

LÓGICA FUZZY NA DECISÃO PRÁTICA PARA CONTROLE DE VERMINOSE EM CAPRINOS

FUZZY LOGIC IN THE DECISION MAKING FOR WORMS CONTROL IN GOATS

Wellington Paulo da Silva Oliveira¹
Natanael Pereira da Silva Santos²
Max Brandão de Oliveira³
Adriana Mello de Araújo⁴

Resumo – Para otimizar o controle de verminose em caprinos e reduzir aplicações de drogas anti-helmínticas no rebanho (somente em animais sensíveis ao efeito espoliativo da verminose), este trabalho avaliou modelo matemático baseado na teoria de conjuntos Fuzzy para indicar a aplicação individual de droga a partir da medida de três variáveis de saúde do animal: OPG-contagem de ovos por grama de fezes, ECC- escore corporal e FA- Índice Famacha®. Para medir a robustez estatística, foi utilizado banco com 3839 informações de caprinos da raça Anglonubiana. Simultaneamente, realizou-se a análise de agrupamento Average, através da matriz de distância Euclidiana. Nota-se que a matriz das confusões para a lógica Fuzzy apresentou menor acerto global (76,50%), comparado com a análises Average (99,54%). Entretanto, o Average categorizou 87% dos caprinos em resistentes (R=189), ou seja, não precisariam de aplicação de droga para controle e nem estão infectados com o parasita, dificultando o manejo. A lógica Fuzzy categorizou animais como R=26, E=109 e S=82. Com isso, a lógica Fuzzy permitiu a categorização do grau de resistência a verminose em caprinos, mostrando-se uma ferramenta que pode auxiliar na decisão individualizada da aplicação de drogas, como para auxiliara distinção de animais resistente/resiliente/sensível para seleção.

Palavras-chave: Categoria de Resistência. Análise Discriminante Linear. Matriz Das Confusões.

Abstract - To optimize goats worms control through reducing the use of anthelmintic drugs on herds (only in animals sensitive to the despoiling effect of worms), this work evaluated a

¹ Doutorado em andamento, Ciência Animal/Universidade Federal do Piauí. Professor do Depto de Planejamento e Política Agrícola do CCA/UFPI. Contato: wellingtonoliveira@yahoo.com.br.

² Doutorado e Mestrado em Ciência Animal pela Universidade Federal do Piauí. Professor e Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia Tropical, UFPI. Contato: natanael@ufpi.edu.br.

³ Doutorado em Ciência Animal/UFPI e Mestrado em Logística e Pesquisa Operacional pela Universidade Federal do Ceará/UFC. Professor do Depto de Estatística do CCN/UFPI Contato: maxbrandao@ufpi.edu.br

⁴ Doutorado em Genética e Melhoramento pela Universidade Federal de Viçosa e Mestrado em Zootecnia pela Universidade Federal de Minas Gerais. Pesquisador da Embrapa Pantanal. Contato: adriana.araujo@embrapa.br

mathematical model based on the Fuzzy theory to signaling drug application flowing the measurement of three animal health variables: OPG- egg count per gram of feces, ECC- body score and FA- Famacha© Index. To measure statistical robustness, was used a database with 3839 information on Anglo-Nubian goats. Simultaneously, an Average cluster analysis was carried out through the Euclidean distance matrix. Confusion matrix revealed that the Fuzzy logic showed lower overall accuracy (76.50%), compared to Average (99.54%). However, the Average categorized 87% of goats as resistant (R=189), that is, they would not need drug application for control and are not infected with the parasite, making management decision difficult to take. Fuzzy logic categorized animals as R=26, E=109 and S=82. Therefore, the Fuzzy logic allowed accessing the degree of resistance to worms in goats, proving to be an automation tool that can help in the individualized decision of drug application, such as for the distinction of animals in the resistant/resilient/sensitive categories for breeding selection.

