

Leishmaniose Cutânea no Estado do Pará, Brasil: Análise Baseada em Lógica Fuzzy

Cutaneous Leishmaniasis in Pará State, Brazil: Analysis Based on Fuzzy Logic

Leishmaniasis Cutánea en el Estado de Pará, Brasil: Análisis Basado en Lógica Difusa

Bruna Costa de Souza¹, Gabriela Sato Santa Brígida¹, Claudia do Socorro Carvalho Miranda², Danilo de Souza Novaes¹, Roberto Carlos Figueiredo³, Simone Beverly Nascimento da Costa⁴, Silvana Rossy de Brito⁵, Emerson Cordeiro Morais⁵, Leonardo Luis de Oliveira Miranda⁶, Nelson Veiga Gonçalves⁷

RESUMO

Descritores: Leishmaniose Cutânea, Lógica Fuzzy, Epidemiologia

Objetivo: Analisar a ocorrência da leishmaniose cutânea e sua associação com variáveis epidemiológicas, socioeconômicas e de políticas públicas em saúde, utilizando um sistema *fuzzy*, nas regiões de integração do estado do Pará, no período de 2015 a 2019. **Métodos:** Neste estudo experimental foram utilizados dados oficiais epidemiológicos, socioeconômicos e de políticas públicas em saúde, cuja associação foi analisada por um sistema *fuzzy*, utilizando um algoritmo de inferência mamdani, desenvolvido com *python* 3.7. Para validação dos resultados foi realizada uma análise da associação entre a ocorrência dos casos da doença e o desmatamento. **Resultados:** A região do Xingu apresentou o maior risco para a doença com grandes diferenças nas pertinências de suas variáveis, bem como o maior percentual de incremento do desmatamento. **Conclusão:** O sistema foi satisfatório para identificar regiões com maior risco para a doença e necessidade de intensificação de ações de vigilância em saúde.

ABSTRACT

Keywords Cutaneous Leishmaniasis, Fuzzy Logic, Epidemiology

Objective: This study aimed to analyze the occurrence of cutaneous leishmaniasis and its association with epidemiological, socioeconomic and public health policy variables, using a fuzzy system, in the integration regions of the state of Pará, from 2015 to 2019. **Methods:** In this experimental study official epidemiological, socioeconomic and public health policy data were used, whose association was analyzed by a fuzzy system, using a mamdani inference algorithm, developed with *python* 3.7. To validate the results, an analysis of the association between the occurrence of cases of the disease and deforestation was performed. **Results:** The Xingu region presented the highest risk for the disease with great differences in the relevance of its variables, as well as the highest percentage of increase in deforestation. **Conclusion:** The system was satisfactory for identifying regions with greater risk for the disease with need to intensify health surveillance actions.

RESUMEN

Descriptores Leishmaniasis Cutánea, Lógica difusa, Epidemiología

Objetivo: Analizar la ocurrencia de la leishmaniasis cutánea y su asociación con variables epidemiológicas, socioeconómicas y de políticas públicas en salud, utilizando un sistema *fuzzy*, en las regiones de integración del estado de Pará, de 2015 a 2019. **Métodos:** En este estudio experimental se utilizaron datos epidemiológicos oficiales, socioeconómicos y políticas de salud pública, cuya asociación fue analizada por un sistema *fuzzy*, utilizando un algoritmo de inferencia mamdani, desarrollado con *python* 3.7. Para validar los resultados, se realizó un análisis de la asociación entre la aparición de casos de la enfermedad y la deforestación. **Resultados:** La región de Xingu presentó el mayor riesgo de la enfermedad con grandes diferencias en la pertinencia de sus variables, así como el mayor porcentaje de aumento de la deforestación. **Conclusión:** El sistema resultó satisfactorio para identificar las regiones con mayor riesgo de enfermedad y la necesidad de intensificar las acciones de vigilancia en salud.

1 Bacharel em Sistemas de Informação pela Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, Belém (PA), Brasil.

2 Doutora em Biologia Parasitária na Amazônia pela Universidade do Estado do Pará – UEPA, Belém (PA), Brasil.

3 Mestre em Saúde Ambiente e Sociedade pela Universidade Federal do Pará – UFPA, Belém (PA), Brasil.

4 Professor do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, da Universidade do Estado do Pará – UEPA, Belém (PA), Brasil.

