

Leptospirose e Chuvas na Amazônia Legal: Análise e Visualização Interativa por meio de um Aplicativo Web

Leptospirosis and Rainfall in the Brazilian Legal Amazon: Analysis and Interactive Visualization through a Web Application

Leptospirosis y Lluvias en la Amazonía Legal: Análisis y Visualización Interactiva mediante una Aplicación Web

Patrick Eduardo Zanon Maciel¹
Elias Silva de Medeiros²

Resumo: Este estudo teve como objetivo desenvolver um aplicativo interativo que permita analisar a relação entre a precipitação pluviométrica e os casos de leptospirose nos municípios da Amazônia Legal entre 2001 e 2023. A pergunta de pesquisa que orienta o trabalho é: há correlação entre os volumes de chuva e a incidência de leptospirose na região? Para isso, foram utilizados dados de casos confirmados de leptospirose (DATASUS) e de precipitação (NASA POWER), processados no software R com os pacotes *nasapower*, *Shiny* e *Flexdashboard*. Os resultados indicaram padrões sazonais da doença, com picos entre janeiro e maio, além de correlações positivas expressivas em municípios como Santarém ($R^2 = 0,79$). O aplicativo desenvolvido permite a visualização interativa dos dados por município, oferecendo suporte a ações de vigilância e planejamento em saúde pública.

Palavras-chave: *Shiny*. Saúde pública. Análise espacial.

Abstract: This study aimed to develop an interactive application to analyze the relationship between rainfall and leptospirosis cases in municipalities of the Brazilian Legal Amazon from 2001 to 2023. The guiding research question is: Is there a correlation between rainfall volumes and the incidence of leptospirosis in the region? To answer this, data on confirmed cases of leptospirosis (DATASUS) and precipitation (NASA POWER) were processed using the R software with the *nasapower*, *Shiny*, and *Flexdashboard* packages. The results indicated seasonal disease patterns, with peaks between January and May, and strong positive correlations in municipalities such as Santarém ($R^2 = 0.79$). The application allows interactive visualization of data by municipality, supporting public health surveillance and planning actions.

Keywords: *Shiny*. Public health. Spatial analysis.

¹ Graduando em Matemática. Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4661-5764>. E-mail: patrickeduardozanonmaciel@gmail.com

² Doutor em Estatística e Experimentação Agronômica. Docente na Universidade Federal da Grande Dourados. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9694-4019>. E-mail: eliasmedeiros@ufgd.edu.br

Resumen: Este estudio tuvo como objetivo desarrollar una aplicación interactiva para analizar la relación entre la precipitación pluvial y los casos de leptospirosis en los municipios de la Amazonía Legal brasileña entre 2001 y 2023. La pregunta de investigación que orienta el trabajo es: ¿existe correlación entre los volúmenes de lluvia y la incidencia de leptospirosis en la región? Para ello, se utilizaron datos de casos confirmados de leptospirosis (DATASUS) y de precipitación (NASA POWER), procesados en el software R mediante los paquetes *nasapower*, *Shiny* y *Flexdashboard*. Los resultados indicaron patrones estacionales de la enfermedad, con picos entre enero y mayo, además de correlaciones positivas significativas en municipios como Santarém ($R^2 = 0.79$). La aplicación permite la visualización interactiva de los datos por municipio, ofreciendo apoyo a las acciones de vigilancia y planificación en salud pública.

Palabras-clave: *Shiny*. Salud pública. Análisis espacial.

Submetido 15/06/2025

Aceito 26/08/2025

Publicado 29/08/2025

Considerações iniciais

A leptospirose é uma doença que afeta não somente o Brasil, mas também outros países ao redor do mundo. Sua incidência é maior em áreas tropicais e urbanas, podendo, em alguns casos, levar o indivíduo a óbito (Clazer *et al.*, 2015; Oliveira *et al.*, 2025). Causada pela bactéria *Leptospira*, presente na urina de animais contaminados, a infecção ocorre por meio do contato com feridas, pele ou mucosas (Brasil, 2025). Alguns roedores são os principais transmissores da doença, pois são resistentes aos sintomas da bactéria. Dessa forma, por meio de sua urina, contaminam propriedades, terrenos e sistemas de esgoto. O problema se agrava em locais que não possuem um bom escoamento pluvial, já que altas precipitações contribuem para alagamentos com água contaminada (Clazer *et al.*, 2015).

