

Uso e cobertura do solo e prevalência de leishmaniose visceral canina em Teresina, Piauí, Brasil: uma abordagem utilizando sensoriamento remoto orbital

Land use, land cover, and prevalence of canine visceral leishmaniasis in Teresina, Piauí State, Brazil: an approach using orbital remote sensing

Uso y cobertura del suelo y prevalencia de leishmaniosis visceral canina en Teresina, Piauí, Brasil: un enfoque utilizando teledetección

Anna Barreto Fernandes Figueiredo ¹
Guilherme Loureiro Werneck ^{2,3}
Maria do Socorro Pires e Cruz ⁴
João Pereira da Silva ⁵
Andréa Sobral de Almeida ⁶

doi: 10.1590/0102-311X00093516

Resumo

Este estudo examina a associação entre uso e cobertura do solo e a ocorrência de leishmaniose visceral (LV) canina. Estudo caso-controle em que casos foram residências com cães soropositivos para LV canina e controles, as residências com cães soronegativos. Utilizaram-se imagens de sensoriamento remoto (CBERS: 2/CCD e 2B/HRC) para descrever o uso e cobertura do solo em quadriculas de 625m² na região do estudo. A chance da LV canina foi duas vezes maior em domicílios localizados em quadriculas com área ≤ 25m² coberta por estruturas residenciais com pouca vegetação em comparação com aquelas em que essa cobertura alcançou ≥ 600m². Domicílios localizados em quadriculas com até metade da área coberta por estruturas residenciais com muita vegetação tiveram chances 65% menores de LV canina em comparação com aquelas situadas em áreas quase totalmente cobertas por essa característica. Como a infecção canina costuma preceder a ocorrência de casos humanos, a identificação de características de uso e cobertura do solo associadas à LV canina pode contribuir para a delimitação de áreas de risco para LV humana.

Leishmaniose Visceral; Cães; Tecnologia de Sensoriamento Remoto

Correspondência

G. L. Werneck
Instituto de Estudos em Saúde Coletiva, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
Av. Horácio Macedo s/n, Rio de Janeiro, RJ 21941-598, Brasil.
gwerneck@iesc.ufrj.br

¹ Instituto Nacional de Infectologia Evandro Chagas, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, Brasil.

² Instituto de Estudos em Saúde Coletiva, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

³ Instituto de Medicina Social, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

⁴ Departamento de Morfofisiologia Veterinária, Universidade Federal do Piauí, Teresina, Brasil.

⁵ Gerência de Controle de Zoonoses, Fundação Municipal de Saúde de Teresina, Teresina, Brasil.

⁶ Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, Brasil.



Introdução

A leishmaniose visceral (LV) é considerada um dos grandes problemas de saúde pública mundial, provocando cerca de 200 a 400 mil novos casos e de 20 a 40 mil mortes anuais ¹. Na América Latina, a doença já foi descrita em pelo menos 11 países, sendo que 90% dos casos ocorrem no Brasil, com registros de ocorrências em 21 das suas 27 Unidades Federadas e taxa de incidência em torno de 2 casos por 100 mil habitantes ¹.

A LV tem como agente etiológico, no Novo Mundo, protozoários da espécie *Leishmania infantum* (sin. *Leishmania chagasi*), sendo o flebotomíneo *Lutzomyia longipalpis* o principal vetor no Brasil ². A transmissão ocorre pela picada de fêmeas de flebotomíneos que ingeriram sangue de um mamífero infectado.

No Brasil, existe um evidente processo de urbanização da doença, determinado por uma série de fatores ambientais, sociais e econômicos, destacando-se as más condições sanitárias e o desmatamento associados à ocupação desordenada das periferias das cidades por grandes contingentes populacionais ³. Nesse contexto, o papel do vetor *Lu. longipalpis* para manutenção do ciclo urbano de transmissão é primordial, já que se trata de uma das poucas espécies de flebotomíneos que se adaptou com facilidade ao ambiente domiciliar e peridomiciliar ⁴.

O cão (*Canis familiaris*) tem sido incriminado como o principal reservatório doméstico do parasito no meio urbano, o que tem sustentado a eliminação de cães infectados como uma das estratégias de controle LV no país ⁵, apesar de essa estratégia não ter surtido o efeito desejado de interromper a disseminação da doença e da relativa ausência de estudos demonstrando sua efetividade ^{6,7}. Mesmo diante da reconhecida importância do cão como fonte de infecção em meio urbano, há ainda enormes lacunas no conhecimento sobre os fatores associados à infecção por *L. infantum* nesses animais ⁸.

Até o momento, a maior parte dos estudos sobre esses reservatórios tenderam a avaliar mais as características individuais dos animais, como sexo, idade, raça, tamanho, entre outras, do que os aspectos socioambientais associados à infecção ⁸.

Diante disso, o presente estudo teve como objetivo examinar o papel de fatores ambientais relacionados à ocupação urbana na ocorrência de infecção por *L. infantum* em cães, utilizando imagens de sensoriamento remoto (SR).

Métodos

Área de estudo

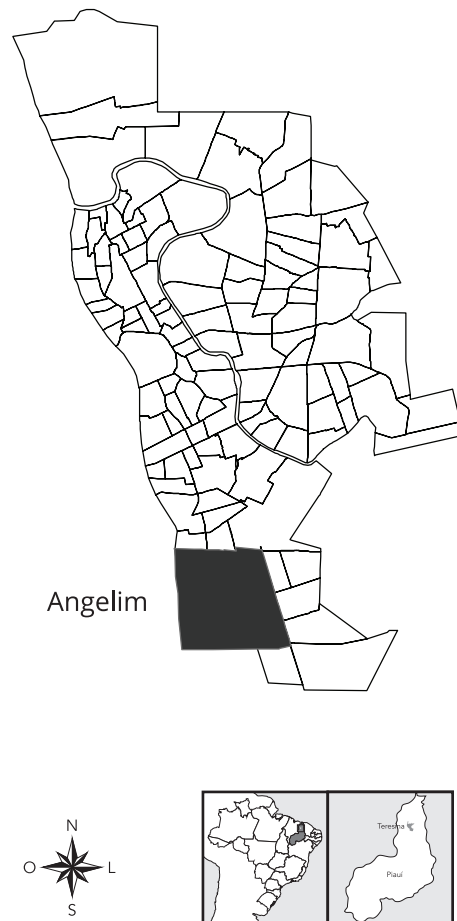
Este estudo foi realizado no bairro Angelim, localizado na cidade de Teresina, capital do Estado do Piauí (Figura 1). O bairro Angelim é uma área de expansão da cidade de Teresina, que ocupa terras que pertenciam à Fazenda Angelim. Apresenta crescimento acelerado e desorganizado. Em 1991, possuía apenas 12 habitantes. No ano 2000, o número de habitantes era de 14.395, aumentando para 19.559 habitantes em 2010 (Prefeitura de Teresina. Teresina, perfil dos bairros: Angelim. <http://semplan.teresina.pi.gov.br/wp-content/uploads/2014/09/ANGELIM.pdf>, acessado em 29/Abr/2015). Na primeira década do século XXI, mais de 100 casos autóctones de LV humana foram registrados no bairro Angelim, correspondendo a quase 10% de todos os casos da cidade de Teresina.

