



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Fábio Neves Souza

**EFEITOS DO HABITAT E DA PLUVIOSIDADE SOBRE A
DISTRIBUIÇÃO E ATIVIDADE DE ROEDORES EM COMUNIDADE
URBANA: UM ESTUDO LONGITUDINAL**

Salvador

2019



ATA DA SESSÃO PÚBLICA DO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E BIOMONITORAMENTO - INSTITUTO DE BIOLOGIA - UFBA

Título do trabalho de conclusão de curso: **“Efeitos do habitat e da pluviosidade sobre a distribuição e atividade de roedores em comunidade urbana: um estudo longitudinal”**

Mestrando: **Fábio Neves Souza**
Orientador: **Dr. Federico Costa**

De acordo com o regimento geral da UFBA e com o regimento interno deste programa de pós-graduação, foram iniciados os trabalhos da Comissão Examinadora, composta pelo professor Dr. Federico Costa (Presidente), Dra. Yukari Figueroa Mise e a Dra. María Daniela Gomez , no Salão Nobre do IBIO às 9:00 hrs do dia 28 de Janeiro de 2019. O mestrando fez a apresentação oral do trabalho de conclusão de curso durante 25 minutos. Após o encerramento das arguições, às 10:30 horas, a Comissão Examinadora pronunciou-se pela sua APROVAÇÃO, conforme parecer em anexo. Esta Ata será assinada pelos membros da Comissão Examinadora e deste Colegiado de curso, para compor o processo de emissão do diploma.

Salvador, 28 de janeiro de 2019.

COMISSÃO EXAMINADORA


Membro: Prof. Dr. Federico Costa
Universidade Federal da Bahia


Membro: Profa. Dra. Yukari Figueroa Mise
Universidade Federal da Bahia


Membro: Profa. Dra. María Daniela Gomez
Universidad Nacional de Río Cuarto-Argentina

Universidade Federal da Bahia
Instituto de Biologia
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Biomonitoramento
Mestrado em Ecologia e Biomonitoramento

FÁBIO NEVES SOUZA

**EFEITOS DO HABITAT E DA PLUVIOSIDADE SOBRE A
DISTRIBUIÇÃO E ATIVIDADE DE ROEDORES EM COMUNIDADE
URBANA: UM ESTUDO LONGITUDINAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ecologia e Biomonitoramento da Universidade Federal da Bahia, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ecologia.

Orientador: Prof. Dr. Federico Costa

Co-orientador: Prof. Dr. Eduardo Mendes

Salvador – Bahia – Brasil

2019

À minha família e amigos (as).

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os colegas e amigos do Instituto Gonçalo Moniz (NEB/LPBM) e Instituto de Saúde Coletiva pelo apoio na execução e desenvolvimento deste projeto. Aos professores Mike Begon, Kate Hacker, Peter Diggle, Albert Ko pela colaboração no desenho e desenvolvimento do projeto de mestrado. A Universidade Federal da Bahia por me apropriar o âmbito de estudo e crescimento profissional e acadêmico, a Fundação de Amparo à pesquisa do estado da Bahia (Fapesb) pelo financiamento dos meus estudos e projeto.

TEXTO DE DIVULGAÇÃO

Fábio Neves Souza

Os ratos estão presentes em todos os lugares, desde ambientes de florestas, áreas rurais e principalmente em ambientes urbanos. Essa ampla distribuição e a capacidade de adaptar-se em diferentes ambientes faz com que eles sejam uma das espécies mais bem-sucedidas no mundo. Apesar da maioria dos roedores viverem em florestas, a espécie mais numerosa, a ratazana de esgoto (*Rattus norvegicus*), vive nas cidades aproveitando de abrigo e comida abundante provida pelos humanos. A ocupação desordenada nos centros urbanos, principalmente em países em desenvolvimento, somado ao crescimento populacional promoveu um adensamento humano na paisagem urbana. Estes espaços são intrinsecamente vulneráveis, já que possuem saneamento inadequado (esgotos abertos, presença de lixo), alagamento frequente e habitações precárias.

A concentração de pessoas em pequenos espaços irregulares é um fenômeno mundial, no Brasil estes espaços são comumente denominados de favelas. O ambiente de favelas favorece o estabelecimento e crescimento da população de ratos aumentando sua distribuição e quantidade, aumentando o contato com a população humana, o que causa inúmeros prejuízos à saúde. Um exemplo típico de problema de saúde é a doença leptospirose que tem a espécie *Rattus norvegicus* como principal reservatório. Sinais de infestação por roedores são comumente encontradas nessas comunidades (material fecal, trilhas e tocas) e são utilizados para quantificar a infestação local e comparar a proporção de domicílios infestados entre bairros. Entretanto estes sinais não são apropriados para avaliar o nível de infestação de cada domicílio. Atualmente, outras metodologias baseadas em sinais de roedores, como por exemplo, as placas de rastreamento podem ser empregadas no espaço urbano. Estas metodologias permitem quantificar de forma indireta a densidade de ratos, objetivamente a abundância relativa e a probabilidade de presença dos roedores nestes

ambientes. Esta metodologia permite estudar as variações espaço temporais em uma resolução espacial detalhada assim como avaliar os determinantes ambientais destas variações. Assim neste trabalho, o objetivo foi relacionar os atributos do habitat e a pluviosidade à presença de roedores ao longo do tempo e o espaço. Por meio de um inquérito de placas, identificamos que as condições do habitat influenciaram fortemente a distribuição e probabilidade de roedores em diferentes proporções no tempo e espaço. A presença de vegetação dentro destas comunidades associou-se a presença de roedores, provavelmente por estas fornecerem abrigo e proteção. Atributos da paisagem urbana, solo exposto, presença de lixo e principalmente presença de esgoto a céu aberto foram importantes preditores da atividade de ratos ao longo do tempo. Associado a estas condições do habitat, a pluviosidade funcionou como um determinante na mudança de atividade nos roedores em diferentes níveis de elevação. Observamos maior atividade de roedores em períodos de maior pluviosidade. Também, evidenciamos que durante períodos de baixa pluviosidade a distribuição da atividade de ratos esteve homogeneamente distribuída entre os diferentes estratos de altura dos vales. Frente a chuvas intermediárias observamos maior atividade de ratos nos fundos dos vales. Finalmente durante períodos de chuva intensa observamos elevada atividade de ratos nos fundos de vale e conjuntamente um aumento nas áreas intermediárias e elevadas dos vales. Estes resultados sugerem que condições específicas do habitat e níveis de chuva afetam diferencialmente a presença e distribuição dos roedores. Este conhecimento é relevante para definir tempo e local para intervenções de controle populacional desta espécie, assim como melhorias no espaço destas comunidades a fim de reduzir o número de casos de doenças zoonóticas transmitidas por estes animais.

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

INTRODUÇÃO GERAL	12
CAPÍTULO 1	15
Introdução.....	16
Materiais e Métodos	18
Resultados	23
Discussão	26
Conclusão	32
Referências	33
Figuras e Tabelas	46
Material suplementar	55

APÊNDICE A

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Figura 1- Distrito sanitário de Pau da Lima- Salvador-Bahia. A) Área de estudo; B) Fotografia da topografia da área de estudo; C) Condições sanitárias (presença de esgotamento a céu aberto, lixo, vegetação); D) Disposição padrão das placas de rastreamento em cada ponto amostral. Uma placa central e quatro placas dispostas lateralmente ao redor da placa central com distância de 1m cada; E) Sinais específicos de roedores encontrados nas placas (marcas de pegadas, arranhaduras e marcas de cauda).

Figura 2- Atividade de roedores por placa e ponto estratificado por período de amostragem. A) Boxplot da proporção em porcentagem do número de placas positivas (com distribuição da intensidade de atividade); B) Proporção média de pontos positivos para cada período.

Figura 3-Distribuição das probabilidades de ocorrência e atividades de ratos durante os seis períodos amostrais.

Figura 4- Proporção da atividade de ratos em diferentes estratos de elevação associação a diferentes categorias de precipitação pluviométrica.

Tabela 1-Descritivo do quantitativo dos pontos amostrados por período de amostragem (N=440).

Tabela 2- Modelos mistos probabilísticos univariados das condições ambientais locais, espaciais e precipitação pluviométricos associados à população de roedores ao longo de seis períodos amostrais.

Tabela 3- Modelo final da probabilidade de presença de ratos associado às condições ambientais locais, espaciais e precipitação pluviométrica.

Tabela 4- Modelo probabilístico da relação entre volume de chuva esperado com a presença de ratos nos diferentes estratos vertical da comunidade urbana.

Tabela Suplementar S1- Variáveis ambientais coletadas durante as amostragens de roedores utilizando as placas de rastreamento. Essas variáveis foram testadas como fatores independentes nos modelos GLM de probabilidade de presença de ratos.

Tabela Suplementar S2- Análise exploratória utilizando modelos lineares generalizados (GLM, família=binomial). Utilizamos modelos probabilísticos univariados e multivariados associados aos preditores de amostragem e ambientais considerando um $p > 0.05$.

Tabela Suplementar S3- Associação entre sinais de infestação e as placas de rastreamento.

Figura suplementar 1- Mapa da distribuição dos pontos amostrais randomizados (N=440) no distrito sanitário de Pau da Lima-Salvador-Ba.

Figura suplementar 2- Proporções de quadrantes com sinais específicos de ratos por período amostral relacionada com a topológica da área de estudo e intensidade de chuvas (mm). Na figura suplementar **2A** no eixo x referem-se à média do volume de precipitação (azul) assim como a precipitação pluviométrica acumulada dividida por 100 para cada período de amostragem em verde (eixo y), os pontos em vermelho indicam a intensidade de chuva em cada período. Na figura suplementar **2B** o eixo x representa a elevação (m) da área de estudo em relação ao número de quadrantes positivos (0-125) encontradas nas placas de rastreamento em cada período de amostragem (eixo y).

Figura Suplementar 3- Log (*Odds ratio* da proporção de presença de ratos) em função dos valores médios de elevação da área de estudo.

Figura suplementar 4- Histogramas da distribuição das proporções da posição das placas positivas.

Figura suplementar 5- Distribuição dos erros padrões na probabilidade de ocorrência de ratos e atividade durante os seis períodos amostrais.

SOUZA, F.N.. Efeitos do habitat e da pluviosidade sobre a distribuição e atividade de roedores em comunidade urbana: um estudo longitudinal. 62 pp. Dissertação de mestrado em Ecologia e Biomonitoramento – Instituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2019

RESUMO

Ambientes urbanos carentes favorecem o estabelecimento e distribuição de animais vetores e hospedeiros de patógenos zoonóticos. Dentre estes animais a espécie *Rattus norvegicus* é a mais abundante e distribuída nestes espaços urbanos. A manutenção da sua abundância e ocupação pode está ligada a disponibilidade de recursos e a atributos físicos e climáticos dentro do habitat, como por exemplo, a pluviosidade. Essas condições modulam seu comportamento, movimento e persistência dos roedores nestes espaços. Nosso objetivo é entender temporalmente as condições do habitat em diferentes escalas contribuem para presença de roedores e o efeito da pluviosidade sobre estas populações em uma comunidade urbana tropical. Utilizamos o método de placa de rastreamento para estimar atividade espacial e a probabilidade de presença de ratos durante seis períodos de amostragem entre os anos de 2014-2017 em comunidade urbana do Brasil. Informações ambientais locais, espaciais e de precipitação foram coletadas para unidade amostral e estas foram analisadas por meio de modelos generalizados mistos. Encontramos que as populações de ratos apresentam uma variação temporal e espacial nos espaços urbanos carentes, essa variação está associada às condições do habitat, como à presença de lixo, esgoto a céu aberto, vegetação, presença de entulho que associam positivamente com a atividade de ratos. Contrariamente, superfícies impermeáveis dentro destas comunidades funcionam como fator de proteção para a presença de ratos. A chuva acumulada da semana afeta significativamente na atividade dos roedores, sendo que essa atividade varia verticalmente dentro da comunidade em um gradiente precipitação. Estes resultados contribuirão para ações estruturais e de controle populacional de roedores definindo tempo e momento para estas ações tendo impacto na incidência de doenças zoonóticas em comunidades urbanas tropicais.

Palavras-chave: *R. norvegicus*; habitat; chuva; movimento; zoonoses.

SOUZA, F.N.. Effects of habitat and rainfall on the distribution and activity of rodents in an urban community: a longitudinal study. 62 pp. Dissertação de mestrado em Ecologia e Biomonitoramento – Instituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2019

ABSTRACT

Urban slum environments favours the establishment and distribution of animals vectors and reservoirs of zoonotic pathogens. Among these animals the species *Rattus norvegicus* is the most abundante and distributed in these urban spaces. Maintaining its abundance and occupation can be on the availability of resources and the physical and climatic attributes within the habitat, such as rainfall. These conditions modulate their behavior, movement and persistence of the rodents in these spaces. Our goal is to temporally understand the habitat conditions at different scales contribute to the presence of rodents and the effects of rainfall on these populations in a tropical urban community. The tracking plate method was used to estimate the spatial activity and the resistance of its images during six sampling periods between 2014-2017 in the urban community of Brazil. Spatial and spatial data sources were collected for the sampling unit and analyzed using generalized mixed effects models. We found that the variables of rats present a temporal and spatial variation in the deprived urban spaces, this variation is associated with habitat conditions, such as the presence of garbage, open sewage, vegetation, presence of rubble that positively associates with the activity of rats. Contrarily, impermeable surfaces within these communities function as a protective factor for the presence of rats. The accumulated rainfall of the week significantly affects the activity of the rodents, and this activity change vertically within the community in a precipitation gradient. These results will contribute to the structural and population control actions of rodents defining time and moment for these actions having an impact on the incidence of zoonotic diseases in tropical urban communities.

Keywords: *R. norvegicus*; *habitat*; *rainfall*; *movement*; *zoonosis*

INTRODUÇÃO GERAL

A ordem *Rodentia* apresenta uma elevada abundância e diversidade em padrões comportamentais e histórias de vida, sendo o grupo mais dominante e bem sucedido em todas as regiões do mundo (Puckett et. al., 2016). Ainda que a maioria dos roedores viva em ambientes silvestres, algumas espécies têm-se adaptado a coexistir com populações humanas, devido a sua capacidade de explorar os espaços urbanizados (Macdonald et. al., 1999; Himsforth et. al., 2013; Lack et. al., 2013). As áreas carentes das grandes metrópoles de países em desenvolvimento são um exemplo de ambientes ideais para a proliferação destas espécies de roedores. A urbanização desordenada e não planejada, principalmente nos países em desenvolvimento proporcionou um elevado adensamento populacional (Vlahov et al., 2007). Condições de moradia precárias e sem acesso a saneamento sanitário são características frequentes neste tipo de ambientes, comumente definido no Brasil como favelas (UN-Habitat, 2010). UN-HABITAT em 2016 estimou que mais de 800 milhões de pessoas viviam em aglomerados urbanos e até 2025 este número pode atingir 1,6 bilhões de pessoas. Estes espaços oferecem abrigo adequado e fonte alimentares abundantes (Himsforth et al., 2014a; Hacker et al., 2013).

Roedores sinantrópicos são reservatórios de parasitas responsáveis pela emergência e reemergência de doenças (Emch et al., 2009; Costa et al., 2017; Hassell et al., 2017), especialmente em ambientes urbanos (Costa et al., 2014a; Carvalho-Pereira et al., 2017). Dentre essas espécies, o roedor urbano *Rattus norvegicus* é o mais frequente e dominante dentro das comunidades urbanas carentes (De Faria et al, 2008; Costa et al, 2014b) além de ser reservatório de agentes patogênicos como o vírus *Seoul*, *A. Cantonensis*, *Capillaria Gástrica* e a bactéria *Leptospira* spp (Costa et al., 2014; Feng et al., 2014; Babolin et al., 2016; Carvalho-Pereira et al., 2017). A *Leptospira* spp, agente responsável pela doença leptospirose causa mais de 1.000.000 de casos e 60.000 mortes em humanos por ano (Costa et al., 2015a), sendo que uma fração importante de esta carga de doença está relacionado aos

ambientes urbanos de favelas (Ko et al., 1999; Costa et al., 2014b). No Brasil, esta doença zoonótica é responsável por mais de 10.000 casos notificados anualmente durante epidemias que ocorrem em períodos de alta precipitação em comunidades carentes urbanas (Ko et al., 1999). Entretanto, as inter-relações entre chuva, a mobilização ambiental do patógeno e a distribuição da população de ratos reservatórios não é conhecida.

