

ANÁLISE CRÍTICA DO PROGRAMA NACIONAL DE CONTROLE DE RESÍDUOS E CONTAMINANTES EM CARNE BOVINA

Critical analysis of Brazilian Program in Residues and Contaminants Control in Beef

Luciana Cristina de Souza Mena¹, Ricardo Lacava Bailone²,
Roberto de Oliveira Roça,^{3*} Fernando Ferreira⁴

*Autor Correspondente: Luciana Cristina de Souza Mena. Rua: Prof. Dr. Valter Maurício Corrêa, Botucatu, SP, Brasil. CEP: 18618-150.
E-mail: luciana.mena@unesp.br

Como citar: MENA, L. C. S. et al. Análise crítica do Programa Nacional de Controle de Resíduos e Contaminantes em Carne Bovina. **Revista de Educação Continuada em Medicina Veterinária e Zootecnia do CRMV-SP**, São Paulo, v. 21, e38445, 2023. DOI: <https://doi.org/10.36440/recmvz.v21.38445>.

Cite as: MENA, L. C. S. et al. Critical analysis of Brazilian Program in Residues and Contaminants Control in Beef. **Journal of Continuing Education in Veterinary Medicine and Animal Science of CRMV-SP**, São Paulo, v. 21, e38445, 2023. DOI: <https://doi.org/10.36440/recmvz.v21.38445>.

Resumo

Visando atender às exigências legais nacionais e internacionais, empresas brasileiras do setor de carne bovina investem na realização de análises de resíduos químicos em carne e derivados. A escassez de estudos nacionais sobre determinação da amostragem, ocorrência e fatores de risco associados aos resíduos em carne e derivados geram incertezas sobre a situação do País, o que resulta em gastos desnecessários às empresas e aos órgãos governamentais fiscalizadores. Neste contexto, o presente estudo teve o objetivo de analisar, criticamente, a representatividade amostral do sistema de monitoramento de resíduos e contaminantes, executado pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (Mapa). Foi aplicada análise estatística multivariada, utilizando-se bancos de dados disponibilizados pelo Mapa relativo às análises de resíduos químicos em porções musculares da carcaça, fígado, rim e urina do animal, no período de 2015 e 2019. Nesse período, em média, 73,7% dos animais abatidos no Brasil, foram abatidos em estabelecimentos com Serviço de Inspeção Federal (IBGE, 2023). Assim, 23,3%, em

1 Médica-veterinária, mestre em Medicina Veterinária, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Unesp), Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ), Campus Botucatu, SP, Brasil

2 Doutor em Medicina Veterinária, agente de Inspeção Sanitária e Industrial de Produtos de Origem Animal do Ministério da Agricultura e Pecuária, São Carlos, SP, Brasil

3 Professor associado, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Unesp), Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ), Departamento de Melhoramento e Nutrição Animal, Campus Botucatu, SP, Brasil

4 Professor titular, Universidade de São Paulo, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ-USP), Campus São Paulo, SP, Brasil



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

média, dos animais abatidos não foram amostráveis pelo Programa Nacional de Controle de Resíduos e Contaminantes (PNCRC). A existência, associada à dimensão desse segmento não amostrável, introduz viés que resulta na perda de acurácia da amostra, comprometendo o objetivo inicial do monitoramento no PNCRC, que pressupõe amostra representativa dos alimentos de origem animal produzidos no Brasil (BRASIL, 1999). Essa perda de acurácia não pode ser minimizada com aumento do tamanho da amostra, uma vez que esse procedimento não resolveria a impossibilidade de a amostra conter animais cujo abate ocorreu em estabelecimentos com Serviço de Inspeção Estadual ou municipal. A amostra pode ser considerada representativa apenas dos animais abatidos em estabelecimentos com Serviço de Inspeção Federal e não do total de animais abatidos no Brasil. Portanto, a análise crítica do plano de amostragem, representatividade e tamanho da amostra permitiu concluir que a amostragem realizada pelo PNCRC não é representativa da população total de bovinos abatidos no Brasil, o que poderia comprometer, sem invalidar o programa, o atingimento de um dos principais objetivos do PNCRC, que é promover a segurança dos alimentos, em relação ao perigo químico, na carne bovina produzida no Brasil (BRASIL, 1999). Desse modo, sugere-se a realização de estudos posteriores utilizando-se de sistemas de vigilância baseados em risco, que tenham sido estruturados, considerando-se a exposição ao risco e os métodos de avaliação desse risco em associação aos sistemas tradicionais de vigilância epidemiológica, incluindo-se amostragem representativa da população de animais abatidos em estabelecimentos com Serviço de Inspeção Estadual e Municipal, além do Federal, assegurando-se, assim, coleta de dados adequada e com boa relação custo efetividade.

Palavras-chave: Resíduos Químicos em Carnes e Derivados. PNCRC. Segurança dos Alimentos. Monitoramento de Resíduos e Contaminantes em Carnes e Derivados. Carne Bovina. Vigilância Baseada em Risco.

Abstract

To meet national and international legal requirements, Brazilian companies in the beef sector invest in carrying out analyses of chemical residues in meat and its products. The scarcity of national studies on the determination of sampling, occurrence and risk factors associated with residues in meat and meat products generate uncertainties about the situation in the country, which results in the generation of unnecessary expenses for companies in the sector and for government inspection bodies. In this context, the present study aims to critically analyze the sample representativeness of the waste and contaminant monitoring system carried out by the Ministry of Agriculture, Livestock and Supply. Multivariate statistical analysis was applied using databases provided by Ministry with the results of chemical residue analysis. Samples were collected and analyzed between 2015 and 2019 in muscle portions of the animal's carcass, liver, kidney, and urine. During this period, on average, 73.7% of the animals slaughtered in Brazil were slaughtered in establishments with a Federal Inspection Service (IBGE, 2023). Thus, 23.3%, on average, of slaughtered animals were not sampleable by the PNCRC. The existence, associated with the size of this non-sampleable segment, introduces a bias that results in the loss of accuracy of the sample, compromising the initial objective of monitoring in the PNCRC, which assumes a representative sample of food of animal origin produced in Brazil (BRASIL, 1999). This loss of accuracy cannot be minimized by increasing the sample size, since this procedure would not solve the impossibility of the sample containing animals whose slaughter took place in establishments with State or Municipal Inspection Services. The sample can be considered representative only of animals slaughtered in establishments with a Federal Inspection Service and not of the total number of animals slaughtered in Brazil. Therefore, the critical analysis of the sampling plan, representativeness and sample size led to the conclusion that the sampling carried out by the PNCRC is not representative of the total population of cattle slaughtered in Brazil, which could compromise, without invalidating the program, the achievement of one of the main objectives of the PNCRC, which is to promote food safety, in relation to chemical hazard, in beef produced in Brazil (BRASIL, 1999). Thus, it is suggested that further studies be carried out using risk-based surveillance systems, which have been structured considering risk exposure and risk

assessment methods in association with traditional epidemiological surveillance systems, including A representative sampling of the population of animals slaughtered in establishments with a State and Municipal Inspection Service, in addition to the Federal one, is used, thus ensuring adequate data collection and with a good cost-effectiveness ratio.