Keywords: resistance category, linear discriminant analysis, confusion matrices,

I. INTRODUÇÃO

As infecções por nematódeos gastrintestinais são um entrave na sanidade de pequenos ruminantes, destacando-se o *Haemonchus contortus* como principal parasita. A elevada prevalência associada à patogenicidade faz deste parasito o mais nocivo em diferentes regiões do território nacional (RAMOS *et al.*, 2002; ENDO *et al.*, 2014)). A vermifugação dos animais é utilizada como recurso necessário para conter os danos causados pelo parasitismo. Porém, à medida que a resistência anti-helmíntica vem avançando progressivamente sobre os mais modernos grupos químicos disponíveis no mercado (NARI; EDDI, 2002, COLES *et al.*, 2006), a aplicação de drogas tem passado por mudanças. Uma delas, é a aplicação individualizada, somente para animais sintomáticos. A infecção por verminose é um problema que afeta simultaneamente mães e crias e a resistência genética possui variabilidade genética que tornaram a seleção genética importante (ARAUJO *et al.*, 2021; TORRES *et al.*, 2021).

De acordo com Castro *et al.* (2018), intervenções individualizadas de aplicação de drogas somente nos animais sensíveis ao parasito pode ser uma janela de oportunidade para automatização do manejo anti-helmíntico nos criatórios. Para isso, há uma necessidade crescente de métodos de classificação multivariados, capazes de sintetizar e agrupar características similares, para determinação da resistência a verminose (ARAÚJO *et al.*, 2021). A lógica *Fuzzy*, que se caracteriza na indefinição de fronteiras ou limiares entre classes, seria um caminho a ser experimentado e explorado para classificação dos animais quanto a resistência a verminoses. Borges *et al.* (2019), utilizaram a inteligência computacional para uma indicação de tratamento individual de vermifugação. Os autores, ainda reforçam que a eficiência da lógica *Fuzzy* para classificar os animais em resistente, resiliente ou sensível a verminose pode ser utilizada como medida do parasitismo e da resposta do hospedeiro à infecção. Com isto, torna-se exequível o mapeamento e a identificação de diferentes classes da característica resistência a verminose.

Este estudo teve como objetivo avaliar a confiança da função discriminante da lógica *Fuzzy* no processo de automação da decisão de aplicação de droga, usando três medidas (ovos por grama de fezes - OPG, escore da condição corporal - ECC e Famacha©-FA) contrastando à análise de agrupamento multivariado com o algoritmo *Average*.

II. METODOLOGIA

Informações individuais de OPG (ovos por grama de fezes), ECC (escore corporal) e FA (índice Famacha© de coloração de mucosa ocular), mensuradas em

cabras da raça Anglonubiana manejadas em sistema semi-intensivo, foram armazenadas em banco de dados no período de 2009 a 2019. Para a obtenção dos valores de OPG, ECC e FA dos animais considerou-se a média de notas atribuídas por três avaliadores. Na edição dos dados, limitou-se a considerar informações de cabras de segunda e terceira ordem de parto, sendo utilizado a média das informações correspondentes.

A avaliação parasitológica foi realizada com a contagem de OPG adotando-se os procedimentos de acordo com Ueno e Gonçalves (1998). Os valores de OPG foram utilizados na escala real (não transformados) da contagem de ovos por grama de fezes. O ECC foi avaliado atribuindo valores em uma escala de 1 a 5 (GHOSH *et al.*, 2019), que consiste na avaliação visual e palpação com os dedos na região lombar, localizando as apófises espinhosa e transversal. O processo teve por base a detecção de deposição de gordura e músculo, com o valor 1 correspondendo a animal muito magro e o 5 a animal com sinais de obesidade. A mensuração da coloração da mucosa conjuntiva ocular foi realizada de acordo com o método Famacha[®], com atribuição de notas de 1 a 5, em que 1 – vermelho robusto, 2 – vermelho rosado, 3 – rosa, 4 – rosa pálido e 5 – branco (VAN WYK; MALAN; BATH, 1997).

No âmbito da decisão automatizada de tratamento anti-helmíntico, um sistema *web* voltado para gerenciamento de fazendas que dispõe de um módulo para auxiliar os criadores de caprinos no diagnóstico da necessidade de tratamento anti-helmíntico, foi utilizado - CAPRIOVI (<https://easii.ufpi.br/capriovi>) (BORGES *et al.*, 2017). O relatório de vermifugação extraído da fonte do programa *web*, gerou notas que variaram de 0 a 10 em escala contínua, para cada animal avaliado.

