

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

Ana Clara Gonçalves Fernandes

Lógica fuzzy na seleção simultânea em couve e batata-doce

Montes Claros

2019

Ana Clara Gonçalves Fernandes

Lógica fuzzy na seleção simultânea em couve e batata-doce

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Alcinei Místico Azevedo

Montes Claros
Fevereiro de 2019

F3631 Fernandes, Ana Clara Gonçalves.
2019

Lógica fuzzy na seleção simultânea em couve e batata-doce / Ana Clara Gonçalves Fernandes. Montes Claros, 2019.
72 f.: il.

Dissertação (Mestrado) – Área de Concentração em Produção Vegetal, Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Agrárias.

Orientador(a): Alcinei Místico Azevedo.
Banca examinadora: Sílvia Nietzsche, Carlos Alberto Araújo Júnior, Thiago Gomes dos Santos Braz, Alcinei Místico Azevedo.

Inclui referências: f. 30-33; 46-47; 58-59.

1. Couve. 2. Batata-doce. 3. Inteligência artificial. 4. Lógica difusa.
I. Azevedo, Alcinei Místico. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 635.1/.8

Ana Clara Gonçalves Fernandes

Lógica fuzzy na seleção simultânea em couve e batata-doce

Aprovada pela banca examinadora constituída pelos professores:

Profa. Silvia Nietsche

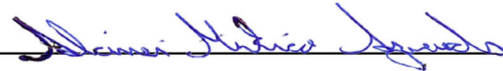
ICA/UFMG

Prof. Carlos Alberto Araújo Júnior

ICA/UFMG

Prof. Thiago Gomes dos Santos Braz

ICA/UFMG



Prof. Alcinei Místico Azevedo – Orientador

ICA/UFMG

Montes Claros, 18 de fevereiro de 2019.

Dedico este trabalho aos meus pais Ione e Hélio e ao meu irmão Hélio, pelo apoio e dedicaao em todos os momentos de minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela sabedoria e discernimento para que eu conseguisse contornar as dificuldades e alcançar meus objetivos.

Aos meus pais Ione e Hélio, que sempre me apoiaram, incentivaram e nunca pouparam esforços para que eu alcançasse meus ideais, depositando sua confiança em mim e fazendo das minhas vitórias as suas.

Aos meus irmãos Hélio e Rafael, pelo companheirismo, amizade e união.

Ao Professor Alcinei pela orientação, confiança, paciência e ensinamentos compartilhados que me possibilitaram chegar ao fim desta etapa.

Aos colegas do Grupo de Estudo em Experimentação Agrícola (GEEA), em especial, à Nermy e ao Clóvis Henrique pela amizade, companheirismo e auxílio na condução das pesquisas.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação pela contribuição e ensinamentos nas disciplinas cursadas.

Aos professores Silvia, Carlos e Thiago por terem participado da banca avaliadora.

A todos os funcionários do Instituto de Ciências Agrárias que com muito profissionalismo e ética contribuíram a esta jornada.

À Universidade Federal de Minas Gerais, em especial, ao Instituto de Ciências Agrárias pela oportunidade da graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental e ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, pela oportunidade de realização do mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico (CNPQ) e à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) pela concessão da bolsa de estudos e auxílio nos experimentos.

Muito obrigada!

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível”. Charles Chaplin

Lógica fuzzy na seleção simultânea em couve e batata-doce

RESUMO

O melhoramento genético visa obter plantas agronomicamente superiores às pré-existentes. Para isso, utilizam-se técnicas para a seleção simultânea de caracteres, contudo há limitações nos procedimentos tradicionais quanto à seleção de características para intervalos comerciais desejados e caracteres qualitativos. Neste contexto, a lógica fuzzy pode possibilitar a modelagem computacional da experiência do pesquisador, considerando caracteres qualitativos e com intervalos predefinidos. Logo, objetivou-se desenvolver um sistema de lógica fuzzy, para a seleção simultânea de várias características no melhoramento genético da couve e da batata-doce e testar sua eficiência comparando-o com o índice de Mulamba e Mock. Para isso, foram utilizados dados de dois experimentos: (1) delineamento em blocos ao acaso (DBC) com 24 famílias de meios-irmãos de couve, utilizando quatro repetições e cinco plantas por parcela; (2) 24 genótipos de batata-doce, em DBC com quatro repetições e 10 plantas por parcela. No experimento 1, foram avaliadas características quantitativas associadas à facilidade de tratos culturais e à produtividade de folhas e características qualitativas associadas à qualidade das folhas. No experimento 2, foram avaliadas a produtividade de massa seca de ramos, a produtividade de raízes comerciais, o peso médio das raízes comerciais, o formato das raízes, resistência a insetos, o teor de matéria seca das raízes e a produtividade de refugo das raízes. Para todos os caracteres quantitativos, os valores genéticos foram obtidos via REML/BLUP. Posteriormente, estimou-se o ganho de seleção pelo índice de Mulamba e Mock. Os sistemas fuzzy foram desenvolvidos, utilizando o software R, sendo empregada a metodologia de Mandani Min na etapa de fuzzificação e o método do centroide na defuzzificação. A lógica fuzzy foi eficiente na seleção simultânea, fornecendo ganhos próximos aos obtidos pelo método de Mulamba e Mock, para os meios-irmãos de couve, além de permitir adicionalmente a seleção de caracteres qualitativos. Para o experimento com batata-doce, a lógica fuzzy possibilitou ganhos similares aos obtidos pela metodologia Mulamba e Mock, para o sistema FIM, todavia o sistema fuzzy propiciou maior ganho à produtividade de raízes comerciais, que é a característica mais importante para o melhoramento. Já para as características relacionadas aos sistemas AH e AA, os ganhos foram superiores aos obtidos pelo índice de MM. Os sistemas fuzzy permitiram a seleção, para intervalos pré-definidos comercialmente, demonstrando ser uma ferramenta promissora ao melhoramento genético.

Palavras-chave: *Brassica oleracea* L. var. *Acephala*. DC.. *Ipomoea batatas* (L.) LAM. Índices de seleção. Inteligência computacional.

Fuzzy logic in simultaneous selection in cabbage and sweet potato

ABSTRACT

The genetic improvement aims at obtaining agronomically superior plants to the preexisting ones. For this, techniques are used for the simultaneous selection of characters. However, there are limitations in traditional procedures regarding the selection of characteristics for desired commercial ranges and qualitative characteristics. In this context, fuzzy logic can enable the computational modeling of the researcher's experience considering qualitative characters and with predefined intervals. Therefore, the objective of this work was to develop a fuzzy logic system for the simultaneous selection of several characteristics in the genetic improvement of cabbage and sweet potato and to test its efficiency by comparing it with the Mulamba and Mock index. For this, data from two experiments were used: (1) randomized complete block design (DBC) with 24 families of half-siblings of cabbage, using four replicates and five plants per plot; (2) 24 sweet potato genotypes in DBC with four replicates and 10 plants per plot. In the experiment 1 were evaluated quantitative characteristics associated with the ease of cultural treatments and the productivity of leaves and qualitative characteristics associated with leaf quality. In the experiment 2 the following were evaluated: productivity of dry mass of branches, productivity of commercial root, commercial root mean weight, root shape, insect resistance, root dry matter content and the productivity of root scrap. For all quantitative characters the genetic values were obtained via REML / BLUP. Subsequently, the selection gain was estimated by the Mulamba and Mock index. The fuzzy systems were developed using software R, being used the Mandani Min methodology in the fuzzification stage and the centroid method in the defuzzification. The fuzzy logic was efficient in simultaneous selection, providing gains close to those obtained by the Mulamba and Mock method for half-siblings of cabbage, besides additionally allowing the selection of qualitative characters. For the experiment with sweet potato, the fuzzy logic allowed gains similar to those obtained by the Mulamba and Mock methodology for the FIM system, however, the fuzzy system allowed a greater gain for the commercial roots productivity, which is the most important characteristic for the improvement. Already for the characteristics related to the AH and AA systems the gains were higher than those obtained by the index of MM. The fuzzy systems allowed the selection to commercially predefined intervals, proving to be a promising tool for genetic improvement.

Key words: *Brassica oleracea* L. var. *Acephala* DC.. *Ipomoea potatoes* (L.) LAM. Selection indexes. Computational intelligence.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

REFERENCIAL TEÓRICO

Figura 1 - Esquema do Modelo de Inferência do Tipo Mamdani 29

CAPÍTULO I: Lógica fuzzy na seleção simultânea de descritores quantitativos e qualitativos de couve

Figura 1 - Esquema de sistemas de inferência fuzzy utilizados como índices de seleção quanto à facilidade de tratos culturais (FTC), produção de folhas (PDF), qualidade de folhas (QDF) e para todos os critérios simultaneamente (FIM) em 24 progênies de meios-irmãos de couve..... 37

CAPÍTULO II: Lógica fuzzy aplicada a seleção simultânea de genótipos de batata-doce

Figura 1 - Esquema de sistemas de inferência fuzzy utilizados como índices de seleção quanto à alimentação humana (AH) e alimentação animal (AA) e para todos os critérios simultaneamente (FIM) em genótipos de batata-doce..... 50

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I: Lógica fuzzy na seleção simultânea de descritores quantitativos e qualitativos de couve

Tabela 1	- Parâmetros arbitrados nas funções de pertinência para os caracteres de entrada dos sistemas relacionados à facilidade de tratos culturais (FTC), produtividade de folhas (PDF) e qualidade de folhas (QDF) e para as saídas dos sistemas FTC, PDF e QDF e entrada FIM.....	38
Tabela 2	- Estimativa de componentes de variância e parâmetros genéticos de oito descritores em 24 progênes de meios-irmãos de couve obtida pela metodologia REML-BLUP.....	40
Tabela 3	- Estimativas da correlação de Pearson entre descritores agrônômicos em 24 progênes de meios-irmãos de couve e a saída (escore) de quatro sistemas de inferência fuzzy, FTC (facilidade de tratos culturais), PDF (produtividade de folhas), QDF (qualidade de folhas) e FIM (todos os critérios simultaneamente).....	41
Tabela 4	- Estimativas do ganho esperado (%) com a seleção direta (representado na diagonal principal), indireta (valores contidos acima e abaixo da diagonal principal) e simultânea (segunda parte da tabela), por meio do índice de Mulamba Mock (MM) e de quatro sistemas de inferência fuzzy, indicando o ganho de seleção do sistema FTC (GSftc), o ganho de seleção do sistema PDF (GSpdf), ganho de seleção do sistema QDF(GSqdf) e o ganho de seleção do sistema FIM (GSfim).....	42
Tabela 5	- Frequência (%) de plantas com características desejadas, para o formato de folhas (FF), margem de folha (MF), cor da nervura (CorN) e cor do pecíolo (CorP), considerando a população original (sem seleção) e os índices obtidos pela metodologia de Mulamba Mock (MM) e sistemas de inferência Fuzzy.....	43

CAPÍTULO II: Lógica fuzzy aplicada a seleção simultânea de genótipos de batata-doce

Tabela 1	- Ganho genotípico para 24 genótipos de batata-doce e estimativa de componentes de variância e parâmetros genéticos dos descritores obtida pela metodologia REML-BLUP.....	53
Tabela 2	- Correlações de Pearson entre os sistemas de inferência fuzzy, AH (alimentação humana), AA (alimentação animal) e FIM (todos os critérios simultaneamente) e entre os descritores agrônômicos de 24 genótipos de batata-doce e as saídas dos sistemas fuzzy.....	54
Tabela 3	- Estimativa de ganho esperado (%) com a seleção direta (diagonal principal), indireta (valores acima e abaixo da diagonal principal) e simultânea (segunda parte da tabela), por meio do índice de seleção de Mulamba e Mock (GSMM) e dos sistemas de inferência fuzzy, indicando ganho de seleção para o sistema AH (GSMMAH/GSFZAH), ganho de seleção para o sistema AA (GSMMAA/GSFZAA) e para o sistema FIM (GSMMFIM/GSFZFIM).....	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	- Alimentação Animal
AH	- Alimentação Humana
ALT	- Altura de Plantas
CEASAS	- Centrais de Abastecimento Brasileira
CF	- Comprimento das folhas
CorN	- Cor da nervura
CorP	- Cor do pecíolo
CP	- Comprimento do pecíolo
CVe	- Coeficiente de variação residual
CVg	- Coeficiente de variação genotípico
CVr	- Índice de variação
DC	- Diâmetro do caule
FF	- Formato de folhas
FORM	- Formato das raízes
FTC	- Facilidade de tratos culturais
GSMMAA	- Ganho de seleção Mulamba Mock para o sistema AA
GSFZAA	- Ganho de seleção lógica fuzzy para o sistema AA
GSMMAH	- Ganho de seleção Mulamba Mock para o sistema AH
GSFZAH	- Ganho de seleção lógica fuzzy para o sistema AH
GSMMFIM	- Ganho de seleção Mulamba Mock para o sistema FIM
GSFZFIM	- Ganho de seleção lógica fuzzy para o sistema FIM
GSfim	- Ganho de seleção do sistema FIM
GSftc	- Ganho de seleção do sistema FTC
GSMm	- Ganho de seleção Mulamba e Mock
GSpdf	- Ganho de seleção do sistema PDF
GSqdf	- Ganho de seleção do sistema QDF
h ² a	- Herdabilidade
IAC	- Instituto Agrônomo de Campinas
LF	- Largura das folhas
LOM	- Valor do máximo
MF	- Margem de folha
MFF	- Massa Fresca de Folhas
MM	- Mulamba Mock
MOM	- Média dos máximos
MSRAIZ	- Teor de massa seca das raízes
MSRAMAS	- Teor de massa seca de ramas e folhas
NB	- Número de Brotações
NF	- Número de folhas
PDF	- Produção de folhas
PMC	- Peso médio das raízes comerciais
PMSRAMAS	- Produtividade de massa seca de ramas
PMV	- Produtividade de massa verde das ramas
PRC	- Produtividade de raízes comerciais

PTR	- Produtividade total de raízes
QDF	- Qualidade da folha
REML	- Máxima Verossimilhança Restrita
BLUP	- Melhor Predileção Linear não Viesada
RI	- Resistência a insetos
SOM	- Menor valor do máximo
UFV	- Universidade Federal de Viçosa
UFVJM	- Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Va	- Variância genética aditiva
Ve	- Variância ambiental entre as parcelas
Vf	- Variância fenotípica
Vparc	- Variância das parcelas

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	17
2. OBJETIVOS	19
2.1 Objetivo Geral.....	19
2.2 Objetivos Específicos	19
3. REFERENCIAL TEÓRICO	20
3.1 Cultivo de hortaliças no Brasil	20
3.1.1 Cultura da couve	20
3.1.2 Cultura da batata-doce	21
3.2 Melhoramento Genético de Hortaliças	22
3.3 Estratégias de seleção	24
3.4 Lógica fuzzy.....	25
3.4.1 Base de Conhecimento	26
3.4.2 Pertinência e conjuntos fuzzy.....	26
3.4.2.1 Funções de pertinência	27
3.4.2.2 Regras Fuzzy e Agregação	27
3.4.3 Interfaces de fuzzificação e defuzzificação	28
3.4.3.1 Fuzzificação.....	28
3.4.3.2 Inferência Fuzzy	28
3.4.3.3 Defuzzificação	29
4. REFERÊNCIAS	30
5. CAPÍTULO I: Lógica fuzzy na seleção simultânea de descritores quantitativos e qualitativos de couve	34
5.1 INTRODUÇÃO	34
5.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
5.2.1. Instalação e avaliação do experimento em campo	35
5.2.2 Configuração e uso da lógica Fuzzy	36
5.2.2.1. Estimativa dos ganhos de seleção individuais e simultâneo.....	39
5.3 RESULTADOS	39
5.4 DISCUSSÃO	43
5.5 CONCLUSÃO.....	45
5.6 AGRADECIMENTOS	45
5.7 REFERÊNCIAS	46
6. CAPÍTULO II: Lógica fuzzy aplicada a seleção simultânea de genótipos de batata-doce	48
6.1 INTRODUÇÃO	48
6. 2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	49
6.2.1 Instalação e avaliação do experimento em campo	49
6.2.2 Configuração e uso da lógica fuzzy	50

6.2.2.1. Estimativa dos ganhos de seleção individuais e simultâneo.....	51
6.3 RESULTADOS	51
6.4 DISCUSSÃO	56
6.5 CONCLUSÃO	57
6.6 AGRADECIMENTOS	57
6.7 REFERÊNCIAS	58
7. CONCLUSÕES GERAIS	60
APÊNDICES.....	61
APÊNDICE A-Representação gráfica das funções de pertinência adotadas em sistemas de inferência fuzzy para a obtenção dos índices de seleção para meios-irmãos de couve	61
APÊNDICE B - Regras dos sistemas fuzzy para meios-irmãos de couve.....	63
APÊNDICE C- Representação gráfica das funções de pertinência adotadas em sistemas de inferência fuzzy para a obtenção de índices de seleção para os 24 genótipos de batata-doce.	69
APÊNDICE D - Regras dos sistemas fuzzy para os 24 genótipos de batata-doce.	70

1. INTRODUÇÃO GERAL

Para ter sucesso em programas de melhoramento genético, estudos preliminares que auxiliem na escolha de melhores estratégias, bem como na avaliação do desempenho agrônomo dos possíveis genitores são essenciais (CRUZ *et al.*, 2012). Dentre esses estudos, destacam-se as análises biométricas que permitem fazer inferências sobre os ganhos com a seleção, pela estimativa dos principais parâmetros genéticos (AZEVEDO *et al.*, 2015; CRUZ *et al.*, 2012). De posse dessas informações, o processo de seleção dos indivíduos superiores, que melhor se adaptam às diferentes condições de cultivo, com fenótipos para as mais variadas características e que atendam aos anseios dos consumidores, torna-se mais rápido e eficaz (RAMALHO *et al.*, 2012).

No melhoramento genético de plantas, desejam-se obter indivíduos melhores que os pré-existentes, considerando várias características simultaneamente. Existem vários métodos que permitem realizar a seleção múltipla, sendo o método dos índices de seleção a alternativa mais eficiente e utilizada pelos melhoristas, no qual o índice de soma dos postos, proposto por Mulamba e Mock (1978), apresenta resultados satisfatórios para diversas culturas (AMARAL JÚNIOR *et al.*, 2010; ROSADO *et al.*, 2012; LUZ *et al.*, 2018). Todavia a seleção simultânea para as hortaliças torna-se um desafio, já que existe deficiência de estudos que relacionem o uso dos índices de seleção com a adequação de intervalos comerciais pré-definidos, além das dificuldades, para a seleção de caracteres qualitativos, bem como os quantitativos correlacionados em sentidos opostos.

Diante das limitações dos métodos tradicionais, a lógica fuzzy vem ganhando espaço e apresenta grande potencial, dado que permite traduzir expressões verbais, geralmente imprecisas, em valores numéricos, proporcionando a automação computacional da experiência de um especialista (PAPADOPOULOS *et al.*, 2011; MARDANI *et al.*, 2015). A lógica fuzzy ainda apresenta a possibilidade de trabalhar com várias características, simultaneamente, por compilação de várias entradas, para gerar as saídas, produzindo sistemas de resposta inteligentes, robustos e flexíveis.

Dentre os grupos de vegetais, as hortaliças apresentam grande destaque e importância à alimentação humana e animal, são, na grande maioria, anuais ou bienais e adaptadas a diversos climas e de grande valor nutricional. O crescimento significativo do consumo de hortaliças tem exigido a adoção de estratégias que permitam aumentar a produção, a resistência a fatores bióticos e abióticos e a qualidade dos produtos, a fim de atender o mercado consumidor e reduzir os custos de produção (ANDRIOLO, 2017).

Dentre as hortaliças com destaque na mesa dos brasileiros, distinguem-se a couve e a batata-doce por apresentarem altos valores medicinais e complementação da alimentação básica, pois são importantes fontes de vitaminas, sais minerais e fibras (AMARO *et al.*, 2007). A couve (*Brassica oleracea* L. var. *acephala* DC.) é uma hortaliça pertencente à família Brassicaceae, cujo consumo tem crescido gradativamente por suas novas maneiras na utilização culinária, assim como de suas importantes propriedades nutracêuticas (NOVO *et al.*, 2010). Sua ingestão reduz o risco de doenças crônicas relacionadas com a idade, como os problemas cardiovasculares e outras doenças degenerativas (MORENO *et al.*, 2006; VILAR *et al.*, 2008).

A batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) LAM) é uma cultura tradicional cultivada, principalmente, entre os pequenos produtores rurais. Está na base de alimentação das famílias, visto que é fonte de nutrientes e

energia em razão de seus altos teores de carboidratos, amido, sais minerais, açúcares e vitaminas (ANDRADE JÚNIOR *et al.*, 2012). Esses atributos associados à versatilidade acentuam o uso da batata-doce, para múltiplos fins, como alimentação humana e animal.

Considerando os dados apresentados acima, objetivou-se estabelecer estratégias de seleção simultânea de descritores quantitativos e qualitativos no melhoramento genético da couve e da batata-doce e verificar a eficiência de sistemas fuzzy para esta finalidade quando comparado à metodologia de Mulamba e Mock.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema de lógica fuzzy que permita a seleção simultânea para várias características no melhoramento genético da couve e da batata-doce e testar sua eficiência.

2.2 Objetivos Específicos

- Programar e utilizar o sistema fuzzy para a seleção simultânea de descritores qualitativos e quantitativos no melhoramento da couve.

- Programar e utilizar o sistema fuzzy para a seleção simultânea de caracteres no melhoramento genético da batata-doce.

- Verificar a eficiência dos sistemas fuzzy, comparando-os com o índice de Mulamba e Mock, levando-se em consideração o ganho esperado com a seleção.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Cultivo de hortaliças no Brasil

São consideradas hortaliças as plantas de consistência herbácea que, geralmente, possuem ciclos curtos e tratos culturais intensivos, nos quais as partes comestíveis são diretamente utilizadas na alimentação humana *in natura* ou com pouco processamento. As hortaliças apresentam altos valores medicinais e são utilizadas na complementação da alimentação básica, pois são importantes fontes de vitaminas, sais minerais e fibras (AMARO *et al.*, 2007). Ainda, para esses autores, a grande diversidade climática do Brasil propicia a produção de hortaliças, durante todo o ano, sendo que três fatores climáticos possuem destaque nessa produção: a temperatura, a umidade e a luminosidade, com os quais muitas hortaliças são prejudicadas pelo excesso de calor e chuvas.

