e que as técnicas de inteligência computacional apresentam grande potencial em um programa de melhoramento.

3 OBJETIVOS

Utilizar as metodologias de lógica *fuzzy*, aplicada por Carneiro (2015), a fim de auxiliar no processo de recomendação de cultivares de feijoeiro comum quanto à adaptabilidade e estabilidade.

Desenvolver controladores *fuzzy* para automatizar a tomada de decisão em estudos de adaptabilidade e estabilidade, no melhoramento

genético do feijoeiro comum, pelos métodos de Cruz, Torres e Vencovsky (1989) e de Annicchiarico (1992).

Verificar a eficiência dos controladores desenvolvidos utilizando dados experimentais com cultivares de feijoeiro comum.

CAPÍTULO 2 – ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE CULTIVARES DE FEIJOEIRO COMUM ESTIMADA POR MEIO DA LÓGICA FUZZY

RESUMO

O feijoeiro comum é cultivado em praticamente todo Brasil, envolve pequenos e grandes produtores, em diversificados sistemas de produção, levando a ocorrência da interação entre genótipos e ambientes (G x A), que é bem marcante nos programas de melhoramento. Para conhecer o seu efeito, estudos de adaptabilidade e estabilidade são necessários. Na cultura do feijoeiro, os métodos, propostos por Eberhart e Russell (1966) e Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), são os mais utilizados. Porém, a tomada de decisões depende de experiência do melhorista, uma vez que se deve basear em vários parâmetros. Esta tomada de decisão torna-se, ainda, mais difícil quando é avaliado um grande número de genótipos. Nesta situação, a automação da tomada de decisão por técnicas de inteligência computacional é uma alternativa, pois, além de reduzir o trabalho, amplia e torna o processo eficaz. Para este fim, destaca-se pela sua funcionalidade a chamada lógica *fuzzy*. Diante do exposto, objetivou-se utilizar as metodologias de lógica *fuzzy*, aplicada por Carneiro (2015), a fim de auxiliar no processo de recomendação de cultivares de feijoeiro comum quanto à adaptabilidade e estabilidade. Os ensaios constituíram-se de 18 cultivares de feijoeiro comum, conduzidos em 11 ambientes, nos municípios de: Ponta Grossa - PR, Santo Antônio de Goiás - GO e Uberlândia - MG, nas safras das “águas”, “seca” e “inverno” em 2006, 2007, 2008 e 2010. O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com três repetições. Foi realizada análise de variância individual e conjunta, teste de método de agrupamento de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância e análises de adaptabilidade e estabilidade pelos métodos de Eberhart e Russell (1966) e Lin e Binns modificado por Carneiro (1998). Para todas as análises, foi utilizado o software R por meio de programação. Os controladores *fuzzy* desenvolvidos foram fundamentados, no sistema de inferência *fuzzy*, proposto por Mamdani, baseados no método de Eberhart e Russell (1966) ou em conjunto com o método Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998). As cultivares BRS MG Pioneiro, BRS Pontal, IAC Tybatã e IPR Juriti apresentam-se como adaptadas a ambientes favoráveis e desfavoráveis. Já as cultivares BRS Estilo, Campeão 2 e Pérola foram classificadas como adaptadas a ambientes favoráveis. A IPR Saracura foi classificada com adaptação a ambientes desfavoráveis apenas pela junção do método de Eberhart e Russell (1966) e Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998). Os métodos de lógica *fuzzy* utilizados possibilitaram a classificação de todas as cultivares de forma adequada e apresentaram resultados semelhantes para a maioria dos casos. O modelo híbrido, baseado nos métodos de Eberhart e Russell (1966) e Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998) permitiu distinguir melhor a reação das cultivares as variações ambientais.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L.. Interação genótipo com ambiente. Inteligência computacional. Feijão carioca. Melhoramento genético

CHAPTER 2 - ADAPTATION AND STABILITY OF BEAN COMMON-CULTIVARS ESTIMATED THROUGH FUZZY LOGIC

ABSTRACT

The common bean is grown in almost all Brazil, involves small and large producers in diversified production systems, leading to occurrence of the interaction between genotype and environment (G x E), which is well marked in breeding programs. To know your purpose, adaptability and stability studies are needed. In the bean crop, the methods proposed by Eberhart and Russell (1966) and Lin and Binns (1988) modified by Carneiro (1998) are the most used. However, the decision making depends breeder's experience, since it must be based on various parameters. This decision making becomes even more difficult when it is evaluated a large number of genotypes. In this situation, automation of decision making by computational intelligence techniques is an alternative, as well as reducing the work expands and makes the process effective. To this end, it stands out for its functionality so-called fuzzy logic. Given the above, aimed to use fuzzy logic methodologies applied by Carneiro (2015), to assist in the recommendation process of common bean cultivars for adaptability and stability. The tests consisted of 18 common bean cultivars grown in 11 environments in the cities of Ponta Grossa - PR, Santo Antônio de Goiás - GO and Uberlândia - MG, in crops of "water", "dry" and "winter" in 2006, 2007, 2008 and 2010. The experimental design was a randomized block design with three replications. Analysis of individual and joint variance was performed grouping method test Scott-Knott at 5% significance and analysis of adaptability and stability by the methods of Eberhart and Russell (1966) and Lin and Binns modified by Carneiro (1998). For all analyzes, we used the R software through programming. The fuzzy controllers were developed based on fuzzy inference system proposed by Mamdani based on the method Eberhart and Russell (1966) or in conjunction with the method of Lin and Binns (1988) modified by Ram (1998). The BRS MG Pioneer, BRS Pontal, IAC Tybatã and IPR Juriti present themselves as adapted to favorable and unfavorable environments. Already BRS Estilo cultivars, Campeão 2 and Peróla was classified as adapted to favorable environments. The IPR Saracura was classified with adaptation to unfavorable environments only by attaching the method Eberhart and Russell (1966) and Lin and Binns (1988) modified by Ram (1998). The fuzzy logic methods enabled a classification of all cultivars appropriately and presented similar results for most cases. The hybrid model, based on the methods of Eberhart and Russell (1966) and Lin and Binns (1988) modified by Carneiro (1998) allowed better distinguish the reaction of cultivars environmental variations.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L.. Genotype with environment. Computational intelligence. Common beans Carioca. Genetical enhancement.

1 INTRODUÇÃO

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma cultura de grande importância social e econômica para o Brasil, pois constitui alimento básico na dieta da população. Seu cultivo ocorre em praticamente todas as regiões brasileiras, envolve pequenos e grandes produtores, em diversificados sistemas de produção e épocas de plantio (VIEIRA *et al.*, 2013).

Como as condições de cultivo do feijoeiro comum são bastante diversificadas, a interação entre genótipos e ambientes (G x A) é bem marcante nos programas de melhoramento. Assim, devem-se buscar alternativas para conhecer o efeito desta interação. Entre essas alternativas, merecem destaque as análises de adaptabilidade e estabilidade fenotípica, que fornecem informações detalhadas sobre o comportamento das cultivares (CRUZ *et al.*, 2012).

O estudo da estabilidade e adaptabilidade é uma maneira de avaliar o fenômeno da interação entre genótipos e ambientes, sendo de importância capital para o melhorista. O principal interesse é obter informações do ambiente, caracterizando-os como favoráveis ou desfavoráveis. E, também, do genótipo, identificando aquele com capacidade de aproveitar o estímulo do ambiente, que apresente um comportamento previsível e que seja responsivo às variações ambientais em condições distintas (CRUZ *et al.*, 2012).

Existem diferentes métodos para o estudo da adaptabilidade e estabilidade. Na escolha do método ou métodos a serem empregados, devem-se considerar aspectos como o número de ambientes disponíveis, precisão requerida, tipo de informação desejada, facilidade de análise e de interpretação dos resultados (CRUZ *et al.*, 2012). Na cultura do feijão, as metodologias de Eberhart e Russell (1966) e de Lin e Binns (1988) estão entre as mais utilizadas (BORGES *et al.*, 2000; CARBONELL *et al.*, 2001; BACKES *et al.*, 2005; MELO *et al.*, 2007; SANTOS, 2014; BARILI, 2015 e VILELA, 2015). Isso porque esses métodos agregam adaptabilidade, estabilidade e produtividade em uma única estatística. Além de serem simples, fáceis de aplicar e interpretar e proporcionarem resultados seguros

sobre os genótipos (RIBEIRO *et al.*, 2008; NASCIMENTO *et al.*, 2013 e SANTOS, 2014).

As metodologias de adaptabilidade e estabilidade são importantes e imprescindíveis, no melhoramento de plantas, porém, frequentemente complicadas e difíceis de interpretar quando envolve grande número de genótipos e ambientes, dificultando o trabalho do melhorista na tomada de decisões. Segundo Carneiro (2015), as estratégias utilizadas para gerar informações destinadas à recomendação de linhagens, muitas vezes, são variadas e complexas e associadas a alguma dificuldade de interpretação. Assim, utilizar estratégias que auxiliem na tomada de decisões assertivas é necessário para o sucesso dos programas de melhoramento. Neste contexto, surge a inteligência computacional, área da ciência da computação e matemática, cujo objetivo é compreender e construir entidades inteligentes (RUSSEL e NORVIG, 2013). Ela permite a transferência do conhecimento humano às máquinas, que vão analisar, interpretar e agir para tomar decisões, realizar tarefas ou solucionar problemas que se aproximem de situações reais.

Existem várias técnicas que podem auxiliar no processo de solução de um problema, uma das principais é a lógica *fuzzy*. Ela foi apresentada, em 1965, por Lotfi A. Zadeh, professor na Universidade da Califórnia, em Berkeley, por meio da publicação do artigo *Fuzzy Sets*, no jornal *Information and Control* (ZADEH, 1965). A lógica *fuzzy* pode ser definida como a parte da lógica matemática, dedicada aos princípios formais do raciocínio incerto ou aproximado, portanto mais próxima do pensamento humano e da linguagem natural. Em razão desta propriedade e da capacidade de realizar inferências, a lógica *fuzzy* tem encontrado grandes aplicações em várias áreas (BEZDEK e PAL, 1992).

Nas Ciências Agrárias, o uso da lógica *fuzzy* é variado. Ela já foi aplicada na irrigação e conservação na agricultura (GIUSTI e MARSILI-LIBELLI, 2015); para avaliação do desempenho de sistema de irrigação (CHUNG e KIM, 2014); na seleção de genótipos de trigo (ISLAM, *et al.*, 2012); no sistema de suporte à adubação nitrogenada (PAPADOPOULOS *et al.*, 2011); para determinação da produtividade do solo em função de suas

características físicas e químicas (DURU *et al.*, 2010); na produção de clorofila (PEREIRA *et al.*, 2009c) e no risco de infestação de plantas daninhas em lavouras (BRESSAN *et al.*, 2008).

A lógica *fuzzy*, também, apresenta grande potencial nos programas de melhoramento, principalmente, nos estudos dos métodos de adaptabilidade e estabilidade. Carneiro (2015) utilizou-a na avaliação do desempenho produtivo de linhagens de feijoeiro comum, para recomendação de cultivares. Este autor demonstrou o potencial da lógica *fuzzy* como ferramenta auxiliar na tomada de decisão na etapa de recomendação e determinação do comportamento de genótipos.

Com isso, objetivou-se utilizar as metodologias de lógica *fuzzy*, aplicada por Carneiro (2015), a fim de auxiliar no processo de recomendação de cultivares de feijoeiro comum quanto à adaptabilidade e estabilidade.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material genético e delineamento experimental

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos com base em experimentos realizados no âmbito do Programa de Melhoramento do Feijoeiro Comum da Embrapa Arroz e Feijão, os quais são denominados de “vitrine”. Os ensaios foram constituídos de 18 cultivares do grupo comercial “Carioca” (Tabela 1).

TABELA 1

Nome de registro, instituição de origem e/ou lançamentos e ano de lançamento das 18 cultivares de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) do grupo comercial “Carioca”.

Cultivares	Instituição de origem e/ou lançamentos	Ano de Lançamento
Alba	Embrapa Arroz e Feijão	-
BRS Cometa	Embrapa Arroz e Feijão	2007
BRS Estilo	Embrapa Arroz e Feijão	2009
BRS Horizonte	Embrapa Arroz e Feijão	2004
BRS Majestoso	Convênio UFV/UFLA/Embrapa Arroz e Feijão/Epamig	2006
BRS MG Pioneiro	Embrapa Arroz e Feijão	2005
BRS MG Talismã	Convênio UFV/UFLA/Embrapa Arroz e	2004

Feijão/Epamig		
BRS Pontal	Embrapa Arroz e Feijão	2005
BRS Requite	Embrapa Arroz e Feijão	2003
Campeão 2	Embrapa Arroz e Feijão	-
Guará	Epagri	2001
IAC Tybatã	Instituto Agronômico de Campinas - IAC	-
IPR Colibri	Instituto Agronômico do Paraná - IAPAR	2004
IPR Juriti	Instituto Agronômico do Paraná - IAPAR	2002
IPR Saracura	Instituto Agronômico do Paraná - IAPAR	2004
Magnífico	Embrapa Arroz e Feijão	-
Pérola	Embrapa Arroz e Feijão	1994
Rubi	Instituto Agronômico do Paraná - IAPAR	2010

Fonte: Da autora.

Os ensaios foram conduzidos em 11 ambientes, nos municípios de: Ponta Grossa – PR, Santo Antônio de Goiás – GO e Uberlândia – MG, nas safras das “águas”, “seca” e “inverno”, nos anos de 2006, 2007, 2008 e 2010. A combinação de cada local, safra e ano foi considerada como um ambiente de cultivo. A descrição de cada ambiente, suas características climáticas e a localização, estão descritos na Tabela 2. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com três repetições. As unidades experimentais constituíram-se de quatro linhas de 4,0 m, espaçadas a 0,50 m. Os dados de produtividade foram coletados nas duas linhas centrais das parcelas, cuja produção foi aferida e convertida em kg/ha, a 13 % de umidade.

Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância individual, sendo detectada homogeneidade entre os resíduos (razão entre o maior e o menor quadrado médio do resíduo foi inferior a sete). Além disso, o número de repetições dos experimentos foi constante. Tudo isso viabiliza a análise conjunta segundo Pimentel-Gomes (2009). Foi realizada a análise conjunta para identificar a interação G x A e as médias foram submetidas ao método de agrupamento de Scott-Knott (1974), ao nível de 5% de significância. Também foram realizadas análises de adaptabilidade e estabilidade pelos métodos de Eberhart e Russell (1966) e Lin e Binns (1988)

modificado por Carneiro (1998). Os resultados foram obtidos por programação no software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2010).

TABELA 2

Descrição dos ambientes, características climáticas, coordenadas geográficas, época de plantio e ano de cultivo dos ensaios vitrine do grupo comercial “Carioca”, realizados nos municípios de Ponta Grossa - PR, Santo Antônio de Goiás - GO e Uberlândia - MG, nos anos de 2006, 2007, 2008 e 2010.

Ambiente	Local	Altitude ²	Dados climáticos (média anual) ¹			Latitude ²	Longitude ²	Safrá	Ano
			Precipitação (mm) ³	Umidade Relativa (%)	Temperatura (°C)				
1	Ponta Grossa – PR	956	473,7	76,4	16,5	25° 5' 40"	50° 09' 48"	Águas	2006
2	Ponta Grossa – PR	956	533,5	80,2	17,0	25° 5' 40"	50° 09' 48"	Águas	2008
3	Ponta Grossa – PR	956	418,6	73,0	16,1	25° 5' 40"	50° 09' 48"	Águas	2010
4	Ponta Grossa – PR	956	625,3	81,1	21,0	25° 5' 40"	50° 09' 48"	Seca	2007
5	Ponta Grossa – PR	956	766,0	84,0	20,0	25° 5' 40"	50° 09' 48"	Seca	2010
6	Santo Antônio de Goiás – GO	823	226,1	55,5	22,5	16° 28' 00"	49° 17' 00"	Inverno	2006
7	Santo Antônio de Goiás – GO	823	255,2	57,2	22,2	16° 28' 00"	49° 17' 00"	Inverno	2008
8	Santo Antônio de Goiás – GO	823	202,3	50,5	23,5	16° 28' 00"	49° 17' 00"	Inverno	2010
9	Uberlândia – MG	870	142,0	62,2	20,2	18° 54' 44"	48° 15' 44"	Inverno	2007
10	Uberlândia – MG	870	310,2	67,2	20,0	18° 54' 44"	48° 15' 44"	Inverno	2008
11	Uberlândia – MG	870	1.283,4	77,7	23,0	18° 54' 44"	48° 15' 44"	Seca	2008

Fonte: INMET ¹; IBGE ²; ³ Os dados de precipitação foram calculados com base no somatório dos meses de precipitação de cada safra nos respectivos anos. 1ª safra ou safra das “águas”, período (agosto, setembro, outubro e novembro); 2ª safra ou safra da “seca”, período (dezembro, janeiro, fevereiro e março) e a 3ª safra ou safra de “inverno”, período (abril, maio, junho e julho).

2.2 Análises de adaptabilidade e estabilidade

Os dados foram submetidos à análise de adaptabilidade e estabilidade pelo método Eberhart e Russell (1966), com base no modelo estatístico: $\bar{Y}_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i} I_j + \delta_{ij} + \varepsilon_{ij}$, em que: \bar{Y}_{ij} é a média estimada da cultivar i no ambiente j ; β_{0i} é a média do genótipo i em todos os ambientes; β_{1i} é o coeficiente de regressão linear da cultivar i , que mede a resposta o i -ésimo genótipo à variação do ambiente; I_j é o índice ambiental codificado; δ_{ij} é o desvio da regressão da cultivar e ε_{ij} é o erro experimental médio.

Para o método de Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), foi feita a decomposição da medida P_{ij} , nas suas partes relativas a ambientes favoráveis (P_{if}) e desfavoráveis (P_{id}). Desta forma, para os ambientes favoráveis (índice de ambiente ≥ 0), foi estimado o parâmetro:

$$P_{if} = \frac{\sum_{j=1}^f (Y_{ij} - M_j)^2}{2 \cdot f}$$

Em que: P_{if} é a medida de adaptabilidade e estabilidade de comportamento do genótipo em ambientes favoráveis i ; Y_{ij} é a produtividade do i -ésimo genótipo, no j -ésimo ambiente; M_j a resposta máxima entre todos os genótipos no ambiente e f o número de ambientes favoráveis. E, para ambientes desfavoráveis (índice de ambiente ≤ 0), foi estimado o parâmetro:

$$P_{id} = \frac{\sum_{j=1}^d (Y_{ij} - M_j)^2}{2 \cdot d}$$

Em que: P_{id} é a medida de adaptabilidade e estabilidade de comportamento do genótipo, em ambiente desfavorável i ; Y_{ij} a produtividade do i -ésimo genótipo, no j -ésimo ambiente; M_j é a resposta máxima entre todos os genótipos no ambiente e d o número de ambientes desfavoráveis.

2.3 Lógica fuzzy

Os controladores *fuzzy*, utilizados neste trabalho, foram baseados nos controladores elaborados por Carneiro (2015), para o método de Eberhart e Russell (1966) individualmente ou em conjunto com o método Lin

e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998); e foram reproduzidos baseados em rotinas (Apêndice I) estabelecidas no programa R.

Controlador *fuzzy* - Eberhart e Russell (1966)

Para o método de Eberhart e Russell (1966), foi desenvolvido o controlador *fuzzy*, baseado no sistema de inferência *fuzzy*, proposto por Mamdani (MAMDANI e ASSILIAN, 1975). As variáveis *fuzzy* linguísticas de entrada utilizadas foram os parâmetros média geral (β_0), coeficiente de regressão (β_1) e coeficiente de determinação (R^2). Foram gerados conjuntos *fuzzy*, para cada variável, por meio de funções de pertinência que permitiram, por intermédio do processo de fuzzificação, classificar cada genótipo avaliado quanto aos critérios de adaptabilidade e estabilidade (CARNEIRO, 2015).

As médias gerais dos genótipos foram padronizadas para uma escala de 0 a 100. A padronização baseou-se na distribuição normal dos dados, no valor de média geral (μ) e de desvio padrão (σ) destes dados. Aos valores associados a $\mu - 3\sigma$ foi atribuído o valor 0 e aos valores associados a $\mu + 3\sigma$ foi atribuído o valor de 100.

Os valores dos coeficientes de regressão (β_1) foram alocados nos conjuntos "Menor que 1", "Igual a 1" e "Maior que 1", por meio das funções de pertinência forma de Z ("*zm^f*"), forma de π ("*pim^f*") e forma de S ("*sm^f*"), respectivamente.