Desenho do estudo

Estudo caso-controle em que casos (n = 99) foram definidos como domicílios com, pelo menos, um cão com infecção por *L. infantum*, e controles (n = 453) corresponderam a moradias onde não foram registrados cães infectados. Esse estudo foi desenhado para avaliar a associação entre fatores socioeconômicos e ambientais do peridomicílio e a infecção canina por *Leishmania* ⁹. O presente artigo utiliza dados desse estudo para avaliar a associação entre características de “uso e cobertura do solo” obtidas por SR e infecção canina.

Figura 1

Bairro Angelim, Município de Teresina, Piauí, Brasil.



Dados e variáveis

- **Fonte de dados**

Os dados dos cães foram obtidos no serviço de controle de zoonoses, mediante consulta às fichas padronizadas do inquérito soroepidemiológico realizado no ano de 2007, no bairro Angelim. Essas fichas continham o nome do animal, sexo, idade, nome do proprietário, endereço do domicílio e resultado de exame sorológico.

- **Diagnóstico de infecção**

Nas fichas do inquérito soroepidemiológico, estavam registrados os resultados das sorologias caninas realizadas por meio da reação de imunofluorescência indireta, com o *kit* de Bio-Manguinhos (Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, Brasil). As amostras que apresentaram fluorescência na diluição a partir de 1:40, inclusive, foram consideradas positivas, e as que não apresentavam fluorescência foram consideradas negativas.

- **Aferição de covariáveis**

Foram realizadas entrevistas com os proprietários no domicílio dos cães selecionados, utilizando-se um questionário abrangendo questões sobre condições socioeconômicas, estrutura da moradia, presença de cães e de animais de outras espécies no domicílio e peridomicílio e presença de abrigos e criadouros.

Essas informações foram utilizadas para gerar quatro indicadores potencialmente associados à probabilidade de transmissão da *Leishmania*: (1) escolaridade do chefe do domicílio (Ensino Fundamental incompleto ou maior escolaridade); (2) índice de vulnerabilidade ambiental (combinação linear de informações sobre adequação ou não de esgotamento sanitário, disponibilidade de água encanada e acúmulo de lixo no ambiente peridoméstico); (3) índice de vulnerabilidade domiciliar (combinação linear de informações sobre adequação ou não do domicílio em termos de existência de muro de alvenaria, domicílio com paredes de alvenaria, teto de laje ou telha e presença de forro); (4) presença de animais e criadouros de animais (combinação linear de informações sobre presença ou não de gatos, aves de corte, porcos, cavalos, ovinos, caprinos, entre outros, e presença de canil e galinheiro).

- **Aferição de variáveis ambientais por sensoriamento remoto**

a) Imagem utilizada

Para captação de informações ambientais, foram utilizadas as cenas do satélite CBERS 2 (CCD) de julho de 2006, com resolução espacial de 20m e uma CBERS 2B (HRC) de outubro de 2008, com resolução espacial de 2,5m, disponíveis no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

b) Processamento da imagem

Inicialmente foi realizado o registro de imagem CBERS 2 (CCD) de julho de 2006, através da imagem do satélite Landsat 5 de junho de 2006, disponível na página de Internet *Global Land Cover Facility* (GLCF) da Agência Espacial dos Estados Unidos (NASA). Para o registro, foi utilizada a rotina de registro de imagens do software SPRING (INPE, São José dos Campos, Brasil) ¹⁰.

Posteriormente ao registro, as imagens CBERS 2 (CCD) e CBERS 2B (HRC) foram fusionadas para gerar uma imagem multiespectral com alta resolução espacial pelo método de IHS. A técnica de fusão IHS consiste em realizar uma combinação de imagens no sistema de cor vermelha (R), verde (G) e azul (B), para produzir as partes componentes: intensidade (I), que representa a energia total envolvida; matiz (H), que representa a cor dominante ou a medida do comprimento de onda médio da luz que foi refletida ou transmitida; e saturação (S), que expressa o intervalo de comprimento de onda ao redor do comprimento de onda médio, no qual a energia é refletida ou transmitida. Com a obtenção dessas componentes, substitui-se a componente I pela imagem pancromática, de melhor resolução espacial, no procedimento de retorno ao domínio RGB. Dessa maneira, a informação espectral da composição RGB é integrada à informação espacial da banda pancromática ^{11,12}.

Nessa perspectiva, a técnica de fusão IHS possibilita integrar a melhor resolução espacial da banda pancromática com a melhor resolução espectral das demais bandas, produzindo imagem colorida que reúne ambas as características.

A classificação da imagem teve como objetivo extrair variáveis referentes ao “uso e cobertura do solo”. Uso e cobertura do solo são conceitos inter-relacionados mas intrinsecamente diferentes, sendo a cobertura do solo resultante do seu uso ^{13,14}. A cobertura do solo compreende a caracterização biofísica da superfície terrestre, podendo envolver, por exemplo, tipo e quantidade de vegetação, coleções de água, prédios e pavimentação. Já o uso do solo refere-se às formas e finalidades com que o homem utiliza o solo e seus recursos, incluindo agricultura, conservação e preservação de áreas, estruturas construídas com finalidade comercial ou residencial, entre outras ^{14,15}.

São grandes as dificuldades para a produção de mapas separados de “uso do solo” e “cobertura do solo”, particularmente a partir de uma única imagem de SR, já que ambos apresentam diferentes características temporais. Por exemplo, como a “cobertura do solo” pode variar rapidamente, ela tende

a ser definida em um momento específico do tempo, enquanto o “uso do solo” necessita ser avaliado em períodos temporais mais longos^{13,14}. Em que pesem essas diferenças, mapas de cobertura do solo permitem captar características do uso do solo em momentos específicos do tempo. Assim, como este estudo se baseia em uma única imagem de SR, considera-se que a classificação proposta mais propriamente apresenta características simultâneas de “uso e cobertura do solo”, não havendo meios práticos de discriminá-las neste contexto.

