

UTILIZAÇÃO DE MODELOS DE REGRESSÃO APLICADOS A DADOS COM INFLACIONAMENTO DE ZEROS: ESTUDO DA OCORRÊNCIA DE CARRAPATOS EM MUNICÍPIOS NO INTERIOR DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

THIAGO BERNARDO PEDRO

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Veterinária, Departamento de Parasitologia Animal. Rodovia BR 465 - Km 7, Seropédica - RJ

thiago.b.pedro@gmail.com

ANDREA KILL SILVEIRA

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Veterinária, Departamento de Epidemiologia e Saúde Pública. Rodovia BR 465 - Km 7, Seropédica - RJ

akillsilveira@gmail.com

WAGNER DE SOUZA TASSINARI

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Ciências Exatas, Departamento de Matemática. Rodovia BR 465 - Km 7, Seropédica - RJ

wtassinari@gmail.com

Resumo Os mais utilizados entre os Modelos Lineares Generalizados (GLM) são as regressões logística e de Poisson. Apesar disso, nos últimos anos, modelos capazes de suportar superdispersão e inflacionamento de zeros surgiram: modelos para alteração de zeros e inflacionamento de zeros. O desafio é aplicar tais metodologias em um problema de saúde pública, carrapatos *Amblyomma cajennense* em áreas de transição rural-urbana. O objetivo deste artigo é estudar os fatores climáticos associados à ocorrência de carrapatos *A. cajennense* adultos em Seropédica e Mangaratiba/RJ, através do ajuste de modelos de regressão. Foram realizadas coletas de carrapatos entre dezembro/2008 e setembro/2011. A variável resposta foi contagem de carrapatos; as 48 variáveis independentes estavam relacionadas à temperatura média (°C), umidade relativa do ar (%) e precipitação (mm). Estatística descritiva e análises bivariadas e multivariadas foram realizadas utilizando-se cinco tipos de GLM: regressão de Poisson, binomial negativa, extra-Poisson (variância = μ ; variância = μ^2) e ZIP (Poisson com inflacionamento de zeros). Nove variáveis independentes foram significativas em pelo menos dois modelos bivariados. Os modelos multivariados mostraram que os melhores parâmetros foram apresentados pelos modelos ZIP, seguidos da regressão de Poisson. Esses resultados corroboram o fato de que ZIP são os GLM mais adequados para suportar análises com inflacionamento de zeros. É possível concluir através deste estudo que ZIP é o GLM mais adequado para analisar dados de contagem de *A. cajennense* adultos associados a variáveis climáticas nas regiões estudadas. Conclui-se, ainda,

que a regressão de Poisson também pode proceder a uma análise de alto padrão para dados de contagem com inflacionamento de zeros.

Palavras-chave: modelos de regressão; inflacionamento de zeros; ocorrência de carrapatos.

Abstract

The most widely used models among the Generalized Linear Models (GLM) are the logistic and the Poisson regressions. Nevertheless, in the past few years, models that are able to incorporate over-dispersion and excess zeros have arisen: hurdle and zero-inflated models. The challenge is to utilize such methodologies in a public health problem, the tick *Amblyomma cajennense* in rural-urban transition areas. This paper aims at studying the climatic factors that are associated to the occurrence of adult *A. cajennense* ticks in Seropédica and Mangaratiba/RJ, by fitting regression models. Tick collections were performed during December/2008 and September/2011. The response variable was tick count; the 48 explanatory variables were related to mean temperature (°C), relative humidity (%) and rainfall (mm). Descriptive statistics and bivariate and multivariate analyses were carried out using five types of GLM: Poisson regression, negative binomial, extra-Poisson (variance = μ ; variance = μ^2) and ZIP (zero-inflated Poisson). Nine explanatory variables were significant at least in two bivariate models. The multivariate models showed that the best parameters were presented by ZIP models, followed by Poisson regression. These results corroborate the fact that ZIP models are the most adequate GLM to run analyses with excess zeros. We conclude that ZIP is the most adequate GLM to analyze count data of adult *A. cajennense* associated to climatic variables in the study field. Yet, it is possible to determine that Poisson regression can also undertake a high-standard analysis for count data with excess zeros.

Keywords: regression models; excess zeros; tick occurrence.

1. INTRODUÇÃO

Os modelos estatísticos de regressão são utilizados quando se deseja estudar a relação entre um desfecho (variável dependente ou resposta) e um conjunto de potenciais fatores de risco (variáveis independentes ou explicativas), sendo o objetivo a determinação de um modelo matemático que descreva essa relação.

Podem ser utilizados métodos análogos àqueles desenvolvidos para o modelo de regressão linear, para situações em que a variável-resposta não apresenta uma distribuição Normal, ou quando a relação entre a variável-resposta e as variáveis explicativas não é linear (DOBSON, 1990).

Na década de 1970, surgiram os Modelos Lineares Generalizados (GLM), como uma extensão dos modelos lineares clássicos. Nos GLM, a variável-resposta, componente aleatório do modelo, tem uma distribuição pertencente à família exponencial na forma canônica: distribuições normal, gama e normal inversa para dados contínuos; binomial para proporções; Poisson e binomial negativa para contagens. Além disso, as variáveis explicativas entram na forma de um modelo linear (componente sistemático), e a ligação entre os componentes aleatório e sistemático é estabelecida através de uma função de ligação (logarítmica para os modelos log-lineares, por exemplo) (NELDER e WEDDERBURN, 1972).