A compreensão da ecologia de *R. norvegicus* é chave para o planejamento de estratégias de controle desta espécie e de prevenção de doenças como leptospirose. Estudos sobre esta espécie em áreas urbanas de países tropicais em desenvolvimento são escassos. Atributos espaciais do hábitat urbano tem sido associados a presença e densidade de roedores. Recursos disponíveis em pequenas escalas, presença de lixo, esgoto a céu aberto, pluviosidade, assim como a geografia das comunidades carentes afetam a abundância de roedores formando agrupamentos em diferentes proporções, afetando a persistência desta espécie na paisagem (Himsworth et al., 2013; Himsworth et al., 2014b, Santos et al., 2017).

Componentes temporais, como a sazonalidade modulam o comportamento e as taxas reprodutivas destas populações têm sido menos estudadas (Mills et al., 1998; Davis et al., 2005). Nos ambientes temperados onde se se concentra a maioria destes estudos observou-se que os padrões sazonais delimitados e temperaturas estáveis favorecem as flutuações populacionais de roedores urbanos (Glass, 1988; Krebs, 1966; Davis et al., 2005; Porter et al., 2015). Contrariamente, nos ambientes tropicais onde as temperaturas são constantes ao longo do ano, as populações de roedores aparentam ser estáveis, não sendo detectadas mudança nas taxas reprodutivas e abundância entre estações com diferente pluviosidade (Panti-May et al., 2016).

Entre os componentes temporais, ainda não está claro se, e como, a pluviosidade afeta características espaciais e temporais das populações de roedores, principalmente em ambientes urbanos tropicais. Eventos estocásticos como a pluviosidade podem ter efeitos diretos e indiretos na população de ratos. Efeitos diretos afetando a demografia e comportamento dos indivíduos destas populações (Ernest et al., 2000, 2002; Walton et al.,

2016). E efeitos indiretos devido sua ação no ambiente, que altera a disponibilidade de recursos. Estes efeitos, em conjunto possuem impacto na densidade de roedores, dinâmica da transmissão intraespecífica de patógenos (Walton et al., 2016) e na exposição humana a estes patógenos (Holt et al., 2006; Tamayo-Uria et al., 2013; Stenseth et al., 2016). Assim, este estudo tem como objetivo, compreender e caracterizar longitudinalmente a associação entre exposições ambientais (características do hábitat e precipitação pluviométrica) e a variação na abundância das populações de roedores em diferentes escalas espaciais. Estes dados são necessários para o planejamento de programa de controle zoonoses eficiente, tendo em vistas os padrões e processos ecológicos que regulam a população de roedores urbanos.

CAPITULO 1

Esse artigo será submetido à revista Ecology (*AI Biodiversidade*).

Título:

Efeitos do habitat e da pluviosidade sobre a distribuição e atividade de roedores em comunidade urbana: um estudo longitudinal.

Autores e afiliações:

Fábio Neves Souza^{1,2}, Kate Hacker⁴, Max Eyre³, Catarina Lobo⁵, Maísa Aguiar Sales⁵, Ticiania Carvalho-Pereira^{2,5}, Cristina Viegas², Roberta Santos², Hussein Kallil^{3,5}, Mayara Carvalho², Leonardo Ferreira², Eduardo Mendes da Silva¹, Mitermayer G Reis², Albert I. Ko^{2,4}, Mike Begon³ e Federico Costa^{2,3,4,5}

¹ *Instituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia, Salvador-Brasil*

² *Instituto Gonçalo Moniz, Fundação Oswaldo Cruz, Ministério da Saúde, Salvador, Brasil*

³ *Instituto de Biologia Integrada, Universidade de Liverpool, Liverpool, Inglaterra.*

⁴ *Departamento de Epidemiologia das Doenças Microbianas, Escola de Saúde Pública, Universidade de Yale, New Haven, EUA*

⁵ *Instituto de Saúde Coletiva, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.*

Correspondência para: Fábio N. Souza

E-mail: fabionevesouza@gmail.com

INTRODUÇÃO

À medida que as cidades de países em desenvolvimento expandem, aumentam também as áreas com infraestrutura de moradias e sanitárias inadequadas caracterizadas pela coleta de lixo irregular, esgotamento a céu aberto e moradias precárias (Riley et al., 2007; Hacker et al., 2013). Essas condições tornam-se um habitat ideal para manutenção de roedores devido à oferta de abrigos adequados e fontes alimentares abundantes (Himsworth et al., 2014; Puckett et al., 2016; Rothenbuger et al., 2017). O favorecimento dos roedores nestes espaços aumenta o risco de exposição das populações humanas a patógenos transmitidos por estes animais (De Faria et al., 2008; Felzemburgh et al., 2014; Costa et al., 2014c; Babolin et al., 2016), como é o caso da bactéria *Leptospira* spp que causa a doença leptospirose, que tem emergido como um problema de saúde pública global (Bharti et al., 2003; Hartskeerl et al., 2011). Estima-se que mais de um milhão de casos de leptospirose em humanos são registrados anualmente, e a maioria destes casos estão relacionados a índices pluviométricos elevados, enchentes ou inundações (Ko et al., 1999; Bharti et al., 2003; Reis et al., 2008; Costa et al., 2015b).

Rattus norvegicus, é o principal reservatório de *Leptospira* no ambiente urbano (Costa et al., 2015a; Costa et al., 2015b). A principal estratégia de controle e prevenção da leptospirose é reduzir a densidade de roedores reservatórios por meio do controle químico (Villafaña et al., 2000; Howald et al., 2007; De Masi et al., 2009a). Porém, as lacunas sobre a ecologia dos roedores urbanos limitam os programas de controle, tornando-os insuficientes e ineficazes, apesar dos grandes investimentos para implementar tais medidas (De Masi et al., 2009a; Pertile et al., 2017-submitted).

Atributos da paisagem e climáticos explicam parte das variações espaciais e temporais das populações de ratos e são chaves para informar as estratégias de controle de roedores e leptospirose (Feng et al., 2014; Oyedele et al., 2015; Panti-May et al., 2016). Dentro dos cenários urbanos de comunidades vulneráveis características ambientais como a

presença de esgotos a céu aberto e depósitos de lixo ou alimento aumentam a probabilidade de presença e atividade de ratos (Hacker et al; 2016), e podem contribuir na manutenção da abundância constantes ao longo do tempo previamente descrita (Panti-May et al., 2016). Contrariamente, estruturas impermeáveis (pavimento, muros e esgotos fechados e avenidas) são barreiras que reduzem a presença de roedores influenciando nos padrões de distribuição e nas diferentes proporções no espaço (De Masi et al., 2009b; Hacker et al; 2016, Richardson et al., 2016)

Além disso, fatores climáticos, como a pluviosidade, podem modular a dinâmica populacional destas espécies em ambientes silvestres (Madsen & Shine, 2009; Greenville et al., 2013; Walton et al., 2016) e rurais (Taylor & Green, 1976; Lock et al., 2017). A pluviosidade induz o aumento da disponibilidade de recursos disponíveis, aumento do potencial reprodutivo e ruptura da fidelidade de área fazendo com que haja maior dispersão ou migração (Russel et al., 2012; Greenville et al., 2013). Este padrão é evidente em regiões de clima temperado onde é esperado que após período chuvoso ocorra um aumento na abundância dos roedores devido a incremento na sua capacidade reprodutiva (Madsen & Shine, 2009; Maestri & Marinho, 2014). Ambientes tropicais apresentam condições climáticas estáveis, com chuvas constantes ao longo do ano, o que pode explicar a falta de variação na densidade e demografia ao longo do tempo (Panti-May et al., 2016, Hacker et al, 2016). Entretanto, nestes ambientes, a chuva poderia ter efeito na dispersão, movimento e uso do espaço como evidenciado em estudos realizados em áreas silvestres (Ernest et al., 2000; Greenville et al., 2013).

Poucos estudos analisaram temporalmente a distribuição de roedores urbanos em resposta as condições do habitat em diferentes escalas geográficas e da pluviosidade (Traweger et al., 2006; Tamayo-Uria et al., 2013). O entendimento destas relações pode subsidiar estratégias preditivas e informar intervenções eficazes para reduzir a probabilidade de doenças zoonóticas associadas às populações de roedores. O objetivo geral deste estudo

foi caracterizar longitudinalmente a associação entre precipitação pluviométrica e a variação na probabilidade de presença de roedores em diferentes escalas geográficas. Hipotetizamos que a pluviosidade afetará positivamente a probabilidade de ocorrência dos ratos e sua distribuição em relação a altura do vale. Para tanto, (i) descrevemos temporalmente como as condições do habitat afetam a presença e distribuição dos roedores; e por fim (ii) caracterizamos o efeito da chuva sobre a atividade e distribuição de roedores em comunidade urbana carente tropical.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

A área de estudo está localizada no bairro de Pau da Lima, Salvador-Bahia. Está geograficamente dividida em três vales com área de 0,17 Km² (Figura 1A), onde moram 12.651 habitantes com base no censo de 2012. Descrita anteriormente em outros estudos (Reis et al., 2008; Costa et al., 2014a; Kikute et al., 2015; Hagan et al., 2016; Panti-May et al., 2016), esta comunidade possui condições precárias de moradia, sem acesso a saneamento básico e sem coleta de lixo, o que propicia casos de doenças zoonóticas, como é o caso da leptospirose (Figura 1 B, C). O local de estudo apresenta elevado índice de violência, com taxa de 9,5% de casos de homicídios registrados (SSP-BA, 2018). E os residentes desta comunidade apresentam baixo nível de escolaridade e renda per capita (Hagan et al., 2016).

Avaliação da atividade dos ratos

O desenho de estudo e amostragem por placas de rastreamento foi baseado em protocolos padronizado e validado anteriormente (Hacker et al., 2016). Randomizamos 440 pontos distribuídos nos três vales em Pau da Lima com distância média de 16,5 m (Figura suplementar 1). Cada ponto amostral foi identificado utilizando GPS e mapas georeferenciados. Cada ponto, após identificado, foi fotografado e rotulado nos diferentes períodos de amostragem a fim de garantir a fidelidade do ponto amostrado entre amostragens

consecutivas. As unidades amostrais foram agrupadas em 24 clusters amostrados repetidamente de forma aleatória em seis períodos sazonais durante 2014 a 2017. Em cada período amostramos três grupos por semanas durante os meses considerados mais secos (outubro-dezembro) e os meses mais chuvosos em Salvador (abril-junho). Em Salvador, a precipitação mais intensa ocorre entre abril a julho (média acumulada de 272,2 mm/mês) e o período considerado mais seco ocorre entre os meses de setembro a dezembro (média acumulada de 124,2 mm/mês). Durante as amostragens a média de precipitação entre as campanhas foi de 11,4 mm com acumulado médio de 777,0 mm, sendo que o período de amostragem 2 apresentou a precipitação mais elevada (21,0 mm, com chuva acumulada de 1967,0 mm) e o período de amostragem 5 o mais seco (5,0 mm, com chuva acumulada 393,0 mm) (Figura suplementar 2A).

Durante os períodos amostrados o quantitativo de pontos visitados não foi uniforme, pois, pontos que tornaram-se inacessíveis ou apresentaram local inadequado para colocação das placas em um raio de 5 m foram excluídos do estudo. Pontos em áreas que apresentavam risco para os técnicos de campo foram eliminados da amostragem. Colocamos cinco placas de rastreamento em cada ponto, dispostas geometricamente. A disposição das placas consistiu em uma placa central posicionada próximo ao ponto aleatorizado e as placas restantes foram colocadas a um metro da placa central formando um desenho geométrico previamente definido (Figura 1 D). As placas foram identificadas por ponto e posição, pintadas com uma solução de tinta grafite e deixadas no local no período da manhã por duas noites consecutivas (Hacker et al., 2016). Depois de cada noite de amostragem as placas presentes foram fotografadas e as placas ausentes ou movidas foram marcadas em questionário específico. As placas foram repintadas diariamente e reposicionadas no ponto amostral. Chuvas fortes e situações adversas afetando segurança da equipe no campo fizeram com que em situações específicas fosse possível coletar somente um dia de informação de placas. Todas as fotografias foram avaliadas seguindo protocolos descritos anteriormente

(CDC, 2006). A cada fotografia sobrepomos uma grade com 25 quadrantes e analisamos a presença e intensidade de marcas de ratos a partir do número de quadrantes. Foram consideradas marcas de ratos registro de pegadas, marcas de cauda, material fecal sobre as placas (Figura 1E). Uma amostra randomizada de 20% das placas foi analisada por um segundo avaliador como descrito por Hacker et al., 2016. Encontramos uma forte correlação entre os avaliadores ($R^2=88$, $p>0.05$). Estimamos a probabilidade de presença de ratos como uma variável dicotômica (ter ou não ter registro em mais de um quadrante por placa) e a intensidade média de marcas de ratos foi medida como uma variável contínua, indicada pela soma do número de quadrantes com marcas de rato das placas presentes (o escore pode variar de 0-25 por placa de rastreamento). Paralelamente durante a amostragem de placas de rastreamento, coletamos as características ambientais e sinais de infestação de roedores dentro de um raio de 5 m do ponto amostrado, utilizando questionários adaptados do CDC (2006), previamente validados e utilizados na nossa área de estudo (Costa et al., 2014a; Hacker et al., 2016). Este questionário inclui variáveis sobre de fontes de alimento e abrigo para os roedores e, sinais específicos de roedores em campo (ex.: o número de tocas, trilhas de ratos e locais com material fecal). Todas as variáveis coletadas (ambientais e de infestação) e sua natureza estão descritas na Tabela Suplementar S1.

Dados climáticos

Dados de precipitação foram coletados do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (www.cemaden.gov.br). Usamos a média de precipitação diária e o volume acumulado para diferentes momentos (diário, semanal, mensal e trimestral) coletados de estações meteorológicas equidistantes à área de estudo no período de 2014 a 2017 para cada dia de amostragem.

Dados espaciais

Inicialmente, foram georreferenciadas e classificadas a cobertura do solo, para: a) solo exposto, b) com vegetação ou c) com estruturas impermeáveis artificiais a partir de observações a campo. Por classificação de imagem direcionada por objeto (Bock et al., 2005), foram delimitadas áreas de abrangência das variáveis (a), (b) e (c) anteriormente citadas. Foram georreferenciadas a rede de esgoto, superfície de alagamento (inundação) em raio de 5m e depósitos de lixo públicos, bem como, mensuradas a menor distância tridimensional de cada ponto amostral em relação ao esgoto a céu aberto, depósitos de lixo e distância ao fundo de vale (elevação) e utilizadas como covariáveis espaciais nos modelos temporais de presença e intensidade de marcas de ratos. Todos os valores foram obtidos e atribuídos a cada ponto de amostragem usando um conjunto de ferramentas de análise espacial do QGIS (QGIS Development Team, 2016) aplicando o modelo digital de elevação (DEM) e para cálculo dos valores contínuos para cada ponto amostral foi utilizado R v.3.5.0 (R Core Team, 2016) como proposto por Hacker et al., 2016. Os dados espaciais foram projetados para o *Universal Transverse Mercator* (UTM) América do Sul, com Sistema de coordenadas na zona 24S.