A produção de hortaliças no Brasil é, em grande maioria, sustentada por agricultores de pequeno porte ou por sistemas familiares, sendo este o principal público de acesso e abastecimento das Ceasas do país (CONAB, 2018).

A olericultura se posiciona entre os segmentos com maior expressão produtora, no mercado do agronegócio brasileiro, estando entre os primeiros lugares na produção agrícola. Considerando cerca de 32 produtos, a Embrapa Hortaliças levantou, em 2011, um total de 19,2 milhões de toneladas colhidas (CARVALHO *et al.*, 2013). Já de acordo com o Boletim Hortigranjeiro de Novembro de 2018 (CONAB, 2018), a comercialização de hortaliças nas Ceasas, entre 2016 e 2018, foi sempre superior a 300.000 toneladas por mês, considerando apenas as cinco hortaliças de maior destaque nesses centros de comercialização (alface, tomate, batata, cebola e cenoura).

Nas últimas décadas, o consumo de hortaliças tanto *in natura* como minimamente processadas aumentaram no Brasil, tornando-se uma necessidade do mercado ofertar aos consumidores a mesma gama de hortaliças o ano inteiro, porém, para isso, é necessário incorporar técnicas de cultivo e estratégias que permitam manter essa produção (ANDRIOLO, 2017). A produção de hortaliças cresceu 31% entre os anos de 2000 e 2011, evidenciando que esse incremento se dá, principalmente, pela adoção de novas tecnologias no cultivo, já que houve aumento de produtividade e a área cultivada permaneceu praticamente a mesma (CARVALHO *et al.*, 2013).

3.1.1 Cultura da couve

A couve (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*, DC.) é uma hortaliça anual ou bienal oriunda da costa do Mediterrâneo e pertencente à família *Brassicaceae*. Seu consumo tem crescido, gradativamente, no Brasil, por suas novas maneiras na utilização culinária, tal como suas importantes propriedades nutraceuticas (NOVO *et al.*, 2010). Dentre as espécies de couve cultivadas, a couve é a que mais se assemelha à couve silvestre, porque não forma cabeça e possui folhas com limbo bem desenvolvido e arredondado, além de pecíolo longo e nervuras destacadas (FILGUEIRA, 2003).

A couve é muito rica em nutrientes, como o cálcio, iodo, ferro e vitaminas A, C, K e B5 (EMBRAPA, 2010; TRANI *et al.*, 2015). Além disso, possui glucosinolatos, alto teor de flavonoides e nutrientes, portanto sua ingestão pode atuar na redução do risco de doenças crônicas relacionadas à idade, como problemas

cardiovasculares e, ainda, reduz o risco de vários tipos de câncer (MORENO *et al.*, 2006; VILAR *et al.*, 2008).

Essa cultura é típica dos períodos de outono e inverno e apresenta certa tolerância ao calor, podendo ser plantada, durante todo o ano, em algumas regiões (EMBRAPA, 2010). Desenvolve-se melhor em temperaturas mais amenas, que variam entre 16 e 22°C. Na ocorrência de altas temperaturas, geralmente superiores a 28°C, algumas cultivares podem ter danos no desenvolvimento, acarretando em prejuízos relacionados à produção comercial (TRANI *et al.*, 2015). Esses autores, além disso, salientam sobre a importância das condições climáticas encontradas em regiões tropicais, visto que o déficit hídrico provoca o murchamento das plantas e, juntamente com a insolação, pode acarretar queimaduras nas folhas e nos brotos, causando a morte da couve.

Com frequência, a couve é produzida por pequenos produtores e é bastante presente na agricultura familiar, principalmente, pela sua facilidade de propagação, sendo classificada de acordo com as diversidades existentes na aparência, cor, textura da folha, margem, dentre outras características qualitativas (TRANI *et al.*, 2015). Segundo Carvalho *et al.* (2013), as 23 principais Centrais de Abastecimento Brasileira (CEASAS) comercializaram 522 mil toneladas de hortaliças folhosas e a couve foi a sexta hortaliça mais vendida, aproximadamente, 8 mil toneladas, demonstrando a importância econômica da cultura. Sua produtividade média no Brasil é em torno de 33 t/ha (CARVALHO *et al.*, 2013).

A espécie *B. oleracea* ($2n = 18$) é alógama e apresenta autoincompatibilidade do tipo esporofítica, o que contribui para o aumento na variabilidade genética na população (AZEVEDO *et al.*, 2012). Essa variabilidade é de fundamental importância, para o sucesso do melhoramento, em especial, quando se destacam os efeitos ambientais.

A propagação da couve pode ser realizada por sementes ou mudas, variando de acordo com o cultivar (TRANI *et al.*, 2015). É método preferido pelos agricultores à propagação vegetativa, propiciando a formação de mudas por meio de brotos que surgem nas axilas das folhas. As couves híbridas, no entanto não produzem brotos, sendo a sua propagação feita via sementes (TRANI *et al.*, 2015).

3.1.2 Cultura da batata-doce

A batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) LAM) é uma hortaliça pertencente à família Convolvulaceae, de raízes tuberosas, originária da América Tropical e é a sexta mais plantada no Brasil, sendo, em termos de volume, a sétima mais produzida no mundo (SILVA; LOPES; MAGALHÃES, 2008). Essa hortaliça se caracteriza por possuir indivíduos hexaploides ($2n=6x=90$), fato responsável pela alta variabilidade genética encontrada nessa espécie (RITSCHER *et al.*, 2010). Por isso, essa característica proporciona uma grande quantidade de genótipos, que se tornam foco de estudos para a seleção de novas cultivares melhoradas geneticamente (AZEVEDO *et al.*, 2015a).

Esse vegetal possui grande destaque na agricultura mundial, por ser adaptado a diversas condições edafoclimáticas, resistente a pragas e não necessitar de cuidados intensivos, configurando uma cultura com baixo custo de produção. Além disso, outras características favorecem a sua produção, como o fácil cultivo, o tempo para colheita que pode ser diversificado e mecanizável, seu crescimento prostrado

e grande massa foliar que dá destaque à eficiência dessa espécie no controle de erosão do solo (SILVA; LOPES; MAGALHÃES,2008; SOUZA, 2000).

A *I.batatas* é utilizada na alimentação humana, em forma de raízes e, em alguns países, suas folhas são consumidas. As cultivares de polpa amarela, creme ou salmão são empregadas, geralmente, na produção de doce. Seu amido, de alta qualidade, pode ser utilizado na indústria de tecidos, papel, cosméticos, dentre outros. Na alimentação animal, pode ser consumida crua, cozida, na forma de raspas e silagens e as ramas também são muito utilizadas, pois são ricas em amido, açúcares, proteína e vitaminas. Outra aplicação da batata-doce é na produção de álcool, como uma cultura alternativa à cana-de-açúcar e à mandioca (MIRANDA *et al.*, 1989).

O sistema radicular da batata-doce é bastante ramificado e com alta capacidade de exploração do solo, facilitando a absorção de nutrientes pela planta. Em solos bem nutridos, ocorre grande desenvolvimento tanto da parte radicular quanto da parte aérea da planta. Assim, ao ser comparada a outras culturas, a batata-doce é mais eficiente em quantidade de energia produzida por unidade de área e tempo, uma vez que é produzido um grande volume de raízes em um ciclo considerado relativamente curto e de baixo custo de produção (SILVA; LOPES; MAGALHÃES,2008).

Com essa gama de utilização e facilidade de cultivo, a batata-doce torna-se uma alternativa na substituição de alimento base para a população, pois que algumas culturas apresentam dificuldade de desenvolvimento quanto às adversidades encontradas no decorrer do cultivo (SOUZA,2000).

No Brasil, a produtividade média é menor que 10 t/ha pela falta de investimento na cultura, dado que se toma como base a facilidade de adaptação às adversidades encontradas nas áreas de cultivo e erroneamente à ideia de que, sem investimento, ainda, é possível produzir que prevalece entre os produtores. Desta forma, obtêm-se produtos de baixa qualidade que, muitas vezes, não têm aceitabilidade no mercado ou possuem preço comercial reduzido (SILVA; LOPES; MAGALHÃES,2008). Visando ao aumento de produtividade e qualidade do produto, faz-se necessário investir em informações, conhecimentos e novas tecnologias, como o melhoramento genético da hortaliça para fins comerciais.

3.2 Melhoramento Genético de Hortaliças

No Brasil, o setor público transformou o mercado de hortaliças, ao lançar um número expressivo de cultivares melhoradas, que são utilizadas no mercado e como banco de germoplasma para o desenvolvimento de novas cultivares (MELO; MELO; ARAGÃO, 2009). O melhoramento genético busca obter indivíduos com características genéticas superiores aos genitores, almejando materiais de ampla variabilidade. Para isso, os melhoristas devem ter amplo conhecimento acerca da cultura que está sendo melhorada (FERREIRA; GRATTAPAGLIA,1998; SOUSA *et al.*,2007).

Os programas de melhoramento genético de hortaliças visam desenvolver cultivares mais adaptados ao clima e resistentes a doenças limitantes à cada cultura (MELO; MELO; ARAGÃO, 2009). Além de obter cultivares mais ricos em compostos funcionais, que atuam na prevenção de doenças, aumentam e diversificam, por exemplo, os teores de carotenoides presentes em alguns cultivares (CARVALHO *et al.*, 2006).

Para o sucesso dos programas de melhoramento, devem-se integrar técnicas clássicas, com os avanços das biotecnologias e outras áreas da ciência, respeitando as vantagens e limites de cada técnica

(FERREIRA; GRATTAPAGLIA,1998; SOUZA *et al.*,2007). Várias análises biométricas são utilizadas para determinar os métodos de melhoramento mais adequados a cada cultura, permitindo fazer inferências sobre os ganhos de seleção esperados (CRUZ *et al.*, 2012). Dentre essas análises, destacam-se: variância genotípica, coeficiente de variação genético, herdabilidade e índice de variação, estudo da correlação e índices de seleção simultânea (AZEVEDO *et al.*,2015a).

Os principais programas de melhoramento genético de hortaliças do país tiveram contribuição importante para o grande desenvolvimento desta técnica nas últimas décadas. O Instituto Agrônomo (IAC) de Campinas, por exemplo, foi responsável por lançar, aproximadamente, 72 novas cultivares, destacando-se alface, tomate, morango, batata e pimentão (MELO; MELO; ARAGÃO, 2009).

Atualmente existem várias pesquisas envolvendo o melhoramento genético da couve, destacando-se a análise do desempenho agrônomo e a variabilidade genética da cultura (AZEVEDO *et al.*, 2012); o desenvolvimento e produção de genótipos de couve manteiga (NOVO *et al.*, 2010); obtenção de parâmetros populacionais e seleção genotípica pela inferência bayesiana, em modelo linear multicausal (AZEVEDO *et al.*, 2017) e estudos de repetibilidade genética em clones de couve (AZEVEDO *et al.*, 2016), dentre outros.

Para o melhoramento genético da couve, busca-se aumento na produtividade por área e facilidade de tratos culturais, para isso, é necessário selecionar genótipos com menor altura, menor número de brotações, maior número de folhas por planta e maior diâmetro do caule. Todas essas características poderão possibilitar à cultura maior adensamento, maior rendimento por área e redução de tratos culturais permitindo a maior rentabilidade da cultura (AZEVEDO *et al.*, 2012; AZEVEDO *et al.*, 2014). Além disso, esses autores consideram que os trabalhos de melhoramento genético visam aumentar a produtividade de folhas com padrão comercial desejado, bem como a resistência ao ataque de pragas, como *Brevicoryne brassicae* e *Plutella xylostella*.

Para o sucesso do melhoramento genético, considerando características específicas, torna-se necessário conhecer a associação existente entre os caracteres, permitindo identificar as possíveis consequências da seleção, para a altura de planta, número de brotações, número de folhas por planta e diâmetro do caule sobre as demais características de interesse agrônomo (AZEVEDO *et al.*, 2012). De acordo com Cruz *et al.* (2012), essas associações são avaliadas por meio de correlações genotípicas, fenotípicas e ambientais, sendo que somente as genéticas envolvem associações de natureza herdável, podendo ser utilizada para orientar os programas de melhoramento para a cultura (ESPOSITO *et al.*, 2012)

No Brasil, existem algumas empresas que produzem e comercializam sementes de híbridos de couve, visto que não produzem brotos. Essas plantas híbridas são compactas e mostram boa produtividade se comparadas com as variedades propagadas por mudas (TRANI *et al.*, 2015). Entretanto essas cultivares são pouco atrativas para o consumidor e, com isso, não são muito cultivadas, já que possuem folhas de cor mais escura, nervuras proeminentes e de cor clara, que o consumidor associa ao maior tempo de cocção (NOVO *et al.*,2010; TRANI *et al.*,2015).

Já para a batata-doce, dentre as principais finalidades para o melhoramento, destacam-se a resistência a pragas e doenças, melhor qualidade nutricional (AZEVEDO *et al.*, 2002; ANDRADE JÚNIOR *et al.*, 2012; AZEVEDO *et al.*, 2014), aumento no teor de matéria seca e biomassa (GONÇALVES NETO *et al.*, 2012; AZEVEDO *et al.*, 2014); desenvolvimento de cultivares para a produção de etanol

(GONÇALVES NETO *et al.*, 2012) e maior produção de ramas para a alimentação animal (VIANA *et al.*, 2011; ANDRADE JÚNIOR *et al.*, 2012).

O melhoramento genético da batata-doce é essencialmente desenvolvido pelo setor público, não sendo objetivo para grandes empresas. Esse fato está associado à facilidade de propagação da espécie e, dessa forma, o agricultor precisaria comprar sementes apenas uma vez, descartando a dependência do produtor quanto a essas empresas para expandir sua área de cultivo. Assim acaba ficando às instituições governamentais a função de desenvolver pesquisas e obter genótipos de alto desempenho para serem disponibilizados aos produtores, principalmente, para a agricultura familiar.

O setor de melhoramento de hortaliças, porém vem sofrendo um forte desestímulo, não apenas no Brasil, mas em outros países do mundo. Esse fato pode ser atribuído à concentração de investimentos, nos setores de ciência e tecnologia, além da falta de sucessores para os mártires dos programas de melhoramento (MELO; MELO; ARAGÃO, 2009). Esses autores salientam a necessidade estimular estudantes e pesquisadores a seguirem a carreira de melhoristas, que, atualmente, encontra-se concentrada em poucos programas de pós-graduação distribuídos no país, viabilizando maior lançamento de cultivares pelas instituições públicas, além de permitir maior interação entre pequenos produtores e universidades federais.

3.3 Estratégias de seleção

Para o melhoramento genético de plantas, é necessário selecionar indivíduos melhores que os pré-existentes, considerando várias características simultaneamente. No entanto a seleção simultânea de caracteres torna-se um desafio ao melhoramento genético, tendo em vista que a maioria dos caracteres podem estar correlacionados e, na maioria das vezes, em sentidos opostos (SANTOS *et al.*, 2007; RAMALHO *et al.*, 2012). Além disso, a importância dos caracteres nem sempre é a mesma, portanto esse método é um aliado à separação das características mais relevantes ao melhoramento da cultura (RAMALHO *et al.*, 2012).

Dentre as principais estratégias de seleção simultânea, para várias características, destacam-se: o Método de Tandem, o Método dos Níveis Independentes de Eliminação e o Método dos Índices de Seleção.

O Método de Tandem caracteriza-se por selecionar apenas uma característica por vez até se obter o nível desejado de melhoramento, para aquele caráter, a partir do qual se inicia o processo de melhoramento, para a segunda característica e, assim, sucessivamente. Espera-se, nesse caso, que os caracteres que não sejam considerados, no momento, permaneçam constantes (RAMALHO *et al.*, 2012). Esse método terá baixa eficiência se os caracteres forem correlacionados e as variâncias fenotípicas e pesos econômicos forem diferentes. Além disso, esse método é considerado demorado e pouco empregado pelos melhoristas (RAMALHO *et al.*, 2012).

O método dos Níveis Independentes de Eliminação consiste em estabelecer níveis mínimos ou máximos, para cada característica, selecionando o indivíduo/progênie cujo desempenho se enquadre no intervalo de interesse do melhorista. Essa metodologia, embora seja considerada intuitiva, é bastante utilizada nos programas de melhoramento (RAMALHO *et al.*, 2012).

O método do Índice de Seleção é uma alternativa eficiente e bastante utilizada pelos melhoristas, já que permite a obtenção de ganhos simultâneos mesmo para caracteres com efeitos adversos (SANTOS *et al.*, 2007). Essa metodologia ainda se caracteriza por permitir a combinação linear de informações de múltiplos caracteres, em um único valor, concentrando as vantagens e desvantagens de cada genótipo para vários caracteres (GARCIA; SOUSA JÚNIOR, 1999; CRUZ; CARNEIRO, 2006).

Existem várias opções de índices de seleção, dentre eles, destacam-se: o Índice clássico ou ótimo ou Índice de Smith (1936) e Hazel (1943), o Índice base, o Índice de Soma de postos de Mulamba e Mock (1978) e o Índice da soma das variáveis padronizadas (Índice Z).

O Índice Clássico caracteriza-se pela combinação linear de covariâncias genéticas e fenotípicas dos caracteres com seus respectivos valores econômicos, obtendo-se, assim, o valor genético do indivíduo (CRUZ *et al.*, 2012). Diferentemente do índice Clássico, o Índice Base desconsidera a estimação das variâncias e covariâncias genéticas e fenotípicas, estimando apenas os pesos econômicos associados aos caracteres (CRUZ; CARNEIRO, 2008; RAMALHO *et al.*, 2012). O Índice de soma dos postos foi proposto por Mulamba e Mock (1978) e consiste em atribuir pesos ou “ranks” aos genótipos, de acordo com o interesse do melhorista, visando aumentar ou diminuir a expressão fenotípica. Para isso, são calculadas as médias fenotípicas dos genótipos, ajustando-as em ordem crescente, de acordo com as características de maior relevância ao melhoramento. Esse índice ainda permite atribuir pesos econômicos às características de maior relevância. Após essa atribuição de postos aos caracteres, realiza-se a sua soma por genótipo, obtendo-se o índice de seleção para cada progênie (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012; RAMALHO *et al.*, 2012).

O Índice da soma das variáveis padronizadas (Índice Z) considera a padronização dos dados das parcelas do experimento, a partir do qual se realizam inferências estatísticas entre os genótipos de interesse (RAMALHO *et al.*, 2012).

O uso de índices de seleção torna-se uma alternativa vantajosa nos programas de melhoramento e vem ocupando lugar de destaque, visto que a demanda por novas cultivares que atendam às exigências, cada vez mais variadas do mercado, é crescente e necessita de menor tempo para seu lançamento, logo a seleção de vários caracteres simultaneamente destaca-se nesse mercado (TORRES, 2015). Os índices de seleção já vêm sendo amplamente utilizados, nos programas de melhoramento genético, podendo-se citar seus usos na seleção genética, para uso ornamental de pimenta (LUZ *et al.*, 2018), para a seleção de híbridos de milho para silagem (CREVELARI *et al.*, 2018), na seleção de caracteres de cenoura (SILVA; VIEIRA; VILELA, 2009), dentre outros.

Esses estudos, entretanto, apontam o sucesso na seleção a caracteres quantitativos, tornando-se difícil mensurar a eficiência dessas metodologias para caracteres qualitativos. Além disso, não são apontados intervalos pré-definidos comercialmente, o que pode mascarar a eficiência dos índices de seleção.

3.4 Lógica fuzzy

A Lógica fuzzy, também conhecida como lógica nebulosa, pode ser definida como uma ferramenta capaz de transformar informações vagas, geralmente ligadas ao intuitivo humano, em numéricas, sendo possível sua manipulação por computadores (SAAVEDRA, 2003). Ou seja, combina a imprecisão de

eventos naturais ao poder computacional de máquinas produzindo sistemas de resposta inteligentes, robustos e flexíveis (COX,1995).

A lógica nebulosa foi citada, pela primeira vez, no contexto científico por Lotfi A Zadeh e combina inteligência artificial, redes neurais, teorias probabilísticas, dentre outras, a fim de representar o pensamento humano, ligando o poder linguístico à inteligência humana, portanto esta técnica visa traduzir expressões verbais em valores numéricos discretos (SAAVEDRA,2003; JANÉ, 2004; SIMÕES; SHAW,2007).

Esta manifestação de raciocínio vai além da definição de valores verdadeiros ou falsos (0 ou 1), para o elemento analisado como propõe a lógica booleana, os conjuntos fuzzy indicam possibilidades e não probabilidades, de uma certa afirmação está correta, atribuindo pesos que indicam o grau de pertinência ao objeto do estudo. Essa pertinência possui amplitude de variação de 0 a 1, o que permite ao avaliador fazer inferências de que uma afirmação é parcialmente verdadeira ou parcialmente falsa (VAZ,2006).

Com a possibilidade de utilizar informações imprecisas, em linguagem computacional, a qual permite fácil interface com o ser humano, a lógica fuzzy encontrou uma grande gama de aplicação, nas mais variadas esferas do cotidiano das pessoas, podendo citar, como exemplo, o seu emprego no controle de fluxo de caixa, na avaliação de marketing, controle automático de máquinas e equipamentos, tráfego automotivo, bem como em programas de melhoramento genético (JANÉ, 2004; CARNEIRO, 2015).

Nas ciências agrárias, existem várias pesquisas que demonstram a viabilidade da lógica fuzzy, para a detecção e classificação de doenças foliares (RASTOGI *et al.*,2015), à determinação da cinética de secagem da cebola (JAFARI *et al.*, 2015), controle automático de sistema de irrigação (MUSHTAQ *et al.*, 2016), controle automático de irrigação por gotejamento associado ao monitoramento por telefone celular (ANAND *et al.*, 2015), no suporte à fertilização nitrogenada (PAPADOPOULOS *et al.*, 2011), na irrigação e conservação na agricultura (GIUSTI, MARSILI-LIBELLI, 2015).