Para esta classificação, foi levado em consideração que os genótipos que apresentassem pertinência superior a 50%, no conjunto "Igual a 1", apresentariam valores de β_1 estatisticamente iguais a 1 pelo teste *t* de Student. Os valores de β_1 originais de cada genótipo, ao serem submetidos ao controlador, foram padronizados. Esta padronização baseou-se no intervalo de confiança com 95 % de probabilidade baseado na distribuição *t*, considerando a hipótese nula de que β_1 é igual a 1. Ao limite inferior do intervalo de confiança foi atribuído valor -2 e ao limite superior foi atribuído o valor 4. Os valores dos coeficientes de determinação (R^2) foram alocados nos conjuntos *fuzzy* "Baixo" e "Alto", por meio das funções de pertinência forma de Z ("*zm^f*") e forma de S ("*sm^f*"), respectivamente.

Para o controlador *fuzzy*, baseado no sistema de inferência, proposto por Mamdani (MAMDANI e ASSILIAN, 1975), foi gerada uma variável *fuzzy* linguística de saída denominada “Comportamento Mamdani”. Os valores de “Comportamento Mamdani” foram alocados em quatro conjuntos *fuzzy* baseados no desempenho quanto à adaptabilidade e estabilidade dos genótipos avaliados: “Geral” (GE), “Pouco adaptado” (PA), “Desfavorável” (DES) e “Favorável” (FAV).

As regras *fuzzy* linguísticas, utilizadas neste trabalho, foram baseadas nas regras *fuzzy*, estabelecidas por Carneiro (2015), nas quais a combinação dos conjuntos *fuzzy* de cada variável em regras *fuzzy* linguísticas, baseadas no sistema de inferência, permitiu desenvolver controladores capazes de determinar o comportamento de cada cultivar avaliada. Estas regras, utilizadas no controlador *fuzzy* desenvolvido, foram baseadas na interpretação dos parâmetros do método proposto por Eberhart e Russell (1966), de forma a aplicar um consenso que é previsto na literatura quanto à tomada de decisão para este método (CRUZ *et al.*, 2012). Na Tabela 3, são apresentadas as regras aplicadas nos controladores desenvolvidos, as quais se basearam no método proposto por Eberhart e Russell (1966).

TABELA 3

Regras *fuzzy* linguísticas implementadas no controlador *fuzzy*, baseadas no comportamento dos genótipos, quanto á adaptabilidade e estabilidade, usando o método de Eberhart e Russell (1966) e adaptadas de Carneiro (2015).

Entradas			Saídas
Média	β_1	R ²	Comportamento Mamdani
Baixa	Menor que 1	Baixo	Pouco adaptado
Baixa	Menor que 1	Alto	Pouco adaptado
Baixa	Igual a 1	Baixo	Pouco adaptado
Baixa	Igual a 1	Alto	Pouco adaptado
Baixa	Maior que 1	Baixo	Pouco adaptado
Baixa	Maior que 1	Alto	Pouco adaptado
Alta	Menor que 1	Baixo	Pouco adaptado
Alta	Menor que 1	Alto	Desfavorável
Alta	Igual a 1	Baixo	Pouco adaptado
Alta	Igual a 1	Alto	Geral
Alta	Maior que 1	Baixo	Pouco adaptado
Alta	Maior que 1	Alto	Favorável

Fonte: Da autora.

Uma vez desenvolvido o controlador *fuzzy*, os parâmetros estimados (β_0 , β_1 , e R²) das 18 cultivares de feijoeiro comum foram submetidas ao controlador de forma a determinar o comportamento destas cultivares, por meio dos valores agregados (pertinências) obtidos no controlador.

Controlador *fuzzy* híbrido - Eberhart e Russell (1966) e Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998)

Foi utilizado um controlador *fuzzy* híbrido do tipo Mamdani, desenvolvido por Carneiro (2015), que se baseou nos métodos de Eberhart e Russell (1966) e de Lin e Binns (1988) modificado Carneiro (1998). Esse controlador foi denominado híbrido, pois foi baseado na associação dos parâmetros β_1 e o R² do método de Eberhart e Russell (1966), com os valores de P_i (P_{id} e P_{if}), do método modificado de Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998).

O coeficiente de regressão (β_1) e o coeficiente de determinação (R^2) foram transformados em variáveis de entrada semelhantes às utilizadas no controlador do método de Eberhart e Russell (1966). Já os parâmetros quadrado médio, para ambientes favoráveis (P_{if}) e quadrado médio para ambientes desfavoráveis (P_{id}), foram transformados em duas variáveis semelhantes à variável média do controlador do método de Eberhart e Russell (1966).

Para o controlador *fuzzy*, baseado no sistema de inferência proposto por Mamdani (MAMDANI e ASSILIAN, 1975), foi gerada uma variável *fuzzy* linguística de saída denominada “Comportamento Mamdani”. Os valores do “Comportamento Mamdani” foram alocados em quatro conjuntos *fuzzy*: “Geral” (GE), “Favorável” (FAV), “Desfavorável” (DES) e “Pouco adaptado” (PA).

As regras dos controladores, utilizadas neste trabalho, foram estabelecidas por CARNEIRO (2015) e apresentam-se na Tabela 4.

TABELA 4

Regras fuzzy linguísticas implementadas no controlador fuzzy híbrido, baseado nos métodos de Eberhart e Russell (1966) e de Lin e Binns (1988) modificado (Carneiro, 1998), estabelecidas por Carneiro (2015).

Entradas				Saída
P_{if}	P_{id}	β_1	R^2	Comportamento
Baixo	Baixo	Menor que 1	Baixo	Pouco adaptado
Baixo	Baixo	Menor que 1	Alto	Desfavorável
Baixo	Alto	Menor que 1	Baixo	Pouco adaptado
Baixo	Alto	Menor que 1	Alto	Pouco adaptado
Baixo	Baixo	Igual a 1	Baixo	Pouco adaptado
Baixo	Baixo	Igual a 1	Alto	Geral
Baixo	Alto	Igual a 1	Baixo	Pouco adaptado
Baixo	Alto	Igual a 1	Alto	Pouco adaptado
Baixo	Baixo	Maior que 1	Baixo	Pouco adaptado
Baixo	Baixo	Maior que 1	Alto	Favorável
Baixo	Alto	Maior que 1	Baixo	Pouco adaptado
Baixo	Alto	Maior que 1	Alto	Favorável
Alto	Baixo	Menor que 1	Baixo	Pouco adaptado

Alto	Baixo	Menor que 1	Alto	Desfavorável
Alto	Alto	Menor que 1	Baixo	Pouco adaptado
Alto	Alto	Menor que 1	Alto	Pouco adaptado
Alto	Baixo	Igual a 1	Baixo	Pouco adaptado
Alto	Baixo	Igual a 1	Alto	Desfavorável
Alto	Alto	Igual a 1	Baixo	Pouco adaptado
Alto	Alto	Igual a 1	Alto	Pouco adaptado
Alto	Baixo	Maior que 1	Baixo	Pouco adaptado
Alto	Baixo	Maior que 1	Alto	Pouco adaptado
Alto	Alto	Maior que 1	Baixo	Pouco adaptado
Alto	Alto	Maior que 1	Alto	Pouco adaptado

P_{if} = medida de adaptabilidade e estabilidade de comportamento do genótipo em ambientes favoráveis; P_{id} = medida de adaptabilidade e estabilidade de comportamento do genótipo em ambientes desfavoráveis; β_1 = coeficiente de regressão; R^2 = coeficiente de determinação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância conjunta referente ao caráter produtividade de grãos (kg/ha) de 18 cultivares de feijoeiro comum do grupo comercial “Carioca”, em onze ambientes, revelou efeitos significativos de genótipos (G), ambientes (A) e para a interação G x A ao nível de 1% (Tabela 5).

Inúmeros estudos, ao avaliarem distintas cultivares de feijoeiro comum em diferentes ambientes, encontraram efeitos significativos de genótipos, ambientes e da interação G x A (OLIVEIRA *et al.*, 2006; MELO *et al.*; 2007, RIBEIRO *et al.*, 2009; ROCHA *et al.*, 2013 e MOURA *et al.*, 2013). Esses resultados indicam a existência de variabilidade genética entre os genótipos avaliados e diferença entre locais, anos e épocas de cultivos (ambientes). A significância da interação G x A indica a existência de resposta diferencial dos genótipos em função do ambiente de cultivo. Esta significância da interação G x A, para a cultura do feijoeiro-comum, era esperada, pois os ensaios foram conduzidos em três diferentes safras (“águas”, “inverno” e “seca”), com diferentes épocas de semeadura e em distintas regiões geoclimáticas (Goiás, Minas Gerais e Paraná).

TABELA 5

Resumo da análise de variância conjunta para produtividade de grãos de 18 cultivares de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) em onze experimentos.

FV ⁽¹⁾	GL ⁽²⁾	QM ⁽³⁾	F ⁽⁴⁾	P – valor
Blocos/Ambiente	22	223369.9	-	-
Genótipos	17	635234.9	2.387 **	< 0,01
Ambientes (A)	10	307804.6	115.68 **	< 0,01
G x A	170	266078.6	2.60 **	< 0,01
Resíduo	374	100770.5		
Média	1.952			
CV (%)	16,25			

(1) Fonte de variação; (2) Grau de liberdade; (3) Quadrado média; (4) Fcalculado.

Fonte: Da autora.

O coeficiente de variação (CV), que mede a precisão experimental, foi de 16,25 %, o que indica boa precisão experimental. Experimentos com coeficientes de variação baixos, ou de alta precisão, são almejados pelos melhoristas, visto que proporcionam a obtenção de estimativas de parâmetros genéticos mais fidedignos, ou acurados, as quais são importantes nas tomadas de decisões no andamento do programa de melhoramento (CARGNELUTTI FILHO *et al.*, 2012). Em estudos com o feijoeiro comum, Oliveira *et al.* (2006), Silva *et al.* (2013), Menezes-Júnior *et al.* (2013) e Domingues *et al.* (2013) encontraram coeficientes de variação entre 6 e 23% para produtividade de grãos.

A média geral de produtividade de grãos foi 1.952 kg/ha, abaixo da média nacional, que é de 2.437 kg/ha (EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2015).

TABELA 6

Médias de produtividade de grãos (kg/ha) e método de agrupamento de Scott-knott, das 18 cultivares de feijoeiro comum do grupo comercial “Carioca”, em 11 ambientes, nos anos de 2006 a 2010.

Cultivares	Ponta Grossa - PR				Santo Antônio de Goiás - GO				Uberlândia - MG				Média geral das cultivares
	Ambiente 1	Ambiente 2	Ambiente 3	Ambiente 4	Ambiente 5	Ambiente 6	Ambiente 7	Ambiente 8	Ambiente 9	Ambiente 10	Ambiente 11		
	Águas/2006	Águas/2008	Águas/2010	Seca/2007	Seca/2010	Inverno/2006	Inverno/2008	Inverno/2010	Inverno/2007	Inverno/2008	Seca/2008		
Alba	1.868 aC	2.673 aB	3.563 aA	876 aD	1.508 bC	1.758 aC	1.506 aC	1.838 aC	2.268 bB	1.998 cC	608 bD	1.860 b	
BRS Cometa	1.573 aC	2.727 aB	3.612 bB	1.018 aD	2.145 aC	2.108 aC	1.795 aC	1.324 bC	3.498 aA	2.496 bA	1.047 aD	2.061 a	
BRS Estilo	1.778 aC	2.416 bB	3.496 bA	1.086 aD	2.697 aB	1.914 aC	1.425 aD	1.855 aB	2.743 bB	2.419 bB	1.573 aC	2.126 a	
BRS Horizonte	2.080 aD	2.790 aC	3.858 aA	1.096 aE	2.126 aD	2.011 aD	1.066 aE	1.244 bE	3.329 aB	2.294 bD	1.401 aE	2.117 a	
BRS Majestoso	1.841 aB	2.792 aA	2.787 cA	936 aD	1.855 bC	2.193 aB	1.428 aC	1.348 bD	3.258 aA	1.212 dD	1.128 aD	1.890 b	
BRS MG Pioneiro	1.813 aC	2.278 bB	2.950 cA	836 aD	2.004 aB	1.770 aC	1.157 aD	1.189 bD	3.187 aA	2.548 bB	920 aD	2.016 a	
BRS MG Talismã	1.841 aC	2.419 bB	2.933 cA	756 aD	1.609 bC	1.742 aC	1.153 aD	1.769 aC	3.380 aA	2.548 bB	1.449 aC	1.951 b	
BRS Pontal	1.501 aC	1.841 bB	2.987 cA	565 aD	1.823 bB	1.453 aC	1.266 aC	1.244 aC	3.085 aA	2.036 cB	1.338 aC	1.794 b	
BRS Requite	1.563 aD	2.595 aC	3.467 bA	788 aE	2.114 aC	1.615 aD	1.216 aE	1.769 aD	2.818 bB	2.135 cC	972 aE	1.902 b	
Campeão 2	1.783 aC	2.783 aB	4.129 aA	775 aD	1.917 aC	2.101 aC	1.581 aC	1.659 aC	2.845 bB	2.648 bB	1.164 aD	2.126 a	
Guará	1.568 aC	2.993 aA	2.362 cB	861 aD	1.763 bC	1.998 aC	1.856 aC	1.418 bC	3.562 aA	3.204 aA	1.086 aD	2.061 a	
IAC Tybatã	1.828 aC	2.432 bB	3.146 cA	913 aD	2.078 aC	1.823 aC	1.277 aD	1.304 bD	2.637 bB	2.013 cC	1.327 aD	1.925 b	
IPR Colibri	1.736 aB	2.520 aB	3.587 bA	921 aD	1.972 aC	1.773 aC	1.151 aD	1.527 bD	3.124 aA	2.127 cC	1.157 aD	1.719 b	
IPR Juriti	1.788 aC	2.650 aB	2.829 cA	763 aE	1.474 bD	1.701 aD	1.573 aD	1.394 bD	2.721 bB	1.489 dD	613 bE	2.017 b	
IPR Saracura	1.563 aC	2.709 aB	3.408 bA	1.296 aC	2.263 aB	1.835 aC	1.501 aC	1.159 bD	2.994 aA	2.461 bB	1.392 aC	1.875 b	
Magnífico	1.335 aC	2.229 bB	2.792 cA	713 aD	1.494 bC	1.928 aB	1.597 aC	2.200 aB	2.331 bB	1.701 dC	1.134 aD	1.640 b	
Pérola	1.806 aD	2.546 aC	3.987 aA	985 aE	2.029 aC	1.971 aC	1.491 aD	1.698 aD	3.321 aB	2.101 cC	613 bE	1.969 b	
Rubi	1.978 aC	2.599 aB	3.304 bA	738 aE	1.577 bD	1.906 aC	1.483 aD	1.394 bD	2.672 bB	2.683 bB	408 bE	1.858 b	

Média geral	1.724 E	2.555 C	3.289 A	885 G	1.914 E	1.867 E	1.418 F	1.557 F	2.987 B	2.206 D	1.074 G	1.952
-------------	---------	---------	---------	-------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	-------

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e da mesma letra maiúscula na linha pertencem ao mesmo grupo pelo método de agrupamento Scott-knott, a 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora.

A média geral de produtividade, nos onze ambientes avaliados, variou de 885 kg/ha a 3.289 kg/ha (Tabela 6). Esses valores podem ser confirmados, observando-se os dados geográficos dos locais de avaliação, que mostram altitude variando de 870 a 956 metros, latitude variando de 16°28' a 18°54' e longitude variando de 48°15' a 87°40' (Tabela 2). Os ambientes de Ponta Grossa - PR (3.289 kg/ha), na safra das “águas” de 2010, Uberlândia - MG (2.987 kg/ha), na safra de “inverno” de 2007, Ponta Grossa - PR (2.555 kg/ha), na safra das “águas” de 2008 e Uberlândia - MG (2.206 kg/ha), na safra de “inverno” de 2008, destacaram-se como os mais favoráveis à expressão da produtividade de grãos, por terem apresentado as maiores médias.

A menor média geral de produtividade, comparando-se todos os anos e ambientes, foi de 885 kg/ha em Ponta Grossa – PR, na safra da “seca”, no ano de 2007. Esta média foi inferior à média no Estado do Paraná, na safra da “seca” de 1.438 kg/ha e a média nacional de 1.193 kg/hg para as três safras (EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2015). Este resultado deve-se ao excesso de precipitação pluvial nesta safra que foi de 625,3 mm (INMET, 2007). O feijoeiro é considerado uma espécie com pouca tolerância a estresses hídricos e cerca de 60% do seu cultivo no planeta estão submetidos a este fator, o que o torna um dos mais importantes na expressão da produtividade final da cultura (AGUIAR *et al.*, 2008; BEEBE *et al.*, 2008). Durante o ciclo da cultura do feijão comum, estima-se que são necessários cerca de 300 a 400 mm de chuvas, bem distribuídas, sobretudo durante as fases de germinação, florescimento, formação e enchimento de vagens. O excesso de chuvas favorece o aparecimento de doenças de solo, principalmente, a “Mela” (*Thanatephorus cucumeris*) e, quando acontece na época da colheita, dificulta o arranque, a secagem e a trilhagem das plantas, comprometendo o rendimento e a qualidade dos grãos (SOUZA *et al.*, 2005). Devemos considerar, ainda, que esta safra é realizada em sua maioria por pequenos agricultores, que dispõem de poucos recursos tecnológicos e que, frequentemente, consorciavam essa leguminosa com outras culturas, sobretudo milho (*Zea mays L.*), usam sementes de baixa qualidade, cultivares

inadequadas para a região, adubam mal e não controlam pragas e doenças (BORÉM e CARNEIRO, 2008; VIEIRA *et al.* 2013).

Em contrapartida, a maior média geral de produtividade (3.289 kg/ha) foi obtida em Ponta Grossa – PR, na safra das “águas” no ano de 2010. Esta média foi superior à média para o Estado do Paraná na safra das “águas” de 1.509 kg/ha e muito acima da média nacional de 1.279 kg/ha para as três safras (EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2015). Apesar de esta safra ser praticada por pequenos e médios agricultores, que usam sistemas consorciados e baixo nível tecnológico, é uma safra que ocorre no período chuvoso (época de semeadura de agosto a novembro) (ARAÚJO *et al.*, 1996 e VIEIRA *et al.*, 2013). A Tabela 2 demonstra que esta safra teve uma precipitação pluviométrica de 418,6 mm com temperatura média de 16,1 °C (INMET, 2010). Para o desenvolvimento adequado do feijão comum, estima-se que são necessários cerca de 300 a 400 mm de chuvas, bem distribuídas (SOUZA *et al.*, 2005). Já a temperatura média ideal, para a cultura do feijão, corresponde a 21° C, sendo consideradas aptas para o seu cultivo aquelas que apresentam valores médios de temperaturas entre 15 a 29 °C (FANCELLI, 2009).

De modo geral, as maiores médias foram das safras das “águas” ou 1ª safra. Nesta safra não há necessidade da utilização de irrigação, a distribuição pluviométrica é regular e com volumes suficientes para garantir o bom desenvolvimento da cultura. Entretanto o excesso de chuvas pode prejudicar a colheita e depreciar a qualidade do grão (VIEIRA e VIEIRA, 1995). Provavelmente, o excesso de chuvas pode ter sido um dos fatores responsáveis pela redução na produtividade da safra “águas” de 2006 em Ponta Grossa – PR, que apresentou média de 1.724 kg/ha, valor abaixo da média geral de 1.952 kg/ha. Isto pode ser explicado pelas condições climáticas adversas, verificadas em 2006, que prejudicaram as culturas de grãos, sobretudo nos Estados do Paraná, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, ora por falta, ora por excesso de chuvas (CONAB, 2006). Além disso, o feijoeiro é classificado como planta sensível, tanto à deficiência quanto ao excesso de água no solo (SILVERIA *et al.*, 1990 e STONE *et al.*, 2006).