Keywords: Chemical Residues in Meat and Meat Products. PNCRC. Food Safety. Monitoring of Residues and Contaminants in Meat and Meat Products. Beef. Risk-Based Surveillance.

Introdução

Resíduos e contaminantes químicos podem ser encontrados em produtos de origem animal devido a uma série de fatores, tais como poluição ambiental, medicamentos usados na propriedade, região geográfica, dentre outros, e para que o alimento seja posto ao varejo em segurança são necessários testes laboratoriais para a detecção destas substâncias. Existem muitos trabalhos que determinam a validação de técnicas para a detecção dos mais diferentes grupos de contaminantes químicos (ALMEIDA *et al.*, 2011; MOR *et al.*, 2012; PÉREZ CHABELA, 2007; SARTARELLI *et al.*, 2010; SOUSA, 2017), mas poucos especificam os planos de amostragem destes programas, tanto no Brasil quanto em outros países (ICA, 2017; MÁRQUEZ LARA, 2008).

No Brasil, o Programa Nacional de Controle de Resíduos e Contaminantes (PNCRC), implantando pelo Mapa, foi publicado em 1999 (BRASIL, 1999), baseado em diretrizes do *Codex Alimentarius* (FAO, 2015). Entre os critérios adotados para selecionar as drogas a serem monitoradas pelo programa estão: (i) se a substância deixa resíduo; (ii) toxicidade; (iii) potencial de exposição da população; (iv) potencial do mal emprego de drogas; (v) disponibilidade de metodologias analíticas; (vi) recursos laboratoriais; (vii) superveniência de implicações do comércio internacional; (viii) participação do país em blocos econômicos; e (ix) riscos à saúde pública e resíduos que possam constituir barreiras às exportações (BRASIL, 1999).

O objetivo do PNCRC é promover a segurança alimentar dos produtos de origem animal e vegetal em relação ao perigo químico, com base em amostra aleatória de animais abatidos em estabelecimentos com Serviço de Inspeção Federal (SIF), contudo, muitas destas substâncias são exigências de países importadores que não são utilizadas dentro do País. Dessa maneira, uma parcela dos resíduos passou a fazer parte do PNCRC em sua agenda anual, não porque os dados a respeito de seu monitoramento seriam relevantes para a saúde pública no Brasil, mas sim para atender às exigências impostas por países importadores, pois, de outro modo, o Brasil ficaria impedido de comercializar seus produtos a essas nações. A amostragem do PNCRC, no que se refere aos subprogramas de monitoramento e exploratório, tem como referência a metodologia recomendada pelo *Codex Alimentarius* (FAO, 2015) para a colheita de amostras, visando a determinação de remanescentes residuais em produtos de origem animal (BRASIL, 1999).

Os estudos estatísticos permitiriam concluir quais são, de fato, os resíduos de maior relevância para a saúde pública, encontrados nos produtos cárneos brasileiros, os quais deveriam ser os únicos 'resíduos foco' dos programas de monitoramento governamentais e dos planos de autocontrole, elaborados pela iniciativa privada, mesmo quando as exigências externas do mercado importador forem de cunho, estritamente, protecionista e comercial. O mercado de carne brasileiro, muitas vezes, sofre embargo de países como Rússia e Europa, por não termos como comprovar a ausência de resíduos, devido a equipamentos obsoletos que não atendem esta demanda (FEDDERN; LIMA, 2015).

Além da escassez de publicações de análises de dados, há insuficiência de respostas técnico-científicas sobre a origem dos fatores que explicam as violações dos Limites Máximos de Resíduos – LMRs, direcionando o emprego de recursos materiais, humanos, na aplicação de medidas mitigatórias dos riscos de ocorrência de resíduos (DINIZ *et al.*, 2015; GONÇALVES *et al.*, 2009; SOUZA; LAGE; PRADO, 2013).

Tão importante quanto os graves efeitos à saúde, que os diversos resíduos químicos em alimentos podem causar, é a caracterização espaço-temporal dos fatores, que expliquem a ocorrência e a frequência dessas substâncias nocivas. Dia, mês, ano; estações do ano; períodos de chuva ou seca são exemplos de fatores de ordem temporal. Frequências de violação dos LMRs de defensivos agrícolas já foram associadas a regiões em que se realiza o plantio de determinadas culturas de frutas, próximas a propriedades que praticavam a pecuária de corte, em virtude da pulverização aérea dessas lavouras, atingindo áreas e recursos hídricos adjacentes (FERRÉ *et al.*, 2018). Assim como município, estado da federação, bioma, vegetação, clima, relevo, índice pluviométrico, tipo de criação (extensiva, semi-intensiva, confinamento), atividade econômica regional, características socioeconômicas da população, exemplificam possíveis fatores espaciais ligados, direta e indiretamente, à contaminação química de carne bovina e derivados.

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar a representatividade amostral do sistema de monitoramento de resíduos e contaminantes executado pelo Mapa para verificar sua eficácia em oferecer alimentos seguros aos consumidores no que se refere ao perigo químico, eventualmente, presente na carne bovina, produzida por estabelecimentos sob Serviço de Inspeção Federal.

Materiais e métodos

O estudo aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho (FMVZ-Unesp), campus de Botucatu (Protocolo Ceua nº 0146/2019) foi realizado utilizando-se o banco de dados que compila os resultados do PNCRC brasileiro (bovinos), publicados para os anos de 2015, 2016, 2017, 2018 e 2019, fornecido pelo Mapa (BRASIL, 2023), especificamente a CRISC - Coordenação de Caracterização de Risco/CGPE- Coordenação-Geral de Programas Especiais/DIPOA-Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal/Secretaria de Defesa Agropecuária, a partir de uma solicitação oficial realizada pelos pesquisadores a esse órgão, a qual foi deferida. Foram contabilizadas 265.452 análises realizadas nesse período, como parte do PNCRC.