5 Professor do Instituto Ciberespacial, da Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, Belém (PA), Brasil.

6 Estudante de Graduação. Licenciatura Plena em Matemática, Universidade Federal do Pará – UFPA, Belém (PA), Brasil.

7 Professor do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, da Universidade do Estado do Pará – UEPA, Belém (PA), Brasil e Professor (a) do Instituto Ciberespacial, da Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, Belém (PA), Brasil.

INTRODUÇÃO

A Leishmaniose Cutânea (LC) é uma doença infecciosa de etiologia parasitária de notificação compulsória, que acomete pele e mucosas, sendo considerada um grande problema de saúde pública devido a sua incapacitância e alta prevalência⁽¹⁾. Essa doença é causada por protozoários do gênero *Leishmania* pertencentes à família *Trypanosomatidae* e transmitido de forma vetorial pela picada do mosquito fêmea infectado do gênero *Flebotomo*. O principal sinal clínico dessa enfermidade é a presença de lesões cutâneas ou mucosas, podendo ser localizadas ou disseminadas, com possível evolução para deformidades permanentes quando não tratadas⁽²⁾.

Na última década, a Organização Pan-americana da Saúde identificou na América do Sul um decréscimo no número total de casos notificados anualmente, sendo que em 2015 foi registrada a menor quantidade de casos novos. No ano de 2017, foram relatados no Brasil 72,6% do total de casos⁽³⁾. Neste país, a distribuição espacial da LC mostrou maior prevalência da doença nos estados pertencentes a região norte, onde foram notificados 42.833 casos da doença, no período de 2015 a 2019. Este fato colocou a região amazônica como área que apresenta os maiores índices de prevalência do país, sendo que os estados do Pará, Amazonas e Acre com o maior número de notificações⁽⁴⁾.

No estado do Pará, neste período, foi observado um gradiente expressivo de notificação de casos da doença entre as regiões de integração do mesmo, possivelmente relacionado às suas características socioeconômicas e ambientais. Neste contexto, estudos recentes têm associado a escolaridade e a renda com a ocorrência de diversas doenças infecciosas, tais como a LC⁽⁵⁾. Este fato torna este indicador um fator de risco expressivo para a doença, pois os seus perfis epidemiológicos evidenciam que as populações residentes em territórios com baixos indicadores relacionados a estas variáveis estão mais expostas ao adoecimento. Esta situação pode ser observada nas diversas regiões do estado do Pará que apresentam simultaneamente precariedades socioeconômicas e alta prevalência da doença⁽⁶⁾.

Nesse período, grandes alterações ambientais provocadas por formas não sustentáveis de uso e ocupação da terra e a presença da LC tem ocorrido nas diversas regiões do estado do Pará⁽⁶⁾. Este processo pode estar associado à precariedade de políticas públicas em saúde principalmente no que diz respeito ao acompanhamento e ao controle da doença. Assim, a ocorrência simultânea de condicionantes socioeconômicas, ambientais e de políticas públicas nos municípios do estado estabelece diferentes cenários epidemiológicos para a LC, cuja dificuldade de análise está relacionada principalmente às diferentes escalas espaciais destas variáveis. Desta forma, o desenvolvimento desses cenários se constitui de um grande desafio para a epidemiologia⁽⁷⁻⁸⁾.

Nesse contexto, a lógica *fuzzy*, que é uma técnica de representação do conhecimento originária da Inteligência Artificial (IA), tem sido largamente utilizada em estudos epidemiológicos, por ser baseada em modelos que permitem a realização de análises qualitativas de classificação de dados e informações não binárias, baseadas em funções de pertinência. Esta técnica possibilita maior contextualização da ocorrência de doenças de diversas etiologias principalmente as parasitárias, devido a necessidade de processar as variáveis (ambientais, socioeconômicas, políticas públicas, dentre outras) relacionadas aos seus fatores de risco, no sentido da observação de sua possível dependência espacial. Por se apresentarem em diferentes escalas espaciais, estas variáveis podem gerar “erros” ou “ruidos”, necessitando desta forma serem tratadas como dados “imprecisos” ou “nebulosos”, de caráter semântico (muito baixo, baixo, moderado, alto, muito alto)⁽⁹⁻¹²⁾.

Dado o exposto, este trabalho teve como objetivo analisar a ocorrência da LC e sua associação com variáveis epidemiológicas, socioeconômicas e de políticas públicas em saúde utilizando um sistema *fuzzy*, nas regiões de integração do estado do Pará, no período de 2015 a 2019.