Para o desenvolvimento de um controlador fuzzy, deve-se obedecer a uma estrutura básica, dividida em três fases: a base de conhecimento, as interfaces de fuzzificação e defuzzificação e a lógica da tomada de decisões (SIMÕES; SHAW, 2007).

3.4.1 Base de Conhecimento

A base do conhecimento baseia-se na escolha de variáveis de entrada que melhor representam a tomada de decisões do processo e que serão analisadas e trabalhadas de acordo com as premissas da lógica fuzzy. Essas variáveis são classificadas como linguísticas, já que os valores assumidos por elas são qualitativos e representados por expressões verbais, enquanto as variáveis quantitativas são expressas por conjuntos fuzzy (função de pertinência) (ZADEH, 1975, GANGA; CARPINETTI; POLITANO, 2011).

3.4.2 Pertinência e conjuntos fuzzy

Um conjunto fuzzy A em um universo X é definido por uma função de pertinência que atribui aos objetos um grau de associação que varia de $0 \leq \mu_A(x) \leq 1$, em que cada elemento $x \in X$ representa o grau em que x pertence ao conjunto fuzzy A (SAAVEDRA,2003; VAZ,2006), sendo que o valor 0 representa

uma completa ausência de pertinência do fator analisado, enquanto um valor igual a 1 representa uma completa pertinência do fator ao conjunto estudado (ZADEH, 1965; SAAVEDRA, 2003).

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\} \quad (1)$$

Em que:

A: Conjunto Fuzzy

$\mu_A(x)$: Função de Pertinência

X: Conjunto Universo

O grau de pertinência é uma noção que varia, de acordo com o contexto em que está sendo aplicada, caracterizando a sua subjetividade, além disso, as funções de pertinência se caracterizam por serem não probabilísticas monotonicamente crescentes, decrescentes ou subdividas em partes crescentes e decrescentes.

3.4.2.1 Funções de pertinência

Várias funções de pertinência podem representar um mesmo conjunto, portanto a experiência do desenvolvedor do controlador fuzzy é fundamental para a escolha da função que melhor representa os conjuntos de variáveis linguísticas. Dentre as principais funções de pertinência, destacam-se as triangulares, forma de π , forma de Z e a forma de S (CARNEIRO, 2015).

3.4.2.2 Regras Fuzzy e Agregação

As regras Fuzzy são de fundamental importância ao desenvolvimento do controlador, ao definir parâmetros para tomadas de decisões adequadas no processo, as quais são obtidas, por meio de entrevistas com operadores humanos experientes, no tema de interesse e a partir do qual são feitas inferências sobre o processo. Essas inferências permitem que o computador, por meio de regras, tome decisões que seriam realizadas pelo ser humano (CARNEIRO, 2007).

É necessário que as regras contemplem todas as situações possíveis de ocorrência nas entradas para que o controlador fuzzy atue de forma eficaz na tomada de decisões. Apesar de o grande número de regras gerado, a lógica fuzzy é eficiente e veloz, no processamento dos dados, já que as regras são ativadas em paralelo durante o processamento (SIMÕES; SHAW, 2007).

As regras permitem que uma ou mais variáveis de entrada gerem uma única variável saída, na forma de um valor fuzzy discreto ou agregado e, para que isso seja possível, as regras se baseiam em premissas ou condições que gerem uma determinada consequência:

SE <condições> ENTÃO <conclusão>

SE var1 = A <conectivo> var2 = B, ENTÃO vars = C

Em que os conectivos são operadores fuzzy e A, B e C são conjuntos fuzzy das variáveis de entrada e saída (CARNEIRO, 2007).

Já a agregação consiste em associar as saídas de várias regras que compõem um controlador, por meio de operadores fuzzy, permitindo que a saída seja um valor agregado, para cada conjunto de observações, que compõem a variável resposta. Essa operação é realizada, empregando o conotativo “também”, que é implementado no sistema, por meio de operadores de conormas-t de máximo, soma algébrica e soma (CARNEIRO, 2007).

3.4.3 Interfaces de fuzzificação e defuzzificação

3.4.3.1 Fuzzificação

O processo de fuzzificação corresponde à transformação de dados de entrada, em valores fuzzy pré-definidos, que englobam um intervalo de [0,1] associado às pertinências de cada variável linguística, o número de vetores gerados deverá ser igual à quantidade de funções pertinências adotadas para a variável (JANÉ,2004, CARNEIRO, 2007). A saída do controlador é representada por um valor fuzzy agregado que representa a pertinência de uma observação em cada conjunto da variável saída.

3.4.3.2 Inferência Fuzzy

Tem por finalidade relacionar as possíveis variáveis entre si, por meio de regras pré-estabelecidas, cumprindo os objetivos do algoritmo (JANÉ, 2004). Existem vários sistemas de inferência fuzzy, dos quais o Modelo Fuzzy de Mamdani e o proposto por Sugeno se destacam por serem amplamente utilizados em diversas áreas.

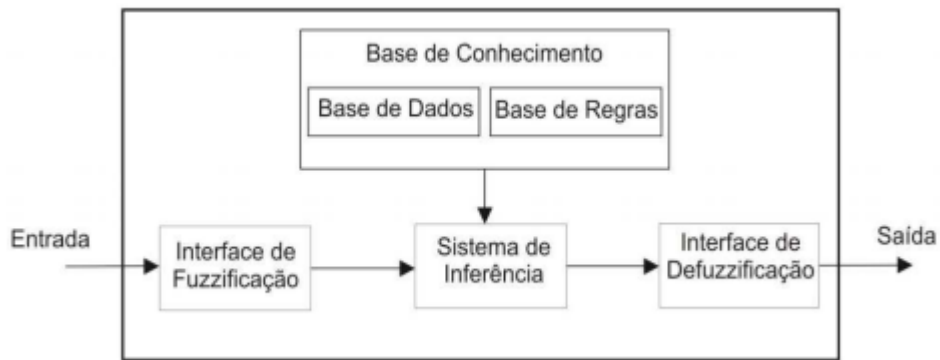
Modelo de Mamdani

Este modelo se tornou padrão por muitos anos, para a utilização da lógica fuzzy, usando variáveis linguísticas representadas por conjuntos tanto na entrada quanto na saída (CARNEIRO,2015). Nesse modelo, as etapas de fuzzificação, implicação, agregação e defuzzificação são de fundamental importância (FIGURA 1). Esse modelo segue as regras-padrão:

$$\text{SE } \text{var1} = A \langle \text{conectivo} \rangle \text{ var2} = B, \text{ ENTÃO } \text{vars} = C$$

A, B= conjuntos das variáveis linguísticas de entrada de var1 e var2; C= conjunto fuzzy da variável de saída.

Figura 1 - Esquema do Modelo de Inferência do Tipo Mamdani



Fonte: CARNEIRO, 2015.

3.4.3.3 Defuzzificação

A defuzzificação transforma as variáveis linguísticas obtidas, no processo de inferência, em valores numérico de saída do sistema fuzzy, ou seja, é a conversão do número fuzzy em número real. Dentre os métodos mais conhecidos, para esse processo, estão: o do centroide, bissetor, média dos máximos ("MOM"), valor do máximo ("LOM") e o do menor valor do máximo ("SOM") (CARNEIRO, 2007; GANGA; CARPINETTI; POLITANO, 2011).

O método dos centroides transforma a saída fuzzy em valor numérico, utilizando a média aritmética entre os centros de gravidade dos conjuntos fuzzy, aos quais o elemento pertence, ponderados pelo grau de pertinência (MATTOS; COELHO, 2015). O método do centroide tem como resultado da defuzzificação um valor que divide a área do conjunto fuzzy em duas regiões de área igual (VAZ; JACQUES, 2006).

Já o método da Média dos Máximos (MOM) transforma os valores de saída fuzzy em valores, por meio da média aritmética ponderada entre os escores dos conjuntos aos quais os elementos pertencem. No Método dos Máximos (LOM), o valor da saída é encontrado, identificando o escore do conjunto fuzzy, ao qual o elemento pertence com maior grau de pertinência; caso ocorra mais de um valor máximo, considera-se o ponto central do intervalo (MATTOS; COELHO, 2015). O método de valor mínimo dos máximos (SOM) seleciona o menor grau de pertinência dos valores de saída, sendo o inverso do Método dos Máximos (VAZ; JACQUES, 2006).

4. REFERÊNCIAS

- AMARAL JÚNIOR, A.T.; FREITAS JÚNIOR, S.P.; RANGEL, R.M.; PENA, G.F.; RIBEIRO, R.M.; MORAIS, R.C.; SCHUELTER, A.R. 2010. Improvement of a popcorn population using selection indexes from a fourth cycle of recurrent selection program carried out in two different environments. **Genetics and Molecular Research**, 9 (1): 340-347. DOI: 10.4238/vol9-1gmr702.
- AMARO, G.B.; SILVA, D.M. da; MARINHO, A.G.; NASCIMENTO, W.M. 2007. Recomendações técnicas para o cultivo de hortaliças em agricultura familiar. **Circular Técnica 47**. Embrapa Hortaliças. Brasília, DF. ISSN 1415-3033.
- ANAND, K.; JAYAKUMAR, C.; MUTHU, M.; AMIRNENI, S. 2015. Automatic Drip Irrigation System Using Fuzzy Logic And Mobile Technology. **IEEE International Conference on Technological Innovations in ICT for Agriculture and Rural Development (TIAR)**.
- ANDRADE JÚNIOR, V.C.; VIANA, D.J.S.; PINTO, N.A.V.D.; RIBEIRO, K.G.; PEREIRA, R.C.; NEIVA, I.P.; AZEVEDO, A.M.; ANDRADE, P.C.R. 2012. Características produtivas e qualitativas de ramos e raízes de batata-doce. **Horticultura Brasileira** 30: 584-589.
- ANDRIOLO, J.L. 2017. **Olericultura Geral**. 3º ed. Editora UFSM. 96p.
- AZEVEDO, A.M.; ANDRADE JÚNIOR, V.C.D.; SANTOS, A.A.D.; SOUSA JÚNIOR, A.S.D.; OLIVEIRA, A.J.M.; FERREIRA, M.A.M. 2017. Population parameters and selection of kale genotypes using Bayesian inference in a multi-trait linear model. **Acta Scientiarum. Agronomy**. 39:25-31. DOI: 10.4025/actasciagron.v39i1.30856.
- AZEVEDO, A.M.; ANDRADE JÚNIOR, V.C.; PEDROSA, C.E.; VALADARES, N.R.; ANDRADE, R.F.; SOUZA, J.R.S. 2016. Estudo da repetibilidade genética em clones de couve. **Horticultura Brasileira** 34: 54-58. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620160000100008>
- AZEVEDO, A.M.; ANDRADE JÚNIOR, V.C.; VIANA, D.J.S.; ELSAYED, A.Y.; PEDROSA, C.E.; NEIVA, I.P.; FIGUEIREDO, J.A. 2014. Influence of harvest time and cultivation sites on the productivity and quality of sweet potato. **Horticultura Brasileira** 32: 21-27. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362014000100004>
- AZEVEDO, A.M.; ANDRADE JÚNIOR, V.C.; FIGUEIREDO, J.A.; PEDROSA, C.E.; VIANA, D.J.S.; LEMOS, V.T.; NEIVA, I.P. 2015. Divergência genética e importância de caracteres em genótipos de batata-doce visando a produção de silagem. **Agrária – Revista Brasileira de Ciências Agrárias** 10: 479-484. DOI:10.5039/agraria.v10i3a5165
- AZEVEDO, A.M.; ANDRADE JÚNIOR, V.C.; PEDROSA, C.E.; FERNANDES, J.S.C.; VALADARES N.R.; FERREIRA, M.A.M.; MARTINS, R.A.doV. 2012. Desempenho agrônômico e variabilidade genética em genótipos de couve. **Pesquisa agropecuária brasileira** 47: 1751-1758.
- AZEVEDO, A.M.; ANDRADE JÚNIOR, V.C.; PEDROSA, C.E.; VALADARES, N.R.; FERNANDES, J.S.C.; FERREIRA, M.R.A.; MARTINS, R.A.V. 2014. Divergência genética e importância de caracteres em genótipos de couve. **Horticultura Brasileira** 32:51-57. DOI: <https://doi.org/10.1590/hb.v32i1.21>
- AZEVEDO, A.M.; ANDRADE JÚNIOR, V.C.; FERNANDES, J.S.C.; PEDROSA, C.E.; OLIVEIRA, C.M. 2015a. Desempenho agrônômico e parâmetros genéticos em genótipos de batata-doce. **Horticultura Brasileira** 33:84-90. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620150000100014>
- AZEVEDO, S.M.; MALUF, W.R.; SILVEIRA, M.A.; FREITAS, J.A. 2002. Reação de clones de batata-doce aos insetos de solo. **Ciência e Agrotecnologia** 26: 545-549.
- CAMPONOGARA, E., 2006. **Introdução à Inteligência Computacional**. Universidade Federal de Santa Catarina. 91p.
- CARNEIRO, V.Q., 2015. **Rede neural e lógica fuzzy aplicadas no melhoramento do feijoeiro**. 108p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.

CARVALHO, P.G.B.; MACHADO, C.M.M.; MORETTI, C.L.; FONSECA, M.E.N. 2006. Hortaliças como alimentos funcionais. **Horticultura Brasileira** 24: 397-404.

CARVALHO, C.D.; KIST, B.B.; POLL, H. 2013. **Anuário brasileiro de hortaliças**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 88p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB), 2018. **Boletim Hortigranjeiro Novembro 2018**. < <https://www.conab.gov.br/info-agro/hortigranjeiros-prohort>>. Acesso em 10 de dezembro de 2018.

COX, EARL., 1995. **Fuzzy logic for business and industry**. Massachusetts: Charles River Media Inc.

CREVELARI, J.A.; DURÃES, N.N.L.; BENDIA, L.C.R.; DA SILVA, A.J.; AZEVEDO, F.H.V.; AZEREDO, V.C.; PEREIRA, M.G. 2018. Assessment of agronomic performance and prediction of genetic gains through selection indices in silage corn. **Australian Journal of Crop Science**. DOI: 10.21475/ajcs.18.12.05.PNE1004

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. 2012. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa: UFV. 480p.

CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. 2006. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4ª ed., v. 2, Viçosa: Editora UFV. 585p.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. 2012. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4 ed., v. 1, Viçosa: Editora UFV. 514p.

ESPOSITO, D.P.; PETERNELLI, L.A.; PAULA, T.O.M.; BARBOSA, M.H.P. 2012. Análise de trilha usando valores fenotípicos e genotípicos para componentes do rendimento na seleção de famílias de cana-de-açúcar. **Ciência Rural** 42:271-276.

FERREIRA, M.E.; GRATTAPAGLIA, D. 1998. **Introdução ao uso de marcadores moleculares em análise genética**. 3 Ed. Brasília: EMBRAPA-CENARGEM, 220p.

GANGA, G.M.D.; CARPINETTI, L.C.R.; POLITANO, P. R. 2011. Gestão do desempenho em cadeias de suprimentos usando lógica fuzzy. **Gestão e Produção**. São Carlos, v.18, n.4, p. 755-774. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0104-530X2011000400006>

GARCIA, A.A.F.; SOUZA JÚNIOR, C.L. 1999. Comparação de índices não paramétricos para seleção de cultivares. **Bragantia**, 58: 253-267.

GIUSTI, E.; MARSILI-LIBELLI, S. 2015. A Fuzzy Decision Support System for irrigation and water conservation in agriculture. **Environmental Modelling & Software** 63: 73-86. DOI: 10.1016/j.envsoft.2014.09.020.

GONÇALVES NETO, A.C.; MALUF, W.R.; GOMES, L.A.A.; GONÇALVES, R.J.S.; SILVA, V.F.; LASMAR, A. 2012. Aptidões de genótipos de batata-doce para consumo humano, produção de etanol e alimentação animal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 46: 1513-1520.

GONÇALVES NETO, A.C.; MALUF, W.R.; GOMES, L.A.A.; MACIEL, G.M.; FERREIRA, R.P.D.; CARVALHO, R.C. 2012. Correlação entre caracteres e estimação de parâmetros populacionais para batata-doce. **Horticultura Brasileira** 30: 713-719. DOI: 10.1590/S0102-05362012000400025

JAFARI, S.M.; GANJE, M.; DEHNAD, D.; GHANBARI, V. 2015. Mathematical, fuzzy logic and artificial neural network modeling techniques to predict drying kinetics of onion. **Journal of Food Processing and Preservation**. Doi:10.1111/jfpp.12610.

JANÉ, D.A. 2004. Uma introdução ao estudo da lógica fuzzy. **Hórus – Revista de Humanidades e Ciências Sociais Aplicadas**, 2,1-16.

LEE, C.C. 1990. **Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller – Part II**, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics.

LUZ, P.B.; SANTOS, A.A.B.; AMBROSIO, V.C.; NEVES, L.G.; TAVARES, A.R. 2018. Selection of indexes to evaluate the genetic variability aiming ornamental use of peppers accessions. **Ornamental Horticulture**. DOI: 10.14295/oh.v24i1.1109.

MALUF, W.R. 2003. A batata-doce e seu o potencial na alimentação humana, na alimentação animal, e na produção de etanol biocombustível. **Cultura**, 1999.

MARDANI, A.; JUSOH, A.; ZAVADSKAS, E.K. 2015. Fuzzy multiple criteria decision-making techniques and applications—Two decades review from 1994 to 2014. **Expert Systems with Applications**, 42(8): 4126-4148. Doi: 10.1016/j.eswa.2015.01.003

MASSAROTO, J.A. 2008. **Características agronômicas e produção de silagem de clones de batata-doce**. 73p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

MELO, P.C.T.; MELO, A.M.T.; ARAGÃO, F.A.S. 2009. Melhoramento Genético de Hortaliças no Brasil: Retrospectiva e Perspectivas. **Simpósio Nordestino de Genética e Melhoramento de Plantas**. O melhoramento genético no contexto atual: Anais / I Simpósio Nordestino de Genética e melhoramento de Plantas. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical. 210p.

MIRANDA, J.E.C.; FRANÇA, F.H.; CARRIJO, O.A.; SOUZA, A.F.; PEREIRA, W.; LOPES, C.A. 1989. Batata-Doce (*Ipomoea batatas* (L.) LAM). **Circular Técnico do CNPHortaliças**. Embrapa Hortaliças, 2 ed.

MORENO, D.A.; CARVAJAL, M.; LOPEZ-BERENGUER, C.; GARCIA-VIGUERA, C. 2006. Chemical and biological characterization of nutraceutical compounds of broccoli. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, 41:1508-22. DOI: 10.1016/j.jpba.2006.04.003

MUSHTAQ, Z.; SANI, S.S.; HAMED, K.; ALI, A.; ALI, A.; BELAL, S.M.; NAQVI, A.A. 2016. Automatic Agricultural Land Irrigation System By Fuzzy Logic. **3rd International Conference on Information Science and Control Engineering**. DOI:10.1109/ICISCE.2016.190.

NOVO, M.C.S.S.; PRELA-PANTANO, A.; TRANI, P.E.; BLAT, S.F. 2010. Desenvolvimento e produção de genótipos de couve-manteiga. **Horticultura Brasileira**, 28: 321-325. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362010000300014>

PAPADOPOULOS, A.; KALIVAS, D.; HATZICHRISTOS, T. 2011. Decision support system for nitrogen fertilization using fuzzy theory. **Computers and Electronics in Agriculture**, 78: 130–139. DOI: 10.1016/j.compag.2011.06.007.

PERRE, M.A.; ROMERO, R.H.C.; BORGES, T.H.N. 1986. Relações e restrições fuzzy. **Semina: Ciências Agrárias**, 7 (2):93-99. DOI: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.1986v7n2p93>

RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B.; ABREU, A.F.B.; NUNES, J.A.R. 2012. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. 1.ed. Lavras: Ed. UFLA, 522p.

RASTOGI, A.; ARORA, R.; SHARMA, S. 2015. Leaf Disease Detection and Grading using Computer Vision Technology &Fuzzy Logic. **2nd International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN)**.

RITSCHER, P.S.; LOPES, C.A.; HUAMÁN, Z.; FERREIRA, M.E.; FRANCA, F.J.; MENÊZES, J.E.; TEIXEIRA, D.M.C.; TORRES, A.C.; CHARCHAR, J.M.; THOMAZELLI, L. 2010. Organização do banco ativo de germoplasma de batata-doce: situação atual e perspectivas. In: QUEIROZ, M.A., GOEDERT, C.O., RAMOS, S.R.R. (eds). Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o Nordeste brasileiro: versão 1.0. Disponível em: <http://www.cpatas.embrapa.br/catalogo/livrorgbatatadoce.pdf>.

ROSADO, L.D.S.; SANTOS, C.E.M.; BRUCKNER, C.H.; NUNES, E.S.; CRUZ, C.D. 2012. Simultaneous selection in progenies of yellow passion fruit using selection indices. **Rev. Ceres**, 59: 95-101. DOI:10.1590/S0034-737X2012000100014.

SAAVEDRA, O.R. 2003. Introdução à Teoria de Conjuntos Nebulosos. **Notas de Aula Inteligência Artificial**, UFMA, 54p.

SANTOS, F.S.; JÚNIOR, A.T.A.; JÚNIOR, S.P.F.; RANGEL, R.M.; PEREIRA, M.G. 2007. Predição de ganhos genéticos por índices de seleção na população de milho-pipoca UNB-2U sob seleção recorrente. **Bragantia**, 66 (3):389-396.

SANTOS, J.F.; BRITO, L.M.P.; GRANJEIRO, J.I.T.; ALMEIDA, F.A.C.; OLIVEIRA, M.E.C. 2005. Componentes de produção e rendimentos de batata-doce, em função de doses de esterco de bovino. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.7, n.2, p.115-121, 2005.

SILVA, G.O.; VIEIRA, J.V.; VILELA, M.S. 2009. Seleção de caracteres de cenoura cultivada em dois sistemas de produção agroecológicos no Distrito Federal. **Rev. Ceres**, 56(5):595-601.

SILVA, J.B.C.; LOPES, C.A.; MAGALHÃES, J.S. 2008. Batata-doce (*Ipomoea batatas*). **Embrapa Hortaliças**.

SIMÕES, M.G.; SHAW, I.S. 2007. **Controle e Modelagem Fuzzy** (2nd ed.). São Paulo: EDGARD BLUCHER.