Por meio de lógica *Fuzzy*, uma das seguintes indicações de tratamento (RV): vermifugar (S), alerta (E) e não vermifugar (R)- de acordo com a nota atribuída. Para Castro *et al.* (2018), as indicações de aplicação de droga são correlacionadas aos fenótipos: resistente (R), resiliente (E) ou sensível (S) ao parasitismo da verminose, respectivamente. Assumiu-se que quanto maior a nota de RV, maior a resistência do animal a nematoides gastrintestinais.

A fim de comparar a indicação de aplicação de anti-helmintos (*Fuzzy*) com a análise dos dados pelo algoritmo hierárquico de dissimilaridade, *Average*, foi realizada as análises descritivas e discriminante com emprego do software estatístico R 3.3.0 (R CORE TEAM, 2016). Para a análise *Average* foi utilizada a matriz de distância Euclidiana entre indivíduos e o coeficiente de correlação cofenético estimado.

Este estudo é vinculado ao projeto de pesquisa cadastrado no Comitê de ética em pesquisa com animais, da UFPI, com o N° 045/2017.

III. RESULTADOS

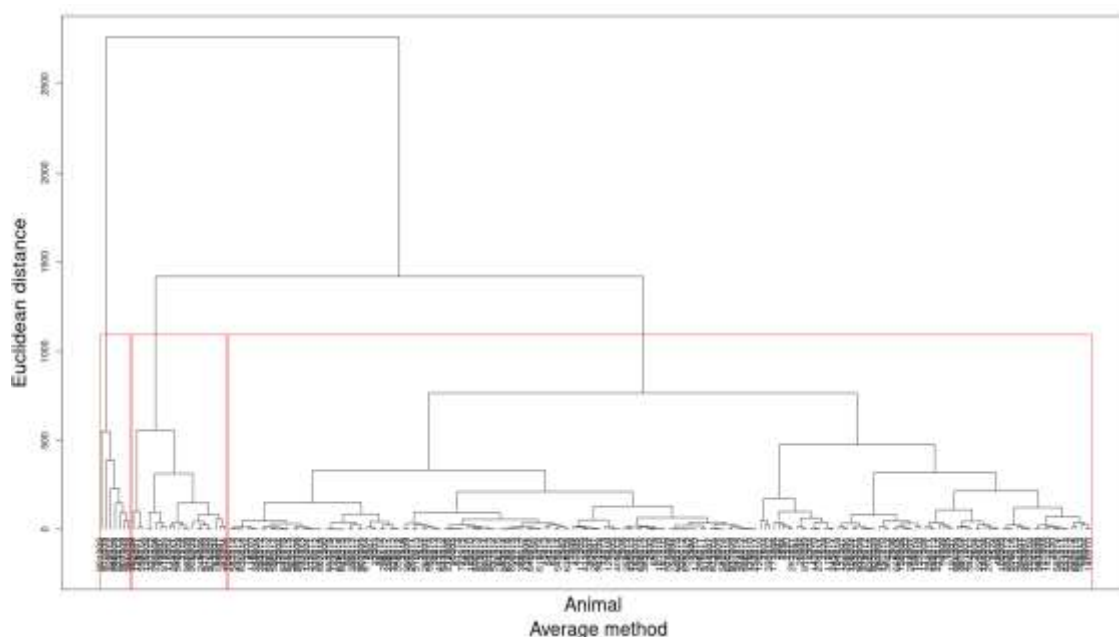
Os resultados descritivos das variáveis OPG, ECC e FA de caprinos da raça Anglonubiana em função da classificação para resistência à verminose são apresentados na Tabela 1. Verificou-se diferente número de animais em cada classe de decisão de tratamento a verminose em função do modelo aplicado. O coeficiente de correlação cofenética (CCC) foi igual a 0,90, mostrando que há uma boa representação das matrizes de similaridade na forma de dendrograma *Average* (Figura 1). Na prática, fenogramas com CCC menor que 0,7 indicariam a inadequação do método para resumir a informação do conjunto de dados, sendo esse um dos critérios adotados nesse estudo, conjuntamente com representação de dendrogramas, para a escolha do melhor método ou indicação de sua adequação para atender aos objetivos propostos (BITAR; CAMPOS; FREITAS, 2016).