Entre os Modelos Lineares Generalizados, os mais utilizados são a regressão logística, em que a variável-resposta é binária, e a regressão de Poisson, em que a variável desfecho se apresenta na forma de contagem. O ajuste desses modelos é comumente baseado no método

de estimação da máxima verossimilhança, pelo qual os estimadores são obtidos a partir da maximização da função de verossimilhança (BOLFARINE e SANDOVAL, 2001).

Determinadas áreas do conhecimento humano, trabalham com modelos bastantes específicos, um exemplo disso é a área da epidemiologia humana e animal, pois utilizam dados de contagem na maioria de suas pesquisas. Dados de contagem apresentam algumas fragilidades, uma delas é o excessivo número de zeros, ou seja, a variável resposta contém mais zeros do que é esperado, inviabilizando muitas das vezes o uso dos modelos baseados nas distribuições tradicionais de Poisson e/ou binomial negativa (ZUUR et al., 2009).

Nos últimos anos, vem surgindo alguns modelos que levam em conta esse excessivo número de zeros, são eles: Poisson com inflacionamento de zeros (ZIP) e com alteração de zeros (ZAP), Binomial Negativo com inflacionamento de zeros (ZINB) e com alteração de zeros (ZANB). Os modelos ZINB e ZANB são utilizados quando há um grau de superdispersão da variável resposta. Já a diferença entre inflacionamento de zeros e alteração de zeros está relacionada à natureza dos zeros. A alteração de zeros ocorre quando a variável desfecho não pode apresentar valor igual a zero (por exemplo, número de dias que um paciente ficou internado em um hospital) (ZUUR et al., 2009).

Opostamente, o inflacionamento de zeros ocorre quando a variável desfecho de uma contagem realmente apresenta valor igual a zero, devido a diferentes tipos de erros. São eles: erro estrutural (o valor é zero porque o local da pesquisa não é adequado); erro metodológico (quando o experimento é realizado em uma época do ano inadequada ou por um espaço de tempo muito curto); erro de observação (o valor é zero porque o pesquisador é inexperiente ou porque é muito difícil identificar a ocorrência do evento). Os zeros provenientes de um erro estrutural são chamados de zeros positivos ou verdadeiros. Já os zeros que são consequência de erro metodológico ou de observação são chamados de zeros falsos ou negativos (ZUUR et al., 2009).

Definir os diferentes tipos de zeros e classificá-los em grupos (zeros falsos e zeros verdadeiros) é útil para a interpretação ecológica. No entanto, o ponto de partida em um modelo com inflacionamento de zeros é que alguns desses zeros são modelados com as covariâncias que também são utilizadas para os dados de contagem positivos, e todos os zeros extras são parte dos zeros do modelo binomial. Não há necessidade de dividir os dados em zeros verdadeiros e zeros falsos para que o processo funcione (ZUUR et al., 2009).

Diante desse ferramental estatístico, o desafio será em utilizar tais metodologias em um problema de saúde pública que vem ocorrendo em algumas cidades do interior do Rio de Janeiro, a ocorrência de carrapatos em regiões de transição rural-urbana.

Dentre vários parasitas de humanos e animais domésticos, carrapatos são vetores de grande interesse em saúde pública. Porém, apesar de sua importância, o conhecimento sobre carrapatos no Brasil é, em geral, escasso (SZABÓ et al., 2009).

Os carrapatos pertencem ao filo Arthropoda, classe Arachnida, subclasse Acari e são ectoparasitos. Parasitam uma ampla variedade de hospedeiros: anfíbios, répteis, aves e mamíferos; estão distribuídos por todos os continentes (BARROS-BATTESTI et al., 2006).

Possuem o cefalotórax e o abdômen fusionados; o corpo é coberto por placas dorsais e/ou ventrais. As larvas são hexápodes e ninfas e adultos são octópodes. Realizam respiração cutânea ou traqueal (MONTEIRO, 2011).

Dentro da ordem Parasitiformes, há a família Ixodidae, cujos integrantes são conhecidos como carrapatos duros, pois possuem um escudo que cobre toda a face dorsal nos machos e um terço da mesma face em fêmeas, ninfas e larvas. Os ixodídeos podem ser transmissores de agentes patogênicos (ação de transmissão), provocar reações cutâneas (ação inflamatória) e/ou causar anemia (ação espoliadora) (MONTEIRO, 2011).

As fêmeas, depois de se destacarem do hospedeiro, procuram abrigo próximo ao solo. Nesse abrigo, ocorre a oviposição, após a qual elas morrem. As larvas, ao saírem dos ovos, sobem pelas gramíneas e arbustos e aguardam a passagem de um hospedeiro, ao qual se fixam. Após alimentarem-se do hospedeiro durante alguns dias, as larvas sofrem o processo de ecdise e transformam-se em ninfas, que se ingurgitam de sangue novamente para sofrer nova ecdise e transformarem-se em adultos (macho ou fêmea). Ocorre a cópula e, então, as fêmeas realizam novo repasto sanguíneo e caem ao solo (FACCINI e BARROS-BATTESTI, 2006).

