

FAUNA EDÁFICA E IMPACTO AMBIENTAL DO RESÍDUO DE MOXIDECTINA PRESENTE NAS FEZES DE RUMINANTES

SOIL FAUNA AND ENVIRONMENTAL IMPACT OF MOXIDECTIN RESIDUE PRESENT IN RUMINANT FECES

Susana Gilaverte^{1*}, Alda Lúcia Gomes Monteiro², Maria Angela Machado Fernandes³, Fernando Hentz⁴, Livia Cristina Vale Fidalgo Saraiva⁵, Leonardo Stefano Fernandes Zamoner⁵

RESUMO

A moxidectina é uma milbemicina, pertencente ao grupo das lactonas macrocíclicas, sendo a mais utilizada para animais. Possui ação contra nematoides e artrópodes por meio da sua afinidade aos neurotransmissores glutamato dos seres invertebrados e ácido γ -aminobutírico (GABA) de alguns invertebrados e vertebrados. Estudos descrevem que o resíduo deste fármaco excretado nas fezes, principalmente nas primeiras semanas pós-tratamento, pode afetar as populações de fauna coprófaga nos diferentes estádios de desenvolvimento que mantiverem contato com estas fezes. Desta forma, há a necessidade de estabelecer critérios ao realizar esquemas de tratamento contra os parasitos, preocupando-se com a sobrevivência da fauna que colonizam as fezes e favorecem a degradação, ciclagem e incorporação de nutrientes no solo, visando à sustentabilidade do sistema de produção.

Palavras-chave: fauna coprófaga, lactonas macrocíclicas, parasitos, sobrevivência.

ABSTRACT

Moxidectin is a milbemycin belonging to the group of macrocyclic lactones, the most used in animals. It has activity against nematodes and arthropods through its affinity to glutamate neurotransmitters of invertebrates and γ -aminobutyric acid (GABA) of some invertebrates and vertebrates. Studies describe that the residue of the drug excreted in feces, mostly in the first weeks post-treatment, may affect populations of coprophagous wildlife that maintain contact with these feces at various stages of development. Thus, there is a need to establish criteria to perform treatment regimens against parasites, worrying about the survival of fauna that colonize the stool and promote degradation, cycling and incorporation of nutrients in the soil, aiming at sustainability of the production system.

Keywords: coprophagous wildlife, macrocyclic lactones, parasites, survival

¹ Zootecnista mestre doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Produção Vegetal da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR – Brasil, e-mail: sugilaverte@yahoo.com.br.

² Engenheira agrônoma, doutora professora adjunta do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Paraná. (UFPR), Curitiba, PR – Brasil.

³ Médica-Veterinária, mestre, doutoranda do Programa de Pós- Graduação em Ciências Veterinárias da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR – Brasil.

⁴ Zootecnista, mestre, doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Produção Vegetal da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR – Brasil.

⁵ Graduando em Zootecnia na Universidade Federal do Paraná.

INTRODUÇÃO

A bovinocultura industrial é a mais importante atividade de produção animal do Brasil, com perspectiva de alcançar 210 milhões de bovinos até dezembro de 2013, com incremento de 8 % na exportação de carne (USDA, 2013). Paralelamente, o volume comercializado chega a 600 milhões de dólares, e 29% são gastos com parasiticidas. Em bovinos, o controle parasitário mais indicado é o estratégico, que se baseia no conhecimento da epidemiologia dos parasitas e na obtenção de dados climatológicos (temperatura e pluviosidade) (MOLENTO, 2005).

No caso de pequenos ruminantes, esses padrões sofrem variação devido ao grande potencial biótico de parasitas como o *Haemonchus contortus*, que é o principal causador de mortes em animais em todas as categorias, devido à grande ingestão de sangue no abomaso dos animais (MELO, 2005). Esta atividade vem se desenvolvendo de forma gradativa, estabelecendo-se em regiões como centro-oeste e norte do país, que não possuíam tradição nesta atividade. Entretanto, as infecções por nematoides limitam a produtividade dos animais, como, a produção de leite, reduzem o ganho de peso e a conversão alimentar (AMARANTE & SALES, 2007), além de comprometer o desempenho reprodutivo e o sistema imunológico (COSTA et al., 2004). Na tentativa de controlar este problema, utiliza-se quase que exclusivamente anti-helmínticos, muitas vezes, de forma indiscriminada.

Em pequenos ruminantes, a falta de conhecimento faz com que sejam realizados esquemas de vermifugação com intervalos de 30 dias ou até, 15 dias, e muitas vezes com alternâncias de princípios ativos. Estes esquemas baseados exclusivamente na ação do vermífugo elevam o custo e podem levar ao insucesso da produção, pois proporcionam a rápida seleção de parasitos resistentes aos vários princípios ativos (AMARANTE & SALES, 2007). Desta forma, a utilização de vermífugos deve ser realizada

conscientemente, para não estabelecer a resistência nos rebanhos.

Em bovinos, têm sido evidenciados menor número de relatos (RANGEL et al., 2005) sobre a resistência de helmintos a anti-helmínticos, porém, isso não é indicativo de que os parasitos dessa espécie apresentem uma menor densidade genética para a expressão da resistência, mas sim a menor frequência de tratamentos a que esta espécie é submetida (PAIVA et al., 2001).