Tabela 1 – Estatística descritiva (Média, DP=desvio padrão, valor mínimo e valor máximo) das características ovos por grama de fezes (OPG), escore da condição corporal (ECC) e (FA) escore FAMACHA© em caprinos da raça Anglonubiana - em função da classificação para a característica resistência à verminose (R=Resistente/não vermifugar; E=Resiliente/Alerta; S=sensível/vermifugar) com Lógica *Fuzzy* e Análise Agrupamento Multivariado (*Average*)

Método	Medida	RV	N	Média	DP	Mínimo	Máximo
Lógica Fuzzy	OPG	R	26	333	225	50	920
		E	109	692	519	50	3667
		S	82	1508	813	233	4100
	ECC	R	26	3,14	0,35	2,63	4,10
		E	109	2,62	0,44	1,67	4,25
		S	82	2,11	0,38	1,47	3,00
	FA	R	26	3,05	0,46	1,50	3,75
		E	109	3,27	0,46	2,00	4,50
		S	82	3,82	0,48	2,75	5,00
<i>Average</i>	OPG	R	189	726	433	50	1737
		E	21	2146	250	1855	2662
		S	7	3629	273	3229	4100
	ECC	R	189	2,52	0,54	1,47	4,25
		E	21	2,34	0,37	1,87	2,90
		S	7	2,01	0,62	1,50	3,33
	FA	R	189	3,39	0,54	1,50	5,00
		E	21	3,73	0,38	2,85	4,50
		S	7	4,19	0,52	3,50	5,00

A pesquisa considerou os três grupos estabelecidos *a priori* em estudos de resistência parasitária (R, E e S) para determinar a tomada de decisão de tratamento parasitário. A utilização de métodos multivariados enfrenta limitações quando não há critérios para servir de referência da quantidade de grupos a serem formados, sem que ocorra a perda de adequação para atender aos objetivos pretendidos. O teste Dunn ($p < 0.05$), entretanto, indicou a formação de dois agrupamentos.

Figura 1 – Dendograma de distância Euclidiana com a determinação de 3 classes conglomeradas pré-estabelecidos pelo cluster *Average*



Fonte: Elaborado pelo(s) autor(es)

A análise discriminante com valores de acerto global está demonstrado na Tabela 2. Observou-se nitidamente que a lógica *Fuzzy* apresentou menor percentual de acerto global (76,50%), enquanto o método de agrupamento multivariado *Average* apresentou o maior percentual de acerto na discriminação dos animais (99,54%).

Tabela 2 – Número de animais (N) e análise discriminante linear para classificação da resistência a verminose (Classes: R=resistente; E=resiliente; S=sensível) em caprinos da raça Anglonubiana

Método	Classe	N	Análise discriminante euclidiana			Acerto (%)	Acerto global (%)
			R	E	S		
Lógica Fuzzy	R	26	9	17	0	34,62	76,50
	E	109	7	93	9	85,32	
	S	82	0	18	64	78,05	
Average	R	189	188	1	0	99,47	99,54
	E	21	0	21	0	100	
	S	7	0	0	7	100	

A taxa de acerto global na classificação obtida pelo algoritmo *Average* demonstrou sucesso da abordagem hierárquico aglomerativa, com erro menor de 1% na classificação dos animais

É importante entender que, ao se considerar uma cabra como mais resistente a verminose que outra, pode ser que esteja sendo quantificado apenas que uma se encontra mais sensível que a outra temporariamente, que equivaleria a quantificação de picos sazonais de carga parasitária desses animais. Nesse caso, segundo Bassetto *et al.* (2009), essa ocorrência é reduzida em animais resistentes.

De acordo com Castro *et al.* (2018), o animal da classe R apresenta maior ECC associado a menor valores de OPG e FA. Consequentemente, se os valores da correlação parcial entre essas três características diferir, aquela de maior valor pode funcionar como fator de ponderação ou peso no processo de agrupamento, que pode deslocar o animal de um grupo para outro. Por sua vez, por não levar em consideração a natureza dessa correlação, o método multivariado de agrupamento pode se expor mais a riscos de falso-positivo do que a lógica *Fuzzy*, que seria alocar um animal como resistente em razão dele estar sendo parasitado por vermes não hematófagos e apresentar valor baixo de anemia indicada pelo FA, associado a valor elevado de OPG.

