



MARIA ALICE JUNQUEIRA GOUVÊA SILVA

**MODELAGEM DO CONSUMO ALIMENTAR E PADRÕES
COMPORTAMENTAIS DE COELHOS NOVA ZELÂNDIA
BRANCO SUBMETIDOS A DESAFIOS CRÔNICOS POR
ALTAS TEMPERATURAS**

**LAVRAS – MG
2019**

MARIA ALICE JUNQUEIRA GOUVÊA SILVA

**MODELAGEM DO CONSUMO ALIMENTAR E PADRÕES COMPORTAMENTAIS
DE COELHOS NOVA ZELÂNDIA BRANCO SUBMETIDOS A DESAFIOS
CRÔNICOS POR ALTAS TEMPERATURAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Construções Rurais e Ambiente, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior
Orientador

Profa. Dra. Patrícia Ferreira Ponciano Ferraz
Profa. Dra. Raquel Silva de Moura
Prof. Dr. Renato Ribeiro de Lima
Prof. Dr. Lucas Henrique Pedrozo Abreu
Coorientadores

**LAVRAS - MG
2019**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Silva, Maria Alice Junqueira Gouvêa.

Modelagem do consumo alimentar e padrões comportamentais de coelhos Nova Zelândia Branco submetidos a desafios crônicos por altas temperaturas / Maria Alice Junqueira Gouvêa Silva. - 2019.

100 p. : il.

Orientador(a): Tadayuki Yanagi Junior.

Coorientador(a): Patrícia Ferreira Ponciano Ferraz, Raquel Silva de Moura, Renato Ribeiro de Lima. Lucas Henrique Pedrozo Abreu.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2019.

Bibliografia.

1. Ambiente térmico. 2. Cunicultura. 3. Fuzzy Takagi-Sugeno. I. Junior, Tadayuki Yanagi. II. Ferraz, Patrícia Ferreira Ponciano. III. Moura, Raquel Silva de. IV. Lima, Renato Ribeiro de. V. Abreu, Lucas Henrique Pedrozo.

MARIA ALICE JUNQUEIRA GOUVÊA SILVA

**MODELAGEM DO CONSUMO ALIMENTAR E PADRÕES COMPORTAMENTAIS
DE COELHOS NOVA ZELÂNDIA BRANCO SUBMETIDOS A DESAFIOS
CRÔNICOS POR ALTAS TEMPERATURAS**

**MODELING OF FEED INTAKE AND BEHAVIORAL PATTERNS OF NEW
ZEALAND WHITE RABBITS SUBJECT TO CHRONIC HIGH TEMPERATURES
CHALLENGES**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Construções Rurais e Ambiente, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 15 de abril de 2019.

Profa. Dra. Patrícia Ferreira Ponciano Ferraz	UFLA
Profa. Dra. Raquel Silva de Moura	UFLA
Prof. Dr. Édison José Fassani	UFLA
Prof. Dr. Luiz Carlos Machado	IFMG - Bambuí

Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior
Orientador

**LAVRAS - MG
2019**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, ao Beato Padre Victor e Nossa Senhora de Fátima por terem sido meu amparo espiritual e, por terem me proporcionado saúde e força para superar as dificuldades durante o caminho.

A minha mãe Maria Aparecida e ao meu noivo Jerri Marcos, pelo apoio e incentivo nos momentos de desânimo para que eu não abandonasse os meus objetivos. Sou grata pela paciência, pelo amor e conselhos a mim dados para que eu nunca perdesse a fé e conseguisse realizar meu sonho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior por ter me orientado e me acolhido com essa nova proposta de pesquisa de estudos com coelhos. Agradeço pela dedicação, profissionalismo, incentivo e sempre disposto a me ajudar com os seus ensinamentos. Agradeço pela confiança depositada em mim.

A todos os professores, em especial, a Prof^ª. Dra. Patrícia Ferreira Ponciano e a Prof^ª. Dra. Raquel Silva de Moura por me proporcionar o conhecimento e uma boa formação profissional. Além do incentivo para que eu permanecesse desenvolvendo pesquisas na área de cunicultura.

Aos meus amigos, especialmente, Maiara, Thaiane e a Thaísa que estiveram presente ao meu lado durante toda a fase acadêmica e pela amizade que levarei comigo durante a vida toda.

Aos meus amigos conquistados na pós-graduação, Bruna Pontara, Bruna Amaral, Luana Mendes e o Marcelo Bahuti que me ajudaram no decorrer do mestrado me apoiando e cooperando neste trabalho.

Ao Núcleo de Estudos sobre Manejo e Nutrição de Coelhos (NEMENC) por me auxiliar no manejo e na obtenção (criação) dos coelhos para o experimento e, também, por me acolherem como membro e palestrante do núcleo.

A Universidade Federal de Lavras (UFLA) pelo ambiente de estudo criativo e amigável.

A CAPES que me deu incentivo financeiro (bolsa) durante a pós-graduação para realização desta pesquisa científica.

Enfim, o meu muito obrigado a todos que direta ou indiretamente se fizeram presente durante a minha formação.

Respondeu Jesus:

“Eu sou o caminho, a verdade e a vida, ninguém vem ao Pai, a não ser por mim”.

João 14:6

RESUMO GERAL

A cunicultura é uma atividade estratégica e bastante desenvolvida em diversos países, como China e Portugal, devido à facilidade em seu manejo, a alta prolificidade, por apresentar baixo impacto poluidor, se enquadrar bem em sistemas próprios de agricultura familiar, além de produzir uma carne de alto valor biológico. Objetivou-se com o presente trabalho, desenvolver um sistema *fuzzy* Takagi-Sugeno capaz de prever o consumo alimentar e os padrões comportamentais de coelhos da raça Nova Zelândia Branco (NZB) submetidos a desafios crônicos por altas temperaturas. O experimento foi conduzido em quatro túneis de vento climatizados, sendo testadas quatro temperaturas de bulbo seco do ar (t_{bs} : 20°C, 24°C, 28°C e 32°C) a partir do 30º dia de vida dos animais, durante 14 dias. Durante todo o período experimental, foram coletados dados de consumo diário de ração (CR) e de água (C_{H2O}) e, também, imagens dos animais por meio de câmeras de vídeos. Dessa forma, obtiveram-se dados para a análise de CR diário e para a análise dos padrões comportamentais dos coelhos em intervalos de dois minutos por hora por dia por tratamento. Posteriormente, foram desenvolvidos modelos baseados no sistema *fuzzy* Takagi-Sugeno para predição do CR e de C_{H2O} e, para a predição das alterações comportamentais de coelhos NZB em função das t_{bs} e dias após o desmame dos animais. O sistema de inferência *fuzzy* Takagi-Sugeno foi eficiente em prever o CR e os padrões comportamentais de coelhos quando se relacionou os dados obtidos experimentalmente aos simulados pela lógica *fuzzy*. Os coelhos submetidos à t_{bs} de 32°C tiveram o CR e C_{H2O} afetados, além de redução média de 17,11 g de ganho de massa corporal média acumulado no período quando comparados aos animais submetidos à temperatura de 20°C (conforto). E, também, os coelhos submetidos à t_{bs} de 32°C passaram a maior parte do tempo realizando comportamentos que indicam estresse provocado por calor. Os animais submetidos às t_{bs} de 24 e 28°C apresentaram grande variabilidade no CR e C_{H2O} , bem como, no comportamento de prostrado, indicando que coelhos estavam em desconforto térmico. Desta maneira, simulações realizadas com o sistema *fuzzy* possibilitam o estudo de diversos cenários para se analisar o efeito do ambiente térmico sobre o desempenho dos coelhos NZB, fornecendo informações úteis para auxiliar o produtor na tomada de decisões na manutenção do ambiente térmico em relação ao manejo diário destes animais, visando o aumento de produtividade.

Palavras-chave: Ambiente térmico. Cunicultura. Estresse térmico. *Fuzzy* Takagi-Sugeno.

GENERAL ABSTRACT

Rabbit breeding is a strategic and highly developed activity in several countries, such as China and Portugal, due to its easy handling, high prolificacy, and low polluting impact, well suited to family farming systems, as well as producing meat of high biological value. The objective of this work was to develop a Takagi-Sugeno *fuzzy* system capable of predicting feed intake and behavioral patterns of New Zealand White (NZB) rabbits subjected to chronic high temperature challenges. The experiment was conducted in four air-conditioned wind tunnels, and four air dry-bulb temperatures (t_{db} : 20°C, 24°C, 28°C and 32°C) were tested from the 30th day of life of the animals, for 14 days. Throughout the experimental period, daily feed intake (FI) and water consumption (C_{H2O}) data were collected, as well as images of animals through video cameras. Thus, data were obtained for the analysis of daily FI and for the analysis of behavioral patterns of rabbits at intervals of two minutes per hour per day per treatment. Subsequently, models based on the Takagi-Sugeno *fuzzy* system were developed to predict FI and C_{H2O} and to predict the behavioral changes of NZB rabbits as a function of t_{db} and days after weaning. The Takagi-Sugeno *fuzzy* inference system was efficient in predicting FI and behavioral patterns of rabbits when the experimental data were compared to those simulated by *fuzzy* logic. The rabbits submitted to t_{db} of 32°C had their FI and C_{H2O} affected, as well as a mean reduction of 17.11 g of average body weight gain accumulated in the period when compared to animals submitted to t_{db} of 20°C (comfort). Also, rabbits subjected to t_{db} of 32°C spent most of their time performing behaviors that indicate heat stress. The animals submitted to t_{db} of 24 and 28°C showed great variability in FI and C_{H2O} , as well as in prostrate behavior, indicating that rabbits were in thermal discomfort. In this way, simulations performed with the *fuzzy* system allow the study of several scenarios to analyze the effect of the thermal environment on the performance of the NZB rabbits, providing useful information to assist the producer in the decision making in the maintenance of the thermal environment in relation to the handling diary of these animals, aiming at increasing productivity.

Keywords: Thermal environment. Rabbit breeding. Thermal stress. *Fuzzy* Takagi-Sugeno.

LISTA DE FIGURAS

PRIMEIRA PARTE

Figura 1 -	Macho da raça Nova Zelândia Branco (NZB).	18
Figura 2 -	(a) Coelha NZB preparando o ninho, (b) láparos com um dia de vida, (c) láparos com cinco dias de vida e (d) láparos com doze dias de vida. .	19
Figura 3 -	Láparos Nova Zelândia Branco desmamados com 30 dias de vida.....	19
Figura 4 -	Reprodutores da raça NZB: macho (esquerda) e fêmea (direita).	21
Figura 5 -	Carcaça inteira (esquerda) e principais cortes de carne (direita): 1) osso, 2) filé, 3) lombinho, 4) gordura, 5) coxas dianteiras e 6) coxas traseiras de coelho da raça NZB.	22
Figura 6 -	Curva de crescimento de coelhos Nova Zelândia Branco utilizando o modelo Logístico.	32
Figura 7 -	Operações básicas da lógica <i>fuzzy</i>	37
Figura 8 -	Fluxograma do método Takagi-Sugeno.....	38

SEGUNDA PARTE

ARTIGO 1

FIGURA 1.	Funções de pertinência triangulares para as variáveis de entrada (a) temperatura de bulbo seco do ar ($^{\circ}\text{C}$) e (b) dias após o desmame.	61
FIGURA 2.	Funções de pertinência Singleton para as variáveis de saída (a) consumo de ração diário (g) e (b) consumo de água diário (mL).....	62
FIGURA 3.	Relação funcional entre os valores preditos pelo sistema <i>fuzzy</i> e observados experimentalmente de: (a) consumo de ração (CR, g) e (b) consumo de água ($\text{C}_{\text{H}_2\text{O}}$, mL) para coelhos da raça Nova Zelândia Branco (NZB) com idades entre 30 e 43 dias submetidos a desafios crônicos por altas temperaturas.....	68
FIGURA 4.	Superfícies de resposta do (a) consumo de ração (CR, g) e do (b) consumo de água ($\text{C}_{\text{H}_2\text{O}}$, mL) em função das temperaturas de bulbo seco (t_{bs} , $^{\circ}\text{C}$) e dias após o desmame de coelhos NZB variando de 30 a 43 dias.	69

ARTIGO 2

- FIGURA 1. Funções de pertinência triangulares para as variáveis de entrada (a) temperatura de bulbo seco do ar ($^{\circ}\text{C}$) e (b) dias após o desmame. 83
- FIGURA 2. Funções de pertinência para as variáveis de saída: (a) ingestão (IE, %), (b) normal (NO, %) e (c) indicativo de estresse térmico (IE, %). 84
- FIGURA 3. Relação funcional entre os valores preditos pelo sistema *fuzzy* e observados experimentalmente de: (a) ingestão (IG, %), (b) normal (NO, %) e (c) indicativo de estresse térmico (IE, %) para coelhos da raça Nova Zelândia Branco com idades entre 30 e 43 dias submetido a desafios crônicos por altas temperaturas..... 89
- FIGURA 4. Superfícies de resposta do (a) ingestão (%), (b) normal (%) e (c) indicativo de estresse térmico (%) em função das temperaturas de bulbo seco do ar (t_{bs} , $^{\circ}\text{C}$) e dias após o desmame de coelhos NZB variando de 30 a 43 dias..... 90

LISTA DE TABELAS

PRIMEIRA PARTE

Tabela 1 -	Composição da carne de diferentes espécies animais (por 100g de carne).....	23
Tabela 2 -	Recomendações de área mínima para criação de coelhos em gaiolas de acordo com Moura (2010) e Rios et al. (2011).....	29
Tabela 3 -	Etograma dos principais comportamentos de coelhos e sua descrição.....	31
Tabela 4 -	Consumo médio diário de ração de coelhos nas diferentes fases de produção.....	33
Tabela 5 -	Estudos encontrados na literatura que utilizam a metodologia <i>fuzzy</i>	35

SEGUNDA PARTE

ARTIGO 1

TABELA 1.	Valores médios e desvios padrões de temperatura de bulbo seco (t_{bs}) e umidade relativa (UR) do ar no interior dos túneis de vento climatizados obtidos em cada bateria experimental e tratamento aplicado.....	59
TABELA 2.	Conjuntos <i>fuzzy</i> para as variáveis de entrada.....	61
TABELA 3.	Valores médios acumulados aos 14 dias de massa corporal (MC, g) aos 30 e 43 dias de vida, consumo diário de ração (CR, g dia ⁻¹), consumo diário de água (C _{H2O} , mL dia ⁻¹), ganho de massa corporal (GMC, g) e conversão alimentar (CA, g g ⁻¹) de acordo com cada tratamento (t_{bs} , °C).....	64
TABELA 4.	Comparação dos valores de diários de consumo de ração (CR, g dia ⁻¹) e consumo de água (C _{H2O} , mL dia ⁻¹) obtidos experimentalmente (ME) e simulados pelo modelo <i>fuzzy</i> (SF).....	65
TABELA 5.	Índices estatísticos para avaliar a acurácia dos modelos de inferência <i>fuzzy</i> Takagi-Sugeno em prever os consumos diários de ração (CR) e água (C _{H2O}) em função da temperatura de bulbo seco do ar (t_{bs}) e dias após o desmame dos coelhos NZB.	67

ARTIGO 2

TABELA 1.	Etograma dos comportamentos observados por categoria (ingestão, normal e indicativo de estresse térmico).....	81
TABELA 2.	Pontuação atribuída aos padrões comportamentais dos coelhos Nova Zelândia Branco.	82
TABELA 3.	Conjuntos <i>fuzzy</i> para as variáveis de entrada.	83
TABELA 4.	Comparação dos valores de frequência de ocorrência de comportamento de ingestão (IG, %), normal (NO, %) e indicativo de estresse térmico (IE, %) obtido experimentalmente (ME) e simulados pelo modelo <i>fuzzy</i> (SF).....	86
TABELA 5.	Índices estatísticos para avaliar o desempenho do modelo de inferência <i>fuzzy</i> Takagi-Sugeno em prever as variáveis de saída ingestão (IG, %), normal (NO, %) e indicador de estresse térmico (IE, %) em função da t_{bs} e dias pós-desmame de coelhos Nova Zelândia Branco.	88

LISTA DE UNIDADES DE MEDIDAS

%	Porcentagem
°C	Graus Celsius
cm	Centímetros
g dia ⁻¹	Gramas por dia
g g ⁻¹	Gramas por gramas
g	Gramas
kg	Quilogramas
lux	Intensidade luminosa
m s ⁻¹	Metros por segundo
m ²	Metros quadrados
mg kg ⁻¹	Miligramas por quilo
mL animal ⁻¹ dia ⁻¹	Mililitros por animal por dia
mL dia ⁻¹	Mililitros por dia
mL kg ⁻¹ PV ⁻¹ dia ⁻¹	Mililitros por quilo de peso vivo por dia

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

$A_{ij}(x_j)$	Conjunto <i>fuzzy</i>
A_{ij} e B_i	Termos linguísticos (conjuntos <i>fuzzy</i>)
P_{io}	Número observado experimentalmente
P_{is}	Número simulado (predito pelo modelo)
$R_{(i)}$	É a i-ésima regra
$x_j, j = 1, 2, \dots, v$	Variáveis linguísticas do antecedente (entradas)
y_i	Variável do conseqüente (saída)
y_i	Valor de saída de cada regra ativada.
μ_i	Grau de pertinência de cada regra ativada;
CA	Conversão alimentar, $g\ g^{-1}$
C_{H_2O}	Consumo de água, mL
CO_2	Gás carbono
CR	Consumo de ração, g
d_i	Diferença entre o simulado e o observado
EFSA	<i>European Food and Safety Authority</i>
FAOSTAT	<i>Food And Agriculture Organization Of The United Nations</i>
L	Número de regras
MAE	Erro Absoluto Médio (<i>Mean Absolute Error</i>)
MAPE	Erro Percentual Absoluto Médio (<i>Mean Absolute Percentage Error</i>)
ME	Erro Médio (<i>Mean Error</i>)
MSE	Erro Quadrático Médio (<i>Mean Square Error</i>)
N	Sempre o número de eventos
NH_3	Amônia
NSE	Coefficiente de Nash-Sutcliffe
NZB	Nova Zelândia Branco
R^2	Coefficiente de Correlação Linear
RMSE	Raiz do Erro Quadrado Médio (<i>Root Mean Square Error</i>)
t	Tempo do medido ou simulado
t_{ar}	Temperatura do ar, °C
t_{bs}	Temperatura do bulbo seco, °C
t_{gn}	Temperatura de globo negro, °C

UR	Umidade Relativa, %
z	Consequente da regra
i	Ponto do espaço bidimensional
m	Número total de regras;

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE.....	14
1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo geral	16
2.2	Objetivos específicos.....	16
3	REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1	Características do coelho doméstico	17
3.1.1	Classificação das fases de vida dos coelhos Nova Zelândia Branco (NZB).	18
3.1.2	Influência do sexo e da idade do animal.....	21
3.2	Produção de coelhos NZB	21
3.2.1	Qualidade da carne e produtos oriundos da criação de coelhos	23
3.3	Influência do ambiente térmico no conforto dos coelhos.....	24
3.3.1	Respostas fisiológicas	26
3.4	Comportamento dos coelhos.....	27
3.4.1	Comportamento do coelho silvestre	27
3.4.2	Comportamento dos coelhos confinados	28
3.4.3	Avaliação do comportamento	30
3.5	Consumo alimentar durante a fase de crescimento	31
3.6	Inteligência computacional e metodologia <i>fuzzy</i>.....	34
3.6.1	Lógica <i>fuzzy</i>	35
3.6.1.1	Sistema de inferência tipo Takagi-Sugeno	36
3.6.1.2	Sistema de inferência tipo Mamdani	39
3.7	Índices estatísticos para avaliar as acurácias de modelos de inferência <i>fuzzy</i> Takagi-Sugeno.....	40
4	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	43
	REFERÊNCIAS	44
	SEGUNDA PARTE – ARTIGOS	53
	ARTIGO 1 - MODELAGEM FUZZY DO CONSUMO ALIMENTAR DE COELHOS DA RAÇA NOVA ZELÂNDIA BRANCO SUBMETIDOS A DESAFIOS CRÔNICOS POR ALTAS TEMPERATURAS	53

**ARTIGO 2 - MODELAGEM FUZZY DO PADRÃO
COMPORTAMENTAL DE COELHOS DA RAÇA NOVA ZELÂNDIA
BRANCO SUBMETIDOS A DESAFIOS CRÔNICOS POR ALTAS
TEMPERATURAS. 75**

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

A cunicultura é uma atividade bastante desenvolvida em diversos países, como China e Itália, devido à facilidade em seu manejo, a alta prolificidade, por apresentar baixo impacto poluidor, se enquadrar bem em sistemas próprios de agricultura familiar, além de produzir carne de alto valor biológico. Apesar disso, este ramo do agronegócio é pouco desenvolvido no Brasil considerando o elevado potencial agrícola do país.

O setor de cunicultura passa por inúmeras dificuldades relacionadas à tecnologia de produção e deficiência organizacional na cadeia produtiva, o que contribui para elevar o custo de produção. E, para superar esses desafios, é de fundamental importância conhecer os parâmetros que afetam essa atividade de forma a obter e conjugar a máxima produtividade de coelhos associada a um custo de produção menor.

Dentre esses parâmetros, destacam-se a preocupação com a nutrição, o manejo, a sanidade, o melhoramento genético e, também, a ambiência. Observa-se que, existe uma escassez de trabalhos recentes, principalmente, relacionados à ambiência na produção de coelhos quando comparado a outras atividades produtivas como, por exemplo, avicultura e suinocultura.

O ambiente térmico afeta o desempenho produtivo dos animais quando expostos a condições de estresse térmico, comprometendo o bem-estar, o crescimento e a produção. Em função disto, os animais que são criados em ambientes térmicos caracterizados como sendo a zona de termoneutralidade evitam o desperdício de energia metabólica contida na ração e gastam o mínimo para a manutenção da temperatura corporal. Entretanto, os limites de termoneutralidade são fixados por meio de medidas indiretas, como a temperatura do ar, umidade relativa, ventilação entre outras variáveis ambientais que geram imprecisão na análise das reais necessidades ambientais para os animais, em função da grande quantidade de fatores relacionados.

Para que se inicie um sistema de produção de coelhos é necessária a construção de uma instalação zootécnica que garanta comodidade aos animais, higiene, facilidade de manejo e conforto térmico. Deve-se considerar principalmente, as condições ambientais e, ainda, a quantidade de animais que se pretende produzir para que isso não comprometa, mas aumente a produtividade e os lucros do coelhário.

Os coelhos criados em ambiente de produção podem estar submetidos a muitos fatores estressantes como, por exemplo, altas temperaturas e, viver em condições limitantes em gaiolas, o que pode favorecer a ocorrência de comportamentos atípicos.

Dessa forma, observar os padrões comportamentais dos coelhos pode ser uma maneira eficaz para comparar diferentes condições de manejo e identificar a ocorrência de possíveis comportamentos anormais como, comportamentos agonísticos e estereotipados que podem ser sinais de frustração e ansiedade tendo como consequência a redução do bem-estar.

No Brasil, tem-se utilizado técnicas computacionais de inteligência artificial que visam resolver problemas na área de ambiência das quais pode-se destacar a modelagem *fuzzy*, sendo um método confiável que pode considerar as diversas associações entre o ambiente térmico de criação e a estimativa do bem-estar dos animais.

Desta maneira, a utilização do sistema de inferência *fuzzy* Takagi-Sugeno pode contribuir para o avanço nas pesquisas relacionadas ao conforto térmico na criação de coelhos em condições de clima quente.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar e modelar o consumo alimentar e os padrões comportamentais de coelhos Nova Zelândia Branco (NZB) submetidos a desafios crônicos por altas temperaturas durante quatorze dias após o desmame.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar o ambiente térmico em que os coelhos NZB foram submetidos a diferentes desafios térmicos (20°C, 24°C, 28°C e 32°C) por meio da temperatura do bulbo seco do ar (t_{bs}) e umidade relativa do ar (UR);
- Mensurar consumo diário de ração e de água e, a massa corporal inicial e final dos coelhos durante os quatorze dias após o desmame, ou seja, de 30 até 43 dias de idade;
- Avaliar os parâmetros comportamentais dos coelhos NZB submetidos a desafios crônicos por altas temperaturas;
- Desenvolver modelos baseados na teoria dos conjuntos *fuzzy* para predição do consumo de ração (CR) e de água (C_{H2O}), bem como prever as alterações comportamentais de coelhos NZB em função das variáveis do ambiente térmico e idade dos animais.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

No referencial bibliográfico, será realizada uma abordagem das principais características do coelho doméstico bem como, a utilização da raça de coelho Nova Zelândia Branco (NZB) para a produção de carne, suas fases de vida, o desempenho produtivo na fase de crescimento e os principais tipos de comportamentos dos animais quando alojados em ambiente de produção. E, também, demonstrando como os efeitos do ambiente térmico podem interferir no desempenho animal e no comportamento dos coelhos NZB quando submetidos a desafios crônicos por altas temperaturas. Também, será descrito os princípios da metodologia *fuzzy* Takagi-Sugeno para a sua utilização na predição de parâmetros de consumo alimentar e comportamento dos coelhos NZB.