Análises de dados

Para descrever os dados, estimamos as proporções de pontos positivos e as médias de placas positivas em cada período de amostragem. Estes também foram expostos graficamente em função da sua altura em relação ao fundo do vale. Para análise preditiva da distribuição espacial e intensidade de atividade de ratos usamos a intensidade média de grades marcadas durante o período de acompanhamento de dois dias em cada ponto e a proporção de placas de rastreamento marcada por ratos em cada ponto para criar superfícies preditivas de presença e atividade dos roedores (Giorgi, et al., 2018). Desenvolvemos um modelo linear espacial generalizado binomial ajustado para estimar a correlação espacial e produzir mapas de previsão da probabilidade de presença de rato sobre a área de estudo, durante cada período amostral, a uma resolução de 10m por 10m utilizando valores de

covariáveis conhecidas (Apêndice A). O erro padrão previsto para os seis períodos de amostragem também foi estimado e mapeado.

Para descrevermos temporalmente como as condições do habitat afetam a presença e distribuição dos roedores, realizamos análises univariadas utilizando modelos generalizados de efeitos mistos com uma distribuição binomial (função de link logístico) para a presença de roedores, considerando nível de significância de $p=0,05$ e ponto amostral como variável aleatória (Bolker et al., 2009; Zuur et al., 2009; Johnson et al., 2014). Inicialmente correlacionamos a probabilidade de ocorrência de ratos com os sinais de infestação (toca, trilhas e material fecal) encontrados nos pontos amostrais. Em seguida desenvolvemos os modelos em duas etapas, primeiro realizamos análises univariadas com as variáveis ambientais, locais e de precipitação e, todas as variáveis que apresentaram $p \leq 0,1$ foram incluídas nos modelos múltiplos.

Eventos pontuais de seca extrema ou chuva intensa fazem com que a classificação de períodos “secos” ou “chuvosos” para ambientes em que a precipitação ocorre durante todo o ano seja ineficiente. Para identificar a variável de precipitação pluviométrica que melhor explica a atividade de ratos realizamos uma seleção de modelos baseada no critério de Akaike utilizando a função *model.sel()* do pacote "MuMIn", que organiza os modelos por AIC, atribuindo pesos para cada modelo, conforme a importância de cada variáveis explicativas incluídas nos mesmos (Barton & Barton, 2018). Assim, a variável de precipitação com menor AIC foi selecionada e incluída no modelo múltiplo junto com as outras variáveis ambientais identificadas.

Posteriormente, incluímos as variáveis selecionadas em um modelo múltiplo saturado e utilizamos a função *dredge()* do pacote "MuMIn" ($p \leq 0,05$). Esta função realiza um conjunto de modelos e combinações válidas entre as variáveis fixas do modelo múltiplo, sendo todos os modelos possíveis ranqueados pelo valor de AIC. O modelo final considerado foi aquele mais parcimonioso, que apresentou um menor valor de AIC e delta AIC igual a 0.

Para analisar o efeito da chuva sobre a atividade e distribuição de roedores desenvolvemos um modelo múltiplo simplificado, utilizando modelos generalizados de efeitos mistos com nível de significância $p < 0,05$. A partir deste modelo avaliamos o efeito vertical da chuva sobre a ocorrência de roedores em comunidade urbana. Para isto estimamos *Odds ratio* da proporção de pontos positivos para categorias de 5 a 5 metros na elevação da área de estudo (Figura suplementar 3). Esta análise informou a criação de três classes de elevação: 0-30 m fundo do vale, 30-45 m área intermediária e acima de 45 m áreas altas do vale.

Categorizamos a variável chuva, para visualizar seu efeito sobre a atividade dos ratos, nos diferentes estratos de altura. Assim, transformamos a variável chuva acumulada da semana, selecionada através dos modelos descritos acima, em uma variável categórica ordinal. Esta variável foi gerada a partir da distribuição da frequência de cada volume pluviométrico da semana em cada dia de amostragem e estimada pelo intervalo quantil em diferentes probabilidades (25%, 50%, 75%) de ocorrência de determinado volume de chuva esperado por semana. Esta transformação é amplamente utilizada para definir períodos climáticos com diferentes precipitações (Xavier et al., 2002). As categorias obtidas foram precipitação acumulada da semana baixa (0-5 mm), média (5-10 mm), elevada (10-30 mm) e muito elevada (acima de 30 mm). Associamos a probabilidade de presença de ratos às diferentes categorias de elevação e chuva a partir de modelos mistos. Consideramos nestes modelos os pontos amostrais e períodos de amostragens como fatores randômicos. Todas as análises estatísticas foram desenvolvidas no software R v.3.5.0 (R Core Team, 2016) utilizando os pacotes *lme4*, *MuMIn*, *MASS*, *effects* e *pscl* e no software QGIS (QGIS Development Team, 2016).

RESULTADOS

A proporção de pontos amostrados variou entre 74%-87% durante os seis períodos de amostragem (Tabela 1). Causas pelas quais alguns pontos não foram re-amostrados foi a não acessibilidade ao ponto por situações de violência, chuvas extremas, crescimento de vegetação e/ou demolição de casas. A proporção de placas de rastreamento positivas, ou seja, com sinais específicos de roedores foi uniforme entre os períodos amostrais (Figura 2A). O período 2 obteve uma maior proporção de observações de placas positivas (44%) e os períodos 3 (18%) e 4 (32%) apresentaram menores proporções comparado aos períodos 1, 5 e 6 (38%, 39% e 36%, respectivamente). A proporção de pontos positivos variou entre 18% e 44% (Figura 2B). O volume pluviométrico semanal entre os períodos amostrais apresentou valor médio de $27 \pm \sigma 12$ mm. Especificamente, a chuva acumulada da semana de amostragem apresentou os valores médios de 21, 10, 27, 37, 22 e 44 mm nos períodos de amostragem 1, 2, 3, 4,5 e 6, respectivamente (Figura suplementar 2A).

A intensidade da atividade de ratos, nos diferentes períodos foi heterogênea, evidenciando áreas de elevada e de baixa intensidade de ratos. Especialmente, as probabilidades de ocorrência estimada variaram de 0,00 a 0,95 (Figura 3). As distribuições espaciais da atividade de ratos variaram significativamente entre os períodos de amostragem. Os períodos 1, 2 e 5 apresentaram valores preditivos de probabilidade de presença de ratos maiores, incluindo áreas com valores acima de 0,5. O período 2 tem valores particularmente altos de acima de 0,75. As superfícies de probabilidade dos períodos 4 e 6 são mais moderadas, enquanto a período 3 é muito baixa, com probabilidades de menos de 0,25 em toda a área de estudo, exceto por pontos quentes bem delimitados.

A distribuição espacial das áreas com elevada probabilidade de presença de ratos parecem ser constantes na maioria dos períodos. As amostragens durante os períodos 2 e 4, tiveram maior valor preditivo de presença de rato do que as amostragens dos períodos mais seco do mesmo ano (1 e 3). Porém, no período de amostragem 5 foram observadas probabilidades mais altas do que no período 6. Especialmente, o vale 1 tem maiores

probabilidades de presença de ratos comparados ao vale 2 e 3. Áreas quentes do vale 2 ocorreram em locais semelhantes em todos os períodos amostrais, exceto no período 3, enquanto as áreas mais frias se mantiveram constantes em todos os períodos. No vale 3, áreas nas extremidades tiveram um maior valor de probabilidade, exceto, novamente, na campanha 3, que apresentou maior probabilidade na área central. O erro padrão das estimativas de probabilidade de superfície apresentou heterogeneidade entre áreas de estudo e entre campanhas (Figura suplementar 5).

A probabilidade da presença de roedores baseada em sinais de infestação local (trilhas, tocas e presença de material fecal) usando modelos mistos, mostrou mais uma vez que as placas de rastreamento são boas preditoras de probabilidade de presença e atividades de roedores em comunidades urbanas (Tabela suplementar S3). Nas análises univariadas observamos um elevado número de variáveis ambientais locais (lixo, esgoto, etc), espaciais (elevação, vale, etc) e temporais (período e dia de amostragem) associadas à probabilidade de presença de ratos ao longo dos períodos de amostragens (Tabela 2).

Os volumes de precipitação pluviométrica em diferentes momentos mostraram que a média de precipitação diária (11,55 IC 3,59-37,20) e a precipitação acumulada (1,03 IC 1,01-1,04) estão associadas positivamente com a probabilidade de encontrar ratos, assim com as taxas de precipitação média (1,04 IC 1,02-1,05) e acumulada da semana de amostragem (1,01 IC 1,00-1,01) e também da precipitação acumulada dos meses de amostragem (0,99 IC 0,97-1,00). Contudo, o modelo mais parcimonioso indicou que a chuva acumulada é a variável que melhor explica a chance de presença de ratos, portanto ela foi escolhida para ser incluída no modelo múltiplo (Tabela 2).

O modelo misto final incluiu apenas as variáveis independentemente associadas à presença de ratos (Tabela 3). Dentre as variáveis estão período de amostragem, vale geográfico, presença de muros, exposição do solo, vegetação, presença de alimento, lixo, entulho, esgoto a uma distância de 5 metros e volume de chuva acumulada na semana de amostragem. Ponto em áreas doméstica e a distância do ponto amostral a um ponto de

acúmulo de lixo não estiveram associadas significativamente no modelo final, porém a presença destas variáveis garantiu um melhor ajuste deste modelo e foram retidas. Em relação da pluviosidade com a presença de ratos, observamos que um aumento de 1 mm de precipitação pluviométrica semanal está associado com um aumento de 0,5% na chance de presença de ratos em um ponto amostral.

Avaliamos possíveis interações entre chuva e a elevação na probabilidade de presença de ratos (Tabela 4). Para isto utilizamos um modelo múltiplo simplificado, mas incluindo as combinações das duas variáveis explanatórias, para controlar o efeito de vale nas possíveis diferenças topográficas. Observamos que as categorias de precipitação média e elevada tiveram duas vezes mais chance de presença de ratos no fundo do vale quando comparada com a categoria precipitação baixa. A categoria precipitação muito elevada apresentou maior chance de presença de ratos nos três estratos de altura, quando comparadas com a categoria de precipitação baixa. Podemos observar este padrão na Figura 4 onde são amostradas as proporções de pontos positivos nas diferentes categorias de chuva e elevação.

DISCUSSÃO

Estudos sobre a distribuição, abundância, efeito do habitat e climáticos nas populações de roedores são comuns nos ambientes temperados, especialmente em ambientes naturais ou em paisagens agrícolas (Davis, 1986; Childs, 1998; Traweger et al., 2006; Gardner-Santana et al., 2009; Himsforth et al., 2013b; Rothenbuger et al., 2017). Entretanto, poucos trabalhos foram desenvolvidos em ambientes tropicais, e estes não avaliaram longitudinalmente a distribuição, os atributos do habitat e o efeito da chuva sobre estas populações conjuntamente. Este é o primeiro trabalho a descrever os efeitos dos atributos ecológicos que mantém as populações de roedores ao longo do tempo e espaço dentro de cenários urbanos tropicais em uma escala geográfica fina. Os achados deste estudo indicam a existência de variabilidade temporal e espacial, em pequenas escalas, na atividade de

roedores. Através de múltiplos modelos estatísticos observamos que a atividade de roedores está associada a condições ambientais específicas, como reportado em estudos prévios, mas também associada à períodos específicos de tempo e à precipitação acumulada na semana.

A variabilidade na atividade dos ratos no tempo e espaço, observada neste estudo, contrasta com dados de um estudo prévio de dois anos de duração no mesmo local de estudo (Panti-May et al., 2016). Panti-May e colaboradores observaram que características demográficas de *R. norvegicus* como abundância, características reprodutivas e estrutura etária foram constantes no tempo (durante quatro campanhas realizadas em períodos sazonais) e no espaço (os mesmos três vales que no presente estudo). Estas diferenças sugerem um padrão demográfico estável nas populações de roedores (Panti-May et al., 2016) mas com variabilidade espacial e temporal na atividade destas populações. Entretanto, o estudo de Panti-May foi realizado em anos diferentes a este estudo, de forma que não é possível realizar comparações entre estas duas medidas. Comparações entre medidas de atividade e de abundância de *R. norvegicus* são escassas na literatura o que dificulta a comparação com outros estudos.

As causas da variação na atividade entre os diferentes períodos amostrais registradas neste trabalho não são claras. Os períodos 2 e 3 apresentaram a maior e menor atividade, respectivamente. Coincidentemente estes foram os períodos de maior e menor chuva acumulada. Entretanto, a redução da positividade no período 3 (também observada, porém com menos intensidade, no período 4) poderia também ser o reflexo de alterações na infraestrutura neste período (intervenções municipais de supressão da vegetação, abertura de ruas e construção de praças na área de estudo). Alternativamente, a mudança temporal na atividade de roedores poderia estar relacionada a intervenções de controle de roedores no período 3 realizadas pelo Centro de Controle de Zoonoses de Salvador, entretanto estes dados não foram incluídos nas análises. Um estudo feito em São Paulo mostrou redução de 63 % na infestação de roedores após uma intervenção química (De Masi et al., 2009a). O

impacto destas intervenções e dos fatores que determinam a dinâmica na atividade de roedores precisa ser investigado (Costa et al., 2017; Souza et al., 2017).

A pluviosidade é um importante fator ambiental que tem sido associado a flutuações temporais e espaciais nas densidades dos roedores e no risco de doenças em humanos (Brow et al., 1999; Bronson et al., 2009). Encontramos que a chuva acumulada da semana esteve associada com a probabilidade de presença de roedores, e esta relação não foi linear. Estes resultados estão em concordância com um estudo, realizado através de captura, de roedores silvestres na África (Leirs et al., 1997), entretanto o período de chuva utilizado no estudo africano foi significativamente maior ao do presente estudo. Maestri & Marinho, 2014, utilizando captura, também mostraram que a precipitação exibiu efeito positivo significativo nas populações de roedores. O efeito da chuva, nestes estudos, foi sobre os padrões reprodutivos ou demográficos, em que após eventos de chuvas as populações aumentaram sua taxa reprodutiva proporcionando flutuações populacionais (Taylor & Green, 1976; Greenville et al., 2013). Entretanto, a maioria destes estudos avaliaram o impacto na demografia de roedores, mas não na sua atividade. O efeito da chuva na atividade de roedores observado no nosso estudo parece ser mais imediato e de ordem comportamental no movimento dos roedores, ou alternativamente, na disponibilidade de recursos no espaço. Outros estudos têm observado que precipitação está associada à mudança no comportamento de roedores (Orrock et al., 2004; Villareal et al., 2007). Estas mudanças incluem padrões de forrageio, fuga e etc (Previtali et al., 2009; Patergnani et al., 2010)

Nossos resultados sugerem que curtos períodos de precipitação estão relacionados a mudanças significativas na atividade de ratos, não só no tempo, mas também no espaço. Apesar disso, a causalidade entre precipitação pluviométrica e a dinâmica populacional dos roedores de áreas carentes urbanas tropicais ainda é uma lacuna dentro da ecologia dos roedores. Utilizando diferentes categorias de precipitação pluviométrica, encontramos que durante semanas mais secas os roedores apresentaram menor atividade e dispersão mais homogênea em relação aos diferentes níveis de elevação. Contrariamente, maiores níveis na

chuva acumulada semanal foram associados a maior atividade de ratos, especialmente nas áreas mais baixas do vale. Em áreas rurais, baixos níveis de precipitação têm sido associados à menor disponibilidade de alimentos e ao aumento na área de forrageio este resultado estão em concordância com o trabalho de Tamayo-Uria et al., 2014. Entretanto, em ambientes urbanos, onde o alimento principal dos ratos é obtido a partir de rejeitos humanos este padrão é desconhecido. Possíveis explicações para a concentração da atividade no fundo do vale durante períodos de chuva moderados podem ser mudanças no comportamento dos residentes, que em semanas de chuva podem ter práticas menos eficientes no manejo do lixo domiciliar, deixando lixo acumulado nas áreas peri domiciliares.