As bactérias do gênero *Leptospira* conseguem sobreviver por longos períodos em água limpa, podendo permanecer viáveis por até cinco meses. No entanto, sua sobrevivência é dificultada em ambientes com alta salinidade, pH ácido, baixa umidade ou elevada competição com outros microrganismos, como ocorre em locais muito contaminados (Genovez, 2009). Dessa forma, os alagamentos causados por chuvas intensas, especialmente em áreas com escoamento pluvial deficiente, tornam-se ambientes favoráveis à permanência da bactéria e à disseminação da doença.

Em contextos urbanos, a leptospirose está associada a fatores como baixa renda, infraestrutura precária e aumento da precipitação, afetando principalmente pessoas que vivem próximas a córregos e em regiões com saneamento inadequado. Já em áreas rurais, a chuva não tem o mesmo peso como fator de risco; nesses casos, a exposição ocorre principalmente durante atividades no campo, como o trabalho em canaviais, arrozais e lavouras irrigadas, especialmente quando há ausência do uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) (Pelissari *et al.*, 2011).

O crescimento acelerado e desordenado dos grandes centros urbanos favorece a formação de áreas com saneamento básico precário. Associado a esse problema, o avanço do desmatamento contribui para o desequilíbrio da fauna e da flora locais, afastando predadores naturais e, conseqüentemente, aumentando a população de presas, entre as quais se destacam os roedores, os quais são importantes transmissores da leptospirose (Oliveira *et al.*, 2022).

Nesse contexto, merece destaque a região da Amazônia Legal, que abrange nove estados brasileiros (Acre, Amapá, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia,

Roraima e Tocantins) e representa cerca de 59% do território nacional (IBGE, 2022). A região é caracterizada por vastas áreas urbanas e rurais que enfrentam sérias deficiências em infraestrutura urbana e serviços públicos, especialmente no que se refere ao saneamento básico. Em 2010, apenas 60% dos domicílios da Amazônia Legal tinham acesso à rede geral de abastecimento de água, 14% contavam com coleta de esgoto e 71% eram atendidos pela coleta de lixo (Viana *et al.*, 2016).

Esse cenário agrava ainda mais a vulnerabilidade da população à leptospirose, que atualmente possui mais de 300 sorovares (ou sorotipos) distintos, o que dificulta a produção de uma vacina eficaz. Considerando também o duplo negligenciamento da doença, tanto em termos de atenção governamental quanto de investimentos em pesquisa, esses fatores ajudam a explicar a inexistência de uma vacina disponível no Brasil (Martins; Spink, 2020; Esteves, 2018). Diante desse cenário, é fundamental compreender os fatores que contribuem para o aumento da incidência da doença nos municípios da Amazônia Legal, a fim de possibilitar intervenções eficazes voltadas à redução do número de casos.

A tecnologia, especialmente no campo da visualização de dados, exerce um papel fundamental na compreensão da relação entre os casos de leptospirose e as condições climáticas (Baia *et al.*, 2023). Ela possibilita análises espaciais e temporais da incidência da doença em diferentes contextos socioambientais. Um marco histórico na epidemiologia e no uso do geoprocessamento de dados ocorreu em 1854, quando o médico John Snow, ao mapear os casos de um surto de cólera, conseguiu associá-los a uma fonte de água contaminada (Cerdeira; Valdivia, 2007). A partir desse episódio, os avanços tecnológicos passaram a viabilizar a visualização de grandes volumes de dados, permitindo tanto a construção de perfis epidemiológicos quanto a comparação de séries históricas de precipitação e casos de leptospirose.

O crescimento acelerado das ferramentas computacionais tem proporcionado vantagens significativas no campo da estatística aplicada. Entre elas, destaca-se a utilização de softwares que integram análise de dados com interfaces intuitivas e recursos visuais mais atrativos. O ambiente RStudio (RStudio Team, 2021) representa um marco nesse sentido, pois oferece uma plataforma completa para desenvolvimento em R, incorporando funcionalidades como R Markdown, R Presentation, HTML e o próprio *Shiny*. Essas ferramentas permitem a criação de conteúdos dinâmicos e interativos, acessíveis diretamente pela web, promovendo o aprendizado ativo e eficaz, inclusive para iniciantes em programação (Konrath *et al.*, 2019).

Além disso, o uso de aplicativos web no ensino e divulgação científica tem demonstrado grande potencial para o engajamento de estudantes e profissionais. Segundo Williams e Williams (2018), a interatividade proporcionada por essas ferramentas contribui para a melhor assimilação dos conceitos estatísticos, tornando o processo de ensino-aprendizagem mais envolvente e eficiente.