Banco de dados partes A e B: resultados de análises de resíduos e contaminantes em carne bovina e seus derivados, em arquivo Excel, contemplando as informações que seguem, dispostas em colunas: ano em que foi realizada a análise; número da análise; analito pesquisado; status da análise (dois *status* possíveis: análise concluída ou análise com violação); técnica analítica empregada (por exemplo: HPLC-MS/MS); data da colheita da amostra; data final da análise; resultado; limite de quantificação; incerteza; Cca (CCalpha. \pm é o valor partir do qual se tem certeza de que a amostra está violada ou ultrapassa o limite); grupo químico ao qual pertence o analito; espécie animal a partir da qual a amostra para análise de resíduo e/ou contaminante foi colhida; tecido ou órgão amostrado/tipo de amostra (por exemplo: gordura, fígado, urina, rim, músculo); quantidade/volume amostrado (em geral, descreve o tamanho do lote a partir do qual foram selecionados um ou mais animais para ser realizada a colheita de amostra); laboratório que recebeu e processou a amostra e que emitiu o resultado final da análise; município da propriedade de origem do(s) animal(ais) a partir do(s) qual(ais) foi(ram) retirada(s) a(s) amostra(s); e unidade federativa relacionada ao município da propriedade (UF). A amostra só é considerada violada quando o valor numérico da quantificação for superior ao limite, somado à incerteza (BRASIL, 2023).

A partir dos bancos de dados mencionados, foi realizada a conferência das informações contidas neles e procedida análise descritiva, considerando o número de amostras colhidas, ao longo dos anos, e a sua distribuição espacial com objetivo de avaliar a representatividade amostral do sistema de monitoramento de resíduos e contaminantes executado pelo Mapa.

Utilizando-se os dados de ambos os bancos, foi aplicada análise estatística descritiva do tipo análise de variância, Anova, com um ou dois fatores. As comparações entre as variáveis foram realizadas por meio do teste de Tukey. A análise de variância e o teste comparativo foram executados com auxílio do programa Minitab versão 19, resultando nas seguintes avaliações (MINITAB, 2023):

1. Número de amostras enviadas para análise;
2. Tempo de análise das amostras;
3. Número de amostras processadas por grupo químico;
4. Número de amostras processadas por região brasileira;
5. Comparação das proporções de violação entre os meses, por grupo químico;
6. Análise da proporção de violações, considerando grupo químico e regiões brasileiras.

Além das estatísticas descritivas, também foram elaborados gráficos utilizando-se o pacote Seaborn (SEABORN, 2022), conforme segue:

1. Amostras colhidas, por ano, segundo grupo químico;
2. Box-plot do número de amostras colhidas por grupo químico;
3. Número de amostras com violação, segundo grupo químico e ano;
4. Proporção de amostras com violação, segundo grupo químico e ano;
5. Box-plot da proporção de amostras com violação, segundo grupo químico;
6. Box-plot da proporção de amostras com violação, segundo grupo químico e unidade federativa.

Utilizando-se as evidências apresentadas pelas estatísticas descritivas e pelos gráficos foi efetuada a análise crítica do Programa. Como a unidade de análise são as regiões brasileiras, o presente estudo se caracteriza como sendo um estudo observacional do tipo ecológico (LIMA-COSTA; BARRETO, 2003).

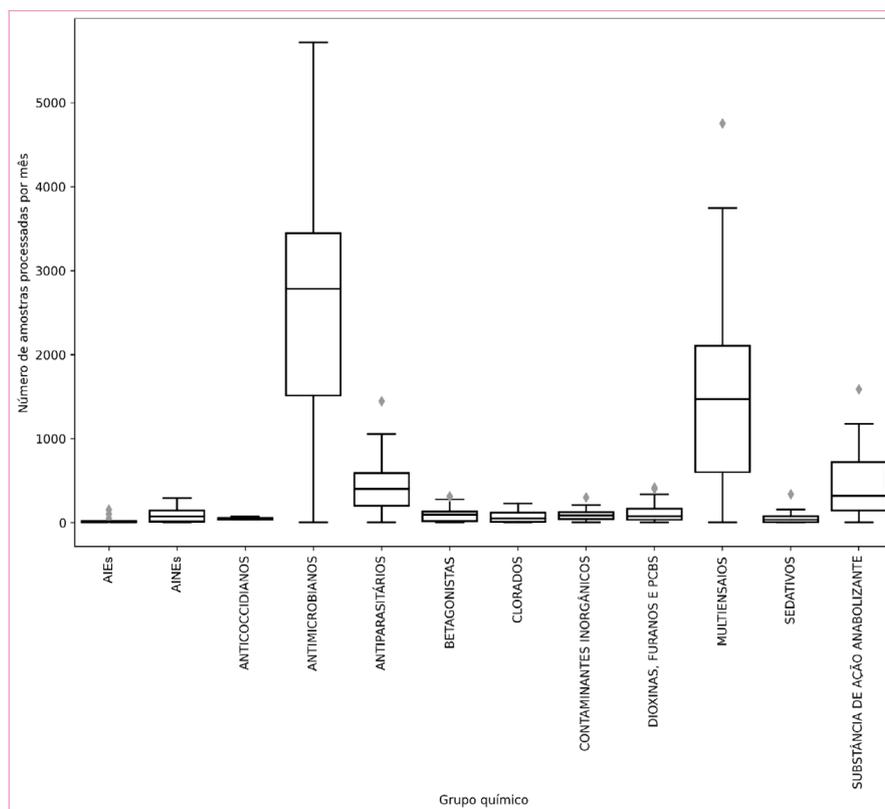
Resultados e discussão

De acordo com o Plano de Amostragem das Cadeias de Carnes do PNCRC de 2019, do Mapa, as classes de substâncias a serem pesquisadas, a partir das amostras colhidas em animais abatidos foram: (i) antimicrobianos, (ii) sedativos, (iii) antiparasitários, (iv) anticoccidianos, (v) micotoxinas, (vi) contaminantes inorgânicos, (vii) substâncias de ação anabolizante, (viii) betagonistas, (ix) anti-inflamatórios não hormonais, (x) anti-inflamatórios esteroidais, (xi) organoclorados e PCBs, (xii) dioxinas/furanos e PCBs, (xiii) organofosforados/piretróides, pirazóis, neonicotinóides, carbamatos e benzimidazóis (BRASIL, 2019).