MÉTODOS

Neste estudo experimental, foi desenvolvido um modelo *fuzzy* para estimar a ocorrência da LC, nas 12 regiões de integração do estado do Pará, considerando os seus gradientes de fatores de risco condicionantes. Para tal, os dados ambientais relacionados ao incremento do desmatamento foram obtidos no PRODES⁽¹³⁾, do Instituto de Pesquisas Espaciais. Os dados socioeconômicos de escolaridade e renda foram obtidos no Censo 2010⁽¹⁴⁾, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Os dados epidemiológicos de prevalência, os de políticas públicas relacionados a Cobertura de Serviços e Estabelecimentos de Saúde (CSES) e sobre os programas de Atenção Básica em Saúde (ABS) foram obtidos no Sistema de Informação de Agravos de Notificação⁽¹⁵⁾, no Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde⁽¹⁶⁾ e no E-gestor⁽¹⁷⁾, todos do Ministério da Saúde.

As variáveis de entrada categorizadas como epidemiológica (prevalência) foi calculada através da razão entre o número de casos do período e a população, considerando uma base referencial da mesma. Já as socioeconômicas (escolaridade e renda) foram obtidas pela média de pessoas com instrução a partir do ensino médio e que recebem até meio salário-mínimo. Por último, os dados das variáveis de políticas públicas (CSES e ABS) foram calculados pelo somatório de estabelecimentos e a cobertura dos programas de atenção básica em saúde dos municípios. Nesses cálculos foram considerados todos os municípios pertencentes às regiões de integração para a construção da base de dados epidemiológicos, socioeconômicos e de políticas públicas utilizada para alimentar o sistema *fuzzy* desenvolvido, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Fragmento da base de dados epidemiológicos, socioeconômicos e de políticas públicas de alimentação do sistema *fuzzy* desenvolvido.

Região de Integração	Prevalência	Escolaridade	Renda	ABS	CSES
Araguaia	20,630	6,7	52,6	72,1	476
Baixo Amazonas	36,740	8,46	65,5	65,6	474
Carajás	15,400	8,05	49,5	77	322
Guajará	0,250	11,190	38,1	55,4	528
Guamá	3,230	7,53	62,4	98,1	555
Lago de Tucuruí	25,800	6,19	63,1	64,7	264
Marajó	16,520	5,33	78,1	50,6	393
Rio Caeté	12,720	6,12	71,9	100	437
Rio Capim	24,390	6,1	67,5	75,8	444
Tapajós	59,330	6,77	56,6	73,1	170
Tocantins	8,360	7,29	69,6	54,6	404
Xingu	78,140	6,69	62,4	64,3	343

Fonte: protocolo de pesquisa, 2022.

A variável de saída foi o risco (R) para cada região de integração, classificado em cinco funções de pertinência: muito baixo, baixo, moderado, alto e muito alto. O sistema desenvolvido operou com um motor de inferência, utilizando a lógica *fuzzy*, constituído pelas seguintes etapas de processamento: módulo de entrada de dados objetivando a "fuzzificação" dos mesmos; base de regras para relacionar as entradas e as saídas do sistema com um módulo de saída para a "defuzzificação". As regras utilizaram a seguinte sintaxe: *se "antecedente" então "consequente"*, considerando o antecedente relacionado a dois ou mais dados "fuzzificados" através de operadores lógicos e o consequente como sendo o resultado do cálculo dos riscos.

Para correlacionar os dados *fuzzy* de entrada e de saída a partir das 5 regras resultantes da combinação das 5 variáveis de entrada (Quadro 1) foi utilizado um motor de inferência Mamdani⁽¹⁸⁾. Este processo objetivou a superposição dos consequentes das regras que foram ati-

vadas (com grau de pertinência maior que zero), considerando a função de pertinência gaussiana. Na sequência foi realizada a "defuzzificação", baseada no método centro de área, que transformou a saída *fuzzy* em um valor numérico representativo⁽¹⁹⁾. O sistema foi desenvolvido utilizando *Electron* 15.3.0, *React* 17.0.2 e a biblioteca *skikit-fuzzy* 0.4.2 da linguagem de programação Python 3.7.