3.1 Características do coelho doméstico

O coelho doméstico (*Oryctolagus cuniculus*) é de origem europeia e caracteriza-se por ser um animal bastante ativo, altamente prolífero, bastante sociável e de hábitos noturnos. Apresenta muitas vantagens, tais como, adaptação ao consumo de alimentos fibrosos, por ser herbívoro, período gestacional curto de apenas 31 dias, podendo parir em média de 8 a 12 lâparos por gestação (FERREIRA et al., 2012; SCAPINELLO, 1986) e, é considerado um animal com grande aptidão para a produção de carne e pele (FERREIRA et al., 2012).

A escolha da raça do coelho irá influenciar diretamente na quantidade de carne produzida, pois, embora as raças gigantes (ex: Gigante de Flandres Branco, Gigante de Bouscat, etc.) sejam mais pesados, o seu rendimento líquido em carne é menor e, também, a qualidade de carne é muito inferior quando comparado às raças médias (ex: Nova Zelândia Branco, Califórnia e Chinchila) (PIRES, 2012).

Sendo assim, segundo Machado et al. (2012), a raça de coelho Nova Zelândia Branco (Figura 1), originária dos Estados Unidos (EUA), é considerada a raça mais criada mundialmente por apresentar boa proporção corporal, garupa arredondada, região lombar musculosa e costelas com boa abertura muscular o que propicia carcaças de ótima qualidade e rendimento (cerca de 60% com a cabeça). Além disto, são animais de tamanho médio, muito rústicos e altamente precoces chegando a pesar de 1,8 a 2,0 kg em oito a dez semanas, por ter uma maior capacidade de assimilação de alimentos ou conversão alimentar.

Figura 1 - Macho da raça Nova Zelândia Branco (NZB).



Fonte: Da autora (2018).

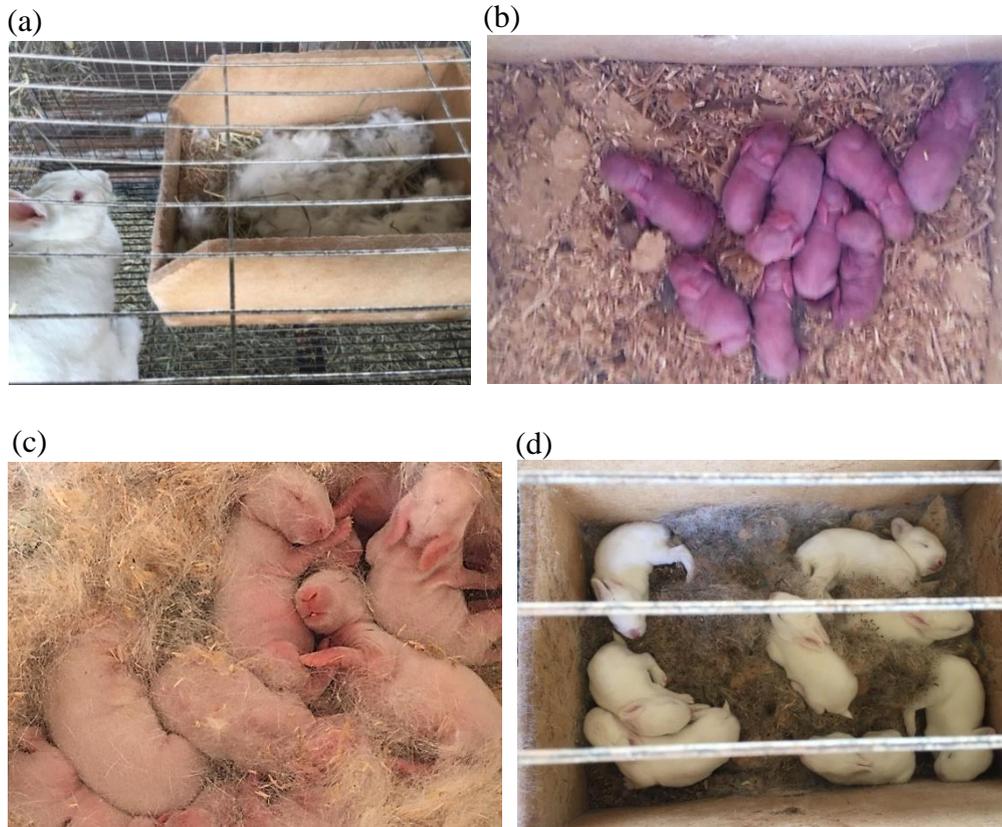
A pele do coelho NZB é possível de ser comercializada, principalmente, no mercado Europeu, devido à possibilidade do tingimento da pele em diversas cores e devido à pelagem ser uniforme, brilhante e densa (MACHADO, 2012).

3.1.1 Classificação das fases de vida dos coelhos Nova Zelândia Branco (NZB)

Segundo Machado et al. (2016), Jaruche (2013) e Ferreira et al. (2012), as etapas de vida de um coelho podem ser divididas em:

- lápares lactantes (Figura 2): os animais se alimentam exclusivamente de leite até os 17 dias de idade. A partir do 18° até o 28° ou até o 35° dia de vida, os lápares começam a comer, gradativamente quantidades de alimentos sólidos devido ao fato de deixarem o ninho e reproduzir alguns hábitos da mãe sendo esse o primeiro contato deles com os alimentos sólidos. Neste período, são submetidos a um rápido desenvolvimento a partir de uma dieta quase exclusiva de leite, para uma dieta sólida;

Figura 2 - (a) Coelha NZB preparando o ninho, (b) láparos com um dia de vida, (c) láparos com cinco dias de vida e (d) láparos com doze dias de vida.



Fonte: Da autora (2018).

- láparos jovens desmamados (Figura 3): os animais podem ser desmamados a entre 28 a 42 dias de vida, pois a partir dessa idade a matriz já não produz ou produz muito pouco leite e os filhotes já estão adaptados a ingestão de ração e volumoso em quantidades suficientes para o seu crescimento e desenvolvimento;

Figura 3 - Láparos Nova Zelândia Branco desmamados com 30 dias de vida.



Fonte: Da autora (2018).

- lápáros em crescimento ou engorda: a primeira etapa que compreende dos 35 aos 50 dias de idade, os animais ainda não produzem todas as enzimas necessárias para a digestão de alimentos sólidos e devido à má digestão podem ocorrer diarreias nesse período e, além disso, os coelhos são submetidos ao estresse de iniciarem uma nova vida sem a mãe o que pode favorecer a ocorrência de transtornos digestivos e assim, interferir em seu desempenho produtivo. Na segunda etapa (51 a 70 dias de vida), ocorre o período de engorda e os animais passam a consumir mais ração até obterem o peso ideal para o abate de 2,3 a 3,0 kg (MACHADO et al., 2016) aos 70 dias de vida. De acordo com Jaruche (2013), comumente, recomenda-se que seja realizado o abate aos 70 dias, pois a partir dessa idade os coelhos passam a comer mais ração e ganham menos peso. E, além disso, a carne de um animal aos 70 dias é bem mais tenra do que animais de 90 ou 120 dias;
- puberdade dos coelhos: inicia-se a partir dos 90 dias. A puberdade é quando os animais entram em atividade reprodutiva, que geralmente ocorre aos quatro meses nas coelhas e aos seis meses nos coelhos. No entanto, esses animais ainda se encontram em crescimento, ou seja, esses animais poderão crescer até atingir aproximadamente 80% do peso vivo adulto (de aproximadamente 3,6 a 4,0 kg);
- reprodutor (Figura 4): após sete meses de idade o coelho já pode ser considerado um reprodutor tendo o seu crescimento estagnado. Para que se favoreça a variabilidade genética é sugerido que machos e fêmeas sejam oriundos de localidades diferentes (FERREIRA et al., 2012). De acordo com Moura (2007) o ideal é que se tenham dez fêmeas para um macho (1:10). Os coelhos de porte médio, como os coelhos da raça NZB, devem permanecer no plantel para reprodução por um período máximo de três anos de idade. É importante ainda que os animais possuam características específicas da raça permitindo transmiti-las aos seus futuros filhos (FERREIRA et al., 2012). Segundo Ferreira et al. (2012), para apresentar características ideais como peso adequado, conformação corpórea, saúde e vivacidade é necessário se fazer um processo de seleção genética. O acasalamento deve ser realizado preferencialmente em épocas próximas ao cio da fêmea ou no cio, porém caso não queira esperar pode ser realizada a monta forçada já que a ovulação da coelha é induzida por estímulos sexuais (COUTO, 2002; MOURA, 2007). Para ser considerada uma boa matriz, a fêmea deve parir de 8 a 12 lápáros por gestação (FERREIRA et al., 2012).

Figura 4 - Reprodutores da raça NZB: macho (esquerda) e fêmea (direita).



Fonte: Da autora (2018).

3.1.2 Influência do sexo e da idade do animal

Na maioria das espécies, os machos possuem um potencial maior de crescimento do que as fêmeas. Entretanto, na produção de coelhos, este fato não é relevante, pois os coelhos são abatidos antes de atingir a maturidade sexual, momento no qual as diferenças sexuais se tornariam mais marcantes (HERNANDEZ; LOZANO, 2010).

Portanto, segundo Dalle Zotte (2002) e Pires (2012), o sexo dos coelhos não é um fator influente no desempenho produtivo dos animais em crescimento, contudo, apesar de não se observar muita diferença entre fêmeas e machos no início do período de desenvolvimento observa-se que, com o passar da idade, em ambos os sexos, quanto mais velhos os coelhos forem, maior será o rendimento e a rigidez de carne.

Em um estudo realizado por Dalle Zotte (2002), notou-se que embora os animais machos e fêmeas tenham apresentado pesos finais semelhantes, os machos obtiveram maiores aumentos no peso e no consumo de ração e, piora na conversão alimentar com o aumento da idade, pois com o avanço da idade dos coelhos haverá maior tendência para se acumular gordura.

3.2 Produção de coelhos NZB

De acordo com os dados obtidos do sistema *Food And Agriculture Organization Of The United Nations* (FAOSTAT), no ano de 2017, a produção mundial de carne de coelhos atingiu 1.600.000 toneladas. Considerando a produção mundial por região, a Ásia, no ano de

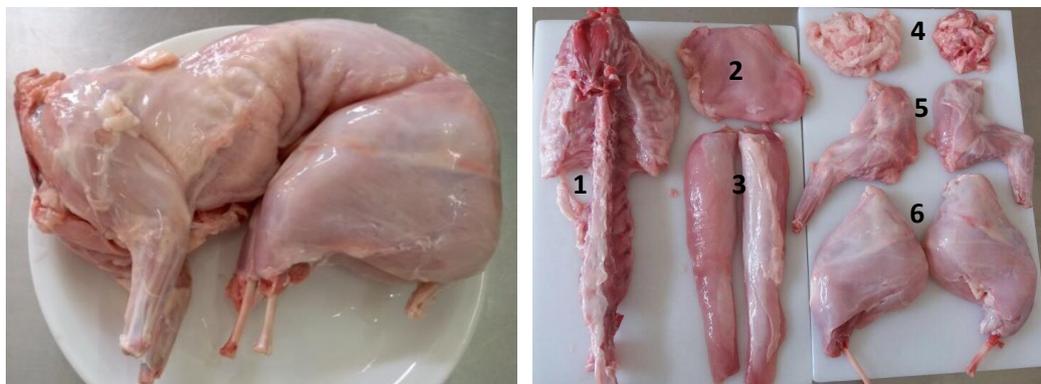
2017, foi à região que mais produziu carne de coelho com 58,9% do total da produção mundial, seguindo-se da Europa com 33,5% e a África com 6,1% (FAOSTAT, 2017).

No Brasil, o consumo de carne de coelho ainda é pequeno frente ao consumo de outros países, principalmente da Europa, além disso, é difícil encontrar documentos que informem sobre a produção e consumo de carne de coelhos no país, pois a maior parte dos coelhos é abatida sem fiscalização fazendo com que esses registros não cheguem aos órgãos controladores proporcionando dados estatísticos inexatos (MACHADO et al., 2016).

Segundo a Associação Científica Brasileira de Cunicultura (ACBC, 2017), no Brasil quase não se comercializa a carne de coelho processada ou em cortes, geralmente, a carne é vendida como coelho inteiro (Figura 5) desossado podendo atingir, em determinados locais, o valor de R\$ 25,00 kg⁻¹. De acordo ainda com a associação, o coelho vivo para o abate com massa corporal entre 2,5 a 3,0 kg pode ser vendido ao frigorífico a um valor médio de R\$ 8,00 kg⁻¹ de coelho vivo.

O rendimento médio de carne de um coelho pode ser obtido por meio do rendimento líquido que é a porcentagem de carne limpa somando-se o peso do couro, cabeça, patas, sangue e vísceras e, diminuindo do peso vivo do animal. Sendo assim, um coelho com 3,0 kg de peso vivo, teria um rendimento líquido 1,8 kg de carne, podendo esse valor variar para maiores ou menores devido a fatores relacionados com a idade, raça, sexo, precocidade, estado de gordura ou magreza, alimentação entre outros (RURAL NEWS, 2014).

Figura 5 - Carcaça inteira (esquerda) e principais cortes de carne (direita): 1) osso, 2) filé, 3) lombinho, 4) gordura, 5) coxas dianteiras e 6) coxas traseiras de coelho da raça NZB.



Fonte: Da autora (2018).

3.2.1 Qualidade da carne e produtos oriundos da criação de coelhos

Segundo Ferreira et al. (2012), Hernández (2008) e Zeferino (2009), a carne cunícula possui algumas vantagens quando comparadas as carnes de frango, suíno e vitelo por ser mais nutritiva, rica em ferro e proteínas de alta digestibilidade, possui baixo teor de gordura e colesterol (menor do que a carne suína e a de frango) (Tabela 1), está associada a um perfil favorável de ácidos graxos poli-insaturados, é um produto alimentar saudável, de fácil digestão (LEBAS; OUHAYOUN, 1987) e com baixo nível de sódio ($41 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) (USDA, 2005).

Tabela 1 - Composição da carne de diferentes espécies animais (por 100g de carne).

Tipo de carne	Peso (kg)	Proteína (%)	Gorduras (%)	Água (mg)	Colesterol (mg)	Aporte energético (kcal)	Ferro (mg)
Vitelo	150	14 a 20	8 a 9	74	70 a 84	170	2,2
Suíno	80	12 a 16	30 a 35	52	70 a 105	290	1,7
Cordeiro	10	11 a 16	20 a 25	63	75 a 77	250	2,3
<u>Coelho</u>	<u>1,0</u>	<u>19 a 25</u>	<u>3 a 8</u>	<u>70</u>	<u>25 a 50</u>	<u>160 a 200</u>	<u>3,5</u>
Frango	1,3 - 1,5	12 a 18	9 a 10	67	81 a 100	150 a 195	1,8
Ovo de galinha	0,06	12 a 13	10 a 11	65	213	150 a 160	1,4

Fonte: Adaptado de González (2006).

Para o consumo humano, a carne possui uma quantidade significativa de cálcio ($13 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$), fósforo ($213 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) (USDA, 2005), ácido nicotínico sendo $13 \text{ mg } \text{kg}^{-1}$ de carne (WILLIAMS, 2007), vitaminas do complexo B (COMBES, 2004) sendo recomendada para idosos e crianças (DALLE e ZOTTE, 2000), não contém ácido úrico e tem um baixo teor de purinas (HERNÁNDEZ et al., 2008).

Outros produtos, além da carne, apresentam boa procura no mercado como: as vísceras comestíveis, a pele demandada pela indústria de roupas, o couro que é utilizado na substituição da camurça na produção de luvas, bolsas e calçados e, os dejetos que podem ser utilizados como insumos biológicos em plantações, principalmente, de hortaliças e flores quando tratado adequadamente pelo processo de vermicompostagem (BONAMIGO et al., 2015).

3.3 Influência do ambiente térmico no conforto dos coelhos

O desempenho dos coelhos está relacionado diretamente com os fatores ligados a ambiência, visto que estes animais apresentam grande sensibilidade às condições do meio, principalmente no tocante à temperatura do ar (RESENDE et al., 2012).

Os fatores ambientais que mais influenciam o bem-estar e, conseqüentemente, a saúde, reprodução e a produção dos coelhos são representados pela temperatura do ar (t_{ar} , °C), umidade relativa (UR, %), ventilação ($m\ s^{-1}$), fotoperíodo (SILOTO et al., 2008; ZEFERINO, 2009), poluição sonora, odorífera (FERREIRA, 2005) e insolação (FERREIRA et al. (2012).

Um relatório científico publicado em 2005 pela *European Food and Safety Authority* (EFSA) destacou a importância dos fatores ambientais principalmente, t_{ar} e UR, sobre a incidência de doenças em coelhos destacando a escassez de pesquisas a respeito das condições ambientais e de manejo na criação de coelhos desmamados.

Lebas et al. (1996) destacam que a domesticação do coelho é relativamente recente, datada na Idade Média, estando estes animais ainda em adaptação ao novo sistema de vida o que favorece a maior susceptibilidade frente às alterações bruscas de intempéries e de manejo por não possuírem glândulas sudoríparas tegumentares, fazendo com que a dispersão do calor pela pele seja praticamente nula, o que torna esses animais menos eficientes em realizar a termorregulação por sudorese e a resistirem a temperaturas elevadas (FERREIRA et al., 2012; HILL et al. 2014; KLINGER e TOLEDO, 2018).

Para que a criação de coelhos seja eficiente é necessário determinar a interação entre fatores genéticos, nutricionais e, principalmente, os relacionados ao ambiente de produção (ZEFERINO, 2009).

Neste sentido, as instalações zootécnicas devem ser construídas com o propósito de amenizar o efeito do ambiente sobre o desempenho produtivo dos coelhos que, por consequência, fará com que a produtividade aumente evitando assim, problemas reprodutivos, aumento de doenças e prejuízos financeiros provocados pelo desconforto térmico desses animais (FERREIRA et al., 2012; ZEFERINO, 2009).

De acordo com Zeferino et al. (2011), Oliveira (1999), Lebas et al. (1996), Centoducati et al. (1990) e Muller (1989), para um bom desempenho zootécnico, os coelhos acima de 20 a 30 dias de vida devem ser criados em intervalo de t_{ar} compreendido entre 15 e 20°C, tendo conseqüências imediatas quando acima dessa faixa, como o aumento no consumo de água e redução no consumo de alimento, causando redução nos níveis de energia e

nutrientes, podendo assim, comprometer a produtividade do plantel (JARUCHE et al., 2012; VERGA et al., 2007).

Por sua vez, os filhotes recém-nascidos são incapazes de manter a temperatura corporal necessária ao bom funcionamento do seu organismo por possuírem o seu sistema termorregulatório pouco desenvolvido, sendo necessário que durante os primeiros dias de vida, a t_{ar} no ninho oscile entre 30 a 35°C para manter o conforto da ninhada, protegendo a saúde e o desenvolvimento dos filhotes (CRESPI, 2016).

Deve-se ressaltar que os coelhos são mais sensíveis aos altos valores de t_{ar} , sendo que, as variações bruscas de t_{ar} são mais nocivas que a mudança gradual fora da zona de conforto (FERREIRA et al., 2012).

Por sua vez, a UR é muito variável ao longo do dia e possui alta relação com a t_{ar} , sendo um fator difícil de ser controlado e altamente prejudicial ao animal (LEBAS et al., 1996). A UR ideal estaria entre 60 e 70%, sendo que, a UR muito alta prejudica a troca de calor com o ambiente e a UR muito baixa prejudica as vias respiratórias dos animais (FERREIRA et al., 2012; MOURA, 2010).

Além da t_{ar} e UR, também se deve levar em consideração as condições de ventilação do ambiente que deve ser a mínima para se eliminar gases nocivos como, amônia (NH_3) resultante na decomposição da urina e gás carbono (CO_2), renovar conteúdo de oxigênio e favorecer as trocas gasosas entre o animal e o ambiente (HOY; VERGA, 2006).

Duarte e Carvalho (1979) afirmaram que a velocidade ideal do ar é de $0,2 \text{ m s}^{-1}$ visando à renovação higiênica do ar.

Outra condição que pode interferir na rentabilidade da produção é a iluminação que deve ser homogênea distribuindo bem os pontos de luz dentro do galpão de produção. Devido ao fato do animal possuir hábitos crepusculares (de baixa intensidade luminosa), variações na intensidade luminosa podem alterar a estabilidade do meio ao qual refletirá no bem-estar dos animais (HOY; VERGA, 2006). Segundo Verga et al. (2007) e Moura (2010), coelhos NZB devem ficar expostos a 12 horas de luz diárias com intensidade luminosa de 20 lux durante a fase de crescimento.

Portando, os animais em geral que são mantidos em espaço confinado devem estar submetidos à mínima faixa de variação diária dos fatores ambientais térmicos para, deste modo, evitar o aumento das exigências metabólica e comportamental em compensação às mudanças térmicas ambientais (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1996).

3.3.1 Respostas fisiológicas

Os coelhos são animais homeotérmicos e mais sensíveis a condições de temperaturas do ar elevadas por serem menos eficientes em realizar a termorregulação por sudorese (LIMA et al., 2013), limitando a sua capacidade de eliminar o excesso de calor corporal.

De acordo com Marai et al. (2002), os coelhos utilizam a posição geral do corpo, a taxa de respiração e a temperatura periférica como os três principais meios para aumentar a perda de calor. Quando a temperatura do ar se encontra acima do intervalo que varia de 25 a 30°C, os coelhos se esticam e erguem as orelhas para perder o máximo de calor possível por radiação e convecção (LEBAS et al., 1987).

Por isso, quando os ajustes comportamentais já não apresentam mais efeito para a manutenção da homeotermia, o aumento da frequência respiratória (FR) torna-se um dos mecanismos necessários para estimular a perda de calor por via evaporativa (FERREIRA, 2012; RESENDE et al. 2012; e ZEFERINO et al., 2011).

De acordo com Zeferino (2009), além da FR, a temperatura da superfície do corpo e, principalmente das orelhas são utilizadas pelos coelhos para dissiparem o calor excedente. Por sua vez, a temperatura corpórea interna expressa as condições térmicas reais do corpo (FINZI et al., 1988) mesmo que um pouco inferior à temperatura central do animal. Assim, a temperatura retal (TR) pode ser considerada como um bom indicativo da temperatura corpórea interna (ZEFERINO et al., 2011).

Desta maneira, Manning et al. (1994) e Zeferino et al. (2011) mencionaram que, para coelhos em repouso, a FR varia entre 32 e 60 respirações min^{-1} e a temperatura retal normal em adultos da raça Nova Zelândia Branca, varia de 38,5 a 39,5°C em condições de conforto (intervalo de t_{ar} compreendida entre 15 e 20°C).

Ferreira et al. (2017) verificaram aumento na FR de 50 para 204 respirações min^{-1} em coelhos NZB e Botucatu em ambientes cuja temperatura do ar aumentou de 20 para 32°C, indicando um desconforto que pode comprometer outros processos fisiológicos e comportamentais dos animais.

Finzi et al. (1988), observaram que ao submeterem coelhos NZB ao estresse térmico com temperatura ambiente de 30°C, houve um aumento da FR para 232 respirações min^{-1} comprovando que a temperatura ambiente fora da zona de conforto dos coelhos é correlacionada diretamente com o aumento da FR.

Em decorrência disso, Resende et al. (2012) propuseram a realização de tosquia dos coelhos no verão para facilitar a troca de calor, sendo esta dissipada diretamente da superfície

cutânea para o ambiente, o que, segundo Maia et al. (2009), não ocorre quando a superfície cutânea do animal está coberta por uma capa densa de pêlos, na qual a troca de calor do corpo com o ambiente é determinada pelo isolamento térmico proporcionado pela capa.

Resende et al. (2012) observaram que coelhos tosquiados apresentaram menor TR quando comparados aos animais não tosquiados. A TR dos animais tosquiados apresentou-se normal com 38,5°C (FINZI et al., 1988), enquanto que, a TR dos animais não tosquiados chegou a 39,8°C.

Segundo Nããs (1989), esta variação na TR se deve ao acúmulo de calor no organismo animal, devido ao excesso de calor recebido do ambiente e somando à produção de calor interna durante o período em que o animal ficou exposto a alta temperatura e, também, pela incapacidade dos mecanismos termorreguladores em eliminar o excedente.

Outro órgão importante que contribui nas trocas de calor com o ambiente são as orelhas visto que, as orelhas são altamente vascularizadas e representam porcentagem relativamente grande da área da superfície corporal, aproximadamente 12% (ZEFERINO, 2009).

Ludwig et al. (2007) observaram variações de temperatura do ar de acordo com os diferentes estressores aplicados em coelhos, com isso, os autores sugeriram que o melhor lugar para analisar uma possível condição de estresse é a pele da orelha. Gonzalez et al. (1971) verificaram que a temperatura superficial média da pele aumenta 3°C, quando a temperatura ambiental se eleva de 20 a 30°C.

Por isso, conhecer a influência do ambiente térmico nas respostas fisiológicas dos animais possibilita compreender os efeitos do calor na criação de coelhos em países de clima quente, como o Brasil.

3.4 Comportamento dos coelhos

3.4.1 Comportamento do coelho silvestre

Dixon et al. (2010) destacam que os coelhos silvestres vivem em grupos sociais e passam a maior parte do tempo em túneis subterrâneos, sendo estes cavados pelos próprios animais e, geralmente, podem ser bem extensos e conter várias entradas (WILLIAMS et al., 1995). De acordo com Dekker et al. (2006), estes túneis extensos têm como finalidade a proteção dos animais, uma vez que eles podem ser usados para percorrer distâncias maiores sem que haja risco de predação.

