

LEISHMANIOSE VISCERAL NA FRONTEIRA BRASIL, BOLÍVIA E PARAGUAI: PREDIÇÃO DE CASOS E RISCO COM MACHINE LEARNING

Eliza Miranda Ramos, Laura Elis Agüero Reis, Alexandra Maria Almeida Carvalho

elizamirandaramos@gmail.com

RESUMO: Nos últimos anos em torno de 12 milhões de pessoas no mundo foram diagnosticadas com leishmaniose visceral. **Objetivos:** Conduzir uma análise descritiva, empregando técnicas de machine learning, sobre o quadro epidemiológico da leishmaniose visceral (LV) no estado do Mato Grosso do Sul (BR) e nas nações limítrofes, Bolívia e Paraguai. **Métodos:** Este estudo epidemiológico, retrospectivo de séries temporais com registros de casos notificados e confirmados de LV e óbitos em residentes do Estado do Mato Grosso do Sul (BR) e dos países vizinhos, Bolívia e Paraguai, no período de 2016 a 2021, com uso de machine learning para análise dos dados. **Resultados:** Na Bolívia, alta incidência (11,51%) indica rápida propagação. Paraguai revela baixa incidência (2,45%) com letalidade notável (11,1%) e aumento nos casos pediátricos (18%). **Conclusão:** A exploração de boletins e informativos, aliado ao uso de machine learning, orienta intervenções e reduz a disseminação da doença em regiões afetadas conforme a análise de dados utilizadas no estudo.

Palavras Chaves: leishmaniose visceral; áreas de fronteira; neural network; machine learning; bloom filters.

VISCERAL LEISHMANIASIS AT THE BORDER BRAZIL, BOLIVIA AND PARAGUAY: PREDICTION OF CASES AND RISKS USING MACHINE LEARNING

ABSTRACT: In recent years, around 12 million people worldwide have been diagnosed with visceral leishmaniasis. **Objectives:** Conduct a descriptive analysis employing machine learning techniques on the epidemiological scenario of visceral leishmaniasis (VL) in the state of Mato Grosso do Sul (Brazil) and in neighboring nations, Bolivia and Paraguay. **Methods:** This retrospective epidemiological study employed time series data of reported and confirmed LV cases and deaths among residents of Mato Grosso do Sul (BR) and the neighboring countries, Bolivia and Paraguay, from 2016 to 2021, utilizing machine learning for data analysis. **Results:** In Bolivia, a high incidence rate (11,51%) indicates rapid spread. Paraguay exhibits low incidence (2,45%) with notable lethality (11,1%) and increase in pediatric cases (18%). **Conclusion:** The exploration of bulletins and informative materials, coupled with the use of machine learning, guides interventions and reduces the spread of the disease in affected regions according to the data analysis employed in the study.

Keywords: Visceral leishmaniasis; border areas; neural network; machine learning; bloom filters.

LEISHMANIASIS VISCERAL EN LA FRONTERA DE BRASIL, BOLIVIA Y PARAGUAY: PREDICCIÓN DE CASOS Y RIESGO CON MACHINE LEARNING

RESUMEN: En los últimos años, alrededor de 12 millones de personas en el mundo han sido diagnosticadas con leishmaniasis visceral. **Objetivos:** Realizar un análisis descriptivo, utilizando técnicas de aprendizaje automático, sobre el panorama epidemiológico de la leishmaniasis visceral (LV) en el estado de Mato Grosso do Sul (BR) y en los países vecinos, Bolivia y Paraguay. **Métodos:** Este estudio epidemiológico retrospectivo de series temporales utiliza registros de casos notificados y confirmados de LV y defunciones en residentes del estado de Mato Grosso do Sul (BR) y de los países vecinos, Bolivia y Paraguay, en el período de 2016 a 2021, con el empleo de aprendizaje automático para el análisis de datos. **Resultados:** En Bolivia, una alta incidencia (11,51%) indica una rápida propagación. Paraguay muestra una baja incidencia (2,45%) con una letalidad notable (11,1%) y un aumento en los casos pediátricos (18%). **Conclusión:** La exploración de boletines e informes, junto con el uso de aprendizaje automático, orienta intervenciones y reduce la propagación de la enfermedad en regiones afectadas, según el análisis de datos utilizado en el estudio.

Palabras clave: leishmaniasis visceral; áreas fronterizas; red neuronal; aprendizaje automático; filtros de Bloom.

INTRODUÇÃO

A leishmaniose visceral (LV), uma doença que inicialmente predominava como uma zoonose de natureza rural, está passando por uma evolução notável^{2, 3}. Recentemente, ela tem encontrado seu caminho para áreas urbanas de médio e grande porte, emergindo como uma questão de saúde pública crescente no país e em outras regiões do continente americano³. Essa enfermidade está expandindo suas fronteiras geográficas de maneira considerável, se tornando uma endemia em franca expansão^{1, 2, 3}. A transmissão da leishmaniose ocorre pela picada de flebotomíneos infectados, também conhecidos como “mosquito-palha” ou birigui”. Esses insetos são vetores do parasita do gênero *Leishmania*, que é transmitido para os humanos durante a alimentação sanguínea. Uma vez infectado, o parasita pode se desenvolver no organismo, causando diferentes formas clínicas da doença, como a leishmaniose visceral e cutânea¹⁰.

Caracterizada como uma condição sistêmica, a LV apresenta uma série de sintomas que incluem febre de longa duração², perda de peso, fadiga, fraqueza e anemia, entre outros^{2, 3}. Se deixada sem tratamento, sua progressão pode resultar em óbito em mais de 90% dos casos³. No contexto das dez doenças tropicais negligenciadas mais prevalentes em todo o mundo, a LV se destaca como uma das mais significativas, afetando uma população que excede 12 milhões de pessoas^{1, 2}. Tornando-se uma das cinco prioridades de eliminação da Organização Mundial da Saúde (OMS)², essa enfermidade demonstra uma incidência anual estimada de 700 mil a 1 milhão de novos casos na Região das Américas^{1, 2}. A Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS) relatou que, entre os anos de 2019 e 2021⁶, houve em média cerca de 2.850 casos notificados e confirmados de LV anualmente, com uma taxa de mortalidade média de 8,2%^{1, 2, 3}. Com presença em setenta países nas Américas, África Oriental, norte da África e Ásia, essa zoonose transmitida por flebotomíneos apresenta um impacto substancial em razão de sua ampla distribuição geográfica e das implicações para a saúde pública^{2, 3, 4}. Em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)³, a OMS introduziu o plano "Ending the neglect to attain the sustainable development goals: a road