Carrapatos monoxenos se alimentam e realizam todas as mudas sobre um único hospedeiro. Para os dioxenos, os estádios de larva e ninfa ocorrem em um hospedeiro e adultos parasitam outro. No caso dos trioxenos (gênero *Amblyomma*, por exemplo), cada estágio possui um hospedeiro diferente (na maioria das vezes) e as mudas ocorrem fora do hospedeiro (MONTEIRO, 2011).

Esta dinâmica do ciclo de vida dos carrapatos está relacionada a fatores ambientais, como a estrutura do habitat, clima e disponibilidade de hospedeiros (RANDOLPH, 2004).

Atualmente, acredita-se que a fauna brasileira de carrapatos possua 61 espécies, sendo 33 pertencentes ao gênero *Amblyomma*. (DANTAS-TORRES et al., 2009; MONTEIRO, 2011).

Dentre as espécies deste gênero, a mais estudada é *Amblyomma cajennense*, provavelmente por ser a mais abundante em vários habitats, frequentemente picar humanos e animais domésticos, e ser o principal vetor do patógeno *Rickettsia rickettsii* (causador da febre maculosa brasileira (ESTRADA-PENÑA et al., 2004; GUGLIELMONE et al., 2006).

Amblyomma cajennense é popularmente conhecida no Brasil como carrapato estrela ou carrapato rodoleiro na fase adulta. As ninfas são chamadas de carrapatinhos e as larvas são conhecidas como micuins (ARAGÃO, 1936). Possui baixa especificidade quanto ao hospedeiro nas fases imaturas, parasitando assim diversas espécies de animais domésticos e silvestres, além de humanos. Na fase adulta, a preferência é por animais de grande porte, como equinos, bovinos, antas e capivaras (GUGLIELMONE et al., 2006).

Estudos realizados na Argentina e na região Sudeste do Brasil demonstraram que *A. cajennense* completa uma geração por ano sob condições de campo. Tal geração é caracterizada por predominância de larvas no inverno, ninfas no inverno e primavera já os adultos majoritariamente durante o outono e verão (SOUZA e SERRA-FREIRE, 1994; LEMOS et al., 1997; LABRUNA et al., 2009; SILVEIRA e FONSECA, 2011).

O padrão anual dessa geração é primordialmente controlado pela diapausa comportamental realizada pelas larvas no verão, uma condição fisiológica em que as larvas não procuram os hospedeiros. Na região Sudeste do Brasil, o período de diapausa dura até o fim de abril ou início de maio, coincidindo com um período em que a temperatura média gira em torno de 20°C, o fotoperíodo tem duração menor do que 12 horas por dia e o volume de chuvas se torna escasso (LABRUNA et al., 2003).

Diante deste cenário, este estudo tem por objetivo estudar os fatores climáticos que estão associados à ocorrência de carrapatos adultos da espécie *A. cajennense* em quatro áreas de coleta nos municípios de Seropédica e Magaratiba/RJ. Para este estudo serão ajustados e comparados modelos clássicos de regressão e que levam em conta o inflacionamento de zeros.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi desenvolvida a partir dos dados referentes a coletas de carrapatos ixodídeos realizadas nos municípios de Seropédica e Mangaratiba, no Estado do Rio de Janeiro, durante o período de dezembro/2008 a setembro/2011 (SILVEIRA, 2014).

A cada estação do ano foi realizada, em diferentes horários, uma coleta em seis pontos fixos de quatro áreas amostrais, totalizando 24 pontos e 384 coletas. As áreas amostrais no município de Seropédica foram as seguintes: área 1 – campus UFRRJ/Embrapa/PESAGRO-RIO; área 2 – Floresta Nacional Mario Xavier (FLONA); área 3 – Depósito Central de Munição do Exército Brasileiro (DCMun). E no município de Mangaratiba: área 4 – Ilha da Marambaia (Marambaia). Para a escolha dessas áreas, os autores consideraram as preferências biológicas do carrapato *A. cajennense* adulto: ambientes de transição rural-urbana, com presença de hospedeiros preferenciais (capivaras e/ou cavalos) e antropizados (com presença de seres humanos).

Os dois municípios da região de pesquisa apresentam clima tropical com estação seca (inverno), segundo a classificação de Köppen-Geiger, com todos os meses do ano apresentando temperatura média mensal superior a 18°C, variando entre 20 e 28°C. Os índices pluviométricos são elevados, principalmente no verão, e variam entre 1.000 e 2.000mm anuais. Os municípios de Mangaratiba e Seropédica pertencem à microrregião de Itaguaí.