De acordo com Hayward *et al.* (2014), indivíduos que perderam peso mais lentamente com o aumento da carga parasitária, tiveram maior sucesso reprodutivo ao longo da vida. Mas não constataram base genética aditiva para a variação, mesmo assim consideraram que a seleção por tolerância opera em condições naturais. Assim, se consideramos o alto custo para o desenvolvimento de drogas e o rápido desenvolvimento de resistência do parasita a estas drogas, a seleção de animais resistentes ao verme têm demonstrado ser uma alternativa para reduzir as perdas na produção em ruminantes (Araújo *et al.*, 2021). O uso de informações de OPG, ECC e FA para indicar a sensibilidade a verminose é uma estratégia para reduzir a fragilidade do animal e o risco de morte (Torres *et al.* 2021).

A decisão prévia de separar os animais em três grupos de tolerância à verminose, interferiu no resultado dos métodos de agrupamentos aqui avaliados. O algoritmo *Average*, embora com uma taxa de acerto elevada, aferiu a classificação de animais a receberem a aplicação (S) a 3,2% das amostras, sendo que a *Fuzzy* classificou 37,8% nesta categoria. A proporcionalidade de classes, possibilitaria maior margem de vermifugação em indivíduos com sensibilidade, sendo essencial para alcançar a diminuição de risco do efeito danoso da verminose.

Pelo exposto, não é possível afirmar que o menor percentual de acerto global apresentado pela lógica *Fuzzy* seja considerado indicador de inadequação do método para tomada de decisão controle de verminose. Por outro lado, a tendência de ampliar a quantidade de animais que não necessitam vermifugação pelo método *Average*, discorda da literatura quanto a existir nos rebanhos maior quantidade de animais sensíveis a verminose. Requer atenção para não confundir a excelência ou robustez estatísticas desses métodos com a excelência zootécnica, se utilizados na resposta dos animais a verminose.

Outra relevante propriedade da modelagem *Fuzzy* é a capacidade de codificar conhecimentos inexatos, de tal forma que se aproxime dos processos decisórios. Os sistemas de inferência *Fuzzy* proporcionam a apreensão do conhecimento próximo ao modelo “cognitivo” muito aplicado na análise de problemas de previsão e classificação. Devido ao próprio caráter de imprecisão intrínseco à classificação da característica resistência à verminose, pode-se então, utilizar a lógica *Fuzzy* como uma metodologia para este processo.

IV. CONCLUSÃO

A lógica *Fuzzy* é uma ferramenta matemática capaz de auxiliar na tomada de decisão de aplicação individualizada de drogas anti-helmínticas em rebanhos caprinos, possibilitando identificar as classes resistente, resiliente e sensível ao parasita.

V. REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, J.I.M.; SANTOS, N.P.S.; OLIVEIRA, M.B.; SENA, L.S.; BIAGIOTTI, D.; NETO, A.D.A.R.; SARMENTO, J.L.R. Non-hierarchical cluster analysis for determination of resistance to worm infection in meat sheep. **Tropical Animal Health and Production**, v.53, p.1-8, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02484-3>.
- BASSETTO, C.C.; SILVA, B.F.D.; FERNANDES, S.; AMARANTE, A.F.T.D. Contaminação da pastagem com larvas infectantes de nematoides gastrintestinais após o pastejo de ovelhas resistentes ou susceptíveis à verminose. **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, v.18, p.63-68, 2009. DOI: <https://doi.org/10.4322/rbpv.01804012>
- BITAR, S. D.; CAMPOS, C. P.; FREITAS, C. E. C. Applying fuzzy logic to estimate the parameters of the length-weight relationship. **Braz. J. Biol**, v. 76, n. 3, p. 611-618, 2016. DOI <https://doi.org/10.1590/1519-6984.20014>.
- BORGES, L.S.; ROCHA, F.S.B.; NERI, V.S.; MAIA, F.S.P.; CASTRO, O.C.C.; CAMPELO, J.E.G.; SARMENTO, J.L.R. Gestão zootécnica e genética informatizadas em pequenos ruminantes: uma revisão. **Medicina Veterinária (UFRPE)**, v.13, p.251-257, 2019. DOI <https://doi.org/10.26605/medvet-v13n2-3083>
- BORGES, L.S.; SARMENTO, J.L.R.; SANTOS NETO, P.A.; CARVALHO, T.L.; CASTRO, O.C.C. CAPRIOVI. **Programa de Computador**, número de registro BR517000024-7, Instituto Nacional de Propriedade Industrial, 2017. Disponível em: <https://easii.ufpi.br/capriovi>. Acesso em: 21 ago. 2021.
- CASTRO, O. C. C.; BORGES, L.S.; PEREIRA, A.D.V.; LIMA, F., PARENTES, M.J.O.; SARMENTO, J.L.R.; SANTOS NETO, P.A. Módulo Computacional para Indicação de Tratamento Anti-helmíntico em Caprinos e Ovinos. *In*: ESCOLA REGIONAL DE INFORMÁTICA DO PIAUÍ (ERI-PI), 4., Teresina, 2018. **Anais**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2018. p.274 - 279.
- COLES, G.C.; JACKSON, F.; POMROY, W.E.; PRICHARD, R.K.; SAMSON-HIMMELSTJERNA, G.V.; SILVESTRE, A.; TAYLOR, M.A.; VERCRUYSSSE, J. The detection of anthelmintic resistance in nematodes of veterinary importance. **Veterinary Parasitology**, v.136, p.167-185, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2005.11.019>.
- ENDO, V.T.; OLIVEIRA, T.C.; CABRAL, A.P.M.; SAKAMOTO, C.A.M. ; FERRARO, G.C. ; PEREIRA, V. ; LOPES, W.D.Z. ; MAZZUCATTO, B.C. Prevalência dos helmintos *Haemonchus contortus* e *Oesophagostomum columbianum* em pequenos ruminantes atendidos no setor de Anatomia Patológica – UEM. **Rev. Ciên. Vet. Saúde Públ.**, v. 1, n. 2, p. 112-118, 2014. Disponível em: https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/RevCiVet/article/view/25397/pdf_45
- GHOSH, C.P.; DATTA, S.; MANDAL, D.; DAS, A.K.; ROY, D.C.; ROY, A.; TUDU, N.K. Body condition scoring in goat: Impact and significance. **Journal of Entomology and Zoology Studies**. v.7, n.2, p.554-560, 2019. Disponível em: <https://www.entomoljournal.com/archives/2019/vol7issue2/PartJ/7-2-62-202.pdf>
- HAYWARD, A.D.; NUSSEY, D H.; WILSON, A.J.; BERENOS, C.; PILKINGTON, J.G.; WATT, K.A.; PEMBERTON, J.M.; GRAHAM, A.L. Natural selection on individual variation in tolerance of gastrointestinal nematode infection. **PLoS Biology**, v.12, p.e1001917, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001917>.

NARI, A.; EDDI, C. Alternativas para el control de las verminosis en pequeños rumiantes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPECIALIDADES EM MEDICINA VETERINÁRIA, 1, 2002, Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba, PR, 2002. p. 86-89.

R CORE TEAM. **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, 2016. Vienna. Disponível em: <https://www.R-project.org>.

RAMOS, C. I. *et al.* Resistência de parasitos gastrintestinais de ovinos a alguns anti-helmínticos no Estado de Santa Catarina, Brasil. **Ciência Rural**, v. 32, n. 3, p. 473-477, 2002. DOI <https://doi.org/10.1590/S0103-84782002000300017>

TORRES, T.S.; SENA, L.S.; SANTOS, G.V.; FIGUEIREDO FILHO, L.A.S.; BARBOSA, B. L.; SOUSA JUNIOR, A.; BRITO, F.B.; SARMENTO, J.L.R. Genetic evaluation of sheep for resistance to gastrointestinal nematodes and body size including genomic information. **Animal Bioscience**, v.34, p.516, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5713/ajas.19.0816>.

UENO, H.; GONÇALVES, P. C. **Manual para diagnóstico de helmintoses de ruminantes**. 4ª ed. Tokyo: Japan International Cooperation Agency, 1998. 143 p

VAN WYK, J. A.; MALAN, F. S.; BATH, G. F. Rampant anthelmintic resistance in sheep in South Africa– what are the opinions? In: WORKSHOP OF MANAGING ANTHELMINTIC RESISTANCE IN ENDOPARASITES, 1997, Sun City, South Africa. **Proceedings...** Sun City, 1997. p. 51-63. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=ZA1998000155>

VI. AGRADECIMENTOS

Professor José Elivalto Guimarães Campelo, da Universidade Federal do Piauí

VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.