Na Tabela 1, são descritas as oito classes de “uso e cobertura do solo” de interesse, assim como a racionalidade epidemiológica para a utilização de cada uma delas no contexto deste estudo^{2,4,16,17,18,19}. Para obtenção dessas classes de “uso e cobertura do solo”, foi realizada uma classificação baseada em objetos (*object-based image analysis* – OBIA), envolvendo cinco etapas: caracterização das classes, segmentação da imagem, elaboração da rede semântica, classificação e avaliação dos resultados.

O procedimento de classificação das imagens, realizado no aplicativo Definiens 7.0 (<http://www.definiens.com/>), incluiu basicamente dois passos: segmentação multirresolução e classificação por algoritmos com lógica *fuzzy* e booleana. Essa abordagem utiliza combinações de informações espectrais, texturais e contextuais/topológicas. Na segmentação, são criados objetos em diferentes escalas, de acordo com critérios de forma, cor e homogeneidade, conectados entre si. Na classificação, os objetos passam a se relacionar por meio da definição de uma rede hierárquica (herança dos atributos

Tabela 1

Descrição das variáveis ambientais utilizadas no estudo e racionalidade epidemiológica para sua utilização.

| Variáveis ambientais (classes) | Descrição | Racionalidade epidemiológica |
|--------------------------------|--|---|
| NDVI alto | % de área das quadrículas com altas densidades de vegetação verde | A maior densidade de vegetação está associada a presença de vetores transmissores da LV e a maior incidência de LV humana ^{2,18,19} |
| NDVI médio | % de área das quadrículas com densidades intermediárias de vegetação verde | |
| NDVI baixo | % de área das quadrículas com baixas densidades de vegetação verde | |
| Solo exposto | % de área das quadrículas coberta por solo exposto | O solo exposto em uma cidade em expansão, como Teresina, representa o processo de urbanização em sua etapa intermediária: destruição ambiental para posterior ocupação com grandes projetos residenciais na periferia da cidade. Foi descrito como elemento da paisagem associado a maior incidência de LV humana ¹⁶ |
| UD alta 1 | % de área das quadrículas coberta por estruturas residenciais com pouca vegetação | O processo de urbanização tem sido associado a um aumento de incidência da LV devido a alta adaptabilidade do principal vetor da LV, <i>Lutzomyia longipalpis</i> , às condições peridomiciliares, explorando o acúmulo de matéria orgânica gerada por animais domésticos e más condições sanitárias ^{2,4,18} |
| UD alta 2 | % de área das quadrículas coberta por estruturas residenciais com muita vegetação | |
| Urbana verde | % de área das quadrículas coberta por estruturas residenciais esparsas com muita vegetação | A presença de vegetação abundante próxima a residências representa o ambiente típico de transmissão da LV em que convivem os ciclos de transmissão silvestre e peridoméstico ¹⁷ |
| Água | % de área das quadrículas coberta por água | Não utilizada nas análises, na medida em que coleções de água não representam habitat preferencial de flebotômicos ² |

LV: leishmaniose visceral; NDVI: *Normalized Difference Vegetation Index*; UD: urbana densa.

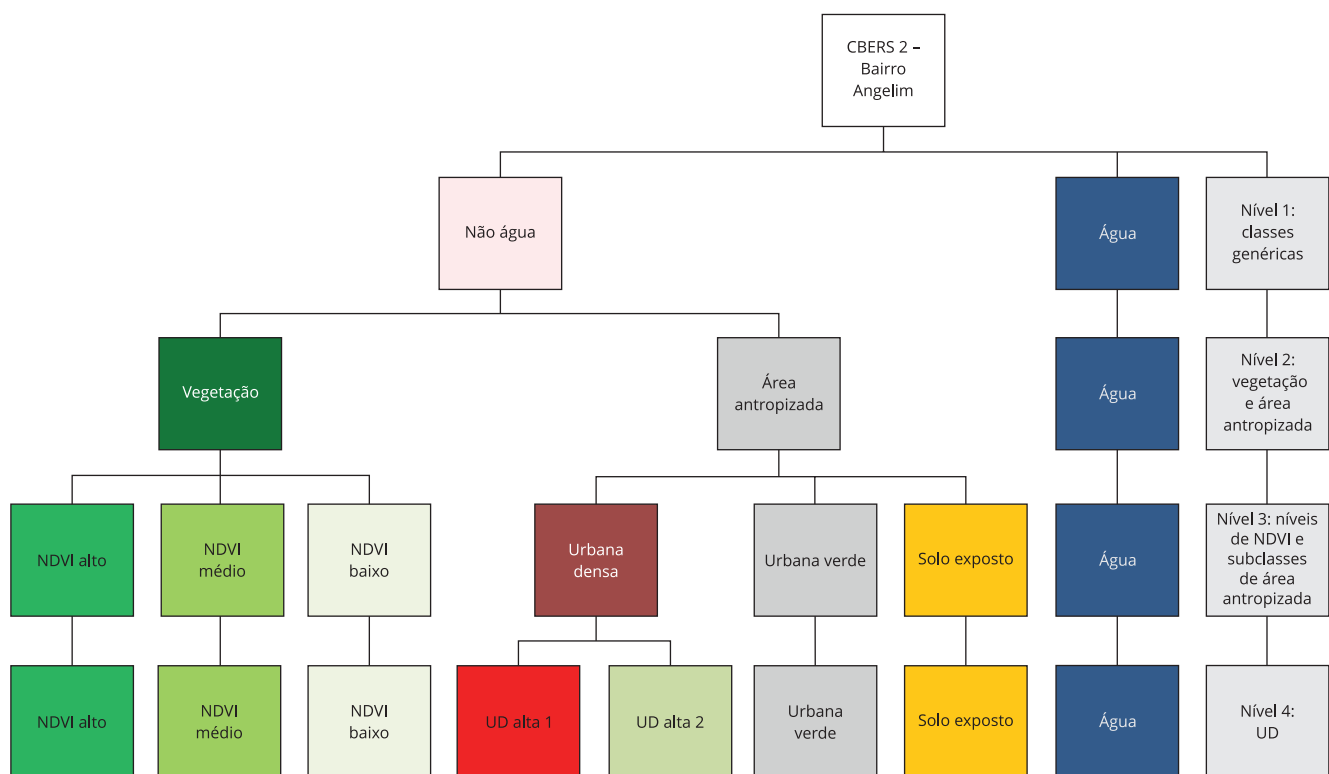
que descrevem a classe) e rede semântica (estrutura lógica de relação entre as classes). Dessa forma, a classificação orientada a objetos realiza-se por meio da análise de segmentos da imagem (objetos), e não apenas sobre os *pixels*. Os objetos com características comuns são agrupados em classes, e as classes são organizadas em forma de rede hierárquica e semântica. A análise de imagens orientada a objetos emprega informações espaciais em seu processamento e, por isso, tem se mostrado mais eficiente na aplicação em áreas urbanas ¹⁶.