Os coelhos somente saem dessas tocas após o pôr-do-sol e retornam quando o sol nasce (VERGA et. al., 2004). Com isso, durante o período em que os coelhos ficam na superfície, eles se alimentam, marcam território e, também, demonstram comportamento de alerta com relação aos predadores, sendo fácil observar coelhos de guarda no acesso as tocas (BARROS, 2011). Segundo Trocino e Xiccato (2006) e Monclus et al. (2005), ao avistarem um predador os coelhos batem as patas traseiras no chão para alertar os demais sobre um perigo iminente sendo este o comportamento mais importante, dentro e fora dos túneis, em termos de sobrevivência.

O coelho silvestre possui um hábito exploratório bem evidenciado no comportamento de cheirar e cavar o ambiente ao seu redor, fazendo com que na maioria das vezes, este tipo de comportamento esteja associado ao hábito de roer os objetos encontrados (TROCINO; XICCATO, 2006).

De acordo com Trocino e Xiccato (2006), coelhos silvestres demonstram uma complexa atividade social passando a maior parte do tempo descansando em grupos ou em contato direto uns com os outros.

3.4.2 Comportamento dos coelhos confinados

Os coelhos domésticos modificam consideravelmente os padrões comportamentais quando mantidos em gaiolas devido à limitação do espaço disponível (MARTRENCAR et al., 2001). A maioria dos produtores cunículas, geralmente, criam os coelhos em pequenas gaiolas com elevada densidade de animais, muitas vezes acima de 16 coelhos m⁻² (TROCINO; XICCATO, 2006; XICCATO et al., 2013).

Sendo assim, recomenda-se que as gaiolas para criação de coelhos devem favorecer o conforto dos animais, de acordo com seu desenvolvimento ou estágio fisiológico conforme listado na Tabela 2:

Tabela 2 - Recomendações de área mínima para criação de coelhos em gaiolas de acordo com Moura (2010) e Rios et al. (2011).

Fases de produção	Área (m ²)	Lotação máxima gaiola ⁻¹
Láparos jovens em crescimento	0,08	10 animais
Reposição (machos e fêmeas)		
Reprodutores	0,33	1 animal
Matrizes gestantes		
Lactantes	0,48	1 animal

De acordo com Garcia (2017), a alta taxa de lotação ou uma área pequena por animal em gaiolas podem interferir na frequência de movimentos dos coelhos e, nessas condições, os animais não conseguem expressar o seu comportamento natural como, por exemplo, alongar e saltar. E, esses tipos de restrição podem causar frustração no animal e afetar o seu bem-estar (BARROS, 2011; DRESHER, 1996).

Para Princz et al. (2005) e Bozicovich (2015), os coelhos são caracterizados por serem animais tranquilos, mas, se forem alojados em grupos grandes (acima de oito animais) podem agir de maneira agressiva, principalmente entre machos na época da maturidade sexual. No entanto, esse comportamento geralmente não se manifesta em fêmeas se criadas desde filhotes juntas. Os autores ainda destacaram que em pequenos grupos de até quatro indivíduos, os coelhos não apresentam comportamento agonístico entre eles.

Medina (2011) relatou que coelhos alojados em pequenos grupos aumentaram o contato social demonstrando atividades amigáveis como descansar agrupados e manter cuidados recíprocos, porém quando alocados em grupos grandes ocorreu à incidência de comportamento agonístico e de lesões.

Parte da comunicação entre os coelhos confinados ainda é da mesma maneira como a dos coelhos silvestres, como por exemplo, a utilização de toques e pancadas dos membros posteriores no chão para avisar o perigo (MEDINA, 2011; TROCINO; XICCATO, 2006) e, apesar de não serem animais vocalizadores, os coelhos podem gritar alto quando assustados ou machucados (MEDINA, 2011).

Os coelhos mantidos em um ambiente de produção podem estar submetidos a muitos fatores estressantes tais como, altas temperaturas, viver em condições limitantes nas gaiolas, em ambiente monótono e de alta densidade, favorecendo a ocorrência de comportamentos estereotipados (HOY; VERGA, 2006).

Os comportamentos estereotipados dos coelhos confinados podem ser sinais de frustração e ansiedade tendo como consequência a redução do bem-estar (BARROS, 2011).

De acordo com os autores Lehmann (1991), Morisse et. al. (1999) e Verga et al. (2007), aspectos anormais do comportamento e de ingestão de alimentos podem ser utilizados como indicadores de estresse térmico.

Ferreira et al. (2017) avaliaram os parâmetros comportamentais de coelhos submetidos a estresse agudo por calor por meio de filmagem por câmeras a cada 5 minutos. Os resultados obtidos pelos pesquisadores foram que os coelhos mantidos no calor (t_{ar} de 32°C) permaneceram mais tempo em ócio (83% do tempo) que aqueles em conforto térmico de 20°C (42% do tempo) e, também, que os coelhos submetidos ao calor apresentaram decréscimo no consumo de ração (CR) de 56,7 % quando comparado com os animais em conforto. Os autores acrescentam ainda que a redução no CR possivelmente ocorreu pelo fato de que, os animais em estresse por calor tendem a consumir menor quantidade de ração para diminuir a termogênese induzida pela dieta, reduzindo, também, a eficiência na utilização de energia metabolizável.

Diante disso, se faz necessário avaliar o comportamento dos coelhos para compreender melhor os requerimentos da espécie e a adaptação ao sistema intensivo de criação, pois um ambiente inadequado pode afetar o padrão comportamental, os níveis de estresse e, conseqüentemente, sua produtividade (TROCINO et al., 2014; BARROS, 2011).

3.4.3 Avaliação do comportamento

Avaliação de comportamento se dá por meio de gravação periódica (a cada minuto, por exemplo), continuamente ou por verificação da duração do comportamento por um período de tempo pré-determinado (SOARES, 2016).

De acordo com Soares (2016), deve-se construir um etograma (Tabela 3), sendo este a melhor maneira para definir e avaliar o comportamento de um animal, que pode ser definido como o produto da observação, anotações e síntese dos comportamentos observados. O etograma é considerado um dos melhores indicadores de bem-estar (HUTSON et al., 2000) por ser um método não invasivo. Dessa maneira, quando os comportamentos estiverem definidos no etograma, os comportamentos anormais e indicadores de estresse térmico poderão ser identificados e a sua relevância deverá ser considerada (KEELING; JENSEN, 2002).

Tabela 3 - Etograma dos principais comportamentos de coelhos e sua descrição.

Comportamento	Definição
Exploratório	Cheirar o ambiente ao redor, morder.
Ingestão	Alimentar-se no comedouro e mastigar o alimento ou beber água
Lúdico	Saltos, pulos; Cavar o piso da gaiola com frequência e insistência; Realizar cuidados corporais (limpar as orelhas).
Estereotipados	Morder ou lambe as barras das gaiolas; Roer frequência e insistência.
Indicativos de estresse térmico	Deitado; sentado; prostrado; cuidados corporais excessivos.

Fonte: Adaptado de Zeferino (2009).

Segundo Barros (2011), a redução do bem-estar de coelhos pode gerar comportamentos atípicos que podem ser sinais de frustração e ansiedade. Com isso, de acordo com Morisse et. al. (1999), aspectos anormais do comportamento social, maternal e de ingestão de alimentos podem ser bons indicadores de estresse térmico.

Contudo, apesar de não existir um modelo animal padronizado para a avaliação de indicadores comportamentais de coelhos da raça NZB, a observação do comportamento pode ser utilizada de maneira eficaz para comparar diferentes condições de manejo e identificar a ocorrência de possíveis comportamentos anormais como, por exemplo, comportamentos agressivos e estereotipados que são comportamentos anormais repetidos obsessivamente sem um propósito aparente (SOARES, 2016; TROCINO; XICCATO, 2006).

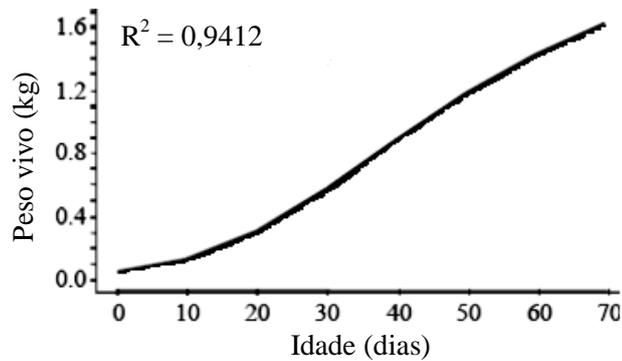
3.5 Consumo alimentar durante a fase de crescimento

Segundo Ferreira et al. (2012), o desmame dos filhotes de coelhos pode ser efetuado dos 28 aos 35 dias após o parto, pois a dieta a base de leite se torna pouco representativa para os láparos por já estarem aptos a consumirem alimentos sólidos (ração peletizada). No entanto, a separação da mãe e a restrição da dieta láctea se tornam fatores estressantes para os filhotes nessa fase da vida o que pode acarretar perda de peso, atraso no desenvolvimento, aumento da mortalidade e aparecimento de enfermidades.

Em um estudo considerando o ajuste de curvas de crescimento na produção animal realizado por Freitas (2005), foi possível estimar uma curva de crescimento para coelhos utilizando os dados de machos da raça NZB obtidos por pesagens semanais do nascimento aos

70 dias de idade (Figura 6) sendo possível observar o início do intervalo de crescimento dos animais de acordo com a faixa etária e ganho de peso (kg).

Figura 6 - Curva de crescimento de coelhos Nova Zelândia Branco utilizando o modelo Logístico.



Fonte: Adaptado de Freitas (2005).

O coelho possui elevada taxa de crescimento (BLAS, 1989) e, é na fase pós-desmame (primeira semana após o desmame) que ocorre a maior influência do ambiente térmico no consumo alimentar, ganho de peso e conversão alimentar (SAKAGUTI, 1994) dos animais.

Por isso, para monitorar possíveis perdas, é importante observar as metas de desempenho produtivo (ganho de peso, consumo de ração e conversão alimentar) para coelhos NZB de acordo com a fase de produção dos animais.

Os coelhos em fase de crescimento ou engorda devem receber ração à vontade, o que varia de 80 a 130 g dia⁻¹ conforme a idade e época. No entanto, os animais em reprodução, sem filhotes ou no início da gestação, não podem receber ração à vontade, pois o excesso provocaria sobrepeso, que prejudica a fertilidade dos animais. Por sua vez, fêmeas durante o terço final de gestão e lactação devem receber ração à vontade (FERREIRA et al. 2012).

A Tabela 4 poderá ser usada como indicativo da quantidade de ração a ser consumida em cada fase de produção e poderá ser consultada para o planejamento da compra de ração.

Tabela 4 – Consumo médio diário de ração de coelhos nas diferentes fases de produção.

Consumo médio diário de ração peletizada	
Fêmeas secar, com 2 semanas de gestação e machos reprodutores	140 - 160 gramas
Fêmeas com mais de 2 semanas de gestação ou em lactação	330 - 380 gramas
Coelhos em engorda	80 - 130 gramas

Fonte: Ferreira et al. (2012).

Klinger e Toledo (2017) relatam que o consumo de ração de coelhos da raça Nova Zelândia Branco pode variar de 80 a 100 g até 60 dias de idade e de 100 a 130 g dos 60 aos 90 dias de idade quando esses estão em situação de conforto.

A conversão alimentar (CA) representa a quantidade de alimento consumido para o ganho de 1 kg de peso vivo (GARCIA, 2017) sendo essa variável dentro do período de crescimento.

Ao avaliar o desempenho de 120 coelhos NZB, Botucatu e mestiço (3/4 Botucatu x NZB), sendo 40 animais de cada grupo, submetidos à temperatura do ar média de 20,3°C e 31,6°C, no período pós-desmama (31 – 67 dias de idade), Machado et al. (2019), observaram CA média para os grupos NZB, Botucatu e mestiços foi de 3,14 g g⁻¹, 2,95 g g⁻¹ e 3,03 g g⁻¹, respectivamente, para essa faixa etária.

Em outra pesquisa, Chiericato et al. (1994), submeteram coelhos híbridos comerciais a dois tipos de ambientes: frio (12°C) e quente (30°C), ambos tratamentos com UR de 65% e constataram que para ganho de peso diário, ingestão de ração e conversão alimentar os animais alojados em ambiente quente obtiveram os piores resultados de 25,7 g, 110 g e 4,37 g g⁻¹, respectivamente, quando comparados aos animais alojados em ambiente frio de 36,7 g, 173 g e 4,73 g g⁻¹, respectivamente.

No entanto, McNitt e Lukefahr (1993) observaram que os animais da raça NZB são menos afetados em condições ambientais extremas tendo maior ganho de peso pós-desmame em relação às raças híbridas comerciais. Porém, dentre os animais da mesma raça NZB o menor ganho de peso foi encontrado durante a estação de verão (MCNITT; LUKEFAHR, 1993).

De acordo com o trabalho conduzido por Ghosh et al. (2008), ao avaliar as características de desempenho produtivo de coelhos das raças NZB e Chinchila em relação a diferentes estações do ano (verão com variações de 24,2 a 35,1°C e inverno com variações de

8,4 a 24,5°C) relataram que não houve efeito da raça sobre os pesos à desmama mas, em contrapartida, a estação de inverno foi a mais favorável ao desempenho dos coelhos visto que os pesos à desmama foram maiores em relação aos animais expostos as condições de verão (peso à desmama aos 42 dias de vida no verão foi de 0,682 g e no inverno de 0,717 g).

Segundo Zeferino et al. (2011), quando os animais são expostos à condição de calor intenso ocorre imediatamente a redução do ganho de peso em relação àqueles animais mantidos na zona termoneutra.

Com o objetivo de melhorar o desempenho produtivo de coelhos durante a estação do verão (t_{ar} de 27 a 35°C e UR de 70 a 80%), Yassein et al. (2008) forneceram três tipos de tratamento de água: água de torneira fresca sem nenhuma suplementação; água potável esfriada a 10 - 15°C e água de torneira fresca suplementada diariamente com ácido ascórbico (vitamina C) e perceberam que a utilização da água potável esfriada ou suplementada com vitamina C, durante o verão, reduziu o estresse térmico em coelhos, pois, observou-se o aumento do peso vivo final de 649 g e no consumo de ração diários de 166,50 g dia⁻¹ das matrizes, bem como, maiores massas corporais na desmama dos láparos de 313 g.

As alterações nas variáveis de desempenho animal podem ocorrer em função da temperatura ambiental, idade, sexo, tamanho corporal, exercício físico e, principalmente, raça (ZEFERINO, 2009; LEBAS et al., 1996).

Com isso, se faz necessário melhorar o ambiente em que os coelhos ficarão submetidos durante toda a fase de produção com o intuito de lhes proporcionar condições em que possam se expressar mais livremente para que se obtenha melhora no bem-estar e, conseqüentemente, em sua produtividade (BARROS, 2011).

3.6 Inteligência computacional e metodologia *fuzzy*

As técnicas computacionais de inteligência artificial têm sido amplamente utilizadas a fim de se buscar soluções que resolvam problemas na área de ambiência. Destaca-se que, estas técnicas podem viabilizar a aplicação em sistemas reais (YING, 2000).

A inteligência computacional estuda os conceitos, paradigmas, algoritmos e implementações de sistemas computacionais inspirados em aspectos da natureza, tais como, aprendizado, percepção, raciocínio, evolução, adaptação e interação social (KRUSE et al., 2013).

De acordo com Yanagi Junior et al. (2012) e Schiassi et al. (2015), para controlar o ambiente térmico em que os animais ficarão expostos durante todo o período produtivo

pode-se desenvolver sistemas que utilizem técnicas de modelagem computacional, como sistemas de especialistas inteligentes, que permitam executar tarefas ou controlar as variáveis ambientais tais como, a temperatura e a umidade relativa do ar, a partir de uma base de conhecimento. Os autores ainda mencionam que os sistemas mais utilizados e testados são a lógica *fuzzy* e redes neurais artificiais. A Tabela 5 lista alguns estudos encontrados na literatura que utilizam a metodologia *fuzzy*.

Tabela 5 – Estudos encontrados na literatura que utilizam a metodologia *fuzzy*.

Autor	Área de estudo
Andrade & Maria Alice (2008)	Controle de tráfego em interseções isoladas
Silveira et al. (2008)	Detecção de câncer
Almeida & Kagan (2010)	Sistemas de monitoração para redes de transmissão de energia elétrica
Brunassi et al. (2010)	Detecção de cio em vacas leiteiras
Nääs et al. (2010)	Análises de custo de produção
Yanagi Jr et al. (2012)	Avaliação da insalubridade em atividades agrícolas
Schiassi et al. (2015)	Desempenho de frango de corte
Freitas et al. (2017)	Índice de conforto térmico para suínos
Ferraz et al. (2018)	Respostas fisiológicas de frangos de corte submetidos a estresse térmico
Abreu et al. (2019)	

Tendo em vista que a interação entre a idade pós-desmame e a temperatura do ambiente de alojamento dos coelhos influencia no consumo alimentar e nos padrões comportamentais dos animais, a aplicação do sistema de inferência *fuzzy* pode ser uma metodologia eficaz, pois possibilita prever o bem-estar dos coelhos quando se parte de um cenário conhecido do ambiente térmico, evidenciando as situações de desconforto térmico provocadas por altas temperaturas (SCHIASSI et al., 2015; YANAGI JUNIOR et al., 2012).

3.6.1 Lógica *fuzzy*

A teoria de conjuntos *fuzzy* foi introduzida por Lotfi Asker Zadeh, em 1965, como uma teoria matemática aplicada a conceitos difusos. A lógica *fuzzy*, também chamada de lógica nebulosa ou difusa, é uma teoria matemática, onde o seu principal objetivo é simular o raciocínio humano através das tomadas de decisões em ambientes de incerteza e imprecisão (SIMÕES; SHAW, 2007; SOUSA; BOENTE, 2016).

No modelo *fuzzy*, as variáveis linguística são representadas por conjuntos *fuzzy*, cujos valores não são números e, sim, palavras ou sentenças em linguagem natural, permitindo a existência da variação de opções para atender os diferentes graus de satisfação do tomador de decisão (ZADEH, 1965; VERDEGAY, 2015).

Segundo Cordon et al. (2001), existem dois tipos principais de sistemas de inferência *fuzzy*: tipo Mamdani proposto por Mamdani, em 1973 e do tipo Takagi-Sugeno proposto por Takagi e Sugeno, em 1985.

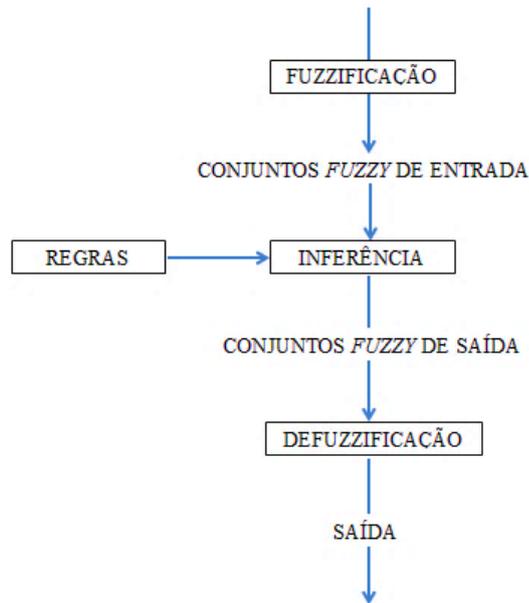
3.6.1.1 Sistema de inferência tipo Takagi-Sugeno

Segundo Mozelli (2008), os sistemas *fuzzy* Takagi-Sugeno são muito úteis devido à sua capacidade de modelar, aproximadamente ou com exatidão, dinâmicas não-lineares sobre domínios compactos por meio da combinação de modelos lineares, localmente válidos.

Para Klug (2010), a ideia do modelo *fuzzy* Takagi-Sugeno, consiste na descrição de um modelo não-linear, com dados localmente válidos, interpolados de forma suave, não-linear e convexa, também chamados de regras, que descrevam o comportamento deste sistema em diferentes pontos do seu espaço de estados. De maneira que tal combinação seja inferida por funções de pertinência, que controlarão as funções de interpolação entre as regras locais.

Para obter-se um modelo *fuzzy* Takagi-Sugeno que se aproxima do sistema original em determinada região do espaço de estados, é necessário, a critério do projetista, determinar r pontos de operação aos quais associarão modelos locais lineares que representarão o comportamento aproximado da função não-linear (KLUG, 2010).

A construção de um controlador *fuzzy* é composta, basicamente, dos módulos de fuzzificação, base de regras, inferência e defuzzificação (Figura 7) (BARROS; BASSANEZI, 2006).

Figura 7 - Operações básicas da lógica *fuzzy*.

A etapa de fuzzificação é o processo pelo qual os valores de entrada são convertidos em conjuntos *fuzzy* com seus respectivos domínios. É desejável a participação de um especialista ou que se tenha uma base de dados do fenômeno estudado, pois este processo consiste no mapeamento do domínio de números reais para o domínio *fuzzy*, a cada variável de entrada devem ser atribuídos termos linguísticos que representam os estados desta variável e, cada termo linguístico, deve ser associado um conjunto *fuzzy* por uma função de pertinência, ou seja, quanto que um elemento pertence a um conjunto (PONCIANO, 2011; ZORZELLA, 2015).

A base de regras ou base de conhecimento armazena o conhecimento e ou dados disponíveis sobre o problema na forma de regras *fuzzy* “SE-ENTÃO”. E, a etapa de inferência *fuzzy*, também chamada de lógica de tomada de decisão, é o procedimento de inferência responsável por processar os dados *fuzzy* de entrada juntamente com as regras, de modo a inferir as contribuições na saída *fuzzy* do sistema de inferência. Uma regra de produção típica do modelo de inferência *fuzzy* Takagi-Sugeno é:

$$R^{(i|i=1,2,\dots,L)}: \text{Se } x_1 \text{ é } A_1^i \text{ E } x_2 \text{ é } A_2^i \text{ ... E } x_v \text{ é } A_v^i \text{ Então } y_i = f_i(x_1, x_2, \dots, x_v) \quad (1)$$

em que $R_{(i)}$ é a i -ésima regra, e L é o número de regras. $x_j, j = 1, 2, \dots, v$ (ou $x = [x_1, x_2, \dots, x_v]$, na forma vetorial) são as variáveis linguísticas do antecedente (entradas), e y_i é a variável do consequente (saída), definida por um funcional das variáveis do antecedente.

A_{ij} e B_i são os termos linguísticos (conjuntos *fuzzy*) definidos por funções de pertinência. A relação de cada variável linguística do antecedente com determinado conjunto *fuzzy* $A_{ij}(x_j)$ é dada pela função de pertinência $\mu_{A_{ij}}(x_j): \mathbb{R} \rightarrow [0, 1]$ (LENDEK et al., 2010).

Para obter-se a resposta final, inicia-se o processo de defuzzificação que, após obter todas as contribuições individuais y_i de cada uma das regras ativadas (disparadas), deve-se ponderar (combinar) todas as distribuições individuais para produzir a resposta final y . Desta maneira, a saída numérica é calculada diretamente pela soma das saídas das regras, ponderada pelo grau de ativação (disparo) de cada uma delas, conforme a expressão 2 (RABÊLO et al., 2011; VERMASS, 2010):

$$\frac{\sum_{i=1}^m \mu_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^m \mu_i} \quad (2)$$

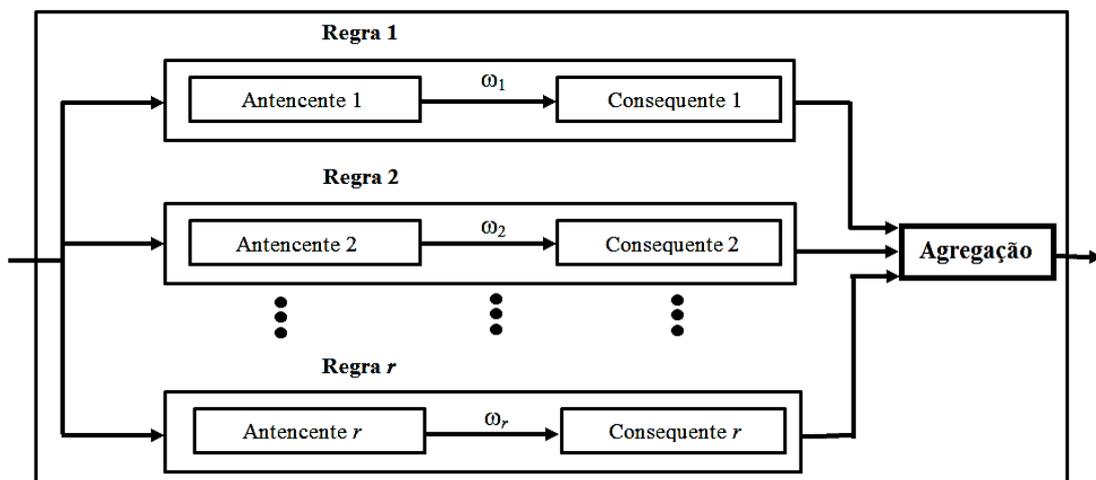
em que: m é o número total de regras;

μ_i é o grau de pertinência de cada regra ativada;

y_i é o valor de saída de cada regra ativada.