2.2. ORIGEM DAS VARIÁVEIS DE ESTUDO

A variável de desfecho considerada na pesquisa foi a contagem de carrapatos adultos da espécie *A. cajennense* em cada coleta específica, sendo essa variável quantitativa discreta. Em mais de 50% das repetições, tal variável apresentou valor igual a zero, denotando que há um excesso de zeros. Porém os pesquisadores do estudo concordam que essa grande quantidade de zeros é originária de erro metodológico, pois houve coletas em todas as estações do ano, desconsiderando o ciclo de vida do carrapato em questão. Esse tipo de erro justifica que os dados do estudo apresentem um inflacionamento de zeros.

Foram consideradas na pesquisa variáveis explicativas de origem climática: temperatura média (°C), umidade relativa do ar (%) e volume de precipitação (mm) no dia de cada coleta e nos últimos 15 dias anteriores a cada coleta, totalizando 48 variáveis explicativas. Esses dados foram coletados a partir das medições realizadas na estação meteorológica Ecologia Agrícola (83741), localizada no km 7 da BR-465, no município de Seropédica, e disponibilizadas no site <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/daniel/dadosclimaticos.htm>.

2.3. ESTRATÉGIA DE ANÁLISE DOS DADOS

Primeiramente foi realizada estatística descritiva considerando a contagem de carrapatos, a média e o coeficiente de variação em função dos meses do ano (exceto abril, pois não houve coletas nesse mês em nenhum dos três anos), das áreas amostrais e das estações do ano.

Em seguida, realizou-se análise bivariada entre a variável resposta e cada uma das 48 variáveis explicativas, utilizando-se 5 tipos de modelos lineares generalizados: regressão de Poisson, Binomial Negativa, Extra-Poisson com variância = μ , Extra-Poisson com variância = μ^2 e Poisson para Inflacionamento de Zeros (ZIP). No caso de variáveis consecutivas (por exemplo, umidade 9, 10, 11 e 12 dias antes da coleta) apresentarem-se significativas, foi calculada a média destas variáveis para criação de uma nova variável única.

Dos modelos gerados, foram extraídas as variáveis que se apresentaram significativas em pelo menos três modelos. Essas variáveis foram, então, combinadas entre si, respeitando-se o critério de serem variáveis climáticas distintas, ou seja, uma variável de temperatura, uma

de umidade e uma de precipitação para cada modelo. Assim, cada combinação entre essas variáveis significativas gerou uma análise multivariada para cada um dos 5 modelos testados na pesquisa. Os resultados desses modelos foram confrontados, considerando-se os seguintes critérios: razão de prevalência (índice de confiança = 90%), p-valor, AIC (*Akaike Information Criterion*), desvio nulo (ND), desvio residual (RD), quadrado médio dos resíduos (QMR) e correlação entre o *Y* esperado e o *Y* observado (Corr), quando esses critérios eram fornecidos pelo modelo. A partir desses parâmetros, foi escolhido o melhor modelo linear generalizado para o estudo em questão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Comparando-se todos os períodos (meses) em que houve coleta, um maior número de carrapatos foi observado em maio (74) e março (44). Setembro e outubro foram os meses em que foram coletados menos espécimes (3 em cada um). Em relação às áreas de coleta, o DCMun apresentou o maior número de carrapatos (81), e a Flona, o menor (36). A estação do ano com mais carrapatos coletados foi o outono (82), e aquela com menos foi o inverno (26). Os dados do presente trabalho são similares ao observado por Souza e Serra-Freire (1994), Lemos et al (1997) e Silveira e Fonseca (2011). Os dados podem ser observados na tabela 1.

Tabela 1: o número de carrapatos coletados, a média e o coeficiente de variação estão separados por período de coleta (mês), área de coleta e estação do ano. A média se refere ao número de carrapatos coletados em determinado período ou local em relação ao número total de carrapatos coletados no estudo.

Período de coleta	Nº de carrapatos	Média	Coeficiente de variação
Jan	9	0.50	197%
Fev	23	0.95	256%
Mar	44	1.62	168%
Mai	74	1.23	187%
Jun	9	0.50	171%
Jul	15	0.35	245%
Ago	7	0.33	394%
Set	3	1.00	173%
Out	3	0.33	212%
Nov	15	0.71	230%
Dez	31	0.86	254%
Área de coleta			
UFRRJ	47	0.65	280%
Flona	36	0.54	317%
DCMun	81	1.12	182%
Marambaia	69	1.00	203%
Estações			
Verão	76	1.10	210%
Outono	82	1.13	189%
Inverno	26	0.36	283%
Primavera	49	0.74	252%

Após realização da análise bivariada com todas as variáveis explicativas para cada um dos 5 modelos utilizados no estudo, as seguintes variáveis foram significativas em pelo menos

2 modelos (sendo um deles o ZIP): temperatura no dia anterior à coleta (temp_1), temperatura do 4º ao 6º dia anterior à coleta (temp_4a6), temperatura do 11º ao 15º dia anterior à coleta (temp_11a15), umidade no dia anterior à coleta (umi_1), umidade no 5º dia anterior à coleta (umi_5), umidade do 9º ao 12º dia anterior à coleta (umi_9a12) e precipitação no 12º dia antes da coleta (chuva_12). Os resultados detalhados estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2: as 7 variáveis que foram significativas em pelo menos dois modelos (sendo um deles o ZIP), com as respectivas razões de prevalência e índices de confiança em cada tipo de modelo. O asterisco (*) indica que a razão de prevalência é significativa a 10%.