Para validação dos resultados do processamento do sistema *fuzzy* desenvolvido, os mesmos foram relacionados ao perfil epidemiológico da doença, além da sua ocorrência e do incremento do desmatamento na área e período de estudo, utilizando uma tabela e gráficos de tendência linear com o software Excel 2016. A comprovação da verdade terrestre ocorreu em duas excursões de campo. Devido a utilização de dados epidemiológicos e socioeconômicos não identificados de fontes secundárias e obtidos em sistemas governamentais de acesso público e irrestrito, foi dispensada a submissão do estudo ao Comitê de Ética em Pesquisa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

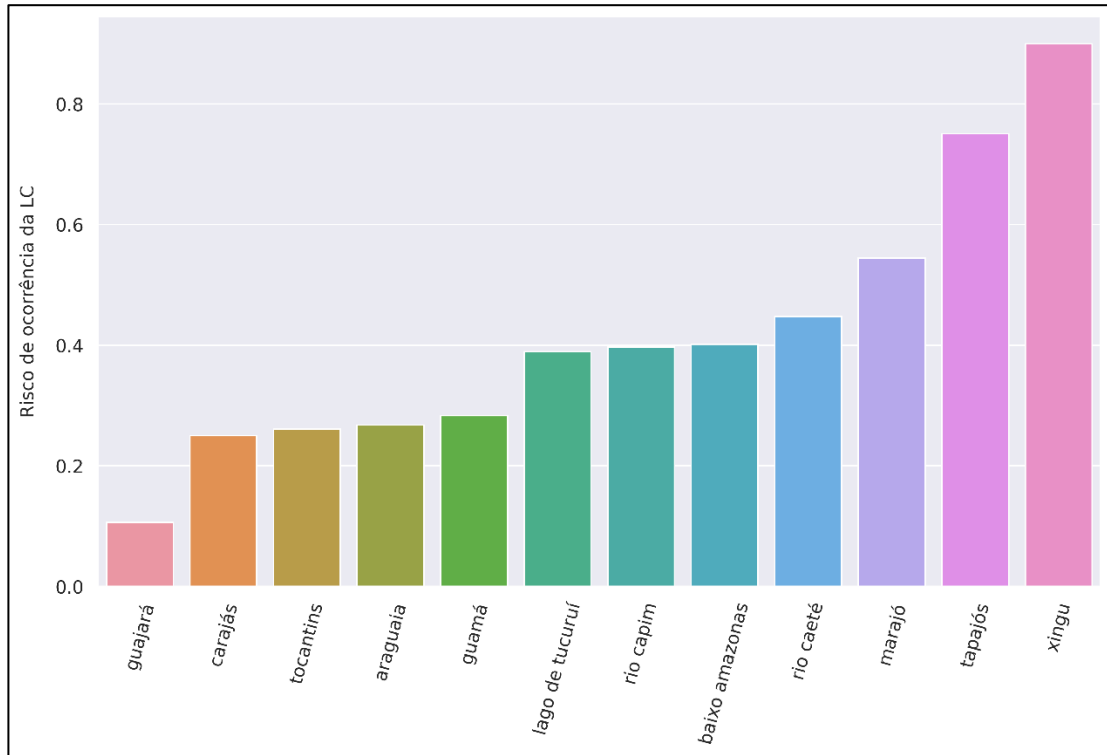
O processamento dos dados socioeconômicos e epidemiológicos das regiões de integração do estado do Pará realizado pelo sistema *fuzzy*, mostrou que a região do Xingu (formada pelos municípios de Altamira, Anapu, Brasil Novo, Medicilândia, Pacajá, Placas, Porto de Moz, Senador José Porfírio, Uruará e Vitória do Xingu), com aproximadamente 331 mil habitantes e localizada na área de influência da BR-230, obteve o maior risco para a ocorrência da LC (Figura 1).

A região de integração do Xingu, onde foi identificado o maior percentual de risco para a LC no estado, apresentou como resultado da "defuzzificação" das variáveis de entrada: prevalência muito alta (78,14%), ABS baixa (64,25%), CSES moderada (n=343), escolaridade baixa (6,69%) e renda alta (62,39%). O risco decorrente do processamento foi muito alto (89,2%) (Figura 2).

Quadro 1 – Base de regras do sistema *fuzzy* desenvolvido.