A Figura 2 apresenta a rede semântica e os níveis de segmentação e classificação utilizados no processo de classificação. O Nível 1 objetivou discriminar a área de estudo nas superclasses “Água” e “Não água”. O Nível 2 separou a superclasse “Não água” em “Vegetação” e “Área antropizada”. No Nível 3, os níveis do *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) foram utilizados para dividir a superclasse “Vegetação” nas classes “NDVI alto”, “NDVI médio” e “NDVI baixo”, de acordo com as condições e densidade da cobertura vegetal. A superclasse “Área antropizada” também foi subdividida entre as classes “Solo exposto” e área “Urbana verde”; criou-se, ainda, uma superclasse representando área “Urbana densa”. No Nível 4, a superclasse “Urbana densa” foi subdividida nas classes “UD alta 1” e “UD alta 2”, atingindo-se, assim, o nível final de classificação.

Com o intuito de avaliar os erros associados ao processo de classificação, identificaram-se cerca de cinco pontos de referência para cada classe para posterior comparação com classes obtidas por meio do Google Earth (<http://www.google.com/earth>), considerado, nesse caso, o padrão de autenticidade das características de uso e cobertura do solo. Essa comparação é apresentada por meio de uma matriz de confusão ou de erros ²⁰. A matriz de confusão, com acurácia global de 90%, indicou bom desem-

Figura 2

Rede semântica entre as classes e os níveis de segmentação e classificação.



NDVI: *Normalized Difference Vegetation Index*; UD: urbana densa.

penho da classificação, com poucas situações divergentes entre a classificação realizada e o padrão de autenticidade (Google Earth), isto é, existiram poucas situações de classificação fora da diagonal da matriz de confusão (Tabela 2).

c) Definição de variáveis ambientais

A área de estudo foi dividida em quadrículas de 25m de lado (área de 625m²). As características de “uso e cobertura do solo” de cada quadrícula (em quantidade de m²) foram atribuídas aos domicílios nela incluídos. Para os domicílios que se localizaram na interseção de quadrículas, foi feita uma média das características dessas quadrículas, e essa média foi atribuída a esses domicílios.

As variáveis ambientais foram categorizadas em quatro classes, de acordo com a área coberta por cada uma das características de “uso e cobertura do solo” ($\leq 25\text{m}^2$; 26m^2 a 312m^2 ; 313m^2 a 599m^2 ; $\geq 600\text{m}^2$), de forma a situar nas classes extremas aquelas situações em que uma determinada característica de “uso e cobertura do solo” estava presente (classe inferior $\leq 25\text{m}^2$) ou ausente (classe superior $\geq 600\text{m}^2$) em apenas 25m² (até 4%) da área da quadrícula.

Análise dos dados

Para as análises, foram utilizadas apenas as seguintes características de “uso e cobertura do solo”: “urbana densa com pouca vegetação (UD alta 1)”, “urbana densa com muita vegetação (UD alta 2)” e “Urbana verde”, por serem aquelas que apresentaram suficiente variabilidade na área de estudo. As características “NDVI alto” e “NDVI baixo” não ocorreram em nenhuma das quadrículas avaliadas. A característica “NDVI médio” ocorreu em apenas seis quadrículas, e a característica “Solo exposto” em apenas uma quadrícula.

Utilizou-se regressão logística, com correção para o efeito de agregação de domicílios dentro da mesma quadrícula, para estimar *odds ratio* (OR) como medida de associação entre variáveis ambientais e ocorrência de infecção canina, assim como seus respectivos intervalos de 95% de confiança (IC95%).

Para cada uma das variáveis ambientais de interesse central, inicialmente estimaram-se OR brutos e posteriormente OR ajustados pelas covariáveis “escolaridade do chefe do domicílio”, “índice de vulnerabilidade ambiental”, “índice de vulnerabilidade domiciliar” e “presença de animais e criadouros de animais”. Para análise multivariada, foi utilizada cada variável ambiental separadamente, de forma

Tabela 2

Resultado da avaliação da classificação da imagem fusionada CBERS 2 (CCD) de 2006, e CBERS 2B (HRC) 2008, no bairro Angelim, Município de Teresina, Piauí, Brasil.

| Classes | NDVI alto | NDVI médio | NDVI baixo | Solo exposto | UD alta 1 | UD alta 2 | Urbana verde | Água | Não classificada | Total de pixels |
|-------------------|-----------|------------|------------|--------------|-----------|-----------|--------------|------|------------------|-----------------|
| NDVI alto | 27 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 |
| NDVI médio | 0 | 31 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 35 |
| NDVI baixo | 0 | 3 | 25 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 30 |
| Solo exposto | 0 | 0 | 0 | 35 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 38 |
| UD alta 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 27 | 3 | 0 | 0 | 0 | 30 |
| UD alta 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 32 | 0 | 0 | 0 | 36 |
| Urbana verde | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 33 | 0 | 0 | 36 |
| Água | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 | 0 | 20 |
| Não classificada | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total de pixels | 27 | 37 | 27 | 37 | 32 | 38 | 37 | 20 | 0 | 255 |
| Acurácia global * | 0,90 | | | | | | | | | |

NDVI: *Normalized Difference Vegetation Index*; UD: urbana densa.

* Obtida pela divisão do total de classificações corretas (230, somatório da diagonal principal) pelo número total de pixels da matriz de confusão (255).

a evitar colinearidade. As análises foram realizadas utilizando-se o aplicativo Stata 11 (StataCorp LP, College Station, Estados Unidos).

Aspectos éticos

Esta pesquisa utilizou dados de um inquérito soropidemiológico de rotina realizada no bairro Angelim, em 2007, pelo Centro de Controle de Zoonoses (CCZ) do Município de Teresina, Secretaria Municipal de Saúde (SMS). A utilização desses dados para esta pesquisa, sem identificação dos proprietários de cães e com garantia de sigilo, foi concedida pelo chefe do Departamento de Ação Assistencial da SMS.

Resultados

A Figura 3 mostra o resultado da classificação das imagens de satélite. Observa-se que, nas áreas mais urbanizadas, onde se localizam os domicílios investigados para LV canina, as características de uso e cobertura do solo “NDVI alto” e “NDVI baixo” estão ausentes, e as características “NDVI médio” e “Solo exposto” estão presentes em apenas seis e uma das 446 quadrículas avaliadas, respectivamente.