A terceira safra ou safra de “inverno” apresentou as segundas maiores médias gerais de produtividade. Esta safra, em geral, é praticada por grandes produtores, com alto investimento, principalmente, em equipamentos de irrigação (BORÉM e CARNEIRO, 2008), requisitos que colaboram para sua alta produtividade. E, por fim, as menores médias de produtividade foram obtidas na safra da “seca” ou segunda safra, conhecida, também, como safrinha. Nesta safra, a escassez e distribuição irregular das chuvas contribuíram para as baixas produtividades. Este problema pode ser contornado com o uso de irrigação, prática pouco utilizada pelos pequenos agricultores, que utilizam o cultivo consorciado com o milho, já em processo de maturação, que cria um microclima favorável ao feijoeiro, para diminuir os riscos (VIEIRA e VIEIRA, 1995). As doenças, também contribuem para a redução da produtividade, nesta safra, dentre elas, o vírus do mosaico dourado que tem como vetor a mosca-branca (*Bemisia tabaci*), que apresenta crescimento populacional acelerado, em períodos de estiagem, atingindo níveis que causam danos consideráveis à produção do feijoeiro comum (FARIA e YOKOYAMA, 2008). Além desta, a mancha-angular (*Phaeoisariopsis grisela*), o oídio (*Erysiphe polygoni*) e o mofo-branco (*Sclerotinia sclerotiorum*), causados por fungo, são comuns na safra da “seca”, em lavouras não irrigadas, se observadas temperaturas amenas aliadas às precipitações moderadas e contínuas (ABREU, 2005).

O método de agrupamento de médias de Scott-Knott não encontrou diferença significativa entre as cultivares, nos ambientes de: Ponta Grossa – PR, na safra da “seca” de 2007 e Santo Antônio de Goiás – GO na safra de “inverno” de 2010. Nos ambientes, Ponta Grossa – PR, na safra das “águas” de 2006 e 2010 e da “seca” em 2010, em Santo Antônio de Goiás – GO, na safra de “inverno” de 2006 e 2008 e Uberlândia – MG, nas safras de “inverno” de 2007 e 2008, foram consideradas as cultivares em dois subgrupos distintos. E, nos ambientes, Ponta Grossa – PR na safra das “águas” de 2008 e Uberlândia – MG, na safra da “seca” de 2008, as cultivares foram classificadas em três subgrupos distintos.

Nos 11 ambientes avaliados, a maior média foi apresentada pela cultivar BRS Pontal (2.102 kg/ha) seguida das cultivares, BRS Estilo,

Campeão 2, BRS MG Pioneiro, IPR Juriti, Guará e Pérola, que apresentaram médias superiores que a média geral de 1.952 kg/ha. Vários trabalhos citam o elevado potencial produtivo destas cultivares (DEL PELOSO *et al.*, 2003; SILVA *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2011b; EMBRAPA, 2005; IAPAR, 2016; RIBEIRO *et al.*, 2008 e CHIORATO, 2014). Já as cultivares Magnífico, IPR Colibri, BRS Horizonte, Alba, BRS Cometa, BRS Requite, BRS MG Talismã, Rubi, IPR Saracura e BRS Majestoso apresentaram médias inferiores à média geral de 1.952 kg/ha.

O resultado do método de Eberhart e Russell (1966) das 18 cultivares de feijoeiro está apresentado na Tabela 7. O controlador, baseado no método de Eberhart e Russell (1966), identificou as cultivares BRS MG Pioneiro, BRS Pontal, IAC Tybatã e IPR Juriti, com ampla adaptabilidade, ou seja, elas obtiveram os maiores valores de pertinência no grupo “Geral”. Isto, porque estas cultivares atenderam aos parâmetros do método para indicar uma cultivar como ideal. De acordo com Eberhart e Russell (1966), a cultivar ideal deve apresentar média alta (β_0), coeficiente de regressão igual a 1 ($\beta_1 = 1$) e coeficiente de determinação (R^2) elevado. Segundo Cruz (2013) ter coeficiente de determinação (R^2) superior a 80% é indicativo de maior estabilidade. Assim, estas cultivares são capazes de apresentar bons resultados tanto em ambientes de ótima qualidade (favoráveis), quanto em ambientes ruins (desfavoráveis). Neste grupo, a cultivar IPR Juriti pode ser considerada promissora, pois obteve o maior valor de pertinência.

Resultados similares, ao presente trabalho, foram encontrados por Barili *et al.* (2015b), ao investigar a interação entre genótipos e ambiente (G x A), utilizando 40 cultivares de feijão do grupo carioca, em quatro ambientes (Coimbra e Viçosa, nas safras da “seca” e de “inverno” de 2013). Por meio dos estudos de adaptabilidade e estabilidade de Eberhart e Russell (1966), as cultivares BRS MG Pioneiro e BRS Pontal foram classificadas como de ampla adaptabilidade. A cultivar IPR Juriti, também, foi classificada como cultivar de adaptação ampla em dois outros estudos similares (FARIA *et al.*, 2009 e ROCHA *et al.*, 2009).

As cultivares Campeão, Pérola e BRS Estilo apresentaram adaptabilidade específica a ambientes favoráveis, enquadrando-se no grupo

“Favorável. Isto, porque obtiveram média alta β_0 e $\beta_1 > 1$. Além disso, estas cultivares obtiveram coeficiente de determinação (R^2) maior que 80%, o que é um indicativo de alta previsibilidade (estabilidade). Quando o objetivo é a ampliação da produtividade frente à melhoria do ambiente, sobretudo em cultivos realizados por grandes agricultores, que utilizam alto nível tecnológico, estas cultivares são indicadas. Warwick et al. (2005) em estudo para avaliar diversas cultivares e linhagens avançadas de feijoeiro comum, distribuídas em três redes experimentais pelo método de Eberhart e Russell (1966), também, classificaram a cultivar Pérola com adaptabilidade a ambientes favoráveis. As cultivares BRS Estilo e Pérola, também, foram classificadas como adaptadas a ambientes favoráveis, por intermédio do método de Eberhart e Russell (1966), em estudo na região central do Brasil com 16 genótipos de feijoeiro comum tipo carioca, em 45 ensaios de valor de cultivo e uso (PEREIRA *et al.*, 2009b).

TABELA 7

Entradas padronizadas e classificação quanto ao comportamento Geral (GE), Pouco adaptado (PA), Favorável (FAV) e Desfavorável (DESF) de 18 cultivares submetidas ao controlador *fuzzy* baseado no método de Eberhart e Russell (1966).

Cultivares	Entradas			Comportamento em Pertinências (%)			
	Média (β_0)	β_{1i}	R ² (%)	GE	PA	FAV	DES
Alba	1.756	1,03 ^{ns}	0.88	21	79	3	0
BRS Cometa	1.811	0,99 ^{ns}	0.95	31	69	0	0
BRS Estilo	2.102	1,13 [*]	0.95	44	13	56	0
BRS Horizonte	1.752	0,84 [*]	0.82	21	62	0	21
BRS Majestoso	1.880	0,99 ^{ns}	0.89	45	55	0	0
BRS MG Pioneiro	2.016	0,95 ^{ns}	0.84	71	29	0	6
BRS MG Talismã	1.851	1,05 ^{ns}	0.97	39	61	7	0
BRS Pontal	2.112	1,11 ^{ns}	0.96	62	12	38	0
BRS Requite	1.835	0,88 ^{ns}	0.78	35	59	0	35
Campeão 2	2.079	1,17 [*]	0.93	24	16	76	0
Guará	2.012	0,97 ^{ns}	0.70	15	73	0	1
IAC Tybatã	1.934	1,06 ^{ns}	0.97	58	42	13	0
IPR Colibri	1.719	0,84 [*]	0.85	16	66	0	16
IPR Juriti	2.017	1,01 ^{ns}	0.96	74	26	1	0
IPR Saracura	1.875	0,81 ^{ns}	0.94	19	56	0	44
Magnífico	1.640	0,76 ^{**}	0.90	3	89	0	7
Pérola	1.969	1,26 ^{**}	0.96	0	35	65	0
Rubi	1.858	1,05 ^{ns}	0.88	40	60	10	0

^A Coeficientes seguidos de ^{ns}, * e ** são, respectivamente: não significativo ao nível de 5%, significativo ao nível de 5% e significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t ao se considerar como hipótese nula que $\beta_1=1$.

Fonte: Da autora.

Apesar do controlador, baseado no método de Eberhart e Russell (1966), não ter identificado cultivares com adaptabilidade a ambientes desfavoráveis, a cultivar IPR Saracura apresentou o maior valor de pertinência, no grupo de comportamento “Desfavorável”, o que pode ser explicado pela baixa estimativa de β_1 .

O controlador híbrido, baseado no método de Eberhart e Russell (1966) e Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998) (Tabela 8), classificou as cultivares BRS MG Pioneiro, BRS Pontal, IAC Tybatã e IPR

Juriti como de adaptabilidade ampla. Isto, porque estas cultivares apresentaram P_{if} e P_{id} baixos, média alta β_0 acima da média geral de 1.952 kg/ha, $\beta_1 = 1$ e R^2 elevado. Assim, estas cultivares podem ser recomendadas para qualquer ambiente (favorável ou desfavorável), ou seja, tanto para pequenos agricultores que possuem baixo nível tecnológico, quanto para grandes agricultores que utilizam elevado nível tecnológico. Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), consideram genótipos a serem recomendados, para ambientes favoráveis ou desfavoráveis, aqueles que apresentam menores valores de P_{if} ou P_{id} , respectivamente. A cultivar IPR Juriti destacou-se por apresentar o maior valor de pertinência dentro do grupo.

TABELA 8

Entradas e classificação quanto ao comportamento Geral (GE), Pouco adaptado (PA), Favorável (FAV) e Desfavorável (DES), de 18 cultivares de feijoeiro comum, submetidas aos controladores híbridos *fuzzy*, baseado nos métodos de Eberhart e Russell (1966) e Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998).

Cultivares	Entradas				Comportamento em Pertinências (%)			
	P_{if}	P_{id}	β_1	R^2 (%)	GE	PA	FAV	DES
Alba	496371	178036	1,03 ^{ns}	0.88	12	71	3	12
BRS Cometa	366225	149359	0,99 ^{ns}	0.95	26	52	0	26
BRS Estilo	132061	76490	1,13 [*]	0.95	44	22	56	20
BRS Horizonte	498622	166280	0,84 [*]	0.82	17	62	0	17
BRS Majestoso	340630	123456	0,99 ^{ns}	0.89	45	52	0	45
BRS MG Pioneiro	202048	97971	0,95 ^{ns}	0.84	65	35	0	28
BRS MG Talismã	263076	151438	1,05 ^{ns}	0.97	25	64	7	25
BRS Pontal	114641	59214	1,11 ^{ns}	0.96	62	18	38	18
BRS Requite	660903	85544	0,88 ^{ns}	0.78	12	59	0	41
Campeão 2	147445	62257	1,17 [*]	0.93	24	21	76	21
Guará	399347	93933	0,97 ^{ns}	0.70	15	57	0	15
IAC Tybatã	239278	10093	1,06 ^{ns}	0.97	63	37	13	33
IPR Colibri	695089	133407	0,84 [*]	0.85	9	63	0	37
IPR Juriti	166268	70809	1,01 ^{ns}	0.96	77	19	1	23
IPR Saracura	393800	88380	0,81 ^{ns}	0.94	19	29	0	56
Magnífico	759300	145918	0,76 ^{**}	0.90	3	72	0	28
Pérola	194102	146841	1,26 ^{**}	0.96	0	27	72	0
Rubi	315347	172779	1,05 ^{ns}	0.88	14	56	10	14

^A Coeficientes seguidos de ^{ns}, * e ** são, respectivamente: não significativo ao nível de 5%, significativo ao nível de 5% e significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t ao se considerar como hipótese nula que $\beta_1=1$.

Fonte: Da autora.

As cultivares Campeão 2, Pérola e BRS Estilo apresentaram os maiores valores de pertinência no grupo “Favorável”, sendo classificadas como de adaptabilidade a ambientes favoráveis. Isto, porque obtiveram P_{if} baixo, média alta β_0 , acima da média geral (1.952 kg/ha) e $\beta_1 > 1$ (Tabela 8). Estes resultados estão em conformidade com a literatura (PEREIRA *et al.*, 2009b; WARWICK *et al.*, 2005).

A cultivar IPR Saracura foi classificada como de adaptação a ambientes desfavoráveis, pois apresentou o maior valor de pertinência neste grupo. Assim, ela apresentou P_{id} baixo e $\beta_1 < 1$, sendo recomendada, para pequenos agricultores, que dispõem de poucos recursos tecnológicos.

Tanto o controlador baseado em Eberhart e Russell (1966), quanto o controlador híbrido, baseado em Eberhart e Russell (1966) e Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), proporcionaram classificação a todas as cultivares de forma adequada e de acordo com os parâmetros estabelecidos pelos dois métodos, apontando o êxito no uso da lógica *fuzzy*. Além disso, identificaram as mesmas cultivares com comportamentos de pertinência similares. Porém, houve diferença na classificação de cultivares a ambientes desfavoráveis sendo que, o controlador híbrido identificou a cultivar IPR Saracura com adaptação a ambientes desfavoráveis, que o controlador, baseado no método de Eberhart e Russell (1966), não foi capaz de identificar. Assim, apesar dos dois controladores proporcionarem classificação de todas as cultivares, de acordo com os critérios de cada método, o controlador híbrido, baseado nos métodos de Eberhart e Russell (1966), em junção com o Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), apresentou-se mais completo em relação às informações expressas. Isto pode estar relacionado ao fato de dois métodos associados apresentarem maior número de parâmetros de classificação e, conseqüentemente, maior poder de discriminação.

Em estudo realizado por Carneiro (2015) para recomendação de linhagens de feijoeiro comum, por meio da lógica *fuzzy* com os métodos Eberhart e Russell (1966) e Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), agregados, o autor concluiu que a união destes dois métodos, por apresentarem princípios distintos, apresentam informações complementares, que permite identificar, de forma eficaz e segura, a resposta dos genótipos frente às alterações ambientais.

Diversos estudos relatam que diferentes métodos de adaptabilidade e estabilidade podem ser utilizados em conjunto permitindo uma melhor recomendação de cultivares (PEREIRA *et al.*, 2009; CARBONELL *et al.*, 2001; OLIVEIRA *et al.*, 2006 e PERINA *et al.*, 2010).

As metodologias de Eberhart e Russell (1966) e de Lin e Binns (1988) têm sido, frequentemente, utilizadas em conjunto, por fornecerem informações complementares. Silva *et al.* (2013) citam o método de Lin e Binns (1988) como agregador de informações junto ao método de Eberhart e Russell (1966). Vários estudos de comparação de métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade verificaram que há baixa correlação entre os métodos de Eberhart e Russell (1966) e de Lin e Binns (1989) (NASCIMENTO *et al.*, 2013; PEREIRA *et al.*, 2009a; MELO *et al.*, 2007; SILVA e DUARTE, 2006 e SCAPIM *et al.*, 2000), evidenciando que a utilização do método de Eberhart e Russell (1966), em conjunto com um método não paramétrico, podem fornecer informações complementares sobre a estabilidade fenotípica das cultivares.

Desta maneira, apesar dos dois métodos identificarem as cultivares, de forma adequada e de acordo com as regras estabelecidas para cada controlador, verificou-se que o modelo híbrido, por ser baseado em dois métodos - Eberhart e Russell (1966) e Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998) - analisou um maior número de parâmetros (P_{if} , P_{id} , β_0 , β_1 e R^2) nos controladores e, assim, permitiu distinguir melhor a reação dos genótipos às variações ambientais.

4 CONCLUSÃO

Tanto o controlador baseado em Eberhart e Russell (1966) quanto o controlador híbrido, baseado em Eberhart e Russell (1966) e Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), classificaram todas as cultivares de forma, apontando o êxito no uso da lógica *fuzzy*.

O controlador baseado no método de Eberhart e Russell (1966) identificou as cultivares BRS MG Pioneiro, BRS Pontal, IAC Tybatã e IPR Juriti com ampla adaptabilidade. E as cultivares Campeão, Pérola e BRS Estilo, apresentaram adaptabilidade específica a ambientes favoráveis. Nenhuma cultivar foi classificada para ambientes desfavoráveis por este método.

O controlador híbrido baseado no método de Eberhart e Russell (1966) e Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998) classificou as cultivares BRS MG Pioneiro, BRS Pontal, IAC Tybatã e IPR Juriti como de adaptabilidade ampla. E as cultivares Campeão 2, Pérola e BRS Estilo com adaptação para ambientes favoráveis. A cultivar IPR Saracura foi classificada como de adaptação a ambientes desfavoráveis.

O modelo híbrido, baseado nos métodos de Eberhart e Russell (1966) e Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998) permitiu distinguir melhor a reação das cultivares às variações ambientais.

CAPÍTULO 3 – LÓGICA FUZZY APLICADA AO ESTUDO DE ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE PELOS MÉTODOS DE ANNICCHIARICO E CRUZ, TORRES E VENCovsky

RESUMO

O feijoeiro comum é uma das principais culturas produzidas no Brasil e no mundo. No Brasil é cultivado sob diversas condições edafoclimáticas e épocas de semeadura e, praticamente, em todos os estados. Esta diversidade de condições nas quais o feijoeiro comum é cultivado indica a presença da interação entre genótipos e ambientes (G x A). A identificação de cultivares mais promissoras, em diversos ambientes, é uma das etapas fundamentais em um programa de melhoramento genético de plantas. Logo o estudo da interação dos genótipos por ambientes (G x A) torna-se de grande relevância para o melhorista, principalmente, com a existência da interação. Para estudar o efeito da interação (G x A), é necessária a condução dos experimentos, no maior número possível de locais e anos, para se avaliar a magnitude da interação e seu possível impacto sobre a seleção e recomendação de cultivares (SILVA *et al.*, 2013). Para uma recomendação segura de cultivares em programas de melhoramento, fazem-se necessários estudos de adaptabilidade e estabilidade. Existem dois métodos amplamente utilizados, o de Cruz, Torres e Vencovsky (1989) e o de Annicchiarico (1992). Apesar da grande utilização destas metodologias, seus parâmetros são difíceis de interpretar, em especial, quando é avaliado um grande número de genótipos. Desta forma, a automação da tomada de decisões, em estudos de adaptabilidade e estabilidade, tem grande potencial como ferramenta auxiliar em programas de melhoramento. Diante disso, objetivou-se desenvolver controladores *fuzzy*, a fim de automatizar a tomada de decisão, em estudos de adaptabilidade e estabilidade pelos métodos Annicchiarico (1992) e Cruz, Torres e Vencovsky (1989) e verificar sua eficiência, utilizando dados de experimentos com cultivares de feijoeiro comum. Foram desenvolvidos controladores *fuzzy*, baseados no sistema de inferência, proposto por Mamdani, para os dois métodos de adaptabilidade e estabilidade estudados. Para o primeiro controlador *fuzzy*, foram considerados os parâmetros β_0 , β_1 e $\beta_{1i} + \beta_{2i}$ e o coeficiente de determinação (R^2) do método de Cruz, Torres e Vencovsky (1989). No segundo controlador, foram considerados os parâmetros ω_f e ω_d obtidos pelo método de Annicchiarico (1992). Para verificar o desempenho destes controladores, foram considerados dados de ensaios, 18 cultivares de feijoeiro comum, conduzidos em 11 ambientes. Os controladores foram desenvolvidos com base em rotinas estabelecidas no programa R. Os controladores *fuzzy* com o sistema de inferência baseados nos métodos de Cruz, Torres e Vencovsky (1989) e de Annicchiarico (1992) classificaram as 18 cultivares de forma adequada e de acordo com os critérios de cada método. Logo as metodologias utilizadas são eficientes e recomendadas, para automação da tomada de decisão, na recomendação de cultivares quanto à adaptabilidade e estabilidade.

Palavras-chave: Feijoeiro comum. Interação genótipo por ambiente. Melhoramento genético. Lógica nebulosa. Inteligência computacional.