A Figura 8 ilustra de maneira esquemática o método de inferência *fuzzy* do tipo Takagi-Sugeno.

Figura 8 - Fluxograma do método Takagi-Sugeno.



Fonte: Mozelli (2008).

A eficácia de um modelo *fuzzy* Takagi-Sugeno dependerá de características como o número de conjuntos *fuzzy* na partição, da complexidade das funções no consequente e da

complexidade das funções de pertinência (BERGSTEN, 2001). O sistema de inferência *fuzzy* Takagi-Sugeno possui maior precisão nas implementações computacionais bem como tem mais flexibilidade para incorporar em sua estrutura formulações matemáticas complexas (SERRA, 2012).

3.6.1.2 Sistema de inferência tipo Mamdani

O sistema de inferência *fuzzy* tipo Mamdani diferencia-se do sistema Takagi-Sugeno descrito na seção anterior, basicamente pela representação do conseqüente das regras (CORDON et al., 2001). No modelo Mamdani as regras possuem antecedentes compostos por variáveis linguísticas semelhantes ao modelo Takagi-Sugeno, porém o conseqüente, também, é composto por termos linguísticos e, não, pela composição de equações que se relacionam as entradas das saídas como no modelo Takagi-Sugeno. A equação 3 ilustra uma regra comum do modelo Mamdani:

$$\text{SE } x \text{ é } A_i \text{ e } y \text{ é } B_i \text{ Então } z \text{ é } C_i \quad (3)$$

em que, A_i , B_i e C_i são conjuntos *fuzzy* e z é o conseqüente da regra (OLIVEIRA et al., 2005; SCHIASSI et al., 2008).

Outra diferença entre os métodos de inferência Mamdani e Takagi-Sugeno pode ser observada na etapa de defuzzificação. O processo de defuzzificação do Mamdani ocorre da seguinte forma: agregação dos conjuntos *fuzzy* de saída em um único conjunto por meio de um operador de agregação “mínimo” ou “máximo” e, então, ocorre a aplicação do “centro de gravidade” ou “média dos máximos” para transformar o conjunto *fuzzy* em um valor preciso de saída. Enquanto que a defuzzificação no método Takagi-Sugeno é dado pela média ponderada pelo grau de ativação das saídas de cada regra (RABÊLO et al., 2011).

De acordo com Rabêlo et al. (2011), a vantagem do modo de defuzzificação por média ponderada é a redução da complexidade computacional quando comparada com o modo “centro de gravidade” ou “média dos máximos”, uma vez que a inferência é feita antes da agregação.

O modelo de Takagi-Sugeno caracteriza-se por apresentar uma forma mais compacta e computacionalmente mais eficiente do que o sistema Mamdani e, também, por se ajustar bem ao uso de técnicas adaptativas que podem ser usadas para personalizar as funções de

associação, de modo que o sistema difuso modifique melhor os dados (MATH WORKS, 2019).

Dentre outras metodologias direcionadas para a tomada de decisão e para ações mais precisas na área de ambiência, o sistema de inferência *fuzzy* Takagi-Sugeno pode contribuir para o avanço nas pesquisas relacionadas ao conforto térmico dos coelhos de produção principalmente nas condições de clima quente.

3.7 Índices estatísticos para avaliar as acurácias de modelos de inferência *fuzzy* Takagi-Sugeno

Em qualquer processo de aprendizado que utilize um conjunto de dados para construção de um modelo matemático é importante aliar alguma técnica que permita avaliar o seu desempenho quando o modelo estiver em uma situação real de uso, ou seja, sendo alimentado por dados que não foram utilizados para o seu treinamento (LIMA, 2015).

De acordo com Hallak e Filho (2011) é possível quantificar os erros nas simulações numéricas aplicando uma série de índices estatísticos, os quais são usados como ferramentas de avaliação da acurácia dos experimentos numéricos.

Os autores ainda afirmam que a metodologia proposta oferece ferramentas adicionais às verificações diretas tradicionais das soluções numéricas, realizadas por meio da comparação visual dos campos simulados e derivados das quantidades básicas, procedimentos estes que se enquadram na categoria de métodos subjetivos.

A quantidade fundamental para o estudo de erros é a diferença (d_i) entre o previsto ou simulado no ponto i do espaço bidimensional ($i = 1, 2, 3, \dots, N$) no tempo t [$P_{is} = P(x, y, t)$] e o medido ou observado para uma mesma variável, no mesmo ponto no mesmo espaço e no tempo [$P_{io} = O(x, y, t)$], o que é expresso simplesmente por:

$$d_i = P_{is} - P_{io} \quad (4)$$

De maneira simplificada: $d_i = 0$ indica simulação perfeita naquele ponto i , enquanto $d_i > 0$ ou $d_i < 0$, simulação imperfeita, ou seja, quanto mais distante de 0 o valor de d_i , mais imperfeita a simulação (HALLAK; FILHO, 2011).

O **Erro Médio (ME – Mean Error)** ou viés (BIAS em inglês) mede a tendência do modelo em superestimar ou subestimar a variável predita pela modelo *fuzzy* em relação ao

observado experimentalmente em laboratório. Esta tendência ou erro sistemático é definido como:

$$ME = BIAS = \bar{d} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i \quad (5)$$

em que: N é sempre o número de eventos.

Apesar o ME fornecer uma ideia da tendência ou erro sistemático, o viés é afetado pelos erros individuais positivos e negativos de mesma magnitude que se cancelam na somatória, o que geralmente leva à subestimação do erro das simulações.

Entretanto, a média dos erros absolutos (**Erro Absoluto Médio ou MAE – Mean Absolute Error**) contorna este problema por ser menos afetado por pontos com valores anormalmente extremos (pontos singulares ou *outliers*).

O MAE é considerado preciso e robusto como medida da habilidade de modelos numéricos em reproduzir a realidade (FOX, 1981). O MAE é definido por:

$$MAE = \overline{|d|} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |d_i| \quad (6)$$

Outra medida frequentemente utilizada para a verificação da acurácia de modelos numéricos é o **Erro Quadrático Médio (MSE - Mean Square Error)** como descrito, por exemplo, em Wilks (2006). O MSE é similar ao MAE, porém mais sensível aos grandes erros, por elevar as diferenças individuais ao quadrado (HALLAK; FILHO, 2011). MSE é sempre positivo e quando igual à zero indica simulação perfeita. MSE é definido por:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_{is} - P_{io})^2 \quad (7)$$

Em adição ao MSE, a **Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE – Root Mean Square Error)**, é comumente usada para expressar a acurácia dos resultados numéricos com a vantagem de que RMSE apresenta valores do erro nas mesmas dimensões da variável analisada. O RMSE é definido por:

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_{is} - P_{io})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

Assim, quanto mais próximo de zero o RMSE estiver mais acurado será a simulação.

O **Erro Percentual Absoluto Médio (MAPE – Mean Absolute Percentage Error)** é o valor absoluto médio em percentual que verifica a margem de erro do valor estimado (AZEVEDO et al., 2017). Quanto menor for o seu valor, melhor é o ajuste do modelo, como demonstrado pela equação 9:

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{P_{io} - P_{is}}{P_{io}} \right| \times 100 \quad (9)$$

Para Machado e Vettorazzi (2003), um dos mais importantes critérios estatísticos para avaliar o ajuste de modelos numéricos é o **Coefficiente de Eficiência de Nash e Sutcliffe (NSE)** que é calculado por meio da equação 10:

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_{io} - P_{is})^2}{\sum_{i=1}^N (P_{is} - \bar{x})^2} \right] \quad (10)$$

O coeficiente de NSE pode variar entre negativo infinito a 1 sendo o valor 1 indicativo de um perfeito ajuste (ASCE, 1993). De acordo com Silva et al. (2008), quando o valor de NSE for maior que 0,75, o desempenho do modelo é considerado bom. Para valores de NSE entre 0,36 e 0,75, o desempenho é considerado aceitável, enquanto que para valores de NSE inferiores a 0,36 fazem com que o modelo seja julgado como inaceitável.

Por último, o **Coefficiente de Correlação Linear (R²)** procura verificar se existe relação entre duas ou mais variáveis, ou seja, saber se as alterações sofridas por uma das variáveis são acompanhadas por alterações nas outras. No entanto, esse método pode ocultar a tendência das simulações em superestimarem ou subestimarem o observado.

O R² é obtido por:

$$R^2 = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_{is} - P_{io})^2}{\sum_{i=1}^N (P_{io} - \bar{x})^2} \right] \quad (11)$$

O R² varia no intervalo de 0 a 1, indicando e, quanto maior for o coeficiente de determinação, mais adequado será o modelo para descrever o fenômeno (TRIOLA, 2008).

4 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O ambiente térmico de uma instalação zootécnica influencia diretamente no estado de conforto e bem-estar de um animal. Sendo assim, animais que não são criados em condições térmicas adequadas necessitam de utilizar adaptações comportamentais e fisiológicas para garantirem a sua homeotermia, porém estas adaptações geram gastos metabólicos que comprometem o desempenho produtivo dos coelhos podendo causar perdas econômicas aos criadores cunículas.

Desta forma, torna-se importante desenvolver modelos matemáticos principalmente, aqueles que consideram a teoria dos conjuntos *fuzzy*, para prever as alterações que ocorrerão no desempenho produtivo e comportamental dos coelhos em função das mudanças no ambiente térmico onde os animais estarão alojados, visto que, os resultados obtidos com estes modelos poderão auxiliar o produtor a melhorar a eficiência no controle da climatização da instalação com a finalidade de se obter maior aproveitamento econômico, bem como, buscar novas alternativas para a manutenção da qualidade da produção dentro do coelhário.

REFERÊNCIAS

- ABREU, L. H. P. et al. Modelo fuzzy para predição da temperatura cloacal de frangos de corte submetidos a estresse térmico. **Revista de Engenharia Agrícola**, v. 39, n. 1, 2019.
- ALECRIM, P. D. et al. Sistema *fuzzy* de baixo custo embarcado em microcontrolador para controle e supervisão do ambiente térmico em galpões para criação de frangos de corte. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 37, n. 1, p. 194-205, jan/fev. 2017.
- ALMEIDA, C. F. M.; KAGAN, N. Aplicação de algoritmos genéticos e teoria dos conjuntos fuzzy no dimensionamento de sistemas de monitoração para redes de transmissão de energia elétrica. **Revista Controle & Automação**, Campinas, v.21, n.4, p.363-378, 2010.
- ANDRADE, M.; JACQUES, M. A. P. Estudo comparativo de controladores de Mamdani e Sugeno para controle de tráfego em interseções isoladas. **Transportes**, v. 16, n. 2, p. 24-31, 2008.
- ASCE. Task Committee on Definition of Criteria for Evaluation of Watershed Models of the Watershed Management. Committee Irrigation and Drainage Division. Criteria for evaluation of watershed models. **J. Irrig. Drainage Eng.**, 119:429-442, 1993.
- ASSOCIAÇÃO CIENTÍFICA BRASILEIRA DE CUNICULTURA (ACBC). Opinião e atualizações: preços indicados em cunicultura. Boletim Informativo ACBC, v. 04, n. 1, p. 13, 2017. Disponível em: <http://acbc.org.br/site/images/Boletim_4_edicao_ultimo_formato.pdf>. Acesso em: 21 mai. 2019.
- AZEVEDO, R. R. de. et al. Análise crítica dos modelos de previsão de série temporal com base no ICMS estadual. **Revista de Gestão, Finanças e Contabilidade**, UNEB, Salvador, v. 7, n. 1, p. 164-184, jan./abr., 2017.
- BARROS, L. C.; BASSANEZI, R. C. **Tópicos de lógica fuzzy e biomatemática**. Campinas: IMECC–UNICAMP, 2006. 354 p.
- BARROS, T. F. M. **Desempenho e comportamento de coelhos em crescimento em gaiolas enriquecidas**. 2011. 66 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu, SP,2011.
- BERGSTEN, P. **Observer and Controllers for Takagi-Sugeno Fuzzy Systems**. 2001. 117 p. Tese (Doutorado) - Örebro University, Örebro, 2001.
- BLAS, C. de. **Alimentación del conejo**. 2ª ed. Madrid: Mundi-Prensa. Ed. 175, p. 24, 1989.
- BONAMIGO, A.; WINCK, C. A.; SEHNEM, S. Diagnóstico da produção e comércio cunícola no Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Cunicultura**, v. 7, n. 1, abr. 2015. Disponível em: <http://www.rbc.acbc.org.br/index.php?option=com_content&view=article&id=69&Itemid=83> . Acesso em: 20 jun. 2017.

BOZICOVICH, T. F. M. **Efeito do enriquecimento ambiental sobre a ansiedade e morfologia neuronal de coelhos (*Oryctolagus cuniculus*)**. 2015. 66 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2015.

BRUNASSI, L. A. et al. Improving detection of dairy cow estrus using fuzzy logic. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.67, n.5, p.503-509, 2010.

CENTODUCATI, P. et al. **L'influenza della temperatura ambientale sulle caratteristiche delle carcasse di coniglio "N.Z.B." alimentati con diversi livelli proteici**. Coniglicoltura, v. 27, n. 3, p. 47-52, 1990.

CETNAROWICZ, K. A. **Perspective on Agent Systems: Paradigm, Formalism, Examples**. [S.l.]: Springer, 2014.

CHIERICATO, G. M.; RAVAROTTO, L.; RIZZI, C. Study of the metabolic profile of rabbits in relation to two different environmental temperatures. **World Rabbit Science**, v. 2, n. 4, p. 153-160, 1994.

COMBES, S. Valeur nutritionnelle de la viande de lapin. **Productions Animales**, v.5, n. 17, p. 373–383, 2004.

CORDON, O. et al. Genetic Fuzzy Systems – Evolutionary Tuning and Learning of Fuzzy Knowledge Bases. **World Scientific**, 2001.

COUTO, S. E. R. **Criação e manejo de coelhos**. Available from SciELO Books . Editora Fiocruz. Rio de Janeiro, Brasil, 2002.

CRESPI, M. P. A. L. **Cuidados antes, durante e após o parto com a coelha e com a ninhada**. Associação Científica Brasileira de Cunicultura. 2016. Disponível em: http://www.acbc.org.br/index.php?option=com_content&view=article&id=107&Itemid=138 ≥. Acesso em: 10 fev. 2017.

DALLE ZOTTE A. Main factors influencing the rabbit carcass and meat quality. In: **Proceedings of the 7th World Rabbit Congress**, Spain. p. 1– 32, 2000.

DALLE ZOTTE, A. Perception of rabbit meat quality and major factors influencing the rabbit carcass and meat quality. **Livest. Prod. Sci.**, v.75, p.11-32, 2002.

DEKKER, J. J. A., GROENEVELD, M., VAN WIEREN, S. E. **No effects of dominance rank or sex on spatial behavior of rabbits**. *Lutra*, v.49, p.59-66, 2006.

DIXON, L. M. et al. The effects of spatial restriction on the behavior of rabbits (*Oryctolagus cuniculus*). **Applied Animal Behavior Science**, v.5, p. 302-308, 2010.

DRESHER, B. Deformations of vertebral column in breeding rabbits. In: **World Rabbit Congress**, 6, 1996, Toulouse, Proceedings..., Toulouse, 1996, p.417-421.

DUARTE, A. T.; CARVALHO J. M. **Cunicultura**. Lisboa: Clássica, p. 413, 1979.

EUROPEAN FOOD AND SAFETY AUTHORITY (EFSA). The impact of the current housing and husbandry systems on the health and welfare of farmed domestic rabbits. **EFSA Journal**, v. 267, p.1-31, 2005.

FERRAZ, P. F. P. et al. Genetic fuzzy system for prediction of respiratory rate of chicks subject to thermal challenges. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 6, p. 412-417, 2018.

FERREIRA, R. A. et al. Estresse agudo por calor em coelhos. **Revista Brasileira de Cunicultura**, Bambuí, MG, v. 12, n. 1, nov. 2017. Disponível em: http://www.rbc.acbc.org.br/index.php?option=com_content&view=article&id=74&Itemid=93. Acesso em: 20 jan. 2019.

FERREIRA, R. A. **Maior produção com melhor ambiente**. 1. ed. Viçosa: A. Fácil, MG, 2005.

FERREIRA, W. M. et al. **Manual prático de cunicultura**. Bambuí. Ed. do autor, p.75, 2012.

FINZI, A.; MORERA, P.; KUZMINSKY, G. Acclimatation and repeatability of thermotolerance of parameters in rabbit. In: **World Rabbit Congress**, Budapest. Physiology Short Papers, v. 1, p. 419-426, 1988.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION CORPORATE STATISTICAL DATABASE (FAOSTAT). (2017). Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QL>.

FOX, D. G. Judging Air Quality Model Performance. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 62, p. 599-609, 1981.

FREITAS, A. de R. Curvas de Crescimento na Produção Animal. **R. Bras. Zootec.**, v.34, n.3, p.786-795, 2005.

FREITAS, L. C. S. R. et al. Fuzzy index for swine thermal comfort at nursery stage based on behavior. **DYNA**, v. 84, n. 203, p. 201-207, 2017.

FURLAN, A. C. et al. Valor nutritivo e desempenho de coelhos em crescimento alimentados com rações contendo milho extrusado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 5, p. 1157-1165, 2003.

GARCIA, R. P. A. **Silagem de girassol ou de milho na produção de coelhos**. 2017. 71 p. Tese (Doutorado em Zootecnia), Faculdade de Agronomia, Porto Alegre, RS, 2017.

GHOSH, S. K. et al. Effect of breed and season on rabbit production under subtropical climate. **World Rabbit Science**, v. 16, n. 1, p. 29-33, 2008.

GONZÁLEZ, R. R.; KLUGER, M. J.; HARDY, J. D. Partitional calorimetry of the New Zealand White rabbit at temperatures 5 – 35 °C. **Journal of Applied Physiology**, v. 31, n. 5, p. 728-734, 1971.

GONZÁLEZ, R. Proposal of a nest box for the reproduction of wild rabbits (*Oryctolagus cuniculus*) in cages. **World rabbit Science**. v. 14, p. 115-121. 2006.

HALLAK, R.; FILHO, A. J. P. Metodologia para análise de desempenho de simulações de sistemas convectivos na região metropolitana de São Paulo com o modelo ARPS: sensibilidade a variações com os esquemas de advecção e assimilação de dados.

HERNÁNDEZ, O. J. A.; LOZANO, R. M. S. Effect of breed and sex on rabbit carcass yield and meat quality. **World Rabbit Science**, v. 9, n. 2, p. 51-56. 2010.

HERNÁNDEZ, P. Enhancement of nutritional quality and safety in rabbit meat. In: **World Rabbit Congress**, Verona, Italy, p. 1287-1300, 2008.

HILL, R. W.; WYSE, G. A.; ANDERSON, M. **Fisiologia animal**. 2. ed. Grupo A. p. 240. 2014.

HOY, S.; VERGA, M. **Welfare indicators**. In: MAERTENS, L.; COUDERT, P. (Eds.). Recent advances in rabbit sciences. Belgium, p. 71-72, 2006.

HUTSON, G. et al. Development of a behavioural test of sensory responsiveness in the growing pig. **Applied Animal Behaviour Science**, p.187-202, 2000.

JARUCHE, Y. G. **Aprenda mais sobre os filhotes dos coelhos: os láparos**. Associação Científica Brasileira de Cunicultura (ACBC). Nota técnica, Maringá, PR, 2013. Disponível em < <http://acbc.org.br/site/images/stories/NT3.pdf> >. Acesso em: 10 mai. 2018.

JARUCHE, Y. G. et al. Efeito da densidade de alojamento sobre a homeostase térmica em coelhos em crescimento mantidos em diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Cunicultura**, v.1, n.1. 2012.

KEELING, L.; JENSEM, P. **Behavioral disturbances, stress and welfare**. In: Jensen, P. (Ed.). The ethnology of Domestic Animals: An Introductory Text. Wallingford, Oxfordshire, UK, CABI Publishing: 2002. p. 79 – 98.

KLINGER, A. C. K.; TOLEDO, G. S. P. de. **Cunicultura: Didática e prática na criação de coelhos**. 1. ed. Editora UFSM. p. 128. 2018. Disponível em: <https://www.livrariacultura.com.br/p/ebooks/ciencias-biologicas/zoologia/cunicultura-111867609;_lcid=wHTHwi4o-vzqoA6tfzkar6Kw5F-oX1Qp4GURHjxWqHAKev8rH_i4!626421851>. Acesso em: 19 nov. 2017.

KLUG, M. **Realimentação dinâmica de saídas com parâmetros variantes e aplicação aos sistemas fuzzy Takagi-Sugeno**. 2010. 118 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina, 2010.

KRUSE, R. et al. **Computational intelligence: a methodological introduction**. [S.l.]: Springer Science e Business Media, 2013.

LEBAS, F. et al. **El conejo: cria y patologia**. Rome: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, p. 227, 1996. (Colección FAO. Produccion y sanidad animal).

LEBAS, F.; OUHAYOUN, J. Incidence du niveau proteique de l'aliment, du milieu d'élevage et de la saison sur la croissance et les qualités bouchères du lapin. **Annales Zootechnie**, v. 36, n. 4, p. 421-432, 1987.

LEHMAN, M. Social behavior in young domestic rabbit under semi-natural conditions. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 32, p. 269-292, 1991.

LENDEK, Z. et al. **Stability Analysis and Nonlinear Observer Design Using Takagi-Sugeno Fuzzy Models**. [S.l.]: Springer, 2010. (Studies in Fuzziness and Soft Computing).

LIMA, H. P. **Uma abordagem para construção de sistema fuzzy baseados em regras integrando conhecimento de especialistas e extraído de dados**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, 140p, 2015.

LIMA, V. et al. Use of infrared thermography to assess the influence of high environmental temperature on rabbits. In: **Research in Veterinary Science**, v. 95, Issue 2, p. 802-810, 2013.

LUDWIG, N. et al. Technical note: applicability of infrared thermography as a non invasive measurements of stress in rabbit. **World Rabbit Science**, p. 199–206, 2007.

MACHADO L. C. Opinião: Panorama da Cunicultura Brasileira. **Revista Brasileira de Cunicultura**, v. 2, n. 1, 2012. Disponível em: http://www.rbc.acbc.org.br/index.php?option=com_content&view=article&id=63&Itemid=71 Acesso em: 12 set. 2017.

MACHADO, L. C. et al. Desempenho e mortalidade de coelhos puros e mestiços durante os períodos pré e pós-desmama. **Revista Brasileira de Cunicultura**, v. 15, mai. 2019. Disponível em: http://www.rbc.acbc.org.br/index.php?option=com_content&view=article&id=83&Itemid=106. Acesso em: 22 mai. 2019.

MACHADO, L. C. et al. **Preços comumente praticados em Cunicultura**. Associação Científica Brasileira de Cunicultura (ACBC), nota 4. 2016. Disponível em: <http://www.acbc.org.br/nota4.pdf>. Acesso em: 12 set. 2017.

MACHADO, L. C.; FERREIRA, W. M. A Cunicultura e o Desenvolvimento Sustentável. Minas Gerais. In: **Associação Científica Brasileira de Cunicultura**. 2012. Disponível: <http://acbc.org.br/site/index.php/notas-tecnicas/a-cunicultura-e-o-desenvolvimento-sustentavel>. Acesso em: 10 fev. 2019.

MACHADO, R. E.; VETTORAZZI, C. A. Simulação da produção de sedimentos para a microbacia hidrográfica do Ribeirão dos Marins, SP. **R. Bras. Ci. Solo**, 27:735-741, 2003.

MAIA, A. S. C.; SILVA, R.; ANDRADE, P. C. Efeitos da temperatura e da movimentação do ar sobre o isolamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 1, p. 104-108, 2009.

MÄKISARA, K. et al. Artificial neural networks. [S.l.]: **Elsevier**, v. 2, 2014.

MAMDANI, E. H. Applications of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant. *Proc. IEEE* 121, vol. 12, p. 1585-1588, 1973.

MANNING, P. J.; RINGLER, D. H.; NEWCOMER, C. E. The biology of the laboratory Rabbit. 2nd ed. **Academic Press**, p. 483, 1994.

MARAI, I.F.M., HAREEB, A.A.M., GAD, A.E. Rabbits' productive, reproductive and physiological performance traits as affected by heat stress: a review. **Livestock Production Science**, v. 78, p. 71–90, 2002.

MARTRENCAR, A. et al. Wire-floor pens as an alternative to metallic cage in fattening rabbits: influence on some welfare traits. **Animal Welfare**, v. 10, p. 153-161, 2001.

Math Works. Comparação de sistemas Sugeno e Mamdani. Getting Started Guide. Matlab® R2019a. Disponível em: <<https://la.mathworks.com/help/fuzzy/comparison-of-sugeno-and-mamdani-systems.html>>. Acesso em: 23 mai. 2019.

MCNITT, J. I.; LUKEFAHR, S. D. Breed and environmental effects on postweaning growth of rabbits. **Journal of Animal Science**, v. 71, n. 8, p. 1996-2005, 1993.

MEDINA, M. P. **Efeitos do enriquecimento ambiental no comportamentamento e bem-estar de animais de laboratório convencionais**. 2011. 48 p. Monografia (graduação em medicina veterinária) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Faculdade de veterinária, Porto Alegre. 2011.

MELLO, H. V.; SILVA, J. F. **Criação de coelhos**. 2. ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2012. 274 p.