Os anti-helmínticos, por exemplo a moxidectina, são manipulados para serem persistentes, podendo proporcionar uma contaminação prolongada aos produtos de origem animal e ao ambiente. Desta forma, podem afetar a população de seres vivos que vive permanentemente ou que passa um ou mais ciclos de vida no solo. Visto que a eliminação deste fármaco (50 a 90%) é principalmente via fezes e urina (MULROY, 2001). Estes organismos desempenham a importante função de decompor as fezes, incorporar os nutrientes e realizar o controle biológico. O objetivo foi caracterizar e mostrar o impacto da moxidectina excretada via fezes de ruminantes sobre a fauna edáfica, bem como, apresentar a importância destes organismos na incorporação dos nutrientes no solo.

Estrutura química e modo de ação da moxidectina

A moxidectina é uma milbemicina, sendo a mais utilizada para animais de produção para o tratamento de endoparasitos. É obtida sinteticamente a partir da nemadectina. Sua estrutura química é pertencente ao grupo das lactonas macrocíclicas, cuja fórmula molecular é $C_{37}H_{53}NO_8$. É produzida naturalmente pela fermentação da bactéria *Streptomyces cyanogriseus* subsp. *Noncyanogenus* (REINEMEYER & COURTNEY, 2001), e apresenta uma substituição do grupamento hidroxila no C-23 por um grupamento metiloxima (PRICHARD et al., 2012). Apresenta uma estrutura cíclica principal composta por dezesseis elementos,

incluindo o grupamento éster, conferindo a classificação de lactona. Também possui

um espiroacetal e um anel benzofurânico como estrutura (Figura 1).

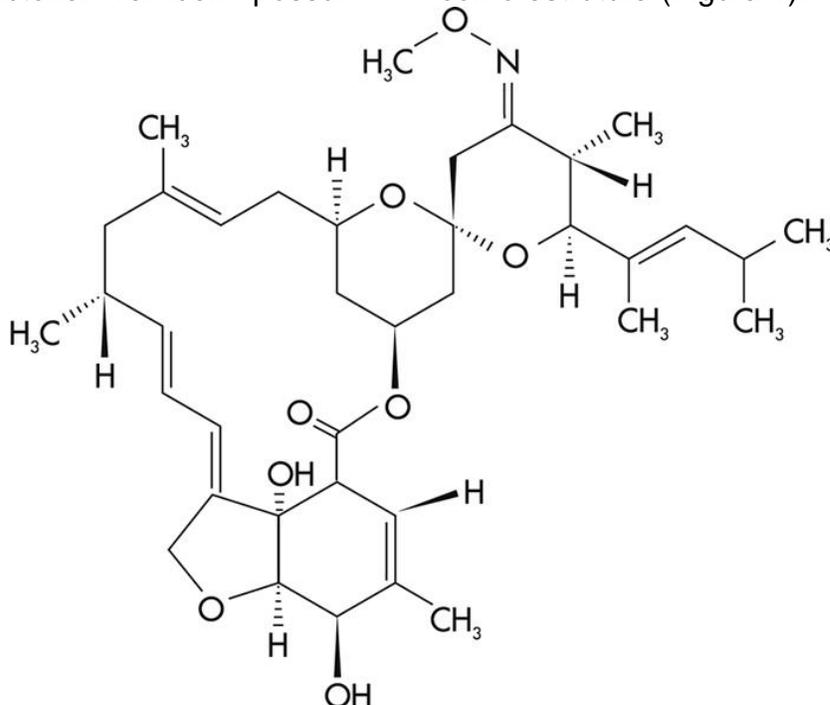


Figura 1. Estrutura química do anti-helmintico Moxidectina (Fonte: Bayer Health Animal).

A moxidectina possui massa molecular (639,84 g mol⁻¹) e valor de coeficiente de partição (6,0 Log K_{o/w}) elevados, caracterizando-se como substância lipofílica. Segundo ONG et al. (1996), a velocidade de absorção de substâncias lipofílicas por um organismo é diretamente proporcional ao coeficiente de partição. Estudos têm demonstrado que, entre os vermífugos da classe das lactonas macrocíclicas, a moxidectina é a molécula mais lipofílica. Esta diferença permite seu armazenamento no tecido adiposo, proporcionando efeito cumulativo e uma prolongada permanência deste fármaco no corpo do animal (PRICHARD et al., 2012). Desta forma, sua solubilidade em água é de 0,51 mg L⁻¹, e em solventes orgânicos como, diclorometano, éter etílico, etanol (95%), acetonitrila e acetato de etila, a solubilidade em mL de solvente g⁻¹ de moxidectina é de 1,64; 1,19; 0,81; 0,62 e 0,47, respectivamente. Possuem ação contra nematoides e artrópodes por meio da afinidade das lactonas macrocíclicas aos neurotransmissores glutamato dos seres invertebrados e ácido γ -aminobutírico (GABA)

de alguns invertebrados e vertebrados (PRICHARD et al., 2003). A união da moxidectina aos receptores GABA pós-sinápticos permite atuar de forma inibitória produzindo a hiperpolarização das células musculares devido ao incremento na permeabilidade ao íon cloro, induzindo à paralisia flácida ao parasito (PÉREZ, 2004). O bloqueio do GABA repercute na sinapse entre os nervos ventral e motores, produzindo incoordenação e expulsão dos parasitos do hospedeiro (PÉREZ, 2004). Outra ação da moxidectina é ativar os canais de cloro ativados pelo glutamato, induzindo a paralisia da musculatura faringiana, provocando a morte do parasito por inanição (ARDELLI et al., 2009).