A Tabela 3 mostra a associação entre características ambientais e ocorrência da infecção canina por *Leishmania*. A chance da infecção foi duas vezes maior para domicílios localizados em quadrículas nas quais a área coberta por estruturas residenciais com pouca vegetação (“UD alta 1”) era $\leq 25\text{m}^2$, quando comparadas com aquelas em que essa cobertura alcançava $\geq 600\text{m}^2$, mesmo após ajuste por escolaridade do chefe do domicílio, presença de animais ou abrigos de animais no peridomicílio e indicadores de vulnerabilidade ambiental e domiciliar. De forma análoga, observou-se que domicílios localizados em quadrículas com até metade da área coberta por estruturas residenciais com muita vegetação (“UD alta 2”) apresentavam chances cerca de 65% menores de infecção canina quando comparadas com residências localizadas em áreas quase totalmente cobertas por esse tipo de cobertura do solo. A variável “urbana verde” não apresentou associação estatisticamente significativa com o desfecho.

Discussão

Os resultados deste estudo demonstram que determinadas características do ambiente relacionadas ao uso e cobertura do solo estão associadas à ocorrência de infecção canina por *Leishmania*. Em geral, observou-se que habitações localizadas em áreas com maior cobertura vegetal mais frequentemente albergam cães soropositivos.

Esse resultado é consistente com outros estudos que apontaram maior soropositividade canina para *Leishmania* em moradias próximas a regiões de mata^{21,22,23,24,25,26}. A proximidade de locais com vegetação mais densa favorece uma interação entre ciclos silvestre e peridoméstico da doença e propicia melhores condições para a manutenção de populações de flebotomíneos².

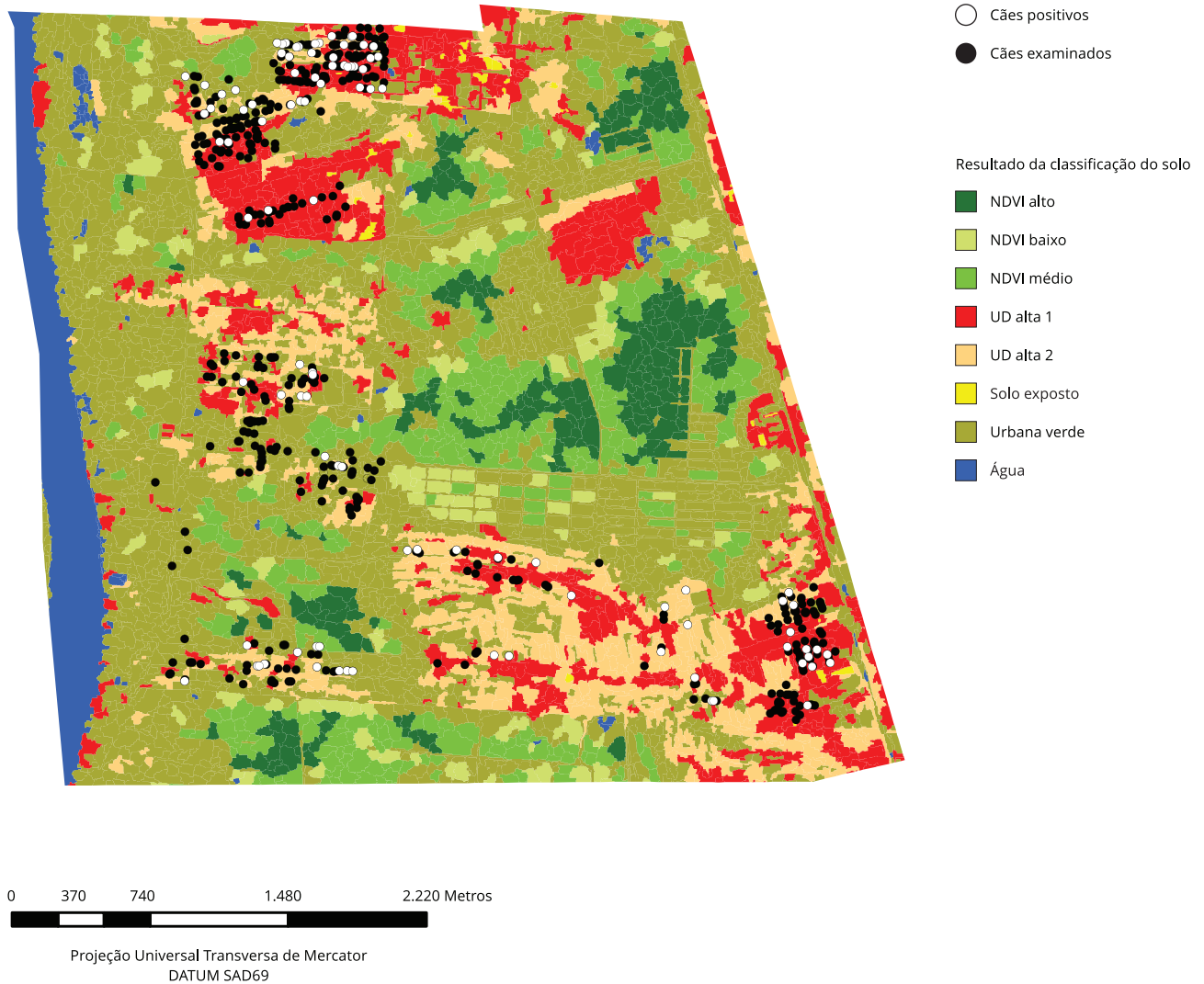
A importância das transformações ambientais no processo de urbanização da LV no país tem sido salientada por diversos autores^{3,4,27,28}, mas ainda são poucos os estudos especificamente delineados para avaliar o papel de características de uso e cobertura do solo na ocorrência da LV em ambiente urbano, especialmente aqueles que focalizam a população canina.

Nesse contexto, sistemas de informações geográficas (SIG) e SR são ferramentas que propiciam uma nova perspectiva para a abordagem deste assunto. O desenvolvimento de estudos neste campo é importante até para que se possa avaliar o potencial efetivo dessas ferramentas nas investigações sobre os fatores relacionados aos padrões de ocorrência e disseminação de doenças transmissíveis e definição de áreas prioritárias para implementação de medidas de controle²⁹.

Abordagens espaciais para estudar a epidemiologia das doenças infecciosas empregando SIG e SR para definir áreas de alto risco de transmissão vêm sendo utilizadas há bastante tempo^{30,31}, principalmente em estudos sobre malária^{30,32}. Entretanto, seu uso para o estudo da LV é bem mais recente e relativamente infrequente, particularmente no Brasil, onde a transmissão é zoonótica³³.

Figura 3

Classes de uso e cobertura do solo e localização de cães positivos e negativos. Bairro Angelim, Teresina, Piauí, Brasil, 2007.