Durante eventos de chuva fortes, acima de 30 mm de chuva na semana, os ratos apresentam maior movimentação em todos os estratos de altura. A mudança no padrão de altura no vale da atividade de ratos poderia ser induzida pelo transbordamento de alguns sítios na comunidade. Assim, a atividade poderia estar associada à dispersão para novas áreas que forneçam abrigo, proteção e alimento, como áreas domiciliares as quais estão em maior densidade na parte alta do vale (Lambert et al., 2017). Adicionalmente, estudos mostraram que inundações em ambientes rurais alteraram padrões comportamentais nas populações de roedores (Lambert et al., 2008; Giuglioli et al., 2014; Dougherty et al., 2018).

Enquanto observamos mudanças na atividade de roedores entre períodos, existiram áreas específicas que permaneceram com elevada atividade em todos os períodos. O vale 1 e áreas quentes dentro dos três vales são exemplos destes sítios de constante e elevada atividade de ratos. Estas áreas quentes provavelmente representam locais com condições ambientais apropriadas para a proliferação de roedores. Resultados similares têm sido relatados em diversos contextos ambientais (Madsen & Shine, 2009; Tamayo-Uria et al., 2013,2014; Maestri & Marinho, 2014; Lambert et al., 2017).

As diferenças no habitat podem ser de escala geográfica ampla (como o vale 1 e os estudos supracitados) ou em escalas geográficas pequenas (Himsworth et al.,2014; Traweger et al., 2006). As variações de pequena escala podem estar associadas a recursos disponíveis

no microambiente, o que potencializa a territorialidade dos roedores e determinam menores áreas de vida (Davis, 1948). Assim, estas áreas de vida delimitadas seriam as causas das manchas quentes de atividades de ratos, como observados na Figura 2 deste estudo, que por sua vez podem ser utilizadas para guiar intervenções direcionadas ao controle destas populações.

Neste estudo identificamos que fatores ambientais essenciais à presença de ratos foram esgoto abertos (que funciona como provedor de alimento e água), lixo e vegetação. Estes achados são similares aos descritos previamente por outros autores (Hacker et al., 2013; Costa et. al., 2015b). A presença e proximidade de acúmulos de lixo e entulho presentes nestes espaços estiveram associadas a um aumento de duas vezes da presença de roedores. Contrariamente, residências com muro e áreas com a presença de solo pavimentado funcionam aparentemente como uma barreira de circulação de ratos diminuindo áreas disponíveis para abrigo (Santos et al., 2017). A vegetação esteve independentemente associada com atividade de ratos. A presença de vegetação facilita a infestação de roedores, já que esta pode fornecer local de proteção e abrigo (Ernest et al., 2000). Estes determinantes ambientais são passíveis de intervenção. Possíveis ações no manejo de roedores podem incluir a redução e monitoramento do crescimento da vegetação nestas comunidades. Adicionalmente, melhorias na estrutura e uso dos espaços pelo poder público e residentes, por exemplo, gestão dos resíduos, construções e melhorias de residências, cobertura de solo (pavimentação, fechamentos dos esgotos) podem ser medidas eficientes para controle de roedores e conseqüentemente o controle de doenças nestas comunidades.

Dentre as limitações deste estudo, a perda de pontos em todos os períodos amostrais pode limitar a compreensão de toda heterogeneidade de paisagem encontrado nestas comunidades, porém tivemos êxito em 80% dos pontos dos pontos randomizados. Outro fator é que as placas de rastreamento produzem um *proxy* de atividade e não de abundância, o que pode indicar que um mesmo rato pode passar mais de uma vez sobre as placas. No

entanto, o estudo de Hacker et al. (2016) mostrou uma correlação entre atividade, estimada pelas as placas de rastreamento, com a método de captura. Métodos indiretos de estimar presença de ratos, como é o caso das placas, são limitados apenas aos sinais específicos encontrados não a espécie de rato que está presente no local. Podemos afirmar que em nosso estudo as marcas encontradas nas placas são referentes à espécie *R. norvegicus*, já que em estudos prévios na comunidade de Pau da Lima cerca de 90% dos ratos são desta espécie. Intervenções infraestruturais e de controle de roedores ocorridas durante o período de estudo, assim como as condições sociais, não foram incluídas nas análises. Estas ações e os indicadores sociais serão estudados no futuro. A falta de conhecimento da defasagem do tempo e volume de precipitação específico que afeta as populações de roedores em sistemas urbanos dificulta determinar padrões realistas sobre efeito na atividade e densidade de roedores nas comunidades urbanas.

Este estudo indicou novos elementos sobre a dinâmica da atividade do principal reservatório de *Leptospira* spp no ambiente urbano. A identificação de mudanças entre períodos, a heterogeneidade espacial, além dos pontos quentes, podem ser correlacionadas com transmissão da leptospirose nas populações humanas. O papel da chuva é especialmente interessante já que este estudo sugere que modula a atividade de roedores, mas simultaneamente afeta a concentração e sobrevivência da bactéria *Leptospira* spp no ambiente assim como sua mobilização até as residências dos moradores. Este estudo foi feito em paralelo a um estudo de coorte em 3171 residentes dos mesmos três vales, e, portanto, planejamos realizar análises integradas no futuro.

O controle químico é a principal estratégia adotada pelas as agências de saúde no controle de pragas urbanas. Os nossos resultados sugerem que durante semanas de pluviosidade que variem de média até muito alta existe elevada atividade de ratazanas em fundo de vale. Assim, em semanas que antecedam períodos previstos de pluviosidade alta, aplicações de rodenticida concentrada em fundo de vale poderia aumentar a eficiência das intervenções. Adicionalmente, o manejo de características ambientais específicas

temporárias (coleta de lixo e entulhos, supressão de vegetação) e estruturais (fechamento de esgotos) são estratégias complementares na redução da população de ratos nas áreas quentes. Estas atividades deverão ser contínuas e participativas, integrando o poder público, pesquisadores e a comunidade local, para promover, assim, a efetividade destas ações em longo prazo.

CONCLUSÃO

A probabilidade de presença de ratos na comunidade de Pau da Lima variou no espaço ao longo dos 6 períodos de estudo. As placas de rastreamento mostraram serem sensíveis para a identificação das heterogeneidades espaciais e temporais na atividade de roedores. Observamos pontos quentes que se mantiveram constantes nesta comunidade. Assim, intervenções estruturais e sanitárias na paisagem urbana direcionadas para estas áreas, e focando em variáveis que afetam a atividade de roedores, como coleta e manejo dos resíduos e fechamentos de esgoto podem ser um conjunto de estratégias eficiente no controle de roedores. Adicionalmente, observamos que o volume de chuva semanal tem efeito nos padrões de atividade de ratos, na comunidade urbana, sugerindo mudanças no comportamentais e movimento destes animais. Estes dados podem direcionar atividades de controle de roedores definindo áreas e momentos específicos. Estudos que correlacionem a atividade, abundância e movimento dos ratos nas diferentes escalas climáticas são necessários para compreender a relação destes fatores. Finalmente, é necessário entender se estas variações na atividade de ratos estão associadas a mudanças no risco na contaminação ambiental por patógenos excretados por ratos e na transmissão de zoonoses nas populações humanas.

Financiamento

Este trabalho contou com o apoio da Fundação Oswaldo Cruz e da Secretaria de Vigilância em Saúde, do Ministério da Saúde (grants R01 AI052473, U01 AI088752, R01TW009504, R25 TW009338 e R01 AI121207) e pelo Wellcome Trust (102330/Z/13/Z).

REFERÊNCIAS

Babolin LS, Almeida-Silva MJF, Potenza MR, Fava CD, Castro V, Harakava R, Okuda LH, Rebouças MM, Campos AEC (2016). Zoonosis associated to *Rattus rattus* and the impacts of the public actions to control the species Urban Pests. 83:1-7.

Barton, K., & Barton, M. K. (2018). Package ‘MuMIn’.

Bharti AR1, Nally JE, Ricaldi JN, Matthias MA, Diaz MM, Lovett MA, Levett PN, Gilman RH, Willig MR, Gotuzzo E, Vinetz JM. Leptospirosis: a zoonotic disease of global importance. Peru-United States Leptospirosis Consortium. *Lancet Infect Dis.* 2003 Dec;3(12): 757-71.

Bolker, B. M., Brooks, M. E., Clark, C. J., Geange, S. W., Poulsen, J. R., Stevens, M. H. H., & White, J. S. S. (2009). Generalized linear mixed models: a practical guide for ecology and evolution. *Trends in Ecology and Evolution*, 24(3), 127–135.

Bronson, F. H. (2009). Climate change and seasonal reproduction in mammals. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1534), 3331–3340.

Brown, P. R., & Singleton, G. R. (1999). Rate of increase as a function of rainfall for house mouse *Mus domesticus* populations in a cereal-growing region in southern Australia. *Journal of Applied Ecology*, 36(4), 484–493.

Carvalho-pereira, T., Souza, F. N., Santos, L. R. N., Walker, R., Pertile, A. C., Oliveira, D. S. De, Costa, F. (2017). The helminth community of a population of *Rattus norvegicus* from an urban Brazilian slum and the threat of zoonotic diseases.

CDC. Integrated pest management: conducting urban rodent surveys. Centers for Disease Control and Prevention- Atlanta: US Department of Health and Human Services. 2006.

Costa, F., Carvalho-Pereira, T., Begon, M., Riley, L., & Childs, J. (2017). Zoonotic and Vector-Borne Diseases in Urban Slums: Opportunities for Intervention. *Trends in Parasitology*, 33(9), 660–662.

Zuur A, Ieno EN, Walker N, Saveliev AA, Smith GM. Mixed effects models and extensions in ecology with R: Springer Science & Business Media: 2009;574.

Costa, F., Hagan, J.E., Calcagno, J., Kane, M., Torgerson, P., Martinez-Silveira, M.S., Stein, C., Abela-Ridder, B. & Ko, A.I. (2015a) Global Morbidity and Mortality of Leptospirosis: A Systematic Review. *PLoS Negl Trop Dis*, 9, e0003898.

Costa, F., Porter, F.H., Rodrigues, G., Farias, H., de Faria, M.T., Wunder, E.A., Osikowicz, L.M., Kosoy, M.Y., Reis, M.G., Ko, A.I. & Childs, J.E. (2014a) Infections by *Leptospira interrogans*, Seoul Virus, and *Bartonella* spp. Among Norway Rats (*Rattus norvegicus*) from the Urban Slum Environment in Brazil. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 14, 33-40.

Costa, F., Ribeiro, G.S., Felzemburgh, R.D.M., Santos, N., Reis, R.B., Santos, A.C., Fraga, D.B.M., Araujo, W.N., Santana, C., Childs, J.E., Reis, M.G. & Ko, A.I. (2014b) Influence of Household Rat Infestation on *Leptospira* Transmission in Urban Slums. *Unpublished*.

Costa, F., Wunder, E.A., De Oliveira, D., Bisht, V., Rodrigues, G., Reis, M.G., Ko, A.I., Begon, M. & Childs, J.E. (2015b) Patterns in *Leptospira* Shedding in Norway Rats (*Rattus norvegicus*) from Brazilian Slum Communities at High Risk of Disease Transmission. *Plos Neglected Tropical Diseases*, **9**.

Davis, S., & Calvet, E. (2005). Fluctuating Rodent Populations and Risk to Humans from Rodent-Borne Zoonoses. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, *5*(4), 305–314.

Davis, W. B. & Lukens, P. W., (1986). Studies on home range in the brown rat. *American Society of Mammalogists*, *38*(1), 1–14.

De Faria MT, Calderwood MS, Athanazio DA, McBride AJA, Hartskeerl RA, et al.(2008) Carriage of *Leptospira interrogans* among domestic rats from a high endemic urban setting for leptospirosis in Brazil. *Acta Trop*. 108: 1–5.

De Masi, E., Vilaca, P.J. & Razzolini, M.T. (2009a) Evaluation on the effectiveness of actions for controlling infestation by rodents in Campo Limpo region, Sao Paulo Municipality, Brazil. *Int J Environ Health Res*, **19**, 291-304.

De Masi, E., Vilaça, P., & Razzolini, M. T. P. (2009b). Environmental conditions and rodent infestation in Campo Limpo district, São Paulo municipality, Brazil. *International Journal of Environmental Health Research*, *19*(1), 1–16.

- Emch, M., & Root, E. D. (2009). Emerging and Re-emerging Diseases. *A Companion to Health and Medical Geography*, 154–172.
- Ernest, S. K. M., Brown, J. H. and Parmenter, R. R. (2000). Rodents, plants, and precipitation: spatial and temporal dynamics of consumers and resources. – *Oikos* 88: 470–482.
- Ernest, S., & Brown, J. H. (2002). Rain and Rodents: Complex Dynamics of Desert Consumers. *BioScience*, 52(11), 979–987.
- Felzemburgh, R. D. M., Ribeiro, G. S., Costa, F., Reis, R. B., Hagan, J. E., Melendez, A., Ko, A. I. (2014). Prospective Study of Leptospirosis Transmission in an Urban Slum Community: Role of Poor Environment in Repeated Exposures to the *Leptospira* Agent. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 8(5).
- Feng, A. Y. T., & Himsforth, C. G. (2014). The secret life of the city rat: A review of the ecology of urban Norway and black rats (*Rattus norvegicus* and *Rattus rattus*). *Urban Ecosystems*, 17(1), 149–162.
- Giorgi, D. K. Schlüter, and P. J. Diggle. (2018) Bivariate geostatistical modelling of the relationship between *Loa loa* prevalence and intensity of infection. In: *Environmetrics* 29.5-6 ,pp. 1–10.
- Gardner-Santana, L. C., Norris, D. E., Fornadel, C. M., Hinson, E. R., Klein, S. L., & Glass, G. E. (2009). Commensal ecology, urban landscapes, and their influence on the genetic characteristics of city-dwelling Norway rats (*Rattus norvegicus*). *Molecular Ecology*, 18(13), 2766–2778.

Giuggioli, L., & Kenkre, V. M. (2014). Consequences of animal interactions on their dynamics: Emergence of home ranges and territoriality. *Movement Ecology*, 2(1), 1–22.

Glass GE, Korch GW, Childs JE.(1988) Seasonal and habitat differences in growth rates of wild *Rattus norvegicus*. *J Mammal*.69: 587–592.

Greenville, A. C., Wardle, G. M., & Dickman, C. R. (2013). Extreme rainfall events predict irruptions of rat plagues in central Australia. *Austral Ecology*, 38(7), 754–764.

Hacker, K.P., Minter, A., Begon, M., Diggle, P.J., Serrano, S., Reis, M.G., Childs, J.E., Ko, A.I. & Costa, F. (2016) A comparative assessment of track plates to quantify fine scale variations in the relative abundance of Norway rats in urban slums. *Urban Ecosystems*.

Hacker, K.P., Seto, K.C., Costa, F., Corburn, J., Reis, M.G., Ko, A.I. & Diuk-Wasser, M.A. (2013) Urban slum structure: integrating socioeconomic and land cover data to model slum evolution in Salvador, Brazil. *Int J Health Geogr*, **12**, 45.

Hagan, J. E., Moraga, P., Costa, F., Capian, N., Ribeiro, G. S., Wunder, E. A., ... Ko, A. I. (2016). Spatiotemporal Determinants of Urban Leptospirosis Transmission: Four-Year Prospective Cohort Study of Slum Residents in Brazil. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 10(1), 1–16.

Hartskeerl, R. A., Collares-Pereira, M., & Ellis, W. A. (2011). Emergence, control and re-emerging leptospirosis: Dynamics of infection in the changing world. *Clinical Microbiology and Infection*, 17(4), 494–501.

Hassell, J. M., Begon, M., Ward, M. J., & Fèvre, E. M. (2017). Urbanization and Disease Emergence: Dynamics at the Wildlife–Livestock–Human Interface. *Trends in Ecology and Evolution*, *32*(1), 55–67.