Atualmente, *dashboards* e aplicativos interativos facilitam a análise dessas informações, tornando os processos decisórios mais eficientes e aprimorando as respostas a surtos epidemiológicos. Nesse contexto, a ferramenta *Shiny* (Chang *et al.*, 2024), integrada à linguagem *R* (R Core Team, 2024), permite o desenvolvimento de plataformas interativas para visualização e interpretação de padrões, contribuindo para a formulação de estratégias mais eficazes no enfrentamento da doença.

Nesse cenário, destaca-se o pacote *Shiny*, desenvolvido por Chang *et al.* (2024), que, aliado à linguagem estatística *R* (R Core Team, 2024), possibilita a criação de aplicações web interativas voltadas à visualização e exploração de dados. Essa integração favorece a detecção de padrões relevantes e facilita a comunicação dos resultados obtidos por análises estatísticas, promovendo uma compreensão mais ampla e acessível, inclusive entre profissionais não especializados em programação.

O pacote *Shiny*, especificamente, destaca-se entre as milhares de bibliotecas disponíveis no ecossistema do *R* por sua capacidade de transformar *scripts* analíticos em interfaces amigáveis. Com ele, é possível desenvolver aplicações que operam diretamente em navegadores web, democratizando o acesso às análises estatísticas e promovendo maior autonomia aos usuários na exploração dos dados.

Diante disso, esta pesquisa teve como objetivo analisar a relação entre a precipitação pluviométrica e os casos de leptospirose nos municípios da Amazônia Legal entre 2001 e 2023, utilizando para isso um aplicativo interativo desenvolvido especificamente para esta finalidade. O aplicativo é elaborado para facilitar a interpretação dos dados pelo usuário, oferecendo gráficos, tabelas, médias e outros recursos estatísticos, que variam conforme o estado e o município selecionados.

Metodologia

A pesquisa compreendeu diferentes etapas metodológicas, iniciando pela delimitação da área de estudo. Foram analisados os casos confirmados de leptospirose e a quantidade de chuva mensal no período de 2001 a 2023, abrangendo todos os municípios pertencentes à Amazônia Legal. É importante salientar que os seguintes estados fazem parte integralmente dessa região: Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins. O Maranhão pertence parcialmente, tendo alguns municípios não inteiramente contidos nela, os quais trazemos dados do município inteiro (IBGE, 2022).

Em seguida, foi realizada a coleta dos dados. As informações referentes aos casos confirmados de leptospirose, no período de 1º de janeiro de 2001 a 31 de dezembro de 2023, foram obtidos pelo aplicativo TABNET, que representa uma sistema de tabulação do Departamento de Informática do SUS (DATASUS), disponibilizado pelo Ministério da Saúde, por meio do endereço eletrônico: <https://datasus.saude.gov.br/informacoes-de-saude-tabnet/>. Considerou-se, para cada registro, o município de residência e o mês de primeiro sintoma(s).

Os dados de precipitação diária utilizados neste estudo foram obtidos a partir da plataforma NASA POWER (*Prediction Of Worldwide Energy Resources*), por meio do pacote nasapower (Sparks, 2024) no software R (R Core Team, 2024). A série histórica considerada compreende o período de 1º de janeiro de 2001 a 31 de dezembro de 2023. As coordenadas geográficas utilizadas na requisição correspondem aos centróides dos municípios que compõem a região da Amazônia Legal. Para cada município, as coordenadas de latitude e longitude do centróide foram utilizadas como entrada na função `get_power()`, conforme os comandos na Figura 1:

Figura 1 – Estrutura básica de um painel criado com o pacote *Flexdashboard*

```
data <- get_power(  
  community = "AG",  
  lonlat = c(lon, lat),  
  pars = "PRECTOTCORR",  
  dates = c("2001-01-01", "2023-12-31"),  
  temporal_api = "daily"  
)
```

Fonte: Os autores (2025)

Tratamento e organização dos dados

Para a manipulação, organização e concatenação dos dados, utilizaram-se as ferramentas de Planilha Eletrônica e o software R (R Core Team, 2024). Todos os gráficos apresentados no aplicativo final foram elaborados em linguagem R, por meio do pacote `ggplot2` (Wickham, 2016). Inicialmente, os dados passaram por uma etapa de limpeza, com a remoção de registros duplicados e inconsistentes. Em seguida, as variáveis foram padronizadas para garantir compatibilidade entre as bases, adotando-se como chave de integração o código do município (IBGE). Posteriormente, os dados foram agregados por município e por ano, no período de 2001 a 2023, resultando em uma tabela estruturada contendo, para cada município, o total anual de precipitação e o número de casos de leptospirose. Essa tabela foi então utilizada como base de dados do aplicativo interativo, permitindo a visualização e análise comparativa entre variáveis climáticas e epidemiológicas.