Modelos	Variáveis	
	temp_1	temp_4a6
Poisson	0.9540 [0.9231; 0.9859]*	1.0883 [1.0538; 1.1240]*
Extra-Poisson (mu)	0.9540 [0.8903; 1.0222]	1.0883 [1.0203; 1.1609]*
Extra-Poisson (mu^2)	0.9558 [0.8926; 1.0235]	1.1107 [1.0406; 1.1856]*
Binomial Negativa	0.9555 [0.8936; 1.0217]	1.1030 [1.0312; 1.1798]*
ZIP	0.9642 [0.9317; 0.9978]*	1.0872 [1.0477; 1.1282]*
Modelos	Variáveis	
	temp_11a15	umi_1
Poisson	1.1306 [1.0885; 1.1744]*	1.0510 [1.0340; 1.0683]*
Extra-Poisson (mu)	1.1306 [1.0463; 1.2218]*	1.0510 [1.0173; 1.0859]*
Extra-Poisson (mu^2)	1.1286 [1.0317; 1.2346]*	1.0378 [1.0048; 1.0719]*
Binomial Negativa	1.1274 [1.0368; 1.2260]*	1.0402 [1.0064; 1.0750]*
ZIP	1.0753 [1.0283; 1.1243]*	1.0434 [1.0268; 1.0602]*
Modelos	Variáveis	
	umi_5	umi_9a12
Poisson	0.9736 [0.9588; 0.9885]*	0.9799 [0.9645; 0.9956]*
Extra-Poisson (mu)	0.9736 [0.9440; 1.0041]	0.9799 [0.9485; 1.0124]
Extra-Poisson (mu^2)	0.9703 [0.9420; 0.9995]*	0.9792 [0.9475; 1.0120]
Binomial Negativa	0.9713 [0.9413; 1.0022]	0.9794 [0.9473; 1.0127]
ZIP	0.9515 [0.9361; 0.9670]*	0.9631 [0.9465; 0.9800]*
Modelos	Variáveis	
	chuva_12	
Poisson	0.9718 [0.9579; 0.9860]*	
Extra-Poisson (mu)	0.9718 [0.9437; 1.0009]	
Extra-Poisson (mu^2)	0.9688 [0.9513; 0.9867]*	
Binomial Negativa	0.9712 [0.9501; 0.9927]*	
ZIP	0.9697 [0.9533; 0.9865]*	

A partir desses resultados, 9 combinações foram possíveis e testadas em cada um dos 5 modelos. Os resultados dessas análises multivariadas estão representados na tabela 3.

Tabela 3: os 45 modelos gerados a partir das 9 combinações de variáveis explicativas. Para cada modelo, são apresentados os parâmetros: razão de prevalência (o asterisco (*) indica que foi significativa a 10%), AIC (*Akaike Information Criterion*), desvio nulo (ND), desvio residual (RD), quadrado médio dos resíduos (QMR) e correlação entre *Y* esperado e *Y* observado (Corr), quando estes foram fornecidos pelo modelo.

Modelos	Variáveis			AIC	ND	RD	QMR	Corr
	temp1	umi1	chuva12					
Poisson	1.0113	1.0523*	0.9703*	903.19	710.38	669.30	690.4988	0.2120
Extra-Poisson (mu)	1.0113	1.0523*	0.9703*	NA	710.38	669.30	690.4988	0.2120
Extra-Poisson (mu^2)	1.0126	1.0373*	0.9700*	NA	239.17	234.89	652.3600	0.1995
Binomial Negativa	1.0065	1.0398*	0.9722*	648.13	203.82	194.49	653.6133	0.2029
ZIP	1.0156	1.0442*	0.9695*	NA	NA	NA	487.2243	0.2338
Modelos	Variáveis			AIC	ND	RD	QMR	Corr
	temp1	umi5	chuva12					
Poisson	0.9575*	0.9725*	0.9772*	917.63	710.38	683.74	633.2591	0.1459
Extra-Poisson (mu)	0.9575	0.9725	0.9772	NA	710.38	683.74	633.2591	0.1459
Extra-Poisson (mu^2)	0.9779	0.9722	0.9731*	NA	239.17	232.31	628.8216	0.1389
Binomial Negativa	0.9717	0.9525*	0.9764*	499.1955	200.7	193.73	626.1406	0.1432
ZIP	0.9717	0.9525*	0.9764*	NA	1	NA	499.1955	0.1767
Modelos	Variáveis			AIC	ND	RD	QMR	Corr
	temp1	umi9-12	chuva12					
Poisson	0.9656*	0.9893	0.9772*	925.75	710.38	691.86	688.7167	0.1185
Extra-Poisson (mu)	0.9656	0.9893	0.9772	NA	710.38	691.86	688.7167	0.1185
Extra-Poisson (mu^2)	0.9851	0.9949	0.9721*	NA	239.17	238.36	692.5786	0.1108
Binomial Negativa	0.9756	0.9925	0.9754*	652.19	198.34	193.31	686.4338	0.1157
ZIP	0.9687	0.9652*	0.9815	NA	NA	NA	503.1751	0.1495
Modelos	Variáveis			AIC	ND	RD	QMR	Corr
	temp4a6	umi1	chuva12					
Poisson	1.1064*	1.0517*	0.9687*	879.16	710.38	645.27	691.4930	0.2878
Extra-Poisson (mu)	1.1064*	1.0517*	0.9687*	NA	710.38	645.27	691.4930	0.2878
Extra-Poisson (mu^2)	1.1110*	1.0252	0.9640*	NA	239.17	233.88	605.1069	0.2432
Binomial Negativa	1.0995*	1.0318	0.9688*	643.36	209.98	195.41	601.4270	0.2607
ZIP	1.0973*	1.0409*	0.9694*	NA	NA	NA	465.8875	0.3247
Modelos	Variáveis			AIC	ND	RD	QMR	Corr
	temp4a6	umi5	chuva12					
Poisson	1.0911*	0.9949	0.9684*	906.29	710.38	672.41	591.6020	0.1657
Extra-Poisson (mu)	1.0911*	0.9949	0.9684*	NA	710.38	672.41	591.6020	0.1657
Extra-Poisson (mu^2)	1.1370*	1.0054	0.9615*	NA	239.17	237.89	624.6920	0.1562
Binomial Negativa	1.1153*	0.9989	0.9672*	646.35	204.86	193.67	597.7456	0.1608
ZIP	1.0419	0.9647*	0.9702*	NA	NA	NA	489.4898	0.2204