Comparando-se os resultados dos programas nacionais de monitoramento de resíduos do Brasil, Estados Unidos e dos estados-membros da União Europeia, no período de 2015 a 2017, evidencia-se que os dados dos programas brasileiro, americano e europeu demonstraram, respectivamente, conformidade igual a, no mínimo, 99,46%; 99,49% e 99,61%. O percentual de violações dos LMRs no período não excedeu 0,54% (Brasil); 0,51% (Estados Unidos) e 0,39% (União Europeia), nos mesmos anos.

A Figura 1 e a Tabela 1 apresentam os números de amostras processadas, por mês, por categoria de grupo químico.

Figura 1 – Medianas e intervalos interquartílicos do número de amostras processadas, por mês, dos anos em que foram colhidas e processadas amostras para quantificação de resíduos dos grupos químicos



Fonte: Mena *et al.* (2023).

Tabela 1 – Amostras (N) processadas por mês e suas respectivas média simples, desvio-padrão e intervalo de confiança (IC), considerando o total de 531 amostras

Grupo Químico Recategorizado	N	Média	Desv. Pad.	IC de 95%
AIEs	38	16,29	29,31	(6,65; 25,92)
AINEs	46	82,8	77,1	(59,9; 105,8)
Anticoccidianos	3	48,0	21,8	(-6,1; 102,1)
Antimicrobianos	51	2470	1480	(2053; 2886)
Antiparasitários	51	402,1	297,8	(318,4; 485,9)
Betagonistas	51	90,3	80,1	(67,8; 112,9)
Clorados (organoclorados)	45	61,64	63,78	(42,48; 80,81)
Contaminantes Inorgânicos	48	88,65	63,87	(70,10; 107,19)
Dioxinas, furanos e PCBs	48	112,4	108,8	(80,8; 144,0)
Multiensaio	51	1444	1064	(1145; 1743)
Sedativos	51	52,75	62,15	(35,26; 70,23)
Substância de ação anabolizante	48	438,5	382,7	(327,4; 549,6)

Fonte: Mena *et al.* (2023).

*AIEs: anti-inflamatórios esteroidais; AINEs: anti-inflamatórios não esteroidais.

Em relação aos grupos químicos analisados neste estudo, não foram encontradas amostras com violação entre os grupos de anti-inflamatórios esteroidais (AIEs); anti-inflamatórios não esteroidais (AINEs); anticoccidianos; antimicrobianos; organoclorados; dioxinas, furanos e bifenilos policlorados (PCBs); sedativos.

A maior porcentagem de violação correspondeu ao grupo químico dos contaminantes inorgânicos (2,23%) e a segunda maior ao grupo dos antiparasitários (1,26%). Em terceiro, quarto e quinto lugares, respectivamente, ficaram os betagonistas (0,59%), substância de ação anabolizante (0,29%) e substâncias químicas quantificadas pelo método de multiensaios (0,04%), conforme Tabela 2. Os desvios totalizaram cinco grupos químicos dos 12 grupos estudados no total, ou seja, 475 amostras colhidas apresentaram resultados com violação dos LMRs de um total de 265.450 amostras processadas.

Destacam-se também os números que se referem aos antimicrobianos já que, de 125.953 amostras colhidas e processadas durante os anos de 2015 a 2019, nenhuma apresentou resultado com violação dos LMRs. O uso incorreto de antibióticos na Medicina Veterinária pode deixar resíduos nos produtos de origem animal, podendo chegar até o consumidor, passando por toda a cadeia produtiva, podendo causar diferentes agravos à saúde, desde reações de hipersensibilidade até danos indiretos, como a indução de estirpes bacterianas resistentes (STOLKER *et al.*, 2007; STOLKER; BRINKMAN, 2005).

Souza, Lage e Prado (2013), ao estudarem resíduos de antimicrobianos em carnes, concluíram que o PNCR é eficaz e que os produtores rurais estão se conscientizando quanto ao correto uso de antimicrobianos e a importância de se cumprirem os períodos de carência. Porém, considerando-se que o PNCR é aplicado apenas em abatedouros frigoríficos sob Serviço de Inspeção Federal, mas não naqueles com fiscalização pelos serviços de Inspeção Estadual e Municipal, a conclusão dessa pesquisa relaciona-se apenas com a população de animais abatidos em estabelecimentos sob Serviço de Inspeção Federal.

Tabela 2 – Número absoluto e porcentagem de amostras totais colhidas, com violação do LMR (análise com violação) e concluídas (sem violação do LMR), por grupo químico

Grupo químico	Análise com Violação	Análise Concluída	Total
AIEs	0 0%	619 100%	619 100%
AINEs	0 0%	3811 100%	3811 100%
Anticoccidianos	0 0%	144 100%	144 100%
Antimicrobianos	0 0%	125953 100%	125953 100%
Antiparasitários	258 1,26%	20250 98,74%	20508 100%
Betagonistas	27 0,59%	4579 99,41%	4606 100%
Clorados (organoclorados)	0 0%	2774 100%	2774 100%

Contaminantes inorgânicos	95	4160	4255
	2,23%	97,77%	100%
Dioxinas, furanos e PCBs	0	5394	5394
	0%	100%	100%
Multiensaios	33	73616	73649
	0,04%	99,96%	100%
Sedativos	0	2690	2690
	0%	100%	100%
Substância de ação anabolizante	62	20985	21047
	0,29%	99,71%	100%
Todos	475	264975	265450
	0,18%	99,82%	100%

† Fonte: Mena *et al.* (2023).

*AIEs: anti-inflamatórios esteroidais; AINEs: anti-inflamatórios não esteroidais.

Com estes resultados, é possível concluir que o setor de produção de carne bovina e seus derivados, com fiscalização por parte do Serviço de Inspeção Federal, atua no controle de resíduos químicos nesses produtos obtendo bom êxito, uma vez que o número de violações nos resultados de análise desses resíduos é, relativamente, baixo.

Contudo, é necessário que o PNCRC continue sendo, periodicamente, revisado, tendo em vista sua importância para a segurança dos alimentos e, conseqüentemente, sua relevância para a saúde pública e para a manutenção e conquista de novos mercados importadores.

No presente trabalho, não houve homogeneidade e sazonalidade nas medianas e na distribuição das quantidades de amostras colhidas para quantificação de anti-inflamatórios esteroidais (AINEs), entre os anos e meses pesquisados. Denotou-se não haver uma padronização e nem sazonalidade das medianas de amostras colhidas.

Em relação ao grupo dos anticoccidianos, não foram colhidas amostras suficientes para avaliar violação do LMR no período considerado e qual seria a proporção de violação nesse mesmo período analisado.