Diante da delimitação espacial e temporal estabelecida, definiu-se a estratégia metodológica mais adequada para alcançar os objetivos propostos. Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa quantitativa, de natureza aplicada, com objetivo descritivo e procedimento documental. A abordagem quantitativa se justifica pela análise de dados numéricos sobre precipitação pluviométrica e casos confirmados de leptospirose. A natureza aplicada decorre da intenção de desenvolver uma ferramenta prática (um aplicativo web) que possa apoiar ações de vigilância em saúde. O caráter descritivo está na busca por padrões e correlações entre variáveis ao longo do tempo. Por fim, adota-se como procedimento metodológico a pesquisa documental, utilizando bases de dados secundárias públicas.

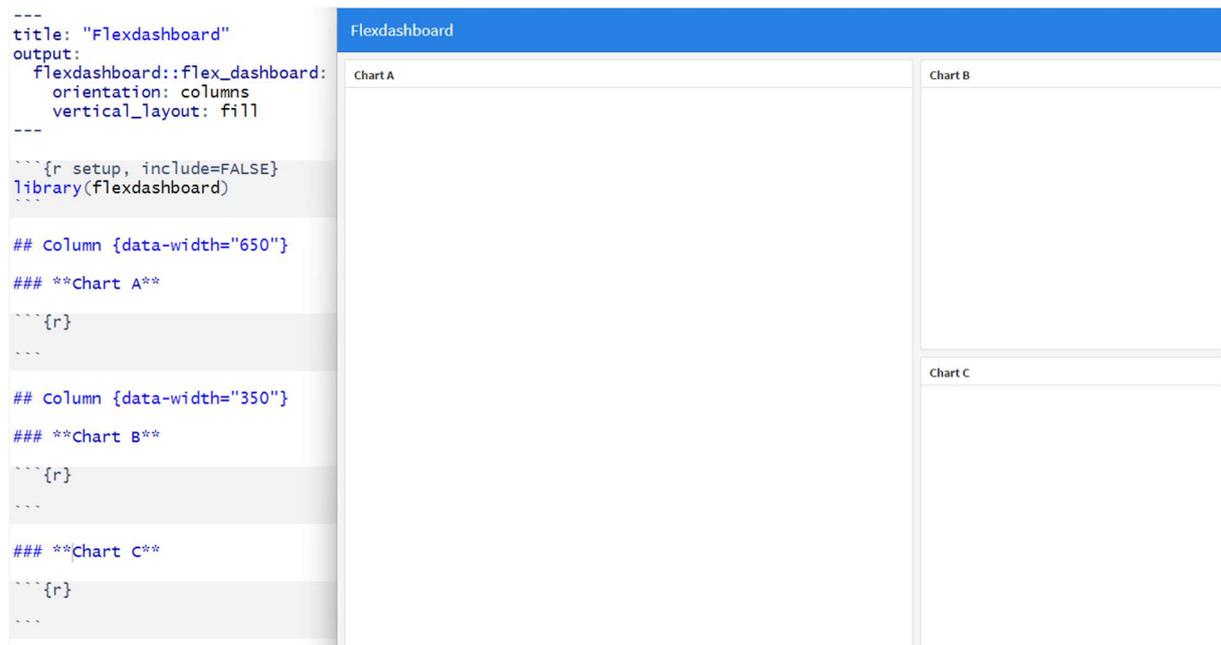
Na etapa seguinte, procedeu-se ao desenvolvimento do aplicativo interativo, utilizando os pacotes *shiny* e *Flexdashboard*, que permitem a construção de painéis dinâmicos e de fácil interação com o usuário.

Visão geral do *Flexdashboard*

O pacote *Flexdashboard* (Aden-Buie *et al.*, 2023), desenvolvido no R, permite a criação de painéis a partir de linguagem R Markdown. Possui ampla variedade de componentes que podem ser implementados em seu código, dentre eles podemos citar: visualizações de dados, saída gráfica R, dados tabulares, caixas de valores, medidores e caixas de texto. É possível modificá-lo adicionando abas, colunas ou até mesmo mudando suas cores de fundo (Allair *et*

al., 2024). A Figura 2 ilustra o modelo de painel básico oferecido pelo pacote, o qual pode ser expandido conforme a necessidade da aplicação.