Revista Saúde e Meio Ambiente- UFMS- Campus Três Lagoas (Julho a Dezembro de 2023)- RESMA, Volume 15, número 2, 2023. Pág. 214-237

map for neglected tropical diseases, 2021 – 2023", que propõe abordagens inovadoras para enfrentar doenças negligenciadas. Isso inclui a detecção precoce da doença e a redução do contato com os vetores ^{2,4}, que é particularmente relevante na região do Mato Grosso do Sul (BR). De forma simultânea, para apoiar as ações da OPAS, este estudo tem o propósito de analisar dados provenientes de boletins e informativos epidemiológicos. Por meio de uma análise preditiva que emprega algoritmos, o estudo procura compreender os dados disponíveis e gerar padrões de previsão ⁷. Isso pode ocorrer sob supervisão, utilizando variáveis preditoras e respostas, ou de maneira não supervisionada, somente com variáveis preditoras ^{7,8}. Em contextos de saúde, modelos preditivos contribuem para estimar riscos associados a desfechos clínicos, utilizando informações individuais, o que por sua vez beneficia a formulação de políticas públicas e intervenções ^{7,8,12}. Tanto em termos históricos quanto recentes, diversos modelos foram desenvolvidos, incluindo regressões lineares e logísticas ^{8,9}. Contudo, o emprego de algoritmos de inteligência artificial mais flexíveis, como aprendizado de máquina, tem se destacado no cenário atual ⁸. Essas abordagens têm sido utilizadas para prever riscos de mortalidade, readmissão hospitalar e desfechos desfavoráveis no desenvolvimento infantil, assim como na morte materna. Isso é possível devido à crescente disponibilidade de dados relevantes e à capacidade de capturar relações complexas ^{7,8,9}. O objetivo central deste estudo é realizar uma análise descritiva utilizando técnicas de aprendizado de máquina para avaliar o panorama epidemiológico da LV no estado do Mato Grosso do Sul (BR), bem como nos países vizinhos, Bolívia e Paraguai. Ademais, pretende-se antecipar o risco de óbito empregando dados provenientes de boletins e informativos epidemiológicos. Esse esforço contribuirá para um entendimento minucioso da situação de saúde e proporcionará insights cruciais para o desenvolvimento de estratégias eficazes de prevenção e controle.

MÉTODOS

Este estudo epidemiológico retrospectivo de séries temporais com registros de casos notificados e confirmados de LV e óbitos em residentes do Estado do Mato Grosso do Sul (BR) e dos países vizinhos, Bolívia e Paraguai, no período de 2016 a 2021.

Os dados de LV para Mato Grosso do Sul (BR) foram obtidos de boletins epidemiológicos do estado ³⁷, e para Bolívia e Paraguai, do informativo epidemiológico

da OPAS ⁶, disponíveis nos respectivos sites institucionais. Foram utilizados dados secundários provenientes de boletins e informativos epidemiológicos por meio de ligação de dados (linkage), empregando filtros de bloom. Esse processo foi conduzido no período de 10 dias para extrair e integrar as informações. A técnica de linkage considerou dados de boletins e informativos epidemiológicos de casos notificados e confirmados e dados de óbitos sobre mortalidade no período de 2016 a 2021, como módulo padrão a média de letalidade local. Para estabelecer os pares verdadeiros de casos notificados e confirmados e óbitos, a técnica utilizada foi a dos filtros de bloom ^{23, 24}, pareando os variáveis casos notificados”, “média de incidência”, “Proporção de menores de 10 anos”, “redução de letalidade”, “média de transmissão e expansão”, “óbitos” e “ano de ocorrência do caso” ¹⁹, resultando nos dados apresentados na Tabela 01. O método usado para linkage ^{23, 24} de dados conferiu solidez e confiabilidade ao processo ^{7, 8, 9}, ao possibilitar uma análise minuciosa e contextualizada das tendências relativas à leishmaniose visceral no Mato Grosso do Sul (BR), bem como uma conexão com os dados epidemiológicos dos países vizinhos, Paraguai e Bolívia.

Essa abordagem pertence ao campo da classificação no aprendizado supervisionado, onde além dos preditores a resposta de interesse guia a análise ⁸. Neste cenário, as técnicas de regressão logística e regressão linear foram empregadas para uma classificação mais direcionada ^{8, 9}. As fases iniciais de pré-processamento e normalização conduzem às etapas de comparação, incluindo a utilização de algoritmos de similaridade de Jaro-Winkler e a técnica de hashing ²¹. Com base nos resultados dessas abordagens, identificaram-se e correlacionaram-se os registros correspondentes nos diversos boletins e informativos epidemiológicos, resultando em um conjunto de dados integrados e otimizados para análise subsequente. Modelos de análises como K-Nearest Neighbors (KNN), Random Forest e MLP Classifier (Neural network) foram abordados ^{07, 08, 09, 21}. Foi avaliado o desempenho dos classificadores (acurácia, precisão e F1-score) ⁴⁰, considerando a proporção de observações corretamente identificadas ao total. A variação foi considerada de 0 (ruim) a 1 (excelente) ^{39, 40}.

RESULTADOS

Durante o período de 2016 a 2021, a LV foi objeto de investigação nos países das Américas do Sul, incluindo Mato Grosso do Sul (BR), Paraguai e Bolívia. Os dados registrados em boletins epidemiológicos do estado do Mato Grosso do Sul e informativos OPAS, apresentou tendência significativa nos números dos casos notificados e óbitos, fornecendo um panorama das variações na incidência da doença (Tabela 01). No Brasil, especificamente em Mato Grosso do Sul (BR), houve uma variação nos casos notificados e confirmados, com o valor mais baixo em 2017 (29 casos) e o mais alto em 2018 (120 casos). Os óbitos associados à LV no estado apresentaram uma variação semelhante, variando de 3 a 13 óbitos durante o período. No Paraguai, os números de casos notificados permaneceram relativamente estáveis, com 84 a 135 casos ao longo dos anos. Os óbitos, no entanto, variaram de 3 a 8, com um percentual de mortalidade aparentemente mais baixa em comparação com o Brasil (Tabela 01).

Tabela 01. Distribuição de casos notificados e confirmados e óbitos por leishmaniose visceral – segundo local e ano - Mato Grosso do Sul (BR), Paraguai e Bolívia, 2016 a 2021.

<i>Ano</i>	<i>Mato Grosso do Sul - BR</i>		<i>Paraguai</i>		<i>Bolívia</i>	
	<i>Casos</i>	<i>Óbitos</i>	<i>Casos</i>	<i>Óbitos</i>	<i>Casos</i>	<i>Óbitos</i>
2016	107	11	135	08	2222	212
2017	29	03	92	05	2283	218
2018	120	13	84	07	3127	299
2019	97	10	52	03	2052	196
2020	48	05	54	04	2059	197
2021	47	05	53	03	2166	207