MONCLUS, R. et al. Behavioural and physiological responses of naive European rabbits to predator odour. **Animal Behavior**, v. 70, p. 753-761, 2005.

MORISSE, J. P.; BOILLETOT, E.; MARTRENCAR, A. Preference testing in intensively kept meat production rabbits for straw on wire grid floor. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 64, p. 71-80, 1999.

MOURA, A. S. A. M. T. Rabbit Production in Latin America. In: **American Rabbit Congress**, 4. Cordoba - Argentina, 2010.

MOURA, B. B. **Produção de coelhos**. Editora EMATER-RIO. Apoio: Secretaria de Agricultura e Pecuária. Seropédica, RJ, Brasil. 2007.

MOZELLI, L. A. **Controle fuzzy para sistemas takagi-sugeno: Condições aprimoradas e aplicações**. 2008, 99 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

MÜLLER, P. B. **Bioclimatologia aplicada aos animais domésticos**. 3. ed. Porto Alegre: SULINA, p. 262, 1989.

NÄÄS, I.A. et al. Impact of global warming on beef cattle production cost in Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.67, n.1, p.1-8, 2010.

NÄÄS, I.A. **Princípios de conforto térmico na produção animal**. São Paulo: Ícone, p. 183, 1989.

NASCIMENTO, G. R. et al. Assessment of broilers surface temperature variation when exposed to different air temperature. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v.13, p. 259-263, 2011.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Guide for the care and use of laboratory animals**. Washington, D. C.: National Academy Press, 1996. 128 p.

OLIVEIRA, E. M. de. Ambiência e produtividade na cunicultura. **In: Seminário nacional de pesquisa e tecnologia em cunicultura**. Jaboticabal. Anais... Jaboticabal, p. 15, 1999.

OLIVEIRA, H. L.; AMENDOLA, M.; NÄÄS, I. A. Estimativa das condições de conforto térmico para avicultura de postura usando a teoria dos conjuntos fuzzy. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 300-307, 2005.

PIRES, P. R. Raças da Cunicultura. **Revista Criar e plantar**. Departamento de Cunicultura/FZEA-USP, São Paulo, 2012. Disponível em: <<https://tecnicoemagro.blogspot.com.br/2012/04/racas-da-cunicultura.html>>. Acesso em: 19 nov. 17.

PONCIANO, P. F. et al. Análise do ambiente para frangos por meio da lógica *fuzzy*: uma revisão. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v.60, n.1, p.1-13, 2011.

PRINCZ, Z. et al. Effect of different housing on productive traits and on some behaviour patterns of growing rabbits. **Proceedings of the 17th Hung. Conf. Rabbit Prod.** Kaposvár, p. 95-102, 2005.

RABÊLO, R. d. A. L. et al. Uma abordagem baseada em sistemas de inferência fuzzy Takagi-Sugeno aplicada ao planejamento da operação de sistemas hidrotérmicos de geração. Sba: Controle e Automação. **Sociedade Brasileira de Automática**, v. 22, n. 1, p. 49-64, 2011.

RESENDE, L. H. C; BORGES, J. F. P. M; SERAFIM, R. S. Tosquia de coelhos como alternativa para melhorar o conforto térmico. **FAZU em Revista**, Uberaba, n.9, p. 85-89, 2012.

RESENDE, L. H. C; BORGES, J. F. P. M; SERAFIM, R. S. Tosquia de coelhos como alternativa para melhorar o conforto térmico. **FAZU em Revista**, Uberaba, n. 9, p. 85-89, 2012.

RIOS, D. M. et al. **Manual de cunicultura**. Trabalho acadêmico (Graduação em Engenharia Agrônômica) – Universidade do Estado da Bahia, Barreiras, 46 f. 2011. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/doc/49387002/cunicultura>>. Acesso em: 21 mai. 2019.

RURAL NEWS. **Rendimento líquido da carne de coelho**. Redação Rural News. 2014. Disponível em: <http://www.ruralnews.com.br/visualiza.php?id=34> Acessado em: 13 mar. 2018.

SAKAGUTI, E. S. **Utilização de técnicas de análise multivariada na avaliação de cruzamentos dialélicos em coelhos**. 1994. 184 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Faculdade de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

- SCHIASSI, L. et al. Metodologia fuzzy aplicada à avaliação do aumento da temperatura corporal em frangos de corte. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 16, n. 2, p. 180-191, 2008.
- SCHIASSI, L. et al. Modelagem fuzzy aplicada na avaliação do desempenho de frangos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 140-146, 2015.
- SERRA, G. L. O. (Ed.). **Frontiers in Advanced Control Systems**. [S.l.]: Intech, 2012.
- SILOTO, E. V. et al. Temperatura e enriquecimento ambiental sobre o bem-estar de coelhos em crescimento. **Ciência Rural**, Santa Maria, 2008. Online. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/2008nahead/a81cr461.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2017.
- SILVA, P. M. O. et al. Modelagem da hidrografia de cheia em uma bacia hidrográfica da região Alto Rio Grande. **R. Bras. Eng. Agric. Amb.**, 12:258-265, 2008.
- SILVEIRA, G.P.; VENDITE, L.L.; BARROS, L.C. Software desenvolvido a partir de um Modelo Matemático Fuzzy para prever o estágio patológico do Câncer de Próstata. **Biomatemática**, Campinas, v. 18, p.27-36, 2008.
- SIMÕES, M. G.; SHAW, I. S. **Controle e modelagem fuzzy**. São Paulo. Blucher, Fapesp, 2007.
- SOARES, S. C. E. **Influência do enriquecimento ambiental sobre as performances zootécnicas e comportamento dos coelhos em crescimento**. 2016. 116 p. Dissertação (Mestrado em engenharia zootécnica). Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. 2016.
- SOUSA, A.; BOENTE, A. Metodologia de avaliação de desempenho baseada em lógica fuzzy: avaliação de desempenho de uma instituição estadual de ensino superior em Duque de Caxias. **Revista Científica Digital da FAETEC**, v. 8, n. 1, p. 1-16, 2016.
- TAKAGI, T.; SUGENO, M. *Fuzzy* identification of systems and its applications to modeling and control. **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics**, SMC-15, n. 1, p. 116–132, 1985.
- TRIOLA, M. F. Introdução à estatística. Rio de Janeiro: **LTC**; 2008. 408 p.
- TROCINO, A. et al. Behaviour and welfare of growing rabbits housed in cages and pens. **Livestock Science**, v. 167, p. 305-314. September, 2014.
- TROCINO, A.; XICCATO, G. Animal welfare in reared rabbits: a review with emphasis on housing systems. **World Rabbit Science**, v. 14, p. 77-93, 2006.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA. National Nutrient Database for Standard Reference. Release 18 (2005) Disponível em: http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/cgi-bin/list_nut_edit.pl Acessado em: 11 jul. 2006.
- VERDEGAY, J. Progress on Fuzzy Mathematical Programming: A personal perspective. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 281, p. 219-226, 2015.

VERGA, M. et al. Effects of housing and environmental enrichment on performance and behaviour fattening rabbits. **World Rabbit Science**, v. 13, p. 139-140, 2004.

VERGA, M.; LUZI, F., CARENZI, C. Effects of husbandry and management systems on physiology and behaviour of farmed and laboratory rabbits. **Hormones and Behavior**, v. 52, p. 122-129, 2007.

VERMAAS, L. L. G. **Aprendizado supervisionado de sistemas de inferência fuzzy aplicados em veículos inteligentes**. Tese (doutorado). Universidade Federal de Itajubá. 133p.

WILKS, D. S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. International Geophysics Series. 2a. Edição, Estados Unidos da América, Academic Press, v. 91, 2006. 627 p.

WILLIAMS, C. et al. Managing Vertebrate Pets: Rabbits. **Bureau of Resources Sciences/CSIRO Division of Wildlife and Ecology**, Canberra, 1995.

WILLIAMS, P. G. Nutritional composition of red meat. **Nutr. Diet.**, n. 64, p. 113–119, 2007.

XICCATO, G. et al. Bicellular cage vs. collective pen housing for rabbits: Growth performance, carcass and meat quality. **Livestock Science**, v. 155, p. 407-414. August 2013.

YANAGI JUNIOR, T. et al. Procedimento fuzzy aplicado à avaliação da insalubridade em atividades agrícolas. **Eng. Agríc., Jaboticabal**, v.32, n.3, p.423-434, maio/jun. 2012.

YASSEIN, S. A. et al. Hot climate effects and their amelioration on some productive and reproductive traits in rabbit does. **World Rabbit Science**, v. 16, n. 3, p. 173-181, 2008.

YING, H. Theory and application if a novel *fuzzy* PID controller using a simplified Takagi-Sugeno rule scheme. **Information Sciences**, n. 123, p. 281-293. 2000.

ZADEH, L.A. *Fuzzy sets*. **Information and Control**, United Kingdom, v.18, p.338-53, 1965.

ZEFERINO, C. P. et al. Genetic group×ambient temperature interaction effects on physiological responses and growth performance of rabbits. **Livestock Science**, p. 177–183, 2011.

ZEFERINO, C. P. **Indicadores fisiológicos, desempenho, rendimento ao abate e qualidade de carne de coelhos puros e mestiços submetido ao estresse pelo calor intenso ou moderado**. 2009. 92 p. Dissertação (Mestre em zootecnia). Universidade Estadual Paulista – Faculdade de medicina veterinária e zootecnia. Campus de Botucatu. Botucatu, SP, 2009.

ZORZELLA, M. **Modelagem matemática da análise da dor no pós-operatório de cadelas ovariohisterectomizadas**. 2015. 82 p. Dissertação. (Mestrado Modelagem Matemática). UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2015.

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS**ARTIGO 1 - MODELAGEM *FUZZY* DO CONSUMO ALIMENTAR DE COELHOS DA RAÇA NOVA ZELÂNDIA BRANCO SUBMETIDOS A DESAFIOS CRÔNICOS POR ALTAS TEMPERATURAS**

Maria Alice J. G. Silva^{1*}, Tadayuki Yanagi Junior¹, Patrícia F. P. Ferraz¹, Raquel S. de Moura², Lucas H. P. Abreu¹

^{1*}Autor correspondente. Departamento de Engenharia. Universidade Federal de Lavras (UFLA), 37200 – 000, Lavras, Minas Gerais, Brasil. E-mail: malicejgsilva@gmail.com

¹Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras (UFLA), 37200-000, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

²Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Lavras (UFLA), 37200-000, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

Normas da Revista Científica: World Rabbit Science

ISSN: 1989-8886 *versão online*

(Versão preliminar)

RESUMO

O ambiente térmico de criação afeta diretamente o desempenho dos coelhos da raça Nova Zelândia Branco por apresentarem grande sensibilidade às condições de temperaturas elevadas. Desta forma, objetivou-se no presente trabalho desenvolver um sistema *fuzzy* Takagi-Sugeno capaz de prever os consumos de ração (CR) e água (C_{H2O}) de coelhos da raça

Nova Zelândia Branco (NZB) submetidos a desafios crônicos por altas temperaturas. O experimento foi conduzido em quatro túneis de vento climatizados instalados em laboratório. Foram utilizados 24 coelhos puros da raça NZB submetidos a quatro temperaturas de bulbo seco do ar (t_{bs} : 20°C, 24°C, 28°C e 32°C - tratamentos) a partir do 30º dia de vida dos animais, durante 14 dias. A obtenção dos dados de CR (g) e C_{H_2O} (mL) se deram pela subtração das quantidades fornecidas e sobras obtidas diariamente de cada coelho em cada tratamento. Posteriormente, foi elaborado um sistema *fuzzy* Takagi-Sugeno a partir dos dados obtidos de CR e C_{H_2O} e, para quantificar os erros das simulações numéricas, aplicaram-se índices estatísticos, os quais são usados para avaliar a acurácia do sistema *fuzzy*. Sendo assim, o sistema de inferência *fuzzy* Takagi-Sugeno foi eficiente em prever o CR e C_{H_2O} com valores de R^2 de 0,9949 e 0,9971, respectivamente, quando se relacionou os dados obtidos experimentalmente e os simulados pela lógica *fuzzy*. O consumo de ração dos coelhos submetidos à t_{bs} de 32°C apresentou uma redução média de 33,75 g dia⁻¹ quando comparado com aqueles alojados a t_{bs} de 20°C. Por sua vez, os animais submetidos às temperaturas de 24 e 28°C apresentaram grande variabilidade no CR e C_{H_2O} , possivelmente, provocados pelo desconforto térmico. Contudo, o sistema de inferência Takagi-Sugeno foi capaz de prever e fornecer informações sobre o conforto térmico dos coelhos da raça NZB de maneira precisa e não invasiva podendo auxiliar o produtor no monitoramento do ambiente térmico de produção evitando prejuízos financeiros.

Palavras-chave: ambiente térmico, cunicultura, estresse térmico, *fuzzy* Takagi-Sugeno.

ABSTRACT

The thermal environment of creating directly affects the performance of the New Zealand breed rabbits White for presenting by great sensitivity to high temperature conditions. The objective of this work, develop a fuzzy system Takagi-Sugeno able to predict feed intake (CR) and water (C_{H20}) of New Zealand White (NZW) rabbits subjected to chronic high temperature challenges. The experiment was conducted in four wind tunnels installed in the laboratory. Twenty-four pure rabbits of the NZW race were tested and four air dry-bulb temperatures (t_{db} : 20°C, 24°C, 28°C and 32°C) were tested from day 30 of the animals for 14 days. Data on CR (g) and C_{H20} (mL) were obtained by subtracting the supplied amounts and leftovers obtained daily from each rabbit in each treatment. Afterwards, a Takagi-Sugeno fuzzy system was elaborated from the data obtained from CR e C_{H20} and, to quantify the errors of the numerical simulations, statistical indices were applied, which are used to evaluate the accuracy of the fuzzy system. The Takagi-Sugeno fuzzy inference system was efficient in predicting CR and C_{H20} with R^2 values of 0.9949 and 0.9971, respectively, when the data obtained experimentally and simulated by fuzzy logic were related. The feed intake of the rabbits submitted to 32 ° C t_{bs} showed a mean reduction of 33.75 g day⁻¹ when compared to those housed at 20 ° C t_{bs} . However, the animals submitted to temperatures of 24 and 28 ° C showed great variability in CR and C_{H20} , possibly caused by thermal discomfort. Takagi-Sugeno's inference system was able to predict and provide information on the thermal comfort of NZW rabbits in a precise and non-invasive manner, which can assist the producer in monitoring the thermal environment of accommodation avoiding financial losses.

Keywords: thermal environment, rabbit breeding, thermal stress, fuzzy Takagi-Sugeno.

INTRODUÇÃO

A cunicultura é uma atividade com grande potencial de crescimento agrícola no Brasil devido à facilidade em seu manejo, a alta prolificidade, por apresentar baixo impacto poluidor, se enquadrar bem em sistemas próprios de agricultura familiar, além de gerar grande quantidade de produtos, coprodutos e subprodutos de alto valor agregado em reduzido tempo (Machado e Ferreira, 2012; Scapinello et al., 2012).

Apesar disso, o setor de cunicultura no Brasil se encontra, de maneira geral, desorganizado e passa por inúmeras dificuldades relacionadas à tecnologia de produção o que eleva o custo de produção (Machado, 2012).

Neste contexto, é importante a análise do bem-estar na criação de coelhos para o desenvolvimento de novas tecnologias que possam melhorar os ambientes de alojamentos já existentes a um custo de produção menor, visto que, na cunicultura são escassas as informações a respeito da zona de conforto térmico para a criação desses animais em condições tropicais (Ferreira et al., 2017).

A temperatura de bulbo seco do ar (t_{bs}) e a umidade relativa do ar (UR) são as variáveis ambientais que mais influenciam o bem-estar dos coelhos e, quando esses animais estão em situação de desconforto térmico podem ocorrer problemas reprodutivos, queda na imunidade, perda no desempenho produtivo e assim prejuízos financeiros (Ferreira et al., 2012; Zeferino et al., 2011).

De acordo com Yanagi Junior et al. (2012) e Schiassi et al. (2015), para controlar o ambiente térmico em que os animais ficarão expostos durante todo o período produtivo se faz necessário criar um sistema que utilize técnicas de modelagem computacional, como sistemas de especialistas inteligentes, que permitam executar tarefas ou controlar as variáveis ambientais tais como, a t_{bs} e a UR, a partir de uma base de conhecimento. Os autores ainda

mencionam que os sistemas mais utilizados e testados são a lógica *fuzzy* e redes neurais artificiais.

Tendo em vista que a interação entre a idade pós-desmame e a temperatura do ambiente de alojamento dos coelhos influencia no consumo alimentar dos animais, a aplicação do sistema de inferência *fuzzy* Takagi-Sugeno pode ser uma metodologia eficaz, pois possibilita prever o bem-estar dos coelhos quando se parte de um cenário conhecido do ambiente térmico, evidenciando as situações de desconforto térmico provocadas por altas temperaturas.

Dessa forma, objetivou-se com o presente trabalho, desenvolver um modelo baseado na teoria dos conjuntos *fuzzy* Takagi-Sugeno para predição dos consumos de ração (CR) e água (C_{H_2O}) de coelhos da raça Nova Zelândia Branco (NZB) submetidos a desafios crônicos por altas temperaturas.

MATERIAL E MÉTODOS

Experimento

O experimento foi conduzido em quatro unidades experimentais de túneis de vento climatizados instalados no interior de uma sala experimental nos quais os coelhos foram submetidos a desafios crônicos por altas temperaturas.

Foram utilizados 24 coelhos, 15 fêmeas e 9 machos, com idades entre 30 e 43 dias da raça Nova Zelândia Branco (NZB).

O experimento foi dividido em duas baterias experimentais com duração de quatorze dias cada. Desta maneira, em cada bateria, foram utilizados 12 coelhos, divididos

aleatoriamente em quatro gaiolas contendo três animais cada. Estes coelhos correspondem às repetições de cada tratamento.

Os coelhos foram alojados no interior de cada túnel de vento climatizado em uma gaiola de arame galvanizado divididas em três partes iguais de $0,08 \text{ m}^2 \text{ animal}^{-1}$ conforme recomendado para a categoria de coelhos em crescimento (Moura, 2010).

Em cada bateria experimental, foram testadas três t_{bs} , consideradas desconfortáveis para coelhos desmamados (24°C , 28°C e 32°C) e, uma t_{bs} considerada como a ideal para criação de coelhos desmamados (20°C). Desta maneira, os níveis das t_{bs} foram selecionados considerando os intervalos de temperaturas ótimas citadas na literatura para animais desmamados, cujo intervalo varia de 15 a 20°C (Oliveira, 1999; Zeferino et al., 2011) e, tendo o seu limite superior extrapolado para se gerar condições de desconforto por calor.

Durante todo o período experimental, a UR e a velocidade do ar (V) foram mantidas a 60% e a $0,2 \text{ m s}^{-1}$ respectivamente, por serem consideradas com condições que caracterizam conforto térmico para os animais (Ferreira et al., 2012; Roca, 1998).

Para o controle do ambiente térmico no interior dos túneis de vento climatizados foi utilizado um módulo de aquisição, armazenamento e controle de dados (CR1000, *Campbell Scientific*) dos dados, configurado para coletar dados em intervalos um minuto e, as variáveis do ambiente térmico t_{bs} e a UR foram medidas por meio de sensores com exatidão mínima de $0,3^\circ\text{C}$ e 1% , respectivamente.

Na Tabela 1 estão listados os valores médios de t_{bs} e UR obtidos em cada bateria experimental (14 dias cada), após a realização da programação do sistema de controle dos túneis de ventos tendo seus valores monitorados durante todo o período experimental.

TABELA 1. Valores médios e desvios padrões de temperatura de bulbo seco (t_{bs}) e umidade relativa (UR) do ar no interior dos túneis de vento climatizados obtidos em cada bateria experimental e tratamento aplicado.

Tratamento	Bateria experimental		UR (%)
		t_{bs} (°C)	
20°C	1	20,5 ± 0,53	61 ± 0,2
	2	20,3 ± 0,02	60 ± 0,1
24°C	1	23,7 ± 0,58	62 ± 1,1
	2	23,9 ± 0,10	60 ± 0,1
28°C	1	27,6 ± 0,37	60 ± 0,1
	2	27,9 ± 0,09	60 ± 0,1
32°C	1	31,9 ± 0,26	61 ± 0,2
	2	31,8 ± 0,11	59 ± 1,4

Nos 14 dias de cada bateria experimental, foi adotado um programa de iluminação de 12 horas de luz diárias (das 06h00min às 18h00min) com intensidade luminosa de 20 lux, por serem consideradas como condições que favorecem o conforto térmico (Ferreira et al., 2012).

Durante todo o período experimental os animais tiveram acesso livre à ração comercial balanceada e água potável. A ração foi escolhida conforme recomendações citadas por Machado et al. (2019) para coelhos na fase de crescimento.

Diariamente, no período da manhã, foi realizada a limpeza das gaiolas para evitar a formação de gases, como a amônia, que poderiam interferir no desempenho dos animais.

Controle diário de consumo alimentar e pesagem dos animais

Diariamente foi feita a pesagem das quantidades fornecidas e das sobras obtidas de cada coelho em cada tratamento e, posteriormente, foi calculada a média do consumo de ração (CR, g) e água (C_{H_2O} , mL) diário por gaiola (três animais) por tratamento nas duas baterias.

No início e no fim de cada bateria experimental, foi obtida a massa corporal (g) dos coelhos para obtenção dos valores de ganho médio de massa corporal acumulado no período (MC, g dia⁻¹) para a realização do cálculo de conversão alimentar (CA, g g⁻¹) média acumulada no período de cada tratamento.

Desenvolvimento do modelo *fuzzy* Takagi-Sugeno

O modelo *fuzzy* Takagi-Sugeno foi elaborado com base nos dados obtidos experimentalmente no laboratório, sobre o CR e C_{H2O} dos coelhos da raça Nova Zelândia Branco, expostos a desafios crônicos por altas temperaturas utilizando a *Fuzzy Toolbox*® do Matlab®, *software version 7.13.0.564 (R2011b)*.

A principal razão desta escolha deve-se ao fato de que o controlador Takagi-Sugeno é um método mais compacto e computacionalmente mais eficiente do que outros métodos de inferência *fuzzy* como, por exemplo, o sistema Mamdani e, também, por se ajustar bem ao uso de técnicas adaptativas que podem ser usadas para personalizar as funções de associação, de modo que o sistema difuso modifique melhor os dados (MathWorks, 2019).

Para o desenvolvimento e teste do sistema *fuzzy* Takagi-Sugeno, foram definidas como variáveis de entrada, os dias após o desmame dos coelhos (14 dias experimentais) e as t_{bs} (20°C, 24°C, 28°C e 32°C). Com base nas variáveis de entrada e se utilizando como referência os dados experimentais, o modelo *fuzzy* prediz as variáveis de saída: CR e C_{H2O}.

Para cada variável de entrada definida foram atribuídos conjuntos *fuzzy* que as caracterizam, sendo que, para cada conjunto *fuzzy* foi criada uma função de pertinência. Assim, para quantificar a importância da variação da t_{bs} no CR e C_{H2O} dos coelhos durante os 14 dias após o desmame, foram admitidos os intervalos para as variáveis de entrada (t_{bs} e dias

após o desmame) (Tabela 2) e representados por curvas de pertinência em formato triangular (Figuras 1a e 1b) por melhor representarem a divisão dos dados.

TABELA 2. Conjuntos *fuzzy* para as variáveis de entrada.

Dias após o desmame (dias)													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1-2	1-3	2-4	3-5	4-6	5-7	6-8	7-9	8-10	9-11	10-12	11-13	12-14	13-14

Temperatura de bulbo seco (°C)			
T1	T2	T3	T4
20-24	20-28	24-32	28-32

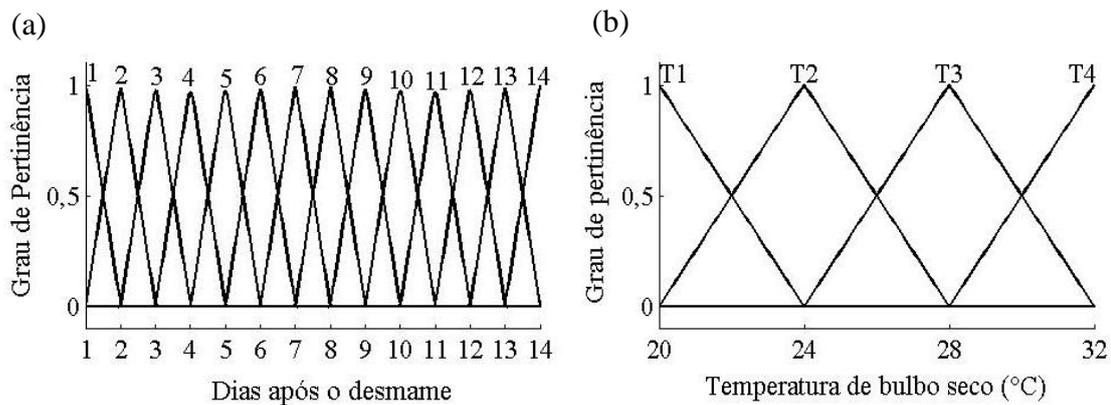


FIGURA 1. Funções de pertinência triangulares para as variáveis de entrada (a) temperatura de bulbo seco do ar (°C) e (b) dias após o desmame.