SOUSA, C.S.; BONETTI, A.M.; GOULART FILHO, L.R.; MACHADO, J.R.A.; LONDE, L.N.; BAFFI, M.A.; RAMOS, R.G.; VIEIRA, C.E.; KERR, W.E. 2007. Divergência genética entre genótipos de alface por meio de marcadores AFLP. **Bragantia**, 66 (1): 11-16.

SOUZA, A.B. 2000. Avaliação de cultivares de batata-doce quanto atributos agronômicos desejáveis. Lavras. **Ciência Agrotécnica**, 24(4): 841-845.

TORRES, M.H.R.M. 2015. **Progresso genético com base na seleção simultânea de caracteres em linhagens elite de feijão-caupi**. 82p. Dissertação (Mestrado/Genética e Melhoramento) – UFPI, Teresina.

TRANI, P.E.; TIVELLI, S.W.; BLAT, S.F.; PRELA-PANTANO, A.; TEIXEIRA, E.P.; ARAÚJO, H.S.de; FELTRAN, J.C.; PASSOS, F.A.; FIGUEIREDO, G.J.B. de; NOVO, M.C.S.S. 2015. Couve de folha: do plantio à pós-colheita. **Boletim Técnico IAC 214**. Campinas: Instituto Agrônomo, 5. 36 p. ISSN 1809-7936

VAZ, A.M. 2006. **Estudos das funções de pertinência para conjuntos fuzzy utilizados em Controladores Semafóricos Fuzzy**. 170p. Dissertação (Mestrado) – UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA. Brasília- DF.

VIANA, D.J.S.; ANDRADE JÚNIOR, V.C.; RIBEIRO, K.G.; PINTO, N.A.V.D.; NEIVA, I.P.; FIGUEIREDO, J.A.; LEMOS, V.T.; PEDROSA, C.E.; AZEVEDO, A.M. 2011. Potencial de silagens de ramas de batata-doce para alimentação animal. **Ciência Rural**,41(8):1466-1471. DOI:<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782011000800027>.

VILAR, M.; CARTEA, M.E.; PADILLA, G.; 2008. The potential of kales as a promising vegetable crop. **Euphytica**, 159:153-165.

ZADEH, L. A. 1975. The concept of linguistic variable and its applications to approximate reasoning. **Information Sciences**, 8:43–80.

ZADEH, L. 1965. **Fuzzy Sets - Information and Control**, 8:338-353.

5. CAPÍTULO I: Lógica fuzzy na seleção simultânea de descritores quantitativos e qualitativos de couve

Este artigo foi elaborado conforme normas do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal.

Resumo

A utilização de índices de seleção simultânea no melhoramento genético apresenta dificuldades em selecionar caracteres qualitativos, bem como na seleção de intervalos comerciais desejados. Nesse sentido, a lógica fuzzy torna-se uma alternativa, possibilitando a modelagem computacional da experiência do pesquisador. Diante do exposto, objetivou-se aplicar a lógica fuzzy na seleção simultânea, considerando descritores qualitativos e quantitativos e comparar sua eficiência com a metodologia de Mulamba e Mock. O delineamento foi em blocos ao acaso, com 24 famílias de meios-irmãos de couve, utilizando quatro repetições e cinco plantas por parcela. As características avaliadas foram separadas em qualitativas e quantitativas. Os valores genéticos individuais foram obtidos via REML/BLUP. Os ganhos genéticos foram obtidos pelo índice de Mulamba e Mock e pelos sistemas fuzzy desenvolvidos. Verificou-se predominância dos efeitos genéticos sobre os ambientais para o número de brotações, comprimento do pecíolo, número de folhas e comprimento da folha. O sistema FIM correlacionou-se em sentidos favoráveis com os sistemas FTC, PDF e QDF. Os ganhos de seleção obtidos pelo índice de Mulamba e Mock e os sistemas fuzzy foram semelhantes para os caracteres quantitativos, contudo o sistema FIM apresentou-se mais eficiente na seleção de caracteres qualitativos. A partir disso, a lógica fuzzy apresentou-se eficiente na seleção simultânea, fornecendo ganhos próximos aos obtidos pelo método de Mulamba e Mock. Porém permite adicionalmente a seleção de caracteres qualitativos, destacando-se como potencial ferramenta no melhoramento genético da couve.

PALAVRAS-CHAVE: Índices de Seleção. Mulamba Mock. Inteligência Computacional. *Brassica oleracea* L. var. *acephala*, DC.

5.1 INTRODUÇÃO

O uso de variedades obtidas, por meio do melhoramento genético, é considerado uma das mais importantes estratégias na agricultura moderna. As variedades melhoradas são mais produtivas, apresentam resistência a estresses bióticos e abióticos, maior qualidade nutracêutica e, conseqüentemente, menor impacto ambiental e custo de produção (FANG; XIONG, 2015; RINCKER *et al.*, 2014; HUANG *et al.*, 2016).

Nos programas de melhoramento genético, a obtenção de genótipos superiores se dá, essencialmente, por meio da seleção e, considerando múltiplos caracteres e diversos índices de seleção, podem ser aplicados, como o Índice Clássico ou Índice de Smith (1936) e Hazel (1943), o Índice Base, o Índice de Soma dos Postos, o Índice da soma das variáveis padronizadas (Índice Z). Dentre eles, destaca-se o índice de soma dos postos (AMARAL JÚNIOR *et al.*, 2010; ROSADO *et al.*, 2012; LUZ *et al.*, 2018) proposto por Mulamba e Mock (1978). Apesar de os aspectos positivos já relatados em diversos estudos, ainda são escassas as pesquisas relacionando o uso dos índices na seleção de caracteres qualitativos.

Possibilita apenas a seleção, para valores maiores ou menores, não sendo possível sua utilização para caracteres que necessitam estar em intervalo comercial desejado.

O melhoramento genético da couve (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*, DC.), olerícola de grande importância econômica e alimentar, em diversas regiões do mundo, visa à seleção de novas cultivares com indivíduos de altura entre 40 e 65 cm, comprimento do pecíolo entre 4 e 6 cm, diâmetro da haste entre 3 e 5 cm, comprimento do limbo foliar entre 15 e 25 cm e largura entre 12 e 22 cm. Outras características qualitativas também são essenciais nas novas cultivares, dentre as quais se destacam: formato e margem da folha e cor das nervuras e do pecíolo.

Considerando as restrições do índice da soma dos postos, proposto por Mulamba e Mock (1978), a utilização da inteligência computacional por meio da lógica fuzzy torna-se uma metodologia potencial, a qual permite trabalhar com dados quantitativos e qualitativos simultaneamente (PANG; BAI, 2013; CASILLAS *et al.*, 2013). Por meio desse modelo, é possível traduzir expressões verbais, geralmente imprecisas e provenientes de especialistas, em valores numéricos (PAPADOPOULOS *et al.*, 2011), tornando possível a automação computacional da classificação dos melhores genótipos.

Embora o uso da lógica fuzzy não seja frequente nas ciências agrárias, há várias pesquisas recentes, demonstrando sua aplicabilidade, como para a detecção e classificação de doenças foliares (RASTOGI *et al.*, 2015), controle automático de sistema de irrigação (MUSHTAQ *et al.*, 2016); no suporte, a fertilização nitrogenada (PAPADOPOULOS *et al.*, 2011), para a automação do estudo de adaptabilidade e estabilidade no estudo da interação genótipo por ambientes (CARNEIRO *et al.*, 2019), dentre outros.

Logo, objetivou-se aplicar a lógica fuzzy na seleção simultânea, considerando descritores qualitativos e quantitativos e, além disso, comparar sua eficiência com a metodologia de Mulamba e Mock, utilizando 24 progênies de meios-irmãos de couve.

5.2 MATERIAIS E MÉTODOS

5.2.1. Instalação e avaliação do experimento em campo

O experimento foi conduzido entre 26/01/2013 a 09/11/2013, na horta de pesquisa da Universidade Federal de Viçosa (UFV) – Horta Velha, em Viçosa, MG (20°45'26"S; 42°52'29"W; 648,74 m de altitude). O clima regional é classificado por Köppen como clima subtropical de inverno seco e verão quente e chuvoso (Cwa), com temperatura média máxima e mínima anual registrada de 26,4 e 14,8°C, respectivamente e precipitação média anual de 1.221,4 mm.

Foram avaliadas 24 progênies de meios-irmãos de couve, provenientes do banco de germoplasma da UFVJM (Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri), dispostas em delineamento em blocos casualizados com quatro repetições e cinco plantas por parcela. A semeadura foi realizada, no dia 26/01/2013, em bandejas de isopor, contendo 128 células, acondicionadas em ambiente protegido, sob sombrite com 50% de insolação, realizando-se irrigações diárias.

No dia 26/03/2013, as mudas foram transplantadas para canteiros com largura aproximada de 2,50 m e 0,30 m de altura, utilizando-se espaçamento de 1,00 x 0,50 m. Entre os dias 13/04/2013 e 09/11/2013, foram realizadas colheitas de 14 em 14 dias, totalizando 15 avaliações. Foram avaliados em cinco plantas por parcela: o número de brotações (quando foram removidas), número de folhas e matéria

fresca de folhas comercializáveis, sendo consideradas como comercializáveis as folhas completamente expandidas com comprimento do limbo foliar maior que 15 cm e sem sinais de senescência (AZEVEDO *et al.*, 2017). Para o número de folhas, número de brotações e matéria fresca de folhas, considerou-se o valor total por planta obtido, em todas as colheitas, para a análise estatística. A altura das plantas foi avaliada, medindo-as do nível do solo até a extremidade da folha mais alta, enquanto o diâmetro do caule foi medido com paquímetro na metade da altura da planta (AZEVEDO *et al.*, 2017).

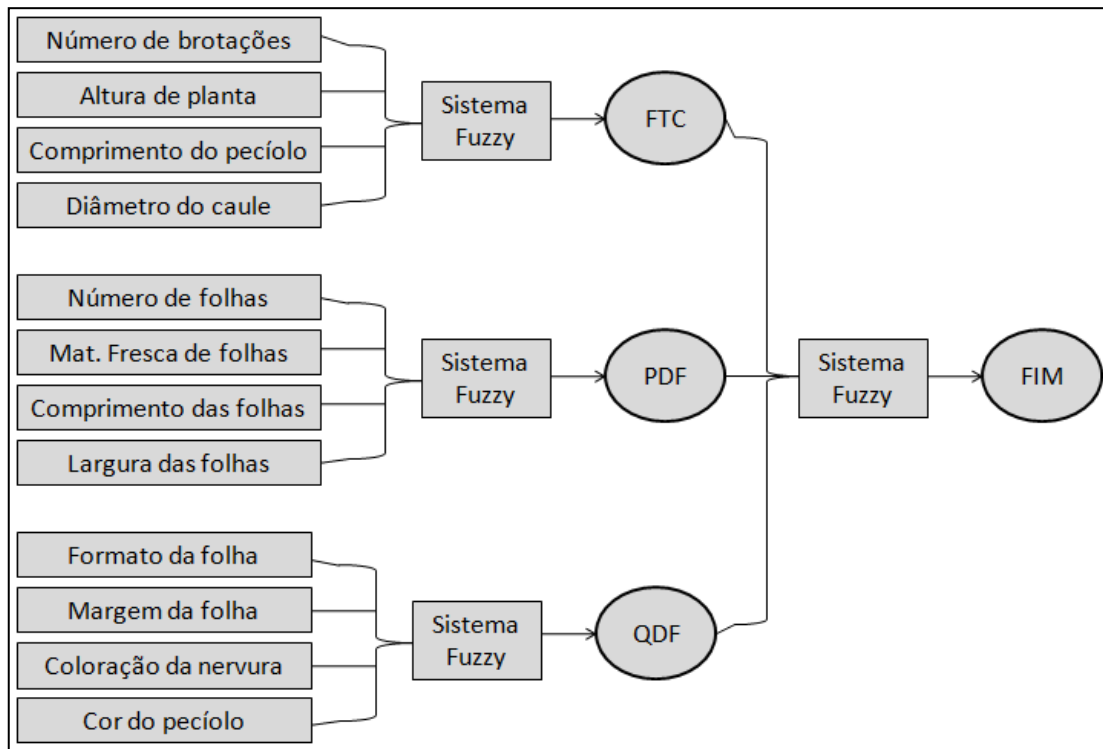
Na 5ª folha expandida mais nova de cada planta foram avaliados o comprimento e a largura do limbo foliar (medido com régua graduada em centímetros) e o comprimento do pecíolo (medido com régua graduada em centímetros, a partir de sua inserção no caule até o início do limbo foliar). A 5ª folha expandida mais nova foi escolhida, para fins de padronização na avaliação, pois esta folha sempre apresenta grau de desenvolvimento similar na maioria dos genótipos.

Também foram avaliadas por escala de notas, proposta pelo International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR, 1990), as características: formato do limbo foliar (1-orbicular, 2-elíptico, 3-oval oblongo, 4-espatulado, 5-oval, 6-lanceolado e 7- oblongo), margem foliar (0- para margem inteira, 1- crenada, 2- margens dentadas, 3-margens serradas, 4- onduladas, 5-dupla dentada e 6- margens que não se enquadram nas classes citadas), coloração do pecíolo e coloração da nervura principal (1-branca, 2-branco esverdeado,3-verde, 4-roxo, 5- vermelho e 6- outros).

5.2.2 Configuração e uso da lógica Fuzzy

Em razão do grande número de descritores considerados, para o melhoramento genético da couve, a fim de diminuir a complexidade do sistema Fuzzy, foram criados três sistemas. O primeiro denominado de FTC (facilidade de tratamentos culturais) considera o número de brotações, altura de plantas, comprimento do pecíolo e diâmetro do caule. O segundo chamado de PDF (associado à produção de folhas) considerou os descritores número de folhas, matéria fresca de folhas, comprimento de folhas e diâmetro do caule. Já o terceiro sistema foi denominado QDF (associado à qualidade da folha), considerando as características formato das folhas, margem da folha, coloração da nervura e cor do pecíolo. Posteriormente, a saída destes três sistemas fuzzy foram utilizadas como entradas de um sistema denominado de FIM (FIGURA 1), o qual possibilita a obtenção de um escore geral para as plantas.

Figura 1 - Esquema de sistemas de inferência fuzzy utilizados como índices de seleção quanto à facilidade de tratos culturais (FTC), produção de folhas (PDF), qualidade de folhas (QDF) e para todos os critérios simultaneamente (FIM) em 24 progênies de meios irmãos de couve.



Fonte: Da autora, 2019.

Na etapa de fuzzyficação, para todas as características, foram utilizadas funções de pertinência do tipo trapezoidal (Equação 1):

$$\text{trapmf}(x; a, b, c, d) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-c}\right), 0\right) \quad (1)$$

sendo seus parâmetros (a, b, c e d) arbitrados de acordo com o ideótipo da couve. Já para os descritores qualitativos e para as saídas dos sistemas FTC, PDF e QDF, foram utilizadas funções triangulares (Equação 2):

$$\text{trimf}(x; a, b, c) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}\right), 0\right) \quad (2)$$

Os parâmetros do modelo foram especificados, de acordo com cada característica, como pode ser visto nas funções de pertinência utilizadas (Apêndice A). Parâmetros (a, b, c, d), para as características quantitativas dos sistemas FTC e PDF e (a, b, c) para as características de entrada do sistema QDF e saídas dos sistemas FTC, PDF e QDF e entrada FIM (TABELA 1).

Tabela 1: Parâmetros arbitrados nas funções de pertinência, para os caracteres de entrada dos sistemas relacionados à facilidade de tratos culturais (FTC), produtividade de folhas (PDF) e qualidade de folhas (QDF) e para as saídas dos sistemas FTC, PDF e QDF e entrada FIM.

Entradas FTC			
NB	ALT (cm)	CP (cm)	DC (mm)
Ótimo: a=0, b= 0, c=30, d= 45	Baixo: a=0, b=0, c=20, d=35	Pequeno: a=0, b=0, c=3, d=4	Fino: a=0, b=0, c=2, d=3
Médio: a=30, b=45, c=75, d=90	Ótimo: a=20, b=40, c=65, d=80	Ótimo: a=3, b=4, c=6, d=7	Ótimo: a=2, b=3, c=4, d=5
Ruim: a=75, b=90, c=125, d= 125	Ruim: a=70, b=90, c=175, d= 175	Comprido: a=6, b=8, c=35, d=35	Grosso: a=4, b=5, c=8, d=8
Entradas PDF			
NF	MFF (g)	CF (cm)	LF (cm)
Ruim: a=0, b= 0, c=60, d= 80	Ruim: a=0, b= 0, c=2, d=4	Ruim 1: a=0, b=0, c=10, d=13	Ruim 1: a=0, b=0, c=3, d=10
Médio: a=75, b=85, c=100, d=115	Médio: a=2, b=4, c=6, d=8	Médio: a=10, b=15, c=25, d=30	Médio: a=7, b=12, c=22, d=27
Ótimo: a=110, b=120, c=155, d= 155	Ótimo: a=6, b=7, c=10, d= 10	Ruim 2: a=28, b=31, c=53, d=53	Ruim 2: a=26, b=29, c=47, d=47
Entradas QDF			
FF	MF	CorN	CorP
n1: a=0, b=1, c=2	n1: a=0, b=1, c=2	n1: a=0, b=1, c=2	n1: a=0, b=1, c=2
n2: a=1, b=2, c=3	n2: a=1, b=2, c=3	n2: a=1, b=2, c=3	n2: a=1, b=2, c=3
n3: a=2, b=3, c=4	n3: a=2, b=3, c=4	n3: a=2, b=3, c=4	n3: a=2, b=3, c=4
n4: a=3, b=4, c=5	n4: a=3, b=4, c=5	n4: a=3, b=4, c=5	n4: a=3, b=4, c=5
n5: a=4, b=5, c=6	n5: a=4, b=5, c=6	n5: a=4, b=5, c=6	n5: a=4, b=5, c=6
n6: a=5, b=6, c=7	-	-	-
n7: a=6, b=7, c=8	-	-	-
Saídas FTC, PDF e QDF/Entada FIM			
FTC	PDF	QDF	
Muito ruim: a=0, b=1, c=2	Muito ruim: a=0, b=1, c=2	Muito ruim: a=0, b=1, c=2	
Ruim: a=1, b=2, c=3	Ruim: a=1, b=2, c=3	Ruim: a=1, b=2, c=3	
Médio: a=2, b=3, c=4	Médio: a=2, b=3, c=4	Médio: a=2, b=3, c=4	
Bom: a=3, b=4, c=5	Bom: a=3, b=4, c=5	Bom: a=3, b=4, c=5	
Muito bom: a=4, b=5, c=6	Muito bom: a=4, b=5, c=6	Muito bom: a=4, b=5, c=6	

Nota: NB, número de brotações; ALT, altura de plantas; CP, comprimento do pecíolo; DC, diâmetro do caule; NF, número de folhas; MFF, massa fresca de folhas; CF, comprimento da folha; LF, largura da folha; FF, formato de folhas; MF, margem de folha; CorN, cor da nervura; CorP, cor do pecíolo.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Na etapa de inferência, ao relacionar as variáveis linguísticas de entrada com os escores da variável de saída de cada sistema, foram geradas 125 regras para o FIM, 81 para o FTC, 81 para o PDF e 625 para o QDF, utilizando o conectivo “e” (Apêndice B). Foi utilizada a metodologia de “Mamdani min”. Para a defuzzificação, foi utilizado o método centroide. Desta forma, para cada um dos sistemas fuzzy foram obtidos escores que indicam a predileção de cada genótipo, com valores variando de 1 a 5, sendo estes critérios utilizados para a seleção. Os sistemas de lógica fuzzy foram configurados e utilizados com o auxílio do pacote *FuzzyToolkitUoN* do software R (R CORE TEAM, 2016).

5.2.2.1. Estimativa dos ganhos de seleção individuais e simultâneo

Para a análise estatística dos descritores quantitativos e dos escores obtidos pelos quatro sistemas fuzzy (utilizando os dados fenotípicos), foi utilizado o modelo $y = Xr + Za + Wp + e$, em que: y é o vetor de dados, em que $y \sim N(Xr, V)$, $V = ZA\sigma_a^2 Z' + Wl\sigma_c^2 W' + l\sigma_e^2$, σ_a^2 é a variância genética aditiva, σ_c^2 é a variância ambiental entre parcelas e σ_e^2 é a variância residual; r é o vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados à média geral; a é o vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (aleatórios), sendo $a \sim N(0, A\sigma_a^2)$; p é o vetor dos efeitos de parcelas (aleatórios), em que $p \sim N(0, l\sigma_p^2)$; e e é o vetor de erros (aleatórios), sendo $e \sim N(0, l\sigma_e^2)$. As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos. A partir deste modelo, foram estimados os componentes de variância e preditos os valores genéticos pela metodologia REML-BLUP com o auxílio do pacote *sommer* do software R (R CORE TEAM, 2016).

Posteriormente, com os valores genéticos de cada característica, foram estimados os ganhos direto e indireto esperados com a seleção das melhores progênies (índice de seleção de 15%). A partir dos valores genéticos, foram obtidos para cada planta seu posto (rank), para todas as características e, posteriormente, foi estimada a soma desses postos, os quais foram utilizados como índice para a seleção simultânea (índice de Mulamba Mock). Os valores genéticos obtidos, a partir dos escores dos quatro sistemas Fuzzy, também, foram utilizados como critério para a seleção simultânea.

Para analisar a influência dos índices utilizados, em cada uma das variáveis estudadas, foi estimada a correlação de Pearson, com auxílio da função *cor.test* no software R.

5.3 RESULTADOS

Foi encontrada maior variabilidade genética, para as características número de brotações (NB) e comprimento do pecíolo (CP), com CVg (coeficiente de variação genético) de 33,55% e 21,10%, respectivamente. Já a altura de plantas (ALT) apresentou menor variabilidade genética (1,85%). Para as demais características, o CVg variou entre 4,82%, para o diâmetro do caule (DC) e 12,02% para a matéria fresca por folha (MFF) (TABELA 2).