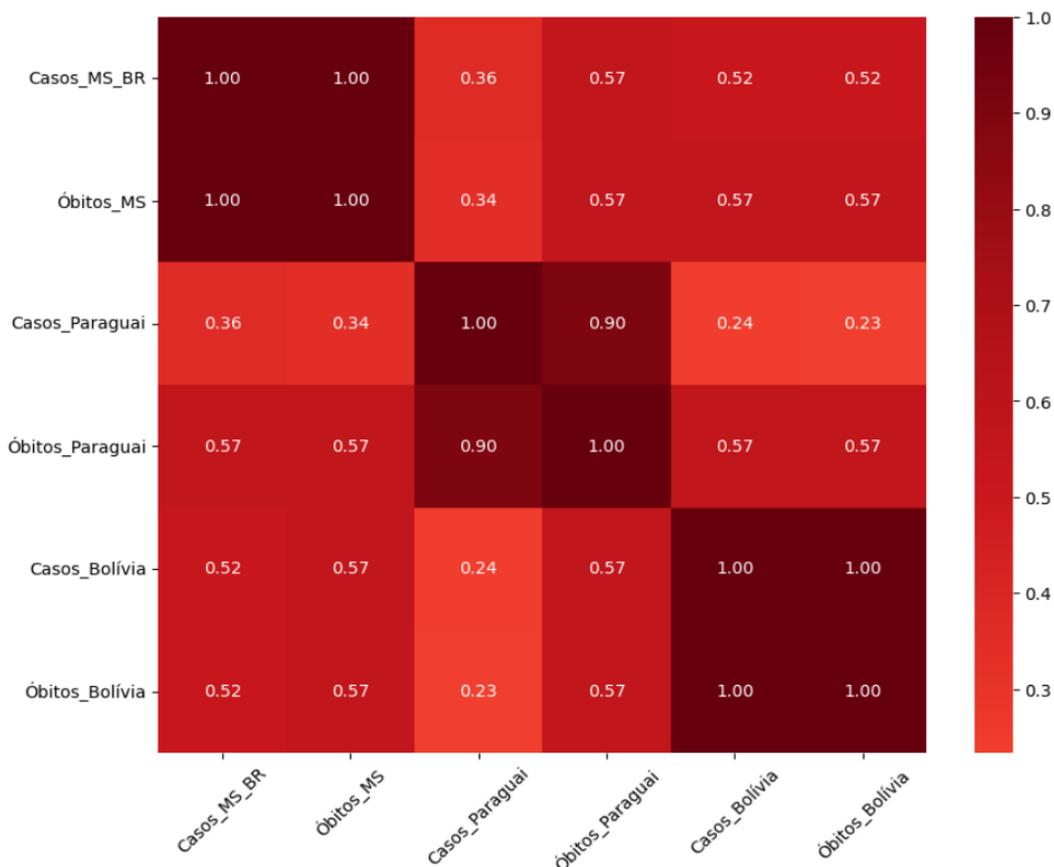
Fonte: Informativos OPAS e Boletins Epidemiológicos do estado do Mato Grosso do Sul, no período de 2016 a 2021.

A Bolívia se destaca pela alta incidência de casos de LV, com números notificados variando de 3127 em 2018 a 2059 no ano de 2020. O número de óbitos associados à doença variou entre 197 e 299, mostrando uma tendência semelhante à dos casos notificados (Tabela 01). Em todos os países, os números de óbitos em relação aos casos notificados (letalidade) foram consistentemente baixos, variando de aproximadamente 1,6% a 11,7%. Isso sugere uma taxa geral de sobrevivência

relativamente alta em casos de LV na região, apesar das diferenças nas taxas de incidência.

No Gráfico 01, que ilustra a matriz de correlação dos óbitos no estado do Mato Grosso do Sul (BR), Bolívia e Paraguai oferece uma visão analítica das interdependências existentes entre essas regiões no período de 2016 a 2021. Utilizando a escala de cores “Red” que atribui tonalidades mais intensas a correlação mais significativa, concentramos nossa atenção nas relações quantitativas^{08,09}. Assim, foram evidenciadas uma correlação notável entre os casos de óbitos em Mato Grosso do Sul (BR) e Bolívia, com coeficientes de correlação variando de aproximadamente 0,89 a 0,98 ao longo dos anos, indicando uma associação positiva substancial e estatisticamente significativa. Por outro lado, os casos de óbitos entre o Mato Grosso do Sul (BR) e o Paraguai exibem correlações mais moderadas, oscilando entre 0,22 a 0,52, apontando para uma associação menos acentuada. Essa abordagem baseada em valores quantitativos enriquece a compreensão das interações entre os casos de óbitos e notificados e confirmados, contribuindo de maneira significativa para a investigação epidemiológica desses fenômenos.

Gráfico 01. Análise da correlação dos casos notificados e confirmados em relação os casos de óbitos por leishmaniose visceral entre Mato Grosso do Sul (BR), Bolívia e Paraguai, no período de 2016 a 2021.



Fonte: Informativos OPAS e Boletins Epidemiológicos do estado do Mato Grosso do Sul, no período de 2016 a 2021.

A análise de regressões lineares entre os casos de óbitos em Mato Grosso do Sul (BR) e seus países vizinhos, Paraguai e Bolívia de 2016 a 2021, destaca padrões intrigantes (Tabela 02). A relação Mato Grosso do Sul (BR) com o Paraguai apresenta intercepto de 32.143,65 e inclinação de -15,89, indicando declínio dos casos de óbitos no Mato Grosso do Sul (BR) ao longo do tempo, convergindo com o Paraguai. Já com a Bolívia, o intercepto foi de 119.218,15 e inclinação de - 57,91, revelam queda inicial mais acentuada dos casos de óbitos em Mato Grosso do Sul (BR), comparada à Bolívia.

Tais resultados apontam para influências epidemiológicas e socioeconômicas complexas, requerendo análises aprofundadas para orientar estratégias preventivas e de controle.

Ainda, as análises de regressão entre os países e o estado brasileiro fornecem informações valiosas sobre as possíveis relações entre os dados ao longo dos anos. No caso da regressão Paraguai e Mato Grosso do Sul (BR), o modelo apresenta um coeficiente de determinação (R^2) de 0,838, indicando que cerca de 83,8% da variabilidade das observações no Mato Grosso do Sul (BR) pode ser explicada pela relação com o Paraguai (Tabela 02). Além disso, observa-se que para cada aumento de unidade ano, Mato Grosso do Sul (BR) diminuí em média cerca de 9,72%, comparado aos países vizinhos. Quanto ao “Risco Paraguai”, verifica-se que um aumento unitário nesse valor está associado a uma diminuição média de aproximadamente 35,45% no Mato Grosso do Sul. Para regressão Bolívia e Mato Grosso do Sul (BR), o R^2 é de 0,887, mostrando que cerca de 88,7% da variabilidade em Mato Grosso do Sul (BR) é explicada pela relação com a Bolívia. O ano apresenta um coeficiente negativo de -5,47, indicando que para cada aumento de unidade no ano, Mato Grosso do Sul (BR) diminuiu em média cerca de 5,47%, comparado ao país de fronteira. Quanto ao “Risco Bolívia”, observa-se que um aumento unitário nesse valor está associado a uma diminuição média de aproximadamente 1,49% em relação ao estado do Mato Grosso do Sul no Brasil (Tabela 02). Esses resultados sugerem que tanto o Paraguai quanto a Bolívia têm relações inversamente proporcionais^{08, 09} com o Mato Grosso do Sul (BR), considerando a influência do ano e dos riscos. As estatísticas fornecidas (p-valores) indicam que os coeficientes são estatisticamente significativos, com base nos quais podemos inferir que as variações independentes têm efeito significativos sobre o MS (BR) (Tabela 02).

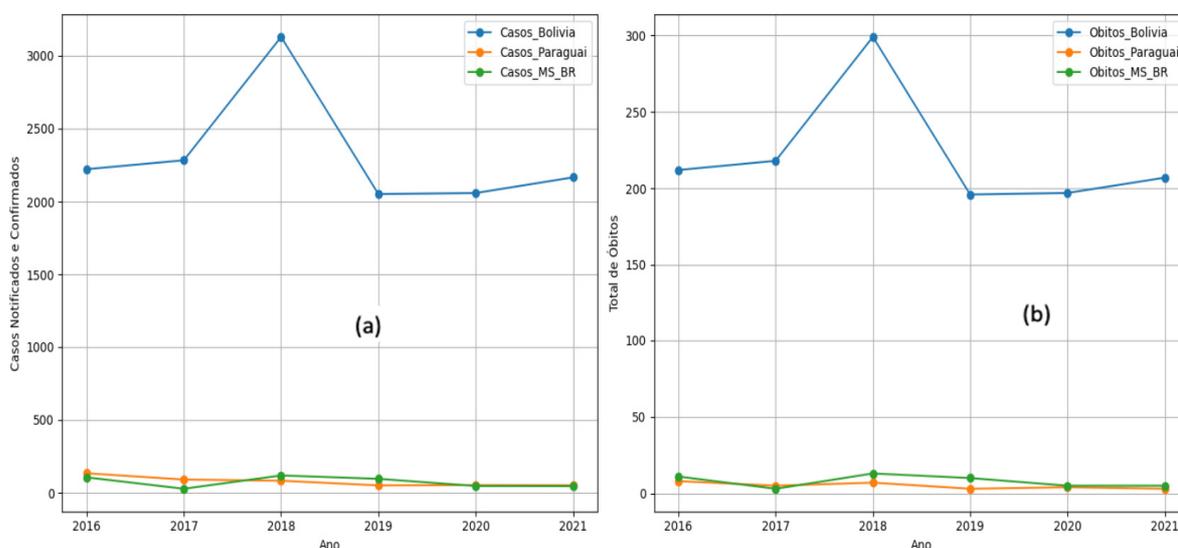
Tabela 02. Risco de óbitos avaliado por regressão linear entre Mato Grosso do Sul (BR), Paraguai e Bolívia no período de 2016 a 2021.