Os intervalos adotados para as variáveis de saída CR e C_{H_2O} foram definidos com base nos dados coletados experimentalmente e caracterizados por curvas de pertinência do tipo Singleton (Figura 2), por simplificar o processo de defuzzificação do controlador Takagi-Sugeno exigindo menos esforço computacional. De acordo com Garcia (2009), as curvas de pertinência Singleton apresentam um único valor com pertinência igual a 1 (um) e todas as demais com pertinência 0 (zero) e, o seu emprego no controlador Takagi-Sugeno, permite a definição de regras com valores de saída que representam uma classificação da resposta do

controlador sem alteração, simplificando os cálculos para produzir as saídas *fuzzy* (Garcia, 2009).

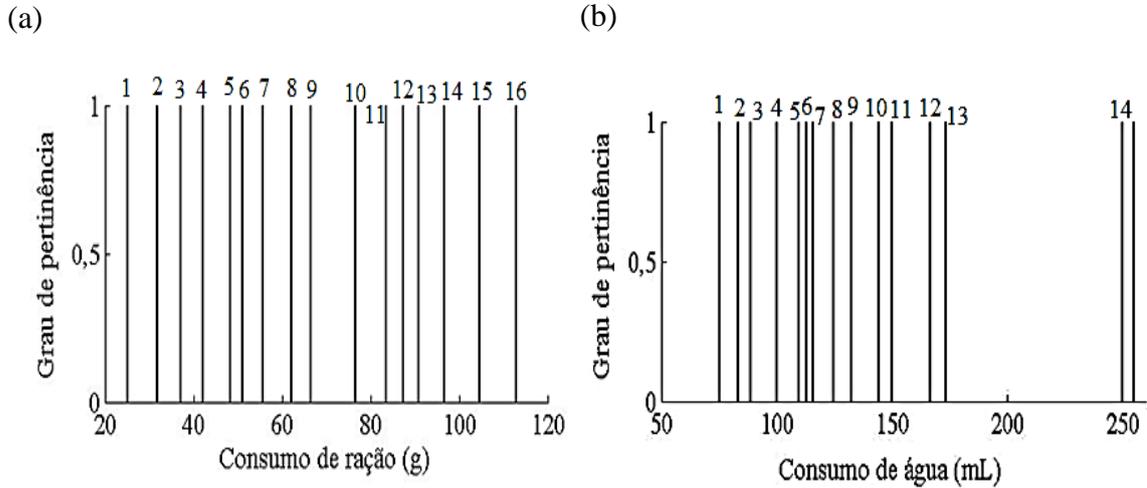


FIGURA 2. Funções de pertinência Singleton para as variáveis de saída (a) consumo de ração diário (g) e (b) consumo de água diário (mL).

O sistema de regras do modelo Takagi-Sugeno é baseado em regras do tipo “SE x_1 é A_1 E x_2 é A_2 ENTÃO $y = f(x_1, x_2)$ ”, em que x são as variáveis linguísticas de entrada, A os termos linguísticos do conjunto *fuzzy* e y é a variável consequente funcional. Dessa maneira, as regras foram criadas de acordo com a base de dados obtida experimentalmente e por meio do auxílio de especialistas em produção de coelhos e modelagem matemática, em forma de sentença linguística. Tal experiência é desejada por um especialista, tendo em vista sua influência direta na confiabilidade e na qualidade dos resultados (Zorzella, 2015).

Com base na combinação dos dados das variáveis de entrada t_{bs} e dias após o desmame dos coelhos, foram definidas 56 regras e, para cada regra foi atribuído um fator de ponderação igual a 1. O fator de ponderação igual a 1, usualmente adotado como *default*, foi escolhido por estabelecer a igualdade relevante para cada regra e alcançar as associações capazes de aperfeiçoar os parâmetros (Schiassi et al. 2015; Bahuti et al. 2018).

A defuzzificação foi feita utilizando o método da média ponderada (wtaver). Dessa maneira, a saída numérica é calculada diretamente pela soma das saídas das regras, ponderada pelo grau de ativação (disparo) de cada uma delas (Rabêlo et al., 2011).

Validação e índices de desempenho do modelo *fuzzy* Takagi-Sugeno

Para a validação da modelagem do consumo de coelhos submetidos a desafios crônicos por altas temperaturas foi utilizada uma técnica de validação chamada de ‘holdout’, que consiste em separar o conjunto de dados em duas partes, uma que será utilizada para o treinamento do modelo (70% dos dados obtidos experimentalmente) e outra que será utilizada somente para avaliar o seu desempenho (30% dos dados obtidos experimentalmente) (Lima, 2015).

Após a validação do sistema de inferência *fuzzy* Takagi-Sugeno para simular CR e C_{H_2O} em função da t_{bs} e da idade dos animais, utilizou-se os índices de desempenho como erro médio (ME – *Mean Error*), erro absoluto médio (MAE - *Mean Absolute Error*), erro quadrado médio (MSE - *Mean Square Error*), erro percentual absoluto médio (MAPE – *Mean Absolute Percentage Error*), raiz do erro quadrático médio (RMSE - *Root Mean Square Error*), coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE) e o coeficiente de determinação (R^2) para verificar a eficiência do sistema em prever os dados com relação aos dados observados experimentalmente.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os coelhos da raça NZB são animais que apresentam grande sensibilidade às condições de altas temperaturas por serem animais originários de regiões de clima temperado

a frio desenvolvendo características de pelagem e sistema de troca de calor compatível com essas regiões (Resende et al., 2012).

Para um bom desempenho produtivo, os coelhos NZB acima de 20 a 30 dias de vida, devem ser criados em intervalo de temperatura do ar compreendido entre 15 e 20°C (Jaruche et al., 2012) e, segundo Klinger e Toledo (2017), quando em situação de conforto, o consumo de ração de coelhos NZB pode variar de 80 a 100 g dia⁻¹ até 60 dias de idade.

Percebe-se, claramente, esse efeito no experimento realizado (Tabela 3), no qual os coelhos submetidos às temperaturas de 28 e 32 °C apresentaram um baixo CR de 62,85 e 38,32 g dia⁻¹, respectivamente, quando comparado a t_{bs} de conforto de 20°C com CR de 86,06 g dia⁻¹.

TABELA 3. Valores médios acumulados aos 14 dias de massa corporal (MC, g) aos 30 e 43 dias de vida, consumo diário de ração (CR, g dia⁻¹), consumo diário de água (C_{H2O}, mL dia⁻¹), ganho de massa corporal (GMC, g) e conversão alimentar (CA, g g⁻¹) de acordo com cada tratamento (t_{bs}, °C).

t _{bs} (°C)	MC aos 30 dias (g)	MC aos 43 dias (g)	CR (g dia ⁻¹)	C _{H2O} (mL dia ⁻¹)	GMC (g)	CA (g g ⁻¹)
20	483,85	1221,35	86,06	111,19	52,68	1,63
24	447,68	1194,75	70,42	94,17	53,36	1,32
28	474,93	1094,72	62,85	142,14	44,27	1,42
32	458,05	965,55	38,32	111,07	36,25	1,06

Os valores da t_{bs} e idade dos animais foram utilizados para prever o CR e C_{H2O} e, foram comparados com os dados observados no experimento realizado nos túneis de vento climatizados (Tabela 4). Foram calculadas as médias dos desvios-padrão de 0,95 g e 0,55 mL para CR e C_{H2O}, respectivamente.

TABELA 4. Comparação dos valores de diários de consumo de ração (CR, g dia⁻¹) e consumo de água (C_{H2O}, mL dia⁻¹) obtidos experimentalmente (ME) e simulados pelo modelo *fuzzy* (SF).

Dias após o desmame	Tratamento (°C)	ME		SF		Desvio Padrão	
		CR (g dia ⁻¹)	C _{H2O} (mL dia ⁻¹)	CR (g dia ⁻¹)	C _{H2O} (mL dia ⁻¹)	CR (g dia ⁻¹)	C _{H2O} (mL dia ⁻¹)
1	20	49,55	133,33	51,00	133,00	1,03	0,24
	24	42,75	100,00	42,20	100,00	0,39	0,00
	38	35,55	100,00	37,10	100,00	1,10	0,00
	32	26,35	100,00	25,20	100,00	0,81	0,00
2	20	50,27	133,33	51,00	133,00	0,52	0,24
	24	42,60	125,00	42,20	125,00	0,28	0,00
	38	47,87	150,00	48,50	150,00	0,45	0,00
	32	39,40	120,00	37,10	125,00	1,63	3,54
3	20	60,03	100,00	62,20	100,00	1,54	0,00
	24	35,83	83,33	37,10	83,30	0,90	0,02
	38	54,93	100,00	55,80	100,00	0,61	0,00
	32	31,20	100,00	31,80	100,00	0,42	0,00
4	20	69,23	100,00	66,40	100,00	2,00	0,00
	24	52,07	83,33	51,00	83,30	0,75	0,02
	38	59,90	125,00	62,20	125,00	1,63	0,00
	32	50,30	133,33	51,00	133,00	0,49	0,24
5	20	76,63	100,00	76,70	100,00	0,05	0,00
	24	57,60	100,00	55,80	100,00	1,27	0,00
	38	67,23	150,00	66,40	150,00	0,59	0,00
	32	51,40	125,00	51,00	125,00	0,28	0,00
6	20	80,57	90,00	83,50	83,30	2,07	4,74
	24	67,95	83,33	66,40	83,30	1,10	0,02
	38	75,75	112,50	76,70	110,00	0,67	1,77
	32	60,00	150,00	62,20	150,00	1,56	0,00
7	20	85,70	73,33	87,60	75,00	1,34	1,18
	24	74,80	100,00	76,70	100,00	1,34	0,00
	38	75,77	150,00	76,70	150,00	0,66	0,00
	32	62,60	100,00	62,20	100,00	0,28	0,00
8	20	89,45	133,33	91,00	133,00	1,10	0,24
	24	80,45	100,00	83,50	100,00	2,16	0,00
	38	76,67	87,50	76,70	88,80	0,02	0,92
	32	65,00	133,33	66,40	133,00	0,99	0,24
9	20	94,40	116,67	96,60	113,00	1,56	2,59
	24	90,45	100,00	91,00	100,00	0,39	0,00
	38	82,80	150,00	83,50	150,00	0,49	0,00
	32	41,90	150,00	42,20	150,00	0,21	0,00

(Continua)

10	20	112,43	90,00	113,00	88,80	0,40	0,85
	24	88,63	116,67	87,60	116,00	0,73	0,47
	38	84,90	150,00	83,50	145,00	0,99	3,54
	32	64,55	150,00	66,40	150,00	1,31	0,00
11	20	94,83	115,00	96,60	116,00	1,25	0,71
	24	87,60	127,50	87,60	125,00	0,00	1,77
	38	82,40	125,00	83,50	125,00	0,78	0,00
	32	58,55	116,67	55,80	116,00	1,94	0,47
12	20	114,25	127,50	113,00	125,00	0,88	1,77
	24	110,80	146,67	113,00	145,00	1,56	1,18
	38	99,30	133,33	96,60	133,00	1,91	0,24
	32	73,80	175,00	76,70	173,00	2,05	1,41
13	20	96,55	133,33	96,60	133,00	0,04	0,24
	24	86,50	150,00	87,60	150,00	0,78	0,00
	38	92,45	166,67	91,00	166,70	1,03	0,02
	32	65,20	112,50	66,44	112,78	0,88	0,20
14	20	107,70	113,33	105,00	113,00	1,91	0,24
	24	86,05	86,67	87,60	88,80	1,10	1,51
	38	90,95	250,00	91,00	250,00	0,04	0,00
	32	67,95	110,00	66,40	110,00	1,10	0,00
Média						0,95	0,55

A eficácia de um modelo *fuzzy* Takagi-Sugeno dependerá de características como o número de conjuntos *fuzzy* na partição, da complexidade das funções no consequente e da complexidade das funções de pertinência (Bergsten, 2001). Dessa maneira aplicaram-se índices estatísticos usados como ferramentas para avaliar a acurácia dos modelos que foram obtidos por meio da comparação numérica dos valores observados em laboratório daqueles preditos pela modelagem *fuzzy* (Tabela 5).

TABELA 5. Índices estatísticos para avaliar a acurácia dos modelos de inferência *fuzzy* Takagi-Sugeno em prever os consumos diários de ração (CR) e água (C_{H_2O}) em função da temperatura de bulbo seco do ar (t_{bs}) e dias após o desmame dos coelhos NZB.

Variáveis de consumo alimentar	Índices estatísticos de desempenho <i>fuzzy</i>					
	ME	MAE	MSE	MAPE	RMSE	NSE
CR ($g \text{ dia}^{-1}$)	0,3428	1,3470	2,5198	2,0481	1,5874	0,9995
C_{H_2O} ($mL \text{ dia}^{-1}$)	-0,3646	0,7723	2,6282	0,6877	1,6212	0,9998

Legenda: erro médio (ME – *Mean Error*), erro absoluto médio (MAE – *Mean Absolute Error*), erro quadrático médio (MSE – *Mean Square Error*), erro percentual absoluto médio (MAPE – *Mean Absolute Percentage Error*), raiz do erro quadrado médio (RMSE – *Root Mean Square Error*) e coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE).

No experimento realizado nota-se que os melhores resultados foram observados no modelo Takagi-Sugeno desenvolvido para C_{H_2O} com valores de MAE, MAPE e NSE de 0,7723, 0,6877 e 0,9998, respectivamente (Tabela 5 e Figura 3b). Entretanto, os valores obtidos para CR também foram satisfatórios, indicando a aplicabilidade do sistema *fuzzy*.

Os gráficos de correlação de valores de CR e C_{H_2O} de coelhos NZB obtidos experimentalmente e previstos pelos modelos de Takagi-Sugeno com os respectivos valores de R^2 estão ilustrados na Figura 3.

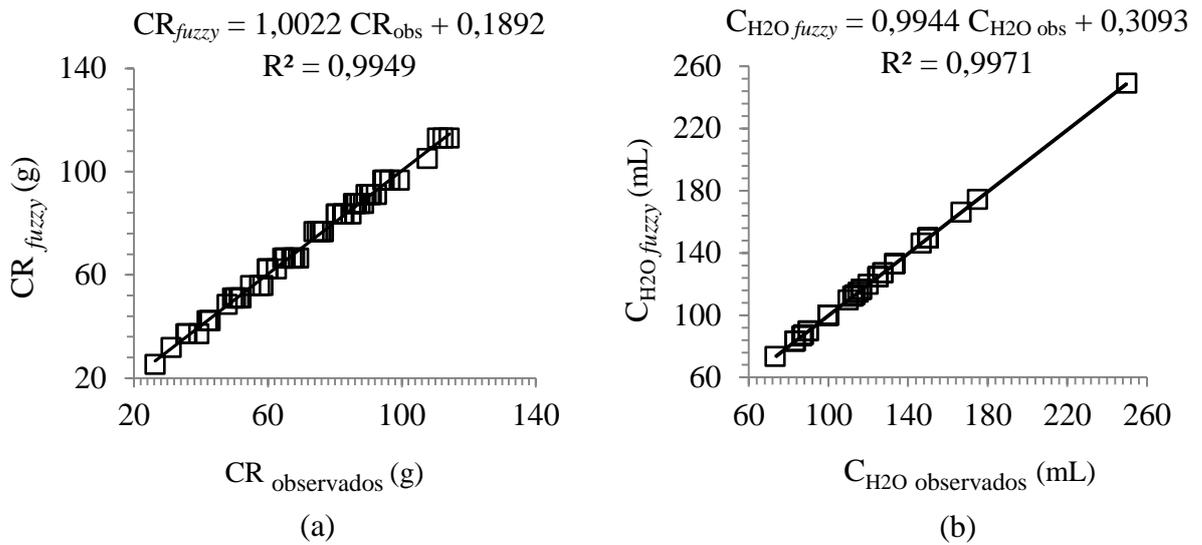


FIGURA 3. Relação funcional entre os valores preditos pelo sistema *fuzzy* e observados experimentalmente de: (a) consumo de ração (CR, g) e (b) consumo de água (C_{H2O} , mL) para coelhos da raça Nova Zelândia Branco (NZB) com idades entre 30 e 43 dias submetidos a desafios crônicos por altas temperaturas.

Os coeficientes de correlação (R^2) do modelo de regressão para CR e C_{H2O} foram de 0,9949 e 0,9971, respectivamente. Os altos valores de R^2 indicam que é possível estimar as variáveis de consumo alimentar de coelhos NZB por meio do sistema *fuzzy* Takagi-Sugeno.

As superfícies de resposta (Figura 4) ilustram a interação entre as t_{bs} e dos dias após o desmame dos coelhos NZB em função do CR e C_{H2O} dos animais.

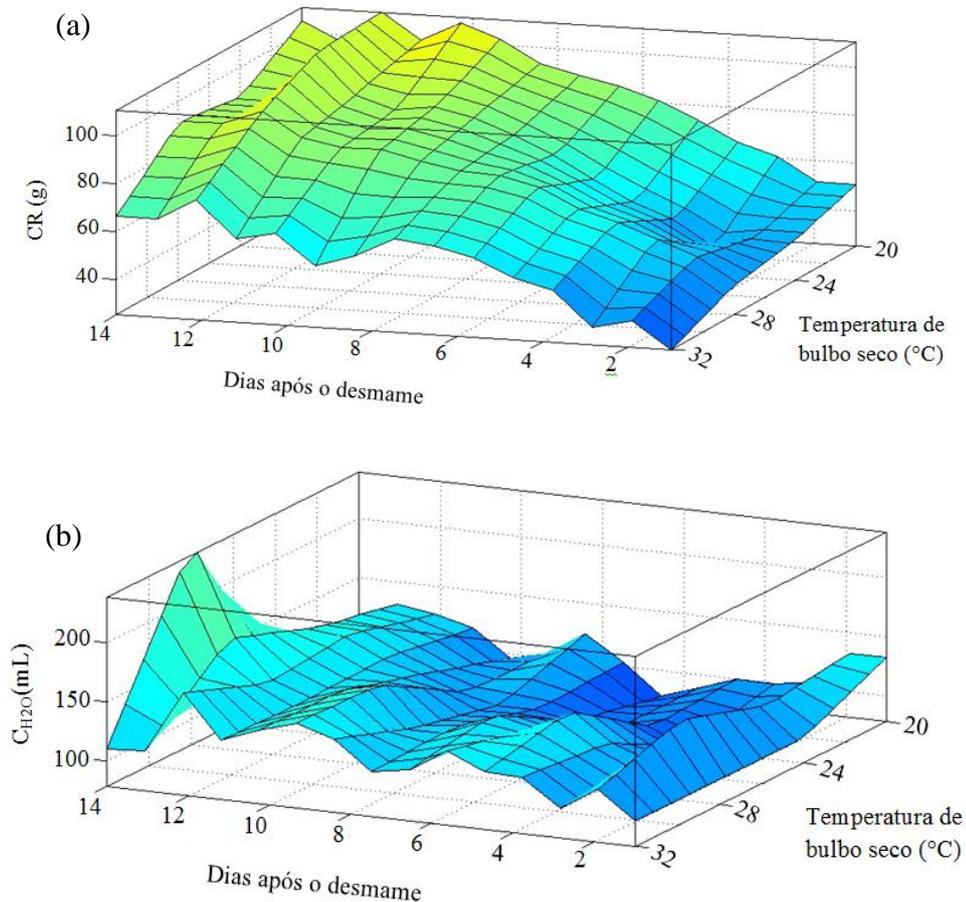


FIGURA 4. Superfícies de resposta do (a) consumo de ração (CR, g) e do (b) consumo de água (C_{H2O}, mL) em função das temperaturas de bulbo seco (t_{bs} , °C) e dias após o desmame de coelhos NZB variando de 30 a 43 dias.

Pode-se observar que, na faixa de t_{bs} entre 28 e 32 °C os coelhos NZB consumiram menos ração em relação à t_{bs} de conforto 20°C (Figura 4a). O consumo de ração dos coelhos submetidos à t_{bs} de 32°C apresentou uma redução média de 33,75 g dia⁻¹ quando comparado com aqueles alojados a t_{bs} de 20°C.

Ferreira et al. (2017) avaliaram os parâmetros comportamentais de coelhos submetidos a estresse agudo por calor por meio de filmagem por câmeras a cada 5 minutos. Os resultados obtidos pelos pesquisadores foram que os coelhos mantidos no calor (t_{ar} de 32°C) apresentaram decréscimo no consumo de ração (CR) de 56,7 % quando comparado com os

animais em conforto (20°C). Os autores acrescentam ainda que a redução no CR possivelmente ocorreu pelo fato de que, os animais em estresse por calor tendem a consumir menor quantidade de ração para diminuir a termogênese induzida pela dieta, reduzindo, também, a eficiência na utilização de energia metabolizável.

Na Figura 4b, nota-se grande variabilidade no consumo de água com valores médios variando entre 94,17 e 142,12 mL dia⁻¹ (Tabela 3). É possível observar, também, que os animais submetidos às t_{bs} de 28 e 32 °C consumiram mais água do que aqueles em t_{bs} de conforto (20°C).

Segundo Zeferino et al. (2011), quando os coelhos são expostos à condições de calor intenso ocorre imediatamente a redução consumo de ração e aumento no consumo de água, por consequência, redução no ganho de peso, em relação àqueles animais mantidos na zona termoneutra (20°C).

Portanto, simulações realizadas com o sistema *fuzzy* possibilitam o estudo de diversos cenários para se analisar o efeito do ambiente térmico sobre o consumo alimentar dos coelhos NZB, fornecendo informações mais detalhadas ao produtor do processo de produção, permitindo, assim, uma melhor eficiência no controle da climatização do galpão.

CONCLUSÃO

O sistema *fuzzy* Takagi-Sugeno permite estimar, com eficiência, o consumo de ração e água de coelhos Nova Zelândia Branco com idades entre 30 a 43 dias submetidos a desafios crônicos por altas temperaturas.

Ao comparar as t_{bs} de 20 e 32°C durante o período experimental, observa-se que ao final experimental, os coelhos NZB submetidos à t_{bs} de conforto (20°C) ganharam em média

255,8 g de massa corporal e, também, aumentaram o consumo diário de ração em 47,74g dia⁻¹ em relação aos animais alojados em t_{bs} de 32°C.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bahuti M, Abreu LHP, Yanagi Junior T, Lima RR de, Campos AT 2018. Performance of fuzzy inference systems to predict the surface temperature of broiler chickens. Engenharia Agrícola 38(6): 813-823. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v38n6p813-823/2018>

Bergsten P 2001. Observer and Controllers for Takagi-Sugeno Fuzzy Systems. Tese (Doutorado). - Örebro University, Örebro, 117p.

Ferreira RA, Moura RS, Amaral RC, Ribeiro BPVB, Oliveira RF, Piva AE 2017. Estresse agudo por calor em coelhos. Revista Brasileira de Cunicultura 12 (1): 45-56. Disponível em: http://www.rbc.acbc.org.br/index.php?option=com_content&view=article&id=74&Itemid=93. Acessado em janeiro de 2019.

Ferreira WM, Machado LC, Jaruche YG, Carvalho GG, Oliveira CEA, Souza JD'AS, Caríssimo APG 2012. Manual prático de cunicultura. In: Associação Científica Brasileira de Cunicultura. Bambuí, p75. Disponível: http://acbc.org.br/site/images/stories/Manual_prtico_de_cunicultura_1_partee.pdf. Acessado em janeiro de 2019.

Garcia ALG 2009. Implementação eletrônica de sistemas Fuzzy. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro 114p.

Jaruche YG, Filho DEF, Dias NA, Fernandes DP, Ribeiro HOC, Siqueira AA, Sima PS, Ornelas OTC, Cruz LJ, Caixeta V, Barbosa PM 2012. Efeito da densidade de alojamento

sobre a homeostase térmica em coelhos em crescimento mantidos em diferentes temperaturas. Revista Brasileira de Cunicultura 1 (1). Disponível: <http://acbc.org.br/site/images/stories/homeostase.pdf>. Acessado em janeiro de 2019.

Klinger ACK, Toledo GSP 2017. Cunicultura: didática e prática na criação de coelhos. Santa Maria. Disponível em: https://www.livrariacultura.com.br/p/ebooks/ciencias-biologicas/zoologia/cunicultura-111867609;_lcid=wHTHwi4o-vzqoA6tfzkar6Kw5F-oX1Qp4GURHjxWqHAKev8rH_i4!626421851. Acessado em agosto de 2018.

Lima HP 2015. Uma abordagem para construção de sistema *fuzzy* baseados em regras integrando conhecimento de especialistas e extraído de dados. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos 140p.

Machado LC 2012. Opinião: Panorama da Cunicultura Brasileira. In: Revista Brasileira de Cunicultura. Disponível: http://www.rbc.acbc.org.br/index.php?option=com_content&view=article&id=63&Itemid=71. Acessado em janeiro de 2019.

Machado LC, Ferreira WM 2012. A Cunicultura e o Desenvolvimento Sustentável. Minas Gerais. In: Associação Científica Brasileira de Cunicultura. Disponível: <http://acbc.org.br/site/index.php/notas-tecnicas/a-cunicultura-e-o-desenvolvimento-sustentavel>. Acessado em fevereiro de 2019.