CHAPTER 3 - FUZZY LOGIC APPLIED TO ADAPTABILITY STUDY AND STABILITY FOR METHODS OF ANNICCHIARICO AND CRUZ, TORRES AND VENCovsky

ABSTRACT

The common bean is one of the main crops produced in Brazil and worldwide. In Brazil it is grown under different environmental conditions and sowing times and in almost all states. This diversity of conditions to which the common bean is grown indicates the presence of the interaction between genotype and environment (G x E). The identification of the most promising cultivars in different environments is one of the fundamental steps in a breeding program plans. Therefore, the study of the interaction of genotype by environment (G x E) becomes very relevant for the breeder, especially with the existence of interaction. To study the effect of interaction (G x E), conducting experiments on the largest possible number of locations and years is necessary to assess the magnitude of the interaction and its possible impact on the selection and recommendation of cultivars (Silva *et al.*, 2013). For safe recommendation cultivars in breeding programs, it is necessary to study the adaptability and stability. There are two widely used methods, the Cruz, Torres and Vencovsky (1989) and the Annicchiarico (1992). Despite the widespread use of these methods the parameters are difficult to interpret, particularly when evaluating a large number of genotypes. Thus, the automation of decision making in adaptability and stability studies has great potential as an auxiliary tool in breeding programs. Therefore, the research objective is to develop fuzzy controllers to automate the decision-making adaptability studies and stability by Annicchiarico methods (1992) and Cruz, Torres and Vencovsky (1989) and check its efficiency by using experimental data with bean cultivars -common. Fuzzy controllers have been developed based on the Mamdani inference system proposed by the two methods of adaptability and stability studies. For the first fuzzy controller was considered the parameters β_0 , β_1 e $\beta_{1i} + \beta_{2i}$ and the coefficient of determination (R²) of the method of Cruz, Torres and Vencovsky (1989). The second controller parameters were considered ω_f and ω_d obtained by the method of Annicchiarico (1992). To check the performance of these drivers were considered test data 18 common bean cultivars grown in 11 environments. The controllers were developed from established routines in the program R. The fuzzy controllers with the inference system based on methods Cruz, Torres and Vencovsky (1989) and Annicchiarico (1992) classified the 18 cultivars appropriately and in accordance with the criteria for each method. Therefore, the methods used are effective and recommended for decision making automation on the recommendation of cultivars adaptability and stability.

Keywords: Common bean. Genotype by environment. Genetical enhancement. Fuzzy logic. Computational intelligence.

1 INTRODUÇÃO

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das principais culturas produzidas no Brasil e no mundo. No Brasil é cultivado sob diversas condições edafoclimáticas e épocas de semeadura e, praticamente, em todos os estados (BONETT *et al.*, 2006). A diversidade de condições na qual o feijoeiro comum é cultivado indica a presença da interação entre genótipos e ambientes (G x A).

A identificação de cultivares mais promissoras, em diversos ambientes, é uma das etapas fundamentais em um programa de melhoramento genético de plantas (PRADO *et al.*, 2001 e CRUZ *et al.*, 2012). Logo o estudo da interação dos genótipos por ambientes (G x A) torna-se de grande relevância para o melhorista, principalmente, com a existência da interação. Para estudar o efeito da interação (G x A), é necessária a condução dos experimentos, no maior número possível de locais e anos, para se avaliar a magnitude da interação e seu possível impacto sobre a seleção e recomendação de cultivares (SILVA *et al.*, 2013). A fim de tornar essa recomendação mais segura possível, é importante um estudo detalhado, por meio de análises de adaptabilidade e estabilidade, que forneçam informações minuciosas sobre o desempenho de cada cultivar diante das diversas variações ambientais.

Diferentes metodologias foram propostas, para a análise da adaptabilidade e estabilidade, de forma que a escolha por uma delas depende de fatores como a quantidade de genótipos e de ambientes avaliados e da forma com que a interpretação dos resultados será realizada (BARILI *et al.*, 2015). Dois métodos têm sido amplamente utilizados no estudo da adaptabilidade e estabilidade, em programas de melhoramento genético, o método de Cruz, Torres e Vencovsky (1989), que se baseia na análise de regressão bissegmentada e o método de Annicchiarico (1992), que estima o risco de adoção de determinado genótipo em relação à média dos demais (CRUZ *et al.*, 2012; 2014).

Porém, apesar da importância destas metodologias, seus parâmetros são difíceis de interpretar, principalmente, quando envolve grande número de genótipos e ambientes, dificultando a tomada de decisões pelo melhorista.

Portanto utilizar ferramentas e estratégias que auxiliem os melhoristas a realizar decisões assertivas são indispensáveis para o sucesso dos programas de melhoramento. Neste contexto, surge a lógica *fuzzy*.

A lógica *fuzzy* foi apresentada, em 1965, por Lotfi A. Zadeh, professor na Universidade da Califórnia, em Berkeley, por meio da publicação do artigo *Fuzzy Sets* no jornal *Information and Control* (ZADEH, 1965). Ela traduz, em valores numéricos, expressões verbais vagas e confusas comuns na comunicação humana, permitindo converter a experiência humana em uma linguagem decodificável por computador (SIMÕES e SHAW, 2011). Em razão desta propriedade e da capacidade de realizar inferências, a lógica *fuzzy* tem encontrado grandes aplicações em várias áreas (BEZDEK e PAL, 1992).

Nas Ciências Agrárias, o uso da lógica *fuzzy* é variado. Ela já foi utilizada para na irrigação e conservação na agricultura (GIUSTI e MARSILLIBELLI, 2015); na determinação da evapotranspiração (KISI e KERMANI, 2013); na seleção de genótipos de trigo (ISLAM, *et al.*, 2012); no sistema de suporte à adubação nitrogenada (PAPADOPOULOS *et al.*, 2011); na determinação da produtividade do solo em função de suas características físicas e químicas (DURU *et al.*, 2010); na produção de clorofila no Brasil (PEREIRA *et al.*, 2009c) e na determinação do risco por infestação de plantas daninhas em lavouras, foi mais precisa (BRESSAN *et al.*, 2008).

A lógica *fuzzy*, também, apresenta grande potencial nos programas de melhoramento, principalmente, nos estudos dos métodos de adaptabilidade e estabilidade. Esta ferramenta exibe a capacidade de interpretar os parâmetros dos métodos e, a partir disso, automatizar decisões que antes seriam realizadas pelos melhoristas. Deste modo, um processo que antes era demorado e trabalhoso torna-se simples, prático e rápido.

Em estudo com o feijoeiro comum, na Zona da Mata de Minas Gerais, a lógica *fuzzy* foi aplicada como ferramenta auxiliar na tomada de decisão na recomendação de cultivares (CARNEIRO, 2015), por meio das metodologias de adaptabilidade e estabilidade de Eberhart e Russell (1966) e de Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998) e, a partir disso, demonstrou o potencial da lógica *fuzzy* na automação do processo de recomendação de cultivares em programas de melhoramento genético.

Logo objetivou-se desenvolver controladores *fuzzy* para automatizar a tomada de decisão em estudos de adaptabilidade e estabilidade pelos métodos de Cruz, Torres e Vencovsky (1989) e de Annicchiarico (1992) e verificar suas eficiências utilizando dados de experimentos com cultivares de feijoeiro comum.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material genético e delineamento experimental

Para testar a eficiência dos controladores *fuzzy* desenvolvidos, foram utilizados dados referentes a experimentos realizados no âmbito do Programa de Melhoramento do Feijoeiro Comum da Embrapa Arroz e Feijão, os quais são denominados de “vitrine”. Os ensaios foram constituídos de 18 cultivares do grupo comercial “Carioca” (Tabela 1).

TABELA 1

Nome de registro, instituição de origem e/ou lançamentos e ano de lançamento das 18 cultivares de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) do grupo comercial “Carioca”.

Cultivares	Instituição de origem e/ou lançamentos	Ano de Lançamento
Alba	Embrapa Arroz e Feijão	-
BRS Cometa	Embrapa Arroz e Feijão	2007
BRS Estilo	Embrapa Arroz e Feijão	2009
BRS Horizonte	Embrapa Arroz e Feijão	2004
BRS Majestoso	Convênio UFV/UFLA/Embrapa Arroz e Feijão/Epamig	2006
BRS MG Pioneiro	Embrapa Arroz e Feijão	2005
BRS MG Talismã	Convênio UFV/UFLA/Embrapa Arroz e Feijão/Epamig	2004
BRS Pontal	Embrapa Arroz e Feijão	2005
BRS Requite	Embrapa Arroz e Feijão	2003
Campeão 2	Embrapa Arroz e Feijão	-
Guará	Epagri	2001
IAC Tybatã	Instituto Agronômico de Campinas - IAC	-
IPR Colibri	Instituto Agronômico do Paraná - IAPAR	2004
IPR Juriti	Instituto Agronômico do Paraná - IAPAR	2002
IPR Saracura	Instituto Agronômico do Paraná - IAPAR	2004
Magnífico	Embrapa Arroz e Feijão	-
Pérola	Embrapa Arroz e Feijão	1994
Rubi	Instituto Agronômico do Paraná - IAPAR	2010

Fonte: Da autora.

Os ensaios foram conduzidos em 11 ambientes nos municípios de: Ponta Grossa – PR, Santo Antônio de Goiás – GO e Uberlândia – MG, nas safras das “águas”, “seca” e “inverno”, nos anos de 2006, 2007, 2008 e 2010. A combinação de cada local, safra e ano foi considerada como um ambiente de cultivo. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com três repetições. As unidades experimentais constituíram-se de três linhas de 4,0 m de comprimento, espaçadas a 0,50 m. Os dados de produtividade foram coletados, nas duas linhas centrais das parcelas, cuja produção foi pesada e convertida em kg/ha, a 13% de umidade.

Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância individual, sendo detectada homogeneidade entre os resíduos (razão entre o maior e o menor quadrado médio do resíduo foi inferior a sete). E o número de repetições dos experimentos foi constante, o que, segundo Pimentel-Gomes (2009), garante a viabilidade da análise conjunta. Foi realizada a análise conjunta para identificar a interação G x A e as médias foram submetidas ao método de agrupamento de Scott-Knott (1974), ao nível de 5% de significância. Foram realizadas análises de adaptabilidade e estabilidade pelos métodos de Annicchiarico (1992) e Cruz, Torres e Vencovsky (1989). Posteriormente, os parâmetros, obtidos por estes métodos, foram submetidos aos controladores *fuzzy* a fim de determinar o comportamento destas cultivares. Os resultados foram obtidos por programação no software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2010).

2.2 Análises de adaptabilidade e estabilidade

Foram estudados os métodos de Annicchiarico (1992) e de Cruz, Torres e Vencovsky (1989).

O método de Annicchiarico (1992) baseia-se no índice de recomendação ($\omega_{i(g)}$) no qual um determinado genótipo mostra comportamento relativamente superior. Os maiores valores dos índices de recomendação são obtidos para os genótipos que apresentam maior média percentual ($\mu_{i(g)}$) e menor desvio (σ_{zi}).

Assim, considera-se que o índice de recomendação, proposto por Annicchiarico (1992), expressa a estabilidade e, também, a adaptabilidade genotípica é dada por:

$$\omega_{i(g)} = \mu_{i(g)} - Z_{(1-\alpha)} \sigma_{zi}$$

Em que $\omega_{i(g)}$ é o índice de recomendação; $\mu_{i(g)}$ é a média percentual dos genótipos i ; $Z_{(1-\alpha)}$ é o percentual da função de distribuição normal padrão; σ_{zi} é o desvio-padrão dos valores Z_{ij} , associado ao i -ésimo genótipo. Para obtenção deste índice, considera-se: Y_{ij} : média do i -ésimo genótipo no j -ésimo ambiente e Y_j : média do j -ésimo ambiente.

Obtêm-se os valores percentuais, para cada genótipo, conforme descrito a seguir:

$$Z_{ij} = \frac{100 Y_{ij}}{Y_j}$$

Para as médias relativas do genótipo i , consideram-se todos os ambientes, os ambientes favoráveis e os ambientes desfavoráveis, respectivamente, como se segue:

$$\mu_{i(g)} = \frac{\sum_{j=1}^a Z_{ij}}{a}, \text{ média do genótipo, considerando todos os ambientes (a = número de ambientes);}$$

$\mu_{i(f)} = \frac{\sum_{j=1}^f Z_{ij}}{f}$, média do genótipo, considerando apenas os ambientes favoráveis (f = número de ambientes favoráveis);

$\mu_{i(d)} = \frac{\sum_{j=1}^d Z_{ij}}{d}$, média do genótipo, considerando apenas os ambientes desfavoráveis (d = número de ambientes desfavoráveis).

Para os desvios relativos de cada genótipo i , consideram-se todos os ambientes, os ambientes favoráveis e os ambientes desfavoráveis, respectivamente, como se segue:

$\sigma_{zi(g)}$: desvio-padrão dos valores Z_{ij} , do i -ésimo genótipo, considerando seu comportamento em todos os ambientes;

$\sigma_{zi(f)}$: desvio-padrão dos valores Z_{ij} , do i -ésimo genótipo, considerando seu comportamento apenas nos ambientes favoráveis;

$\sigma_{zi(d)}$: desvio-padrão dos valores Z_{ij} , do i -ésimo genótipo, considerando seu comportamento apenas nos ambientes desfavoráveis.

Os Índices de Recomendação estimados, considerando todos os ambientes, os ambientes favoráveis e ambientes desfavoráveis são:

$$\omega_{i(g)} = \mu_{i(g)} - Z_{(1-\alpha)} \sigma_{zi(g)} : \text{avaliando todos os ambientes};$$

$\omega_{i(f)} = \mu_{i(f)} - Z_{(1-\alpha)} \sigma_{zi(f)} : \text{avaliando apenas os ambientes favoráveis};$

$\omega_{i(d)} = \mu_{i(d)} - Z_{(1-\alpha)} \sigma_{zi(d)} : \text{avaliando apenas os ambientes desfavoráveis}.$

O método de Cruz, Torres e Vencovsky (1989) baseia-se na análise de regressão bissegmentada, possuindo como parâmetros de adaptabilidade a média (β_{0i}), a resposta linear aos ambientes favoráveis ($\beta_{1i} + \beta_{2i}$) e desfavoráveis (β_{1i}). E a estabilidade dos genótipos é avaliada pelos desvios de regressão (δ_{ij}) de cada genótipo e pelo valor do coeficiente de determinação (R^2), em função das variações ambientais. Adota o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i} I_j + \beta_{2i} T(I_j) + \delta_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Em que Y_{ij} é a média do i -ésimo genótipo no j -ésimo ambiente; β_{0i} é a média do i -ésimo genótipo; β_{1i} é o coeficiente de regressão linear; I_j é o índice ambiental codificado ($\sum_j I_j = 0$). Em que, se $I_j \leq 0$, então, $T(I_j) = 0$, no entanto, se $I_j > 0$, então, $T(I_j) = I_j - I_+$, sendo o I_+ a média dos índices (I_j) positivos.

Os estimadores de mínimos quadrados para as constantes e para os coeficientes de regressão são (CRUZ *et al.*, 2012):

$$\beta_{0i} = Y_i$$

$$\beta_{1i} = \frac{\sum_j Y_{ij} I_j - \sum_j Y_{ij} T(I_j)}{\sum_j I_j^2 - \sum_j T^2(I_j)}$$

$$\beta_{2i} = \frac{\sum_j I_j^2 \sum_j Y_{ij} T(I_j) - \sum_j T^2(I_j) \sum_j Y_{ij} I_j}{\sum_j T^2(I_j) [\sum_j I_j^2 - \sum_j T^2(I_j)]}$$

$$\beta_{1i} + \beta_{2i} = \frac{\sum_j Y_{ij}(I_j)}{\sum_j T^2(I_j)}$$

A estes estimadores estão associadas as seguintes variâncias:

$$V(\beta_{0i}) = \frac{\sigma^2}{ar}$$

$$V(\beta_{1i}) = \frac{\sigma^2}{r [\sum_j I_j^2 - \sum_j T^2(I_j)]}$$

$$V(\beta_{2i}) = \frac{\sigma^2 \sum_j I_j^2}{r \sum_j T^2(I_j) [\sum_j T^2 - \sum_j T^2(I_j)]}$$

$$V(\beta_{1i} + \beta_{2i}) = \frac{\sigma^2}{r [\sum_j T^2(I_j)]}$$

em que:

σ^2 = QMR: quadrado médio do resíduo da análise de variância conjunta; e

r = número de repetições que deram origem às médias submetidas à análise.

2.3 Lógica fuzzy

Foram desenvolvidos dois controladores *fuzzy*, um para o método de Annicchiarico (1992), e outro para o método de Cruz, Torres e Vencovsky (1989), para automação da tomada de decisão. Os controladores foram desenvolvidos com base em rotinas (Apêndice II) estabelecidas no programa R.

Controlador *fuzzy* – Annicchiarico (1992)

Para o método de Annicchiarico (1992), foi desenvolvido o controlador *fuzzy* baseado no sistema de inferência *fuzzy* proposto por Mamdani (MAMDANI e ASSILIAN, 1975). As variáveis *fuzzy* linguísticas de entrada utilizadas foram os parâmetros índice de recomendação para ambientes favoráveis (ω_f) e o índice de recomendação para ambientes desfavoráveis (ω_d). Foram gerados conjuntos *fuzzy* para cada variável por meio de funções de pertinência que permitiram, por meio do processo de fuzzificação, classificar cada cultivar avaliada quanto aos critérios de adaptabilidade e estabilidade. Os valores do ω_f e ω_d foram alocados nos

conjuntos *fuzzy* "Baixo" e "Alto", por meio das funções de pertinência forma de Z ("*zmf*") e forma de S ("*smf*"), respectivamente.

Foi gerada uma variável *fuzzy* linguística de saída denominada "Comportamento Mamdani". Os valores de "Comportamento Mamdani" foram alocados em quatro conjuntos *fuzzy* baseados no desempenho quanto à adaptabilidade e estabilidade dos genótipos avaliados: Geral (GE), Ambiente favorável (AF), Ambiente desfavorável (AD) e Não indicado (NI).

A combinação dos conjuntos *fuzzy* de cada variável em regras *fuzzy* linguísticas baseado no sistema de inferência Mamdani permitiu desenvolver controladores capazes de determinar o comportamento de cada genótipo avaliado. As regras utilizadas nos controladores *fuzzy* desenvolvidos basearam-se na interpretação dos parâmetros do método de Annicchiarico (1992), em concordância com o previsto na literatura quanto à tomada de decisão para este método (ANNICCHIARICO, 1992). Na Tabela 2 são apresentadas as regras aplicadas nos controladores desenvolvidos que foram baseados no método de Annicchiarico (1992).

TABELA 2

Regras *fuzzy* linguísticas implementadas no controlador *fuzzy* baseados no comportamento quanto à adaptabilidade e estabilidade do método de Annicchiarico (1992).

Entradas		Saída
ω_d	ω_f	Comportamento Mamdani
Alta	Alta	Geral
Baixa	Alta	Ambiente favorável
Alta	Baixa	Ambiente desfavorável
Baixa	Baixa	Não indicado

ω_f = índice de recomendação para ambientes favoráveis; ω_d = índice de recomendação para ambientes desfavoráveis.

Fonte: Da autora.

Controlador *fuzzy* – Cruz, Torres e Vencovsky (1989)

Para o método de Cruz, Torres e Vencovsky (1989), foi desenvolvido o controlador *fuzzy* baseado no sistema de inferência *fuzzy* proposto por Mamdani (MAMDANI e ASSILIAN, 1975). As variáveis *fuzzy* linguísticas de

entrada utilizadas foram os parâmetros média geral (β_0), o coeficiente de regressão dos ambientes desfavoráveis (β_1), o coeficiente dos ambientes favoráveis ($\beta_{1i} + \beta_{2i}$) e o coeficiente de determinação (R^2). Foram gerados conjuntos *fuzzy* para cada variável por meio de funções de pertinência que permitiram, por meio do processo de fuzzificação, classificar cada cultivar avaliada quanto aos critérios de adaptabilidade e estabilidade.

As médias gerais das cultivares (β_0) foram padronizadas para uma escala de 0 a 100. A padronização baseou-se na distribuição normal dos dados, no valor de média geral (μ) e de desvio padrão (σ) destes dados. Aos valores associados a $\mu - 3\sigma$ foi atribuído o valor 0 e a aos valores associados a $\mu + 3\sigma$ foi atribuído o valor de 100. Os valores dos coeficientes de determinação (R^2) foram alocados nos conjuntos *fuzzy* "Baixo" e "Alto", por meio das funções de pertinência forma de Z ("*zmf*") e forma de S ("*smf*"), respectivamente.

Os valores dos coeficientes de regressão dos ambientes desfavoráveis (β_1) e do coeficiente dos ambientes favoráveis ($\beta_1 + \beta_2$) foram alocados nos conjuntos "Menor que 1", "Igual a 1" e "Maior que 1", por meio das funções de pertinência forma de Z ("*zmf*"), forma de " π " ("*pimf*") e forma de S ("*smf*"), respectivamente.

Nesta classificação, foi levada em consideração que as cultivares que apresentassem pertinência superior a 50%, no conjunto "Igual a 1", apresentariam valores de β_1 e $\beta_{1i} + \beta_{2i}$, estatisticamente, iguais a 1 pelo teste *t* de Student. Os valores de β_1 e $\beta_{1i} + \beta_{2i}$ originais de cada genótipo, ao serem submetidos ao controlador, foram padronizados. Esta padronização baseou-se no intervalo de confiança com 95 % de probabilidade, baseado na distribuição *t*, considerando a hipótese nula de β_1 e $\beta_{1i} + \beta_{2i}$ são iguais a 1. Ao limite inferior do intervalo de confiança foi atribuído valor -2 e ao limite superior foi atribuído o valor 4.