Himsworth, C.G., Bidulka, J., Parsons, K.L., Feng, A.Y., Tang, P., Jardine, C.M., Kerr, T., Mak, S., Robinson, J. & Patrick, D.M. (2013a) Ecology of *Leptospira interrogans* in Norway Rats (*Rattus norvegicus*) in an Inner-City Neighborhood of Vancouver, Canada. *PLoS Negl Trop Dis*, *7*, e2270.

Himsworth, C.G., Jardine, C.M., Parsons, K.L., Feng, A.Y.T. & Patrick, D.M. (2014a) The Characteristics of Wild Rat (*Rattus* spp.) Populations from an Inner-City Neighborhood with a Focus on Factors Critical to the Understanding of Rat-Associated Zoonoses. *Plos One*, *9*, e91654.

Himsworth, C.G., Parsons, K.L., Feng, A.Y.T., Kerr, T., Jardine, C.M. & Patrick, D.M. (2014b) A Mixed Methods Approach to Exploring the Relationship between Norway Rat (*Rattus norvegicus*) Abundance and Features of the Urban Environment in an Inner-City Neighborhood of Vancouver, Canada. *Plos One*, *9*.

Himsworth, C.G., Parsons, K.L., Jardine, C. & Patrick, D.M. (2013b) Rats, cities, people, and pathogens: a systematic review and narrative synthesis of literature regarding the ecology of rat-associated zoonoses in urban centers. *Vector Borne Zoonotic Dis*, *13*, 349-359.

Holt, J., Davis, S., & Leirs, H. (2006). A model of Leptospirosis infection in an African rodent to determine risk to humans: Seasonal fluctuations and the impact of rodent control. *Acta Tropica*, *99*(2-3), 218–225.

Johnson, P. C. D., Barry, S. J. E., Ferguson, H. M., & Müller, P. (2014). Power analysis for generalized linear mixed models in ecology and evolution. *Methods in Ecology and Evolution*, 6(2), 133–142.

Kikuti M, Cunha GM, Paploski IAD, Kasper AM, Silva MMO, Tavares AS, et al. (2015) Spatial Distribution of Dengue in a Brazilian Urban Slum Setting: Role of Socioeconomic Gradient in Disease Risk. *PLoS Negl Trop Dis* 9(7): e0003937.

Leirs, H., Stenseth, N. C., Nichols, J. D., Hines, J. E., Verhagen, R., & Verheyen, W. (1997). Stochastic seasonality and nonlinear density-dependent factors regulate population size in an African rodent. *Nature*, 389(6647), 176–180.

Dougherty, E. R., Seidel, D. P., Carlson, C. J., Spiegel, O., & Getz, W. M. (2018). Going through the motions: incorporating movement analyses into disease research. *Ecology Letters*, 21(4), 588–604.

Ko, A.I., Reis, M.G., Dourado, C.M.R., Johnson, W.D., Riley, L.W. & Grp, S.L.S. (1999) Urban epidemic of severe leptospirosis in Brazil. *Lancet*, **354**, 820-825.

Krebs, C. J. (1966). Demographic Changes in Fluctuating Populations of *Microtus californicus*. *Ecological Monographs*, 36(3), 239–273.

Lack JB, Hamilton MJ, Braun JK, Mares MA, Van Den Busche RA. Comparative phylogeography of invasive *Rattus rattus* and *Rattus norvegicus* in the US reveals distinct colonization histories and dispersal. *Biol Inv.* 2013; 15: 1067– 1087.

Lambert, M. S., Quy, R. J., Smith, R. H., & Cowan, D. P. (2008). The effect of habitat management on home-range size and survival of rural Norway rat populations. *Journal of Applied Ecology*, 45(6), 1753–1761.

Lambert, M., Vial, F., Pietravalle, S., & Cowan, D. (2017). Results of a 15-year systematic survey of commensal rodents in English dwellings. *Scientific Reports*, 7(1), 1–12.

Lock, M., & Wilson, B. A. (2017). Influence of rainfall on population dynamics and survival of a threatened rodent (*Pseudomys novaehollandiae*) under a drying climate in coastal woodlands of south-eastern Australia. *Australian Journal of Zoology*, 65(1), 60–70.

Macdonald DW, Mathews F, Berdoy M. The Behaviour and Ecology of *Rattus norvegicus* : from Opportunism to Kamikaze Tendencies.(1999) In Ecologically-based Rodent Management. 59th ed. Canberra. pp. 49–80.

Madsen, T., & Shine, R. (1999). Rainfall and rats: Climatically-driven dynamics of a tropical rodent population. *Austral Ecology*, 24(1), 80–89.

Maestri, R., & Marinho, J. R. (2014). Singing in the rain. Rainfall and moonlight affect daily activity patterns of rodents in a Neotropical forest. *Acta Theriologica*, 59(3), 427–433.

Mills, J.N., Childs, J.E., 1998. Ecologic studies of rodent reservoirs: their relevance for human health. *Emerging Infectious Diseases* 4, 529–537.

Orrock, J. L., Danielson, B. J., & Brinkerhoff, R. J. (2004). Rodent foraging is affected by indirect, but not by direct, cues of predation risk. *Behavioral Ecology*, 15(3), 433–437.

Oyedele, D. T., Sah, S. A. M., Kairuddin, L., & Wan Ibrahim, W. M. M. (2015). Range measurement and a habitat suitability map for the Norway rat in a highly developed urban environment. *Tropical Life Sciences Research*, 26(2), 27–44.

Panti-May, J.A., Carvalho-Pereira, T.S., Serrano, S., Pedra, G.G., Taylor, J., Pertile, A.C., Minter, A., Airam, V., Carvalho, M., Junior, N.N., Rodrigues, G., Reis, M.G., Ko, A.I., Childs, J.E., Begon, M. & Costa, F. (2016) A Two-Year Ecological Study of Norway Rats (*Rattus norvegicus*) in a Brazilian Urban Slum. *Plos One*, **11**, e0152511.

Patergnani, M., Mughini Gras, L., Poglayen, G., Gelli, A., Pasqualucci, F., Farina, M., & Stancampiano, L. (2010). Environmental influence on urban rodent bait consumption. *Journal of Pest Science*, 83(3), 347–359.

Pertile, A.C. (2017) Avaliação do impacto do controle químico na ecologia da população de *Rattus norvegicus* de uma comunidade urbana de Salvador-BA.[Dissertação]:Universidade Federal da Bahia

Porter FH, Costa F, Rodrigues G, Farias H, Cunha M, Glass GE, et al. Morphometric and demographic differences between tropical and temperate Norway rats (*Rattus norvegicus*). *J Mammal*. 2015;96: 317–323.

Previtali MA, PL Meserve, da Kelt, JR Gutierrez, M. L. (2009). Population dynamics of two sympatric rodent species in a highly variable environment: the influence of rainfall, resource availability, and predation TT - Population dynamics of two sympatric rodent species in a highly varying environment: the Influence. *Ecology*, 90(7), 1996–2006.

Puckett, E.E., Park, J., Combs, M., Blum, M.J., Bryant, J.E., Caccone, A., Costa, F., Deinum, E.E., Esther, A., Himsworth, C.G., Keightley, P.D., Ko, A., Lundkvist, A., McElhinney, L.M., Morand, S., Robins, J., Russell, J., Strand, T.M., Suarez, O., Yon, L. & Munshi-South, J. (2016) Global population divergence and admixture of the brown rat (*Rattus norvegicus*). *Proc Biol Sci*, **283**.

QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation. 2009. url: <http://qgis.osgeo.org>.

R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2016. url: <https://www.r-project.org/>.

Reis, R.B., Ribeiro, G.S., Felzemburgh, R.D.M., Santana, F.S., Mohr, S., Melendez, A.X.T.O., Queiroz, A., Santos, A.C., Ravines, R.R., Tassinari, W.S., Carvalho, M.S., Reis, M.G. & Ko, A.I. (2008) Impact of Environment and Social Gradient on *Leptospira* Infection in Urban Slums. *Plos Neglected Tropical Diseases*, **2**.

Richardson, J. L., Burak, M. K., Hernandez, C., Shirvell, J. M., Mariani, C., Carvalho-Pereira, T. S. A., ... Caccone, A. (2017). Using fine-scale spatial genetics of Norway rats to improve control efforts and reduce leptospirosis risk in urban slum environments. *Evolutionary Applications*, *10*(4), 323–337.

Riley, L. W., Ko, A. I., Unger, A., & Reis, M. G. (2007). Slum health: Diseases of neglected populations. *BMC International Health and Human Rights*, *7*, 1–6.

Rothenburger, J. L., Himsworth, C. H., Nemeth, N. M., Pearl, D. L., & Jardine, C. M. (2017). Environmental Factors and Zoonotic Pathogen Ecology in Urban Exploiter Species. *EcoHealth*, 1–12.

Russell, J. C., & Ruffino, L. (2012). The influence of spatio-temporal resource fluctuations on insular rat population dynamics. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279(1729), 767–774.

Santos, N. de J., Sousa, E., Reis, M. G., Ko, A. I., & Costa, F. (2017). Rat infestation associated with environmental deficiencies in an urban slum community with high risk of leptospirosis transmission. *Cadernos de Saúde Pública*, 33(2), 1–13.

Secretaria da Segurança Pública Bahia-SSP. (2018). Principais delitos por município - interior - ocorrências de 2017, 2018.

Tamayo-Uria, Mateu Mahiques, J., & Mughini Gras, L. (2013). Temporal distribution and weather correlates of Norway rat (*rattus norvegicus*) infestations in the city of Madrid, Spain. *EcoHealth*, 10(2), 137–144.

Souza, R. L., Mugabe, V. A., Paploski, I. A. D., Rodrigues, M. S., Moreira, P. S. D. S., Nascimento, L. C. J., ... Ribeiro, G. S. (2017). Effect of an intervention in storm drains to prevent *Aedes aegypti* reproduction in Salvador, Brazil. *Parasites and Vectors*, 10(1).

Stenseth, A. N. C. (2016). Nordic Society Oikos On the Importance of Spatio-Temporal Heterogeneity for the Population Dynamics of Rodents : Towards a Theoretical Foundation of Rodent Control Published by : Wiley on behalf of Nordic Society Oikos Stable URL :

- Tamayo-Uria, I., Mateu, J., Escobar, F., & Mughini-Gras, L. (2014). Risk factors and spatial distribution of urban rat infestations. *Journal of Pest Science*, *87*(1), 107–115.
- Taylor, K.D. & Green, G. (1976) The influence of rainfall on diet and reproduction in four African rodent species. *J. Zool. Lond.* 180, 367–389.
- Traweger, D., Travnitzky, R., Moser, C., Walzer, C., & Bernatzky, G. (2006). Habitat preferences and distribution of the brown rat (*Rattus norvegicus* Berk.) in the city of Salzburg (Austria): implications for an urban rat management. *Journal of Pest Science*, *79*(3), 113–125.
- UN State of the World's Cities 2010/2011: Bridging The Urban Divide, 2010. GB. Earthscan (UN-Habitat).
- UN World Cities Report: Urbanization and Development: Emerging Features, 2016. Nairobi, Kenya, United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat).
- Villafaña F, Molina RA, Lagos GM, Pérez MD (2000). Efectividad en el uso del rodenticide biológico Biorat en comparación con el rodenticida químico para el control de los roedores sinantrópicos en objetivos urbanos de la Provincia de Cienfuegos, Cuba. *Bol. de Malariol. y Saneamiento Ambiental*. 11 (1 y 2): 3-8.
- Villarreal, J. A., Schlegel, W. M., & Prange, H. D. (2007). Thermal environment affects morphological and behavioral development of *Rattus norvegicus*. *Physiology and Behavior*, *91*(1), 26–35.
- Vlahov, D., Freudenberg, N., Proietti, F., Ompad, D., Quinn, A., Nandi, V., & Galea, S. (2007). Urban as a determinant of health. *Journal of Urban Health*, *84*(SUPPL. 1), 16–26.

Walton, L., Marion, G., Davidson, R. S., White, P. C. L., Smith, L. A., Gavier-Widen, D., Hutchings, M. R. (2016). The ecology of wildlife disease surveillance: demographic and prevalence fluctuations undermine surveillance. *Journal of Applied Ecology*, 53(5), 1460–1469.

Xavier, T.S.; Silva, J. e Rebello, E.R.G. (2002)A técnica dos quantis e suas aplicações em meteorologia, climatologia e hidrologia, com ênfase para as regiões brasileiras. Brasília: Thesaurus.

FIGURAS E TABELAS

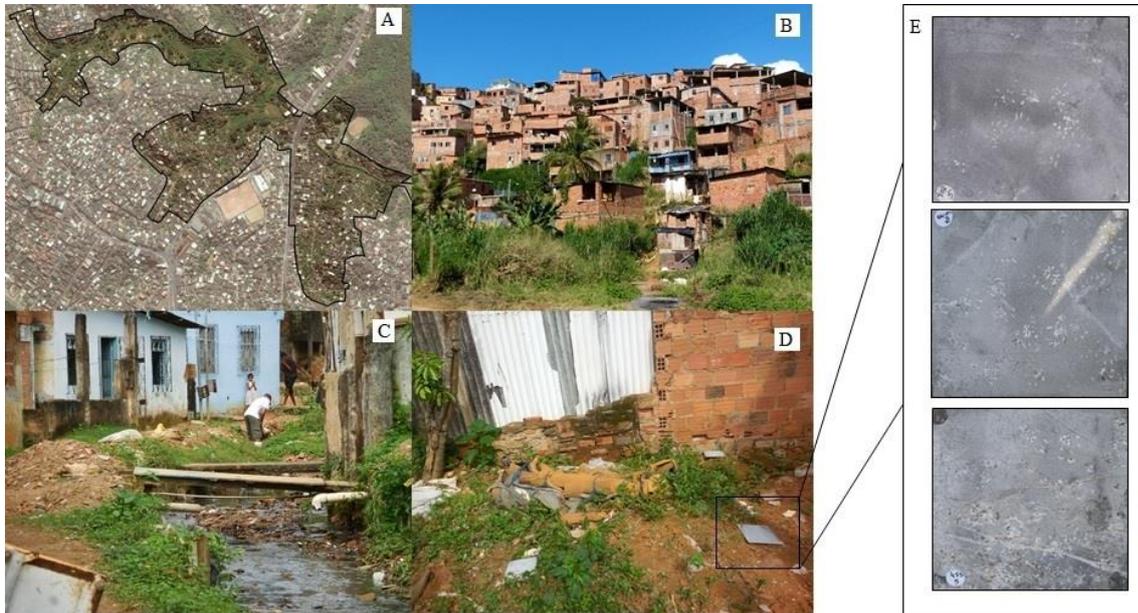


Figura 1- Distrito sanitário de Pau da Lima- Salvador-Bahia. A) Área de estudo; B) Fotografia da topografia da área de estudo; C) Condições sanitárias (presença de esgotamento a céu aberto, lixo, vegetação); D) Disposição padrão das placas de rastreamento em cada ponto amostral. Uma placa central e quatro placas dispostas lateralmente ao redor da placa central com distância de 1m cada; E) Sinais específicos de roedores encontrados nas placas (marcas de pegadas, arranhaduras e marcas de cauda).

Tabela 1-Descritivo do quantitativo dos pontos amostrados por período de amostragem (N=440).