Modelos	Variáveis			AIC	ND	RD	QMR	Corr
	temp4a6	umi9-12	chuva12					
Poisson	1.0961*	0.9959	0.9688*	906.36	710.38	672.48	597.9211	0.1677
Extra-Poisson (mu)	1.0961*	0.9959	0.9688*	NA	710.38	672.48	597.9211	0.1677
Extra-Poisson (mu^2)	1.1460*	1.0235	0.9559*	NA	239.17	239.84	631.7750	0.1228
Binomial Negativa	1.1220*	1.0099	0.9646*	646.17	204.76	193.41	603.4390	0.1469
ZIP	1.0833*	0.9856	0.9700*	NA	NA	NA	483.5654	0.2602
Modelos	Variáveis			AIC	ND	RD	QMR	Corr
	temp11a15	umi1	chuva12					
Poisson	1.1301*	1.0480*	0.9720*	875.61	710.38	641.73	693.7572	0.2812
Extra-Poisson (mu)	1.1301*	1.0480*	0.9720*	NA	710.38	641.73	693.7572	0.2812
Extra-Poisson (mu^2)	1.1548*	1.0304	0.9624*	NA	239.17	240.82	689.1531	0.2607
Binomial Negativa	1.1344*	1.0353*	0.9687*	641.77	211.78	195.44	664.1425	0.2698
ZIP	1.0799*	1.0400*	0.9704*	NA	NA	NA	474.3977	0.2881
Modelos	Variáveis			AIC	ND	RD	QMR	Corr
	temp11a15	umi5	chuva12					
Poisson	1.1211*	0.9873	0.9716*	898.75	710.38	664.86	640.7769	0.1994
Extra-Poisson (mu)	1.1211*	0.9873	0.9716*	NA	710.38	664.86	640.7769	0.1994
Extra-Poisson (mu^2)	1.1572*	0.9887	0.9612*	NA	239.17	241.90	687.6353	0.1999
Binomial Negativa	1.1358*	0.9870	0.9682*	645.08	206.54	193.96	653.8520	0.1998
ZIP	1.0392	0.9589*	0.9708*	NA	NA	NA	489.5130	0.2200
Modelos	Variáveis			AIC	ND	RD	QMR	Corr
	temp11a15	umi9-12	chuva12					
Poisson	1.1592*	1.0195*	0.9657*	897.75	710.38	663.87	709.6345	0.1927
Extra-Poisson (mu)	1.1592*	1.0195	0.9657*	NA	710.38	663.87	709.6345	0.1927
Extra-Poisson (mu^2)	1.2207*	1.0499*	0.9455*	NA	239.17	663.87	709.6345	0.1927
Binomial Negativa	1.1807*	1.0324	0.9588*	643.93	207.30	193.51	740.5771	0.1843
ZIP	1.0591	0.9850	0.9715*	NA	NA	NA	491.1925	0.2185

A partir dos modelos gerados, é possível observar que os melhores parâmetros foram apresentados pelos modelos ZIP, em que os valores de QMR são os mais baixos (entre 465 e 478) e os valores de Corr são os mais elevados (entre 0, 29 e 0, 32). Além disso, nos modelos ZIP as 3 variáveis são altamente significativas, o que não ocorre nos outros modelos, exceto nos modelos 2 e 3 (regressão de Poisson).

Esses resultados corroboram as informações disponíveis na literatura estatística, de que os modelos ZIP são os mais adequados para suportar análises em que há inflacionamento de zeros. No entanto, o fato de dois modelos da regressão de Poisson apresentarem as 3 variáveis relativamente muito significativas, valores de QMR considerados bons e valores de

Corr bastante altos, indica que, apesar de não ser esta a regressão ideal para o tipo de dados do estudo, a regressão de Poisson ainda assim consegue proceder a uma análise de alto padrão para dados de contagem com inflacionamento de zeros.