Foi gerada uma variável *fuzzy* linguística de saída denominada "Comportamento Mamdani". Os valores de "Comportamento Mamdani" foram alocados em oito conjuntos *fuzzy* baseados no desempenho quanto à adaptabilidade e estabilidade dos genótipos avaliados: Média adaptabilidade a ambientes favoráveis (MdAF), Máxima adaptabilidade a ambientes

favoráveis (MaxAF), Não adaptado (NA), Média adaptabilidade geral (MdAG), Máxima adaptabilidade geral (MaxAG), Máxima adaptabilidade a ambientes desfavoráveis (MaxAD), Baixa estabilidade (BE), Baixa produtividade (BP).

Na tabela 3 são apresentadas as regras utilizadas nos controladores *fuzzy* desenvolvidos que se basearam na interpretação dos parâmetros do método proposto por Cruz, Torres e Vencovsky (1989).

TABELA 3

Regras *fuzzy* linguísticas implementadas no controlador *fuzzy* baseados no comportamento quanto à adaptabilidade e estabilidade do método Cruz, Torres e Vencovsky (1989).

Entradas				Saída	
Média	β_1	$\beta_{1i} + \beta_{2i}$	R ²	Comportamento Mamdani	
				Média adaptabilidade a ambientes	
Alta	Igual a 1	Igual a 1	Alto	favoráveis	
	Igual a 1		Alto	Máxima adaptabilidade a	
Alta		Maior que 1		ambientes favoráveis	
Alta	Igual a 1	Menor que 1	Alto	Não adaptado	
			Alto	Média adaptabilidade a ambientes	
Alta	Maior que 1	Igual a 1		favoráveis	
	Maior que 1		Alto	Máxima adaptabilidade a	
Alta		Maior que 1		ambientes favoráveis	
Alta	Maior que 1	Menor que 1	Alto	Não adaptado	
Alta	Menor que 1	Igual a 1	Alto	Média adaptabilidade Geral	
Alta	Menor que 1	Maior que 1	Alto	Máxima adaptabilidade Geral	
			Alto	Máxima adaptabilidade a	
Alta		Menor que 1		ambientes desfavoráveis	
Alta	Igual a 1	Igual a 1	Baixo	Baixa estabilidade	
Alta	Igual a 1	Maior que 1	Baixo	Baixa estabilidade	
Alta	Igual a 1	Menor que 1	Baixo	Baixa estabilidade	
Alta	Maior que 1	Igual a 1	Baixo	Baixa estabilidade	
Alta	Maior que 1	Maior que 1	Baixo	Baixa estabilidade	
Alta	Maior que 1	Menor que 1	Baixo	Baixa estabilidade	
Alta	Menor que 1	Igual a 1	Baixo	Baixa estabilidade	
Alta	Menor que 1	Maior que 1	Baixo	Baixa estabilidade	
Alta	Menor que 1	Menor que 1	Baixo	Baixa estabilidade	

Baixa	Igual a 1	Igual a 1	Baixo	Baixa produtividade
Baixa	Igual a 1	Igual a 1	Alto	Baixa produtividade
Baixa	Igual a 1	Maior que 1	Baixo	Baixa produtividade
Baixa	Igual a 1	Maior que 1	Alto	Baixa produtividade
Baixa	Igual a 1	Menor que 1	Baixo	Baixa produtividade
Baixa	Igual a 1	Menor que 1	Alto	Baixa produtividade
Baixa	Maior que 1	Igual a 1	Baixo	Baixa produtividade
Baixa	Maior que 1	Igual a 1	Alto	Baixa produtividade
Baixa	Maior que 1	Maior que 1	Baixo	Baixa produtividade
Baixa	Maior que 1	Maior que 1	Alto	Baixa produtividade
Baixa	Maior que 1	Menor que 1	Baixo	Baixa produtividade
Baixa	Maior que 1	Menor que 1	Alto	Baixa produtividade
Baixa	Menor que 1	Menor que 1	Baixo	Baixa produtividade
Baixa	Menor que 1	Menor que 1	Alto	Baixa produtividade
Baixa	Menor que 1	Maior que 1	Baixo	Baixa produtividade
Baixa	Menor que 1	Maior que 1	Alto	Baixa produtividade
Baixa	Menor que 1	Menor que 1	Baixo	Baixa produtividade
Baixa	Menor que 1	Menor que 1	Alto	Baixa produtividade

β_1 = coeficiente de regressão dos ambientes desfavoráveis; ; $\beta_1 + \beta_2$ = do coeficiente dos ambientes favoráveis e R^2 = coeficiente de determinação.

Fonte: Da autora.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância conjunta referente ao caráter produtividade de grãos (kg/ha) de 18 cultivares de feijoeiro comum do grupo comercial “Carioca”, em onze ambientes, revelou efeitos significativos de genótipos (G), ambientes (A) e para a interação G x A ao nível de 1% (Tabela 4).

Esses resultados sugerem a existência de variabilidade genética entre os genótipos avaliados e diferença entre locais, anos e épocas de cultivos (ambientes). A significância da interação G x A indica a existência de resposta diferencial dos genótipos aos ambientes. Esta significância da interação G x A, para a cultura do feijoeiro comum, era esperada, pois os ensaios foram conduzidos, em três diferentes safras (“águas”, “inverno” e “seca”), com diferentes épocas de semeadura e em distintas regiões geoclimáticas (Goiás, Minas Gerais e Paraná).

TABELA 4

Resumo da análise de variância conjunta para produtividade de grãos de 18 cultivares de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) em onze experimentos.

FV ⁽¹⁾	GL ⁽²⁾	QM ⁽³⁾	F ⁽⁴⁾	P – valor
Blocos/Ambiente	22	223369.9	-	-
Genótipos	17	635234.9	2.387 **	< 0,01
Ambientes (A)	10	307804.6	115.68 **	< 0,01
G x A	170	266078.6	2.60 **	< 0,01
Resíduo	374	100770.5		
Média	1.952			
CV (%)	16,25			

(1) Fonte de variação; (2) Grau de liberdade; (3) Quadrado média; (4) Fcalculado.

Fonte: Da autora.

O coeficiente de variação (CV) foi de 16,25 %, o que indica boa precisão experimental. Experimentos com coeficientes de variação baixos ou de alta precisão são almejados pelos melhoristas, visto que proporcionam a obtenção de estimativas de parâmetros genéticos mais fidedignos ou acurados, os quais são importantes nas tomadas de decisões no andamento do programa de melhoramento (CARGNELUTTI FILHO *et al.*, 2012).

As entradas e classificação quanto ao comportamento em pertinência do sistema das 18 cultivares do tipo comercial “Carioca”, para os métodos de Cruz, Torres e Vencovsky (1989) e de Annicchiarico (1992), encontram-se nas Tabelas 5 e 6, respectivamente.

Pelo controlador baseado no método de Cruz, Torres e Vencovsky (1989), nenhuma das cultivares apresentou comportamento “geral”, ou seja, o genótipo “ideal” que, de acordo com o método, deve exibir: alta média de produtividade (β_0); baixa sensibilidade às condições adversas dos ambientes desfavoráveis, $\beta_{1i} < 1$; responsividade à melhoria ambiental, $\beta_{1i} + \beta_{2i} > 1$ e coeficiente de determinação elevado $R^2 > 0,80$. Neste mesmo contexto, Domingues et al. (2013), também, não obtiveram sucesso na identificação de linhagens de feijão comum “ideal” para o cultivo, de acordo com esta metodologia. Segundo Miranda et al. (1998), a dificuldade de identificação de cultivares ideais para o cultivo pelo método de Cruz, Torres e Vencovsky (1989) pode ser atribuída à correlação positiva existente entre o β_1 e o $\beta_{1i} + \beta_{2i}$.

Ainda, pelo controlador baseado no método de Cruz, Torres e Vencovsky (1989), nenhuma cultivar apresentou baixa sensibilidade a ambientes desfavoráveis, ou seja, adaptabilidade a ambientes desfavoráveis ($\beta_1 < 1$). Já as cultivares BRS Estilo, BRS Pontal, Campeão 2, IAC Tybatã e IPR Juriti foram classificadas com média adaptabilidade a ambientes favoráveis. Isto, porque elas exibiram média alta, acima da média geral de 1.952 kg/ha; $\beta_1 \geq 1$; $\beta_1 + \beta_2 = 1$ e coeficiente de determinação alto $R^2 > 80\%$. A cultivar Pérola foi classificada com máxima adaptação a ambientes favoráveis, pois obteve β_0 superior à média geral de 1.952 kg/ha; $\beta_1 \geq 1$; $\beta_1 + \beta_2 > 1$ e R^2 elevado, acima de 80%. A cultivar Guará exibiu baixa estabilidade, visto que, apesar de obter média acima da média geral de 1.952 kg/ha, obteve $\beta_1 > 1$, o que indica que esta cultivar é altamente sensível às condições adversas dos ambientes desfavoráveis e R^2 abaixo de 80%. As cultivares Alba, BRS Cometa, BRS Horizonte, BRS Majestoso, BRS MG Talismã, BRS Requite, IPR Colibri, IPR Saracura, Magnífico e Rubi foram consideradas com baixa produtividade, pois obtiveram média inferior à média geral de 1.952 kg/ha. E, por fim, a cultivar BRS MG Pioneiro foi considerada

como não adaptada, porque, apesar de obter média superior à média geral de 1.952 kg/ha, apresentou o $\beta_1 \geq 1$, indicando que esta cultivar apresenta alta sensibilidade às condições adversas nos ambientes desfavoráveis (Tabela 5).

Por meio do controlador baseado no método de Annicchiarico (1992), as cultivares BRS Pontal e Campeão 2 obtiveram comportamento geral, pois apresentaram índice de recomendação alto tanto para ambientes favoráveis (ω_f), quanto para ambientes desfavoráveis (ω_d). As cultivares BRS Estilo, IPR Juriti e Pérola foram classificadas para ambientes favoráveis, visto que obtiveram índice de recomendação para ambientes favoráveis (ω_f) alto e média de produtividade superior à média geral que é de 1.952 kg/ha. Já as cultivares Alba, BRS Cometa, BRS Horizonte, BRS Majestoso, BRS MG Pioneiro, BRS MG Talismã, BRS Requite, Guará, IAC Tybatã, IPR Colibri, IPR Saracura, Magnífico e Rubi apresentaram comportamento não indicado, visto que apresentaram índice de recomendação baixo tanto para ambientes favoráveis (ω_f), quanto para ambientes desfavoráveis (ω_d) (Tabela 6). As classificações mostraram que as cultivares mais estáveis e adaptadas foram, também, as mais produtivas, fato este que já era esperado, uma vez que, de acordo com o método de Annicchiarico (1992), para medir a superioridade das cultivares, toma como referência a média de cada um dos ambientes, ou seja, é estimado o risco de adoção de uma determinada cultivar e esta estimativa é obtida em relação à média (SILVA FILHO *et al.*, 2008 e PEREIRA *et al.*, 2009b).

De acordo com os resultados apresentados anteriormente, houve concordância na classificação das cultivares com auxílio da lógica *fuzzy* e os critérios encontrados na literatura para o método de Cruz, Torres e Vencovsky (1989) (PEREIRA *et al.*, 2009b; DOMINGUES *et al.*, 2013 e ROCHA *et al.*, 2010) e para o de Annicchiarico (1992) (PEREIRA *et al.*, 2010 e PEREIRA *et al.*, 2012). De acordo com Buckley (2006) a aplicação da lógica *fuzzy* reduz a imprecisão de respostas. Ela pode reduzir a propagação de erros, nos modelos lógicos, pois permite a resolução de problemas de automação de processos, o que proporciona resultados mais confiáveis, se

comparados à utilização da classificação booleana (SIMÕES e SHAW, 2011; MEIRELLES *et al.*, 2007 e GOMIDE e GUDWIN, 1994).

Ao comparar a classificação das cultivares pelos métodos de Cruz, Vencovsky e Torres (1989) e de Annicchiarico (1992), observou-se que a cultivar Pérola foi considerada para ambientes favoráveis pelos dois métodos. Ambos os métodos, de Cruz, Torres e Vencovsky (1989), quanto o método de Annicchiarico (1992) não classificaram cultivares para ambientes desfavoráveis.

Apesar de determinada similaridade, os dois métodos captam informações diferentes. Enquanto o método de Annicchiarico (1992) toma como referência a média de cada um dos ambientes, sendo calculado a partir do índice de confiança ou recomendação, que representa a chance de uma cultivar *i* apresentar *performance* fenotípica superior à média geral do conjunto genotípico que está sendo avaliado. O método de Cruz, Torres e Vencovsky (1989) baseia-se na regressão bissegmentada e com base na média de cada genótipo, em relação ao índice ambiental, consegue avaliar o comportamento dos genótipos de forma diferenciada nos ambientes desfavoráveis (que apresentam valores negativos do índice ambiental) e favoráveis (que apresentam valores positivos do índice ambiental) (ROCHA *et al.*, 2010). De acordo com Silva e Duarte (2006) comparar métodos de adaptabilidade e estabilidade serve para alertar sobre a importância da utilização de várias metodologias, para caracterizar e classificar os genótipos com o objetivo de selecionar ou recomendar, confiavelmente, os melhores materiais para determinados ambientes.

O método de Annicchiarico (1992) mostrou-se mais adequado para ser utilizado associado à lógica *fuzzy*, pois com poucos parâmetros conseguiu classificar, de forma eficaz e simples, as cultivares. Segundo Cargnelutti Filho *et al.* (2009), a metodologia de Annicchiarico proporciona resultados de fácil interpretação e é vantajosa por ser aplicável mesmo quando o número de ambientes for relativamente reduzido. Além disso, este método conseguiu identificar cultivares, para ambientes de ampla adaptação e de maior estabilidade que o método de Cruz, Torres e Vencovsky (1989) não conseguiu identificar. Este fato pode ser em virtude da grande

associação entre o β_1 e o $\beta_{1i} + \beta_{2i}$, o que dificulta o processo de seleção da cultivar ideal por este método (MIRANDA *et al.*, 1998).

De acordo com Carbonell *et al.* (2001) e Ribeiro *et al.* (2009), classificar cultivares de feijão com ampla adaptabilidade e maior estabilidade fenotípica deve ser considerada como uma alternativa para diminuir os efeitos da interação dos genótipos com o ambiente. Além disso, como o feijoeiro comum é cultivado em, praticamente, todas as regiões do país, em diferentes épocas e sistemas de cultivo e utilizado por diversas categorias de agricultores, identificar cultivares com ampla adaptabilidade e elevada estabilidade é mais vantajoso (VIEIRA *et al.*, 2013). Assim, uma cultivar pode ser utilizada em diferentes condições ambientais e diminuir os custos de produção sem a perda de produtividade.

Os controladores *fuzzy* baseados nos de métodos de Cruz, Torres e Vencovsky (1989) e de Annicchiarico (1992) classificaram as 18 cultivares de forma adequada e correspondente às regras *fuzzy* instituídas e aos parâmetros de cada método. De acordo com Gomide e Gudwin (1994), a lógica *fuzzy* proporciona uma forma razoável e simples de interpolação, com muito menos dados inexatos, com resultados mais acurados, além de apresentar desempenho estável e seguro.

TABELA 5

Entradas e classificação quanto ao comportamento de 18 cultivares de feijoeiro comum submetidas ao controlador *fuzzy* baseado no método de Cruz, Torres e Vencovsky (1989).

Cultivares	Entradas				Comportamento em Pertinências (%)							
	β_0	β_1^A	$\beta_{1i} + \beta_{2i}^A$	R^2	MdAF	MaxAF	NA	MdAG	MaxAG	MaxADes	BE	BP
Alba	1.757	0,99 ^{ns}	1,20 ^{ns}	0,89	21	21	0	0	0	0	16	77
BRS Cometa	1.811	1,02 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,96	31	0	12	0	0	0	2	69
BRS Estilo	2.103	1,11 ^{ns}	1,28 ^{ns}	0,96	57	43	0	0	0	0	2	13
BRS Horizonte	1.752	0,81 ^{ns}	0,98*	0,83	21	0	0	21	0	0	21	64
BRS Majestoso	1.881	1,00 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,89	45	0	0	0	0	0	15	55
BRS MG Pioneiro	2.016	1,05**	0,55 ^{ns}	0,88	13	0	74	0	0	0	17	26
BRS MG Talismã	1.851	1,07 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,97	39	0	1	0	0	0	1	61
BRS Pontal	2.113	1,11 ^{ns}	1,12 ^{ns}	0,97	71	8	0	0	0	0	1	12
BRS Requite	1.835	0,83 ^{ns}	1,14*	0,79	34	10	0	35	10	0	35	52
Campeão 2	2.079	1,15 ^{ns}	1,28*	0,94	51	44	0	0	0	0	4	16
Guará	2.012	1,11**	0,43 ^{ns}	0,76	0	0	33	0	0	0	67	27
IAC Tybatã	1.934	1,03 ^{ns}	1,20 ^{ns}	0,98	58	23	0	0	0	0	1	42
IPR Colibri	1.719	0,78*	1,11**	0,88	13	7	0	16	7	0	16	81
IPR Juriti	2.017	1,07 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,98	74	0	23	0	0	0	0	26
IPR Saracura	1.875	0,83 ^{ns}	0,78*	0,94	34	0	26	44	0	26	4	56
Magnífico	1.640	0,74 ^{ns}	0,91**	0,91	2	0	2	7	0	5	7	91
Pérola	1.970	1,21 ^{ns}	1,47**	0,97	10	65	0	0	0	0	1	35
Rubi	1.859	1,09 ^{ns}	0,94 ^{ns}	0,89	40	0	2	0	0	0	16	60

^A Coeficientes seguidos de ^{ns}, * e ** são, respectivamente: não significativo ao nível de 5%, significativo ao nível de 5% e significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t ao se considerar como hipótese nula que $\beta_1=1$, e $\beta_{1i} + \beta_{2i} = 1$. β_0 = média; β_1 = resposta linear aos ambientes desfavoráveis; $\beta_{1i} + \beta_{2i}$ =resposta linear aos ambientes favoráveis; R^2 = coeficiente de determinação; MdAF= Média adaptabilidade a ambientes favoráveis; MaxAF= Máxima adaptabilidade a ambientes favoráveis; NA = Não adaptado; MdAG = Média adaptabilidade geral; MaxAG = Máxima adaptabilidade geral; MaxADes= Máxima adaptabilidade a ambientes desfavoráveis; BE = Baixa estabilidade e BP= Baixa produtividade.

Fonte: Da autora.

TABELA 6

Entradas e classificação quanto ao comportamento Geral (GE), Ambiente favorável (AF), Ambiente desfavorável (AD) e Não indicado (NI) de 18 cultivares de feijoeiro comum submetidas ao controlador *fuzzy* baseado no método de Annicchiarico (1992).

Cultivares	Entradas		Comportamento em Pertinências (%)			
	$\omega_{(f)}$	$\omega_{(d)}$	GE	AF	AD	NI
Alba	81,77	74,63	28	33	28	67
BRS Cometa	91,91	85,75	37	42	37	58
BRS Estilo	107,40	97,69	48	52	43	43
BRS Horizonte	82,98	75,08	28	34	28	66
BRS Majestoso	89,72	84,73	36	40	36	60
BRS MG Pioneiro	95,46	87,81	39	46	39	54
BRS MG Talismã	97,34	86,54	37	47	37	53
BRS Pontal	109,19	101,52	52	48	41	41
BRS Requite	75,78	97,26	29	29	47	53
Campeão 2	101,33	99,63	50	50	49	49
Guará	90,19	91,96	41	41	42	58
IAC Tybatã	98,99	93,49	44	49	44	51
IPR Colibri	75,78	82,56	29	29	34	66
IPR Juriti	103,15	95,63	46	53	46	47
IPR Saracura	90,56	92,29	41	41	43	57
Magnífico	77,93	82,30	30	30	34	66
Pérola	99,81	80,09	32	50	32	50
Rubi	89,08	72,87	27	40	27	60

$\omega_{(f)}$ = índice de recomendação para ambientes favoráveis; $\omega_{(d)}$ = índice de recomendação para ambientes desfavoráveis.