Foram obtidas baixas estimativas do coeficiente de variação residual (CVe), para todas as características, com estimativas inferiores a 8,98%. Ao considerar o coeficiente de variação relativo (CVr), foram obtidos valores maiores que 1 para o número de brotações (2,90), comprimento do pecíolo (2,55), número de folhas (1,46) e comprimento das folhas (1,38). Para as demais características, esse índice foi inferior à unidade (TABELA 2). Os maiores valores de herdabilidade foram obtidos para as características

número de brotações (NB) e para o comprimento do pecíolo (CP). Já a altura apresentou menor herdabilidade (0,01). Para as demais descritores, esses valores foram inferiores a 0,37 (TABELA 2).

Tabela 2 - Estimativa de componentes de variância e parâmetros genéticos de oito descritores em 24 progênies de meios-irmãos de couve obtidos pela metodologia REML-BLUP.

Parâmetros	NB	ALT	CP	DC	NF	MFF	CF	LF
Va	390,72	2,62	10,39	0,02	55,32	0,37	11,42	8,12
Vparc	4,43	41,18	0,17	0,01	2,49	0,07	1,14	1,41
Ve	195,69	323,61	9,27	0,20	262,24	1,66	18,40	17,46
Vf	590,84	367,41	19,83	0,24	320,06	2,10	30,96	26,98
h ² a	0,66	0,01	0,52	0,10	0,17	0,18	0,37	0,30
CVg%	33,55	1,85	21,10	4,82	10,87	12,02	10,26	9,79
CVe%	5,78	8,98	4,13	3,47	3,72	6,24	3,71	5,84
CVr	2,90	0,10	2,55	0,70	1,46	0,96	1,38	0,84

Nota: NB, número de brotações; ALT, altura de plantas; CP, comprimento do pecíolo; DC, diâmetro do caule; NF, número de folhas; MFF, massa fresca de folhas; CF, comprimento da folha; LF, largura da folha. Va, variância genética aditiva; Vparc, variância das parcelas; Ve, variância ambiental entre as parcelas; Vf, variância fenotípica; h²a, herdabilidade; CVg, coeficiente de variação genotípico; CVe, coeficiente de variação residual; CVr, Relação entre o coeficiente de variação genotípico e o coeficiente de variação residual.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Ao correlacionar os sistemas fuzzy, foram obtidas baixas correlações entre o FTC, PDF e o QDF, com estimativas inferiores a 0,26. Já o sistema FIM teve maiores correlações com os demais (0,68, 0,59 e 0,58), respectivamente (TABELA 3).

Foram obtidas correlações negativas, para as características comprimento de folhas (CF) e largura da folha (LF) e correlações positivas, para o número de folhas (NF) e massa fresca de folhas (MFF), com os sistemas FTC, PDF e FIM, apresentando maiores correlações com o sistema PDF (Tabela 3). Para o diâmetro do caule, foram encontradas correlações positivas com todos os sistemas, sendo observada maior estimativa com o sistema FIM (0,21). Ao comparar as correlações do sistema QDF com as características quantitativas, foram obtidos valores baixos (TABELA 3).

Tabela 3 - Estimativas da correlação de Pearson entre descritores agrônômicos em 24 progênies de meios-irmãos de couve e a saída (score) de quatro sistemas de inferência fuzzy, FTC (facilidade de tratos culturais), PDF (produtividade de folhas), QDF (qualidade de folhas) e FIM (todos os critérios simultaneamente).

Variáveis	FTC	PDF	QDF	FIM
FTC	1,00	0,26	0,13	0,68
PDF	0,26	1,00	-0,01	0,59
QDF	0,13	-0,01	1,00	0,58
FIM	0,68	0,59	0,58	1,00
NB	-0,78	-0,06	-0,06	-0,51
ALT	-0,34	-0,06	-0,06	-0,26
CP	-0,40	-0,21	-0,02	-0,37
DC	0,13	0,08	0,12	0,21
NF	0,18	0,72	-0,29	0,35
MFF	0,19	0,35	-0,12	0,25
CF	-0,23	-0,56	0,04	-0,39
LF	-0,23	-0,55	0,13	-0,35

Nota: NB, número de brotações; ALT, altura de plantas; CP, comprimento do pecíolo; DC, diâmetro da haste; NF, número de folhas; MFF, massa fresca de folhas; CF, comprimento da folha; LF, largura da folha. Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

As estimativas de ganho esperado com a seleção direta, para o número de brotações, foram as que apresentaram maior magnitude (-47,87%) (TABELA 4). Porém a seleção para esta característica possibilita ganhos indiretos estimados, em sentido desfavorável para o diâmetro do caule (-7.15%), número de folhas (-7.61%) e matéria fresca de folhas (-15.90%).

Para a massa fresca de folhas, os ganhos de seleção apresentaram-se favoráveis ao melhoramento genético para esta população, visto que proporciona aumento na produtividade, apresentando incremento direto na massa fresca (8,70%) e aumento indireto no número de folhas (6,24%). Além disso, possibilita um decréscimo indireto na altura da planta (-2,07%) (TABELA 4).

Dentre os caracteres avaliados, a altura de plantas apresentou menor ganho de seleção direto (-0,26%), além de ganhos indiretos e simultâneos próximos a zero, para todas as características, para o índice de Mulamba e Mock os quatro sistemas fuzzy desenvolvidos (TABELA 4).

A seleção de plantas pelo sistema FTC possibilitou maiores estimativas de ganho de seleção, para o número de brotações (-41,54%), seguido do comprimento do pecíolo (-14.99%). Para a seleção baseada no PDF, ocorreu estimativa favorável de ganho, para os caracteres relacionados à produtividade, com aumento no número de folhas (5.38%), na massa fresca de folhas (1,73%) e redução no comprimento do pecíolo (-8.79%), comprimento da folha (-7.10%) e largura da folha (-6.13%). Já o sistema QDF proporcionou baixo ganho de seleção para as características quantitativas (TABELA 4).

Tabela 4 - Estimativas do ganho esperado (%) com a seleção direta (representado na diagonal principal), indireta (valores contidos acima e abaixo da diagonal principal) e simultânea (segunda parte da tabela), por meio do índice de Mulamba Mock (MM) e de quatro sistemas de inferência fuzzy, indicando o ganho de seleção do sistema FTC (GSftc), o ganho de seleção do sistema PDF (GSpdf), ganho de seleção do sistema QDF(GSqdf) e o ganho de seleção do sistema FIM (GSfim).

Variáveis	NB	ALT	CP	DC	NF	MFF	CF	LF
NB	-47,87	-1,46	-15,59	-7,15	-7,61	-15,90	2,74	0,46
ALT	-0,03	-0,26	-0,02	-0,04	-0,02	0,00	-0,07	-0,05
CP	-11,44	-2,24	-23,07	-2,82	-3,47	1,57	-9,20	-9,99
DC	0,91	-0,26	0,08	3,06	0,84	1,51	-0,76	-0,63
NF	3,41	0,12	0,67	3,49	9,63	6,25	2,45	3,42
MFF	3,89	-2,07	-0,64	5,98	6,24	8,70	-1,59	-1,08
CF	-1,67	-3,37	-3,79	-1,52	-4,34	-0,58	-10,24	-7,02
LF	-2,91	-2,35	-4,24	-1,06	-3,86	0,02	-6,79	-9,24
MM	-30,96	-0,06	-13,33	1,62	5,96	5,81	-4,41	-4,22
GSftc	-41,54	-0,04	-14,99	0,97	3,63	3,72	-3,14	-2,63
GSpdf	-3,43	-0,01	-8,79	0,07	5,38	1,73	-7,10	-6,13
GSqdf	1,91	-0,01	-0,75	-0,50	-2,50	-2,38	-0,88	0,98
GSfim	-29,11	-0,05	-13,59	0,63	5,26	5,28	-5,33	-5,04

Nota: NB, número de brotações; ALT, altura de plantas; CP, comprimento do pecíolo; DC, diâmetro da haste; NF, número de folhas; MFF, massa fresca de folhas; CF, comprimento da folha; LF, largura da folha. Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Para o Índice de Mulamba e Mock (MM), tradicionalmente utilizado para a seleção simultânea, foram obtidas estimativas de ganhos semelhantes aos do sistema fuzzy FIM (TABELA 4). Porém a seleção baseada no método MM reduziu a frequência de plantas com a cor do pecíolo desejável (TABELA 5). Os sistemas FTC e PDF, que não consideraram caracteres qualitativos em sua configuração, apresentaram resultados inferiores aos do sistema FIM para todas as características analisadas (TABELA 5). Todavia o sistema QDF, destinado à qualidade das folhas, selecionou plantas com maior frequência dos caracteres qualitativos desejáveis. O sistema FIM apresentou menor desempenho, quando comparado ao QDF para os caracteres qualitativos, no entanto seus resultados foram mais favoráveis a esses caracteres que os obtidos pela metodologia MM nesta população (TABELA 5).

Tabela 5 - Frequência (%) de plantas com características desejadas, para o formato de folhas (FF), margem de folha (MF), cor da nervura (CorN) e cor do pecíolo (CorP), considerando a população original (sem seleção) e os índices obtidos pela metodologia de Mulamba Mock (MM) e sistemas de inferência Fuzzy.

Estratégias	FF (1,2 e 3)	MF (1 e 2)	CorN (2 e3)	CorP (2 e 3)
Sem seleção	98,07	63,74	44,51	55,49
MM	100,00	89,09	47,27	49,09
FTC	96,74	77,17	54,35	60,87
PDF	98,70	71,43	41,55	48,05
QDF	100,00	93,38	74,26	81,62
FIM	100,00	92,86	60,71	73,21

Nota: FTC, facilidade de tratos culturais; PDF, produtividade de folhas; QDF, qualidade de folhas; FIM, todos os critérios simultaneamente.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

5.4 DISCUSSÃO

Para o melhoramento genético de plantas, é necessário selecionar indivíduos melhores que os pré-existentes para as múltiplas características simultaneamente. Há diversas metodologias para esse fim, porém a seleção simultânea ainda é um desafio no melhoramento genético, porque dificulta situações, quando se desejam um intervalo comercial desejado e caracteres qualitativos pré-definidos. Logo a lógica fuzzy é uma alternativa potencial, modelando a experiência do melhorista e permitindo a automação da tomada de decisões (PAPADOPOULOS et al., 2011; MARDANI et al., 2015). Ela se caracteriza por lidar com valores aproximados, em vez de fixos e exatos, operando com um conceito de verdade parcial, adotando graus de verdade que variam entre 0 e 1. Os valores mais próximos de 1 caracterizam-se por serem completamente verdadeiros e os mais próximos de 0 completamente falsos (ANAND et al., 2015; ZADEH, 1988). Outra vantagem da lógica fuzzy é a possibilidade de trabalhar com várias características simultaneamente, por meio da compilação de várias entradas para gerar as saídas.

As altas estimativas do coeficiente de variação genotípica, para a maioria das características, evidenciam a possibilidade de sucesso com o melhoramento genético da população em estudo, especialmente, para as características de número de brotações e comprimento do pecíolo, que apresentaram coeficiente de variação relativo superior à unidade e estimativas de herdabilidade de média à alta (TABELA 2). A altura de plantas apresentou a menor variabilidade genética, maior variabilidade ambiental e, conseqüentemente, menor estimativa de herdabilidade e do coeficiente de variação relativo. As características diâmetro do caule, massa fresca de folhas e largura da folha também apresentaram predominância dos efeitos ambientais sobre os genotípicos (TABELA 2).

Estimativas de herdabilidade de média à alta foram obtidas por Azevedo *et al.* (2017), ao avaliar 22 genótipos de couve. As maiores estimativas foram obtidas para o número de folhas e a massa fresca de folhas, e a menor estimativa obtida para a altura de plantas. Contudo os valores de herdabilidade obtidos pelos autores ainda se apresentaram superiores aos obtidos na população de estudo, podendo estar associados às características genotípicas distintas entre as populações analisadas e diferenças no delineamento utilizado.

Correlações positivas e negativas foram observadas entre as características avaliadas e os quatro sistemas fuzzy desenvolvidos. O sistema FIM apresentou as maiores estimativas de correlação (TABELA 3), ao demonstrar que o sistema FIM reuniu eficientemente os descritores contemplados nos sistemas FTC, PDF e QDF. Esse fato evidencia a viabilidade de uso na seleção simultânea de caracteres nessa população. Foi possível observar baixa correlação dos escores do sistema QDF com os atributos de produtividade (TABELA 3). Tal fato justifica-se pela baixa associação das características que compõem o QDF (formato do limbo foliar, margem foliar, cor do pecíolo e da nervura principal) com as variáveis quantitativas avaliadas.

Dentre as características avaliadas, o diâmetro do caule apresentou correlações positivas com todos os sistemas, seguido do número de folhas que apresentou valores de correlação positivos com três dos quatro sistemas.

O melhoramento genético da couve busca aumentar a produtividade por área e facilitar os tratos culturais, resultando em maior rentabilidade para a cultura (AZEVEDO *et al.*, 2017). Para isso, é necessário selecionar genótipos com menor número de brotações, menor altura, maior número de folhas e maior diâmetro do caule, reduzindo, assim, a necessidade de tutoramento e a perda de plantas por tombamento. Essas características associaram-se, favoravelmente, aos escores do sistema FIM (TABELA 3), que indica sua eficiência na seleção de progênies. A eficiência da lógica fuzzy foi constatada na recomendação de linhagens de cultivares de feijão, baseando-se na adaptabilidade e estabilidade (CARNEIRO *et al.*, 2018); no suporte, a tomada de decisões quanto à adubação nitrogenada, permitiu uma integração entre solo, clima e condições agrícolas, a fim de fornecer informações para as recomendações de aplicação de nitrogênio no solo (PAPADOPOULOS *et al.*, 2011), dentre outros estudos das ciências agrárias.

Entre todos os descritores analisados, o número de brotações possibilitou o maior ganho de seleção direto e simultâneo pelo índice de Mulamba e Mock, sistemas Fuzzy FTC e FIM (TABELA 4). A redução no número de brotações foi vantajosa, para a produção de couve, pois proporcionou menor custo com tratos culturais (AZEVEDO *et al.*, 2017). Em contrapartida, a altura de plantas foi o descritor que possibilitou menores ganhos de seleção direta, indireta e simultânea, para todos os caracteres e metodologias testadas, indicando que a seleção, baseada nessa característica, pode não trazer ganhos significativos à população de couve trabalhada.

A seleção baseada na massa fresca de folhas apresenta-se vantajosa para o melhoramento genético nesta população, já que permite um aumento na produtividade, pelo incremento direto na massa fresca de folhas e indireto no número de folhas. Além disso, proporciona a redução desejada, para a altura de plantas, comprimento do pecíolo, comprimento e largura da folha.

Os ganhos de seleção obtidos pelo sistema QDF foram baixos para todas as características quantitativas analisadas, em decorrência das características distintas do sistema, já que este foi desenvolvido para descritores qualitativos. Já os ganhos de seleção obtidos pelo índice de Mulamba e Mock apresentaram semelhanças com os obtidos pelo sistema FIM para os caracteres quantitativos. Ao comparar os índices de seleção, utilizados no melhoramento genético, o de Mulamba e Mock vem se mostrando altamente eficiente na seleção de genótipos. Em estudos que avaliam a seleção genética, para uso ornamental de pimenta, foi obtida maior eficiência do índice de Mulamba e Mock se comparado com

os índices de seleção de Smith e Hazel, Pesek e Baker e Williams (LUZ *et al.*,2018). Já para a seleção de híbridos de milho para silagem, o índice de MM se mostrou mais adequado (CREVELARI *et al.*,2018).

Para os parâmetros qualitativos, deseja-se a obtenção de plantas com formato do limbo foliar orbicular (1), elíptico (2) ou oval oblongo (3); com margem foliar crenada (1) ou margens dentadas (2). Já para coloração da nervura principal e do pecíolo, desejam-se folhas branco-esverdeadas (2) ou verde (3). Para a seleção dessas características, os sistemas QDF e FIM apresentaram-se superiores ao índice de Mulamba e Mock e os sistemas FTC e PDF (TABELA 5). Por meio dessa compilação eficiente entre caracteres quantitativos e qualitativos, ressalta-se a eficiência do sistema fuzzy FIM, na seleção simultânea de descritores, para o melhoramento genético desta população.

Embora o índice de Mulamba e Mock tenha confirmado sua eficiência, para os caracteres quantitativos, no presente estudo, ele não permite uma análise simultânea de dados com características distintas sem perdas significativas na seleção. Nessa lógica, ressalta-se o uso da lógica fuzzy, pois se comparada as demais às técnicas tradicionais, tem como vantagem a possibilidade de trabalhar com processos não lineares e complexos (PETROPOULOS *et al.*,2017), sendo capaz de adaptar-se a situações adversas pela automação computacional do conhecimento especializado, tornando possível a tomada de decisões considerando a subjetividade humana.

Outra característica relevante dos algoritmos fuzzy é seu caráter multidisciplinar que permite a análise de dados quantitativos e qualitativos simultaneamente (LEE, 1990; PANG; BAI, 2013; CASILLAS *et al.*, 2013), fato que pode explicar os resultados satisfatórios obtidos pelos sistemas fuzzy separadamente (FTC, PDF e QDF), bem como pela compilação dos dados em um único sistema FIM em todas as análises realizadas. Além disso, esse sistema permite a interação e adequação de dados pelos especialistas, proporcionando resposta, em menor espaço de tempo, se comparado com outras metodologias (MUSHTAQ *et al.*, 2016). Permite aos melhoristas moldar os intervalos comerciais desejados a cada característica e selecionar famílias de meios-irmãos de couve com maior eficiência e menor tempo de seleção, se comparado com os índices de seleção.

5.5 CONCLUSÃO

Embora o sistema FIM tenha proporcionado ganhos de seleção, para os caracteres quantitativos próximos aos obtidos pelo método de Mulamba e Mock, este sistema proporcionou também a seleção de plantas com caracteres qualitativos desejados. Logo o sistema fuzzy desenvolvido apresentou-se eficiente, para a seleção simultânea de caracteres qualitativos e quantitativos, além de possibilitar seleção para intervalos pré-definidos comercialmente à população estudada. Demonstra ser uma ferramenta útil para o melhoramento genético da couve.

5.6 AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico (CNPQ) e a Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG).

5.7 REFERÊNCIAS

- AMARAL JÚNIOR, A. T.; FREITAS JÚNIOR, S.P.; RANGEL, R.M.; PENA, G.F.; RIBEIRO, R.M.; MORAIS, R.C.; SCHUELTER, A.R. 2010. Improvement of a popcorn population using selection indexes from a fourth cycle of recurrent selection program carried out in two different environments. **Genetics and Molecular Research**, 9 (1): 340-347. DOI: 10.4238/vol9-1gmr702.
- ANAND, K.; JAYAKUMAR, C.; MUTHU, M.; AMIRNENI, S. 2015. Automatic Drip Irrigation System Using Fuzzy Logic And Mobile Technology. **IEEE International Conference on Technological Innovations in ICT for Agriculture and Rural Development (TIAR)**.
- AZEVEDO, A.M.; ANDRADE JÚNIOR, V.C.D.; SANTOS, A.A.D.; SOUSA JÚNIOR, A.S.D.; OLIVEIRA, A.J.M.; FERREIRA, M.A.M. 2017. Population parameters and selection of kale genotypes using Bayesian inference in a multi-trait linear model. **Acta Scientiarum. Agronomy**. 39:25-31. DOI: 10.4025/actasciagron.v39i1.30856.
- CARNEIRO A.R.T; SANGLARD D.A.; AZEVEDO A.M.; SOUZA T.L.P.O.; PEREIRA H.S.; MELO L.C.2019. Fuzzy logic in automation for interpretation of adaptability and stability in plant breeding studies. **Scientia Agricola**. 76(2): 123-129. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992x-2017-0207>.
- CASILLAS, J.; CORDÓN, O.; TRIGUERO, F.H.; MAGDALENA, L. 2013. **Interpretability issues in fuzzy modeling** (Vol. 128). Springer.
- CREVELARI, J.A.; DURÃES, N.N.L.; BENDIA, L.C.R.; DA SILVA, A.J.; AZEVEDO, F.H.V.; AZEREDO, V.C.; PEREIRA, M.G. 2018. Assessment of agronomic performance and prediction of genetic gains through selection indices in silage corn. **Australian Journal of Crop Science**. 12(5): 800. DOI: 10.21475/ajcs.18.12.05.PNE1004
- FANG, Y.; XIONG, L.2015. General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. **Cellular and Molecular Life Sciences**. 72: 673–689. DOI 10.1007/s00018-014-1767-0
- GIUSTI, E.; MARSILI-LIBELLI, S. 2015. A Fuzzy Decision Support System for irrigation and water conservation in agriculture. **Environmental Modelling & Software** 63: 73-86. DOI: 10.1016/j.envsoft.2014.09.020.
- HUANG, S.; WEIGEL, D.; BEACHY, R.N.; LI, J. 2016. A proposed regulatory framework for genome-edited crops. **Nature Genetics**. 48 (2).
- IBPGR.1990. Descriptors for Brassica and Raphanus. Rome: **International Board for Plant Genetic Resources**. 1990. 58p.
- JAFARI, S.M.; GANJE, M.; DEHNAD, D.; GHANBARI, V. 2015. Mathematical, fuzzy logic and artificial neural network modeling techniques to predict drying kinetics of onion. **Journal of Food Processing and Preservation**. 40. Doi:10.1111/jfpp.12610.
- LEE C.C.1990. Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller. **I. IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics**. 20(2):404-418. DOI: 10.1109/21.52551.
- LUZ, P.B.; SANTOS, A.A.B.; AMBROSIO, V.C.; NEVES, L.G.; TAVARES, A.R. 2018. Selection of indexes to evaluate the genetic variability aiming ornamental use of peppers accessions. **Ornamental Horticulture**. DOI: 10.14295/oh.v24i1.1109.
- MARDANI, A.; JUSOH, A.; ZAVADSKAS, E.K. 2015. Fuzzy multiple criteria decision-making techniques and applications—Two decades review from 1994 to 2014. **Expert Systems with Applications**, 42(8): 4126-4148. DOI: 10.1016/j.eswa.2015.01.003
- MST. TUHINA-KHATUN; HANAFI, M.M.; YUSOP, M.R.; WONG, M.Y.; SALLEH, F.M.; FERDOUS, J. 2015. Genetic Variation, Heritability, and Diversity Analysis of Upland Rice (*Oryza sativa* L.) Genotypes Based on Quantitative Traits. **BioMed Research International**. DOI: 10.1155/2015/290861.