NDVI: *Normalized Difference Vegetation Index*; UD: urbana densa.

Consultando as bases MEDLINE (PubMed) e LILACS em 31 de dezembro de 2015, identificaram-se somente 12 estudos utilizando SR para avaliação da relação entre características de uso e cobertura do solo e a distribuição espacial da LV no contexto brasileiro ^{16,18,19,29,34,35,36,37,38,39,40,41}.

Somente dois desses estudos abordaram a associação entre feições ambientais extraídas de imagens de satélite com a LV canina ^{34,38}. Em um deles, um estudo ecológico em 33 municípios do Estado da Bahia, Bavia et al. ³⁸ encontraram associação inversa entre cobertura vegetal e ocorrência de casos de LV canina. Nesse estudo, a cobertura vegetal foi avaliada por meio do NDVI, obtido por meio de imagens de satélite do sensor AVHRR, com resolução de 64km². Já o estudo de Machado da Silva et al. ³⁷, na localidade de Barra de Guaratiba, no Município do Rio de Janeiro, encontrou mais altos títulos sorológicos para infecção canina por *Leishmania* em áreas com vegetação preservada. Nesse estudo, a caracterização da cobertura vegetal foi obtida por meio de aerofotos.

Tabela 3

Razões de chances (*odds ratios* – OR) e intervalos de 95% de confiança (IC95%) para infecção canina por *Leishmania infantum* associadas às características ambientais do bairro Angelim, Teresina, Piauí, Brasil, 2007.

| Característica | OR bruto | IC95% | OR ajustado * | IC95% * |
|--------------------------------|----------|-----------|---------------|-----------|
| UD alta 1 (m ²) | | | | |
| ≤ 25 | 2,23 | 1,34-3,73 | 2,17 | 1,24-3,80 |
| 26-312 | 0,73 | 0,29-1,81 | 0,89 | 0,36-2,17 |
| 313-599 | 1,49 | 0,67-3,32 | 1,42 | 0,61-3,29 |
| ≥ 600 | 1,00 | | 1,00 | |
| UD alta 2 (m ²) | | | | |
| ≤ 25 | 0,44 | 0,22-0,86 | 0,35 | 0,17-0,72 |
| 26-312 | 0,44 | 0,11-1,03 | 0,36 | 0,14-0,88 |
| 313-599 | 0,56 | 0,24-1,36 | 0,53 | 0,21-1,32 |
| ≥ 600 | 1,00 | | 1,00 | |
| Urbana verde (m ²) | | | | |
| ≤ 25 | 0,69 | 0,38-1,27 | 0,86 | 0,45-1,62 |
| 26-312 | 1,12 | 0,52-2,42 | 1,28 | 0,58-2,83 |
| 313-599 | 0,63 | 0,28-1,39 | 0,72 | 0,32-1,63 |
| ≥ 600 | 1,00 | | 1,00 | |

UD: urbana densa.

* Ajustado por escolaridade do chefe do domicílio, presença de animais ou abrigos de animais no peridomicílio e índices de vulnerabilidade ambiental e domiciliar.

Naqueles outros dez estudos que não avaliaram a LV canina, sete enfocaram a incidência de LV em humanos e três, a presença de flebotomíneos. Ainda com relação aos dez estudos em questão, nove utilizaram imagens de satélite Landsat com resolução de 15 a 30 metros^{16,18,19,29,34,35,39,40,41} e apenas um utilizou imagem IKONOS com resolução de 1 a 4 metros³⁶. No que tange aos aspectos ambientais avaliados, sete avaliaram cobertura vegetal, principalmente por meio do NDVI, e três avaliaram características de uso e cobertura do solo. Seis estudos de LV humana encontraram associação direta entre cobertura vegetal e risco de LV^{16,18,19,29,39,40} e apenas um identificou uma relação inversa⁴¹. Nos estudos de vetores, dois encontraram maior densidade de vetores em áreas com pouca cobertura vegetal^{34,35} e um encontrou uma relação direta entre cobertura vegetal e presença de vetores³⁶.

Esta pesquisa traz uma série de novas contribuições para o estudo das relações entre ambiente e LV. Primeiro, é um dos poucos trabalhos abordando a LV canina zoonótica utilizando imagens de satélite, sendo o que apresenta o maior tamanho amostral. Segundo, exceção feita a um estudo de vetores que utilizou imagem IKONOS³⁶, a presente investigação é a que utiliza imagens de mais alta resolução (2,5 metros) no Brasil, o que tem sido identificado como uma importante característica a ser considerada no estudo da LV, particularmente em meio urbano^{29,42}. Terceiro, o uso da classificação orientada a objeto, que combina informações espectrais com atributos de textura e contexto, permite maior flexibilidade para avaliação de características de uso e cobertura do solo em ambiente urbano¹⁶.

Ainda assim, os resultados aqui apresentados devem ser vistos com cautela. Viés de informação, por exemplo, pode ter ocorrido em relação às perguntas realizadas na entrevista. Entretanto, já que a situação de infecção canina era desconhecida pelo proprietário, julga-se que, se presente, um viés de informação não deve ter sido influenciado pelo diagnóstico da infecção canina, sugerindo um erro não diferencial⁴³. Da mesma forma, a baixa sensibilidade e especificidade do exame sorológico utilizado poderia levar a erros de classificação do desfecho, mas também aqui tenderiam a ser não diferenciais. A definição de “caso”, baseada na existência de pelo menos um cão positivo na residência, também é uma questão a ser considerada na interpretação dos resultados. Por esse critério, são incluídos como “casos” diferentes tipos de domicílios, desde aqueles com apenas um cão (positivo) ou com múltiplos cães, sendo que estes últimos podem albergar apenas um ou diversos cães positivos. Essa heterogenei-

dade na população de “casos” pode encobrir diferenças na força da associação entre características de uso e cobertura do solo e infecção por *Leishmania* no que tange ao número de cães no domicílio. Esse aspecto pode ser importante na medida em que domicílios com apenas um cão positivo podem ter menor relevância para a transmissão do que os domicílios com mais de um cão infectado.

Em que pesem essas limitações, os resultados deste estudo reforçam a hipótese de que a identificação de fatores ambientais associados à LV canina pode ser útil para a delimitação de áreas sob maior risco para LV humana, na medida em que a infecção canina costuma preceder a ocorrência de casos humanos ⁴⁴.

Colaboradores

A. B. F. Figueiredo, G. L. Werneck e A. S. Almeida participaram da concepção e delineamento do artigo, análise e interpretação de dados e redação e aprovação da versão final do artigo, assumindo responsabilidade por todos os aspectos do trabalho em termos de sua exatidão e integridade. M. S. P. Cruz e J. P. Silva participaram da coleta, análise e interpretação de dados e redação e aprovação da versão final do artigo, assumindo responsabilidade por todos os aspectos do trabalho em termos de sua exatidão e integridade.