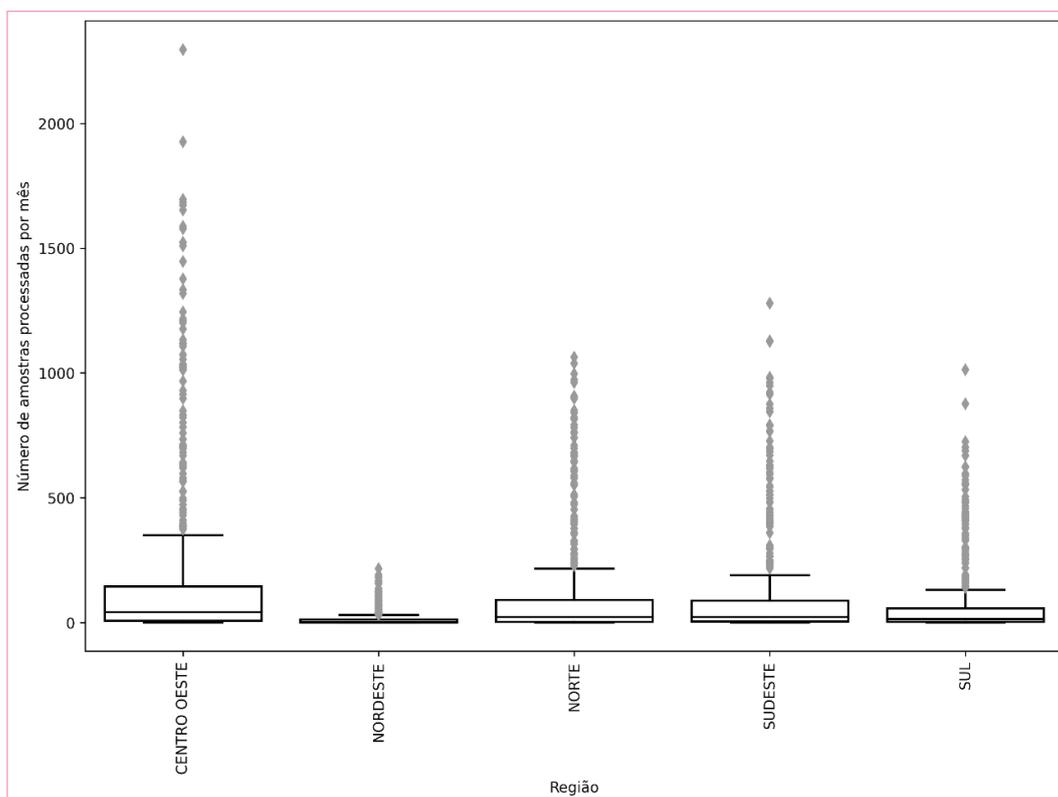
Já em relação aos antimicrobianos, houve uma tendência de aumento das medianas do número de amostras colhidas no período de 2015 a 2019, que se acentuou entre os meses de março a outubro, mas diminuiu no primeiro e último bimestre de cada ano, fato que pode estar relacionado ao período em que são realizados e divulgados os sorteios para realização das coletas por parte dos estabelecimentos, entre os anos de 2015 e 2019 (BRASIL, 2023). Porém, não houve uma distribuição homogênea e sazonal ao longo dos meses, entre 2015 e 2019.

Assim como os AINEs, os grupos químicos representados por antiparasitários, betagonistas, organoclorados, inorgânicos, multiensaios, sedativos, dioxinas, furanos e PCBs apresentaram distribuição heterogênea e não sazonal.

Substâncias de ação anabolizante apresentaram distribuição das medianas, do número de amostras colhidas para quantificação de substância de ação anabolizante, não homogênea, no período de 2015 a 2019, e os picos dessa variável, ao contrário do que foi constatado em relação à maioria dos picos de número de amostras colhidas para quantificação dos resíduos de outros grupos químicos, concentraram-se, principalmente, no segundo semestre.

A região geográfica, relacionada ao clima, tipos de produção, dentre outros fatores, também repercute no plano amostral de coletas de amostras. Na Figura 2 e Tabela 3, observam-se as coletas realizadas por regiões brasileiras no período analisado.

Figura 2 – Medianas do número total de amostras colhidas e processadas para quantificação de resíduos dos grupos químicos do presente estudo, por região e meses do período de 2015 a 2019



Fonte: Mena *et al.* (2023).

Tabela 3 – Número N, médias do número de amostras processadas por mês, região brasileira, respectivos desvios-padrão, valores máximos e mínimos dos intervalos de confiança, no período de 2015 a 2019

Regiões Brasil	N	Média	Desvio Padrão	IC de 95%
Centro oeste	529	190,7	367,3	(159,3; 222,1)
Nordeste	499	15,64	32,84	(12,75; 18,53)
Norte	528	110,92	208,78	(93,07; 128,77)
Sudeste	529	110,50	212,42	(92,36; 128,64)
Sul	526	75,35	148,01	(62,67; 88,02)

Fonte: Mena *et al.* (2023).

A análise estatística do número de amostras processadas por mês, segundo região do Brasil, considerando-se o total de meses e anos em que essas amostras foram obtidas, por grupo químico estudado, revelou que, entre parte das regiões, as médias foram, significativamente, diferentes e que a menor média do número de amostras processadas por mês correspondeu à da região Nordeste (Tabela 4).

Tabela 4 – Médias do número de amostras colhidas e processadas por região brasileira, mês e ano em que foram colhidas e processadas as amostras

Regiões Brasil	N	Média	Agrupamento*
Sul	417	0,0128725 A	
Nordeste	327	0,0082078 A	B
Sudeste	436	0,0028131	B
Norte	437	0,0009590	B
Centro Oeste	444	0,0001916	B

Fonte: Mena *et al.* (2023).

*Médias que não compartilham uma letra são, significativamente, diferentes.

Foi constatado que as proporções médias de violações entre as regiões brasileiras foram iguais nas regiões Sul e Nordeste (A), e foram iguais entre as regiões Nordeste, Sudeste, Norte e Centro-oeste (B), mas não entre essas regiões e a região Sul.

As observações realizadas revelaram que: (i) proporções médias das violações não são iguais entre os grupos químicos e regiões; (ii) a seguinte ordem, decrescente em proporção média de violação dos diferentes grupos químicos: contaminantes inorgânicos, antiparasitários, betagonistas, substâncias de ação anabolizante, multiensaios e, em diferentes regiões (da maior para a menor proporção de violação média: Sul, Nordeste, Sudeste, Norte, Centro-oeste).