Modelos	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
Risco Bolívia	-1,4860	0,265	-5,614	0,002	-2,166	-0,806
Risco Paraguai	-35,4535	- 7,831	-4,527	0,006	-55,584	-15,323

Fonte: Informativos OPAS e Boletins Epidemiológicos do estado do Mato Grosso do Sul, no período de 2016 a 2021.

No Gráfico 02 e Gráfico 03, a análise de dispersão revela discrepância notáveis entre as regiões avaliadas na prevalência da LV. A Bolívia exibe uma média de incidência notavelmente alta (11,51%), sugerindo uma disseminação abrangente da doença.

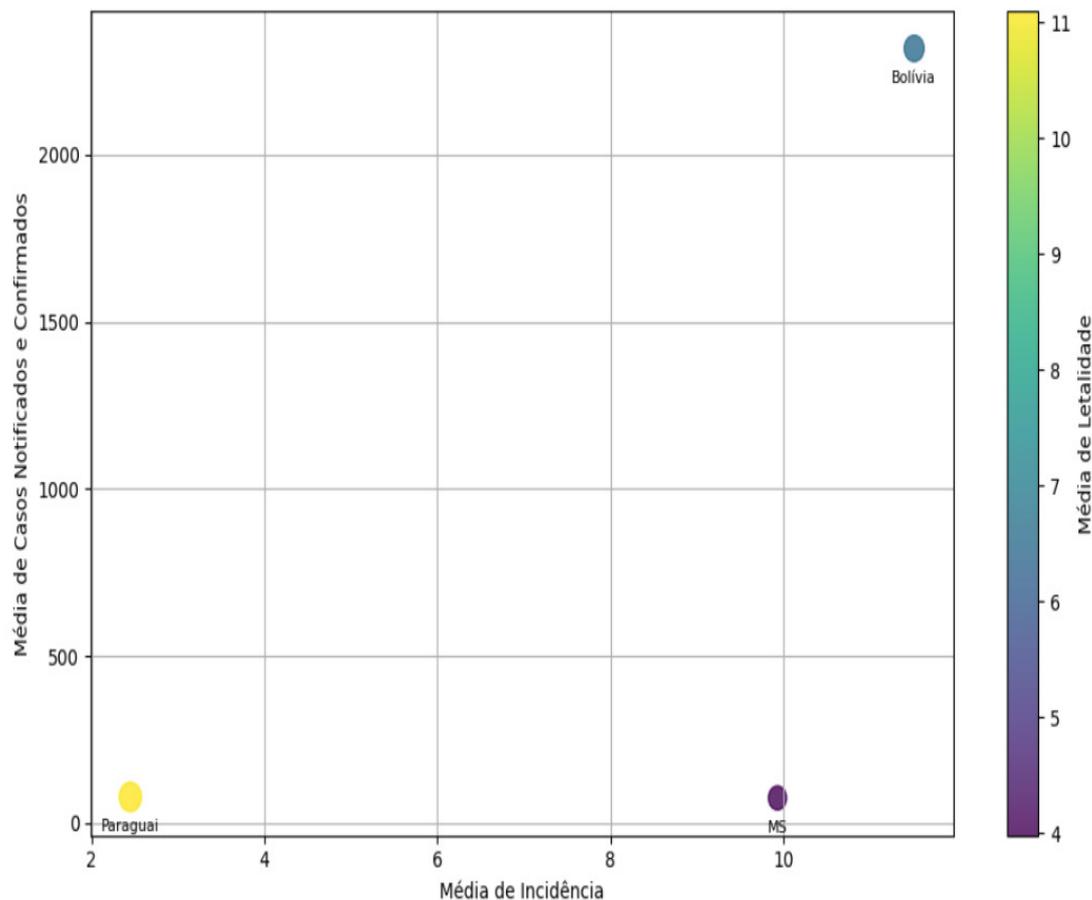
Gráfico 02: Evolução dos casos notificados e confirmados (a) comparado ao total de óbitos (b) no Mato Grosso do Sul (BR), Bolívia e Paraguai (2016 a 2021).



Fonte: Informativos OPAS e Boletins Epidemiológicos do estado do Mato Grosso do Sul, no período de 2016 a 2021.

Em contraste, o Paraguai apresenta uma incidência média menor (2,45%), porém com um notável aumento na proporção de casos pediátricos (18%), destacando implicações clínicas específicas. O Mato Grosso do Sul (BR) revela média de incidência (9,93%) e letalidade moderada (3,98%), indicando um cenário epidemiológico singular.

Gráfico 03. Relação entre incidência, casos notificados e confirmados com casos de óbitos para leishmaniose visceral no Mato Grosso do Sul (BR), Paraguai e Bolívia no período de 2016 a 2021.



Fonte: Informativos OPAS e Boletins Epidemiológicos do estado do Mato Grosso do Sul, no período de 2016 a 2021.

Na Tabela 03, os resultados expõem aspectos marcantes na avaliação de risco de LV entre Bolívia e Paraguai. O modelo aplicado para a Bolívia apresentou um notável Recall de 91%, refletindo sua eficácia em identificar uma proporção substancial de casos de alto risco em fronteira com o Mato Grosso do Sul (BR). Além disso, uma Precision de 94% evidência a capacidade do modelo de realizar previsões positivas de forma precisa. O F1-score de 96% enfatiza a harmonização bem-sucedida entre Recall e Precision. No contexto do Paraguai, o Recall de 87% reforça a aptidão do modelo em detectar um considerável número de casos de alto risco. Com uma precisão de 85%, as previsões positivas demonstram um nível aceitável de confiabilidade. O F1-score de 90%

demonstra uma boa conjunção entre Recall e Precision, mesmo com ligeira variação em relação a Bolívia.