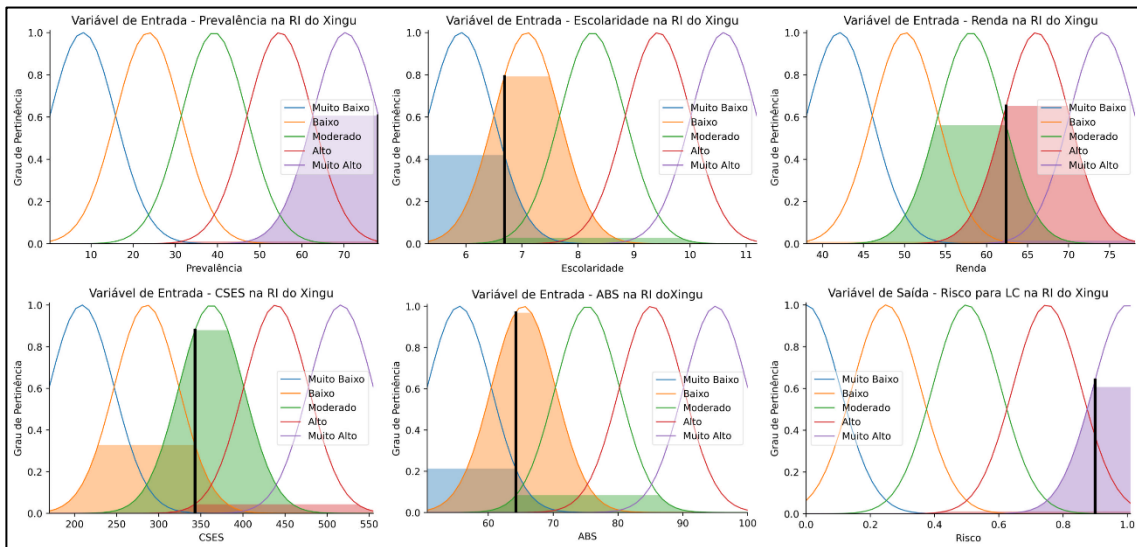
Regra 1	SE ((Renda é Muito Baixa OU Renda é Baixa) OU (Escolaridade é Muito Alta OU escolaridade é Alta)) E ((CSES é Muito Alta OU CSES é Alta) OU (ABS é Muito Alta OU ABS é Alta)) E (Prevalência é Muito Baixa) ENTÃO Risco é Muito Baixo
Regra 2	SE ((Renda é Moderada OU Renda é Baixa) OU (Escolaridade é Moderada OU Escolaridade é Alta)) E ((CSES é Moderada OU CSES é Alta) OU (ABS é Moderada OU ABS é Alta)) E (Prevalência é Baixa) ENTÃO Risco é Baixo
Regra 3	SE ((Renda é Moderada OU Escolaridade é Moderada) E (CSES é Moderada OU ABS é Moderada)) E (Prevalência é Moderada) ENTÃO Risco é Moderado
Regra 4	SE ((Renda é Moderada OU Renda é Alta) OU (Escolaridade é Moderada OU Escolaridade é Baixa)) E ((CSES é Moderada OU CSES é Baixa) OU (ABS é Moderada OU ABS é Baixa)) E (Prevalência é Alto) ENTÃO Risco é Alto
Regra 5	SE ((Renda é Muito Alta OU Renda é Alta) OU (Escolaridade é Muito Baixa OU Escolaridade é Baixa)) E ((CSES é Muito Baixa OU CSES é Baixa) OU (ABS é Muito Baixa OU ABS é Baixa)) E (Prevalência é Muito Alta) ENTÃO Risco é Muito Alto

Fonte: Protocolo de pesquisa, 2022.



Fonte: Protocolo de pesquisa, 2022.

Figura 1 – Risco de ocorrência da LC por região de integração do estado do Pará.



Fonte: Protocolo de pesquisa, 2022.

Figura 2 – “Defuzzificação” das variáveis de entrada (socioeconômicas e epidemiológicas) e de saída (R), da região de integração do Xingu, estado do Pará.

Na região de integração do Xingu, onde foi identificado o maior risco para a LC foram analisados 3109 casos, cujo perfil epidemiológico evidenciou a maior ocorrência da mesma em indivíduos do sexo masculino (77,77%), adultos (67,19%), de etnia parda (71,18%), com ensino fundamental (53,84%) e moradores da zona rural (66,74%), conforme pode ser observado na Tabela 2.

A análise da série histórica de casos da LC, na área e período de estudo, mostrou que a região de integração do Xingu apresentou as maiores ocorrências da doença

e de incremento do desmatamento, inclusive com tendência linear de crescimento (Figura 3).

Tabela 2 – Perfil epidemiológico dos casos de LC, na região de integração do Xingu, de 2015 a 2019.