MUSHTAQ, Z.; SANI, S.S.; HAMED, K.; ALI, A.; ALI, A.; BELAL, S.M.; NAQVI, A.A. 2016. Automatic Agricultural Land Irrigation System By Fuzzy Logic. **3rd International Conference on Information Science and Control Engineering**. DOI:10.1109/ICISCE.2016.190.

PANG, B.; BAI, S. 2013. An integrated fuzzy synthetic evaluation approach for supplier selection based on analytic network process. **Journal of Intelligent Manufacturing**. 24(1),163–174. DOI 10.1007/s10845-011-0551-3.

PAPADOPOULOS, A.; KALIVAS, D.; HATZICHRISTOS, T. 2011. Decision support system for nitrogen fertilization using fuzzy theory. **Computers and Electronics in Agriculture**, 78: 130–139. DOI: 10.1016/j.compag.2011.06.007.

PETROPOULOS, S.; KARAVAS, C.S.; BALAFOUTIS, A.T.; PARASKEVOPOULOS, I.; KALLITHRAKA, S.; KOTSERIDIS, Y. 2017. Fuzzy logic tool for wine quality classification. **Computers and Electronics in Agriculture**.142: 552-562. DOI: 10.1016/j.compag.2017.11.015.

R CORE TEAM, 2016. R: Uma Linguagem e Ambiente para Computação Estatística. **R Fundação para Computação Estatística, Viena, Áustria**. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/FuzzyToolkitUoN/index.html>. Citado em 19 de abril de 2018.

RASTOGI, A.; ARORA, R.; SHARMA, S. 2015. Leaf Disease Detection and Grading using Computer Vision Technology &Fuzzy Logic. **2nd International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN)**.

RINCKER, K.; NELSON, R.; SPECHT, J.; SLEPER, D.; CARY, T.; CIANZIO, S.R.; CASTEEL, S.; CONLEY, S.; CHEN, P.; DAVIS, V.; FOX, C.; GRAEF, G.; GODSEY, C.; HOLSHOUSER, D.; JIANG, G.L.; KANTARTZI, S.K.; KENWORTHY, W.; LEE, C.; MIAN, R.; MCHALE, L.; NAEVE, S.; ORF, J.; POYSA, V.; SCHAPPAUGH, W.; SHANNON, G.; UNIATOWSKI, R.; WANG, D.; DIERS, B.2014. Genetic Improvement of U.S. Soybean in Maturity Groups II, III, and IV. **Crop Science**. 54:1419–1432. DOI: 10.2135/cropsci2013.10.0665.

ROSADO, L.D.S.; SANTOS, C.E.M.; BRUCKNER, C.H.; NUNES, E.S.; CRUZ, C.D. 2012. Simultaneous selection in progenies of yellow passion fruit using selection índices. **Rev. Ceres**, 59: 95-101. DOI:10.1590/S0034-737X2012000100014.

ZADEH L.A. 1988. Fuzzy logic. **Computer**. 21(4):83-93. DOI: 10.1109/2.53.

6. CAPÍTULO II: Lógica fuzzy aplicada a seleção simultânea de genótipos de batata-doce

Este artigo foi elaborado conforme normas do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal.

Resumo

Objetivou-se realizar a seleção simultânea em genótipos de batata-doce e verificar a eficiência de sistemas fuzzy a esta finalidade quando comparado à metodologia de Mulamba e Mock. O delineamento foi em blocos casualizados, com 24 genótipos de batata-doce, quatro repetições e dez plantas por parcela. Os valores genéticos foram obtidos via REML/BLUP, logo depois, estimou-se o índice de Mulamba e Mock e os ganhos obtidos pelos sistemas fuzzy. Foi observada predominância dos efeitos ambientais sobre os genotípicos para todas as características. Os sistemas fuzzy apresentaram ganhos de seleção superiores a MM para os caracteres relacionados a AH e AA. Foram selecionados pelo sistema fuzzy os genótipos com potencial para alimentação humana e animal: UFVJM07, UFVJM05, UFVJM09, UFVJM40, UFVJM01, UFVJM25 e UFVJM15. A lógica fuzzy apresentou-se eficiente, na seleção simultânea de genótipos de batata-doce, possibilitando a seleção de plantas mais similares ao ideotipo desejável que a metodologia de Mulamba e Mock.

PALAVRAS-CHAVE: *Ipomoea batatas* (L.) LAM. Lógica nebulosa. Seleção múltipla. inteligência computacional.

6.1 INTRODUÇÃO

A batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) LAM) é uma hortaliça pertencente à família Convolvulaceae, de raízes tuberosas e originária da América Tropical. Essa cultura se destaca pela sua rusticidade, facilidade de tratamentos culturais, ampla adaptação às adversidades ambientais e baixo custo de cultivo (ANDRADE JÚNIOR *et al.*, 2012). É uma rica fonte de açúcares, carboidratos, sais minerais e vitaminas, tornando-se uma importante alternativa na alimentação humana e animal (AZEVEDO *et al.*, 2002), além de ser matéria prima para indústrias de alimentos, tecidos, papéis, cosméticos, etanol, dentre outros (CARDOSO *et al.*, 2005).

Apesar de o grande potencial da cultura, a produtividade brasileira é considerada baixa, em torno de 14,5 t/ha (IBGE 2018). A ausência de materiais genéticos melhorados e adaptados às diversas regiões de plantio é uma das principais razões do status atual da cultura. Visando ao aumento na produtividade e na qualidade do produto, o melhoramento genético da batata-doce, para fins comerciais, deve ser considerado a principal estratégia, a fim de selecionar indivíduos melhores que os pré-existentes, considerando várias características simultaneamente (AZEVEDO *et al.*, 2014). Dentre as metodologias de seleção simultânea, destaca-se o índice de seleção da soma dos postos (ROSADO *et al.*, 2012, LUZ *et al.*, 2018), proposto por Mulamba e Mock (1978). Contudo essas metodologias apresentam grande dificuldade em selecionar indivíduos com um padrão comercial pré-estabelecido, indicando uma carência de metodologias biométricas que possibilitem a seleção múltipla de características que tenham essa natureza.

Neste sentido, o uso da inteligência computacional pode se tornar uma alternativa potencial para o melhoramento de plantas (CARNEIRO *et al.*, 2018) e, dentre as técnicas de inteligência utilizadas, pode-

se destacar a lógica fuzzy. O uso da lógica fuzzy, no melhoramento genético de plantas, é recente, mas algumas pesquisas demonstram, por exemplo, o potencial do emprego dos controladores fuzzy, para auxiliar na recomendação de cultivares de diversas culturas agrônômicas, sendo testado na recomendação de cultivares de feijão em estudos de adaptabilidade e estabilidade (Carneiro *et al.*, 2018).

Diante do exposto, objetivou-se realizar a seleção simultânea em genótipos de batata-doce e verificar a eficiência de sistemas fuzzy para esta finalidade quando comparados à metodologia de Mulamba e Mock.

6. 2 MATERIAIS E MÉTODOS

6.2.1 Instalação e avaliação do experimento em campo

O experimento foi conduzido no Instituto de Ciências Agrárias (ICA)- UFMG, Campus Montes Claros-MG (coordenadas: 16°40'58.16"S e 43°50'20.15"O), cambissolo háplico sob condições de irrigação por aspersão.

As mudas foram produzidas a partir de estacas, com aproximadamente 20 cm, das ramas de 24 genótipos do banco de germoplasma de batata-doce cultivado no ICA-UFMG. Esse banco foi montado, a partir de acessos elite, trazidos da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), selecionados previamente por meio de experimentos (ANDRADE JÚNIOR *et al.*, 2012; AZEVEDO *et al.*, 2015; VIANA *et al.*, 2011). As mudas foram mantidas em vasos de polietileno com substrato comercial, por 15 dias para enraizamento, irrigadas diariamente e depois foram levadas para campo.

O experimento em campo foi conduzido do dia 28/04/2018 a 11/10/2018, em delineamento em blocos ao acaso (DBC), com 24 tratamentos (genótipos) e quatro repetições, com parcelas espaçadas entre si de 1 m e 10 plantas por parcela, com espaçamento de 0,30 m. Os tratamentos foram constituídos pelos genótipos: UFVJM (25, 07, 31, 15, 21, 28, 05, 44, 41, 40, 01, 37, 09, 06, 54, 56 e 29), Brazilândia Roxa, Belgard, Arruba, Cambraia, Cariru Vermelho, Princesa, T Carro 01. O preparo da área de plantio, as adubações e tratamentos culturais foram realizados como o recomendado para a cultura (FILGUEIRA, 2008).

A colheita foi realizada, seis meses após o plantio e as ramas foram cortadas rentes ao solo, enquanto as raízes foram colhidas manualmente com o auxílio de enxadas. As ramas e raízes foram pesadas e separadas, a fim de avaliar características de produção e qualidade. Foram avaliadas a produtividade de massa verde das ramas (PMV) e produtividade total de raízes (PTR), obtidas por pesagem ($t\ ha^{-1}$). O teor de massa seca de ramas e folhas (MSRAMAS) e o teor de massa seca das raízes (MSRAIZ) foram obtidos em amostras de, aproximadamente 200 g, condicionadas em papel kraft e secas em estufa com circulação forçada de ar a 65°C até peso constante (ANDRADE JÚNIOR *et al.*, 2012). A produtividade de massa seca de ramas (PMSRAMAS) foi obtida pelo produto entre a produtividade de massa verde e o teor de massa seca nas ramas e folhas ($t\ ha^{-1}$).

Para a produtividade de raízes comerciais (PRC), foram estimadas as raízes com peso entre 0,1 e 0,8 quilos, sem veias, não brocadas ou esverdeadas, sem rachaduras e não deformadas ($t\ ha^{-1}$) (ANDRADE JÚNIOR *et al.*, 2012). O peso médio das raízes comerciais (PMC) foi obtido pela razão entre a produção de raízes comerciais e o número total de raízes com padrões comerciais em cada parcela Kg.

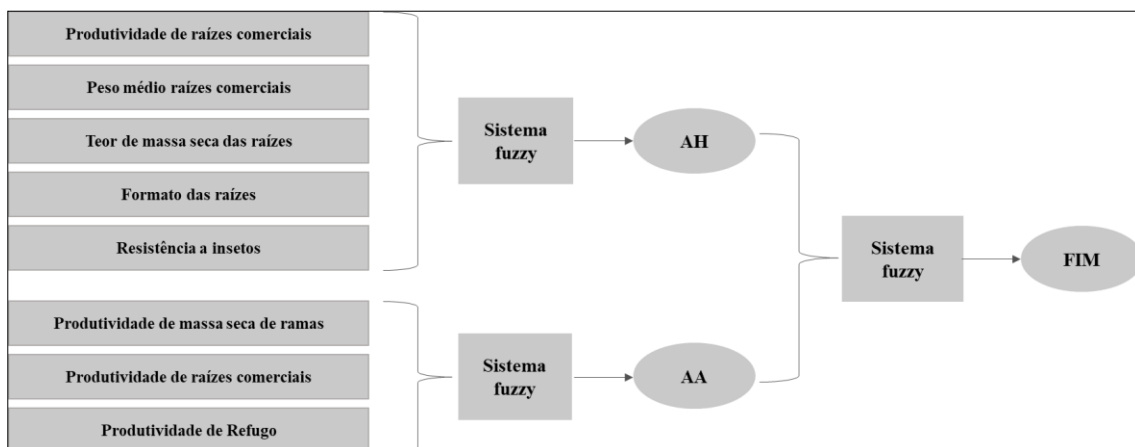
Já para o formato das raízes (FORM) e a resistência a insetos de solo (RI), foram atribuídas notas por três avaliadores, sendo o valor final expresso pela média obtida dos três. Essas notas variaram de 1 a 5 (AZEVEDO *et al.*, 2002), dadas em nível de parcela, em que a nota 1= raiz com formato fusiforme, regular, sem veias ou qualquer tipo de rachaduras; 2= predominantemente fusiforme, mas com algumas desuniformidades, possível presença de veias ou curvaturas nas raízes; 3= formato irregular, não fusiforme, com algumas veias/rachaduras, mas comercialmente aceitáveis; 4= formato muito irregular, com veias e rachaduras, indesejáveis comercialmente; e 5= raízes totalmente fora dos padrões comerciais, muito irregulares e deformadas, com muitas veias e rachaduras.

Para a resistência a insetos de solo, esse peso foi atribuído da seguinte forma: nota 1= raízes livres de danos causados por insetos, com aspecto comercial desejável; 2= raízes com poucos danos, mas com presença de algumas galerias e furos nas raízes; 3= raízes com danos bastante perceptíveis (presença de galeria e furos nas raízes em maior intensidade), com aspecto comercial prejudicado; 4= raízes com muitos danos, impróprias para comercialização (presença de muitas galerias, furos e início de apodrecimento); e 5= raízes inadequadas para fins comerciais (repletas de galerias, furos e apodrecimento mais avançado).

6.2.2 Configuração e uso da lógica fuzzy

Os descritores foram agrupados em três sistemas. O primeiro denominado AH, relacionado à alimentação humana considerou as características: produtividade de raízes comerciais, peso médio de raízes comerciais, teor de massa seca das raízes, formato e resistência a insetos. O segundo sistema, relacionado à alimentação animal (AA), considerou a produtividade de massa seca de ramas, a produtividade de raízes comerciais e a produtividade do refugo. Todas estas variáveis de entrada dos sistemas AA e AH foram padronizados para média zero e desvio-padrão de uma unidade. A saída dos dois sistemas fuzzy foram utilizadas como entrada, para um terceiro sistema denominado FIM, possibilitando a obtenção de um escore geral para a parcela (FIGURA 1).

Figura 1- Esquema de sistemas de inferência fuzzy utilizados como índices de seleção quanto à alimentação humana (AH) e alimentação animal (AA) e para todos os critérios simultaneamente (FIM) em genótipos de batata-doce.



Fonte: Da autora, 2019.

Na etapa de fuzzyficação, para todas as características, foram utilizadas funções de pertinência do tipo trapezoidal (Equação 1):

$$\text{trapmf}(x; a, b, c, d) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-c}\right), 0\right) \quad (1)$$

Foram arbitrados parâmetros nas funções de pertinência, para os caracteres de entrada dos sistemas relacionados à alimentação humana (AH) e animal (AA), sendo eles: Muito Ruim (a=0, b=0, c=42, d=43), Ruim (a=42, b=43, c=49, d=50), Bom (a=49, b=50, c=55, d=57) e Muito bom (a=55, b=57, c=100, d=100). Já para as variáveis de saída dos sistemas AH e AA e entrada e saída do sistema FIM, os parâmetros foram arbitrados em cinco variáveis linguísticas: Muito ruim (a=0, b=0, c=0,125, d=1,125), Ruim (a=0,125, b=1,125, c=1,375, d=2,375), Médio (a=1,375, b=2,375, c=2,625, d=3,625), Bom (a=2,625, b=3,625, c=3,875, d=4,875) e Muito bom (a=3,875, b=4,875, c=5,0, d= 5,0) (Apêndice C).

Na etapa de inferência, foi utilizada a metodologia de "Mamdani min" e, ao relacionar as variáveis linguísticas de entrada com os escores da variável de saída de cada sistema, foram geradas 243 regras para o AH, 27 para o AA e 25 regras para o FIM, utilizando conectivo "e" (Apêndice D). Para a defuzzyficação, foi utilizado o método centroide. Logo, para cada sistema fuzzy, foram obtidos escores que indicam a predileção de cada genótipo, com valores variando de 1 a 5, sendo estes critérios utilizados como índices de seleção. Os sistemas de lógica fuzzy foram configurados e utilizados com o auxílio do pacote *FuzzyToolkitUoN* do software R (R CORE TEAM, 2016).

6.2.2.1. Estimativa dos ganhos de seleção individuais e simultâneo

Para a análise estatística dos descritores quantitativos e dos escores obtidos pelos três sistemas fuzzy (utilizando os dados fenotípicos), foi utilizado o modelo $y = Xr + bCov + Zg + e$, em que: y é o vetor de dados entre parcelas; r é o vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados à média geral; b refere-se ao coeficiente de regressão associado à covariável **Cov** (número de plantas por parcela); g é o vetor dos efeitos genotípicos (assumidos como aleatórios), e é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos. Com base neste modelo, foram estimados os componentes de variância e preditos os valores genéticos pela metodologia REML-BLUP com o auxílio do pacote *sommer* do software R (R CORE TEAM, 2016).

Em seguida, com os valores genéticos de cada característica foi estimado o ganho direto e indireto esperado com a seleção dos melhores indivíduos (índice de seleção de 30%). A partir dos valores genéticos, foram obtidos para cada genótipo seu posto (rank) para todas as características e, mais tarde, foi estimada a soma desses postos (índice de Mulamba Mock). Os valores genéticos obtidos, a partir dos escores dos três sistemas Fuzzy, também, foram utilizados como critério para a seleção simultânea.

Para analisar a influência dos índices utilizados, em cada uma das variáveis estudadas, foi estimada a correlação de Pearson, com auxílio da função *cor.test* no software R.

6.3 RESULTADOS

Ao avaliar os caracteres em genótipos de batata-doce, foram obtidas maiores variabilidades genotípicas, para a produtividade de massa seca de ramos (PMSRAMAS), produtividade de raízes comerciais (PRC) e resistência a insetos (RI), com coeficiente de variação genotípico de 26,77%, 23,77% e 20,43%, respectivamente. Para as demais características, os valores de CVg variaram entre 5,11% para

o teor de massa seca de raiz (MSRAIZ) e 15,4% para o peso médio de raízes comerciais (PMC) (TABELA 1).

Foram encontrados coeficientes de variação ambiental (CVe) superiores aos genotípicos para todas as características. Os maiores valores de CVe foram obtidos, para as variáveis associadas à produtividade de raízes (PRC, PMC e REFUGO), sendo superiores a 30% (TABELA 1). Para o índice de variação (CVr), foram obtidos valores promissores e próximos à unidade para a produtividade de massa seca de ramas (0,97) e para a resistência a insetos (0,84). Para as demais características, esses valores foram inferiores a 0,63. Foram encontradas estimativas de herdabilidade média do genótipo as quais variaram entre média e alta para a maioria das características (TABELA 1). Os maiores valores foram para produtividade de massa seca de ramas, resistência a insetos e formato das raízes.

Foram obtidos ganhos genéticos para a produtividade de raízes comerciais que variaram entre 6,56 t/ha para o genótipo BELGARD até 13,87 t/ha para o UFVJM 40. O genótipo BELGARD, apesar de apresentar baixos ganhos para a PRC, apresentou maior ganho genético para a produtividade de massa seca das ramas.

Tabela 1 - Ganho genotípico para 24 genótipos de batata-doce e estimativa de componentes de variância e parâmetros genéticos dos descritores obtidos pela metodologia REML-BLUP.

Genótipo	PMSRAMAS	PRC	PMC	MSRAIZ	REFUGO	FORM	RI
UFVJM25	5,76	10,77	0,30	32,53	8,92	2,78	2,18
BZ ROXA	3,16	8,84	0,34	32,38	8,62	2,72	2,95
UFVJM07	4,03	11,59	0,31	32,40	8,66	2,70	2,47
BELGARD	6,95	6,56	0,24	32,65	8,77	2,37	1,76
UFVJM31	5,15	8,68	0,27	33,74	8,78	3,03	2,31
UFVJM15	5,35	11,24	0,28	32,64	8,85	2,86	2,86
UFVJM21	4,34	10,38	0,32	32,60	8,79	2,67	2,81
ARRUBA	4,09	10,95	0,28	31,87	8,77	2,75	2,56
UFVJM28	2,81	9,47	0,40	31,87	8,67	3,30	3,32
CAMBRAIA	4,37	10,66	0,30	32,28	8,66	2,54	2,13
UFVJM05	4,42	11,26	0,30	34,84	8,72	2,78	2,37
CARIRUVERM	4,83	11,09	0,30	31,72	8,88	3,03	3,11
UFVJM44	5,48	9,23	0,29	33,32	8,80	3,18	3,05
UFVJM41	2,75	10,04	0,33	32,10	8,64	2,91	2,43
UFVJM40	4,92	13,87	0,30	32,83	8,63	2,33	1,87
UFVJM01	5,74	11,67	0,30	32,58	8,82	2,62	2,25
PRINCESA	4,59	9,92	0,28	30,92	8,83	2,85	2,93
UFVJM37	4,73	9,59	0,31	32,76	8,69	2,84	2,25
UFVJM09	4,99	11,75	0,28	32,21	8,64	2,64	2,50
T CARRO01	4,29	12,88	0,34	31,70	8,69	2,85	2,93
UFVJM06	2,18	7,90	0,31	32,78	8,59	2,38	1,89
UFVJM54	4,69	8,72	0,29	32,28	8,73	2,99	2,44
UFVJM56	4,98	8,83	0,27	33,44	8,71	2,82	1,98
UFVJM29	4,63	10,20	0,30	32,53	8,71	3,02	2,48
Parâmetros	PMSRAMAS	PRC	PMC	MSRAIZ	REFUGO	FORM	RI
Vg	1,48	5,94	0,00	2,76	0,30	0,10	0,26
Ve	1,59	25,19	0,01	33,67	35,24	0,26	0,37
Vf	3,07	31,13	0,01	36,43	35,54	0,36	0,62
h ² mc	0,79	0,49	0,49	0,25	0,03	0,62	0,74
CVgi%	26,77	23,77	15,40	5,11	6,24	11,54	20,43
CVe%	27,70	48,95	31,55	17,83	67,99	18,22	24,25
CVr%	0,97	0,49	0,49	0,29	0,09	0,63	0,84

Nota: Vg: variância genotípica; Ve: variância residual; Vf: variância fenotípica individual; h²mc: herdabilidade da média de genótipo; CVgi%: coeficiente de variação genotípica; CVe%: coeficiente de variação residual; CVr: índice de variação.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Os sistemas AH e AA apresentaram baixa correlação entre si, em torno de 0,147 (TABELA 2), demonstrando independência entre eles. A correlação dos sistemas AH e AA com o sistema FIM foram maiores, sendo de 0,807 e 0,610, respectivamente, indicando uma correlação positiva entre os sistemas.