Impacto no solo da Moxidectina excretada nas fezes

Fauna do solo

A fauna do solo é a comunidade de invertebrados que vive permanentemente ou que passa um ou mais ciclos de vida no solo. Esses invertebrados variam muito em

tamanho e diâmetro, o que lhes confere habilidade diferenciada na sua estratégia de alimentação e adaptação ao habitat (AQUINO & ASSIS, 2005).

A microfauna compreende invertebrados de diâmetro do corpo inferior a 100 µm, incluindo os protozoários e nematoides. Esses animais influenciam as transformações de serrapilheira por se alimentarem de raízes, fungos e bactérias, o que faz com que tenham importante papel na regulação da matéria orgânica (SWIFT et al., 1979).

A mesofauna compreende invertebrados de tamanho médio (100 µm – 4 mm) que se movimentam em fissuras, poros e na interface do solo, como por exemplo, os ácaros e colêmbolos, incluindo os proturos, dipluros, tisanuros, e pequenos insetos (GIRACCA et al., 2003). Atuam como transformadores e micropredadores, se alimentando de fungos e bactérias, e predam outros animais do solo. Desta forma, esse grupo é importante na regulação da decomposição da matéria orgânica ao promoverem a remoção seletiva de microrganismos (MOORE & WALTER, 1988). Esses animais habitam os espaços porosos do solo e não são capazes de criar sua própria galeria, sendo afetados pela compactação do solo (HEISLER & KAISER, 1995).

A macrofauna é composta pelos organismos de maior diâmetro (2 mm – 20 mm), incluem-se minhocas, coleópteros em estado larval e adulto, centopéias, cupins, formigas, piolhos de cobra (milipéias), tatuzinhos e aracnídeos (LAVELLE & SPAIN, 2001). Estes têm o corpo em tamanho suficiente para romper as estruturas dos horizontes minerais e orgânicos do solo ao se alimentar, movimentar e construir galerias no solo (ANDERSON, 1988). As minhocas influenciam tanto na porosidade do solo quanto nas relações de nutrientes por meio da formação de túneis e da ingestão de minerais e matéria orgânica, além de auxiliarem na regulação das populações dos organismos do solo em escalas espaciais menores: mesofauna e microfauna.

Os miriápodos (gongolos e lacraias), por meio da cabeça e de seus diversos pés, constroem seus caminhos entre a vegetação e outros habitats não disponíveis à micro e mesofauna (HOPKIN & READ, 1992). Os cupins, as formigas e os besouros influenciam ou mediam a porosidade e a textura do solo pela formação de túneis, da ingestão e transporte de solo e pela construção de galerias. Realizam a ciclagem de nutrientes pelo transporte, fragmentação e digestão da matéria orgânica (MARTÍNEZ & LUMARET, 2006).

Os invertebrados classificados como engenheiros do ecossistema constroem grandes e resistentes estruturas organominerais que podem persistir por longo período de tempo (de meses a anos) e que afetam profundamente o ambiente para os organismos menores. Esses invertebrados desenvolvem relações mutualísticas com microrganismos em seu trato digestivo (rúmen interno) e nas estruturas que constroem (rúmen externo). Esse grupo inclui minhocas, formigas e cupins (AQUINO & ASSIS, 2005).

A macrofauna invertebrada do solo desempenha um papel chave no funcionamento do ecossistema, pois ocupa diversos níveis tróficos dentro da cadeia alimentar do solo e afeta a produção primária de maneira direta e indireta. Ela absorve e enriquece o solo com nutrientes essenciais por meio das cadeias alimentares (resíduos de plantas, micro-organismos, húmus e água) (YIN et al., 2010). As populações e atividade de microrganismos responsáveis pelos processos de mineralização e humificação e, em consequência, exerce influência sobre o ciclo de matéria orgânica e a disponibilidade de nutrientes assimiláveis pelas plantas (DECÄENS et al., 2003). Além disso, após a morte, os cadáveres da macrofauna são decompostos por micro-organismos do solo que disponibilizam nutrientes para as plantas (Yin et al., 2007b). O enriquecimento de nutrientes no solo pela fauna é diferente. O enriquecimento para Cu, Zn e Mn para oligoquetas, quilópodes foi Zn > Cu > Mn e

Cu > Zn > Mn para diplópodes (YIN et al., 2007a). Entretanto, não houve diferença entre a mobilização e catabolismo pela fauna do solo em relação aos elementos N, P, K, Ca, Mg e Fe (YIN et al., 2006). Ca e Mg no solo são principalmente enriquecidos pelos diplóides e o Fe pelos oligoquetas, diplóides e quilópodes (SONG et al., 2008).

Os decompositores da serrapilheira, que produzem estruturas puramente orgânicas, que são menos persistentes, mas que regulam a atividade microbiana. Esse grupo inclui diferentes grupos de invertebrados, compreendendo micro e macro-artrópodos que se alimentam e vivem na serapilheira, cupins xilófagos, minhocas epigéicas, além de pequenas minhocas da família Enchytraeidae. Esses organismos são ativos fragmentadores que desenvolvem interação com a microflora tipo “rúmen externo”, bem como atuam “pastejando” a biomassa de fungos (GILLER et al., 1997).