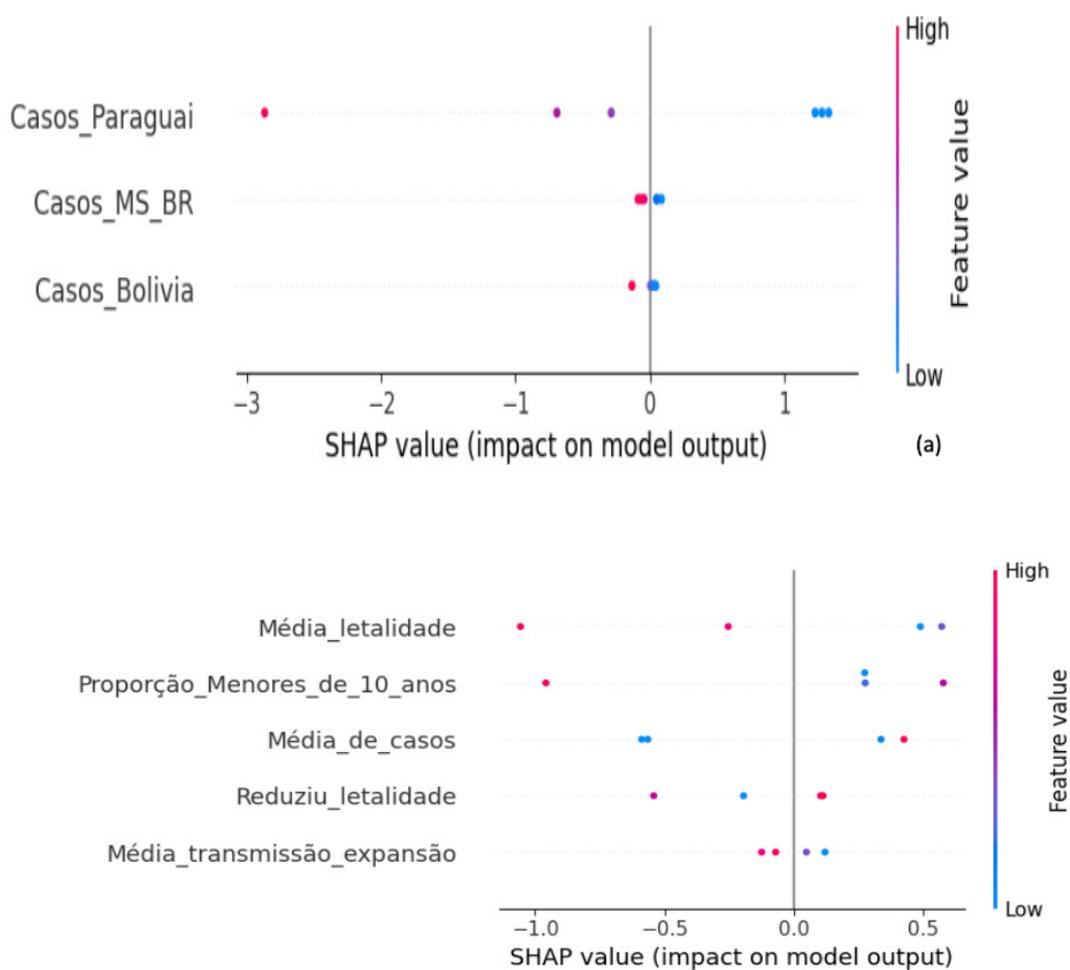
Tabela 03. Avaliação do impacto da fronteira no estado do MS conforme o desempenho dos modelos de aprendizagem de máquina na predição de casos de LV.

Modelos	Recall	Precision	F1-Score
Risco Bolívia	0,91	0,94	0,96
Risco Paraguai	0,87	0,85	0,90

Fonte: Informativos OPAS e Boletins Epidemiológicos do estado do Mato Grosso do Sul, no período de 2016 a 2021.

A análise no Gráfico 04, SHAP^{07, 08} destaca que no Mato Grosso do Sul (BR) ocorreu um aumento de 1% na média de “Transmissão e expansão” e está associado a um aumento médio de aproximadamente 3.75% na “Média de Incidência” da leishmaniose visceral no Mato Grosso do Sul (BR). Da mesma forma, um acréscimo de 1% na “Média de letalidade” que resulta em um aumento médio de cerca de 1.68% na incidência da doença no Mato Grosso do Sul (BR).

Gráfico 04. Tendências comparativas com uma análise da influência de variáveis na incidência (a) casos notificados e confirmados (b) indicadores do risco de óbitos causados pela leishmaniose visceral no período de 2016 a 2021.

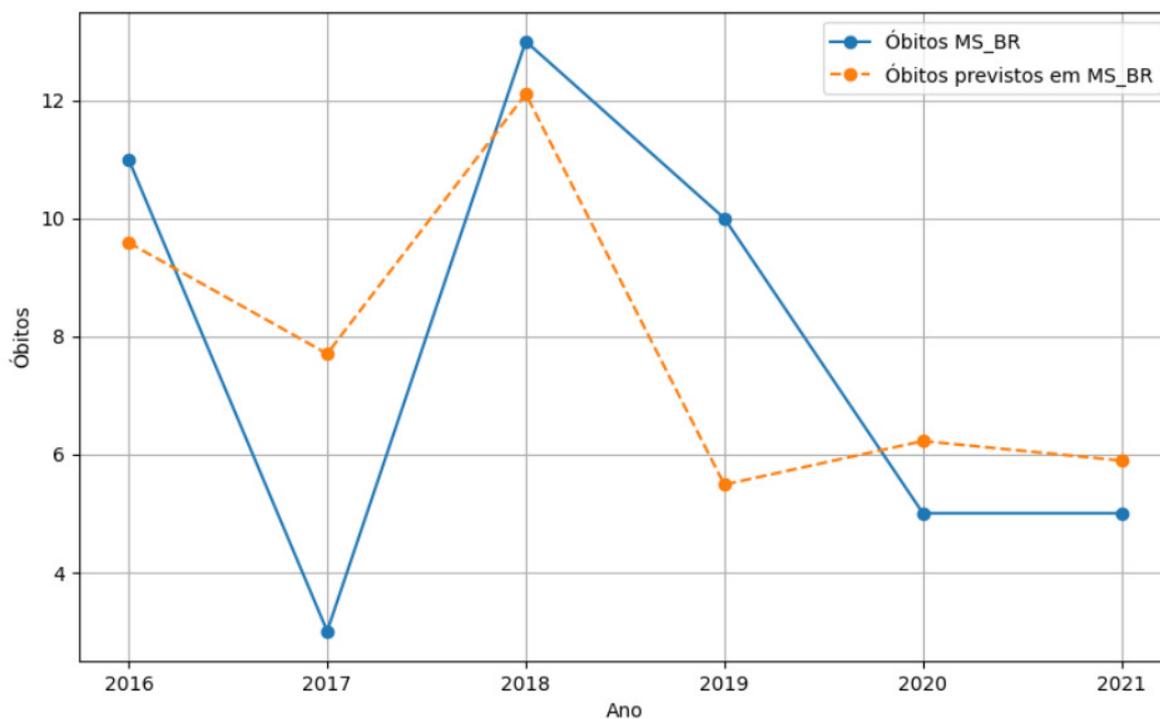


Fonte: Informativos OPAS e Boletins Epidemiológicos do estado do Mato Grosso do Sul, no período de 2016 a 2021.

Por outro lado, observa-se que um aumento de 1% na “Média de Redução de Letalidade” está relacionado a uma diminuição média de aproximadamente 1.43% na incidência da leishmaniose visceral no Mato Grosso do Sul (BR). Entretanto, um aumento no óbito de 1% na “Proporção de Menores de 10 anos” está correlacionado com uma diminuição média de cerca de 1.48% na incidência no território do estado (Gráfico 03 e Gráfico 04).

Esses números evidenciam as influências específicas das variáveis consideradas na previsão da propagação da doença, permitindo uma abordagem mais precisa formulação de estratégias de controle. O Gráfico 05, apresenta uma previsão de óbitos no Mato Grosso do Sul (BR) com base nas tendências observadas nos óbitos no Paraguai e Bolívia ao longo de 2016 a 2021.