Período	No. Pontos com dados (%)	No. de pontos com dados perdidos (%)
1	385 (87)	55 (13)
2	372 (85)	68 (15)
3	364 (83)	76 (17)
4	326 (74)	114 (26)
5	340 (77)	100 (23)
6	353 (80)	80 (20)
R ^{2**}		88
No. pontos avaliados (No. de placas) ^(a)		428 (1842)

** R-squared, $p > 0,05$; (a) n. de pontos analisados na correlação entre avaliadores.

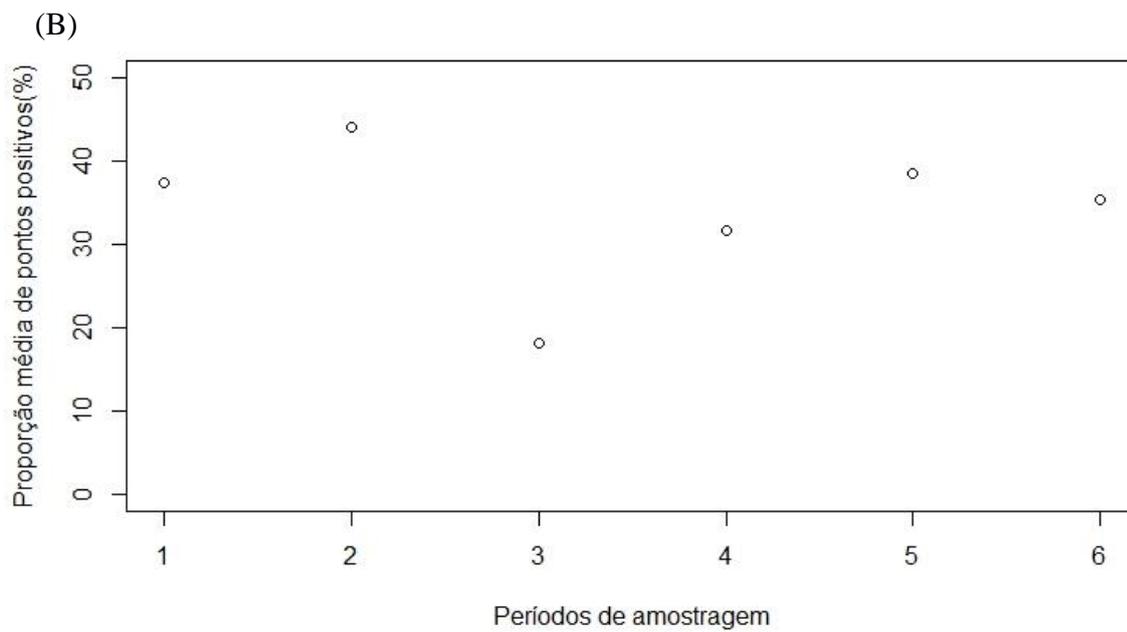
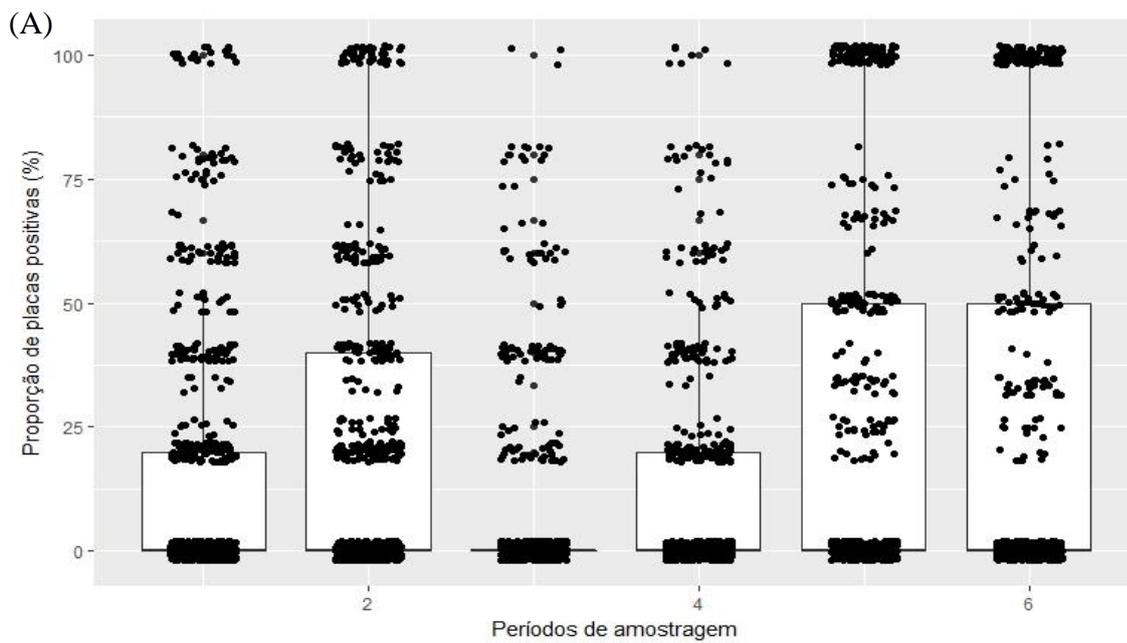


Figura 2- Atividade de roedores por placa e ponto estratificada por período de amostragem. A) Boxplot da proporção em porcentagem do número de placas positivas (com distribuição da intensidade de atividade); B) Proporção média de pontos positivos para cada período.

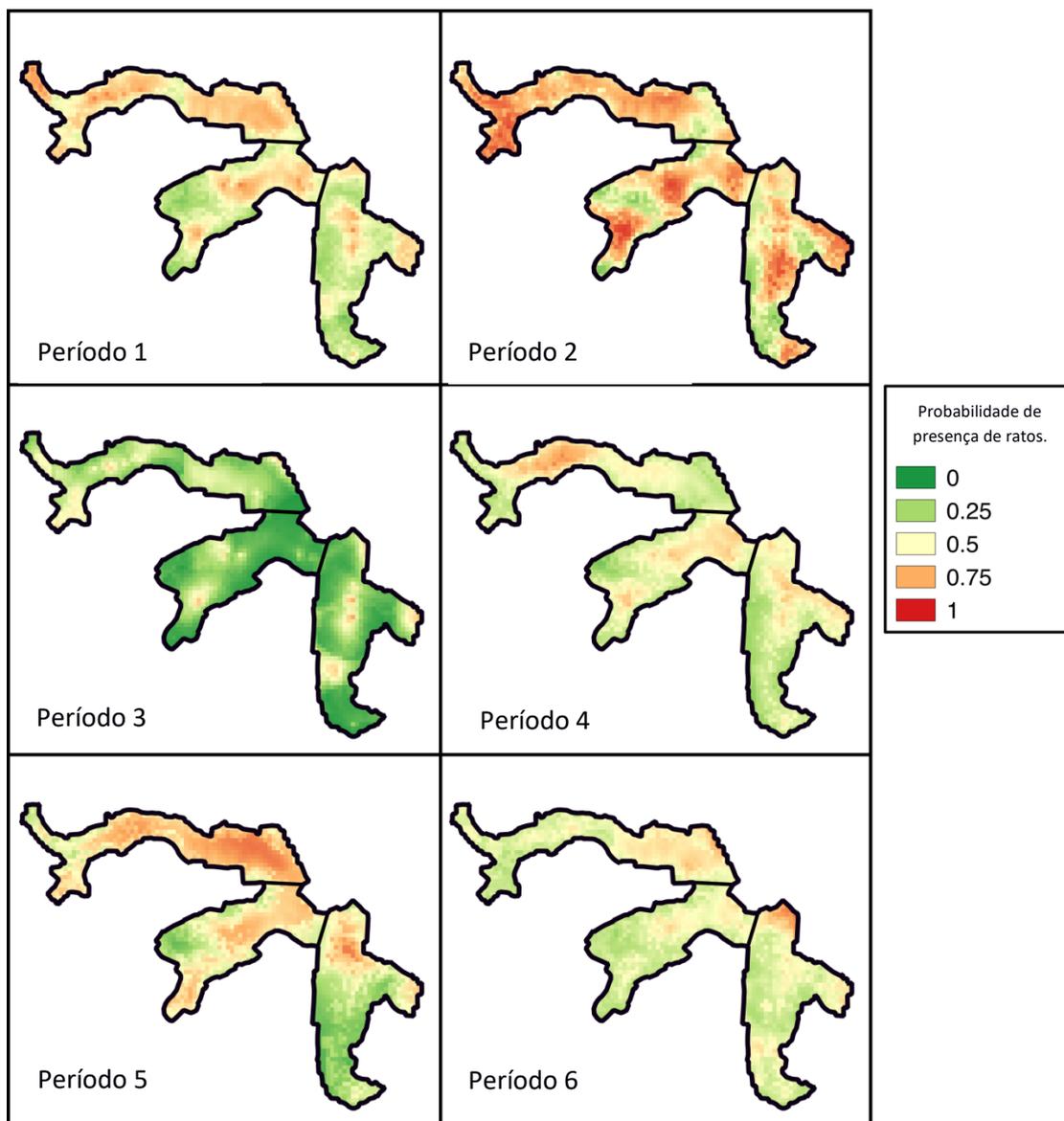


Figura 3-Distribuição das probabilidades de ocorrência e atividades de ratos durante os seis períodos amostrais.

Tabela 2- Modelos mistos probabilísticos univariados das condições ambientais locais, espaciais e precipitação pluviométricos associados à população de roedores ao longo de seis períodos amostrais.

<i>Preditores</i>	<i>Odds Ratios</i>	<i>IC</i>	<i>p</i>
<i>Univariada</i>			
Amostragem			
Período de amostragem			
(Intercept)	0.53	0.44 – 0.65	<0.001
Período 2	1.39	1.09 – 1.77	0.009
Período 3	0.34	0.25 – 0.44	<0.001
Período 4	0.73	0.56 – 0.95	0.018
Período 5	1.34	1.00 – 1.81	0.054
Período 6	0.93	0.72 – 1.21	0.608
Período Interanual			
(Intercept)	0.53	0.22 – 1.27	0.154
Ano 2015	0.69	0.24 – 1.98	0.487
Ano 2016	0.98	0.34 – 2.84	0.976
Ano 2017	0.93	0.28 – 3.17	0.914
Dia de amostragem			
(Intercept)	0.45	0.30 – 0.66	<0.001
Dia 2	1.07	0.92 – 1.26	0.374
Vale geográfico			
(Intercept)	0.80	0.50 – 1.27	0.341
Vale 2	0.48	0.36 – 0.65	<0.001
Vale 3	0.43	0.32 – 0.58	<0.001
Estação			
(Intercept)	0.37	0.23 – 0.61	<0.001
Chuvoso	1.44	0.72 – 2.85	0.301
Ambiental			
Tipo de área			
(Intercept)	0.42	0.28 – 0.63	<0.001
Domestico	1.28	0.98 – 1.67	0.065#
Delimitação da área			
(Intercept)	0.68	0.43 – 1.07	0.096
Presença de muro	0.43	0.30 – 0.61	<0.001
Áreas abertas	0.71	0.53 – 0.95	0.023
Exposição do solo			
(Intercept)	0.15	0.09 – 0.26	<0.001
Semipermeável	2.72	1.80 – 4.11	<0.001
Permeável	3.84	2.53 – 5.82	<0.001
Presença de vegetação	2.33	1.80 – 3.00	<0.001
Presença de animais domésticos	0.83	0.47 – 1.45	0.507

Presença de Lixo	1.76	1.47 – 2.10	<0.001
Presença de alimento	1.77	1.42 – 2.20	<0.001
Presença de esgoto (5m)	2.20	1.81 – 2.67	<0.001
Presença de água	2.10	1.74 – 2.54	<0.001
Presença de entulho	1.26	1.06 – 1.51	0.008
Presença de material de construção	0.86	0.70 – 1.05	0.137
Precipitação pluviométrica			
Chuva média diária (mm)	11.55	3.59 – 37.20	<0.001
Chuva acumulada diária (mm)	1.03	1.01 – 1.04	<0.001
Chuva média da semana (mm)	1.04	1.02 – 1.05	<0.001
Chuva acumulada da semana (mm)**	1.01	1.00 – 1.01	<0.001
Chuva média acumulada por período (mm)	1.01	0.97 – 1.05	0.613
Chuva média do mês de amostragem (mm)	0.99	0.97 – 1.00	0.024
GIS			
Elevação (m)	0.97	0.95 – 0.98	<0.001
Cobertura de paisagem			
(Intercept)	0.62	0.40 – 0.95	0.03
Presença de solo	0.88	0.63 – 1.22	0.446
Superfícies impermeáveis	0.55	0.41 – 0.74	<0.001
Distância do ponto ao esgoto aberto (m)	0.99	0.98 – 1.00	0.125
Distância de ponto de acúmulo de lixo(m)	1.00	0.99 – 1.00	0.051#

#0,05<p≤0,10; IC, Intervalo de Confiança

Tabela 3- Modelo final da probabilidade de presença de ratos associado às condições ambientais locais, espaciais e precipitação pluviométrica.

<i>Preditores</i>	<i>Odds Ratios</i>	<i>CI</i>	<i>p</i>
(Intercept)	0.32	0.17 – 0.58	<0.001
Período de amostragem			
Período 2	1.46	1.13 – 1.89	0.004
Período 3	0.30	0.22 – 0.42	<0.001
Período 4	0.75	0.57 – 0.98	0.035
Período 5	1.12	0.81 – 1.55	0.498
Período 6	0.65	0.49 – 0.86	0.003
Vale geográfico			
Vale 2	0.57	0.43 – 0.76	<0.001
Vale 3	0.62	0.47 – 0.82	0.001
Delimitação da área			
Presença de muro	0.51	0.36 – 0.74	<0.001
Áreas abertas	0.75	0.56 – 1.01	0.062
Exposição do solo			
Semipermeável	1.55	0.96 – 2.52	0.074
Permeável	1.67	1.02 – 2.75	0.042
Presença de vegetação	1.52	1.13 – 2.06	0.006
Presença de lixo	1.24	1.01 – 1.53	0.041
Presença de alimento	1.49	1.18 – 1.89	0.001
Tipo de área			
Domestico	1.26	0.99 – 1.60	0.063
Presença de esgoto (5 m)	1.70	1.40 – 2.06	<0.001
Presença de entulho	1.19	1.00 – 1.42	0.050
Chuva acumulada da semana (mm)	1.00	1.00 – 1.01	<0.001
Distância de ponto de lixo acumulado (m)	1.00	1.00 – 1.00	0.086
Efeitos randômicos			
σ^2	3.29		
$\tau_{00 \text{ ponto}}$	0.51		
ICC _{ponto}	0.13		
Observações	3168		

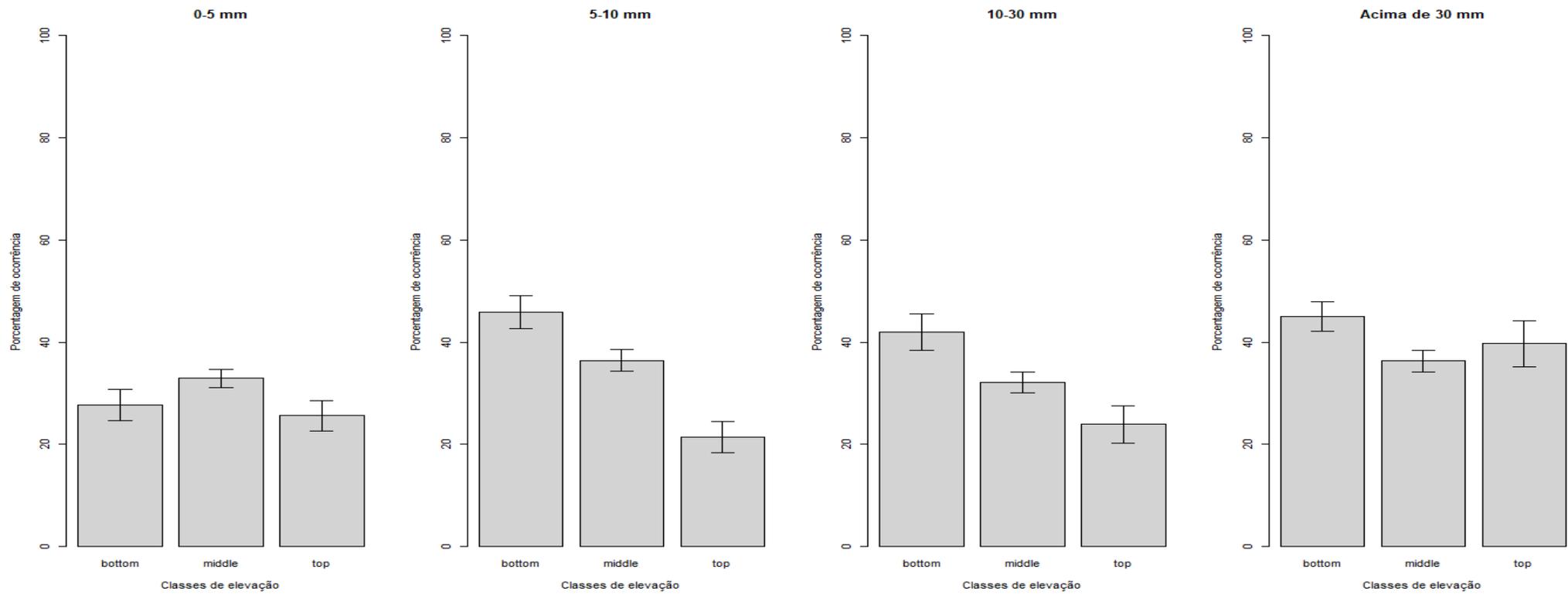


Figura 4- Proporção da atividade de ratos em diferentes estratos de elevação associação a diferentes categorias de precipitação pluviométrica.