Figura 2 – Estrutura básica de um painel criado com o pacote *Flexdashboard*



Fonte: Os autores (2025)

Uma das principais vantagens do *Flexdashboard* é a sua integração com o pacote *Shiny*. O *Shiny* é um *framework* em R que permite transformar análises e visualizações em aplicações web interativas, sem a necessidade de conhecimentos em *HTML*, *CSS* ou *JavaScript* (Amorim, 2024).

Visão geral do *Shiny*

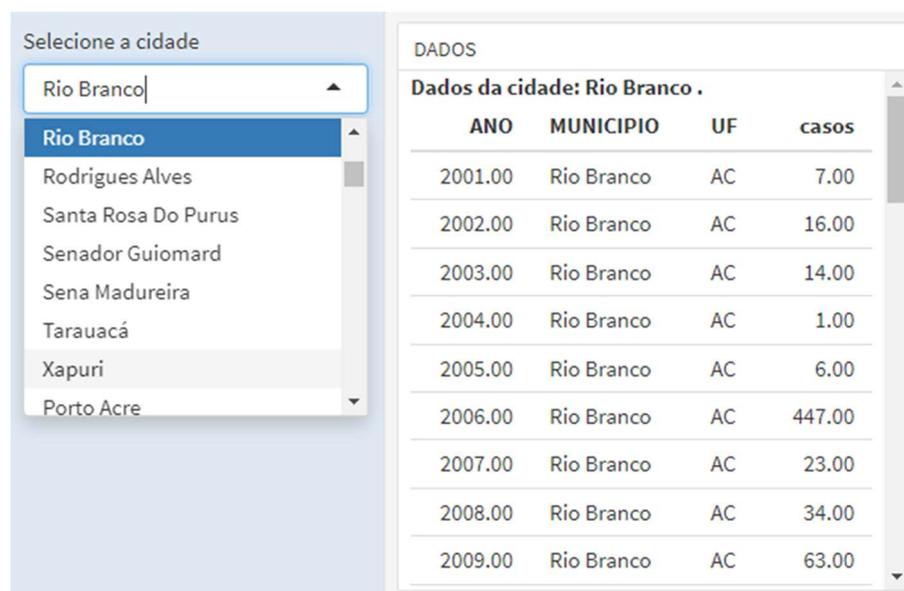
O pacote *Shiny*, desenvolvido para a linguagem R, permite a criação de aplicações web interativas com componentes reativos, como menus suspensos, filtros, caixas de seleção e visualizações que se atualizam automaticamente de acordo com as entradas do usuário. Esses recursos tornam a experiência mais dinâmica, intuitiva e personalizada.

No contexto deste projeto, o *Shiny* foi utilizado para possibilitar a interação do usuário com os dados de chuva e casos de leptospirose, permitindo filtragens por estado e município de

forma prática. A integração entre o *Flexdashboard* e o *Shiny* viabiliza a construção de painéis interativos, que facilitam a visualização e interpretação de dados de forma eficiente.

A Figura 3 ilustra uma das primeiras versões do aplicativo, na qual o usuário pode selecionar o município desejado para visualizar os registros históricos de casos de leptospirose associados à localidade.

Figura 3 – Interface interativa desenvolvida com *Shiny* para seleção de município e visualização de dados



Fonte: Os autores (2025)

A seguir é apresentada uma subseção detalhando o mecanismo de criação de um aplicativo em web por meio do pacote *Shiny*. A estrutura fundamental de uma aplicação desenvolvida com o pacote *Shiny* é composta por dois elementos principais: a interface do usuário (UI) e o servidor (server). A interface define todos os componentes visuais com os quais o usuário poderá interagir tais como menus suspensos, botões, gráficos e tabelas, enquanto o servidor executa a lógica de processamento dos dados e atualiza dinamicamente os elementos da interface com base nas ações do usuário.

Funcionamento do *Shiny*

O funcionamento do *Shiny* está baseado em um modelo de programação reativa, no qual a atualização automática dos objetos de saída ocorre sempre que há alteração em objetos de entrada. Por exemplo, ao selecionar uma cidade em um `selectInput`, o valor associado à entrada `input$...` é imediatamente atualizado. Em resposta, todos os elementos dependentes tais como gráficos e tabelas, são recalculados e renderizados novamente, promovendo uma experiência interativa e responsiva (Konrath *et al.*, 2019; Medeiros *et al.*, 2025).