Os micropredadores, principalmente protozoários e nematoides, se alimentam dos micro-organismos. Esse grupo vive em filme de água e não desenvolve relações mutualísticas com a microflora. A atividade desses invertebrados tem importante papel na regulação da biomassa de micro-organismos, mantendo a diversidade por meio da prevenção da dominância de grupos específicos (AQUINO & ASSIS, 2005).

A predação seletiva de fungos e bactérias, feita especialmente pela microfauna; a estimulação, digestão e disseminação de microrganismos ingeridos pela microfauna e a fragmentação dos detritos realizada pelas meso e macrofauna interferem na decomposição da matéria orgânica e alteram a disponibilidade de nutrientes para as plantas (CRAGG & BARDGETT, 2001). Assim, é fácil verificar que os organismos do solo estão interligados em uma cadeia alimentar e que ao impactar um componente desta cadeia, afeta indiretamente todo o restante. A fauna exerce um papel de regulação das populações microbianas.

O metabolismo microbiano e a atividade das enzimas no solo são estimulados pelos nutrientes provenientes, principalmente da excreção dos animais via fezes e urina que são incorporados ao solo. Os numerosos processos bioquímicos que ocorrem no solo, devido à atividade microbiana têm efeitos sobre as propriedades físicas e químicas, proporcionando reflexos sobre o desenvolvimento de plantas, conseqüentemente melhorando a qualidade do ambiente (STEFFEN et al., 2007).

Excreção e a importância da fauna edáfica

Nos ecossistemas de pastagem, a produção de forragens depende da reciclagem da matéria orgânica produzida e da quantidade de elementos minerais disponível. De fato, a contribuição dos animais, principalmente herbívoros que usufruem deste ambiente por um período maior de tempo, na adição de matéria orgânica pelos bolos fecais é considerável. Cerca de 70 a 95% dos nutrientes ingeridos podem retornar à pastagem pelas excreções (RUSSELLE, 2007). Um bovino adulto defeca 11 a 16 vezes por dia. Em cada evento produz 1,5 a 2,7 kg de fezes (MATHEWS & SOLLENBERGER, 1996), enquanto que para um ovino adulto a excreção de fezes diária em peso seco é de 350g (WHITEHEAD, 1970).

Entre os macronutrientes, o fósforo, o cálcio e o magnésio são excretados principalmente nas fezes; o nitrogênio e o enxofre podem ser excretados em significantes proporções tanto nas fezes como na urina; e o potássio é excretado em maior quantidade na urina (HAYNES & WILLIAMS, 1993). O retorno diário de nutrientes pelas fezes, por animal, foi estimado em 22,10 g de nitrogênio, 10,06 g de fósforo, 6,12 g de potássio, 21,70 g de cálcio e 9,47 g de magnésio para novilhas com peso médio inicial de 300 kg em pastagem de *Brachiaria decumbens* na Zona da Mata de Minas Gerais (BRAZ et al., 2002).

Dentro deste contexto, o papel dos invertebrados coprófagos (especialmente coleópteros e insetos) é fundamental para a decomposição das fezes, por meio do enterramento, enriquecendo os horizontes edáficos subjacentes (KALISZ & STONE, 1984). Em efeito, os microartrópodes aproveitam as galerias abertas pelos insetos coprófagos para colonizar e transformar os excrementos em um ambiente epígeo. Adicionalmente, estes transportam passivamente os conídios aderidos em seus tegumentos para o interior dos bolos fecais (GARCIA et al., 2004). Além destes fatores bióticos, os abióticos como tamanho e forma das fezes, composição, umidade, pH, e localização, bem como condições meteorológicas prevalentes e as perturbações mecânicas, influenciam nos processos de incorporação das fezes no solo (BARTH, 1993).

Impacto ambiental do resíduo de lactonas macrocíclicas excretado nas fezes

Persistência no ambiente

As avermectinas são metabolizadas em baixas proporções no fígado, excretadas pela bile e eliminadas pelas fezes, sendo a principal via de excreção (KROGH et al., 2008). A eliminação é prolongada, apresentando um aporte contínuo do fármaco ativo, tendo como consequência a maior permanência no ambiente (PÉREZ et al., 2001). A formulação, a dosagem e a via de administração podem ser os fatores mais importantes para a persistência e ecotoxicidade dos fármacos (HERD, 1995), proporcionando diferenças em relação ao tempo e ao nível de excreção via fezes (SUÁREZ et al., 2009). Além disso, estas substâncias se ligam fortemente às fezes, apesar da taxa de degradação estar fortemente influenciada pelas condições edafoclimáticas (ERZEN et al., 2005). Foi avaliada a degradação de abamectina e doramectina no solo e nas fezes de ovinos em condições ambientais, permanecendo 30

cordeiros em uma área de pastagem de 600 m² por seis dias pós-tratamento com doramectina ou abamectina. As mensurações de persistência destes vermífugos foram realizadas do dia seis ao dia 70 pós-tratamento, sendo encontradas quantidades elevadas de resíduos de abamectina nas fezes, verificando-se médias de 800 ± 46 µg kg⁻¹ de MS de fezes no dia 6 pós-tratamento, e pós 70 dias de tratamento, persistiam-se concentrações médias de 213 ± 10 µg kg⁻¹ de matéria seca (MS) de fezes. Entretanto, ao considerar apenas o solo, a concentração foi muito baixa, permanecendo próxima à zero, cuja média foi de 0,69 ± 0,13 µg kg⁻¹ de MS de solo (ERZEN et al., 2005). Com o resíduo de doramectina, neste mesmo artigo, verificaram queda brusca de resíduo no solo e nas fezes até o dia 50 pós-tratamento, de 33.1 ± 4,4 µg kg⁻¹ de MS para 0,30 ± 0,08 µg kg⁻¹ de MS e 1235 ± 707 µg kg⁻¹ de MS para 146 ± 23 µg kg⁻¹ de MS, nos dias 6 e dia 50 pós-tratamento para solo e fezes, respectivamente.