Gráfico 05. Comparação entre óbitos e óbitos previstos por ano no Mato Grosso do Sul (BR) conforme influência da fronteira Bolívia e Paraguai.



Fonte: Informativos OPAS e Boletins Epidemiológicos do estado do Mato Grosso do Sul, no período de 2016 a 2021.

Nota-se uma trajetória ascendente nos óbitos reais no Mato Grosso do Sul (BR), indicando um aumento gradual. As previsões também acompanham essa tendência, revelando uma estimativa consistente com os números reais. Isso sugere uma influência semelhante das situações de óbitos nos países vizinhos sobre as tendências no MS (BR), apontando para possíveis fatores compartilhados na evolução das condições de saúde.

DISCUSSÃO

A busca por uma compreensão abrangente dos desfechos de longo prazo em pacientes com LV após o diagnóstico requer a obtenção minuciosa de informações ao longo do tempo a partir de boletins e informativos epidemiológicos^{01, 02, 03}. Os boletins e informativos epidemiológicos, de fácil acesso online e custo zero, representam valiosas fontes de dados que permitem avaliar tratamentos, monitorar complicações e analisar mortalidade⁰⁵ relacionada à LV⁰³. Ao explorar esses dados longitudinais, é possível identificar fatores de risco adicionais e condições de saúde coexistentes, proporcionando uma compreensão completa do quadro clínico e a base para estratégias mais eficazes^{03, 04}. No Mato Grosso do Sul (BR), a LV tem alta incidência, letalidade e impacto econômico no sistema público de saúde⁰³. Os boletins e informativos epidemiológicos foram essenciais para explorar e comprovar as correlações entre a situação epidemiológica e o aumento do risco de mortalidade na região de fronteira^{03, 05}. Além de estar alinhada com a legislação que garante o direito à saúde^{01, 02, 03, 04}, essa abordagem demonstra uma aplicação prática desse direito ao analisar a dinâmica da LV^{03, 06, 31}. Ao combinar fundamentação legal e insights científicos⁰³, a análise desses recursos emerge como ferramenta indispensável para promover a saúde pública e efetivamente controlar a doença, reduzindo seu impacto na população afetada^{03, 06, 31}. Neste estudo, a análise das correlações de óbitos nas regiões fronteiriças do Mato Grosso do Sul (BR), Bolívia e Paraguai revela informações cruciais sobre a dinâmica de mortalidade e possíveis interações entre essas áreas^{02, 05, 35}.

Os coeficientes de correlação numérica, variando de -1 a 1, indicam a intensidade e natureza das associações entre os casos de óbitos e notificados com confirmação⁰². A correlação moderada entre os óbitos em Mato Grosso do Sul (BR) e Bolívia sugere influência compartilhadas, possivelmente geográfica e econômicas^{02, 14, 15, 16}. A correlação mais robusta entre Paraguai e Mato Grosso do Sul (BR) destaca associações mais significativas como sistema de saúde e perfil epidemiológico^{02, 06, 14}. Em relação à LV¹², prevalente nas três áreas, essas correlações têm implicações cruciais para o planejamento de saúde pública^{10, 14, 15, 16}. A aplicação da linkage probabilístico^{07, 08, 09} entre boletins e informativos epidemiológicos revela a escassa notificação adequada de óbitos relacionados à LV entre 2016 a 2021⁰². Estudos anteriores evidenciam falhas na integração de registros de óbitos^{10, 13, 22}, prejudicando estratégias de controle¹¹. A integração do boletim estadual com o informativo OPAS pode reduzir lacunas nas notificações e aprimorar precisão das causas de óbitos relacionados à LV^{10, 13}. Melhorias contínuas na qualidade dos registros¹², como a redução de campos inconsistentes^{13, 14}, ampliam a acurácia e cobertura das informações sobre a Leishmaniose Visceral^{15, 16, 17}, embasando decisões de saúde pública^{16, 17, 18, 19, 20}. A cooperação entre áreas de fronteiras liderada pela OPAS e o Ministério da Saúde é essencial para controlar a leishmaniose visceral^{14, 15, 16}, harmonizando estratégias¹², compartilhando informações e enfrentando desafios conjuntos^{14, 15}. As variações nos óbitos entre 2016 a 2021 resultam de diversos fatores^{13, 14}, como vigilância aprimorada e intervenções de prevenção específicas conforme o perfil epidemiológico do território^{13, 14, 15, 16}. Mudanças nas estratégias de controle e fatores socioeconômicos influenciam as oscilações na Bolívia e Paraguai¹⁴⁻²⁰. No Mato Grosso do Sul (BR), adaptações nas táticas de controle impactam as flutuações dos casos notificados e confirmados¹⁴⁻¹⁷. A colaboração contínua entre as nações e a adaptação às realidades locais são fundamentais para efetivamente enfrentar a LV^{16, 17, 18}.

A análise detalhada dos resultados de machine learning^{21, 22, 23, 24} fornece uma visão esclarecedora da disseminação da LV nas regiões do Paraguai, Bolívia e Mato Grosso do Sul (BR)^{14, 15}. Indicadores como Recall, Precision e F1-score^{39, 40} suportam a ideia de que casos de leishmaniose visceral³²⁻³⁵ nos dois primeiros países influenciam sua propagação no Mato Grosso do Sul (BR)^{31, 32, 33}. A análise SHAP revela nuances nas relações entre variáveis e incidência da doença, indicando a heterogeneidade dos fatores

de cada região^{26, 27, 28, 31}. A velocidade de propagação, casos totais e administração eficaz do tratamento são eficazes para estratégias direcionadas^{32 - 35}. O uso de Inteligência Artificial nos boletins e informativos possibilita uma vigilância direcionada e ativa, identificando surtos e implementando ações ágeis. Ao alinhar esses resultados com diretrizes legais^{32 - 35}, fortalece-se a eficácia das intervenções em áreas de fronteira, reduzindo a disseminação e letalidade^{33, 37} especialmente entre grupos vulneráveis. Este estudo realça a valiosa contribuição do machine learning^{39, 40} na vigilância epidemiológica, ao analisar dados de boletins e informativos epidemiológicos. A análise precisa proporciona insights³⁹ profundas sobre a leishmaniose visceral em diversas regiões, orientando ações preventivas. No entanto, considerando a complexidade, é essencial incluir variáveis como mobilidade e clima para análises futuras^{16 - 19}. A colaboração de áreas de fronteira é vital para conter a disseminação da doença^{04, 05}. A convergência do machine learning e análises detalhadas possibilita abordagens regionalizada para o controle da leishmaniose visceral, avançando na luta contra doenças infecciosas no território específico^{33, 34, 35}. Este estudo destaca a análise rigorosa de boletins e informativos combinada com machine learning para compreender a leishmaniose visceral em áreas de fronteiras. Ao investigar resultados a longo prazo, essas fontes são inestimáveis para avaliar tratamentos e desenvolver estratégias com singularidade ao território^{10, 16, 17}. A análises detalhadas de padrões de mortalidade e correlações entre regiões é crucial para entender a disseminação em áreas de fronteira^{16, 17, 40}. A convergência com diretrizes da OPAS⁰³ ressalta a cooperação em áreas de fronteiras para combater a doença^{04, 06}. Essa abordagem, com machine learning, facilita a vigilância e estratégias adaptadas ao território^{09, 39}. O estudo destaca a sinergia entre tecnologia avançada e cooperação internacional, fundamentais para enfrentar a leishmaniose visceral. A exploração de boletins e informativos, junto ao machine learning, logo, direciona intervenções e reduz a disseminação da doença em regiões afetadas.