A Figura 4 apresenta um exemplo dessa estrutura, destacando os trechos de código correspondentes à UI e ao servidor. Nela, observa-se a utilização do `renderUI()` para gerar dinamicamente um seletor de cidade, e do `renderTable()` para apresentar os dados filtrados conforme a escolha do usuário.

Figura 4 – Código da figura 2, evidenciando seu (UI) e (server)

```

```{r}

uioutput("city_selector")
...

```{r, echo = FALSE}
data <- reactive({
  read_excel("dados.xlsx")
})

output$city_selector <- renderUI({
  selectInput('city', 'Selecione a cidade', unique(data()$MUNICIPIO))
})

filtro <- reactive({
  dsub <- aggregate(casos ~ ANO + MUNICIPIO + UF, data = data(), FUN = sum)
  dplyr::filter(dsub, MUNICIPIO == input$city)
})

...

## Column {data-width="250"}

### DADOS

**Dados da cidade:** renderText(input$city)
```{r}
renderTable({
 filtro()
})
...

```

Fonte: Os autores (2025)

Para obtenção dos resultados foram realizadas análises descritivas, com cálculo de médias, máximos, mínimos e coeficientes de correlação entre variáveis. Os resultados foram apresentados por meio de gráficos de dispersão, séries temporais e tabelas estatísticas. Ressalta-se que o aplicativo desenvolvido não possui integração com uma *Application Programming Interface* (API), o que implica que não há atualização automática do banco de dados. Dessa forma, os resultados apresentados permanecerão restritos ao conjunto de dados definido.

### **Análise dos dados e resultados**

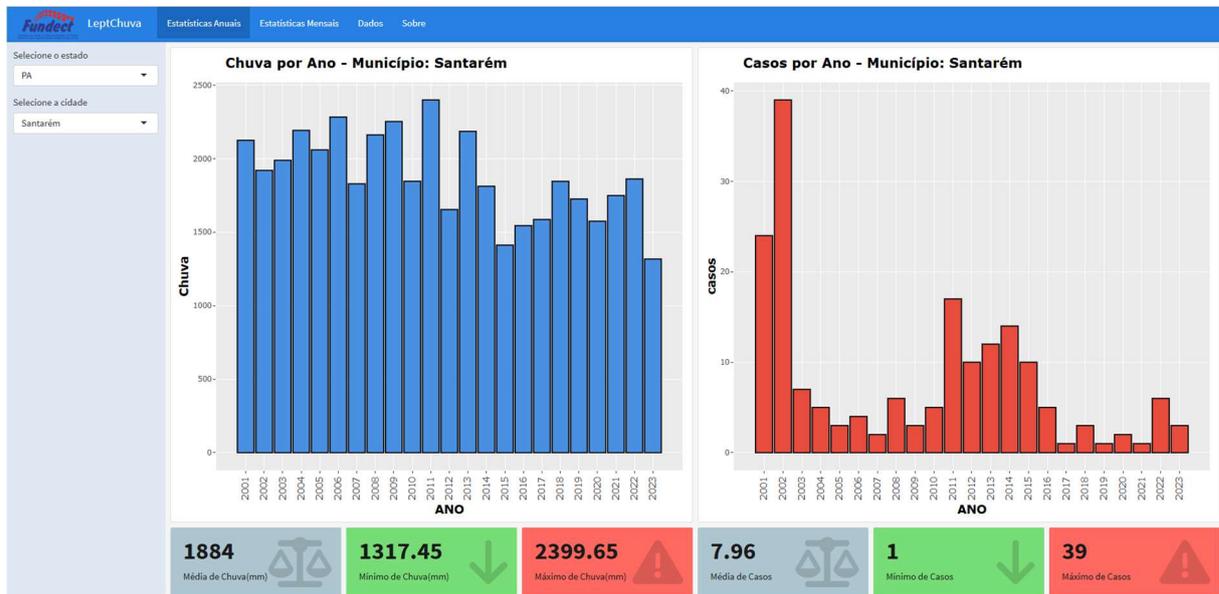
O aplicativo desenvolvido para análise da série histórica de casos de leptospirose e volumes anuais de chuva encontra-se disponível no link: <https://ufgd.Shinyapps.io/LeptChuva1/>. A plataforma foi construída utilizando os pacotes *Shiny* e *Flexdashboard*, permitindo visualização e a interação a partir de dados reais.

A interface do aplicativo está organizada em quatro abas principais, sendo: Estatísticas Anuais, Estatísticas Mensais, Dados e Sobre. Cada uma delas apresenta diferentes formas de explorar as informações, por meio de gráficos, tabelas, indicadores e informações sobre os autores.

Na Figura 5, observa-se a aba “Estatísticas Anuais”, em que o painel está dividido em duas seções principais: à esquerda, o gráfico de barras representa os totais anuais de chuva, enquanto à direita visualizam-se os casos anuais de leptospirose, ambos para o município selecionado. A seleção de unidade federativa (UF) e município é feita no canto superior esquerdo, por meio de componentes `selectInput`, permitindo ao usuário personalizar a visualização conforme sua área de interesse.