Estudos sobre a excreção de resíduo de avermectina nas fezes de ovinos demonstraram que o máximo de excreção foi observado no dia 3 pós-tratamento para abamectina (1270 ± 74 µg kg⁻¹ de MS de fezes) e entre os dias 2 pós-tratamento para doramectina (2186 ± 145 µg kg⁻¹ de MS de fezes). Para ambas as avermectinas, a concentração excretada nas fezes decresceu rapidamente até os 9 dias pós-tratamento (KUZNER et al., 2003). A ivermectina, também apresentou pico de excreção via fezes aos quatro dias pós-tratamento (0,81 mg kg⁻¹ peso seco) e decresceu rapidamente após 7 dias pós-tratamento (0,31 mg kg⁻¹) (RÖMBKE et al., 2010).

A moxidectina, semelhante às outras lactonas macrocíclicas, apresenta pico de eliminação nos três primeiros dias pós-tratamento (IWASA et al. 2008; SUÁREZ et al. 2009).

Impacto sobre a fauna coprófaga

As lactonas macrocíclicas, como as avermectinas e milbemicinas, são potentes

anti-helmínticos, exercendo atividade contra endo e ectoparasitas (FLOATE et al., 2005). As altas concentrações destes fármacos excretadas nas fezes, principalmente nas primeiras semanas pós-tratamento, pode afetar as populações de fauna coprófaga que mantiverem contato com estas fezes. Entretanto, FLOATE et al. (2001) relatam que há espécies que são susceptíveis, mesmo em concentrações baixas de anti-helmíntico.

A moxidectina tem sido apresentada como mais inofensiva sobre os insetos e besouros coprófagos que utilizam estas fezes (FLOATE et al., 2001). Entretanto, alguns estudos demonstraram que a moxidectina afeta a fauna coprófaga. DOHERTY et al. (1994) verificaram a ação larvicida da moxidectina in-vitro contra *Onthophagus gazella* (coleóptero) e *Haematobia irritans exigua* (díptero) em concentrações crescentes deste resíduo nas fezes (4, 8, 16, 32, 64, 128, 256 e 512 $\mu\text{g kg}^{-1}$ de fezes). A sobrevivência das larvas de *Haematobia irritans exigua* foi afetada a partir da concentração de 128 $\mu\text{g kg}^{-1}$ de fezes, entretanto a moxidectina não prejudicou a eclosão de indivíduos adultos desta espécie. Ao considerar a espécie de coleóptero estudada, neste trabalho, não houve efeito na ovoposição, e a sobrevivência larval foi menor na concentração de 512 $\mu\text{g kg}^{-1}$ de fezes.

Em condições ambientais o efeito do resíduo de anti-helmíntico sobre a fauna coprófaga, também foi verificado. Alguns trabalhos realizaram a comparação entre estes fármacos, com o intuito de identificar o produto com menor toxicidade. SUÁREZ et al. (2009), avaliaram o efeito do resíduo de moxidectina, cuja via de administração foi sub-cutânea e "pour-on", e doramectina sub-cutânea, sobre a atividade de artrópodes nas fezes de bovinos, expostas ao ambiente. Neste trabalho, as coletas de fezes foram realizadas nos dias 3, 11 e 21 pós-tratamento e, a contagem dos indivíduos foi realizada nos dias 6, 14, 21 e 42 pós-exposição ao ambiente. Tanto o resíduo de moxidectina como de doramectina reduziram a população

de dípteros nas fezes em relação ao controle. Para a o resíduo de moxidectina, o efeito sobre a população de dípteros foi verificado em fezes coletadas de animais de 3 pós-tratamento expostas ao ambiente até 21 dias e 11 dias pós-tratamento, expostas ao ambiente até 42 dias. Entretanto, para o resíduo de doramectina a excreção de resíduo nas fezes é prejudicial à população de dípteros até 21 dias pós-tratamento, com ação tóxica até 21 dias de exposição ao ambiente.