Agradecimentos

Os autores agradecem à chefe do Departamento de Ação Assistencial da Secretaria Municipal de Saúde de Teresina, à época da realização do estudo, por permitir a utilização dos dados para esta pesquisa. Agradecemos também aos profissionais de saúde comunitária Ricardo, Marilene, Marcos, Edson e Assis por sua assistência durante a coleta de dados.

Referências

1. Alvar J, Velez ID, Bern C, Herrero M, Desjeux P, Cano J, et al. Leishmaniasis worldwide and global estimates of its incidence. *PLoS One* 2012; 7:e35671.
2. Lainson R, Rangel EF. *Lutzomyia longipalpis* and the eco-epidemiology of American visceral leishmaniasis, with particular reference to Brazil: a review. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 2005; 100:811-27.
3. Werneck GL. Forum: geographic spread and urbanization of visceral leishmaniasis in Brazil. Introduction. *Cad Saúde Pública* 2008; 24:2937-40.
4. Rangel EF, Vilela ML. *Lutzomyia longipalpis* (Diptera, Psychodidae, Phlebotominae) and urbanization of visceral leishmaniasis in Brazil. *Cad Saúde Pública* 2008; 24:2948-52.
5. Departamento de Vigilância Epidemiológica, Secretaria de Vigilância em Saúde, Ministério da Saúde. Manual de vigilância e controle da leishmaniose visceral. Brasília: Ministério da Saúde; 2006.
6. Romero GA, Boelaert M. Control of visceral leishmaniasis in Latin America: a systematic review. *PLoS Negl Trop Dis* 2010; 4:e584.
7. Werneck GL, Costa CH, de Carvalho FA, Pires e Cruz MS, Maguire JH, Castro MC. Effectiveness of insecticide spraying and culling of dogs on the incidence of *Leishmania infantum* infection in humans: a cluster randomized trial in Teresina, Brazil. *PLoS Negl Trop Dis* 2014; 8:e3172.
8. Belo VS, Struchiner CJ, Werneck GL, Barbosa DS, de Oliveira RB, Teixeira Neto RG, et al. A systematic review and meta-analysis of the factors associated with *Leishmania infantum* infection in dogs in Brazil. *Vet Parasitol* 2013; 195:1-13.
9. da Silva JP, Werneck GL, Macedo EC, de Carvalho H, Cruz MS. Factors associated with *Leishmania chagasi* infection in domestic dogs from Teresina, State of Piauí, Brazil. *Rev Soc Bras Med Trop* 2012; 45:480-4.
10. Camara G, Souza RCM, Freitas UM, Garrido J. Spring: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. *Comput Grap* 1996; 20:395-403.

11. Mather PM. Computer processing of remotely-sensed images: an introduction. 3rd Ed. Chichester: John Wiley & Sons; 2004.
12. Tu T, Su S, Shyu H, Huang PS. Efficient intensity-hue-saturation-based image fusion with saturation compensation. *Opt Eng* 2001; 40:720-8.
13. Comber AJ. Land use or land cover? *J Land Use Sci* 2008; 3:199-201.
14. Múcher CA, Stomph TJ, Fresco LO. Proposal for a global land use classification. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations/Enschede: International Institute For Aerospace Survey and Earth Sciences/Wageningen: Wageningen Agricultural University; 1993.
15. Di Gregorio A, Jansen LJM. A new concept for a land cover classification system. *The Land* 1998; 2:55-65.
16. Almeida AS, Werneck GL, Resendes APC. Classificação orientada a objeto de imagens de sensoriamento remoto em estudos epidemiológicos sobre leishmaniose visceral em área urbana. *Cad Saúde Pública* 2014; 30:1639-53.
17. Harhay MO, Olliaro PL, Costa DL, Costa CH. Urban parasitology: visceral leishmaniasis in Brazil. *Trends Parasitol* 2011; 27:403-9.
18. Cerbino Neto J, Werneck GL, Costa CHN. Factors associated with the incidence of urban visceral leishmaniasis: an ecological study in Teresina, Piauí State, Brazil. *Cad Saúde Pública* 2009; 25:1543-51.
19. Werneck GL, Costa CHN, Walker AM, David JR, Wand M, Maguire JH. Multilevel modeling of the incidence of visceral leishmaniasis in Teresina, Brazil. *Epidemiol Infect* 2007; 135:195-201.
20. Congalton R, Green K. Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. Boca Raton: CRC/Lewis Press; 1999.
21. Rondon FC, Bevilaqua CM, Franke CR, Barros RS, Oliveira FR, Alcântara AC, et al. Cross-sectional serological study of canine *Leishmania* infection in Fortaleza, Ceará state, Brazil. *Vet Parasitol* 2008; 155:24-31.
22. Cabrera MA, Paula AA, Camacho LA, Marzochi MC, Xavier SC, Silva AV, et al. Canine visceral leishmaniasis in Barra de Guaratiba, Rio de Janeiro, Brazil: assessment of risk factors. *Rev Inst Med Trop São Paulo* 2003; 45:79-83.
23. Almeida AB, Faria RP, Pimentel MF, Dahroug MA, Turbino NC, Sousa VR. Inquérito soropidemiológico de leishmaniose canina em áreas endêmicas de Cuiabá, Estado de Mato Grosso. *Rev Soc Bras Med Trop* 2009; 42:156-9.
24. Barbosa DS, Rocha AL, Santana AA, Souza C, Dias RA, Costa-Júnior LM, et al. Soroprevalência e variáveis epidemiológicas associadas à leishmaniose visceral canina em área endêmica no município de São Luís, Maranhão, Brasil. *Ciência Animal Brasileira* 2010; 11:653-9.
25. da Costa AP, Costa FB, Soares HS, Ramirez DG, de Carvalho Araújo A, da Silva Ferreira JI, et al. Environmental factors and ecosystems associated with canine visceral leishmaniasis in Northeastern Brazil. *Vector Borne Zoonotic Dis* 2015; 15:765-74.
26. Lopes PM, Sorte EC, Gasparetto ND, Oliveira CM, Almeida AB, Sousa VR. Seroprevalence and risk factors associated with visceral leishmaniasis in dogs in Jaciara, State of Mato Grosso. *Rev Soc Bras Med Trop* 2014; 47:791-5.
27. Maia-Elkhoury AN, Alves WA, Sousa-Gomes ML, Sena JM, Luna EA. Visceral leishmaniasis in Brazil: trends and challenges. *Cad Saúde Pública* 2008; 24:2941-7.
28. Oliveira CD, Morais MH, Machado-Coelho GL. Visceral leishmaniasis in large Brazilian cities: challenges for control. *Cad Saúde Pública* 2008; 24:2953-8.
29. Almeida AS, Werneck GL. Prediction of high-risk areas for visceral leishmaniasis using socioeconomic indicators and remote sensing data. *Int J Health Geogr* 2014; 13:13.
30. Correia VRM, Carvalho MS, Sabroza PC, Vasconcelos CH. Remote sensing as a tool to survey endemic diseases in Brazil. *Cad Saúde Pública* 2004; 20:891-904.
31. Hugh-Jones M. Applications of remote sensing to the identification of the habitats of parasites and disease vectors. *Parasitol Today* 1989; 5:244-51.
32. Machault V, Vignolles C, Borch F, Vounatsou P, Pages F, Briolant S, et al. The use of remotely sensed environmental data in the study of malaria. *Geospat Health* 2011; 5:151-68.
33. Bhunia GS, Dikhit MR, Kesari S, Sahoo GC, Das P. Role of remote sensing, geographical information system (GIS) and bioinformatics in kala-azar epidemiology. *J Biomed Res* 2011; 25:373-84.
34. Casaril AE, Monaco NZ, de Oliveira EF, Eguchi GU, Paranhos Filho AC, Pereira LE, et al. Spatiotemporal analysis of sandfly fauna (Diptera: Psychodidae) in an endemic area of visceral leishmaniasis at Pantanal, central South America. *Parasit Vectors* 2014; 7:364.
35. de Andrade AR, da Silva BA, Cristaldo G, de Andrade SM, Paranhos Filho AC, Ribeiro A, et al. Spatial distribution and environmental factors associated to phlebotomine fauna in a border area of transmission of visceral leishmaniasis in Mato Grosso do Sul, Brazil. *Parasit Vectors* 2014; 7:260.
36. Oliveira EF, Silva EA, Fernandes CE, Paranhos Filho AC, Gamarra RM, Ribeiro AA, et al. Biotic factors and occurrence of *Lutzomyia longipalpis* in endemic area of visceral leishmaniasis, Mato Grosso do Sul, Brazil. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 2012; 107:396-401.
37. Machado da Silva AV, Magalhães MA, Peçanha Brazil R, Carreira JC. Ecological study and risk mapping of leishmaniasis in an endemic area of Brazil based on a geographical information systems approach. *Geospat Health* 2011; 6:33-40.
38. Bavia ME, Carneiro DD, Gurgel HC, Madureira Filho C, Barbosa MG. Remote sensing and geographic information systems and risk of American visceral leishmaniasis in Bahia, Brazil. *Parassitologia* 2005; 47:165-9.