Na parte inferior do painel, são exibidos indicadores numéricos resumidos, incluindo valores da média, mínimo e máximo da série histórica, tanto para os dados pluviométricos quanto para os registros de casos. Esses elementos fornecem ao usuário uma análise estatística rápida e acessível para comparação entre municípios e anos.

Figura 5 – Distribuição anual da precipitação e dos casos de leptospirose no município de Santarém-PA, apresentada no aplicativo, no período de 2001 a 2023.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Como exemplo didático, selecionamos o município de Santarém, no estado do Pará. Para este município, os dados indicam que, entre os anos analisados, a precipitação anual variou de 1317,45 mm (mínimo) a 2399,65 mm (máximo), com uma média anual de 1884 mm. Já em relação aos casos de leptospirose, observam-se valores anuais entre 1 e 39 casos, com uma média de aproximadamente 7,96 casos por ano.

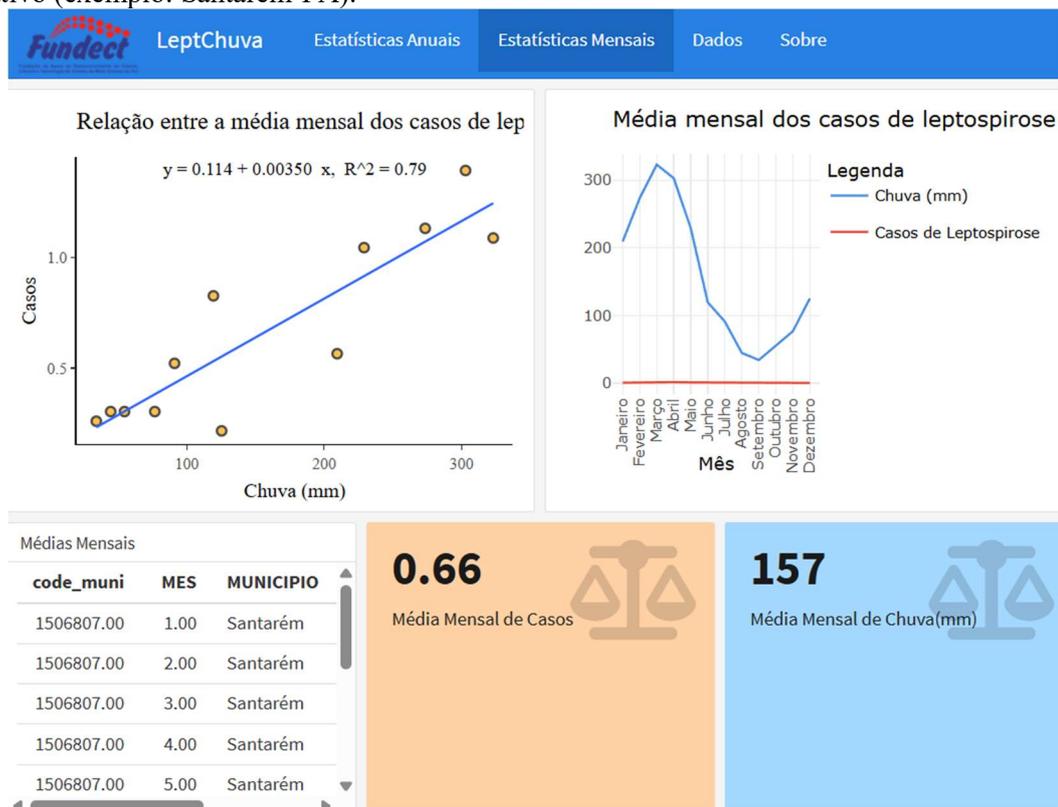
O aplicativo permite obter dados não somente de Santarém - PA, mas também de qualquer outro município pertencente à Amazônia Legal, ampliando as possibilidades de análise e comparação regional. Dentre estes, destacam-se algumas capitais importantes, como Belém - PA, que apresentou variação na precipitação anual entre 1939,58 mm e 3079,96 mm, alcançando uma média anual de 2604,8 mm. Em relação aos casos de leptospirose, Belém registrou uma quantidade mínima de 24 casos e máxima de 116 casos anuais, resultando em uma média aproximada de 59,48 casos por ano ao longo do período considerado.

No estado do Amazonas, a capital Manaus apresentou comportamento semelhante quanto ao regime pluviométrico, com média anual de 2015,23 mm e valores variando entre 1282,5 mm e 2696,96 mm. A quantidade de casos de leptospirose na cidade oscilou entre 17 e 60 casos por ano, estabelecendo uma média de 37,65 casos anuais.

No caso de Macapá, capital do estado do Amapá, observa-se uma média anual de 38,87 casos de leptospirose, com valores variando entre 0 e 90 casos da doença ao longo do período analisado. Quanto à precipitação, a capital apresentou médias anuais em torno de 1982,42 mm, com extremos entre 1080,32 mm (mínimo) e 2682,56 mm (máximo).

Retornando a exemplificação, a Figura 6 apresenta as estatísticas mensais, também para o município de Santarém. À esquerda, visualiza-se um gráfico de dispersão com linha de tendência, que demonstra a relação positiva entre a média mensal de casos de leptospirose e os volumes médios mensais de chuva. À direita, é exibido um gráfico de linhas com as séries temporais das médias mensais de casos e precipitação (2001–2023). Abaixo, são mostradas duas caixas-resumo contendo os valores médios mensais: 0,66 casos e 157 mm de chuva.