Variáveis		N = 3109	%
Gênero	Masculino	2418	77,77
	Feminino	691	22,23
Faixa Etária	Criança (< 14)	431	13,86
	Adolescente (15-19)	414	13,32
	Adulto (20-59)	2089	67,19
	Idoso (>60)	175	5,63
	Ignorado	0	0,00
Etnia	Parda	2213	71,18
	Branca	491	15,79
	Preta	189	6,08
	Indígena	33	1,06
	Amarela	72	2,32
	Ignorado	111	3,57
	Analfabeto	87	2,80
Escolaridade	Não se aplica	160	5,15
	Ensino fundamental	1674	53,84
	Ensino médio	278	8,94
	Ensino Superior	38	1,22
	Ignorado	878	28,24
Zona	Rural	2075	66,74
	Urbana	899	28,92
	Periurbana	16	0,51
	Ignorado	119	3,83

Fonte: Protocolo de pesquisa, 2022.

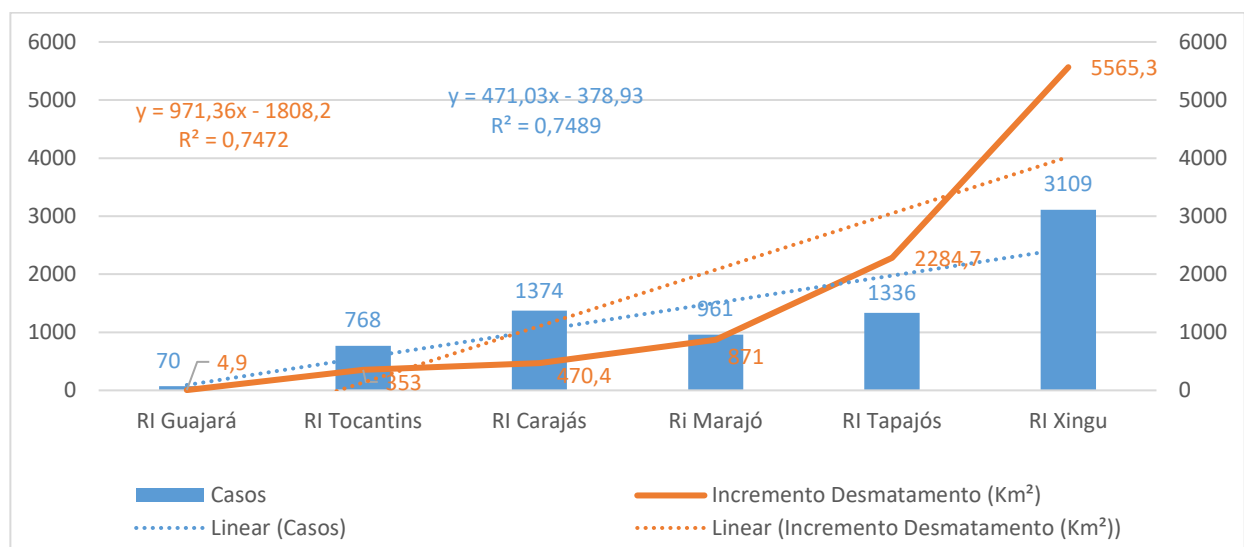
De forma geral, a identificação do maior risco para a LC na região de integração do Xingu acompanha os indicadores de ocorrência da doença e de seus fatores de risco no estado do Pará, nas últimas duas décadas^(2,4). Esse cenário pode estar relacionado à evidência de padrões diferenciados de implementação de políticas públicas em saúde e condições de vida das populações dos

municípios que formam essas duas regiões, observadas no laboratório e nos trabalhos de campo em alguns municípios das mesmas.

A ocorrência de ABS baixa e CSES moderada na região de integração do Xingu, identificada pelo modelo *fuzzy*, pode estar associada ao processo histórico de ocupação dos municípios que formam este território a partir da construção da BR-230, conhecida como transamazônica, que promoveu intenso e contínuo fluxo migratório para a região e implicou no seu povoamento desordenado, dificultando o processo de organização dos serviços públicos de saúde na mesma⁽²⁰⁾. Este fato ocasionou impactos negativos na saúde pública dessa região, principalmente com relação à vigilância epidemiológica e ambiental de doenças infecciosas de etiologia parasitária, como a LC.