Ao comparar os descritores agronômicos dos genótipos de batata-doce, associados à alimentação humana (PRC, PMC, MSRAIZ, FORM, RI), foram obtidas correlações negativas para as características PMC, FORM e RI e positivas para o PRC e MSRAIZ com os escores do sistema AH e FIM (TABELA 2). Assim, o sistema FIM possibilitou maiores estimativas de correlação com a produtividade de raízes comerciais (0,611) e peso médio das raízes comerciais (-0,449) se comparado com o sistema AH. Para o sistema AA, foram obtidas correlações positivas para a produtividade de massa seca de ramas (0,851) e para o refugo (0,861). Para a produtividade de raízes comerciais, foram obtidas correlações positivas com todos os sistemas (TABELA 2).

Tabela 2 - Correlações de Pearson entre os sistemas de inferência fuzzy, AH (alimentação humana), AA (alimentação animal) e FIM (todos os critérios simultaneamente) e entre os descritores agronômicos de 24 genótipos de batata-doce e as saídas dos sistemas fuzzy.

Variáveis	AH	AA	FIM
AH	1.000	0.147	0.807
AA	0.147	1.000	0.610
FIM	0.807	0.610	1.000
PMSRAMAS	0.298	0.851	0.579
PRC	0.531	0.189	0.611
PMC	-0.352	-0.506	-0.449
MSRAIZ	0.380	0.045	0.306
REFUGO	-0.195	0.861	0.294
FORM	-0.684	0.098	-0.380
RI	-0.616	0.031	-0.293

Nota: PMSRAMAS, produtividade de massa seca de ramas; PRC, produtividade de raízes comerciais; PMC, peso médio raízes comerciais; MSRAIZ, teor de massa seca raiz; REFUGO, produtividade de refugo; FORM, formato das raízes; RI, resistência a insetos.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

O ganho de seleção direto estimado para a produtividade de massa seca de ramas foi o que apresentou maior magnitude (23,721%) (TABELA 3), contudo possibilita ganho desfavorável ao melhoramento genético da batata-doce para a produtividade de raízes comerciais. A produtividade de raízes comerciais apresentou ganho de seleção direto de 17,394%, possibilitando ganhos indiretos favoráveis para a maioria das características, com o aumento na produtividade da massa seca de ramas e teor de massa seca das raízes e redução no peso médio das raízes comerciais e na escala de notas do formato e da resistência a insetos (TABELA 3).

Tabela 3 - Estimativa de ganho esperado (%) com a seleção direta (diagonal principal), indireta (valores acima e abaixo da diagonal principal) e simultânea (segunda parte da tabela) por meio do índice de seleção de Mulamba e Mock (GSMM) e dos sistemas de inferência fuzzy, indicando ganho de seleção para o sistema AH (GSMMAH/GSFZAH), ganho de seleção para o sistema AA (GSMMAA/GSFZAA) e para o sistema FIM (GSMMFIM/GSFZFIM).

Variáveis	PMSRAMAS	PRC	PMC	MSRAIZ	REFUGO	FORM	RI
PMSRAMAS	23,721	-2,614	-7,123	0,826	0,741	-0,205	-3,155
PRC	5,916	17,394	-0,085	0,621	-0,170	-3,805	-1,111
PMC	13,300	-5,365	-9,715	-0,138	0,381	-1,108	-3,217
MSRAIZ	0,022	-3,374	-3,055	2,597	-0,347	-0,837	-9,851
REFUGO	13,289	3,517	-1,414	-0,648	1,254	2,330	9,931
FORM	5,101	1,412	-3,102	0,062	-0,377	-10,151	-12,831
RI	9,546	-2,106	-4,682	0,572	-0,054	-8,665	-19,454
GSMMAH	14.180	3.930	-6.134	1.337	-0.285	-7.318	-14.857
GSFZAH	7.448	13.656	-1.196	0.826	-0.122	-5.809	-11.603
GSMMAA	16.345	10.921	-2.885	0.020	0.682	-0.448	2.102
GSFZAA	21.472	8.809	-5.619	-0.625	1.218	0.816	3.884
GSMMFIM	19.672	3.377	-6.011	1.634	0.485	-4.942	-12.538
GSFZFIM	10.516	14.459	-4.925	0.983	0.199	-4.155	-10.437

Nota: PMSRAMAS, produtividade de massa seca de ramas; PRC, produtividade de raízes comerciais; PMC, peso médio raízes comerciais; MSRAIZ, teor de massa seca raiz; REFUGO, produtividade de refugo; FORM, formato das raízes; RI, resistência a insetos.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

A seleção simultânea para o sistema AH obteve os sinais desejados, para as características associadas ao sistema (negrito), tanto para o índice Mulamba e Mock quanto para a lógica fuzzy (TABELA 3). Apresentou maiores magnitudes entre o sistema fuzzy e a produtividade de raízes comerciais, formato e resistência a insetos (13,656%, -14,857% e -7,318%, respectivamente).

Já para a alimentação animal (AA), foram obtidos ganhos de seleção favoráveis para a PMSRAMAS, PRC e REFUGO (TABELA 3), em que o sistema fuzzy apresentou maior ganho, para a produtividade de massa seca de ramas e refugo, enquanto o índice de MM apresentou maior ganho de seleção para a produtividade de raízes comerciais (TABELA 3). Os ganhos obtidos pelo índice de Mulamba Mock e pelo sistema Fuzzy foram semelhantes para o sistema FIM, sendo que o índice de MM apresentou maiores ganhos na maioria das características. No entanto o sistema Fuzzy possibilitou maior ganho, para a produtividade de raízes comerciais, que é a característica mais importante para o melhoramento.

Por meio da lógica fuzzy, podem-se selecionar os melhores genótipos com potenciais, para uso na alimentação humana e animal, considerando-se os escores obtidos para cada sistema em cada genótipo: UFVJM 07 (3), UFVJM 05 (11), UFVJM 09 (19), UFVJM 40(15), UFVJM 01 (16), UFVJM 25 (1) e UFVJM 15 (6).

6.4 DISCUSSÃO

Os altos valores de coeficiente de variação genético, observados no presente estudo, evidenciam a possibilidade de sucesso na obtenção de ganhos com a seleção para esta população. Entretanto deve-se considerar a superioridade do coeficiente de variação experimental, para todas as características observadas, bem como o baixo índice de variação, com estimativas inferiores a 1. Essas estimativas sugerem expressiva contribuição do ambiente para esses caracteres. Para as características relacionadas à produtividade de raízes (PRC, PMC e REFUGO), esses altos valores podem estar associados à colheita incompleta de algumas parcelas, já que as raízes se encontram no subsolo e, conseqüentemente, não são visíveis (AZEVEDO *et al.*, 2015).

A herdabilidade está diretamente relacionada ao ganho genético com a seleção, podendo ser, em nível de média, de indivíduo ou de parcela (AZEVEDO *et al.*, 2015). Neste sentido, os maiores valores de herdabilidade média do genótipo foram obtidos, para a produtividade de massa seca de ramas e resistência a insetos, demonstrando superioridade dos caracteres genéticos sobre os ambientais. Para a cultura da batata-doce, o conhecimento da herdabilidade é de fundamental importância, dado que os efeitos de dominância e epistasia são mantidos na propagação vegetativa, um dos sistemas de propagação mais eficientes para a cultura (GONÇALVES NETO *et al.*, 2012).

As estimativas de correlações, obtidas no presente estudo, indicaram uma baixa associação entre os sistemas fuzzy relacionados à alimentação humana e alimentação animal, demonstrando independência entre eles, pelos tipos distintos de descritores associados a cada sistema. Já ao correlacionar os sistemas AH e AA com o sistema FIM, as correlações foram superiores, demonstrando eficiência do sistema FIM em reunir os descritores contemplados nos dois sistemas e a possibilidade de uso desse sistema na seleção simultânea de caracteres.

Para alimentação humana, genótipos com alta produtividade de raízes comerciais, peso médio de raízes comerciais dentro do padrão e aumento no teor de massa seca de raízes são desejáveis. A redução nas notas obtidas, para formato da raiz e resistência a insetos, é extremamente desejável para a batata-doce, visto que notas menores indicam genótipos mais resistentes a insetos e com formato aceito comercialmente. Andrade Junior *et al.* (2009), ao analisar doze genótipos de batata-doce, obtiveram notas inferiores a 2,5, para formato resistência a insetos, indicando que a redução na escala de notas, para essas duas características, é desejável no melhoramento para a cultura.

Em contrapartida, para a alimentação animal, buscam-se genótipos com alta produtividade de massa seca de ramas, além de alta produtividade de raízes (Refugo e raízes comerciais). Os escores do sistema FIM desenvolvido correlacionaram-se de forma eficiente com os caracteres de interesse.

Ao definir as regras e variáveis linguísticas na lógica fuzzy, é possível priorizar as características, de acordo com o interesse do melhorista para a cultura. Neste trabalho, foi priorizado o PRC e RI para os caracteres relacionados à alimentação humana, que explica os maiores ganhos obtidos pela lógica fuzzy (GSFZAH), nessas características, se comparada ao índice de MM. Já para alimentação animal, foram consideradas de maior importância a PMSRAMAS e REFUGO (GSFZAA), possibilitando ganhos maiores que o método MM (GSMMAA). Essa atribuição de pesos distintos pela metodologia fuzzy apresenta-se como vantagem sobre a metodologia de Mulamba Mock.

Além disso, as técnicas associadas à lógica fuzzy possibilitam a obtenção de resultados, em um menor espaço de tempo, permitindo a análise eficiente de uma grande quantidade de informações distintas, sem perdas significativas na seleção (Mushtaq *et al.*, 2016). Para o melhoramento de plantas, essa metodologia propicia a automação computacional do conhecimento especializado do melhorista, viabilizando a adequação dos intervalos agronômicos desejáveis, conferindo um caráter multidisciplinar, que facilita a análise simultânea de dados quantitativos e qualitativos (LEE 1990; PANG e BAI 2013; CASILLAS *et al.*, 2013). Essa característica reforça a compilação de caracteres distintos de forma eficiente, em um único sistema FIM, provando ser uma ferramenta útil e promissora para os programas de melhoramento genético de plantas (CARNEIRO *et al.*, 2018).

6.5 CONCLUSÃO

A lógica fuzzy apresentou-se eficiente na seleção simultânea de genótipos de batata-doce, possibilitando a seleção de plantas mais similares ao ideotipo desejável que a metodologia convencional de Mulamba e Mock, pois se incorpora ao conhecimento especializado do melhorista. Os sistemas fuzzy desenvolvidos foram capazes de selecionar genótipos de batata-doce, com possibilidades de emprego na alimentação humana e animal, sendo eles: UFVJM 07 (3), UFVJM 05 (11), UFVJM 09 (19), UFVJM 40(15), UFVJM 01 (16), UFVJM 25 (1) e UFVJM 15 (6).

6.6 AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico (CNPQ) e a Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG).

6.7 REFERÊNCIAS

- ANDRADE JUNIOR, V.C.; VIANA, D.J.S.; FERNANDES, J.S.C., FIGUEIREDO, J.A.; NUNES, U.R.; NEIVA, I.P. 2009. Selection of sweet potato clones for the region Alto Vale do Jequitinhonha. **Horticultura Brasileira**. 27: 389-393.
- ANDRADE JÚNIOR, V.C.; VIANA, D.J.S.; PINTO, N.A.V.D.; RIBEIRO, K.G.; PEREIRA, R.C.; NEIVA, I.P.; AZEVEDO, A.M.; ANDRADE, P.C.R. 2012. Características produtivas e qualitativas de ramas e raízes de batata-doce. **Horticultura Brasileira** 30: 584-589.
- AZEVEDO, A.M.; ANDRADE JÚNIOR, V.C.; FERNANDES, J.S.C.; PEDROSA, C.E.; OLIVEIRA, C.M.2015. Desempenho agrônômico e parâmetros genéticos em genótipos de batata-doce. **Horticultura Brasileira** 33: 084-090. DOI -<http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620150000100014>
- AZEVEDO, A.M.; ANDRADE JÚNIOR, V.C.; VIANA, D.J.S.; ELSAYED, A.Y.A.M.; PEDROSA, C.E.; NEIVA, I.P.; FIGUEIREDO, J.A. 2014. Influence of harvest time and cultivation sites on the productivity and quality of sweet potato. **Horticultura Brasileira** 32: 21-27.
- AZEVEDO, S.M.; MALUF, W.R.; SILVEIRA, M.A.; FREITAS, J.A. 2002. Reação de clones de batata-doce aos insetos de solo. **Ciência e Agrotecnologia** 26: 545-549.
- CARDOSO, A.D.; VIANA, A.E.S.; RAMOS, P.A.S.; MATSUMOTO, S.N.; AMARAL, C.L.F.; SEDIYAMA, T.; MORAIS, O.M. 2005. Avaliação de clones de batata-doce em Vitória da Conquista. **Horticultura Brasileira**. 23: 911-914.
- CARNEIRO, V.Q.; PRADO, A.L.D.; CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S.; NASCIMENTO, M.; CARNEIRO, J.E.D.S. 2018. Fuzzy control systems for decision-making in cultivars recommendation. **Acta Scientiarum. Agronomy**, 40.
- CASILLAS, J.; CORDÓN, O.; TRIGUERO, F.H.; MAGDALENA, L.2013. **Interpretability issues in fuzzy modeling** (Vol. 128). Springer.
- FILGUEIRA, F.A.R. 2008. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: UFV, 402p.
- GONÇALVES NETO, A.C.; MALUF, W.R.; GOMES, L.A.A.; MACIEL, G.M.; FERREIRA, R.P.D.; CARVALHO, R.C. 2012. Correlação entre caracteres e estimação de parâmetros populacionais para batata-doce. **Horticultura Brasileira** 30: 713-719.
- IBGE, **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística** (2018). Sistema IBGE de recuperação automática-SIDRA. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457#resultado>>. Acesso em 07 de janeiro de 2019.
- LEE, C.C. 1990. Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller. **I. IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics**. 20(2):404-418. DOI: 10.1109/21.52551.
- LUZ, P.B.; SANTOS, A.A.B.; AMBROSIO, V.C.; NEVES, L.G.; TAVARES, A.R. 2018. Selection of indexes to evaluate the genetic variability aiming ornamental use of peppers accessions. **Ornamental Horticulture**. DOI: 10.14295/oh.v24i1.1109.
- MARDANI, A.; JUSOH, A.; ZAVADSKAS, E.K.2015. Fuzzy multiple criteria decision-making techniques and applications—Two decades review from 1994 to 2014. **Expert Systems with Applications**. 42(8): 4126-4148. DOI: 10.1016/j.eswa.2015.01.003
- MONTEIRO, A.B. 2007. Silagens de cultivares e clones de batata-doce para alimentação animal visando sustentabilidade da produção agrícola familiar. **Revista Brasileira de Agroecologia** 2: 978-981.
- MUSHTAQ, Z. SANI, S.S.; HAMED, K.; ALI, A.; ALI, A.; BELAL, S.M.; NAQVI, A.A.2016. Automatic Agricultural Land Irrigation System By Fuzzy Logic. **3rd International Conference on Information Science and Control Engineering**. DOI:10.1109/ICISCE.2016.190.

PANG, B.; BAI, S. 2013. An integrated fuzzy synthetic evaluation approach for supplier selection based on analytic network process. **Journal of Intelligent Manufacturing**. 24(1),163–174. DOI 10.1007/s10845-011-0551-3.

PAPADOPOULOS, A.; KALIVAS, D.; HATZICHRISTOS, T. 2011. Decision support system for nitrogen fertilization using fuzzy theory. **Computers and Electronics in Agriculture**. 78: 130–139. DOI: 10.1016/j.compag.2011.06.007.

PETROPOULOS, S.; KARAVAS, C.S.; BALAFOUTIS, A.T.; PARASKEVOPOULOS, I.; KALLITHRAKA, S.; KOTSERIDIS, Y. 2017. Fuzzy logic tool for wine quality classification. **Computers and Electronics in Agriculture**. 142:552-562. DOI: 10.1016/j.compag.2017.11.015.

R CORE TEAM (2016) R: Uma Linguagem e Ambiente para Computação Estatística. **R Fundação para Computação Estatística, Viena, Áustria**. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/FuzzyToolkitUoN/index.html>. Citado em 19 de abril de 2018.

ROSADO, L.D.S.; SANTOS, C.E.M.; BRUCKNER, C.H.; NUNES, E.S.; CRUZ, C.D. 2012. Simultaneous selection in progenies of yellow passion fruit using selection índices. **Rev. Ceres**. 59(1): 95-101. DOI: 10.1590/S0034-737X2012000100014.

VIANA, D.J.S.; ANDRADE JUNIOR, V.C.; RIBEIRO, G.K.; PINTO, N.A.V.D.; NEIVA, I.P.; FIGUEIREDO, J.A.; LEMOS, V.T.; PEDROSA, C.E.; AZEVEDO, A.M. 2011. Potencial de silagens de ramas de batata-doce para alimentação animal. **Ciência Rural**. 41:1466-1471.

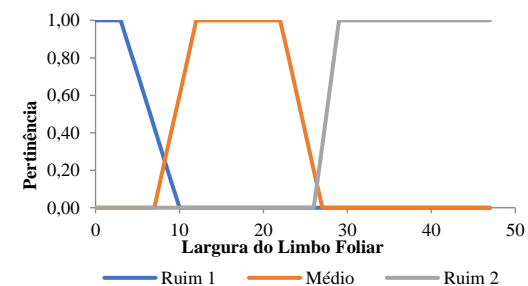
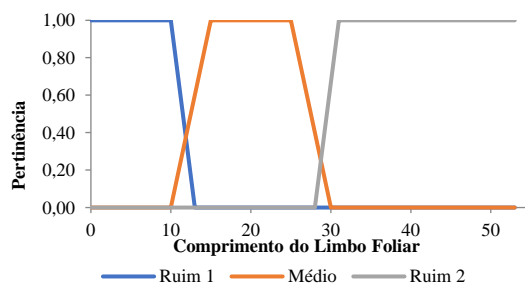
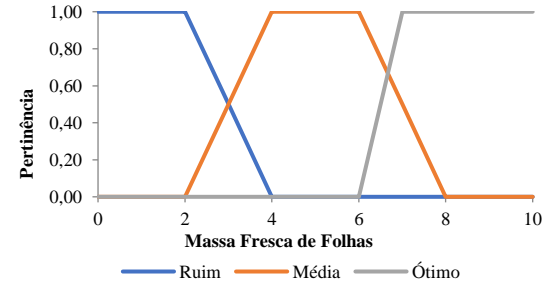
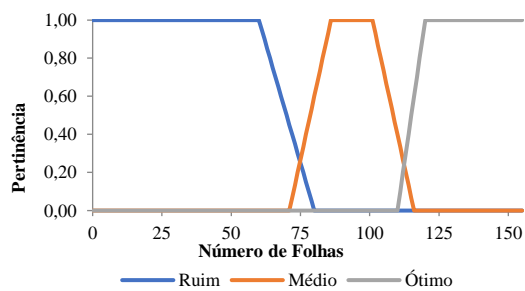
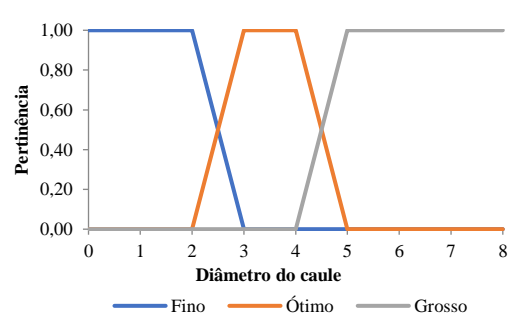
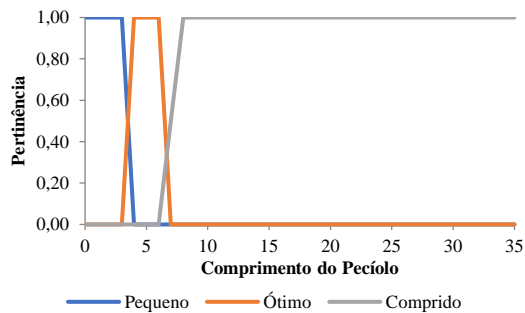
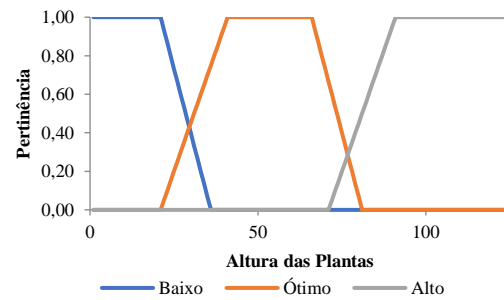
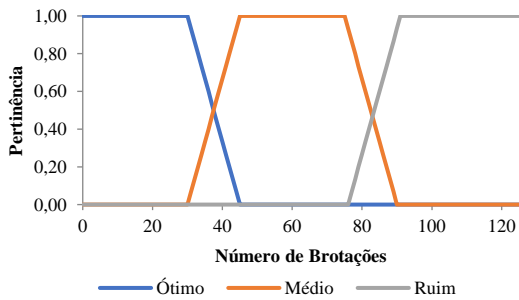
7. CONCLUSÕES GERAIS

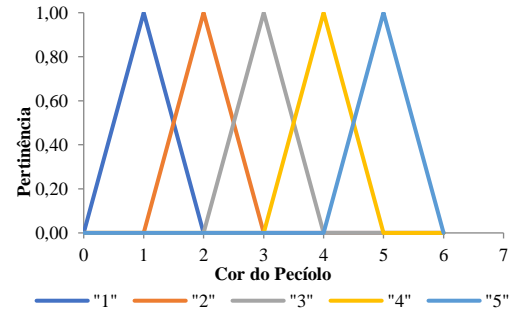
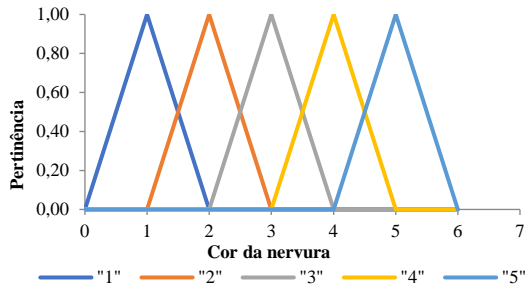
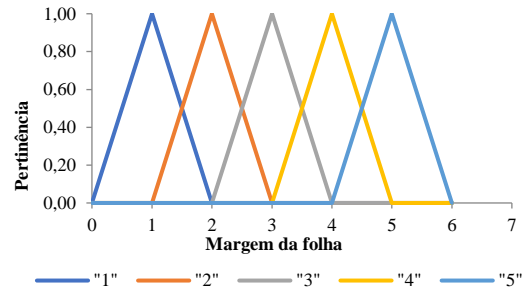
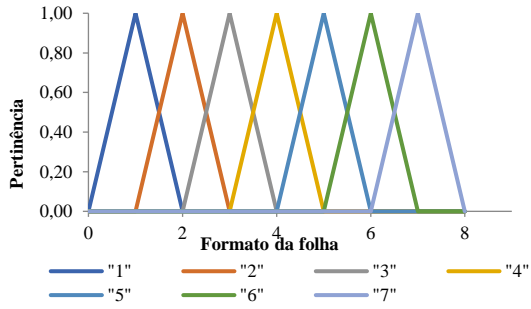
- Embora o sistema FIM tenha proporcionado ganhos de seleção, para os caracteres quantitativos, próximos aos obtidos pelo método de Mulamba e Mock, este sistema proporcionou também a seleção de plantas com caracteres qualitativos desejados. Logo o sistema fuzzy desenvolvido apresentou-se eficiente para a seleção simultânea de caracteres qualitativos e quantitativos, além de possibilitar seleção para intervalos pré-definidos comercialmente para a população estudada, demonstrando ser uma ferramenta útil para o melhoramento genético da couve.
- A lógica fuzzy apresentou-se eficiente na seleção simultânea de genótipos de batata-doce, possibilitando a seleção de plantas mais similares ao ideótipo desejável que a metodologia convencional de Mulamba e Mock, já que se incorpora ao conhecimento especializado do melhorista. Os sistemas fuzzy desenvolvidos foram capazes de selecionar genótipos melhorados de batata-doce, com possibilidades de utilização na alimentação humana e animal, sendo eles: UFVJM 07 (3), UFVJM 05 (11), UFVJM 09 (19), UFVJM 40(15), UFVJM 01 (16), UFVJM 25 (1) e UFVJM 15 (6).
- A lógica fuzzy é eficiente para a seleção simultânea de caracteres quantitativos e qualitativos, possibilitando ainda a seleção para intervalos pré-definidos comercialmente. Apresenta-se eficiente, na seleção simultânea de caracteres, possibilitando ganhos similares aos obtidos pela metodologia convencional de Mulamba e Mock. Ainda é uma metodologia que permite a seleção simultânea de descritores, em um curto espaço de tempo, tornando-se promissora para o melhoramento genético da couve e da batata-doce.