Observou-se que a região pode influenciar nas contaminações químicas encontradas nos produtos, considerando, por exemplo: onde existe a prática do garimpo, são encontradas maiores violações por metais pesados, como o mercúrio, contaminação associada a garimpos próximos a estabelecimentos rurais que criavam bovinos para o abate (CHIBUNDA; JANSSEN, 2009).

Feddern e Lima (2015) chegaram a algumas conclusões também observadas no presente estudo, como por exemplo: (i) necessidade de elaboração de padrões de referência nacional para análise interlaboratorial, visando minimizar a dependência externa e dispor de um único referencial; (ii) priorizar o estudo de algumas moléculas mais relevantes e emergentes; (iii) desenvolver métodos mais rápidos e práticos para a determinação de resíduos químicos, adequados às demandas e que atendam às agroindústrias, diminuindo o tempo de retenção da carga de produtos cárneos em indústrias, associada à otimização logística; (iv) estruturar uma rede de laboratórios habilitados para análises de contaminantes; (v) promover a redução dos custos das análises e a fluidez na obtenção de kits importados e validados; (vi) aquisição de equipamentos modernos, com detectores sensíveis para atender demanda do mercado externo, que é mais exigente que o interno; (vii) aperfeiçoar os métodos multirresíduos, otimizando as análises, as amostras e o custo envolvido.

a) Plano de amostragem

O Plano Nacional de Controle de Resíduos e Contaminantes (PNCRC/Animal) tem o objetivo de promover a segurança química dos alimentos de origem animal produzidos no Brasil e está baseado, legalmente, na Instrução Normativa SDA Nº 42, de 20 de dezembro de 1999 (BRASIL, 1999).

Informações constantes no Manual Instrutivo do PNCRC esclarecem que o plano de amostragem consiste na colheita aleatória de amostras de animais abatidos, em estabelecimentos com Serviço de Inspeção Federal, em atendimento a ordens de colheita (Requisições Oficiais de Análise - ROA). Este mesmo

manual cita o Guia Nº 71/2009 do *Codex Alimentarius* - Diretrizes para a desenho e implementação do programa nacional de garantia para a segurança dos alimentos associados ao uso de medicamentos veterinários em animais de produção de alimentos (MONTES-NIÑO, 2009).

No mesmo manual, reporta-se o teste anual de 600 amostras garantindo, com 95% de confiança, a capacidade de detecção de violações com frequência igual ou superior a 0,5%. A distribuição das amostras pelos diferentes estabelecimentos é proporcional ao número de animais abatidos.

Importante destacar que a IN-SDA Nº 42, de 20 de dezembro de 1999, no item 4 afirma que, no Brasil, o plano amostral do PNCR é baseado nas seguintes premissas: (i) resíduos encontram-se, uniformemente, distribuídos em toda a população testada, num determinado período; (ii) a probabilidade de encontrarmos exatamente X animais ou produtos que superam o LMR em uma amostra aleatória n dentro de uma população N com X animais ou produtos que superem o LMR segue uma distribuição hipergeométrica; (iii) para valores de N elevados, a distribuição hipergeométrica pode ser aproximada pela distribuição binomial.

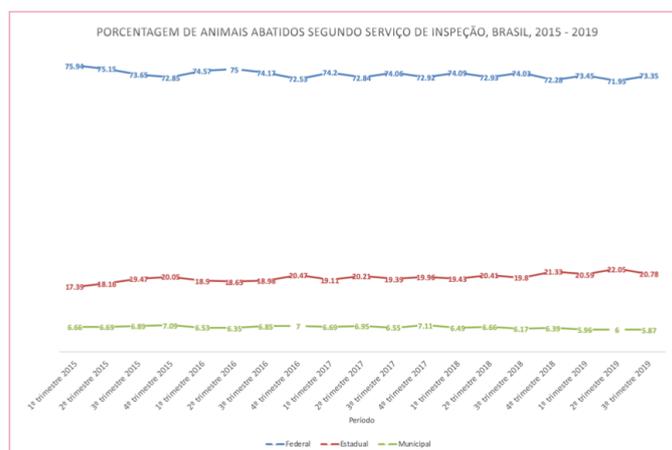
b) Representatividade da amostra

O objetivo do PNCR, constante na página do Ministério da Agricultura e Pecuária, é promover a segurança química dos alimentos de origem animal produzidos no Brasil, com base em amostra aleatória de animais abatidos em estabelecimentos com Serviço de Inspeção Federal.

Consultando a pesquisa trimestral de abate de animais disponível no site do IBGE (<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1092>), obtém-se a série histórica, apresentada na Figura 3.

Verificou-se nos registros oficiais, no período analisado, que, em média, 73,7% dos bovinos no Brasil foram abatidos em estabelecimentos com Serviço de Inspeção Federal (IBGE, 2023). Assim, 23,3%, em média, dos animais abatidos não foram amostráveis pelo PNCR. A existência, associada à dimensão desse segmento não amostrável, introduz viés que resulta na perda de acurácia da amostra, comprometendo o objetivo inicial do monitoramento no PNCR, que pressupõe amostra representativa dos alimentos de origem animal produzidos no Brasil (BRASIL, 1999). Essa perda de acurácia não pode ser minimizada com aumento do tamanho da amostra, uma vez que esse procedimento não resolveria a impossibilidade de a amostra conter animais cujo abate ocorreu em estabelecimentos com Serviço de Inspeção Estadual ou Municipal. A amostra pode ser considerada representativa apenas dos animais abatidos em estabelecimentos com Serviço de Inspeção Federal e não do total de animais abatidos em empresas com Inspeção Federal, Estadual e Municipal.

Figura 3 - Percentual de bovinos, abatidos segundo o Sistema de Inspeção, entre 2015 e 2019, Brasil



Fonte: IBGE (2023).

c) Tamanho da amostra

A determinação do número mínimo de amostras a serem examinadas de modo a detectar, pelo menos uma violação, considerando-se uma prevalência de violação p na população, uma sensibilidade diagnóstica Se e um nível de confiança α , foi dada por:

$$n = \frac{(1 - (1 - \alpha)^{\frac{1}{pN}}) (N - 0,5 (pNSe - 1))}{Se}$$

Onde,

α : nível de confiança

p : prevalência de violações.

N : tamanho da população.

Se : sensibilidade do teste diagnóstico.