Machado LC, Ferreira WM, Scapinello C, Padilha MTS, Euler ACC, Klinger ACK (2019). Manual de ração e suplementos para coelhos. 3. Ed. Disponível em: <[http://acbc.org.br/site/images/Manual de formula%C3%A7%C3%A3o de ra%C3%A7%C3%A3o e suplementos para coelhos - terceira edi%C3%A7%C3%A3o.pdf](http://acbc.org.br/site/images/Manual%20de%20formula%C3%A7%C3%A3o%20de%20ra%C3%A7%C3%A3o%20e%20suplementos%20para%20coelhos%20-terceira%20edi%C3%A7%C3%A3o.pdf)>. Acessado em março de 2019.

Math Works 2019. Comparação de sistemas Sugeno e Mamdani. Getting Started Guide. Matlab® R2019a. Disponível em: <<https://la.mathworks.com/help/fuzzy/comparison-of-sugeno-and-mamdani-systems.html>>. Acesso em: 23 mai. 2019.

Moura A S A M T (2010) Rabbit Production in Latin America. In: American Rabbit Congress. Cordoba, Argentina.

Oliveira, E M 1999. Ambiência e produtividade na cunicultura. In: Seminário nacional de pesquisa e tecnologia em cunicultura. Jaboticabal, Anais. Jaboticabal.

Rabêlo RAL, Carneiro AAFM, Fernandes RAS, Braga RTV 2011. Uma abordagem baseada em sistemas de inferência fuzzy Takagi-Sugeno aplicada ao planejamento da operação de sistemas hidrotérmicos de geração. Sociedade Brasileira de Automática 22 (1): 49-64.

Resende LHC, Borges JFPM, Serafim RS 2012. Tosquia de coelhos como alternativa para melhorar o conforto térmico. FAZU em Revista 9: 85-89.

Roca T 1998. Aspectos fundamentais de cunicultura. In: Primer Congreso de Cunicultura de Las Américas. Montecilio.

Scapinello C, Araujo I G, Jaruche Y G, Ponciano Neto B 2012. Sistemas de Criação de coelhos. In: Seminário Nacional de Ciência e Tecnologia em Cunicultura. Botucatu, Anais... CD ROM.

Schiassi L, Yanagi Junior T, Reis GM, Abreu LHP, Campos AT, Castro J de O 2015. Modelagem fuzzy aplicada na avaliação do desempenho de frangos de corte. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 19 (2): 140-146. DOI:

Yanagi Junior T, Schiassi L, Abreu LHP, Barbosa JÁ, Campos AT 2012. Procedimento fuzzy aplicado à avaliação da insalubridade em atividades agrícolas. *Engenharia Agrícola* 32(3): 423-434.

Zeferino CP, Moura ASAMT, Fernandes S, Kanayama JS, Scapinello C, Sartori JR 2011. Genetic group×ambient temperature interaction effects on physiological responses and growth performance of rabbits. *Livestock Science*, p177–183. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2011.03.027>

Zorzella M 2015. Modelagem matemática da análise da dor no pós-operatório de cadelas ovariectomizadas. Dissertação (Mestrado Modelagem Matemática). Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. 82 p.

**ARTIGO 2 - MODELAGEM FUZZY DO PADRÃO COMPORTAMENTAL DE
COELHOS DA RAÇA NOVA ZELÂNDIA BRANCO SUBMETIDOS A DESAFIOS
CRÔNICOS POR ALTAS TEMPERATURAS.**

**Maria Alice J. G. Silva^{1*}, Tadayuki Y. Junior², Patrícia F. P. Ferraz², Raquel S. de
Moura², Lucas H. P. Abreu², Renato R. de Lima²**

^{1*}Departamento de Engenharia, Autor correspondente. Universidade Federal de Lavras/ Lavras – MG, Brasil. E-mail:
malicejgsilva@gmail.com

²Universidade Federal de Lavras (UFLA), 37200-000, Lavras, MG, Brasil.

Normas da Revista Científica: Engenharia Agrícola

ISSN: 1809-4430 *versão online*

(Versão preliminar)

RESUMO: O comportamento de coelhos da raça Nova Zelândia Branco (NZB) é afetado pelas condições do ambiente térmico, podendo ser usado como identificador de estresse por calor. Assim, objetivou-se com o presente trabalho, desenvolver um sistema *fuzzy* Takagi-Sugeno capaz de prever a frequência dos comportamentos de ingestão (IG), normal (NO) e indicativo de estresse térmico (IE) de coelhos da raça NZB submetidos a desafios crônicos por altas temperaturas. O experimento foi conduzido em quatro túneis de vento climatizados instalados em laboratório. Foram utilizados 24 coelhos NZB e testadas quatro temperaturas de bulbo seco do ar (t_{bs} : 20°C, 24°C, 28°C e 32°C) a partir do 30º dia de vida dos animais, durante 14 dias. Os comportamentos de IG, NO e IE foram avaliados por meio de análise visual em intervalos de dois minutos por hora por dia por tratamento. Posteriormente, um sistema de inferência *fuzzy* foi desenvolvido para prever IG, NO e IE em função da t_{bs} e dias

após o desmame (14 dias). Os métodos de Takagi-Sugeno e de média ponderada (wtaver) foram usados para a inferência e defuzzificação, respectivamente. Com base nos resultados e ao se comparar os valores simulados pelo sistema *fuzzy* aos obtidos experimentalmente, obteve-se os coeficientes de determinação (R^2) de 0,9911, 0,9991 e 0,9949 para IG, NO e IE, respectivamente.

Palavras-chave: comportamento, cunicultura, *fuzzy* Takagi-Sugeno.

ABSTRACT: The behavior of New Zealand White rabbits (NZB) is affected by the conditions of the thermal environment and can be used as a heat stress identifier. The objective of this work was to develop a Takagi-Sugeno *fuzzy* system capable of predicting the frequency of eating (IG), normal (NO) and stress (EI) behaviors of NZB rabbits subjected to chronic challenges by high temperatures. The experiment was conducted in four wind tunnels installed in the laboratory. Twenty-four NZB rabbits were tested and four air dry-bulb temperatures (t_{db} : 20 ° C, 24 ° C, 28 ° C and 32 ° C) were tested from the 30 th day of the animals for 14 days. The IG, NO and IE behaviors were assessed by visual analysis at two minute intervals per hour per day per treatment. Later, a *fuzzy* inference system was developed to predict IG, NO and IE as a function of t_{db} (° C) and days after weaning (14 days). The Takagi-Sugeno and weighted mean (wtaver) methods were used for inference and defuzzification, respectively. Based on the results and comparing the measured data with those obtained by the simulation with the proposed *fuzzy* model, determination coefficients (R^2) of the order of 0.9911, 0.9999 and 0.9949 were verified for IG, NO and IE , respectively.

Keywords: behavior, rabbit breeding, *fuzzy* Takagi-Sugeno.

INTRODUÇÃO

O coelho da raça Nova Zelândia Branco (NZB) é um animal homeotérmico, originário dos Estados Unidos (EUA) sendo, a raça mais criada mundialmente. Ela apresenta boa proporção corporal, garupa arredondada, região lombar musculosa e costelas com boa abertura muscular, o que propicia carcaças de ótima qualidade e com rendimento de 60% (com a cabeça) (Machado et al., 2012). Além disso, caracteriza-se por ser um animal altamente prolífero e bastante sociável (Ferreira et al., 2012).

No Brasil, o consumo de carne de coelho da raça NZB ainda é pequeno frente ao consumo de outros países, como China e Itália, porém, a cunicultura é uma atividade produtiva estratégica, principalmente na agricultura familiar, por possibilitar a produção de grande quantidade de produtos, coprodutos e subprodutos de alto valor agregado em reduzido tempo, de forma sustentável e com um mínimo de investimento (Machado, 2016).

Entretanto, o desempenho e o bem-estar dos coelhos NZB está relacionado diretamente com os fatores ligados a ambiência. Por isso, se faz necessário testar novas metodologias que possibilitem prever o comportamento desses animais em ambientes de criação já existentes a um custo de produção menor, visto que, não existem muitas informações sobre a zona de conforto térmico para a produção de coelhos em países de clima tropical, como o Brasil (Ferreira et al., 2017).

Os coelhos mantidos em ambiente de produção podem estar submetidos a muitos fatores estressantes tais como, altas temperaturas, viver em condições limitantes nas gaiolas, em ambiente monótono e de alta densidade, favorecendo a ocorrência de comportamentos estereotipados (Hoy & Verga, 2006).

Ferreira et al. (2017) avaliaram os parâmetros comportamentais de coelhos submetidos a estresse agudo por calor (temperatura de bulbo seco do ar: $t_{bs} = 32^{\circ}\text{C}$) por meio de filmagem

por câmeras a cada 5 minutos. Os resultados obtidos pelos pesquisadores foram que os coelhos mantidos em condições de estresse por calor permaneceram mais tempo em ócio (83% do tempo) que aqueles em condições de conforto térmico ($t_{bs} = 20^{\circ}\text{C}$) (42% do tempo) e, também, que os coelhos submetidos ao calor apresentaram decréscimo no consumo de ração (CR) de 56,7 % quando comparado com os animais em conforto.

Apesar de não existir um modelo animal padronizado para a avaliação de padrões comportamentais de coelhos da raça NZB, a observação do comportamento pode ser utilizada de maneira eficaz para comparar diferentes condições de manejo e identificar a ocorrência de possíveis comportamentos anormais (Trocino & Xiccato, 2006). Com isso, de acordo com Morisse et al. (1999), aspectos anormais do comportamento social, maternal e de ingestão de alimentos podem ser bons indicadores de estresse térmico.

Para controlar o ambiente térmico em que os animais ficarão expostos durante todo o período produtivo se faz necessário criar um sistema que utilize técnicas de modelagem computacional, como sistemas de especialistas inteligentes, que permitam executar tarefas ou controlar as variáveis ambientais tais como, a t_{bs} e a UR, a partir de uma base de conhecimento (Yanagi Junior et al., 2012). Segundo Schiassi et al. (2015) os sistemas especialistas inteligentes mais utilizados e testados são a lógica *fuzzy* e redes neurais artificiais.

Tendo em vista que a interação entre a idade pós-desmame e a temperatura do ambiente de alojamento dos coelhos influencia nos padrões comportamentais dos animais, a aplicação do sistema de inferência *fuzzy* Takagi-Sugeno pode ser uma metodologia eficiente em prever o bem-estar dos coelhos quando se parte de um cenário conhecido do ambiente térmico, evidenciando as situações de desconforto térmico provocadas por altas temperaturas.

Neste contexto, objetivou-se com o presente estudo, desenvolver um sistema baseado na teoria dos conjuntos *fuzzy* Takagi-Sugeno capaz de prever o comportamento de coelhos da

raça Nova Zelândia Branco de 30 a 43 dias de idade submetidos a desafios crônicos por altas temperaturas.

MATERIAL E MÉTODOS

Experimento

O experimento foi conduzido em quatro de túneis de vento climatizados instalados em laboratório os quais os coelhos ficaram submetidos a desafios crônicos por altas temperaturas.

Foram utilizados 24 coelhos em fase de crescimento, machos (9) e fêmeas (15), com idades entre 30 e 43 dias da raça Nova Zelândia Branco (NZB).

O período experimental foi dividido em duas baterias com duração de 14 dias cada. Desta forma, em cada bateria, foram utilizados 12 coelhos, divididos aleatoriamente em quatro gaiolas contendo três animais cada. Estes coelhos correspondem às repetições de cada tratamento.

Durante a fase experimental, os coelhos foram alojados no interior de cada túnel de vento climatizado em uma gaiola de arame galvanizado divididas em três partes iguais de $0,08 \text{ m}^2 \text{ animal}^{-1}$ conforme recomendado para a categoria de coelhos em crescimento (Moura, 2010).

Em cada bateria experimental, foram testadas três temperaturas de bulbo seco do ar (t_{bs}) consideradas desconfortáveis para coelhos desmamados (24°C , 28°C e 32°C) e uma t_{bs} considerada como a ideal para criação de coelhos desmamados (20°C) (Oliveira, 1999; Zeferino et al., 2011).

A umidade do ar (UR) foi mantida a 60%, sendo esse valor considerado adequado para a criação de coelhos em fase de crescimento (Ferreira et al., 2012).

A umidificação e o aquecimento do ar no interior dos túneis de vento foram obtidos por meio de aquecedores e umidificadores elétricos distribuídos em dois estágios de acionamento.

O primeiro estágio permite que a t_{bs} e a UR no ambiente no interior de cada túnel climatizado atinja um valor mínimo de referência e o segundo estágio é usado para se fazer o controle mais apurado destas variáveis.

Para o controle do ambiente térmico no interior dos túneis de vento foi utilizado um módulo de aquisição, armazenamento e controle de dados tipo *datalogger* (CR1000, *Campbell Scientific*), com intervalos de coleta de um minuto e, as variáveis do ambiente térmico t_{bs} e a UR foram medidas por meio de sensores de t_{bs} e UR com exatidão mínima de 0,3°C e 1%, respectivamente.

Nos 14 dias de cada bateria experimental, a velocidade do ar foi mantida a 0,2 m s⁻¹ (Roca, 1998) e, também, foi adotado um programa de luz de 12 horas de luz diárias (das 06h00min às 18h00min) com intensidade luminosa de 20 lux, por serem consideradas como condições que caracterizam conforto térmico (Ferreira et al., 2012).

Durante todo o período experimental os animais tiveram acesso livre à ração comercial balanceada e água potável. A ração foi escolhida conforme recomendações citadas por Machado et al. (2019) para coelhos na fase de crescimento.

Diariamente, no período da manhã, foi realizada a limpeza das gaiolas para evitar a formação de gases, como a amônia, que poderiam interferir no desempenho dos animais.

Comportamento dos coelhos NZB

O comportamento dos coelhos NZB foi avaliado por meio da análise de imagens digitais, com o acompanhamento de cada animal, em intervalos de tempo contínuos de dois minutos, a cada hora do dia, totalizando 48 minutos por animal (24 animais) por dia (quatorze dias) por tratamento experimental (t_{bs} : 20°C, 24 °C, 28 °C e 32 °C).

Para a aquisição, armazenamento e análise visual das imagens foram utilizadas quatro câmeras de vídeos da marca TRENDnet®, modelo TV-IP422W com sensor CMOS de 1/4 " e, resolução de imagem de 640x480 pixels, divididas sobre cada um dos túneis climatizados, conectada via *Wireless* de transmissão dos dados digitais para um microcomputador.

De acordo com as pesquisas desenvolvidas por Alfonso-Carrillo et al. (2014), Trocino et al. (2013) e Trocino et al. (2018) as principais observações foram classificadas em três categorias: ingestão (IG), normal (NO) e indicativo de estresse térmico (IE) e as diferentes características foram atribuídas em cada categoria, de acordo com o etograma descrito na Tabela 1.

TABELA 1. Etograma dos comportamentos observados por categoria (ingestão, normal e indicativo de estresse térmico).

Categoria	Definição das observações
Ingestão	Alimentar-se no comedouros e mastigar o alimento ou beber água
Normal	Saltos, pulos; Sentada ou deitado com os fechados; Realizar cuidados corporais (limpar as orelhas).
Indicativo de estresse térmico	Deitado; sentado; prostrado; cuidados corporais (limpar e coçar o corpo e/ou as orelhas de maneira excessiva).

Os critérios adotados para a quantificação do comportamento foram adaptados da proposta de Medeiros et. al. (2005) conforme listado na Tabela 2:

TABELA 2. Pontuação atribuída aos padrões comportamentais dos coelhos Nova Zelândia Branco.

Manifestação observada	Tempo de manifestação (minutos)	Nota
Nenhuma manifestação	0 - 2	0
Pouca manifestação	0 – 0,5	1 - 2
Manifestação normal	0,5 – 1,0	3 - 4
Muita manifestação	1,0 – 1,5	5 - 6
Muitíssima manifestação	1,5 – 2, 0	7 - 8

A pontuação dos comportamentos observados foi resumida pela média das notas para cada comportamento por tratamento (média das três repetições por bateria) e transformadas em frequência de ocorrência (%) para o desenvolvimento do sistema de inferência *fuzzy*.

Desenvolvimento do sistema *fuzzy* Takagi-Sugeno

O sistema de inferência *fuzzy* Takagi-Sugeno foi elaborado com base nos dados obtidos experimentalmente no laboratório, sobre os padrões comportamentais dos coelhos da raça NZB, expostos a diferentes desafios térmicos utilizando a *Fuzzy Toolbox*® do Matlab®, *software version 7.13.0.564 (R2011b)*.

Para o desenvolvimento e teste do sistema *fuzzy* Takagi-Sugeno, foram definidas como variáveis de entrada, os dias após o desmame dos coelhos (14 dias experimentais) e as t_{bs} (20°C, 24°C, 28°C e 32°C). Com base nas variáveis de entrada e se utilizando como referência os dados experimentais, o modelo *fuzzy* prediz as variáveis de saída, padrões comportamentais de coelhos NZB, expressos na forma de frequência, para IG, NO e IE.

Desta maneira, foram admitidos os intervalos para as variáveis de entrada (t_{bs} e dias após o desmame) (Tabela 3) representadas por curvas de pertinência em formato triangular

(Figura 1) por melhor representarem o intervalo de dados das variáveis estudadas (Abreu et al., 2015; Lima Junior et al., 2016).

TABELA 3. Conjuntos *fuzzy* para as variáveis de entrada.

Dias após o desmame (dias)													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1-2	1-3	2-4	3-5	4-6	5-7	6-8	7-9	8-10	9-11	10-12	11-13	12-14	13-14
Temperatura de bulbo seco (°C)													
T1		T2		T3		T4							
20-24		20-28		24-32		28-32							

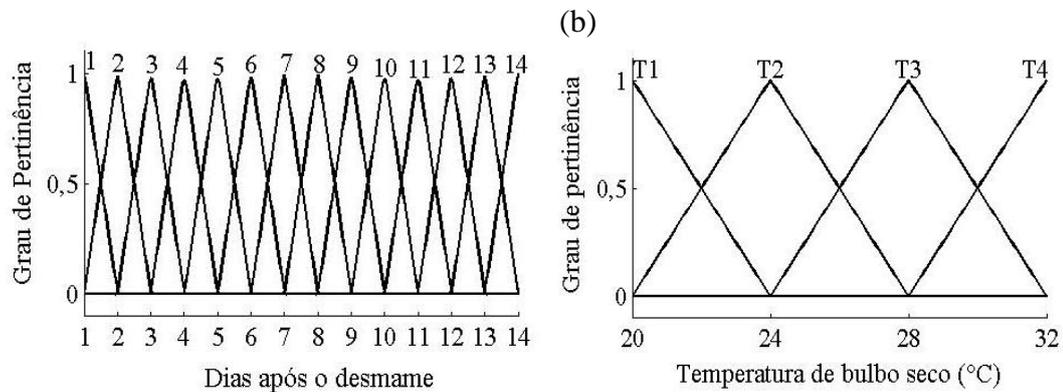


FIGURA 1. Funções de pertinência triangulares para as variáveis de entrada (a) temperatura de bulbo seco do ar (°C) e (b) dias após o desmame.

A partir das variáveis de entrada, o sistema de inferência *fuzzy* prediz as variáveis de saída IG, NO e IE na forma de frequência caracterizadas por curvas de pertinência do tipo Singleton (Figura 2), por simplificar o processo de defuzzificação do controlador Takagi-Sugeno exigindo menos esforço computacional. As curvas de pertinência do tipo Singleton correspondem ao grau de pertinência igual a 1.

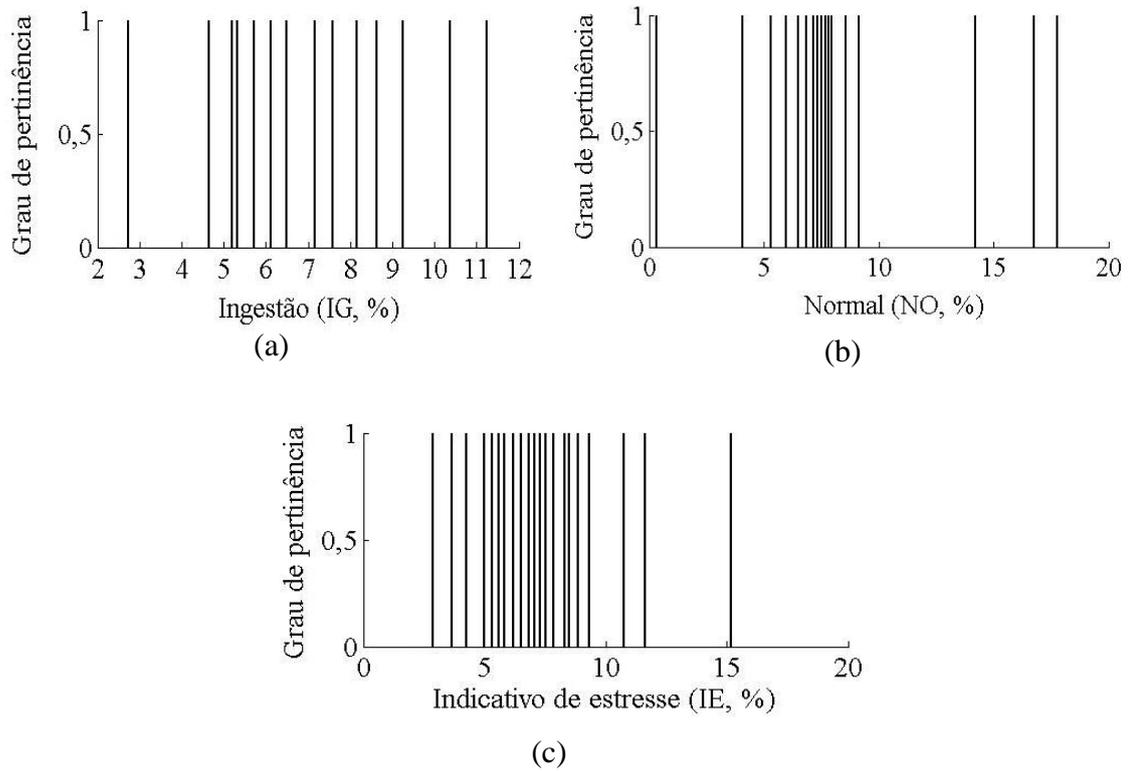


FIGURA 2 - Funções de pertinência para as variáveis de saída: (a) ingestão (IE, %), (b) normal (NO, %) e (c) indicativo de estresse térmico (IE, %).

O sistema de regras do modelo Takagi-Sugeno é baseado em regras do tipo “SE x_1 é A_1 E x_2 é A_2 ENTÃO $y = f(x_1, x_2)$ ”, onde x são as variáveis linguísticas de entrada (t_{bs} e dias após o desmame), A os termos linguísticos do conjunto *fuzzy* (traços, Figura 2) e y é a variável consequente funcional (função polinomial). Dessa forma, as regras foram criadas de acordo com a base de dados obtida experimentalmente e por meio do auxílio de especialistas em produção de coelhos e modelagem *fuzzy*. A ajuda de um especialista é importante por possuir influência direta na confiabilidade e na qualidade dos resultados gerados pelo modelo (Zorzella, 2015).

Com base na combinação dos dados das variáveis de entrada t_{bs} e dias após o desmame dos coelhos, foram definidas 56 regras e, para cada regra foi atribuído um fator de ponderação

igual a 1 (Schiassi et al. 2015; Bahuti et al. 2018) escolhido por estabelecer a igualdade relevante para cada regra e alcançar as associações capazes de aperfeiçoar os parâmetros.

A defuzzificação foi feita utilizando o método da média ponderada, sendo assim, a saída numérica foi calculada diretamente pela soma das saídas das regras, ponderada pelo grau de ativação de cada uma delas (Rabêlo et al., 2011).

A validação da modelagem dos padrões comportamentais de coelhos submetidos a desafios crônicos por altas temperaturas foi realizada comparando os valores das variáveis da saída *fuzzy* com aqueles obtidos em laboratório, por meio da aplicação de índices estatísticos, tais como: erro médio (ME – *Mean Error*), erro absoluto médio (MAE - *Mean Absolute Error*), erro quadrado médio (MSE - *Mean Square Error*), erro percentual absoluto médio (MAPE – *Mean Absolute Percentage Error*), raiz do erro quadrático médio (RMSE - *Root Mean Square Error*), coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE) e o coeficiente de determinação (R^2) para verificar a eficiência do sistema em predizer os dados com relação aos dados observados experimentalmente.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores da t_{bs} e dias pós-desmame dos animais foram utilizados para predizer o IG, NO e IE e, foram comparados com os dados observados no experimento realizado nos túneis de vento climatizados (Tabela 4). Foram calculadas as médias dos desvios-padrão de 0,20 %, 0,04 % e 0,08 % para IG, NO e IE, respectivamente.

TABELA 4. Comparação dos valores de frequência de ocorrência de comportamento de ingestão (IG, %), normal (NO, %) e indicativo de estresse térmico (IE, %) obtido experimentalmente (ME) e simulados pelo modelo *fuzzy* (SF).