39. Thompson RA, Lima JWO, Maguire JH, Braud DH, Scholl DT. Climatic and demographic determinants of American visceral leishmaniasis in northeastern Brazil using remote sensing technology for environmental categorization of rain and region influences on leishmaniasis. *Am J Trop Med Hyg* 2002; 67:648-55.
40. Werneck GL, Maguire JH. Spatial modeling using mixed models: an ecologic study of visceral leishmaniasis in Teresina, Piauí State, Brazil. *Cad Saúde Pública* 2002; 18:633-7.
41. Carneiro D, Bavia ME, Rocha W, Lobão J, Madsureira Filho C, Oliveira JB, et al. Identificação de áreas de risco para a leishmaniose visceral americana, através de estudos epidemiológicos e sensoriamento remoto orbital, em Feira de Santana, Bahia, Brasil (2000-2002). *Rev Baiana Saúde Pública* 2004; 28:19-32.
42. Souza IM, Alves CD, Almeida CM, Pinho CMD. Caracterização socioeconômica do espaço residencial construído utilizando imagens de alta resolução espacial e análise orientada a objeto. *Geografia* 2007; 16:119-42.
43. Szklo M, Javier Nieto F. *Epidemiology: beyond the basics*. 3rd Ed. Burlington: Jones & Bartlett Learning; 2014.
44. Oliveira CL, Assunção RM, Reis IA, Proietti FA. Spatial distribution of human and canine visceral leishmaniasis in Belo Horizonte, Minas Gerais State, Brazil, 1994-1997. *Cad Saúde Pública* 2001; 17:1231-9.

Abstract

This study examines the association between land use and land cover and the occurrence of canine visceral leishmaniasis (VL). This is a case-control study in which cases were households with seropositive dogs for canine VL and controls were households with seronegative dogs. We used remote sensing images (CBERS: 2/CCD and 2B/HRC) to describe land use and cover in squares of 625m² in the study area. Odds of canine VL were twice as high in households located in squares with an area $\leq 25\text{m}^2$ covered by residential structures with little vegetation in comparison to those where the cover reached $\geq 600\text{m}^2$. Households located in squares with up to half of the area covered by residential structures with extensive vegetation showed 65% lower odds of canine VL in comparison to those situated in areas almost totally covered by this characteristic. Since canine infection usually precedes the occurrence of human cases, identification of the characteristics of land use and cover associated with canine VL can contribute to the demarcation of risk areas for human VL.

Visceral Leishmaniasis; Dogs; Remote Sensing Technology

Resumen

Este estudio examina la asociación entre uso y cobertura del suelo y la ocurrencia de leishmaniosis visceral (LV) canina. Es un estudio de caso-control, donde los casos fueron analizados en residencias con perros seropositivos para LV canina y controles, además de residencias con perros seronegativos. Se utilizaron imágenes de teledetección (CBERS: 2/CCD e 2B/HRC) para describir el uso y cobertura del suelo en cuadrículas de 625m² en la región del estudio. La oportunidad de la LV canina fue dos veces mayor en domicilios localizados en cuadrículas con un área $\leq 25\text{m}^2$, cubierta por estructuras residenciales con poca vegetación, en comparación con aquellas donde esa cobertura alcanzó $\geq 600\text{m}^2$. Los domicilios localizados en cuadrículas con hasta la mitad del área cubierta por estructuras residenciales con mucha vegetación tuvieron oportunidades un 65% menores de LV canina, en comparación con aquellas situadas en áreas casi totalmente cubiertas por esa característica. Como la infección canina acostumbra preceder la ocurrencia de casos humanos, la identificación de las características de uso y cobertura del suelo, asociadas a la LV canina, puede contribuir a la delimitación de áreas de riesgo para LV humana.

Leishmaniasis Visceral; Perros; Tecnología de Sensores Remotos

Recebido em 31/Mai/2016

Versão final reapresentada em 28/Dez/2016

Aprovado em 06/Jan/2017