Esta é a equação que permite calcular os valores de tamanho de amostra e gerar as tabelas presentes no *Codex Alimentarius* CAC/GL 71-2009 (MONTES-NIÑO, 2009) e no Manual Instrutivo do PNCRC (BRASIL, 2021).

Com a finalidade de discutir os procedimentos amostrais adotados pelo Mapa elaborou-se um gráfico com base na equação 1, considerando-se sensibilidade igual a $Se = 100\%$, confiança de $\alpha = 95\%$, população $N = 200.000.000$ animais e prevalência variando entre 0 e 10% de violação (Figura 4).

A análise da Figura 4 revela que, para uma prevalência de 0,5%, o tamanho da amostra é 598 ou, aproximando-se, 600 animais. Este é o valor apresentado no Manual Instrutivo do PNCRC como sendo o número de amostras, anualmente, examinadas pelo subprograma de monitoramento. Do mesmo modo, pode-se verificar que com a diminuição da prevalência, o tamanho da amostra tende a ∞ . Este fenômeno pode ser considerado o principal limitante à utilização de procedimentos amostrais aleatórios para a detecção de fenômenos com muito baixa prevalência.

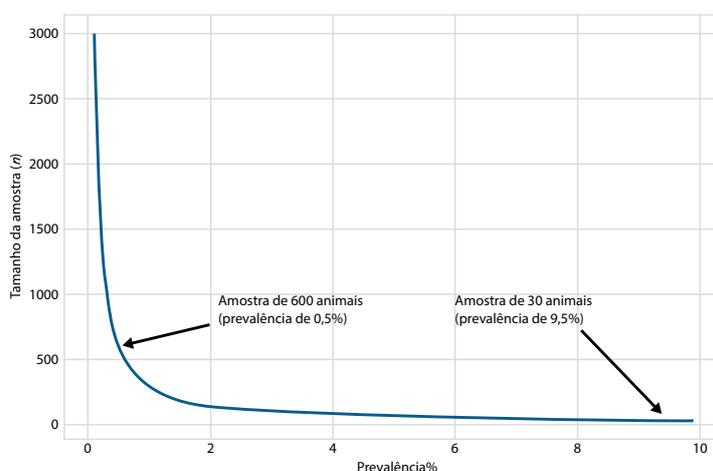
A alternativa é realizar procedimentos baseados em risco, ou seja, identificar fatores de risco associados à ocorrência de violações e direcionar o procedimento amostral para essas subpopulações que, possuindo maior prevalência, podem ter menos amostras colhidas (FAO, 2014).

Ainda no que se refere ao PNCRC, foram identificadas divergências entre as quantidades de unidades amostrais (para análise das principais classes de substâncias) propostas pelo Manual instrutivo do programa (600 unidades amostrais, nível de confiança de 95%) (BRASIL, 2021) e as quantidades publicadas nos planos de amostragem anuais do PNCRC, no período de 2015 a 2019, e referentes a bovinos (BRASIL, 2023).

Para exemplificar, utilizando-se o plano de amostragem para o ano de 2018 (BRASIL, 2023), verifica-se que para diferentes substâncias a recomendação do número de unidades amostrais variam, assumindo quantidades como, por exemplo, 30, 40, 60, 120, 200 ou 400, bem como outras expressas naquele documento, sem que houvesse justificativa publicada, em primeira instância, para essa alteração ocorrida na prática e apresentando-se divergente em relação ao número de amostras preconizado no Manual Instrutivo do PNCRC (BRASIL, 2021).

No caso do elemento mercúrio, por exemplo, para bovinos, o plano de amostragem para o ano de 2018 (BRASIL, 2023) determinou que fossem colhidas 30 amostras. É possível concluir que esse tamanho de amostra permitiria detectar uma violação relacionada ao mercúrio, com 95% de confiança, se esta estivesse presente com prevalência mínima de 9,5% na população bovina.

Figura 4 – Número mínimo de amostras a serem examinadas para detecção de pelo menos uma violação considerando-se nível de confiança de $\alpha = 95\%$, sensibilidade de $Se = 100\%$, população de $N = 200.000.000$ animais e frequência esperada variando de zero a 10%



Fonte: Mena *et al.* (2023).

Ao se reduzir a amostra para 30, a probabilidade de detectar a violação, caso esteja presente com a prevalência inicialmente proposta de 0,5%, é dada por:

$$Prob = 1 - (1 - 0,005)^{30} = 0,139$$

Ou seja, a probabilidade de detecção de violação reduz-se, para esta substância, de 95% para 13,9%, isto é, a probabilidade de não se detectar a violação seria de 86,1% o que significa que o sistema seria capaz de detectar uma violação somente a cada sete anos.

Conclusão

Portanto, a análise crítica do plano de amostragem, representatividade e tamanho da amostra permitiu concluir que a amostragem realizada pelo PNCRC não é representativa da população total de bovinos abatidos no Brasil em estabelecimentos com Serviço de Inspeção Federal, o que poderia comprometer, mas sem invalidar esse importante e relevante programa, o atingimento de um dos principais objetivos do PNCRC, que é promover a segurança dos alimentos, em relação ao perigo químico, na carne bovina produzida no Brasil (BRASIL, 1999). Desse modo, sugere-se a realização de estudos posteriores, utilizando-se de sistemas de vigilância baseados em risco, que tenham sido estruturados considerando-se a exposição desses bovinos ao risco e os métodos de avaliação desse risco em associação aos sistemas tradicionais de vigilância epidemiológica, incluindo-se amostragem representativa da população de bovinos abatidos em estabelecimentos com Serviço de Inspeção Estadual e Municipal, além do Federal, assegurando-se, assim, coleta de dados adequada e com boa relação custo efetividade. &