Tabela 4- Modelo probabilístico da relação entre volume de chuva esperado com a presença de ratos nos diferentes estratos vertical da comunidade urbana.

<i>Preditores</i>	<i>Odds Ratios</i>	<i>CI</i>	<i>p</i>
(Intercept)	0.50	0.27 – 0.95	0.034
Área intermediaria do vale	1.20	0.78 – 1.87	0.403
Topo do vale	0.89	0.52 – 1.54	0.685
Vale 2	0.62	0.47 – 0.82	0.001
Vale 4	0.47	0.36 – 0.61	<0.001
Fundo do vale: 5-10 mm	2.10	1.35 – 3.25	0.001
Área intermediaria do vale: 5-10 mm	0.89	0.66 – 1.19	0.425
Topo do vale: 5-10 mm	0.60	0.35 – 1.01	0.054
Fundo do vale: 10-30 mm	2.49	1.54 – 4.02	<0.001
Área intermediaria do vale: 10-30 mm	1.31	0.97 – 1.76	0.080
Topo do vale: 10-30 mm	1.19	0.68 – 2.08	0.539
Fundo do vale: a partir de 30 mm	2.94	1.88 – 4.59	<0.001
Área intermediaria do vale: a partir de 30 mm	1.45	1.08 – 1.94	0.015
Topo do vale: a partir de 30 mm	2.29	1.31 – 4.00	0.004
Efeitos randômicos			
σ^2	3.29		
τ_{00} ponto amostral	0.77		
τ_{00} período amostral	0.34		
ICC ponto amostral	0.17		
ICC período amostral	0.08		
Observações	3838		

MATERIAL SUPLEMENTAR

Tabela Suplementar S1: Variáveis ambientais coletadas durante as amostragens de roedores utilizando as placas de rastreamento. Essas variáveis foram testadas como fatores independentes nos modelos GLM de probabilidade de presença de ratos.

Variável	Tipo	Nível
Períodos de amostragem	Categórico	Períodos 1,2,3,4,5 e 6
Dia de amostragem	Categórico	Dia 1 Dia 2
Vale geográfico	Categórico	Vale 1 Vale 2 Vale 3
Período interanual	Categórico	2015 2016 2017
Estação	Categórico	Seco Chuvoso
Tipo de área	Categórico	Comunidade Doméstico
Lixo	Binomial	Presença/Ausência
Vegetação	Binomial	Presença/Ausência
Alimento	Binomial	Presença/Ausência
Esgoto aberto (5 m)	Binomial	Presença/Ausência
Exposição do solo	Categórico	Permeável Parcialmente-permeável
Entulho	Binomial	Presença/Ausência
Água	Binomial	Presença/Ausência
Materiais de construção	Binomial	Presença/Ausência
Delimitação da área	Categórico	Aberta Presença de muro Arbusto
Animais domésticos	Binomial	Presença/Ausência
Elevação (m)	Contínua	Altura vertical da área de estudo em metros
Cobertura de paisagem	Categórico	Ausente Presença de solo Superfícies impermeáveis
Distância do ponto ao esgoto aberto (m)	Contínua	Distância mínima entre ponto amostral e o esgoto.
Distância de ponto de acúmulo de lixo(m)	Contínua	Distância mínima entre ponto amostral e o lixo acumulado.
Precipitação média	Contínua	Chuva média por dia de coleta em milímetro.
Precipitação acumulada	Contínua	Chuva acumulada por dia de coleta em milímetro
Precipitação média da semana	Contínua	Chuva média por semana de coleta em milímetro

Precipitação acumulada da semana	Contínua	Chuva acumulada por semana de coleta em milímetro
Precipitação média do período amostral	Contínua	Chuva media por período de amostragem em milímetro

^a Dados obtidos da estação meteorológica do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

Tabela Suplementar S2- Análise exploratório utilizando modelos lineares generalizados (GLM, família=binomial). Utilizamos modelos probabilísticos univariados e multivariados associados aos preditores de amostragem e ambientais considerando um $p > 0.05$.

<i>Preditores</i>	<i>Odds Ratios</i>		<i>CI</i>	
	<i>Univariada</i>		<i>Multivariada</i>	
Amostragem				
Período de amostragem				
(Intercept)	0.60	0.51 – 0.69	0.22	0.13 – 0.36
Período 2	1.32	1.07 – 1.64	1.28	1.00 – 1.64
Período 3	0.37	0.29 – 0.48	0.36	0.27 – 0.48
Período 4	0.78	0.62 – 0.98	0.86	0.66 – 1.11
Período 5	1.05	0.84 – 1.32	1.20	0.88 – 1.63
Período 6	0.92	0.73 – 1.15	0.62	0.47 – 0.81
Dias de amostragem				
(Intercept)	0.52	0.47 – 0.57		
Dia 2	1.02	0.89 – 1.17		
Vale geográfico				
(Intercept)	0.71	0.63 – 0.80		
Vale 2	0.69	0.59 – 0.82	0.68	0.56 – 0.82
Vale 3	0.59	0.50 – 0.69	0.66	0.54 – 0.80
Tipo da área				
(Intercept)	0.49	0.46 – 0.53		
Doméstico	1.26	1.08 – 1.48	1.39	1.12 – 1.71
Ambiental				
(Intercept)	0.41	0.38 – 0.45		
Presença de Lixo	1.65	1.44 – 1.89	1.32	1.10 – 1.59
(Intercept)	0.24	0.20 – 0.28		
Presença de vegetação	2.6	2.13 – 3.16	1.45	1.12 – 1.88
(Intercept)	0.45	0.42 – 0.49		
Presença de alimento	1.85	1.58 – 2.17	1.51	1.22 – 1.87
(Intercept)	0.36	0.33 – 0.40		
Presença de esgoto (10m)	2.39	2.09 – 2.74	1.76	1.37 – 2.28
Exposição do solo				
(Intercept)	0.15	0.11 – 0.21		
Semi-permeável	2.95	2.07 – 4.20	1.59	1.03 – 2.47
Permeável	4.15	2.94 – 5.86	1.86	1.19 – 2.91
(Intercept)	0.33	0.29 – 0.36		
Presença de água	2.33	2.03 – 2.67	1.07	0.82 – 1.38
(Intercept)	0.44	0.40 – 0.49		
Presença de entulho	1.4	1.22 – 1.60	1.21	1.03 – 1.41
(Intercept)	0.52	0.48 – 0.56		
Presença de material de construção	1.03	0.88 – 1.20		
Domiciliar				

Delimitação da área doméstica				
	(Intercept)	0.88	0.71 – 1.09	
	Presença de muro	0.36	0.27 – 0.48	0.55 0.40 – 0.77
	Área aberta	0.62	0.49 – 0.78	0.77 0.58 – 1.02
	(Intercept)	0.61	0.45 – 0.82	
	Presença de animais doméstico*	1.01	0.70 – 1.45	
Pluviosidade				
	(Intercept)	0.46	0.43 – 0.50	
	Precipitação média	15.12	6.08 – 37.62	14.68 4.86 – 44.36
	(Intercept)	0.47	0.44 – 0.51	– –
	Precipitação acumulada	1.03	1.02 – 1.05	– –
	(Intercept)	0.53	0.49 – 0.57	– –
	Precipitação média da semana	1	0.98 – 1.01	– –
	(Intercept)	0.51	0.47 – 0.55	– –
	Precipitação acumulada da semana	1	1.00 – 1.00	– –
	(Intercept)	0.48	0.44 – 0.53	– –
	Precipitação média do período amostral	1.01	1.00 – 1.02	– –

Tabela Suplementar S3- Associação entre sinais de infestação e as placas de rastreamento.

<i>Preditores</i>	<i>Odds ratio</i>	<i>IC</i>
Presença de trilhas	1.69	1.41-2.02
Número de tocas	1.43	1.23-1.66
Presença de material fecal	1.69	1.32-2.17

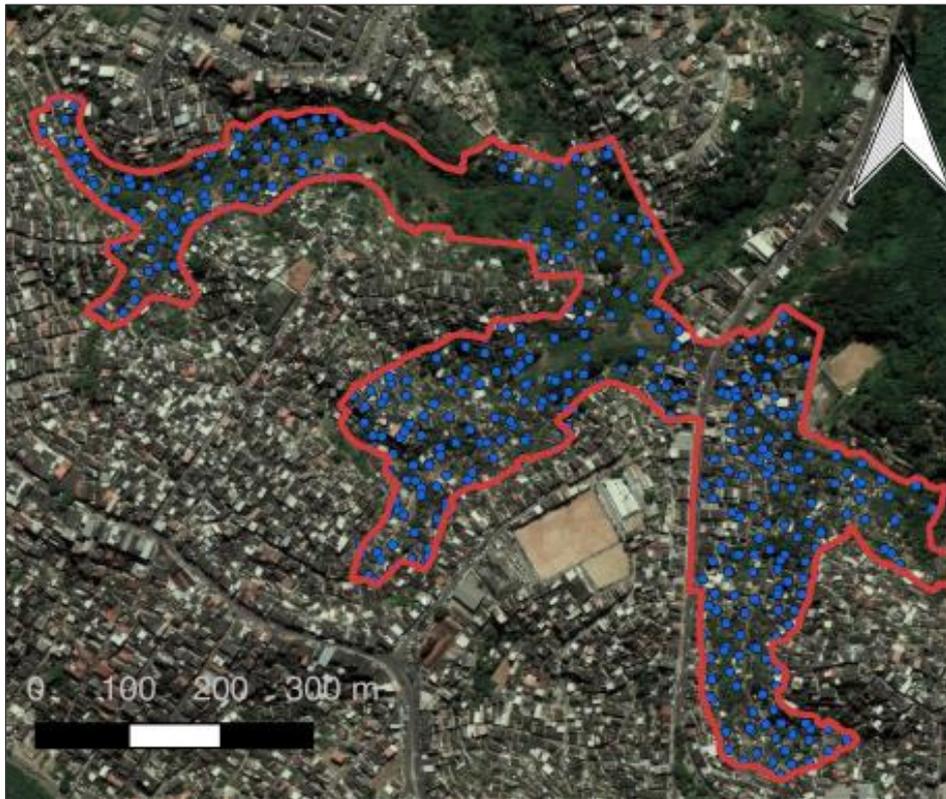


Figura suplementar 1- Mapa da distribuição dos pontos amostrais randomizados (N=440) no distrito sanitário de Pau da Lima-Salvador-Ba.

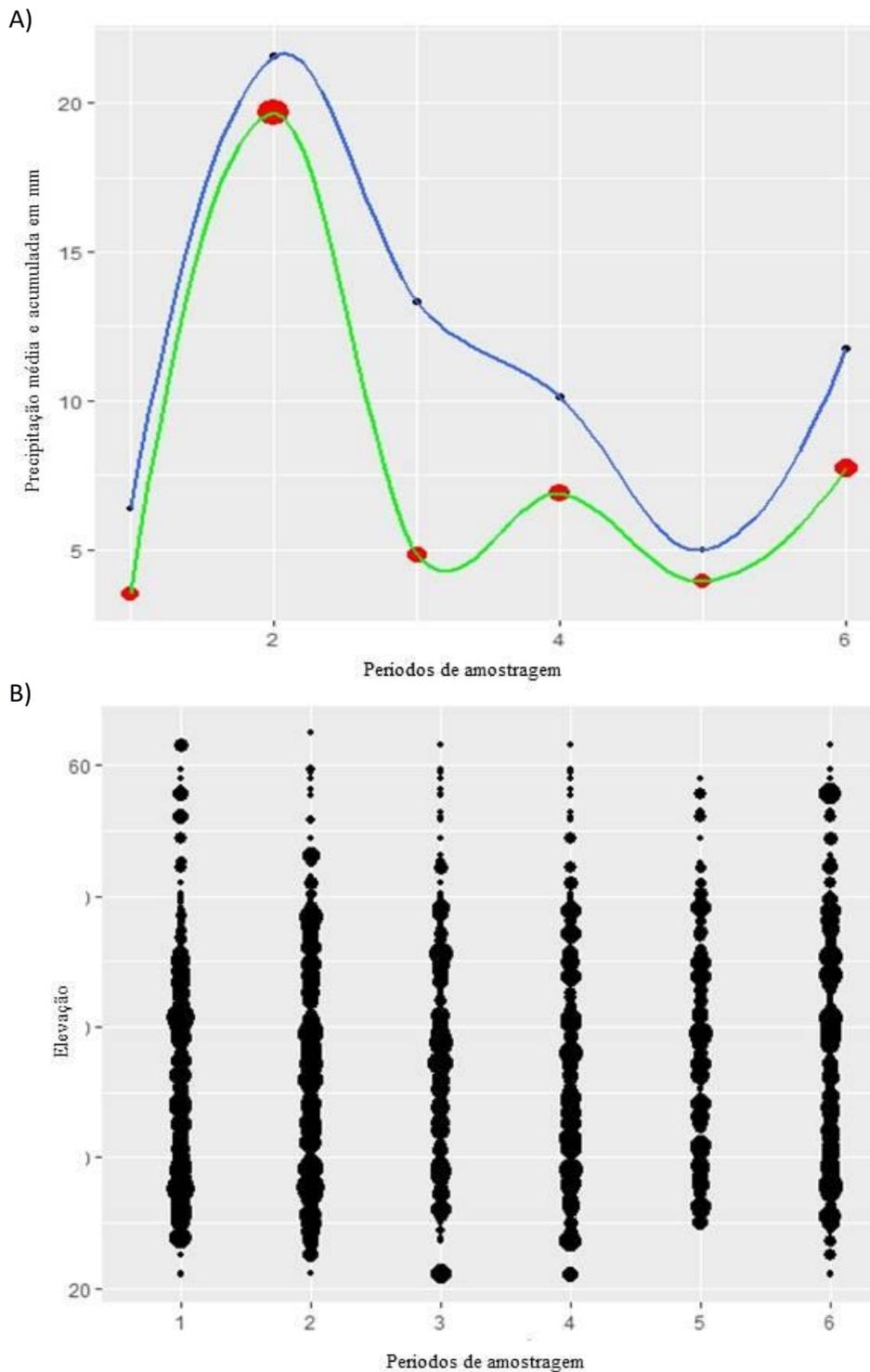


Figura suplementar 2- Proporções de quadrantes com sinais específicos de ratos por período amostral relacionada com a topológica da área de estudo e intensidade de chuvas (mm). Na figura suplementar **2A** no eixo x referem-se à média do volume de precipitação (azul) assim como a precipitação pluviométrica acumulada dividida por 100 para cada período de amostragem em verde (eixo y), os pontos em vermelho indica a intensidade de chuva em cada período. Na figura suplementar **2B** o eixo x representa a elevação (m) da área de estudo em relação ao número de quadrantes positivos (0-125) encontradas nas placas de rastreamento em cada período de amostragem (eixo y).