Fonte: Da autora.

A lógica *fuzzy* tem sido cada vez mais usada em sistemas que utilizam informações fornecidas por seres humanos, para automatizar procedimentos quaisquer, como, por exemplo, no auxílio na tomada de decisão. Sua simplicidade, reduzido custo computacional, versatilidade e flexibilidade permitem que sejam adaptados a novos padrões, por meio da modificação dos parâmetros que definem o sistema de inferência *fuzzy* (AFONSO, 2009). Além disso, os resultados obtidos por meio da lógica *fuzzy* proporcionam análises mais refinadas quando comparadas com os resultados obtidos por meio da estatística clássica (BLANCO-FERNANDEZ *et al.*, 2013, 2014; PITERBARG, 2011; VIERTL, 2011).

Em decorrência destas características, a lógica *fuzzy* tem auxiliado no processo de automação em várias áreas das Ciências Agrárias. No melhoramento genético de plantas, Carneiro (2015) utilizou a lógica *fuzzy* como ferramenta auxiliar na avaliação do comportamento de linhagens de feijoeiro comum do grupo vermelho em diferentes ambientes. Este autor baseou-se nos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de Eberhart e Russell (1966) e Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998) e verificou o potencial de automação desta metodologia na recomendação de cultivares em programas de melhoramento.

Além do uso desta ferramenta, no melhoramento de plantas, a lógica *fuzzy* já foi aplicada na irrigação e conservação na agricultura (GIUSTI e MARSILI-LIBELLI, 2015); na seleção de genótipos de trigo (ISLAM, *et al.*, 2012); na determinação da evapotranspiração (KISI e KERMANI, 2013); no sistema de suporte à adubação nitrogenada (PAPADOPOULOS *et al.*, 2011); para determinação da produtividade do solo em função de suas características físicas e químicas (DURU *et al.*, 2010), produção de clorofila (PEREIRA *et al.*, 2009c) e no risco de infestação de plantas daninhas em lavouras (BRESSAN *et al.*, 2008).

Estes trabalhos demonstram a importância e utilidade da lógica *fuzzy* como auxílio no processo de tomada de decisões em diferentes processos. A utilização dos modelos baseados em regras *fuzzy* vem sendo de grande importância, em diversas áreas (sociais, exatas, agrárias), para explicar fatos que a matemática clássica não consegue modelar. Tais modelos são, em

geral, utilizados em aplicações de sistema especialistas, buscando extrair informações de pessoa e transferir para um algoritmo, os controladores *fuzzy*, visando à automação dos processos com respostas mais eficientes, que facilitem a interpretação de resultados e apresentando soluções que as antes observadas (SIMÕES e SHAW, 2011).

Neste sentido, a lógica *fuzzy* torna-se uma grande aliada aos programas de melhoramento em virtude de sua simplicidade e capacidade de automação de tomada de decisões. Portanto, os controladores *fuzzy* baseados nos métodos de Cruz, Torres e Vencovsky (1989) e de Annicchiarico (1992) demonstraram potencial de uso de forma útil e eficiente, no processo de automação da tomada de decisão, no processo de recomendação de cultivares, de acordo com regras *fuzzy* estabelecidas. É, assim, indicada para ser utilizada nos programas de melhoramento genético, principalmente, quando há um grande número de ambientes e genótipos.

4 CONCLUSÃO

Os controladores *fuzzy* baseados nos métodos de Cruz, Torres e Vencovsky (1989) e de Annicchiarico (1992) possibilitam a classificação das cultivares de forma adequada.

As metodologias utilizadas são eficientes na automação da tomada de decisão, para a recomendação de cultivares, em estudos de adaptabilidade e estabilidade.

O método de Annicchiarico (1992) mostrou-se mais adequado para ser utilizado associado à lógica *fuzzy*.

REFERÊNCIAS

ABREU, A.F.B. de. DEL PELOSO, M. J. **Cultivares de feijoeiro comum para o Estado de Minas Gerais**. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2004. 4p. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular técnica 65).

ABREU, A.F.B. de. **Cultivo do feijão da primeira e segunda safras na região sul de Minas Gerais – Doenças e métodos de controle**. Embrapa Arroz e Feijão - Sistemas de Produção, n.6. Versão eletrônica, 2005. Disponível em:<<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoPrimSegSafraSulMG/doencas.htm>>. Acesso em: 4 fev., 2016, 13:46.

ABREU, A. F. B. RAMALHO, M. A. P. (2005) **Cultivo do Feijão Irrigado na Região Noroeste de Minas Gerais**. Embrapa Arroz e Feijão, Sistemas de Produção, N° 5, versão eletrônica. Disponível em:<<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoIrrigadoNoroesteMG/cultivares>>. Acesso em: 15 dez.,2015, 16:15.

AFONSO, A. C. M. **Lógica fuzzy aplicada à modelagem da transferência de águas em solos**. 2009. 95f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2009.

AGUIAR, R. S.; MODA-CIRINO, V.; FARIA, R. T.; VIDAL, L. H. I. Avaliação de linhagens promissoras de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerantes ao déficit hídrico. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 1-14, 2008.

ALMEIDA, L. D'A.; LEITÃO FILHO, H. F.; MIYASAKA, S. Características do feijão Carioca, um novo cultivar. **Bragantia**, Campinas, v. 30, p. 33-38, 1971.

ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfafa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics and Breeding**, v. 46, n. 1, p. 269-278, 1992.

ARAÚJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE,L.F.; ZIMMERMANN, M.J.O. (Coord.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Potafos, p.1-21, 1996.

BACKES, R.L.; ELIAS, H. T.; HEMP, S.; NICKNICH, W. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijoeiro no Estado de Santa Catarina. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.27, n.2, p.309-314, 2005.

BARBOSA, F. R.; SILVA, C. C. da. GONZAGA, A. C O. de. SILVEIRA, P. M. da. QUINTELA, E.D. JÚNIOR, M. L. COBUCCI, T. DEL PELOSO, M. J. JUNQUEIRA, R.B.M. **Sistemas de produção integrada do feijoeiro comum na região Central brasileira**. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2009, 28p. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular técnica,86).

BARBOSA, F.R. & GONZAGA, A.C.O. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na Região Central-Brasileira: 2012-2014** - Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão – (Documentos, 272) 247p., 2012.

BARILI, L.D.; VALE, N.M.; AMARAL, R.C. de; CARNEIRO, J. E. S. de.; SILVA, R. C.de. CARNEIRO, P. C. S. Adaptabilidade e estabilidade e produtividade de grãos em cultivares de feijão preto recomendadas no Brasil nas últimas cinco décadas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.11, p.1980-1986, 2015a.

BARILI, L. D.; VALE, N.M.do.;PRADO, A.L.do.; CARNEIRO, J.E.S.de.; FONSECA E SILVA, F.; NASCIMENTO, M. Genotype-environment interaction in common bean cultivars with carioca grain cultivated in Brazil in the last 40 years. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. v.15, n.4, 244-250 p., 2015b.

BECKER, H. C.; LEON, J. Stability analysis in plant breeding. **Plant Breeding**, v. 101, p. 1- 23, 1988.

BEEBE, S. E.; IDUPULAPATI, R. A. O.; MATTHEW, W. B.; BUTARE, L. Selection for drought resistance in common bean also improves yield in phosphorus limited and favorable environments. **Crop Science Society of America**, Madison, v. 48, n. 2, p.582-592, 2008.

BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. 2° Ed. Stemma Press, 400p, 2010.

BEZDEK, J. C.; PAL, S. K. **Fuzzy Models for Pattern Recognition**, IEEE Press, New York, 1992.

BLANCO-FERNÁNDEZ, A. CASALS, M.R.; COLUBI, A.; CORRAL, N.; GARCÍABÁRZANA, M.; GIL, M. A.; GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, G.; LÓPEZ, M.T.; LUBIANO, M.A.; M. MONTENEGRO, M.; RAMOS-GUAJARDO, A. B.; DE LA ROSA DE SÁ, A, S.; SINOVA, B. A distance-based statistical analysis of *fuzzy* number-valued data. **International Journal of Approximate Reasoning**, v. 55, p. 1487-1501, 2014.

BLANCO-FERNÁNDEZ, A; CASALS, M. R.; COLUBI, A.; CORRAL, N.GÁRCIABÁRZANA, M.; GIL, M. A.; GONZÁLEZ-RODRÍGUES, G.; LÓPEZ, M. T.; LUBIANO, M. A.; MONTENEGRO, M.; RAMOS-GUAJARDO, A. B.; DE LA ROSA DE SÁ, S.; SINOVA, B. Random *fuzzy* sets: a mathematical tool to develop statistical *fuzzy* data analysis. **Irrarian journal of fuzzy systems**, v. 10, n. 2, p. 1-28, 2013.

BOENTE, A. N. P.; DORIA, F. A. M. A.; COSENZA, C. A. N.; SANTOS, R. M.; BOENTE, R. M. P.; FERREIRA, V. M. S. Avaliação da qualidade de ambiente virtual de aprendizagem e da satisfação de seus usuários: Teoria dos conjuntos Fuzzy para tomada de decisão: Um estudo de caso. **Nuevas Ideas en Informática Educativa**, TISE 2015. 666-671 p., 2015.

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.

BONETT, L. P. et al. Divergência genética em germoplasma de feijoeiro comum coletado no estado do Paraná, Brasil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 27, n. 04, p. 547-560, 2006.

BORÉM, A.; MIRANDA, G.V. **Melhoramento de plantas**. 6. ed. Viçosa: Viçosa UFV, 2013.

BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2 ed. Viçosa: Viçosa UFV, 2013.

BORGES, L.C.; FERREIRA, D.F.; ABREU, A.F.B.;RAMALHO, M.A.P. Emprego de metodologias de avaliação da estabilidade fenotípica na cultura do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Ceres**, v.47, p.89-102, 2000.

BORÉM, A.; CARNEIRO, J.E.S. A Cultura. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, J.; BORÉM, A. (eds.). **Feijão**. 2ª ed. Viçosa:UFV. Viçosa. p.13-18. 2008.

BORGES, L.C.; FERREIRA, D.F.; ABREU, A.F.B.;RAMALHO, M.A.P. Emprego de metodologias de avaliação da estabilidade fenotípica na cultura do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Ceres**, v.47,n.269, p.89-102, 2000.

BOTELHO, T. G. **Uma nova proposta para a implementação computacional do princípio de extensão de Zadeh**. 2012. 77f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

BOYER, C.B. **História da Matemática**. 3º ed., São Paulo:Edgar Blücher, 2012.

BRASIL (2001). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Anexo IV. **Requisitos mínimos para determinação do valor de cultivo e uso de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), para a inscrição no registro nacional de cultivares**– RNC. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/snpc>>. Acesso em: 27 nov. de 2015, 14:56.

BRESSAN, G. M.; KOENIGKAN, L. V.; OLIVEIRA, V. A.; CRUVINEL, P. E.;KARAM, D. A classification methodology for the risk of weed infestation using *fuzzy* logic. **Weed Research**, v. 48, n.5, p. 470-479, 2008.

BUCKLEY, J. J. **Fuzzy Probability and Statistics**. Studies in Fuzziness and Soft Computing. 1. ed., New York: Springer, 2006.

BUENO, L. C. S. de; MENDES, A. N. G.; CARVALHO, S. P. de. **Melhoramento genético de plantas: princípios e Procedimentos**. 2º ed. Lavras: UFLA, 2006.

BURLE, M.L.; FONSECA, J.R.; KAMI, J.A. & GEPTS, P. Microsatellite diversity and genetic structure among common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces in Brazil, a secondary center of diversity. **Theoretical and Applied Genetics**. v.121, n.5, p.801-813, 2010.

CALDEIRA, A.M.; MACHADO, M.A.S.; SOUZA, R.C.; TANSCHKEIT, R. OLIVEIRA JUNIOR, A.H (Coord.). **Inteligência computacional aplicada à administração, economia e engenharia em Matlab**. Ed. Tomson Learning, 2007.

CARMO, S. L. M. et al. Avaliação do 'staygreen' em famílias segregantes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, n.4, p.953-957, 2007.

CARNEIRO, P.C.S. **Novas metodologias de análise da adaptabilidade e estabilidade de comportamento**. 1998, 168f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Genética e Melhoramento, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.

CARNEIRO, V. Q. **Rede neural e lógica fuzzy aplicadas no melhoramento do feijoeiro**. 2015, 180f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2015.

CARBONELL, S.A.M.. FILHO, J. A. A. de.; DIAS, L. A. SANTOS dos. GONÇALVES, C.; ANTONIO, C. B. Adaptabilidade e estabilidade de produção de cultivares e linhagens de feijoeiro no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.60, n.2, p.69-77, 2001.

CARBONELL, S.A.M.; CHIORATO, A.F.; RESENDE, M.D.; DIAS, L.A.S; BERALDO, A.L.A.; PERINA, E.F. Estabilidade de cultivares e linhagens de feijoeiro em diferentes ambientes no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.3, p.193-201, 2007.

CARGNELUTTI FILHO, A.; JUNIOR, R.L.C.B.do.; 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.

CARGNELUTTI, A.; STORCK, L.; RIBOLDI, J.; GUADAGNIN, J.P. Associação entre métodos de adaptabilidade e estabilidade em milho. **Ciência Rural**, Brasília, v.39, n.2, p.340-347, 2009.

CHIORATO, A. F.; CARBONELL, S. A. M. O melhoramento genético de feijoeiro no Instituto Agrônômico IAC (1932 a 2014). **O Agrônômico**, v. 64-66, 2014.

CHUNG, E.; KIM, Y. Development of *fuzzy* multi-cereal approach to prioritize locations of treated wastewater use considering climate change scenarios. **Journal of Environmental Management**, v. 146, n.15, p. 505-516, 2014.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**. Avaliação da Safra Agrícola 2006/2007 – Terceiro Levantamento – Brasília, DF, 37p. Dez, 2006,

COSTA, G.R., RAMALHO, M.A.O., ABREU, A.F.B. Variabilidade para absorção de água nos grãos de feijão do germoplasma da UFLA. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n.4, p.1017-1021, 2001.

COSTA, B. S. J. **Detecção e diagnóstico de falhas não-supervisionados baseados em estimativa de densidade recursiva e classificador fuzzy auto-evolutivo**. 2014, 100f. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN, 2014.

CORCOLL-SPINA, C. D. de. **Lógica Fuzzy: reflexões que contribuem para a questão da subjetividade na construção do conhecimento matemático**. 2010, 165f. Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Educação. Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. São Paulo - SP, 2010.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3º ed, Viçosa: Viçosa UFV, 2014.

CRUZ, C. D.. GENES - a software pack age for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.35, n.3, p. 271–276, 2013.

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

CRUZ, C. D., TORRES, R. A. DE A., & VENCOVSKY, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. **Revista Brasileira de Genética**, v. 12, n.3, p. 567–580, 1998.

DEL PELOSO, M.J.; MELO, L.C. ;FARIA, L. C. de.; COSTA, J.G.C.da.; RAVA, C.A.; CARNEIRO, G.E.S.de.; SOARES, D.M.S.; DÍAZ, J.L.C.; ABREU, A.F.B.de.; FARIA, J. C. de.; SARTORATO, A.; SILVA, .H.T.da; BASSINELLO, P.Z.; ZIMMERMANN, F.J.P. **BRS Pontal: nova cultivar de feijoeiro-comum com alto potencial produtivo**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003, 2p.(Embrapa Arroz e Feijão.Comunicado técnico,64).

DHAR, M. On geometrical representation of fuzzy numbers. **International Journal of Energy, Information and Communications**, vol. 3, n.2, p.29-34, 2012.

DOMINGUES L.S.; RIBEIRO N.D.; MINETTO, C.; SOUZA J.F.; ANTUNES, I.F. Metodologias de análise de adaptabilidade e de estabilidade para a identificação de linhagens de feijão promissoras para o cultivo no Rio Grande do Sul. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, n. 13, p. 1065-1076, 2013.

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

DURU, N.; DÖKMEN, F.; CANBAY, M. M.; KURTULUŞ, C. Soil productivity analysis based on a *fuzzy* logic system. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 90, n.13, p. 2220-2227, 2010.

EBERHART, S.A.; RUSSELL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**. Madison, v.6, n.1, p.36-40, 1966.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **BRS MG Pioneiro: feijoeiro comum tipo de grão carioca**. Santo Antônio de Goiás, GO - Embrapa Arroz e Feijão, 2005.

FANCELLI, A. L. **Feijão: tópicos especiais de manejo**. Piracicaba: ESALQ/USP/LPV., 2009.

FAO- Faostat. Disponível em:< <https://www.fao.org.br/>>. Acesso em: 25 set. de 2015, 10:43.

FARIA, A.P.; MODA-CIRINO, V.; BURATTO, J.S.; SILVA, C.F.B.da.; DESTRO, D. Interação genótipo x ambiente na produtividade de grãos de linhagens e cultivares de feijão. **Acta Scientiarum Agronomy** Maringá, v. 31, n. 4, p. 579-585, 2009.

FARIA, J. C. de.; YOKOYAMA, M. **Danos causados pelo mosaico dourado do feijoeiro: o papel de culturas hospedeiras do vetor do vírus e manejo da praga e doença**. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2008, 28p.(Embrapa Arroz e Feijão.Documento 230).

FEHR, W. R. **Principles of cultivar development**. 1º ed. New York: Macmillan, 1987.

FERREIRA, D. F.; DEMÉRITO, C. G. B.; MANLY, B. R. J.; MACHADO, A. A.; VENCOVSKY, R. Statistical models in agriculture: biometrical methods for evaluating phenoty picstability in plant breeding. **Cerne**, v. 12, n. 4, p. 373-388, 2006.

FINLAY, K.W.; WILKINSON, G.N. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. **Australian Journal of Agriculture**, v.14, n. 6.,p. 742-754, 1963.

GAUCH, H. G.; ZOBEL, R. W. AMMI analysis of yield trials. In: KANG, M.S.; GAUCH, H.G. (ed.) Genotype-by-environment interaction. **CRC Press**, New York, 1996. 416 p.

GOMES, M. S.; PINHO, R. G. V.; OLIVEIRA, J. S.; RAMALHO, M. A. P.; VIANA, A. C. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de milho para produtividade de matéria seca e degradabilidade ruminal da silagem. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**. Sete Lagoas, v.1, n.2, p.83-90, 2002.

EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. **Dados conjunturais da produção de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) no Brasil (1985 a 2014): área, produção e rendimento**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2015. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm>>. Acesso em: 14 mar. de 2016, 14:38.

GOMIDE, F. A. C.; GUDWIN, R. R. Modelagem, controle, sistemas e lógica fuzzy. **SBA Controle & Automação**, v.4, n.3, p.97-115, 1994.

GONÇALVES, J G. R.; CHIORATO, A. F. SILVA, D. A da.; ESTEVES, J. A. F. de.; BOSETTI, F.; CARBONELL, S. A. M. Análise da capacidade combinatória em feijoeiro comum submetido ao déficit hídrico. **Bragantia**, Campinas, v. 74, n. 2, p.149-155, 2015.

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.

IAPAR – Instituto Agrônômico do Paraná. **Principais características das cultivares de feijão com sementes disponíveis no mercado**. Disponível em:<<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1363>>. Acesso em: 14 de jan, 2016, 16:18.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE (2014). Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 17 de dez.,2015, 15:41.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE (2016). **Cidades**. Disponível em: < <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>>. Acesso em: 18 de dez, 2015, 15:52.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola. Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil**. Rio de Janeiro, v.29, n.1, p. 1-78, 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Estações e dados**. Disponível em:< <http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em: 12 de jan., 2016, 13:37.

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.

KANDEL, A. **Fuzzy Mathematical Techniques with Applications**, U.S.A.: Addison-Weslwy Publishing Company, 1986.

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

KOHAGURA, T. **Lógica Fuzzy e suas aplicações**. 2007, 61f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Estadual de Londrina., Londrina, 2007.

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

LIN, C. S., BINNS, M.R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian Journal of Plant Science**, v.68, n.3, p.193-198, 1988.

MAMDANI, E. H. Applications of *Fuzzy* algorithms for control of a simple dynamic plant. **Proceedings of the IEEE**, New York, v. 121, n. 12, p. 1585-1588, 1974.

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.

MARTÍNEZ, L. ,RUAN, D., HERRERA, F. Computing with Words in Decision support Systems: Na overview on Models and Aplications. **International Journal of Computacional Intelligence Systems**, v.3, n. 4, p. 382-395, 2010.