CONCLUSÃO

A análise epidemiológica revelou variações notáveis nos casos de leishmaniose visceral (LV) de 2016 a 2021 em Mato Grosso do Sul (BR), Paraguai e Bolívia. Padrões

de incidência e óbitos foram identificados, destacando a complexidade da dinâmica da doença. A utilização de machine learning ressaltou correlações significativas entre Mato Grosso do Sul (BR) e Bolívia, evidenciando a importância da cooperação transfronteiriça. As análises de regressão temporal sugerem influências epidemiológicas e socioeconômicas complexas entre os países. Modelos preditivos indicaram heterogeneidade na prevalência da LV, reforçando a necessidade de abordagens diferenciadas. A projeção de óbitos no Mato Grosso do Sul (BR) baseada em tendências em Paraguai e Bolívia destaca a interconexão das condições de saúde na região. Esses resultados fundamentam a necessidade de estratégias colaborativas e adaptáveis, fornecendo um panorama abrangente para políticas de saúde pública eficazes contra a leishmaniose visceral na América do Sul.

1 Declaração Ética

Este estudo não inclui a participação de seres humanos como sujeitos. Em vez disso, utiliza dados provenientes de boletins e informativos epidemiológicos públicos e disponíveis online em sites institucionais.

2 Contribuição dos Autores

EMR: Conceito, design e análise de dados. EMR e AMAC: recrutamento de dados e coleta em boletins e informativos em sites institucionais públicos. EMR e LEAR: Elaboração do manuscrito. AMAC: Supervisão do estudo. Todos os autores: Revisão crítica do manuscrito.

3 Agradecimentos

Expressamos nossa profunda gratidão ao estado do Mato Grosso do Sul pela disponibilização dos boletins epidemiológicos e à OPAS pelos informativos. Agradecemos pela generosa contribuição dessas informações essenciais que enriquecem nosso estudo.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Revista Saúde e Meio Ambiente- UFMS- Campus Três Lagoas (Julho a Dezembro de 2023)- RESMA, Volume 15, número 2, 2023. Pág. 214-237

1. World Health Organization. **Leishmaniose**. Genebra: World Health Organization; 2023. Disponível em: <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/leishmaniasis> . Acesso em: 11 de agosto de 2023.
2. Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância Epidemiológica. **Manual de vigilância e controle da leishmaniose visceral / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Vigilância Epidemiológica. – Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2006.** 120 p.: il. Color – (Série A. Normas e Manuais Técnicos). Disponível em: https://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_vigilancia_controle_leishmaniose_visceral.pdf
3. Organização Pan-Americana da Saúde. **Diretrizes para o tratamento das leishmanioses na Região das Américas**. Segunda edição. Washington, DC: OPAS; 2022. Disponível em: https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/56487/9789275725030_por.pdf?sequence=4&isAllowed=y . Acesso em: 11 de agosto de 2023.
4. World Health Organization. **Leishmaniasis**. Genebra; 2023. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/leishmaniasis> . Acesso em: 2 ago de 2023.
5. Alvarenga DG, Escalda PMF, Costa ASV, Monreal MTFD. 2010. **Leishmaniose visceral: estudo retrospectivo de fatores associados à letalidade**. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*. 2010; 43:2;194-197. <http://dx.doi.org/10.1590/S0037-86822010000200017> PMID:20464152.
6. Organização Pan-Americana da Saúde. **Leishmanioses: Informe epidemiológico das Américas**. Núm. 11, dezembro de 2022. Washington, D.C.: OPAS, 2022b. Disponível em: https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/56832/OPASCDEVT220021_por.pdf?sequence=1&isAllowed=y Acesso em: 11 de agosto de 2023.
7. Santos HG dos, Nascimento CF do Izicki R, Duarte YA de O, Porto Chiavegatto Filho AD. **Machine learning para análises preditivas em saúde: exemplo de aplicação para predizer óbito em idosos de São Paulo, Brasil**.

- Cad Saúde Pública [Internet]. 2019;35(7):e00050818. Available from: <https://doi.org/10.1590/0102-311X00050818>
8. Nunes, Bruno Pereira et al. **Machine learning analysis to predict health outcomes among emergency department users in Southern Brazil: a protocol study**. Revista Brasileira de Epidemiologia [online]. 2021; 24: e210050. Available from: <https://doi.org/10.1590/1980-549720210050> . ISSN 1980-5497.
 9. Souza FM, Prado TN do, Werneck GL, Luiz RR, Maciel ELN, Faerstein E, et al. **Classification and regression trees for predicting the risk of a negative test result for tuberculosis infection in Brazilian healthcare workers: a cross-sectional study**. Rev bras epidemiol [Internet]. 2021; 24: e210035. Available from: <https://doi.org/10.1590/1980-549720210035>
 10. Cavalcante, Ítalo José Mesquita and Vale, Marcus Raimundo. **Epidemiological aspects of visceral leishmaniasis (kala-azar) in Ceará in the period 2007 to 2011**. Revista Brasileira de Epidemiologia [online]. 2014; 17:4. 911-924. Available from: <https://doi.org/10.1590/1809-4503201400040010> . ISSN 1980-5497.
 11. Brito MIB da S, Oliveira ECA de, Barbosa CS, Gomes EC de S. **Fatores associados às formas graves e aos óbitos por esquistossomose e aplicação do linkage probabilístico nas bases de dados, Pernambuco, 2007–2017**. Rev bras epidemiol [Internet]. 2023; 26: e230003. Available from: <https://doi.org/10.1590/1980-549720230003.2>
 12. Oliveira ECA, Pimentel TJF, Araújo JPM, Oliveira LCS, Fernando VCN, Loyo RM, et al. **Investigação sobre os casos e óbitos por esquistossomose na cidade do Recife, Pernambuco, Brasil, 2005-2013**. Epidemiol Serv Saúde 2018; 27(4): e2017190. <http://dx.doi.org/10.5123/s1679-49742018000400010>
 13. Santos ML, Coeli CM, Batista JDAL, Braga MC, Albuquerque MFPM. Fatores associados à subnotificação de tuberculose com base no Sinan Aids e Sinan Tuberculose. Rev Bras Epidemiol 2018; 21: e180019. <https://doi.org/10.1590/1980-549720180019>