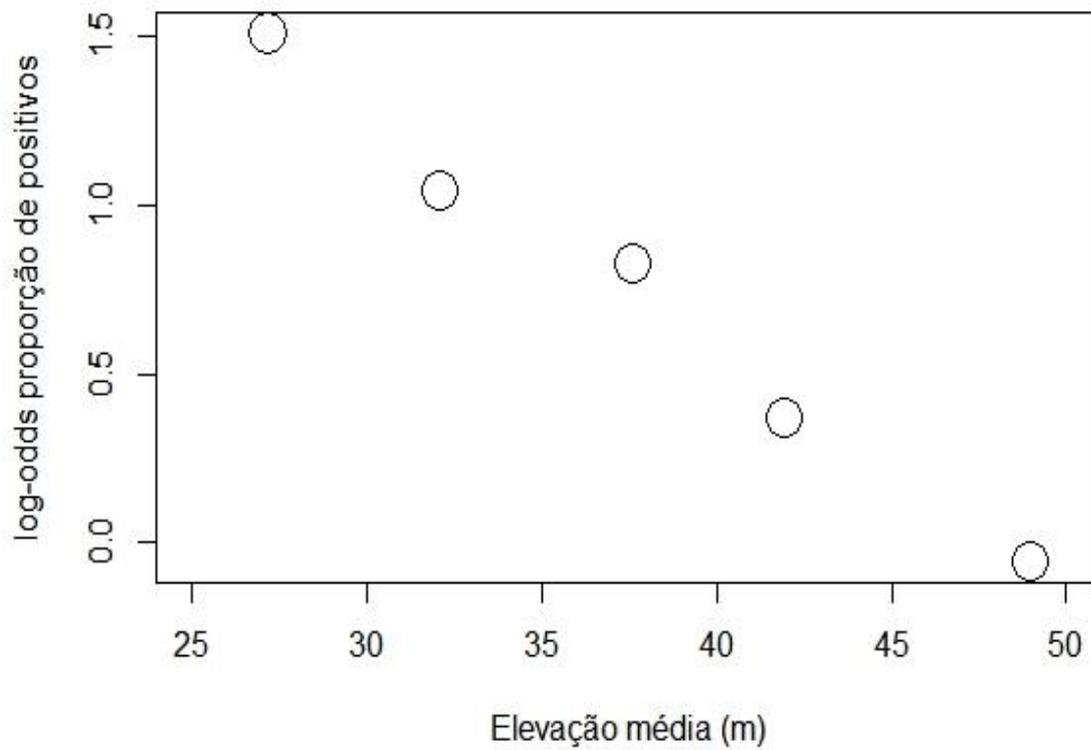


Figura Suplementar 3- Log (*Odds ratio* da proporção de presença de ratos) em função dos valores médio de elevação da área de estudo.

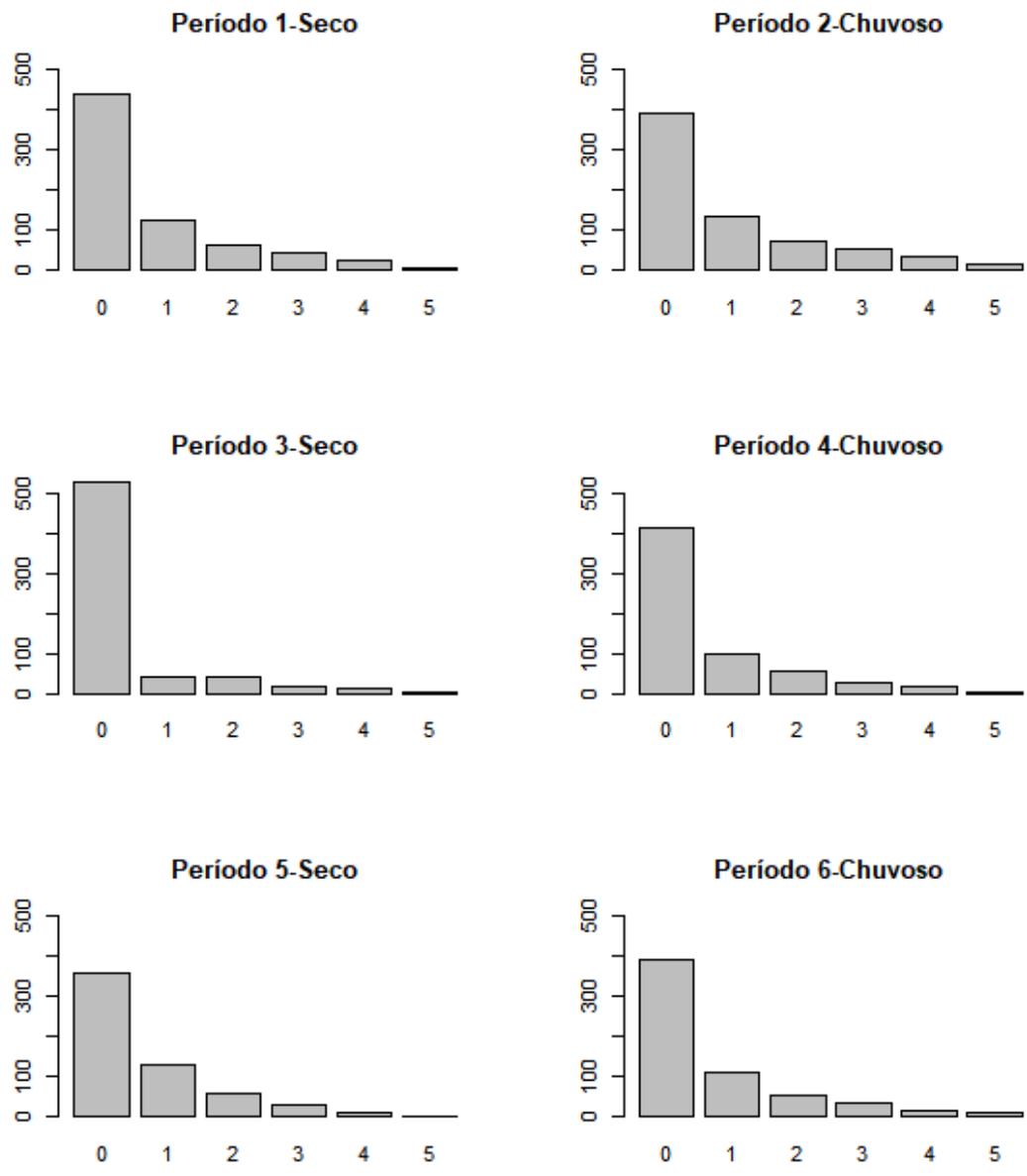


Figura suplementar 4- Histogramas da distribuição das proporções da posição das placas positivas.

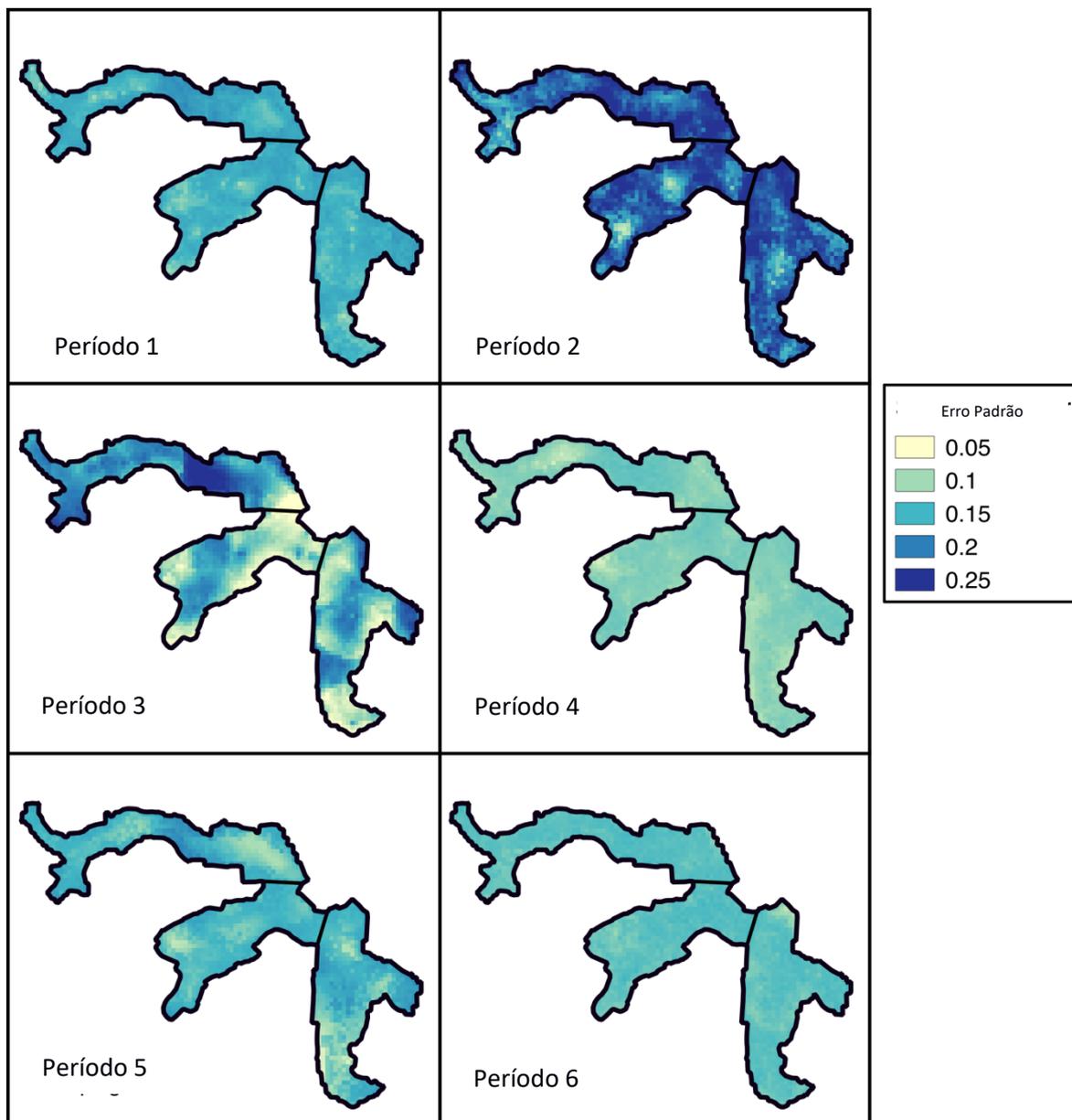


Figura suplementar 5- Distribuição dos erros padrões na probabilidade de ocorrência de ratos e atividade durante os seis períodos amostrais.

APÊNDICE A

O modelo geoestatístico binomial foi montado para cada um dos seis períodos de amostragens a fim de realizar a previsão espacial dos roedores seguiram os seguintes pressupostos:

(a) $S(x)$ é um processo Gaussiano estacionário e isotrópico

(b) Correlação espacial, segue uma função exponencial tal que:

$$\rho(\mu) = e^{-\mu/\phi}$$

Onde, $\mu = \|x_i - x_j\|$ para localizações de clusters x_i e x_j , e ϕ é a escala de correlação espacial;

(c) $Y_i|S(x_i)$ estruturas independentes binomial $(\eta_i, p(x_i))$ tais que:

$$\log\left(\frac{p(x_i)}{1-p(x_i)}\right) = \alpha + d(x_i)^T \beta + S(x_i)$$

Onde $p(x_i)$ é a probabilidade de haver pelo menos um rato e d é o vetor de covariáveis selecionadas na localização x_i . β é o vetor de coeficientes de regressão para todas as covariáveis. Covariáveis selecionadas foram elevação, tipo de cobertura da terra, distância ao esgoto e distância logarítmica aos acúmulos de lixo público. Outras covariáveis foram distância até os depósitos de esgoto e lixo público (após 35m e 100m respectivamente) tais que:

$$d(x_i) = \begin{bmatrix} \text{Elevação} \\ \text{Cobertura da paisagem} \\ \text{Dist. esgoto} \\ \max(0, \text{dist}_{\text{esgoto}} - 35) \\ \log(\text{dist}_{\text{deposito lixo}}) \\ \log(1 + \max(0, \text{dist}_{\text{deposito lixo}} - 100)) \end{bmatrix}$$

A validação da função de correlação espacial exponencial usada foi realizada pela comparação do variograma empírico e os intervalos de confiança de 95% para os

variogramas não espaciais do modelo para conjuntos de dados simulados a partir de $S(x)$ do modelo espacial ajustado (Figura apêndice A).

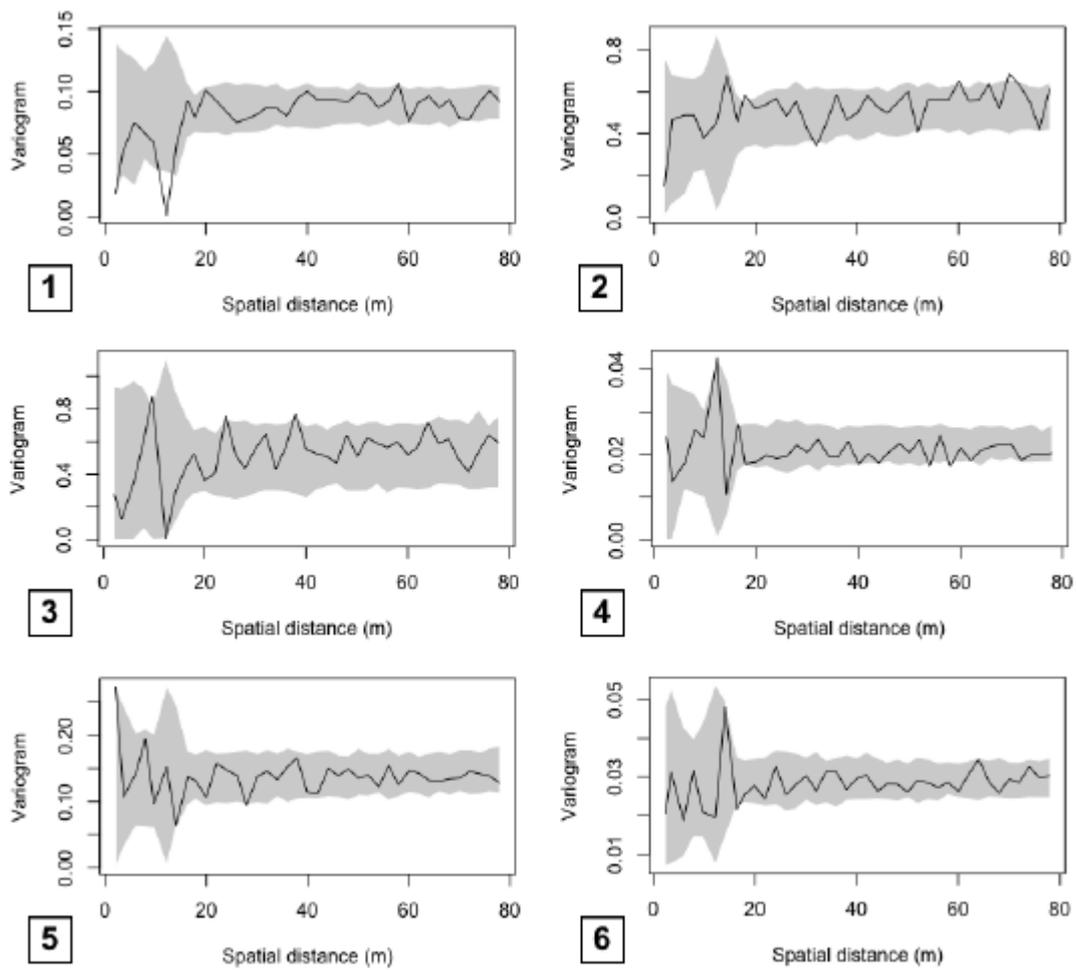


Figura apêndice A- Variogramas para a validação da função de correlação exponencial para os períodos de 1-6.