As baixas escolaridade e renda identificadas na região de integração do Xingu, a partir do processamento realizado pelo sistema *fuzzy* e evidenciadas no perfil epidemiológico dos casos, indicam que a falta de educação formal por dificultar o entendimento sobre os riscos de transmissão da LC implica na necessidade de conhecimentos sobre as medidas de proteção individual e coletiva da mesma, a partir de processos de educação em saúde. De outra forma, a precariedade da renda, por estar associada às condições insalubres de vida, aponta para o imperativo de intervenções do poder público, que não pode se omitir de sua responsabilidade, no sentido de promover a realização de métodos de combate a vetores e medidas profiláticas nessas áreas, considerando suas especificidades ambientais e socioeconômicas⁽²¹⁻²²⁾.

O fato da maioria dos casos de LC na região de integração do Xingu, em adultos, do sexo masculino, pardos e residentes na zona rural, acompanha o perfil epidemiológico da doença evidenciado nas últimas décadas no



Fonte: Protocolo de pesquisa, 2022.

Figura 3 – Maiores ocorrências de Casos de LC e incremento do desmatamento nas regiões de integração do estado do Pará, Brasil (2015 - 2019).

estado do Pará⁽⁶⁾. Neste contexto, a doença apresenta incidência no período produtivo da vida dessas populações, associada à sua manutenção nas áreas rurais. O expressivo quantitativo de pessoas da etnia parda pode estar relacionado ao processo de miscigenação, que ocorreu de forma majoritária na população residente na Amazônia, entre pessoas negras, indígenas e em menor escala com pessoas brancas. Esta situação tem sido observada em um percentual de aproximadamente 80% da população paraense, que se auto define pertencente a esta etnia⁽²³⁾.

O fato da região de integração do Xingu apresentar maior percentual de incremento de desmatamento e número de casos da LC, inclusive com tendência linear de crescimento dessas variáveis, aponta para uma associação das mesmas indicando um processo de produção ambiental da doença, de forma sistemática, processual e contínua, possivelmente devido à expansão da fronteira agropecuária e extrativista nesse território⁽²⁴⁾. Assim, a mitigação do risco de adoecimento nessa região implica na ampliação de medidas de vigilância ambiental e epidemiológica a partir de uma decisão política consistente de organização de ações integradas de instituições públicas dos setores ambientais, sociais e de saúde, para que o desenvolvimento dessa região possa ocorrer de forma sustentável.

CONCLUSÃO

Considerando os resultados das análises, a ocorrência da LC acompanhou o padrão epidemiológico e ambiental observado na Amazônia. Nesse contexto, a precariedade da cobertura dos serviços de saúde e das características socioeconômicas das populações rurais da região de integração do Xingu foram as principais condicionantes responsáveis por esta região apresentar o maior risco para a doença. Assim sendo, o sistema *fuzzy* desenvolvido foi satisfatório para alcançar um entendimento da produção política e socioeconômica da LC, em escalas locais.

Embora os resultados tenham sido satisfatórios, o sistema pode ser aperfeiçoado com a inserção de outras técnicas de representação do conhecimento associadas à análise de dados espaciais, para serem utilizadas em processos de tomada de decisão na área da saúde. Dado o exposto, ressaltamos a necessidade da ampliação de ações de vigilância epidemiológica objetivando o acompanhamento e o controle da doença.