Ao mesmo tempo, também pode-se questionar até que ponto a regressão de Poisson e também os outros modelos lineares generalizados da pesquisa podem estar tornando significativas variáveis que não teriam esse caráter para os dados do estudo, uma vez que esses outros modelos não consideram o fato de haver mais zeros do que o considerável, logo modelam todos os zeros com as covariâncias que também são utilizadas para os dados de contagem positivos.

Ainda, a regressão de Extra-Poisson e Binomial Negativa só apresentaram modelos com todas as variáveis significativas porque o nível de significância considerado no estudo foi de 10%. Caso tivesse sido utilizado $IC = 5\%$, nenhuma dessas regressões resultaria em modelo com todas as variáveis significativas, o que é mais um motivo para corroborar que não são adequados para análises com inflacionamento de zeros.

Considerando-se ZIP como o melhor modelo para este tipo de estudo, o gráfico 1 mostra a variação entre risco e proteção para as variáveis temperatura, umidade e precipitação e suas respectivas defasagens.

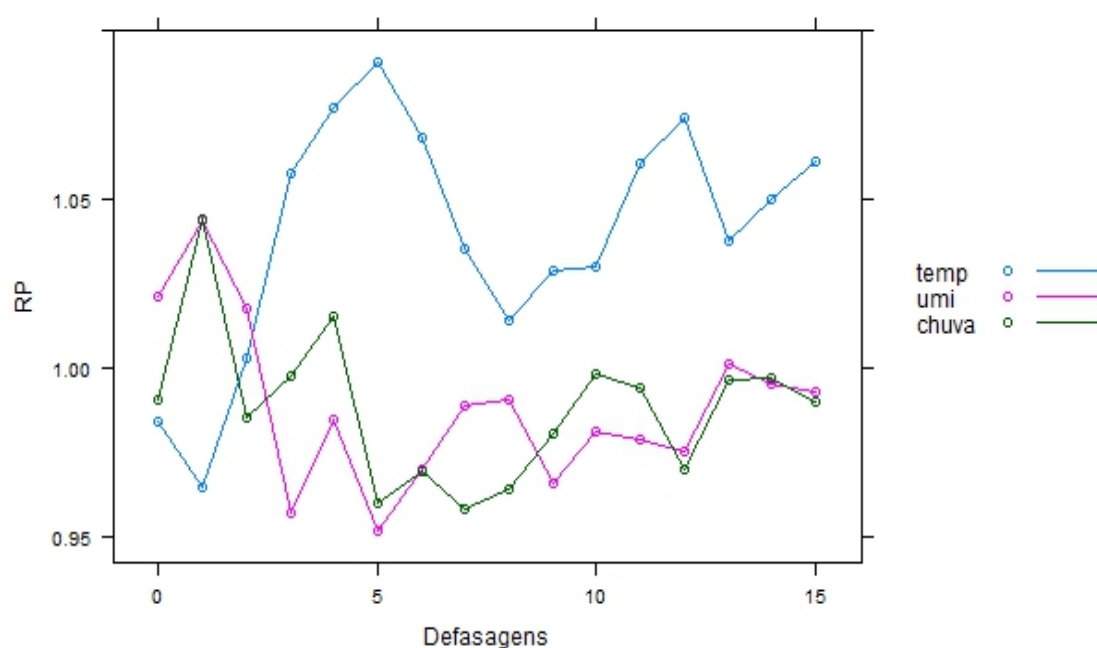


Gráfico 1: razão de prevalência (RP) das variáveis temperatura, umidade e precipitação em função das suas respectivas defasagens, em dias, a partir das análises bivariadas no modelo ZIP. RP maior do que 1,00 indica risco, e menor do que 1,00 indica proteção, em relação à ocorrência do carrapato.

Os resultados apresentados pelos modelos evidenciam a relação entre as variáveis climáticas e o ciclo de vida dos carrapatos, já que, segundo Sonenshine (1993), nas regiões tropicais a principal característica ambiental determinante do ciclo de vida está relacionada aos períodos de chuva e seca.

4. CONCLUSÃO

Conclui-se, a partir deste estudo, que o modelo de Poisson para Inflacionamento de Zeros (ZIP) é o mais adequado para analisar dados de contagem de carrapatos adultos da espécie *A. cajennense* associados a variáveis climáticas nas regiões pesquisadas. Porém acredita-se que a regressão de Poisson também seja uma boa escolha para esse tipo de análise. A regressão de Extra-Poisson e Binomial Negativa são indicadas para outros tipos de dados que não contagem com inflacionamento de zeros.

Dentro do contexto epidemiológico, conclui-se também que temperatura média e umidade relativa do ar são fatores de risco para a ocorrência do evento em estudo, enquanto volume de precipitação é um fator de proteção.

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

ARAGÃO, H.B. Ixodidas brasileiros e de alguns países limitrophes. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, v. 31, p. 759-844, 1936.