Para a população larval de coleopteros SUÁREZ et al. (2009) verificaram que a ação do resíduo de anti-helmíntico foi menor, verificando efeito no dia 3 pós-tratamento e após 21 dias de exposição ao ambiente. Em relação à comparação de moxidectina e doramectina, este se tornou mais nociva às larvas. Neste estudo, os resíduos de anti-helmínticos nas fezes não prejudicaram a atração dos coleópteros adultos pelos bolos fecais, ao contrário dos resultados obtidos por SUÁREZ (2002). Ao utilizar iscas do tipo "pitfall" com fezes tratadas e não tratadas com anti-helmínticos FLOATE (2006) afirma que a presença destes fármacos afeta a atração de insetos adultos, com menor efeito para moxidectina em comparação a doramectina. Esta menor toxicidade da moxidectina contra a fauna coprófaga quando comparada à doramectina e as outras avermectinas, também foi verificada em outros insetos, tal como, o mosquito Anopheles (BUTTERS et al., 2012). Este fato pode estar associado a menor afinidade do íon da moxidectina ligado aos receptores GABA pós-sinápticos destes insetos em comparação à avermectinas (PRICHARD, et al., 2012). ARDELLI et al. (2009) mostraram que a ivermectina paralisava a musculatura faringiana com uma potência 64 vezes maior que a moxidectina.

Além da diferença de resultados entre as lactonas macrocíclicas (avermectina e milbemicinas) a forma de administração proporcionou efeitos diferentes sobre a fauna coprófaga. Estes estão relacionados com o comportamento e concentrações distintas de

excreção nas fezes destes resíduos entre a via subcutânea e via “pour-on”. A via de administração “pour on” apresenta maior efeito contra as larvas presentes nos bolos fecais nos primeiros 3 dias pós-tratamento e menos prejudicial após este período, em relação ao tratamento subcutâneo. O comportamento dos animais em lamber a região onde foi administrado o anti-helmíntico “pour-on” foi justificativa pelas maiores excreções de resíduo nas fezes nos primeiros dias pós-tratamento (SALLOVITZ et al., 2003).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verifica-se em alguns estudos realizados a potencialidade de riscos dos anti-helmínticos amplamente utilizados, como a moxidectina, sobre a sobrevivência da fauna que colonizam as fezes e favorecem a degradação, ciclagem e incorporação de nutrientes. Entretanto, rotineiramente estes fármacos são administrados aos animais, sem considerar sua poluição ao ambiente. Este descaso pode ser atribuído, muitas vezes, à falta de informação sobre o real acúmulo, dano e dinâmica destas substâncias no solo, água e plantas, podendo acarretar em prejuízos a médio e longo prazo. A partir disso, para que os sistemas de produção animal sejam sustentáveis, todos os elos da cadeia produtiva devem se atentar aos prejuízos dos fármacos veterinários ao ambiente e buscar alternativas que minimizem este impacto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARANTE, A.F.T.; SALES, R. de O. Controle de endoparasitoses dos ovinos: uma revisão. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, v. 1, p.14-36, 2007.

ANDERSON, J.M. Invertebrate-mediated transport process in soils. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v. 25, p. 5-14, 1988.

AQUINO, A.M. de; ASSIS, R.L. de. (Ed.). Fauna do Solo e sua Inserção na Regulação Funcional do Agroecossistema. In: AQUINO, A.M. de. **Processos Biológicos no Sistema Solo-Planta: Ferramentas para uma agricultura sustentável**. Embrapa Informação Tecnológica: Brasília, DF, 2005. p. 47-75.

ARDELLI, B.F.; STITT, L.E.; TOMPKINS, J.B.; PRICHARD, R.K. A comparison of the effects of ivermectin and moxidectin on the nematode *Caenorhabditis elegans*, **Veterinary Parasitology**, v. 165, p. 96-108, 2009.

BARTH, D. Importance of methodology in the interpretation of factors affecting degradation of dung. **Veterinary Parasitology**, v. 48, p. 99-108, 1993.

BRAZ, S.P.; NASCIMENTO JR., D.; CANTARUTTI, R.B.; REGAZZI, A.J.; MARTINS, C.E. FONSECA, D.M. Aspectos quantitativos do processo de reciclagem de nutrientes pelas fezes de bovinos sob pastejo em pastagem de *Brachiaria decumbens* na zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.2, p.858-865, 2002

BUTTERS, M.P.; KOBYLINSKI, K.C.; DEUS, K.M.; DA SILVA, I.M.; GRAY, M.; SYLLA, M.; et al. Comparative evaluation of systemic drugs for their effects against *Anopheles gambiae*. **Acta Tropica**, v. 121, p. 34-43, 2012.

COSTA, A.J. et al. Avaliação comparativa da ação anti-helmíntica e do desenvolvimento ponderal de bezerros tratados com diferentes avermectinas de longa ação. **A Hora Veterinária**, v.24, n.139, p.31-34, 2004.

CRAGG, R.G.; BARDGETT, R. How changes in soil faunal diversity and composition within a trophic group influence decomposition processes. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 33, p. 2073-2081, 2001.

DECÄENS, T.; LAVELLE, P.; JIMÉNEZ, J.J.; ESCOBAR, G.; RIPPSTEIN, G.; SCHNEIDMADL, J.; et al. Impacto del uso de la tierra en la macrofauna del suelo de los Llanos Orientales de Colombia. In: JIMÉNEZ, J.J.; THOMAS, R.J. (Ed.). **El arado natural: las comunidades de macroinvertebrados del suelo en las savanas neotropicales de Colombia**. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 2003. p.21-45. (Publicación CIAT, 336).

DOHERTY, W.M., STEWART, N.P., COBB, R.M., KEIRAN, P.J. In vitro comparison of the larvicidal activity of moxidectin and abamectin against *Onthophagus gazella* (F.) (Coleoptera: Scarabaeidae) and *Haematobia irritans exigua* De Meijere (Diptera: Muscidae). **Journal Australian of Entomology Society**, v. 33, p. 71-74, 1994.