Dias após o desmame	Tratamento (°C)	ME (%)			SF (%)			Desvio Padrão		
		IG	NO	IE	IG	NO	IE	IG	NO	IE
1	20	6,00	7,81	6,45	6,11	7,84	6,53	0,08	0,02	0,06
	24	10,79	6,90	4,10	10,40	6,84	4,24	0,28	0,04	0,10
	38	8,33	9,17	4,09	8,63	9,14	4,24	0,21	0,02	0,11
	32	9,21	16,79	4,80	9,25	16,80	4,98	0,03	0,01	0,13
2	20	9,24	7,23	3,82	9,25	7,16	3,65	0,01	0,05	0,12
	24	5,30	7,86	6,87	5,32	7,84	6,86	0,01	0,02	0,01
	38	7,08	7,70	5,60	7,15	7,69	5,59	0,05	0,00	0,00
	32	5,51	16,79	5,18	5,73	16,80	5,33	0,16	0,01	0,11
3	20	7,56	7,08	7,07	7,58	7,16	7,06	0,02	0,06	0,01
	24	7,07	7,32	6,77	7,15	7,35	6,86	0,06	0,02	0,06
	38	11,67	7,29	4,98	11,30	7,35	4,98	0,26	0,04	0,00
	32	2,20	17,76	5,69	2,73	17,80	5,83	0,37	0,03	0,10
4	20	6,48	5,99	11,33	6,50	5,99	11,70	0,02	0,00	0,26
	24	11,16	6,96	3,49	11,30	6,84	3,65	0,10	0,08	0,12
	38	5,83	8,54	5,57	5,73	8,55	5,59	0,07	0,01	0,02
	32	5,61	16,71	5,48	5,73	16,80	5,33	0,09	0,07	0,10
5	20	5,22	7,34	9,32	5,20	7,35	9,23	0,01	0,01	0,07
	24	3,26	8,05	8,51	2,73	7,95	8,50	0,37	0,07	0,01
	38	5,33	6,50	8,43	5,32	6,49	8,31	0,01	0,01	0,08
	32	7,01	5,97	7,54	7,15	5,99	7,54	0,10	0,01	0,00
6	20	8,64	6,20	8,95	8,63	5,99	8,85	0,01	0,15	0,07
	24	5,21	5,26	15,18	5,20	5,30	15,20	0,01	0,03	0,01
	38	8,17	6,69	7,01	8,16	6,84	7,06	0,00	0,11	0,03
	32	8,01	14,21	5,58	8,16	14,20	5,59	0,11	0,00	0,01
7	20	6,42	7,94	6,26	6,50	7,95	6,53	0,06	0,01	0,19
	24	6,60	7,68	6,05	6,50	7,69	5,83	0,07	0,00	0,16
	38	6,25	9,11	10,95	6,11	9,14	10,80	0,10	0,02	0,10
	32	7,41	5,33	7,54	7,58	5,30	7,54	0,12	0,02	0,00
8	20	4,32	7,90	7,38	0,17	7,84	7,29	2,94	0,04	0,07
	24	7,26	7,47	6,26	7,15	7,52	6,53	0,07	0,03	0,19
	38	7,25	6,94	5,04	7,15	6,84	4,98	0,07	0,07	0,04
	32	8,21	5,81	6,94	8,16	5,99	6,86	0,03	0,13	0,06

(Continua)

9	20	5,34	7,68	5,07	5,32	7,69	4,98	0,01	0,01	0,06
	24	5,86	7,68	5,74	5,73	7,69	5,83	0,09	0,00	0,06
	38	5,83	7,91	7,20	5,73	7,95	7,29	0,07	0,03	0,07
	32	5,21	0,00	9,14	5,20	0,00	9,23	0,00	0,00	0,06
10	20	10,92	6,52	5,63	11,30	6,49	5,59	0,27	0,02	0,03
	24	9,40	7,56	2,87	9,25	7,52	2,87	0,10	0,03	0,00
	38	9,17	8,57	6,61	9,25	8,55	6,53	0,06	0,01	0,06
	32	10,41	0,32	8,16	10,40	0,32	8,31	0,01	0,00	0,10
11	20	7,44	6,82	8,39	7,58	6,84	8,31	0,10	0,01	0,05
	24	8,19	6,29	8,82	8,16	6,49	8,85	0,02	0,14	0,02
	38	5,00	6,50	4,52	0,17	6,49	4,24	3,42	0,01	0,20
	32	8,21	0,00	7,85	8,16	0,01	7,87	0,03	0,01	0,01
12	20	6,48	7,44	7,07	6,50	7,35	7,06	0,02	0,07	0,01
	24	8,56	6,62	7,90	8,63	6,49	7,87	0,05	0,09	0,02
	38	7,67	6,91	12,33	7,58	6,84	11,70	0,06	0,05	0,45
	32	6,21	0,00	8,90	6,11	0,01	8,85	0,07	0,01	0,03
13	20	9,90	6,69	5,01	10,40	6,84	4,98	0,35	0,10	0,02
	24	6,05	7,83	6,15	6,11	7,84	6,53	0,04	0,00	0,27
	38	7,25	3,62	7,07	7,15	4,09	7,06	0,07	0,33	0,01
	32	7,81	0,32	8,72	7,58	0,32	8,85	0,16	0,00	0,09
14	20	6,06	7,36	8,26	6,11	7,35	8,31	0,04	0,01	0,04
	24	5,30	6,50	11,28	5,32	6,49	11,70	0,01	0,01	0,30
	38	5,17	4,57	10,61	5,20	4,09	10,80	0,02	0,34	0,14
	32	9,01	0,00	8,48	8,63	0,00	8,50	0,27	0,00	0,02
Média								0,20	0,04	0,08

Para avaliar a eficiência do modelo em predizer as variáveis de saída IG, NO e IE, aplicaram-se índices estatísticos que são usados como ferramentas para avaliar o desempenho dos modelos que foram obtidos por meio da comparação numérica dos valores observados em laboratório daqueles preditos pela modelagem *fuzzy* (Tabela 5).

TABELA 5. Índices estatísticos para avaliar o desempenho do modelo de inferência *fuzzy* Takagi-Sugeno em prever as variáveis de saída ingestão (IG, %), normal (NO, %) e indicativo de estresse térmico (IE, %) em função da t_{bs} e dias pós-desmame de coelhos Nova Zelândia Branco.

Variáveis de saída (%)	Padrões Comportamentais					
	ME	MAE	MSE	MAPE	RMSE	NSE
Ingestão	-0,1555	0,2840	0,7589	54,883	0,8711	0,9858
Normal	0,0014	0,0622	0,0129	2,058	0,1136	0,9998
Indicativo de estresse térmico	0,0209	0,1138	0,0276	16,924	0,1661	0,9995

Legenda: erro médio (ME – *Mean Error*), erro absoluto médio (MAE – *Mean Absolute Error*), erro quadrático médio (MSE – *Mean Square Error*), erro percentual absoluto médio (MAPE – *Mean Absolute Percentage Error*), raiz do erro quadrado médio (RMSE – *Root Mean Square Error*) e coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE).

A aplicação dos índices estatísticos para avaliar o desempenho do sistema de inferência *fuzzy* Takagi-Sugeno (Tabela 5) indicou os melhores resultados no modelo proposto para comportamento normal com valores de ME, MAE, MSE, RMSE e NSE de 0,0014, 0,0622, 0,0129, 0,1136 e 0,9998, respectivamente.

Segundo Bergsten (2001), a eficácia de um modelo *fuzzy* Takagi-Sugeno dependerá de características como o número de conjuntos *fuzzy* na partição, da complexidade das funções no conseqüente e da complexidade das funções de pertinência.

Portanto, o sistema de inferência *fuzzy* Takagi-sugeno desenvolvido mostrou-se adequado para a predição dos padrões comportamentais de coelhos NZB submetidos a desafios crônicos por altas temperaturas.

A Figura 3 ilustra a relação funcional entre os valores observados e simulados de IG, NO e IE, com os respectivos coeficientes de determinação (R^2) de 0,9911, 0,9991 e 0,9949. Dessa forma, para as simulações realizadas, nota-se que as frequências de ocorrência de erros concentraram na classe inicial, que compreende o intervalo de maior ou igual à zero até menor que 0,2, conforme Schiassi et al. (2015), para prever o desempenho de frangos de

corte submetidos a diferentes temperaturas de ar, o coeficiente de determinação obtido para consumo de ração, ganho de peso e conversão alimentar foi de 0,9989, 0,996 e 0,9801, respectivamente.

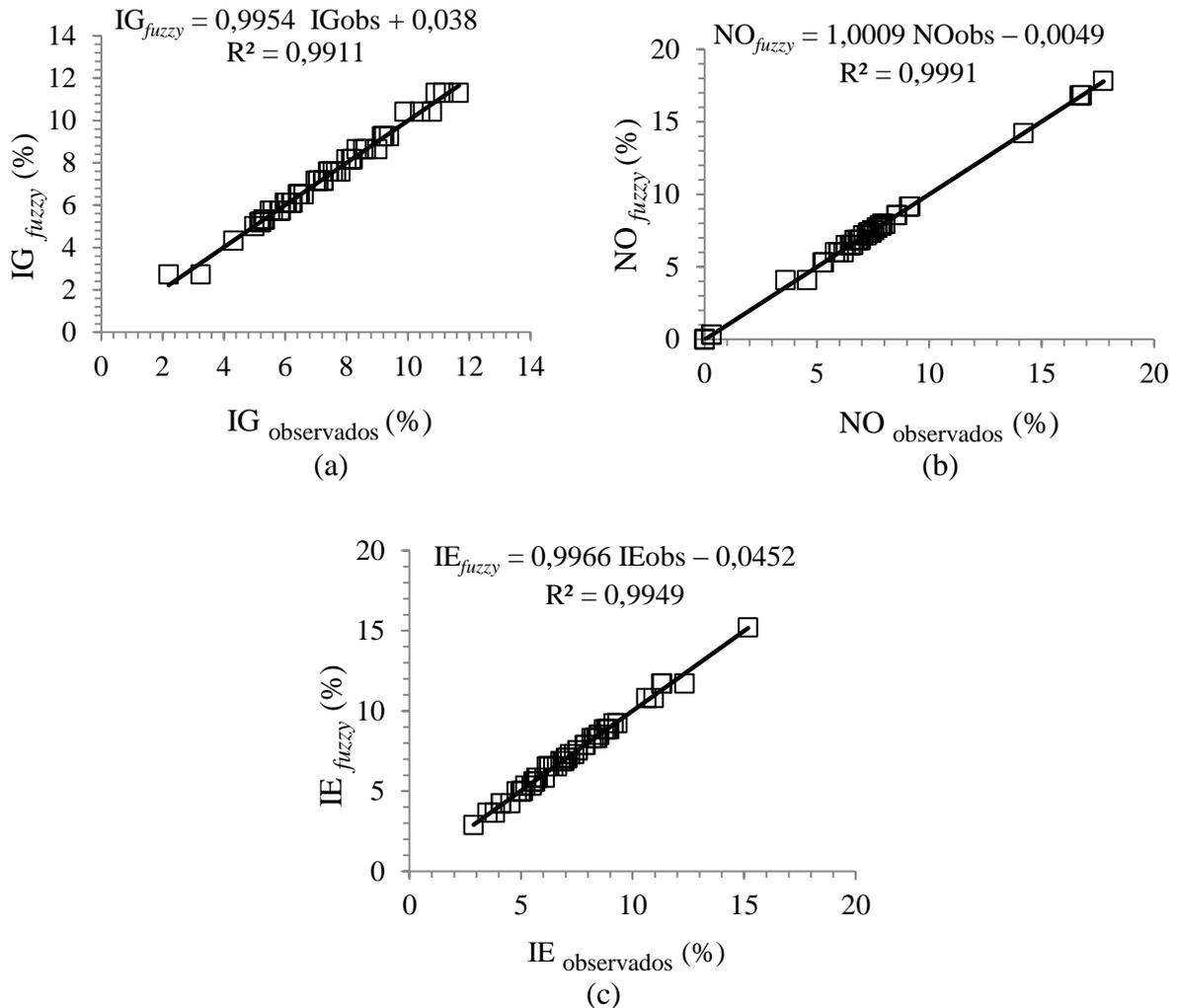


FIGURA 3. Relação funcional entre os valores preditos pelo sistema *fuzzy* e observados experimentalmente de: (a) ingestão (IG, %), (b) normal (NO, %) e (c) indicativo de estresse térmico (IE, %) para coelhos da raça Nova Zelândia Branco com idades entre 30 e 43 dias submetido a desafios crônicos por altas temperaturas.

Ao analisar as repostas comportamentais dos coelhos NZB em função da t_{bs} e dos dias após o desmame, observa-se grande variação dos dados medidos em laboratório ao mesmo

tempo em que os resultados da modelagem *fuzzy* Takagi-Sugeno desenvolvido se adequaram a essas variações deixando evidente a precisão do sistema em se adaptar as diferentes condições e combinações de valores do banco de dados utilizados no teste deste modelo. As superfícies respostas das manifestações dos comportamentos de coelhos NZB estão ilustradas na Figura 4, por meio da combinação entre t_{bs} e dias pós-desmame. Na Figura 4a, pode-se observar a menor ocorrência na frequência dos comportamentos de ingestão e normal (Tabela 1) na t_{bs} 32°C.

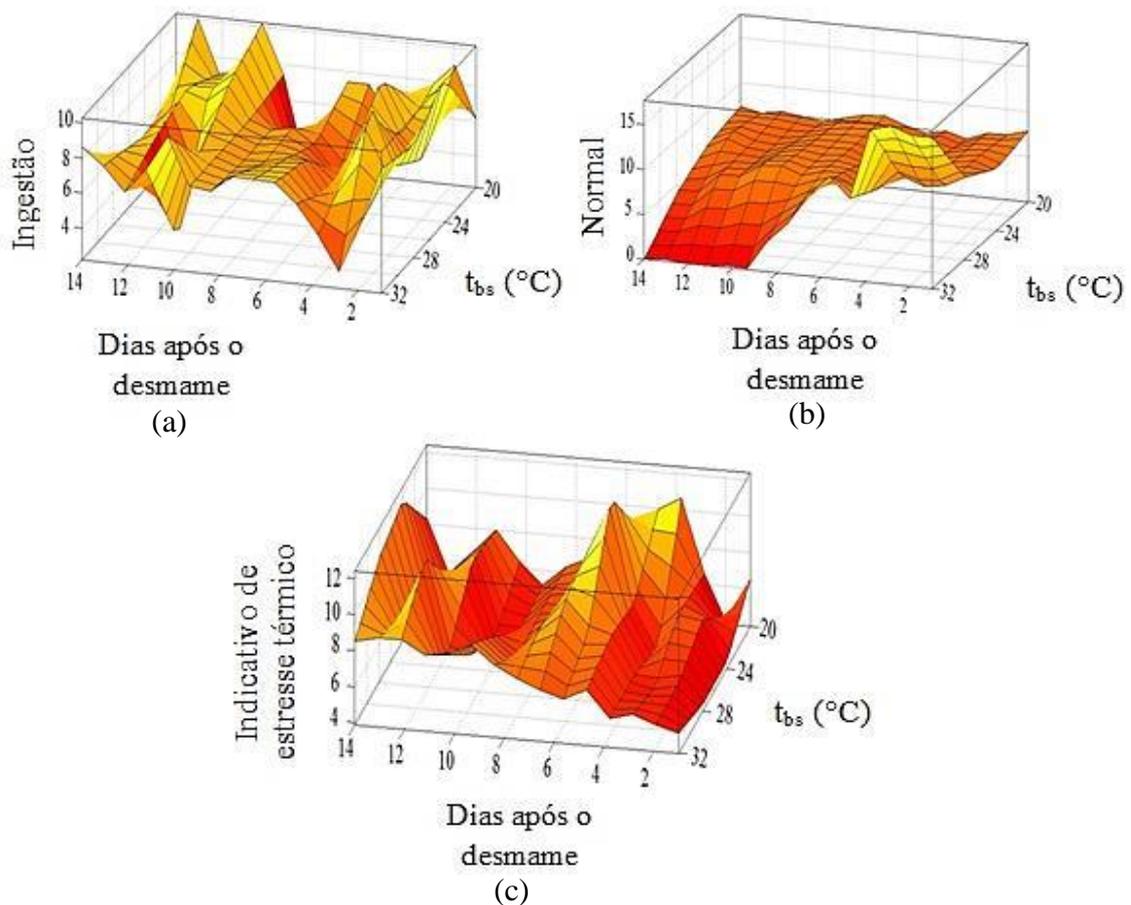


FIGURA 4. Superfícies de resposta do (a) ingestão (%), (b) normal (%) e (c) indicativo de estresse térmico (%) em função das temperaturas de bulbo seco do ar (t_{bs} , °C) e dias após o desmame de coelhos NZB variando de 30 a 43 dias.

Esses resultados podem ser corroborados por aqueles obtidos por Ferreira et al. (2017) que avaliaram os parâmetros comportamentais de coelhos submetidos a estresse agudo por calor (t_{bs} : 32°C) por meio de filmagem por câmeras a cada 5 minutos durante 24 horas. Os autores relataram que houve redução no consumo de ração (56,7 %) possivelmente pelo fato de que, os animais em estresse por calor tendem a consumir menor quantidade de ração para diminuir a termogênese induzida pela dieta, reduzindo, também, a eficiência na utilização de energia metabolizável.

Os autores ainda mencionam que os coelhos mantidos no calor permaneceram mais tempo em ócio (83% do tempo) que aqueles em conforto térmico de 20°C (42% do tempo). A redução da intensidade de movimentos seria uma alternativa para diminuir a termogênese em ambiente de calor.

Ao analisar a variável indicadora de estresse térmico (Figura 2c), observou-se que nas t_{bs} de 20 e 24°C nos dias quatro e seis houve valores de frequência maiores do que esperado para esses valores de t_{bs} , variando entre 10 a 11,33%, enquanto que para a t_{bs} 32°C observou valores entre 4,00 e 5,50%. Apesar da temperatura de conforto térmico ser 20°C (Lebas et al.,1996), os animais ainda recém desmamados, possivelmente, passaram mais tempo realizando cuidados corporais excessivos do que aqueles submetidos a 32°C, pois, segundo Drescher (1996), restrições de espaço, ambiente monótono e alojamento individual podem causar frustração no coelho e afetar o seu bem-estar interferindo na frequência de movimentos e, nessas condições não conseguem expressar o seu comportamento natural.

Portanto, se faz importante o desenvolvimento de novas técnicas para avaliar o comportamento dos coelhos para compreender melhor os requerimentos da espécie e a adaptação ao sistema intensivo de criação, pois um ambiente inadequado pode afetar o padrão comportamental, os níveis de estresse e, conseqüentemente, sua produtividade (Trocino et al., 2014).

CONCLUSÃO

O sistema de inferência *fuzzy* Takagi-Sugeno mostrou-se adequado para a predição dos padrões comportamentais (ingestão, normal e indicativo de estresse térmico) de coelhos Nova Zelândia Branco com idades entre 30 a 43 dias submetidos a desafios crônicos por altas temperaturas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abreu LH, Yanagi Junior T, Fassani EJ, Campos AT, Lourençoni D (2015) *Fuzzy* modeling of broiler performance, raised from 1 to 21 days, subject to heat stress. *Engenharia Agrícola* 35 (6): 967-978. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n6p967-978/2015>.

Alfonso-Carrillo C, Martín E, Blas C de, Ibáñez MA, García-Rebollar P, García-Ruiz AI (2014) Effect of cage type on the behaviour patterns of rabbit does at different physiological stages. *World Rabbit Science* 22 (1): 59-69. DOI: <http://dx.doi.org/10.4995/wrs.2014.1396>

Bahuti M, Abreu LHP, Yanagi Junior T, Lima RR de, Campos AT (2018) Performance of fuzzy inference systems to predict the surface temperature of broiler chickens. *Engenharia Agrícola* 38(6): 813-823. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v38n6p813-823/2018>

Bergsten P (2001) Observer and Controllers for Takagi-Sugeno Fuzzy Systems. Tese (Doutorado). - Örebro University, Örebro, 117p.

DRESHER, B. (1996) Deformations of vertebral column in breeding rabbits. In: World Rabbit Congress. Toulouse, Proceedings..., Toulouse 417-421.

Ferreira RA, Moura RS, Amaral RC, Ribeiro BPVB, Oliveira RF, Piva AE (2017) Estresse agudo por calor em coelhos. Revista Brasileira de Cunicultura 12 (1): 45-56. Disponível em: http://www.rbc.acbc.org.br/index.php?option=com_content&view=article&id=74&Itemid=93. Acessado em janeiro de 2019.

Ferreira WM, Machado LC, Jaruche YG, Carvalho GG, Oliveira CEA, Souza JD'AS, Caríssimo APG (2012) Manual prático de cunicultura. In: Associação Científica Brasileira de Cunicultura. Bambuí, p75. Disponível: http://acbc.org.br/site/images/stories/Manual_prtico_de_cunicultura_1_partee.pdf. Acessado em janeiro de 2019.

Hoy S, Verga M (2006) Welfare indicators. In: MAERTENS, L.; COUDERT, P. (Eds.). Recent advances in rabbit sciences p71-72

Lebas F, Coudert P, Rochambeau H de, Thebault RG (1996) El conejo: cria y patologia. Rome: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 227p. (Colección FAO. Produccion y sanidad animal).

Lima Junior F, Carvalho G, Carpinetti L (2016) Uma metodologia baseada no modelo scor® e em inferência fuzzy para apoiar a avaliação de desempenho de fornecedores. Gestão & Produção, 3, 1-20.

Machado LC (2016) Preços comumente praticados em Cunicultura. Associação Científica Brasileira de Cunicultura (ACBC), nota 4. Disponível em: <http://www.acbc.org.br/nota4.pdf>.> Acessado em: 01 junho de 2019.

Machado LC, Ferreira WM (2012) A Cunicultura e o Desenvolvimento Sustentável. Minas Gerais. In: Associação Científica Brasileira de Cunicultura. Disponível: <http://acbc.org.br/site/index.php/notas-tecnicas/a-cunicultura-e-o-desenvolvimento-sustentavel>. Acessado em fevereiro de 2019.

Machado LC, Ferreira WM, Scapinello C, Padilha MTS, Euler ACC, Klinger ACK (2019) Manual de ração e suplementos para coelhos. 3. Ed. Disponível em: <http://acbc.org.br/site/images/Manual_de_formula%C3%A7%C3%A3o_de_ra%C3%A7%C3%A3o_e_suplementos_para_coelhos_-_terceira_edi%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acessado em março de 2019.

Medeiros CM, Baêta FC, Oliveira RFM, Tinôco IFF, Albino LFT, Cecon PR (2005). Efeitos da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar em frangos de corte. Revista Engenharia na Agricultura, 13, 277-286.

Morisse JP, Boilletot E, Martrenchar A (1999) Preference testing in intensively kept meat production rabbits for straw on wire grid floor. Applied Animal Behaviour Science 64: 71-80. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(99\)00023-4](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(99)00023-4)

Moura A S A M T (2010) Rabbit Production in Latin America. In: American Rabbit Congress. Cordoba, Argentina.

Oliveira, E M (1999) Ambiência e produtividade na cunicultura. In: Seminário nacional de pesquisa e tecnologia em cunicultura. Jaboticabal, Anais. Jaboticabal.

Rabêlo RAL, Carneiro AAFM, Fernandes RAS, Braga RTV (2011) Uma abordagem baseada em sistemas de inferência fuzzy Takagi-Sugeno aplicada ao planejamento da operação de sistemas hidrotérmicos de geração. Sociedade Brasileira de Automática 22 (1): 49-64. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-17592011000100005>

Roca T (1998) Aspectos fundamentales de cunicultura. In: Primer Congreso de Cunicultura de Las Américas. Montecilio.

Schiassi L, Yanagi Junior T, Reis GM, Abreu LHP, Campos AT, Castro J de O (2015) Modelagem fuzzy aplicada na avaliação do desempenho de frangos de corte. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 19 (2): 140-146. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n2p140-146>

Trocino A, Filiou E, Tazzoli M, Bertotto MT, Negrato E, Xiccato G (2014) Behaviour and welfare of growing rabbits housed in cages and pens. Livestock Science 167: 305-314. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.05.035>

Trocino A, Filiou E, Zomeño C, Birolo M, Bertotto D, Xiccato G (2018) Behaviour and reactivity of female and male rabbits housed in collective pens: effects of floor type and stocking density at different ages. World Rabbit Science 26 (2): 135-147. DOI: <https://doi.org/10.4995/wrs.2018.7747>

Trocino A, Xiccato G (2010) Animal welfare in reared rabbits: a review with emphasis on housing systems. World Rabbit Science 14 (2): 77-93, DOI: <https://doi.org/10.4995/wrs.2006.553>

Trocino A., Majolini D., Tazzoli M., Filiou E., Xiccato G. 2013. Housing of growing rabbits in individual, bicellular and collective cages: fear level and behavioural patterns. Animal 7: 633-639. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731112002029>

Yanagi Junior T, Schiassi L, Abreu LHP, Barbosa JÁ, Campos AT (2012) Procedimento fuzzy aplicado à avaliação da insalubridade em atividades agrícolas. Engenharia Agrícola 32(3): 423-434. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162012000300002>

Zeferino CP, Moura ASAMT, Fernandes S, Kanayama JS, Scapinello C, Sartori JR (2011) Genetic group×ambient temperature interaction effects on physiological responses and growth performance of rabbits. *Livestock Science*, p177–183. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2011.03.027>

Zorzella M (2015) Modelagem matemática da análise da dor no pós-operatório de cadelas ovariectomizadas. Dissertação (Mestrado Modelagem Matemática), Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. 82 p.