MASSAD, E.; MENEZES, R.X.de.; SILVERIA, P.S.P.; ORTEGA, N.R.S. **Métodos quantitativos em Medicina**. 1º ed, Barueri, SP: Manole Ltda, 2004.

MATHWORKS, C. **Fuzzy Logic Toolbox TM User 's Guide - MATLAB**. Rb. 368 p.,.2015.

MEIRELLES, M. S. P.; MOREIRA, F. R.; CAMARA, G. Técnicas de inferência espacial. In: MEIRELLES, M. S. P.; CAMARA, G.; ALMEIDA, C. M. (2007) **Geomática: modelos e aplicações ambientais**. Brasília: Embrapa. Informação Tecnológica,. cap. 3, p. 105-190, 2007.

MELO, L. C., MELO, P. G. S., FARIA, L. C., DIAZ, J. L. C., PELOSO, M. J., RAVA, C. A., COSTA, J. G. C. Interação com ambientes e estabilidade de

genótipos de feijoeiro-comum na Região Centro-Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.5, p.715-723, 2007.

MENEZES JUNIOR, J.A.N.; REZENDE-JÚNIOR, L.S.; ROCHA, G.S.; SILVA, V.M.P.E.; PEREIRA, A.C.; CARNEIRO, P.C.S.; PETERNELLI, L.A.; CARNEIRO, J.E.S. Two cycles of recurrent selection in red bean breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnolog.** Viçosa, MG, .13, n.1, p. 41-48, 2013.

MENSACK, M.M.; FITZGERALD, V.K.; RYAN, E.P.; LEWIS, M.R.; THOMPSON, H.J.; BRICK, M.A. Evaluation of diversity among common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) from two centers of domestication using comics technologies. **BMC Genomics**, v.11, p.1-33, 2010.

MESQUITA, F. R. et al. Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): Composição química e digestibilidade protéica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, n.4, p.1114-1121, 2007.

MIRANDA, G. C.; VIEIRA, C.; CRUZ, C. D.; ARAUJO, G. A. A. Comparação de métodos de avaliação da adaptabilidade e da estabilidade de cultivares de feijoeiro. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.20, n.3, p.249-255, 1998.

MODA-CIRINO, V.; GERAGE, A.C.; RIEDE, C.R.; SERA, G.; TAKAHASHI, M.; ABBUD, N.; SNAZARENO, N.R.X.; ARAÚJO, P.M.; AULER, P.M.; YAMAOKA, R.S.; SERA, T.; ALMEIDA, W.P. Plant breeding at Instituto Agrônômico do Paraná – IAPAR. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. Viçosa, v.12, p. 25-30, 2012.

MOOSE S.P., MUMM R.H. Molecular plant breeding as the foundation for 21st century crop improvement. **Plant Physiology**, v.14. n.3, p.969-977. 2008.

MOURA, M.M.; CARNEIRO, P.C.S.; CARNEIRO, J.E.S.; CRUZ, C.D. Potencial de caracteres na avaliação da arquitetura de plantas de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.48, n.4, p. 417-425, 2013.

NASCENTE, A.S.; DIAZ, J. L. C.; DEL PELOSO, M.J.; FARIA, L. C.; COSTA, J.G.C.C.da.; RAVA, C.A. Atividades de pesquisa, desenvolvimento e transferência de tecnologia com o feijoeiro comum em São Paulo, Paraná e Santa Catarina (2004/2005). Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2005, 56p. (Embrapa Arroz e Feijão: Documentos 181).

NASCIMENTO, M.; NASCIMENTO, A. C. C.; CIRILLO, M. Â.; FERREIRA, A.; PETERNELLI, L. A.; DE PAULA, R. F. Association between responses obtained using adaptability and stability methods in alfalfa. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, p. 2545-2554, 2013.

OLIVEIRA JR, H. A. **Lógica Difusa: Aspectos Práticos e Aplicações**. Rio de Janeiro: Interciência, 1999.

OLIVEIRA, V.O., CARNEIRO, P.C.S., CARNEIRO, J.E.S., CRUZ, C.D. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de feijão comum em Minas Gerais. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.41, n.2, p.257-265, 2006.

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.

PEREIRA, H.S.; ALMEIDA, V.M.de.; MELO, L. C.; WENDLAND, L.C.F.de.; DEL PELOSO, M. J.; MAGALDI, M.C.S.de. Influência do ambiente em cultivares de feijoeiro-comum em cerrado com baixa altitude. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 2, p.165-172, 2012.

PEREIRA, H. S.; MELO, L. C.; FARIA, L. C. de; DEL PELOSO M. J.; DÍAZ, J. L. C.; WENDLAND, A. Indicação de cultivares de feijoeiro-comum baseada na avaliação conjunta de diferentes épocas de semeadura. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.6, p.571-578, 2010.

PEREIRA, H. S.; MELO, L. C.; DEL PELOSO, M. J.; FARIA, L. C.; COSTA, J. G. C.; DÍAZ, J. L. C.; RAVA, C. A.; WENDLAND, A. Comparação de métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em feijoeiro comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v.44, n.4, p.374-383, 2009a.

PEREIRA, H.S.; MELO, L.C.; FARIA, L.C.de.; DÍAZ, J. L. C.; DEL PELOSO, M.J.; COSTA, J.G.C.C.da.; WENDLAND, A. Stability and adaptability of carioca common bean genotypes in states of the central South Region of Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.9, p.181 – 188, 2009b.

PEREIRA, G.C.; EVSUKOFF, A.; EBECKEN, N. F.F. *Fuzzy* modelling of chlorophyll production in a Brazilian upwelling system. **Ecological Modelling**. Rio de Janeiro, v. 220, n. 12, p. 1506- 1512, 2009c.

PERINA, E. F.; CARVALHO, C. R. L.; CHIORATO, A. F.; GONÇALVES, J. G. R.; CARBONELL, S. A. M. Avaliação da estabilidade e adaptabilidade de genótipos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) baseada na análise multivariada da "performance" genotípica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 398-406, 2010.

PIMENTEL-GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 15^o ed, Piracicaba: Fealq, 2009.

PITERBARG, L. I. Parameter estimation from small biased samples: **Fuzzy Sets vs Statistics**. Los Angeles, v. 170, p. 1-21, 2011.

PLAISTED, R.L.; PETERSON, L.C. A technique for evaluating the ability of selection toyield consistently in different location sorseasons. **American Journal of Potato Research**, Washington, v.36, n.6, p.381-385, 1959.

PRADO, E. P.; HIROMOTO, D. M.; GODINHO, V. P. C.; UTUMI, M. M.; RAMALHO, A. R. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja em cinco épocas de plantio no cerrado de Rondônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.4, p.625-635, 2001.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Viena: R Foundation for Statistical Computing, 2010.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; ZIMMERMANN, M. J. O. **Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro**. 1º ed. Goiânia: UFG, 1993.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A.F.B.de. SANTOS, J. B.; NUNES, J. A. R. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. 1ºed. Lavras: UFLA, 2012.

RAMOS, F. S. **Ferramenta prática na classificação de animais para o abate através da lógica Fuzzy**. 2011, 58f. Dissertação (mestrado) – Universidade Anhanguera - Uniderp, Campo Grande, MS, 2011.

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

RIBEIRO, N. D.; ANTUNES, I. F.; SOUZA, J. F. de.; POERSCH, N. L. Adaptação e estabilidade de produção de cultivares e linhagens-elite de feijão no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.9, p.2434-2440, 2008.

RIBEIRO, N. D.; SOUZA, J. F.; ANTUNES, I. F.; POERSCH, N. L. Estabilidade de produção de cultivares de feijão de diferentes grupos comerciais no estado do Rio Grande do Sul. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 2, p. 339-346, 2009.

REZENDE, S. O. **Sistemas Inteligentes: fundamentos e aplicações**. Barueri, SP: Manole, 2003.

REZENDE, O. L. T. **O uso da lógica fuzzy no controle das temperaturas de conjunto gaseificador/combustor/digestor de biomassas**. 2012, 136f. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2012.

ROCHA, R.B., J.I. MURO-ABAD, E.F. ARAÚJO, C.D. CRUZ. Avaliação do método centroide para estudo de adaptabilidade ao ambiente de clones de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 3, 2005.

ROCHA, F.; TOALDO, D.; BARILI, L. D.; VALE, N. M. do.; GARCIA, S.; COIMBRA, J. L. M.; VOGT, G.A.; GUILDOLIN, A. F. Efeito de ambiente sobre a produtividade de feijão Carioca para o Estado de Santa Catarina. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.3, p.621-627, 2009.

ROCHA, V. P. C. et al. Adaptabilidade e estabilidade da característica produtividade de grãos dos grupos comerciais carioca e preto de feijão. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.31, n.1, p.39-54, 2010.

ROCHA, G.S.; CARNEIRO, J.E.S.; REZENDE-JÚNIOR, L.S.; SILVA, V.M.P.; MENEZES-JÚNIOR, J.A.N.; CARNEIRO, P.C.S.; CECON, P.R. Effect of environments on the estimated genetic potential of segregating common bean populations. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. Viçosa, v.13, n. 4, 241- 248 p., 2013.

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

SANTOS, A. de. **Comparação de métodos para descrição de adaptabilidade e estabilidade fenotípica de genótipos de feijão-caupi**. 2014, 73f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2014.

SARTORATO, A.RAVA, C.A. **Cultivo do feijoeiro comum – Doenças e métodos de controle**. Embrapa Arroz e Feijão. Sistemas de Produção, 2. Versão eletrônica (2003) Disponível em:<<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/CultivoDoFeijoeiro/doencas.htm>>. Acesso em: 17 de dez, 2015, 09:45.

SCAPIM, C.A.; OLIVEIRA, V.R.; BRACCINI, A.L.; CRUZ, C.D.; ANDRADE, C.A.B.; VIDIGAL, M.C.G. Yield stability in maize (*Zea mays* L.) and correlations among the parameters of the Eberhart and Russell, Lin and Binns and Huehn models. **Genetics and Molecular Biology**. São Paulo, v.23, n.2, p.387-393, 2000.

SILVA, O. F. da.; WANDER, A. E.; FERREIRA, C.M.; MELO, L.C. **Relatório de avaliação dos impactos das tecnologias geradas pela Embrapa - Cultivar de feijão tipo carioca (*Phaseolus vulgaris* L.) - "BRS Estilo"**. Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, 2015.

SILVA, G. A. P.; CHIORATO, A. F.; GONÇALVES, J. G. R.; PERINA, E. F.; CARBONELL, S.A.M. Análise de adaptabilidade e estabilidade de produção em ensaios regionais de feijoeiro para o Estado de São Paulo. **Ceres**, Viçosa, v. 60, n.1, p. 059-065, 2013.

SILVA, C.A.; ABREU, A.F.B.; RAMALHO, M.A.P.; CARNEIRO, J.E.S. Implicações da origem das linhagens de feijoeiro na magnitude da interação com ambientes. **Pesquisa Agropecuárias brasileira**, Brasília, v.46, n.7, p.720-728, 2011a.

SILVA, T. R. B.da.; LEMOS, L.B.; CRUSCIOL, A.C. Produtividade e características tecnológicas de cultivares de feijão em resposta à calagem

superficial em plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, p.196-205, 2011b.

SILVA FILHO, J. L.; MORELLO, C. L.; FARIAS, F. J. C.; LAMAS, M. B. P.; RIBEIRO, J. L. Comparação de métodos para avaliar a adaptabilidade e estabilidade produtiva em algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.1, p.394-355, 2008.

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

SILVEIRA, P. M.; MOREIRA, J. A. A. Respostas do feijoeiro a doses de fósforo e lâminas e água de irrigação. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Santo Antônio de Goiás, v. 14. p. 63-67, 1990.

SIZILIO, G.R.M.A. **Método fuzzy para auxílio ao diagnóstico de câncer de mama em ambiente inteligente de telediagnóstico colaborativo para apoio à tomada de decisões**. 2012, 148 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2012.

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

SOUZA, F. F. de.; RAMALHO, A. R.; NUNES, A. M. L. **Cultivo do Feijão Comum em Rondônia:Clima e solo**. Sistemas de Produção, v.8. Embrapa Rondônia, 2005. Versão eletrônica. Disponível em: <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/CultivodoFeijaoComumRO/clima.htm>>. Acesso em: 22 de dez, 2015, 08:37.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da; MOREIRA, J. A. A.; BRAZ, A. J. B. P. Evapotranspiração do feijoeiro irrigado em plantio direto sobre diferentes palhadas de culturas de coberturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 4, n. 4, p. 577-582, 2006.

TAI, G.C.C.Genotypic Stability Analysis and Its Application to Potato Regional Trials. **Crop Science Society of America**. v.11, n.2, p. 184-190, 1971.

TANSCHKEIT, R. **Sistema Fuzzy**. DEE-PUC-Rio de Janeiro. 2003. Disponível em: <<http://www.inf.ufsc.br/~mauro/ine5377/leituras/ICA-Sistemas%20Fuzzy.pdf>>. Acesso em: 17 de jan, 2016, 15:58.

TSUTSUMI, C. Y. BULEGON, L. G. PIANO, J. T. Melhoramento genético do feijoeiro: avanços, perspectivas e novos estudos, no âmbito nacional. **Nativa**, Sinop, v. 03, n. 03, p. 217-223, 2015.

VARSHNEY R.K., HOISINGTON D.A. TYAGI A.K. Advances in cereal genomics and applications in crop breeding. **Trends in Biotechnology**. Patancheru, v. 24, n.11, p. 490-499, 2006.

VENCOVSKY, R.; RAMALHO, M. A. P. Contribuições do melhoramento genéticos de plantas no Brasil. In: PATERNIANI, E. (Ed.). **Agricultura brasileira e pesquisa agropecuária**. Brasília: EMBRAPA Comunicação para Transferência de Tecnologia, p. 57-89, 2000.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992.

VIEIRA, C., VIEIRA, R. F. Épocas de plantio de feijão e proposta de nomenclatura para designá-las. **Revista Ceres**. v. 42, n. 244, p.135-139, 1995.

VIEIRA, C; PAULA JÚNIOR, T.J.; BORÉM, A. **Feijão**. 2ªed. Viçosa: Viçosa UFV, 2013.

VIERTL, R. **Statistical methods for fuzzy data**. Austria, p.1-270, 2011.

VOYSET, O. V. **Mejoramiento genético Del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.): legado de variedades de America Latina 1930 - 1999**. Cali, Colômbia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 195 p.2000.

WARWICK, D.R.N.; CARVALHO, H.W.L.de.; ALBURQUERQUE, M. M. de.; FARIA, L. C. de.; DEL PELOSO, M. J.; MELO, L. C.; COSTA, J. G. da.; AMORIM, J.R.A.de. Comportamento adaptabilidade e estabilidade de cultivares de feijoeiro comum no Nordeste brasileiro. Embrapa Tabuleiros Costeiros. 2005, 23p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 10).

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

YOKOYAMA, L.P., BANNO, K., DLUTHCOSKI, J. Aspectos socioeconômicos da cultura do feijão. In: ARAÚJO, R.S., RAVA, C.A., STONE, L.F., ZIMMERMANN, M.J.O. (eds.) **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Potafos, p. 1-20, 1996.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and Control**, n. 8, p. 338-353, 1965.

ZIMMERMANN, M. J. de O., CARNEIRO, J. E. de S., DEL PELOS, M. J., COSTA, J. G. C., RAVA, C. A., SARTORATO, A., PEREIRA, P. A. A. Melhoramento genético e cultivares. In: ARAUJO, R. S., RAVA, C. A., STORNE, L. F., ZIMMERMANN, M. J. de O. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Potafos, p.223-274,1996.

ZIMMERMANN, H. J., **Fuzzy Set Theory and Its Applications**, Fourth edition, U.S.A, Kluwer Academic Publishers, 2001.

APÊNDICES

APÊNDICE I - Rotina programada no software R para o estudo de adaptabilidade e estabilidade pelos métodos de Eberhart e Russell (1966) e Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998) por lógica *fuzzy*.

OBSERVAÇÃO: Para utilizar esta rotina, é necessário que o usuário organize seus dados de forma que tenha, na primeira coluna, a identificação dos ambientes, na segunda coluna, a identificação dos genótipos, na terceira coluna, as repetições e, nas demais, as variáveis a serem utilizadas.

```
rm(list=ls())
```

```
#####  
####  
#####Executando algoritmos para o teste Eberhart e Russell (1966) e  
Lin e Binns (1988)  
#####  
####
```

#Abrindo o arquivo de dados

#-> Definindo a variavel a ser analisada.

```
Var=1
```

#Formatando o arquivo de dados

```
colnames(Dados)=c("Amb","Gen","Rep", paste("Var",1:(ncol(Dados)-  
3),sep=""))
```

```
Dados$Amb=as.factor(Dados$Amb)
```

```
Dados$Gen=as.factor(Dados$Gen)
```

```
Dados$Rep=as.factor(Dados$Rep)
```

```
Dados=Dados[order(Dados[,3]),]
```

```
Dados=Dados[order(Dados[,2]),]
```

```
Dados=Dados[order(Dados[,1]),]
```

```
if(ncol(Dados)==4) {Dados=cbind(Dados,Dados[,4])}
```

#Declarando parametros

```
ngen=length(unique(Dados$Gen))
```

```
namb=length(unique(Dados$Amb))
```

```
nrep=length(unique(Dados$Rep))
```

#Obtendo a media de genotipos, ambientes e indice ambiental

```
MediaGen=apply(Dados[,-(1:3)], 2, function(x) tapply(x,Dados$Gen,mean))
```

```
MediaAmb=apply(Dados[,-(1:3)], 2, function(x) tapply(x,Dados$Amb,mean))
```

```
IJ=apply(MediaAmb,2, function (x) x-mean(x))
```

#Obtendo B₀, B₁ e R² para cada um dos genotipos

```
DadosGA=apply(Dados[,4:5],2, function (x)
```

```
tapply(x,Dados$Gen:Dados$Amb,mean) )
```

```
Y=matrix(DadosGA[,Var],ncol=namb,byrow=T)
```

```
X=IJ[,Var]
```

```
D=t(apply(Y,1, function(y){a=
```

```
summary(lm(y~X));c(coefficients(a)[,1],R2=a$r.squared)}))
```

#Obtendo variancia associada ao B₁

```
#modelo -> Yijk = m + Gi + B/Ajk + Aj + GAij + Eijk
Y=Dados[,3+Var]
modelo=summary(aov(Y~Dados$Gen+Dados$Rep/Dados$Amb+
Dados$Amb+ Dados$Gen:Dados$Amb))
QMR=modelo[[1]]$`Mean Sq`[6]
GLR=modelo[[1]]$`Df`[6]
se=QMR/nrep
```

```
VarBo=se*sum(X^2)/(namb*sum(X^2))
VarB1=se/sum(X^2)
```

```
#####
#####
##### --- Estudando os parametros de adapt e estab por logica
Fuzzy --- #####
#####
#####
```