Referências

- ALMEIDA, M. P. *et al.* Validation of a quantitative and confirmatory method for residue analysis of aminoglycoside antibiotics in poultry, bovine, equine and swine kidney through liquid chromatography-tandem mass spectrometry. **Food Additives & Contaminants: Part A**, v. 29, n. 4, p. 517-525, Nov. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1080/19440049.2011.623681>.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 5, de 23 de abril de 2019. Plano de amostragem e os limites de referência para o Plano Nacional de Controle de Resíduos e Contaminantes em Produtos de Origem Animal - PNCRC de 2019 para as cadeias de carnes bovina, suína, caprina, ovina, equina, de coelho, de aves e de avestruz, de leite, pescado, mel e ovos. **Diário Oficial da União**: seção 1:4, Brasília, DF, 25 abr. 2019.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 42, de 20 de outubro de 1999. Altera o Plano Nacional de Controle de Resíduos em produtos de origem animal – PNCRC e os Programas de Controle de Resíduos em Carne – PCRC, Mel – PCRM, Leite – PCRL e Pescado – PCRP. **Diário Oficial da União**: seção 1:213, Brasília, DF, 22 dez. 1999.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Nacional de Controle de Resíduos e Contaminantes – PNCRC/Animal**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-animal/plano-de-nacional-de-controle-de-residuos-e-contaminantes>. Acesso em: 24 jul. 2023.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **PNCRC**: Manual instrutivo do Plano Nacional de Controle de Resíduos e Contaminantes. 2021. Disponível em: https://wikisda.agricultura.gov.br/pt-br/Inspeção-Animal/manual_pncrc. Acesso em: 4 maio 2023.
- CHIBUNDA, R. T.; JANSSEN, C. R. Mercury residues in free-grazing cattle and domestic fowl from the artisanal gold mining area of Geita district, Tanzania. **Food Additives and Contaminants: Part A**, v. 26, n. 11, p. 1482-1487, Sept. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1080/02652030903114928>.
- DINIZ, S. A. *et al.* **Avaliação de risco à presença de resíduos de avermectinas na carne bovina sob Inspeção Federal associada às práticas de produção pecuária no Brasil entre 2002-2013**. 2015. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.
- FAO. **General standard for contaminants and toxins in food and feed**. 2015. Disponível em: https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B193-1995%252FCXS_193e.pdf. Acesso em: 4 abr. 2023.
- FAO. **Risk-based disease surveillance**: a manual for veterinarians on the design and analysis of surveillance for demonstration of freedom from disease. Rome, 2014. Disponível em: <https://www.fao.org/documents/card/es/c/1440fee4-be47-4d38-8571-4dad3f3036d6/>. Acesso em: 31 jul. 2023.
- FEDDERN, P.; LIMA, G. J. M. M. Demandas no estudo e levantamento de resíduos químicos na carne de suínos e aves. **Avicultura Industrial**, v. 106, n. 1240, p. 14-23, 2015. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/135198/1/final7780.pdf>. Acesso em: 4 abr. 2023.
- FERRÉ, D. M. *et al.* Potential risks of dietary exposure to chlorpyrifos and cypermethrin from their use in fruit/vegetable crops and beef cattle productions. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 190, p. 1-10, Apr. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6647-x>.
- GONÇALVES, R. M. *et al.* Avaliação físico-química e conteúdo de metais pesados em carne mecanicamente separada (CMS) de frango e de bovino produzidas no estado de Goiás. **Ciência Animal Brasileira**, v. 10, n. 2, p. 553-559, 2009. DOI: <https://doi.org/10.5216/cab.v10i2.1116>.

- IBGE. **Pesquisa trimestral do abate de animais**. 2023. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1092>. Acesso em: 24 jul. 2023.
- ICA. **Plan subsectorial de vigilancia y control de residuos de medicamentos veterinarios y contaminantes químicos en carne bovina 2016-2017**. 2017. Disponível em: <https://www.invima.gov.co/documents/20143/429089/plan-nacional-subsectorial-bovinos-enero2016i.pdf>. Acesso em: 4 abr. 2023.
- LIMA-COSTA, M. F.; BARRETO, S. M. Tipos de estudos epidemiológicos: conceitos básicos e aplicações na área do envelhecimento. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 12, n. 4, Brasília, p. 189-201, dez. 2003. DOI: <https://doi.org/10.5123/S1679-49742003000400003>.
- MÁRQUEZ LARA, D. Resíduos químicos en alimentos de origen animal: problemas y desafíos para la inocuidad alimentaria en Colombia. **Corpoica: Ciencia y Tecnología Agropecuaria**, v. 9, n. 1, p. 124-135, 2008. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4499/449945024014.pdf>. Acesso em: 4 abr. 2023.
- MINITAB. **Minitab Statistical Software**. 2023. Disponível em: <https://www.minitab.com/pt-br/products/minitab/>. Acesso em: 31 jul. 2023.
- MONTES-NIÑO, A. **Guidelines for the design and implementation of national regulatory food safety assurance programme associated with the use of Veterinary drugs in food producing animals**. 2009. Disponível em: <https://www-pub.iaea.org/iaeameetings/cn222pn/SatelliteEvent/12Montes.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2023.
- MOR, F. *et al.* Determination of sulphonamide residues in cattle meats by the Charm-II system and validation with high performance liquid chromatography with fluorescence detection. **Food Chemistry**, v. 134, n. 3, p. 1645-1649, Oct. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.03.049>.
- PÉREZ CHABELA, M. L. Presencia de residuos químicos en carnes. **Nacameh**, v. 1, n. 1, p. 18-25, jun. 2007. Disponível em: <https://cbs.izt.uam.mx/nacameh/index.php/volumen-1>. Acesso em: 4 abr. 2023.
- SARTARELLI, N. C. *et al.* Validação de metodologia analítica para determinação de contaminantes em carne bovina. In: JORNADA CIENTÍFICA - EMBRAPA SÃO CARLOS, 2., 2010, São Carlos. **Anais [...]**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária; Embrapa Pecuária Sudeste, 2010. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/865760?mode=full>. Acesso em: 4 abr. 2023.
- SEABORN. **Seaborn: statistical data visualization**. 2022. Disponível em: <https://seaborn.pydata.org/>. Acesso em: 29 jul. 2023.
- SOUSA, F. C. M. **Resíduos de fármacos veterinários em alimentos: quinolonas em salmão e avermectinas em carne bovina**. 2017. Tese de Doutorado, Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/987147>. Acesso em: 4 abr. 2023.
- SOUZA, M. I. A.; LAGE, M. E.; PRADO, C. S. Resíduos de antibióticos em carne bovina. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 16, p. 1917-1938, 2013. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2013a/agrarias/residuos%20de%20antibioticos.pdf>. Acesso em: 24 maio 2013.
- STOLKER, A. A. M.; BRINKMAN, U. A. T. Analytical strategies for residue analysis of Veterinary drugs and growth-promoting agents in food-producing animals: a review. **Journal of Chromatography A**, v. 1067, n. 1/2, p. 15-53, Mar. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2005.02.037>.
- STOLKER, A. A. M. *et al.* Residue analysis of veterinary drugs and growth-promoting agents. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 26, n. 10, p. 967-979, Nov. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2007.09.008>.

Recebido: 4 de abril de 2023. Aprovado: 27 de outubro de 2023.