APÊNDICES

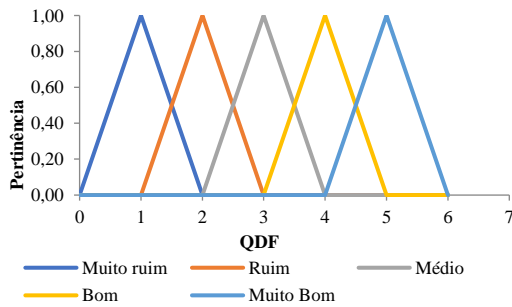
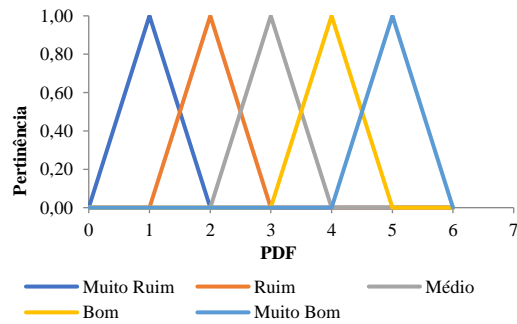
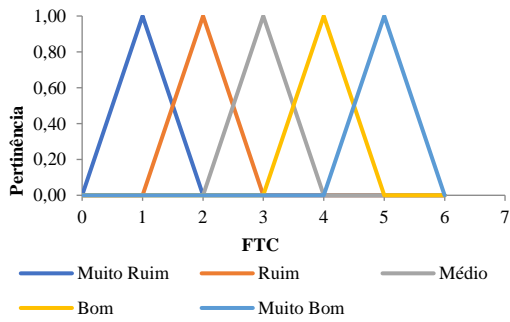
APÊNDICE A-Representação gráfica das funções de pertinência adotadas em sistemas de inferência fuzzy para a obtenção dos índices de seleção para meios-irmãos de couve

Domínio das variáveis de entrada da primeira camada.

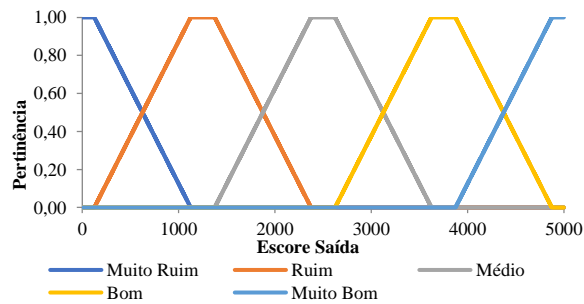




Domínio das variáveis de saída da primeira camada e entrada da segunda camada.



Domínio da variável saída da segunda camada.



APÊNDICE B - Regras dos sistemas fuzzy para meios-irmãos de couve

Exemplo de associação entre os caracteres utilizando conectivo “E” para gerar as regras.

Regra 1 (FTC)

Se o NB for ótimo, e a ALT for baixa, e o CP for pequeno, e o DC for fino, então, o FTC será médio (3).

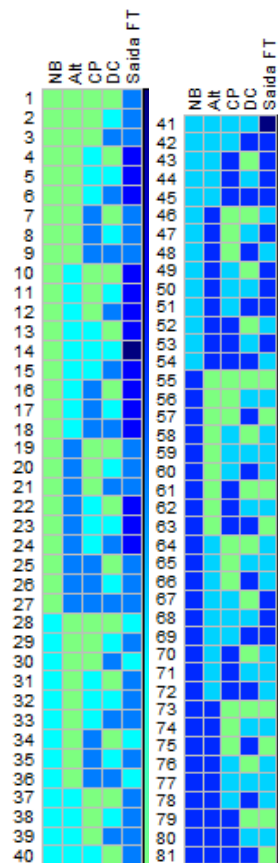
Regra 2 (FTC)

Se o NB for Ótimo E a alt for Baixo E o CP for Pequeno E o DC for Fino então o FTC será 3-Médio


















Se o NB for Ótimo E a alt for Baixo E o CP for Pequeno E o DC for Ótimo então o FTC será 3-Médio

Se o NB for ótimo e a ALT for baixa, e o CP for pequeno, e o DC for ótimo, então, o FTC será médio (3).

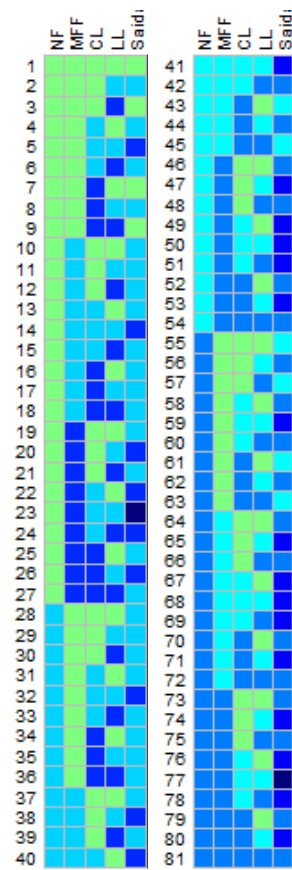
- REGRAS FTC: 81 regras



Legenda:

				Saida FTC
Regras entrada NB	Regras entrada Alt	Regras entrada CP	Regras entrada DC	 1- Muito ruim
 Ótimo	 Baixo	 Pequeno	 Fino	 2- Ruim
 Médio	 Ótimo	 Ótimo	 Ótimo	 3- Médio
 Ruim	 Alta	 Comprido	 Grosso	 4-Bom
				 5-Muito Bom

- REGRAS PDF: 81 regras



Legenda:

Regras entrada NF/MFF

- Ruim
- Médio
- Ótimo

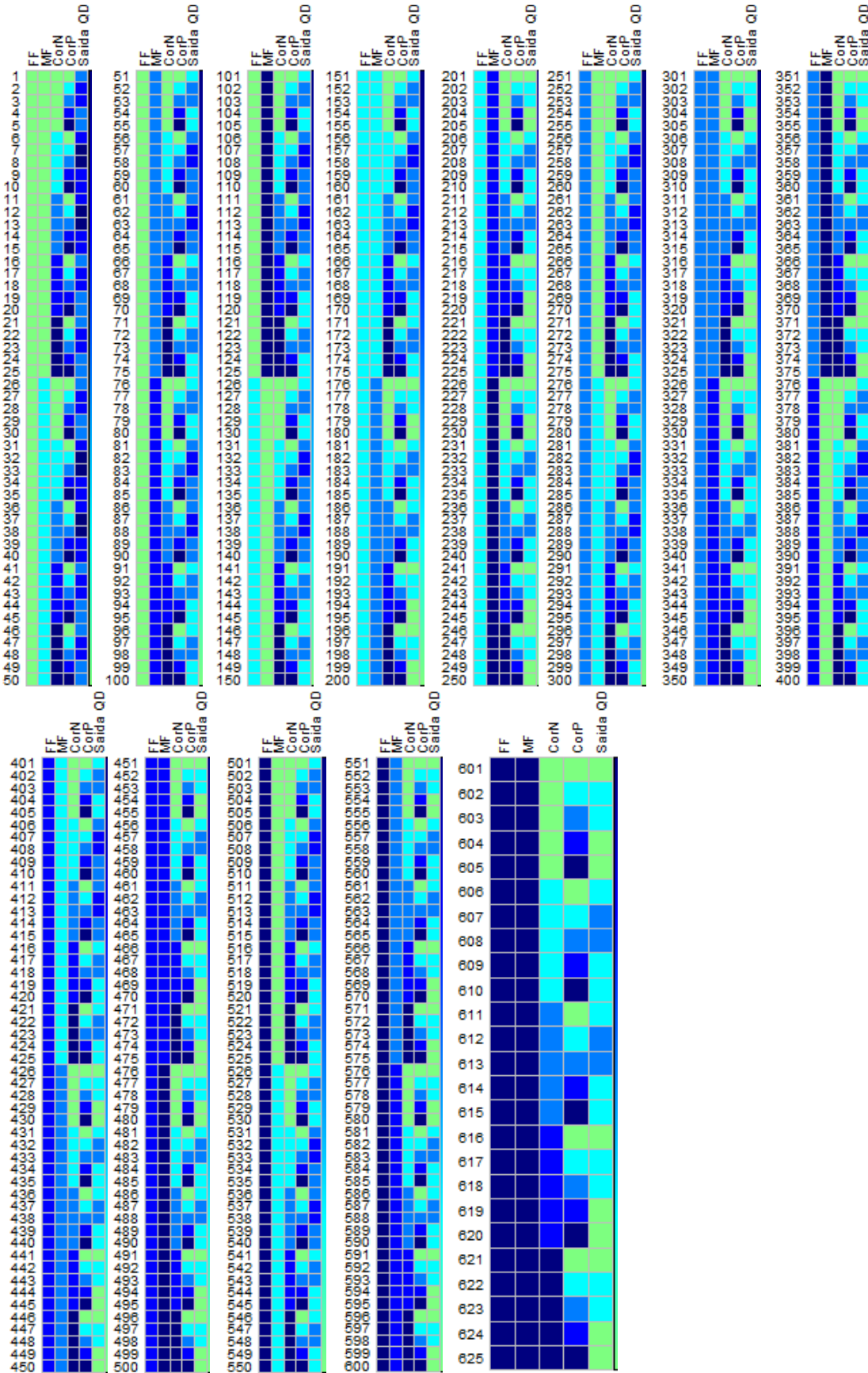
Regras entrada CL/LLF

- Ruim 1
- Medio
- Ruim 2

Saída PDF

- 1- Muito ruim
- 2- Ruim
- 3- Médio
- 4-Bom
- 5-Muito Bom


- REGRAS QDF: 625 regras








Legenda:**Regras entrada FF**

 Nota 1
 Nota 2
 Nota 3
 Nota 4
 Nota 5
 Nota 6
 Nota 7

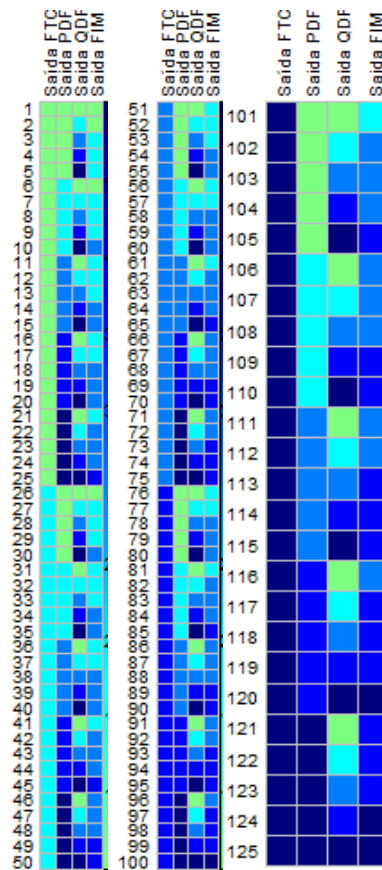
**Regras entrada
MF/CorN/CorP**

 Nota 1
 Nota 2
 Nota 3
 Nota 4
 Nota 5

Saida QDF

 1-Muito ruim
 2- Ruim
 3- Médio
 4-Bom
 5-Muito Bom

- REGRAS FIM: 125 regras



Legenda:

Saída FTC

1- Muito ruim
2- Ruim
3- Médio
4-Bom
5-Muito Bom

Saída PDF

1- Muito ruim
2- Ruim
3- Médio
4-Bom
5-Muito Bom

Saída QDF

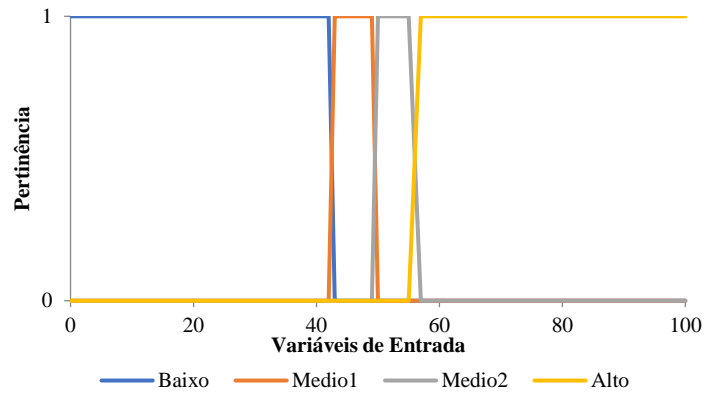
1-Muito ruim
2- Ruim
3- Médio
4-Bom
5-Muito Bom

Saída FIM

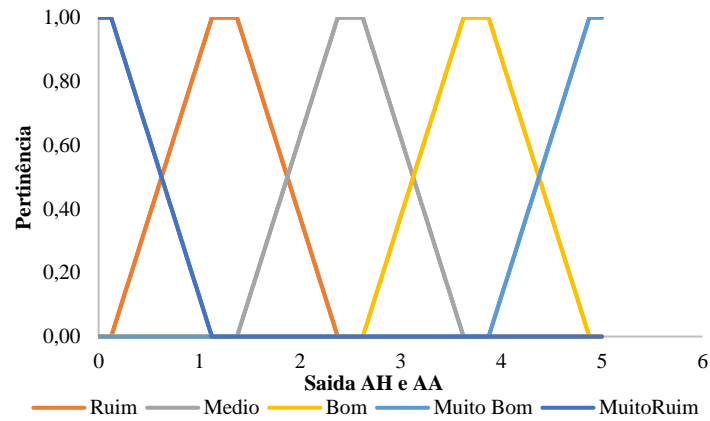
1-Muito ruim
2- Ruim
3- Médio
4-Bom
5-Muito Bom

APÊNDICE C- Representação gráfica das funções de pertinência adotadas em sistemas de inferência fuzzy para a obtenção de índices de seleção para os 24 genótipos de batata-doce.

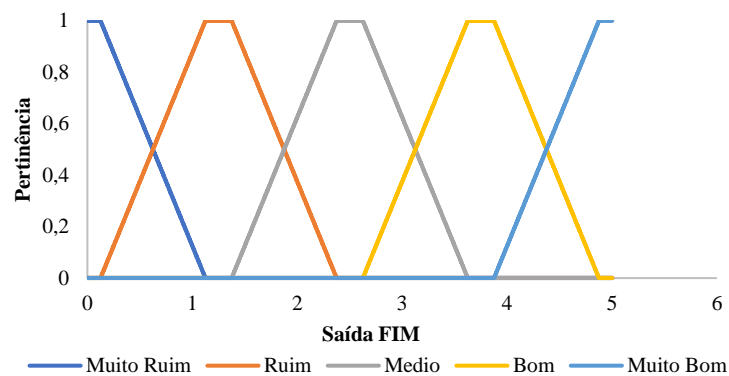
Domínio das variáveis de entrada (PRC, PMC, MSRAIZ, FORM, RI, PMSRAMAS, REFUGO).



Domínio das variáveis de saída da primeira camada (AH e AA) e entrada da segunda camada (FIM)

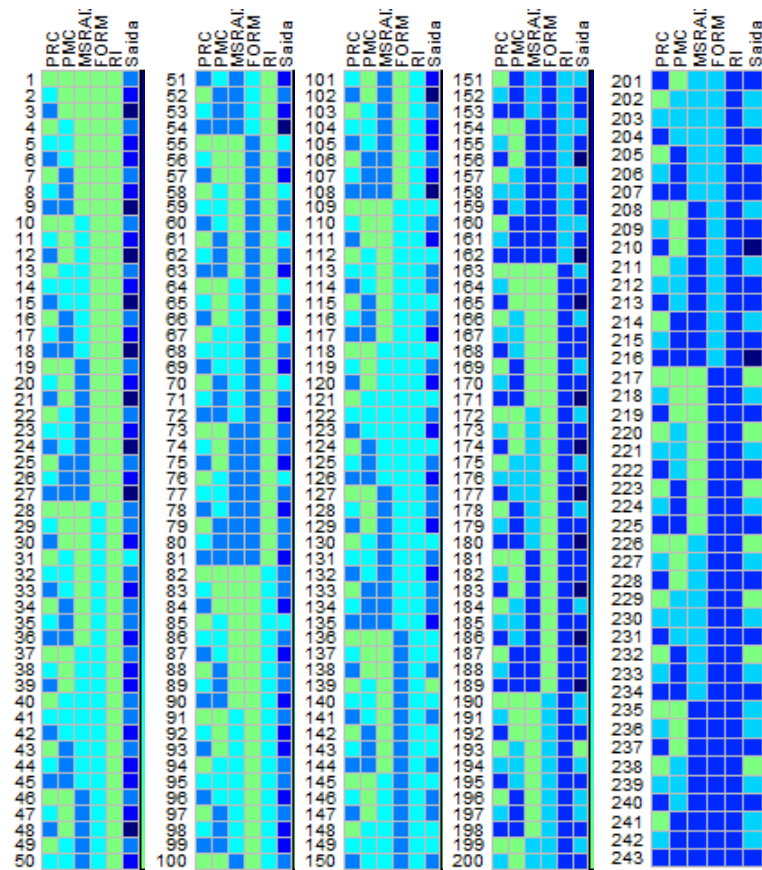


Domínio das variáveis de saída da segunda camada

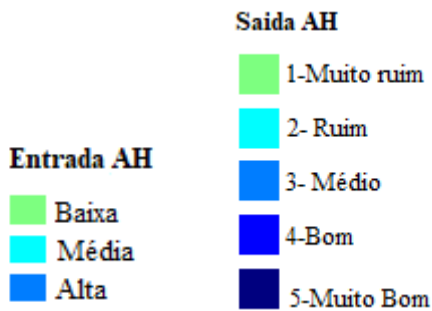


APÊNDICE D - Regras dos sistemas fuzzy para os 24 genótipos de batata-doce.

- REGRAS AH: 243 regras




Legenda:



- REGRAS AA: 27 regras

	PMSframe	PRC	Refugo	Saida
1	1	1	1	1
2	2	1	1	2
3	3	1	1	3
4	4	2	1	2
5	5	2	1	2
6	6	2	2	4
7	7	3	1	2
8	8	3	1	3
9	9	3	2	4
10	10	4	2	2
11	11	4	2	2
12	12	4	3	4
13	13	5	3	2
14	14	5	3	3
15	15	5	4	4
16	16	5	4	2
17	17	5	4	4
18	18	5	4	4
19	19	5	5	2
20	20	5	5	3
21	21	5	5	4
22	22	5	5	2
23	23	5	5	4
24	24	5	5	4
25	25	5	5	4
26	26	5	5	4
27	27	5	5	4

Legenda:

Entrada AA		Saida AA	
	Baixo		1-Muito ruim
	Médio		2- Ruim
	Alto		3- Médio
			4-Bom
			5-Muito Bom

- REGRAS FIM: 25 regras

	Saida AH	Saida AA	Saida FIM
1	1	1	1
2	2	1	2
3	3	1	3
4	4	1	4
5	5	1	5
6	1	2	1
7	2	2	2
8	3	2	3
9	4	2	4
10	5	2	5
11	1	3	2
12	2	3	3
13	3	3	4
14	4	3	5
15	5	3	5
16	1	4	2
17	2	4	3
18	3	4	4
19	4	4	5
20	5	4	5
21	1	5	2
22	2	5	3
23	3	5	4
24	4	5	5
25	5	5	5

Legenda:

Saida AH

1	1-Muito ruim
2	2- Ruim
3	3- Médio
4	4-Bom
5	5-Muito Bom

Saida AA

1	1-Muito ruim
2	2- Ruim
3	3- Médio
4	4-Bom
5	5-Muito Bom

Saida FIM

1	1-Muito ruim
2	2- Ruim
3	3- Médio
4	4-Bom
5	5-Muito Bom