BARROS-BATTESTI, D.M.; ARZUA, M.; BECHARA, G.H. *Carrapatos de Importância Médico-veterinária da Região Neotropical: Um Guia Ilustrado para Identificação de Espécies*. São Paulo: Vox/ICTTD-3/Butantan, 2006, p. 223.

BOLFARINE, H.; SANDOVAL, M. *Introdução à Inferência Estatística*. Sociedade Brasileira de Matemática, 2001.

DANTAS-TORRES, F.; ONOFRIO, V.C.; BARROS-BATTESTI, D.M. The ticks (Acari: Ixodida: Argasidae: Ixodidae) of Brazil. *Systematic and Applied Acarology*, v. 14, p. 30-46, 2009.

DOBSON, A. *An Introduction to Generalized Linear Models*. Chapman and Hall: New York, 2ª ed, 1990.

ESTRADA-PEÑA, A.; GUGLIELMONE, A.A.; MANGOLD, A.J. The distribution and ecological 'preferences' of the tick *Amblyomma cajennense* (Acari: Ixodidae), an ectoparasite of humans and other mammals in the Americas. *Annals of Tropical Medicine and Parasitology*, v. 98, p. 283-292, 2004.

FACCINI, J.L.H.; BARROS-BATTESTI, D.M. *Aspectos gerais da biologia e identificação de carrapatos*. In: BARROS-BATTESTI, D.M.; ARZUA, M.; BECHARA, G.H. *Carrapatos de importância médico-veterinária da região neotropical: Um guia ilustrado para identificação de espécies*. São Paulo: Vox/ICTTD-3/Butantan, 2006, p. 5-10.

GUGLIELMONE, A.A.; BEATI, L.; BARROS-BATTESTI, D.M.; LABRUNA, M.B.; NAVA, S.; VENZAL, J.M.; MANGOLD, A.J.; SZABÓ, M.P.J.; MARTINS, J.R.; GONZÁLEZ-ACUNÁ, D.; ESTRADA-PEÑA, A. Ticks (Ixodidae) on humans in South America. *Experimental and Applied Acarology*, v. 40, p. 83-100, 2006.

LABRUNA, M.B.; AMAKU, M.; METZNER, J.A.; PINTER, A.; FERREIRA, F. Larval behavioral diapause regulates life cycle of *Amblyomma cajennense* (Acari: Ixodidae) in southeast Brazil. *Journal of Medical Entomology*, v. 40, p. 170-178, 2003.

LABRUNA, M.B.; TERASSINI, F.A.; CAMARGO, L.M.A. Notes on population dynamics of *Amblyomma* Ticks (Acari: Ixodidae) in Brazil. *Journal of Parasitology*, v. 95, n. 4, p. 1016-1018, 2009.

- LEMOS, E.R.S.; MACHADO, R.D.; COURA, J.R.; GUIMARÃES, M.A.A.; SERRA-FREIRE, N.M.; AMORIM, M.; GAZETA, G.S. Epidemiological aspects of the brazilian spotted fever: seasonal activity of ticks collected in an endemic area in São Paulo, Brazil. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, v. 30 , n. 3, p. 181-185, 1997.
- MONTEIRO, S.G. *Metastigmata – Carrapatos*. In: *Parasitologia na Medicina Veterinária*. São Paulo: Roca, 2010, p. 15-29.
- NELDER, J.; WEDDERBURN, R. Generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society A*, v. 135, p. 370-384, 1972.
- RANDOLPH, S.E. Ticks ecology: processes and patterns behind the epidemiological risk posed by ixodid ticks as vectors. *Parasitology*, v. 129, p. 37-65, 2004.
- SILVEIRA, A.K. *Distribuição espacial e flutuação sazonal de carrapatos e modelo geoambiental sobre a favorabilidade de ocorrência de Hydrochoerus hydrochaeris e Amblyomma cajennense*. 2014. 63 p. Tese (Doutorado em Ciências Veterinárias, Sanidade Animal). Instituto de Veterinária, Departamento de Parasitologia Veterinária, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.
- SONENSHINE, D.E. *Biology of ticks*. New York: Oxford University Press, 1993, v. 2, 465 p.
- SOUZA, A.P.; SERRA-FREIRE, N.M. Variação sazonal da fase não-parasitária de *Amblyomma cajennense* e *Boophilus microplus* no município de Paracambi, estado do Rio de Janeiro. *Revista da Universidade Rural, Ser. Cienc. Vida*, v. 16, p. 57-65, 1994.
- SZABÓ, M.P.J.; LABRUNA, M.B.; GARCIA, M.V.; PINTER, A.; CASTAGNOLLI, K.C.; PACHECO, R.C.; CASTRO, M.B.; VERONEZ, V.A.; MAGALHÃES, G.M.; VOGLIOTTI, A.; DUARTE, J.M.B. Ecological aspects of the free-living ticks (Acari: Ixodidae) on animal trails within Atlantic rainforest in south-eastern Brazil. *Annals of Tropical Medicine and Parasitology*, v. 103, p. 57-72, 2009.
- ZUUR, A.F.; IENO, E.N.; WALKER, N.J.; SAVELIEV, A.A.; SMITH, G.M. *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R*. Springer: New York, 2009.