ERZEN, N.K.; KOLAR, L.; FLAJS, V.C.; KUZNER, J.; MARC, I.; POGACNIK, M. Degradation of abamectin and doramectin on sheep grazed pasture. **Ecotoxicity**, v. 14, p. 627-635, 2005.

FLOATE, K.D. Endectocide use in cattle and fecal residues: environmental effects in Canada residues affect insect attraction to dung from treated cattle: implications for toxicity tests. **The Canadian Journal of Veterinary Research**, v. 70, p. 1-10, 2006.

FLOATE, K.D.; SPOONER, R., COLWELLI, D. Larvicidal activity of endectocides against pest flies in the dung of treated cattle. **Medicine Veterinary. Entomology**, 15, 117-120, 2001.

FLOATE, K.D.; WARDHAUGH, K.G.; BOXALL, A.B.A.; SHERRATT, T.N. Fecal Residues of Veterinary Parasiticides: Nontarget effects in the pasture environment. **Annual Reviews Entomology**, v. 50, p. 153-179, 2005.

GARCIA, M.V.; MONTEIRO, A.C.; SZABÓ, M.P.J. Colonização e lesão em fêmeas ingurgitadas do carrapato *Rhipicephalus sanguineus* causadas pelo fungo *Metarhizium anisopliae*. **Ciência Rural**, v. 34, p. 1513-1518, 2004.

GILLER, K.L.; BEARE, M.H.; LAVELLE, P.; IZAC, A.M.N.; SWIFT, M.J. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. **Applied Soil Ecology**, v. 6., p. 3-16, 1997.

GIRACCA, E.M.N.; ANTONIOLLI, Z.I.; ELTZ, F.L.F.; BENEDETTI, E.; LASTA, E.; VENTURINI, S.F.; et al. Levantamento da meso e macrofauna do solo na microbacia do Arroio Lino, Agudo/RS. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 9, p. 257-261, 2003.

HAYNES, R.J.; WILLIAMS, P.H. Nutrient cycling and fertility in the grazed pasture ecosystem. **Advances in Agronomy**, v.49, p.119-199, 1993.

HEISLER, C.; KAISER, E.A. Influence of agricultural traffic and crop management on Collembola and microbial biomass in arable soil. **Biology and Fertility of Soils**, v.19, n. 2/3, p. 159-165, 1995.

HERD, R. Endectocidal drugs: Ecological risks and counter-measures. **International Journal of Parasitology**, v. 25, n. 8, p. 875-885, 1995.

HOPKIN, S.P.; READ, H.J. **The Biology of Millipedes**. New York: Oxford University Press, 233p, 1992.

IWASA, M.; SUZUKI, N.; MARUYAMA, M. Effects of moxidectin on coprophagous insects in cattle dung pats in Japan. **Applied Entomology and Zoology**, v. 43, p. 271-280, 2008.

KALISZ, P.J.; STONE, E.L. Soil mixing by scarab beetles and pocket gophers in North Central Florida. **Soil Science Society of America Journal**. v. 48, p. 169-172, 1984.

KROGH, K.A.; BJÖRKLUND, E.; LOEFFLER, D.; FINK, G.; HALLING-SORENSEN, B.; TERNES, T.A. Development of an analytical method to determine avermectins in water, sediments and soil using liquid chromatography-tandem mass spectrometry. **Journal of Chromatography A**, v. 1211, p. 60-69, 2008.

KUZNER, J.; KOZUH ERZEN, N.; KOLAR, L.; KOBAL, S.; MARC, I.; CERKVENIK FLAJS, V.; POGACNIK, M. Time profile of excretion and behaviour of abamectin in soil from a grazed pasture of treated animals. **Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics**, Suppl. 26 (suppl. 1), 257, 2003.

LAVELLE, P.; SPAIN, A.V. **Soil ecology**. Dordrecht: Kluwer Academic Pub., 2001. 654p.

MARTÍNEZ, I.M.; LUMARET, J.P. Las prácticas agropecuarias y sus consecuencias en la entomofauna y el entorno ambiental. **Folia Entomologica Mexicana**, v. 45, p. 57-68, 2006.

MATHEWS, B.W.; SOLLENBERGER, L.E. **Grazing systems and spatial distribution of nutrients in pastures: soil considerations**. In: NUTRIENT CYCLING IN FORAGE SYSTEMS. 1996, Columbia, Proceedings... JOOST, R. E. and ROBERTS, C. A. (eds.). Columbia: University of Missouri, 1996. p. 213-229.

MELO, A.C.F.L. Caracterização do nematóide de ovinos, *Haemonchus contortus*, resistente e sensível a anti-helmínticos benzimidazóis, no estado do Ceará, Brasil. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Ceará, Brasil, 104p, 2005.

MOLENTO, M.F. Método Famacha tratamento seletivo no controle do *Haemonchus contortus*. In: **Simpósio sobre**

Controle de Parasitas em Pequenos Ruminantes. FEINCO/SP, 2005.

MOORE, J.C.; WALTER, D.E. Arthropod regulation of micro-and mesobiota in below-ground detrital food webs. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 33, p. 419-439, 1988.

MULROY, A. Monitoring and Analysis of Water and Wastes. **Water Environment Technology**, v. 13, n. 2, p. 32-36, 2001.