-> Criando as funcoes de pertinencia

```
zmf=function(X,mfParams){
  a=mfParams[1];b=mfParams[2]
  res=sapply(X,function(x) {
    ifelse(x<=a,1,
           ifelse(a<x & x<=(b+a)/2,1-2*((x-a)/(b-a))^2,
                  ifelse((b+a)/2<x & x<=b,2*((x-b)/(b-a))^2,0))))
  list(mfParams=mfParams,x=X,y=res)
}
```

```
#####
#####
```

```
smf=function(X,mfParams){
  a=mfParams[1];b=mfParams[2]
  res=sapply(X,function(x) {
    ifelse(x<=a,0,
           ifelse(a<x & x<=(b+a)/2,2*((x-a)/(b-a))^2,
                  ifelse((b+a)/2<x & x<=b,1-2*((x-b)/(b-a))^2,1))))
  list(mfParams=mfParams,x=X,y=res)}
```

```
#####
#####
```

```
pimf=function(X,mfParams){
  a=mfParams[1];b=mfParams[2];c=mfParams[3];d=mfParams[4]
  res=sapply(X,function(x) {
    ifelse(x<=a,0,
           ifelse(a<x & x<=(a+b)/2,2*((x-a)/(b-a))^2,
                  ifelse((a+b)/2<x & x<=b,1-2*((x-b)/(b-a))^2,
                        ifelse(b<x & x<=c,1,
                              ifelse(c<x & x<=(c+d)/2,1-2*((x-c)/(d-c))^2,
```

```

                                ifelse((c+d)/2<x & x<=d,2*((x-d)/(d-c))^2, 0))))))
list(mfParams=mfParams,x=X,y=res)
}

#####
#
#Preparando o conjunto de dados
#####
#

#Obtendo medias padronizado
Med=D[,1]
LI=0
LS=100
BMax=mean(Med)+3*sd(D[,1])
BMin=mean(Med)-3*sd(D[,1])
MedPad=sapply(Med,function (x) LS+(LS-LI)*(x-BMax)/(BMax-BMin))

#Obtendo B1 padronizadas
B1=D[,2]
LI=-2
LS=4

BMax=1+qt(0.975,GLR)*sqrt(VarB1)
BMin=1+qt(0.025,GLR)*sqrt(VarB1)

B1Pad=sapply(B1,function (x) LS+(LS-LI)*(x-BMax)/(BMax-BMin))

R2=100*D[,3]
D2=cbind(MedPad,B1Pad,R2)

#####
#
#Obtendo a pertinencia para cada variavel (Eberhart Russell)
#####
#

#B0 (media)
plot(c(1,100),c(0,1),col=0,xlab="Bo padronizado",ylab="Pertinencia")
lines(1:100,smf( 1:100, c(0,100))$y,col=2)
lines(1:100,zmf( 1:100, c(0,100))$y,col=3)
Pert_B0=cbind(MFBaixa = zmf( D2[,1], c(0,100))$y,
              MFAlta = smf( D2[,1], c(0,100))$y)

# B1
plot(c(-5,7),c(0,1),col=0,xlab="B1 padronizado",ylab="Pertinencia")
lines(-5:7,zmf( -5:7, c(-5,1))$y,col=2)
lines(-5:7,pimf( -5:7, c(-5,1,1,7))$y,col=4)
lines(-5:7,smf( -5:7, c(1,7))$y,col=3)

```

```
Pert_B1=cbind(MFMenor=zmf(D2[,2], c(-5,1))$y,
              MFIgual=pimf(D2[,2], c(-5,1,1,7))$y,
              MFMaior=smf(D2[,2], c(1,7))$y)
```

```
#R2
```

```
plot(c(1,100),c(0,1),col=0,xlab="R2",ylab="Pertinencia")
lines(1:100,smf( 1:100, c(60,100))$y,col=2)
lines(1:100,zmf( 1:100, c(60,100))$y,col=3)
```

```
Pert_R2=cbind(MFBaixo = zmf( D2[,3], c(60,100))$y,
              MFAlto = smf( D2[,3], c(60,100))$y)
```

```
#####
```

```
#
```

```
#Criando as regras
```

```
#####
```

```
#
```

```
Regras=matrix(c(1,1,1,3,
                1,1,2,3,
                1,2,1,3,
                1,2,2,3,
                1,3,1,3,
                1,3,2,3,
                2,1,1,3,
                2,1,2,2,
                2,2,1,3,
                2,2,2,1,
                2,2,2,5,
                2,3,1,3,
                2,3,2,4),nrow=13,byrow=T)
```

```
PertSaida=t(sapply(1:ngen,function(i) sapply(1:nrow(Regras), function(j)
```

```
min(c(Pert_B0[,Regras[,1]][i,j],Pert_B1[,Regras[,2]][i,j],Pert_R2[,Regras[,3]][i,j]
))) ))
```

```
GD=apply(cbind(PertSaida[,10]),1,max)
Des=apply(cbind(PertSaida[,8]),1,max)
PA=apply(cbind(PertSaida[,c(1:7,9,12)]),1,max)
FAV=apply(cbind(PertSaida[,13]),1,max)
GF=apply(cbind(PertSaida[,11]),1,max)
Pertinencias=round(100*cbind(GD,PA,FAV,Des),0)
```

```
#Obtendo os resultados fuzzy do metodo Eberhart Russell
```

```
ResultadoER=cbind(D,Pertinencias)
ResultadoER
```

```
#####
#
#Obtendo as estimativas de PIF e PID (Lins e Bins)
#####
#

AmbFav=IJ[,1]>=0
AmbDesf=IJ[,1]<0

YIJ=matrix(DadosGA[,Var],ncol=namb,byrow=T)
PIF=sapply(1:ngen,function(g) sum((YIJ[g,AmbFav]-
  apply(YIJ,AmbFav,2,max))^2)/(2*sum(AmbFav)))
PID=sapply(1:ngen,function(g) sum((YIJ[g,AmbDesf]-
  apply(YIJ,AmbDesf,2,max))^2)/(2*sum(AmbDesf)))

#Obtendo Pif padronizado
LI=0
LS=100
BMax=mean(PIF)+3*sd(PIF)
BMin=mean(PIF)-3*sd(PIF)
PIFpad=sapply(PIF,function (x) LS+(LS-LI)*(x-BMax)/(BMax-BMin))

#Obtendo Pid padronizado
LI=0
LS=100
BMax=mean(PID)+3*sd(PID)
BMin=mean(PID)-3*sd(PID)
PIDpad=sapply(PID,function (x) LS+(LS-LI)*(x-BMax)/(BMax-BMin))

#####
#
#Obtendo a pertinencia para Pif e Pid (Lins e Bins)
#####
#

#Pif
plot(c(1,100),c(0,1),col=0,xlab="PIF",ylab="Pertinencia")
lines(1:100,smf( 1:100, c(0,100))$y,col=2)
lines(1:100,zmf( 1:100, c(0,100))$y,col=3)

Pert_PIF=cbind(MFBaixa = zmf( PIFpad, c(0,100))$y,
  MFAIta = smf( PIFpad, c(0,100))$y)

#Pid
plot(c(1,100),c(0,1),col=0,xlab="PID",ylab="Pertinencia")
lines(1:100,smf( 1:100, c(0,100))$y,col=2)
```

```
lines(1:100,zmf( 1:100, c(0,100))$y,col=3)
```

```
Pert_PID=cbind(MFBaixa = zmf( PIDpad, c(0,100))$y,
MFAlta = smf( PIDpad, c(0,100))$y)
```

```
#####
#
#####
#
#Criando as regras
#####
#
#####
#
Regras=matrix(c(
  1, 1, 1, 1, 3,
  1, 1, 1, 2, 2,
  1, 2, 1, 1, 3,
  1, 2, 1, 2, 3,
  1, 1, 2, 1, 3,
  1, 1, 2, 2, 1,
  1, 2, 2, 1, 3,
  1, 2, 2, 2, 3,
  1, 1, 3, 1, 3,
  1, 1, 3, 2, 4,
  1, 2, 3, 1, 3,
  1, 2, 3, 2, 4,
  2, 1, 1, 1, 3,
  2, 1, 1, 2, 2,
  2, 2, 1, 1, 3,
  2, 2, 1, 2, 3,
  2, 1, 2, 1, 3,
  2, 1, 2, 2, 2,
  2, 2, 2, 1, 3,
  2, 2, 2, 2, 3,
  2, 1, 3, 1, 3,
  2, 1, 3, 2, 3,
  2, 2, 3, 1, 3,
  2, 2, 3, 2, 3
),nrow=24,byrow=T)
```

```
PertSaida=t(sapply(1:ngen,function(i) sapply(1:nrow(Regras), function(j)
min(c(
  Pert_PIF[,Regras[,1]][i,j],
  Pert_PID[,Regras[,2]][i,j],
  Pert_B1 [,Regras[,3]][i,j],
  Pert_R2 [,Regras[,4]][i,j]
```

```
))) )
```

```
GD=apply(cbind(PertSaida[,6]),1,max)  
Des=apply(cbind(PertSaida[,c(2,14,18)]),1,max)  
PA=apply(cbind(PertSaida[,c(1,3:5,7:9,11,13,15:17,19:24)]),1,max)  
FAV=apply(cbind(PertSaida[,c(10,12)]),1,max)  
GF=apply(cbind(PertSaida[,6]),1,max)  
Pertinencias=round(100*cbind(GD,PA,FAV,Des),0)
```

```
ResultadoER_LB=cbind(PIF,PID,D[,2:3],Pertinencias)
```

#Obtendo os resultados fuzzy hibrido (Eberhart Russell e Lin e Binns).

```
ResultadoER_LB
```

APÊNDICE II - Rotina programada no software R para o estudo de adaptabilidade e estabilidade pelos métodos de Cruz, Torres e Vencovsky (1989) e de Annicchiarico por lógica *fuzzy*.

OBSERVAÇÃO: Para utilizar esta rotina, é necessário que o usuário organize seus dados de forma que tenha, na primeira coluna, a identificação dos ambientes, na segunda coluna, a identificação dos genótipos, na terceira coluna, as repetições e nas demais as variáveis a serem utilizadas.

```
#####
####
#####Executando algoritmos para o teste Cruz et al e Annicchiarico
#####
####
```

#Abrindo o arquivo de dados

```
Dados=read.table("D:/ Dados.txt", h=F)
```

```
#-> Definindo a variavel a ser analisada.
```

```
Var=1
```

#Formatando o arquivo de dados

```
colnames(Dados)=c("Amb", "Gen", "Rep", paste("Var", 1:(ncol(Dados)-3), sep=""))
```

```
Dados$Amb=as.factor(Dados$Amb)
```

```
Dados$Gen=as.factor(Dados$Gen)
```

```
Dados$Rep=as.factor(Dados$Rep)
```

```
Dados=Dados[order(Dados[,3]),]
```

```
Dados=Dados[order(Dados[,2]),]
```

```
Dados=Dados[order(Dados[,1]),]
```

#Declarando parametros

```
ngen=length(unique(Dados$Gen))
```

```
namb=length(unique(Dados$Amb))
```

```
nrep=length(unique(Dados$Rep))
```

#Obtendo a media de genótipos, ambientes e indice ambiental

```
MediaGen= tapply(Dados[,3+Var],Dados$Gen,mean)
```

```
MediaAmb= tapply(Dados[,3+Var],Dados$Amb,mean)
```

```
IJ=MediaAmb-mean(Dados[,3+Var])
```

```
TIJ=IJ
```

```
TIJ[IJ<=0]=0
```

```
TIJ[IJ>0]=IJ[IJ>0]-mean(IJ[IJ>0])
```

#Obtendo B0, B1 e R2 para cada um dos genótipos

```
DadosGA=sapply(Dados[,c(3+Var,3+Var)], function (x)
```

```
tapply(x,Dados$Gen:Dados$Amb,mean) )
```

```
Y=matrix(DadosGA[, Var],ncol=namb,byrow=T)
```



```
D=t(apply(Y,1, function(y){a=
summary(lm(y~IJ+TIJ));c(coefficients(a)[,1],`B1+B2`=sum(coefficients(a)[2:3,1
]),R2=a$r.squared}))
```

#Obtendo variancia associada ao B0, B1 e B1+B2 (modelo -> Yijk = m + Gi + B/Ajk + Aj + GAij + Eijk)

```
Y=Dados[,3+Var]
modelo=summary(aov(Y~Dados$Gen+Dados$Rep/Dados$Amb+
Dados$Amb+ Dados$Gen:Dados$Amb))
QMR=modelo[[1]]$`Mean Sq`[6]
GLR=modelo[[1]]$`Df`[6]
se=QMR/nrep
VarB1=QMR/(nrep*(sum(IJ^2)-sum(TIJ^2)))
VarB2=QMR*sum(IJ^2)/(nrep*sum(TIJ^2)*(sum(IJ^2)-sum(TIJ^2)))
VarB1B2=QMR/(nrep*sum(TIJ^2))
```

```
#####
#####
```

#-> Obtendo parametros do metodo Annicchiarico

```
alfa=0.75
```

#Geral

```
Y=matrix(DadosGA[,Var],ncol=namb,byrow=T)
Yp=apply(Y,2, function(x) 100*x/mean(x))
Wg=apply(Yp,1,mean)-apply(Yp,1,sd)*qnorm(0.75)
```

#Desfavoravel

```
Y=matrix(DadosGA[,Var],ncol=namb,byrow=T)[,IJ<=0]
Yp=apply(Y,2, function(x) 100*x/mean(x))
Wd=apply(Yp,1,mean)-apply(Yp,1,sd)*qnorm(0.75)
```

#Favoravel

```
Y=matrix(DadosGA[,Var],ncol=namb,byrow=T)[,IJ>0]
Yp=apply(Y,2, function(x) 100*x/mean(x))
Wf=apply(Yp,1,mean)-apply(Yp,1,sd)*qnorm(0.75)
```

```
#####
#####--- Estudando os
parametros de adapt e estab por logica Fuzzy ---
#####
##### -> Criando as funcoes de
pertinencia
```

```
#####
#####
```

```
zmf=function(X,mfParams){
  a=mfParams[1];b=mfParams[2]
  res=sapply(X,function(x) {
    ifelse(x<=a,1,
           ifelse(a<x & x<=(b+a)/2,1-2*((x-a)/(b-a))^2,
           ifelse((b+a)/2<x & x<=b,2*((x-b)/(b-a))^2,0))))
  list(mfParams=mfParams,x=X,y=res)
}
```

```
#####
#####
smf=function(X,mfParams){
  a=mfParams[1];b=mfParams[2]
  res=sapply(X,function(x) {
    ifelse(x<=a,0,
           ifelse(a<x & x<=(b+a)/2,2*((x-a)/(b-a))^2,
                  ifelse((b+a)/2<x & x<=b,1-2*((x-b)/(b-a))^2,1))))
  list(mfParams=mfParams,x=X,y=res)
}
#####
#####
pimf=function(X,mfParams){
  a=mfParams[1];b=mfParams[2];c=mfParams[3];d=mfParams[4]
  res=sapply(X,function(x) {
    ifelse(x<=a,0,
           ifelse(a<x & x<=(a+b)/2,2*((x-a)/(b-a))^2,
                  ifelse((a+b)/2<x & x<=b,1-2*((x-b)/(b-a))^2,
                          ifelse(b<x & x<=c,1,
                                  ifelse(c<x & x<=(c+d)/2,1-2*((x-c)/(d-c))^2,
                                          ifelse((c+d)/2<x & x<=d,2*((x-d)/(d-c))^2, 0))))))
  list(mfParams=mfParams,x=X,y=res)
}
#####
#
#Preparando o conjunto de dados
#####
#
#Obtendo medias padronizadas
Med=D[,1]
LI=0
LS=100
BMax=mean(Med)+3*sd(D[,1])
BMin=mean(Med)-3*sd(D[,1])
MedPad=sapply(Med,function(x) LS+(LS-LI)*(x-BMax)/(BMax-BMin))
#Obtendo B1 padronizadas
B1=D[,2]
LI=-2
LS=4
BMax=1+qt(0.975,GLR)*sqrt(VarB1)
BMin=1+qt(0.025,GLR)*sqrt(VarB1)
B1Pad=sapply(B1,function(x) LS+(LS-LI)*(x-BMax)/(BMax-BMin))
#Obtendo B1+B2 padronizadas
B1B2=D[,4]
LI=-2
LS=4
BMax=1+qt(0.975,GLR)*sqrt(VarB1B2)
```

```
BMin=1+qt(0.025,GLR)*sqrt(VarB1B2)
B1B2Pad=sapply(B1B2,function (x) LS+(LS-LI)*(x-BMax)/(BMax-BMin))
```

```
#####
#
##### Obtendo a pertinencia para cada variavel -> Cruz et al
#####
#
#B0 (media)
plot(c(1,100),c(0,1),col=0,xlab="Bo padronizado",ylab="Pertinencia")
lines(1:100,smf( 1:100, c(0,100))$y,col=2)
lines(1:100,zmf( 1:100, c(0,100))$y,col=3)
Pert_B0=cbind(MFBaixa = zmf( MedPad, c(0,100))$y,
              MFAlta = smf( MedPad, c(0,100))$y)

# B1
plot(c(-5,7),c(0,1),col=0,xlab="B1 padronizado",ylab="Pertinencia")
lines(-5:7,zmf( -5:7, c(-5,1))$y,col=2)
lines(-5:7,pimf( -5:7, c(-5,1,1,7))$y,col=4)
lines(-5:7,smf( -5:7, c(1,7))$y,col=3)
Pert_B1=cbind(MFMenor=zmf(B1Pad, c(-5,1))$y,
              MFIgual=pimf(B1Pad, c(-5,1,1,7))$y,
              MFMaior=smf(B1Pad, c(1,7))$y)

# B1B2
plot(c(-5,7),c(0,1),col=0,xlab="B1 padronizado",ylab="Pertinencia")
lines(-5:7,zmf( -5:7, c(-5,1))$y,col=2)
lines(-5:7,pimf( -5:7, c(-5,1,1,7))$y,col=4)
lines(-5:7,smf( -5:7, c(1,7))$y,col=3)
Pert_B1B2=cbind(MFMenor=zmf(B1B2Pad, c(-5,1))$y,
                MFIgual=pimf(B1B2Pad, c(-5,1,1,7))$y,
                MFMaior=smf(B1B2Pad, c(1,7))$y)

#R2
plot(c(1,100),c(0,1),col=0,xlab="R2",ylab="Pertinencia")
lines(1:100,smf( 1:100, c(60,100))$y,col=2)
lines(1:100,zmf( 1:100, c(60,100))$y,col=3)
R2=100*D[,5]
Pert_R2=cbind(MFBaixo = zmf( R2, c(60,100))$y,
              MFAlto = smf( R2, c(60,100))$y)

# Criando as regras
Regras=matriz(c(2,2,2,2,1,2,2,3,2,2,2,2,1,2,3,2,3,2,2,1,2,3,3,
                2,2,2,3,1,2,3,2,1,2,2,4,2,1,3,2,5,2,1,1,2,6,2,
                2,2,1,7,2,2,3,1,7,2,2,1,1,7,2,3,2,1,7,2,3,3,1,
                7,2,3,1,1,7,2,1,2,1,7,2,1,3,1,7,2,1,1,1,7,1,2,
                2,1,8,1,2,2,2,8,1,2,3,1,8,1,2,3,2,8,1,2,1,1,8,
                1,2,1,2,8,1,3,2,1,8,1,3,2,2,8,1,3,3,1,8,1,3,3,
```

```
2,8,1,3,1,1,8,1,3,1,2,8,1,1,2,1,8,1,1,2,2,8,1,
1,3,1,8,1,1,3,2,8,1,1,1,1,8,1,1,1,2,8),ncol=5,byrow=T)
```

#Obtendo pertinencias

```
PertSaida=t(sapply(1:ngen,function(i) sapply(1:nrow(Regras), function(j)
  min(c(
    Pert_B0[,Regras[,1]][i,j],
    Pert_B1[,Regras[,2]][i,j],
    Pert_B1B2[,Regras[,3]][i,j],
    Pert_R2[,Regras[,4]][i,j])))) )
Saida=t(round(100*apply(PertSaida,1,function (x)
  tapply(x,as.factor(Regras[,5]),max),0))
colnames(Saida)=c("Média adaptabilidade a ambientes favoráveis", "Máxima
adaptabilidade a ambientes favoráveis",
  "Não adaptado", "Média adaptabilidade Geral", "Máxima
adaptabilidade Geral",
  "Máxima adaptabilidade a ambientes desfavoráveis",
  "Pouco estável","Pouco produtivo")
```

```
cbind(D,Saida)
```

```
#####
#
##### Obtendo a pertinencia para cada variavel -> Annicchiarico
#####
#####
#
#B0 (media)
plot(c(1,200),c(0,1),col=0,xlab="W ",ylab="Pertinencia")
lines(1:200,smf( 1:200, c(0,200))$y,col=2)
lines(1:200,zmf( 1:200, c(0,200))$y,col=3)
```

```
Pert_Wd=cbind(MFBaixa = zmf( Wd, c(0,200))$y,
  MFAlta = smf( Wd, c(0,200))$y)
```

```
Pert_Wf=cbind(MFBaixa = zmf( Wf, c(0,200))$y,
  MFAlta = smf( Wf, c(0,200))$y)
```

#Criando as regras

```
Regras=matrix(c(1 , 2 , 1 , 2 , 1 , 2 , 2 , 2 , 3 , 1 , 1 , 4 ),ncol=3,byrow=T)
```

```
PertSaida=t(sapply(1:ngen,function(i) sapply(1:nrow(Regras), function(j)
  min(c(
    Pert_Wd[,Regras[,1]][i,j],
    Pert_Wf[,Regras[,2]][i,j])))) )
SaidaAnnicc=t(round(100*apply(PertSaida,1,function (x)
  tapply(x,as.factor(Regras[,3]),max),0))
```

```
colnames(SaidaAnnicc)=c("Ambiente favorável","Ambiente  
desfavorável","Geral","Não indicado")
```

```
cbind(Wg,Wf,Wd,SaidaAnn
```