14. Gontijo CMF, Melo MN. **Leishmaniose visceral no Brasil: quadro atual, desafios e perspectivas**. Rev bras epidemiol [Internet]. 2004; Sep;7(3):338–49. Available from: <https://doi.org/10.1590/S1415-790X2004000300011>
15. Giovanella L, Guimarães L, Nogueira VMR, Lobato L de VC, Damacena GN. **Saúde nas fronteiras: acesso e demandas de estrangeiros e brasileiros não residentes ao SUS nas cidades de fronteira com países do MERCOSUL na perspectiva dos secretários municipais de saúde**. Cad Saúde Pública [Internet]. 2007; 23: S251–66. Available from: <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2007001400014>
16. Mondardo, M., & Staliano, P. Saúde na Fronteira Brasileira: **Políticas Públicas e Acesso a Serviços / Health on the Brazilian Border: Public Policies and Access to Services**. Espaço Aberto 2020; 10(1): 99-116. Doi: 10.36403/espacoaberto.2020.29948. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/EspacoAberto/article/view/29948>
17. Braga JU, Herrero MB, Cuellar CM. **Transmissão da tuberculose na tríplice fronteira entre Brasil, Paraguai e Argentina**. Caderno de Saúde Pública. 2011; 27:7, 1271-1280. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csp/a/tYmR9wHLmT434NGmMzWwtyS/>
18. Branco ML, Antas Torronteguy MA. **O SUS na fronteira e o Direito: em que medida o estrangeiro tem direito ao SUS**. Cad. Ibero Am. Direito Sanit. [Internet]. 20º de dezembro de 2013 [citado 20º de agosto de 2023];2(2):932-45. Disponível em: <https://www.cadernos.prodisa.fiocruz.br/index.php/cadernos/article/view/133> .
19. Cerroni MP, Carmo. **Magnitude das doenças de notificação compulsória e avaliação dos indicadores de vigilância epidemiológica em municípios da linha de fronteira do Brasil, 2007 a 2009**. Epidemiologia e Serviços de Saúde. 2015; 24:4, 617-628. Disponível em: http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-49742015000400004
20. Cazola LHO, et al. **Atendimentos a brasileiros residentes na fronteira Brasil-Paraguai pelo sistema único de saúde**. Revista Pan-americana de Saúde Pública.

- 2011; 29:3, 185-190. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-581617>
21. Jenkins New hash function for hash table lookup. 2013. Acesso em: 30 de jun. de 2023. Disponível em: <http://burtleburtle.net/bob/hash/doobs.html>
 22. Belo MMA, Oliveira CM, Barros SC, Maia LTS, Bonfim CV. **Estimativa da subnotificação dos óbitos por sífilis congênita no Recife-Pernambuco, 2010-2016: relacionamento entre os sistemas de informações sobre mortalidade e de agravos de notificação.** Epidemiol Serv Saúde 2021; 30(3): 2020501. <https://doi.org/10.1590/S1679-49742021000300009>
 23. Rego R. **Aplicação combinada dos filtros de Bloom com redes neurais recorrentes para detecção de ataques WEB.** Universidade Federal de Santa Maria; Santa Maria; 2020. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/19784/DIS_PPGCC_2020_REGO_RICHARD.pdf?sequence=1
 24. Bonomi F.; Mitzenmacher, M.; Panigrahy, R.; Singh, S.; Varghese, G. **An improved construction for counting bloom Filters.** European Symposium on Algorithms. 2006; 684-69. Disponível em: <https://theory.stanford.edu/~rinap/papers/esa2006b.pdf>
 25. Castela Forte J, Mungroop HE, de Geus F, et al. **Ensemble machine learning prediction and variable importance analysis of 5-year mortality after cardiac valve and CABG operations.** Sci Rep. 2021;11(1):3467. doi:10.1038/s41598-021-82403-0. Disponível em: <https://research.rug.nl/en/publications/ensemble-machine-learning-prediction-and-variable-importance-anal>
 26. Lundberg SM, Nair B, Vavilala MS, et al. **Explainable machine-learning predictions for the prevention of hypoxaemia during surgery.** Nat Biomed Eng. 2018;2(10):749-760. doi:10.1038/s41551-018-0304-0. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31001455/>
 27. Luo W, Phung D, Tran T, et al. **Guidelines for developing and reporting machine learning predictive models in biomedical research: a multidisciplinary review.** J Med Internet Res. 2016;18(12): e323. doi:10.2196/jmir.5870. Disponível em: <https://www.jmir.org/2016/12/e323>

28. Pepe MS, Feng Z, Huang Y, et al. **Integrating the predictiveness of a marker with its performance as a classifier**. Am J Epidemiol. 2008;167(3):362-368. doi:10.1093/aje/kwm305. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17982157/>
29. Austin PC, Steyerberg EW. **Graphical assessment of internal and external calibration of logistic regression models by using loess smoothers**. Stat Med. 2014;33(3):517-535. doi:10.1002/sim.594. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24002997/>
30. Pedregosa F, Varoquaux G, Gramfort A, Michel V, Thirion B. **Scikit-learn: machine learning in Python**. J Mach Learn Res. 2011; 12:2825-2830. Disponível em: <https://jmlr.org/papers/volume12/pedregosa11a/pedregosa11a.pdf>
31. Brasil CNS. **1ª Conferência Nacional de Vigilância em Saúde: Direito, Conquistas e Defesa de um SUS Público de Qualidade. Brasília: CNS; 2017. [Documento orientador: Diretrizes metodológicas]**. Disponível em: https://conselho.saude.gov.br/ultimas_noticias/2017/doc/documento_Orientador_1CNVS.pdf
32. Ministério da Saúde (BR). Secretaria de Vigilância em Saúde. **Guia de vigilância em saúde [Internet]. 3. ed. Brasília: Ministério da Saúde; 2019**. Disponível em: https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/guia_vigilancia_saude_3ed.pdf
33. Ministério da Saúde (BR). Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância de Doenças Transmissíveis. Coordenação-Geral de Doenças Transmissíveis. **Caderno de indicadores: leishmaniose tegumentar e leishmaniose visceral [Internet]**. Brasília: Ministério da Saúde. 2018 [citado 2021 jun 1]. Disponível em: http://portalsinan.saude.gov.br/images/documentos/Agravos/LTA/Indicadores_Leishmanioses_2018.pdf
34. Regulamento Sanitário Internacional (2005): 2ª edición. **1.Legislación sanitaria. 2.Control de enfermedades transmisibles - legislación. 3.Notificación de enfermedad. 4.Cooperación internacional. I.Organización Mundial de la Salud**. Disponível em:

- <https://www.gov.br/anvisa/ptbr/assuntos/paf/regulamentosanitariointernacional/arquivos/7184json-file-1>. Acesso em: 10 fev. 2022.
35. Silva AS, Teles RCCC, Rabelo MN, Monteiro LP, Silva RR, Campos RNS. **Aspectos gerais da Leishmaniose Visceral em humanos e cães**. Conjecturas. 22:12, 844–857, 2022. Disponível em: <http://conjecturas.org/index.php/edicoes/article/view/1587> Acesso em: 14 ago. 2023.
36. Sociedade Brasileira de Medicina Tropical. **OMS lança novo roteiro - 2021-2030 - para as Doenças Tropicais Negligenciadas**. Brasília, DF: SBMT, 2021. Disponível em: <https://sbmt.org.br/oms-lanca-novo-roteiro-2021-2030-paraasdoencastropicaisnegligenciadas/> Acesso em: 11 de agosto de 2023.
37. Secretária Estadual de Saúde do Mato Grosso do Sul. **Boletim epidemiológico. Leishmaniose Visceral Humana – 2022**. Disponível em: https://www.vs.saude.ms.gov.br/wp-content/uploads/2023/02/Boletim_leish_visceral_023-Final.pdf
38. Leishmaniose. **Informe epidemiológico das Américas**. 2022. Disponível em: https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/56832/OPASCDEVT220021_por.pdf?sequence=1&isAllowed=y .
39. Tharwat A. “**Classification assessment methods**,” Appl. Comput. Inform., Aug. 2018. Disponível em : <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1016/j.aci.2018.08.003/full/pdf>
40. Hochreiter S, Schmidhuber J. **Long short-term memory**. Neural Comput. 1997;9(8):1735-1780. doi:10.1162/neco.1997.9.8.1735. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1162/neco.1997.9.8.1735>