ONG, S.; LUI, H.; PIDGEON, C. Immobilized-artificial-membrane chromatography measurements of membrane partition coefficient and predicting drug membrane permeability. **Journal of Chromatography A**, v. 728, p.113-128, 1996.

PAIVA, F. et al. Resistência a ivermectina constatada em *Haemonchus placei* e *Cooperia punctata* em bovinos. **A Hora Veterinária**, v.20, n.120, p.29-32, 2001.

PÉREZ, R.; CABEZAS, I. SUTRA, J.F., GALTIER, P.; ALVINERIE, M. Fecal excretion profile of moxidectin and ivermectin after oral administration in horses. **The Veterinary Journal**, v. 161, p. 85-92, 2001.

PÉREZ, R.; CABEZAS, I.; GODOY, C.; RUBILAR, L.; DÍAZ, L.; MUÑOZ, L.; et al. Disposición plasmática y fecal de moxidectina administrada por vía oral en caballos. **Archivos de Medicina Veterinaria**, v. 33, n. 1, p. 77-88, 2004.

PRICHARD, R.; FORRESTER, S.; NJUE, A.; FENG, X.; LIU, J.; BEECH, R. Receptor mechanisms of antiparasitics. **Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics**, v. 26, p. 29-31, 2003.

PRICHARD, R.; MÉNEZ, C.; LESPINE, A. Moxidectin and the avermectins: consanguinity but not identity. **International Journal for Parasitology: Drugs and Drug Resistance**, v. 2, p. 134-153, 2012.

RANGEL, V.B.; LEITE, R.C.; OLIVEIRA, P.R.; SANTOS, E.J. Resistência de *Cooperia spp.* e *Haemonchus spp.* às avermectinas em bovinos de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.57, n.2, p.186-190. 2005.

REINEMEYER, C.; COURTNEY, C.H. **Antinematodal drugs**. In: H. R. Adams (Ed.). *Veterinary Pharmacology and Therapeutics*. Iowa State University Press. Iowa, USA, p. 947-979, 2001.

RÖMBKE, J.; COORS, A.; FERNÁNDEZ, A.A.; FÖRSTER, B.; FERNANDÉZ, C.; JENSEN, J.; et al. Effects of the parasiticide ivermectin on the structure and function of dung and soil invertebrate communities in the field (Madrid, Spain). **Applied Soil Ecology**, v. 45, p. 284-292. 2010.

RUSSELLE, M.P.; ENTZ, M.H.; FRANZLUEBBERS, A.J. Reconsidering integrated crop-livestock systems in North America. **Agronomy Journal**, Madison, v.99, p. 325-334. 2007.

SALLOVITZ, J.M.; LIFSCHITZ, A.; IMPERIALE, F.; VIRKEL, G.; LANUSSE, C.E. A detailed assessment of the pattern of moxidectin tissue distribution after pour-on treatment in calves. **Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics**, v. 26, p. 397-404, 2003.

SONG, B.; YIN, X.; ZHANG, Y.; DONG, W. Dynamics and relationship of Ca, Mg, Fe in litter, soil fauna and soil in *Pinus koraiensis*-broadleaf mixed forest. **Chinese Geographical Science**, v. 18, p. 284-290, 2008.

STEFFEN, R.S.; ANTONIOLLI, Z.I.; KIST, G.P. Avaliação de substratos para reprodução de colêmbolos nativos em condições de laboratório. **Ciência Florestal**, v. 17, n. 3, p. 265-269, 2007.

SUÁREZ, V.H. Helminthic control on grazing ruminants and environmental risks in South America. **Veterinary Research**. v. 33, p. 563-573, 2002.

SUÁREZ, V.H.; LIFSCHITZ, A.L.; SALLOVITZ, J.M.; LANUSSE, C.E. Effects of faecal residues of moxidectin and doramectin on the activity of arthropods in cattle dung, **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 72, n.5, p. 1551-1558, 2009.

SWIFT, M.J.; HEAL, O.W.; ANDERSON, J.M. *Decomposition in terrestrial ecosystems*. Oxford: Blackwell, 1979. 372p.

USDA. **United States Department of Agriculture**. Disponível em: www.usdabrazil.org.br. Acesso em: 01/05/2013.

WHITEHEAD, D.C. The role of nitrogen in grassland productivity. **Bulletin 48 Common Wealth Bureau of Pastures and field Crops**, Berkshire, England, 1970.

YIN, X.; LI, J.; DONG, W. Microelement contents of litter, soil fauna and soil in *Pinus koraiensis* and broad-leaved mixed forest. **Chinese Journal of Applied Ecology**, v. 18, p. 277-282, 2007a.

YIN, X., QIU, L., YANG, L. SONG, B. The relation and difference of nutritional elements in forest litter-macrofaunas-soil system. **Geographical Research**, v. 25, p. 320-326, 2006.

YIN, X.; SONG, B.; DONG, W.; XIN W., WANG, Y. A review on the eco-geography of soil fauna in China. **Journal of Geographical Sciences**, v. 20, p. 333-346, 2010.

YIN, X.; SONG, B.; QIU, L. Dynamic characteristics of N, P, K in the litter-soil fauna-soil system of mixed *Pinus koraiensis* and broad-leaved forest. **Acta Ecologica Sinica**, v. 27, p. 128-134, 2007b.