REFERÊNCIAS

1. Confalonieri UE, Margonari C, Quintão AF. Environmental change and the dynamics of parasitic diseases in the Amazon. *Acta Trop*. 2014;129: 33-41.
2. Brasil. Ministério da Saúde. *Manual de Vigilância da Leishmaniose Tegumentar*. Brasília (DF): Ministério da Saúde; 2017.
3. WHO. Control of the leishmaniasis: report of a meeting of the WHO Expert Committee on the Control of Leishmaniasis. Geneva: World Health Organization; 2010.
4. OPAS. Leishmanioses: Informe Epidemiológico das Américas, No. 10 (Dezembro 2021). Washington (DC); 2021.
5. Gonçalves NV, Vieira DC, Miranda CSC, Palácios VRCM, Costa SBN, Guedes JA, et al. Análise Espacial e Epidemiológica de Hepatites B e C e Índice de Desenvolvimento Humano Municipal, no Estado do Pará. *Hygeia Rev Bras Geogr Med Saude* 2019;15(31): 29-42.
6. Gonçalves NV, Miranda CSC, Costa RJF, Guedes JA, Matsumura ESS, Costa SBN et al. Cutaneous leishmaniasis: Spatial distribution and environmental risk factors in the state of Pará, Brazilian Eastern Amazon. *J Infect Dev Ctries* 2019;13(10):939-944.
7. Vallinoto ACR, da Silva Torres MK, Vallinoto MC, Cayres Vallinoto IMV. The challenges of COVID-19 in the Brazilian Amazonian communities and the importance of seroepidemiological surveillance studies. *Int J Equity Health*. 2020;19(1):140
8. Gonçalves NV, Miranda CSC, Guedes JA, Silva LCT, Barros EM, Tavares CGM et al. Hepatites B e C nas áreas de três Centros Regionais de Saúde do Estado do Pará, Brasil: uma análise espacial, epidemiológica e socioeconômica. *Cad Saude Colet* 2019;27(1): 1-10.
9. Russell S, Norvig P. *Inteligência Artificial*. 3a ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.
10. Brandão EDS, Santos ID, Lanzillotti RS. Cuidados de enfermagem para conforto de pessoas com dermatoses imunobolhosas: avaliação pela lógica "fuzzy". *Rev Enfer UERJ* 2018;26:e32877.
11. Lobo LC. Inteligência artificial, o Futuro da Medicina e a Educação Médica. *Rev Bras Educ Med* 2018;42(3):3-8.
12. Kumar PM, Lokesh S, Varatharajan R, Babu GC, Parthasarathya P. Cloud and IoT based disease prediction and diagnosis system for healthcare using Fuzzy neural classifier. *Future Gen Comp Sys* 2018;86:527-534.
13. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. PRODES Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite. [citado 2022 fev 7]. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php>
14. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Censo Brasileiro de 2010. [citado 2022 mar 3]. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br>
15. Sistema de Informação de Agravos de Notificação – SINAN. Tabulação dos Casos de Leishmaniose Tegumentar Americana do Estado do Pará. [citado 2022 abril 20]. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?sinanet/cnv/ltapa.def>

16. Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde – CNES. Estabelecimentos de Saúde do Estado do Pará. [citado 2022 mar 3]. Disponível em: <http://cnes.datasus.gov.br/pages/estabelecimentos/consulta.jsp>
17. Sistema de Informação e Gestão da Atenção Básica – E-gestor. Histórico de Cobertura da Atenção Básica. [citado 2022 fev 12]. Disponível em: <https://egestorab.saude.gov.br/paginas/ acessoPublico /relatorios/relHistoricoCobertura.xhtml>
18. Zadeh LA. Fuzzy sets: information and control. *New York: Academic Press*; 1965. p.338-53.
19. Chaves LE, Nascimento LFC, Rizol PMSR. Fuzzy model to estimate the number of hospitalizations for asthma and pneumonia under the effects of air pollution. *Rev Saude Publica* 2017;51:1-8.
20. Garnelo L, Lima JG, Rocha ESC, Herkrath FJ. Acesso e cobertura da Atenção Primária à Saúde para populações rurais e urbanas na região norte do Brasil. *Saude Debate* 2018;42(1):81–99.
21. Júnior ASS, Gonçalves NV, Miranda CSC, Santos BO, Oliveira RAC, Costa RJF, et al. Cutaneous leishmaniasis spatial distribution and epidemiological and environmental risk factors in Cametá, state of Pará, Brazil. *Braz J Infect Dis* 2020;24(4):330-336.
22. Cardoso RF, Melo BG, Pereira WMM, Palácios VRCM, Barbosa AV, Gonçalves NV. Socioepidemiologic and spatial study of american cutaneous leishmaniasis in a city of Pará. *Rev Para Med* 2015;29: 29 - 36.
23. Oliveira RAC, Miranda CSC, Guedes JA, Bichara CNC, Pereira ALRR, Martins CNSA, et al. A leishmaniose tegumentar americana e seus fatores de riscos socioambientais no município de Tucuruí, Pará, Brasil: análise espacial e epidemiológica. *Hygeia Rev Bras Geogr Med Saude* 2020;16:386-96.
24. Carvalho AC, Almeida EMS, Carvalho DF, Farias VM, Neder RN. O Papel da Fronteira Pecuária como Principal Driver do Desmatamento no Estado do Pará. In: *Gestão Ambiental nos Trópicos Úmidos: Impactos das Ações Humanas nos Recursos Naturais das Fronteiras Amazônicas*. Guarujá: Científica Digital;2021. p.15-28.