Figura 6 – Médias mensais de precipitação e casos de leptospirose no município selecionado no aplicativo (exemplo: Santarém-PA).



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Na Figura 6, os gráficos e tabelas se baseiam nas médias mensais de precipitação e de casos de leptospirose, sempre considerando o município previamente selecionado (Santarém-PA, neste exemplo).

Na Figura 5 observou-se um evidente padrão sazonal na distribuição das chuvas, com maiores volumes entre os meses de janeiro e maio, atingindo o pico em março. A média mensal dos casos de leptospirose também foi mais alta nesse período, o que sugere uma possível associação entre os dois fenômenos.

No gráfico de dispersão, seu coeficiente de determinação (0,79) indica haver uma alta correlação entre as variáveis, isso também se mostra através de sua linha de tendência linear, linha essa que melhor aproxima os valores plotados no gráfico, definida pela função:  $(f(x) = 0,114 + 0,0035x)$ , que representa a quantidade de casos em função da quantidade de milímetros de chuva. Afirma-se que a correlação entre as variáveis é positiva, dado pela linha crescente no gráfico ou pelo coeficiente linear positivo da função.

Ressalta-se que, embora tenha sido observada uma alta correlação entre o aumento da chuva e o aumento dos casos de leptospirose, é importante considerar que essa doença está fortemente associada a condições precárias de saneamento básico, uma variável que não foi incluída no escopo do aplicativo.

Na aba (Dados), é possível visualizar os dados anuais utilizados para gerar os gráficos da aba Estatísticas Anuais, e, por fim, a aba (Sobre) apresenta a instituição de fomento responsável pelo apoio ao projeto, bem como os nomes das pessoas que contribuíram para o desenvolvimento do aplicativo.

Para demonstrar o potencial analítico do aplicativo, apresenta-se o Quadro 1, elaborado a partir de dados extraídos diretamente do LeptChuva mediante a seleção das capitais de cada estado. O quadro exhibe estatísticas anuais descritivas, incluindo valores mínimos, máximos e médias de casos e de precipitação. Verifica-se que Rio Branco apresenta uma média de casos aproximadamente 154,7% superior à observada em Belém, segunda capital com maior média.

Quadro 1 – Dados anuais descritivos de quantidade de casos e quantidade de chuva das capitais pertencentes a amazônia legal

Capital	Casos			Chuva (mm)		
	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo
Rio Branco - AC	1	151,52	812	1118,39	1607,89	2259,21
Macapá - AP	0	38,87	90	1080,32	1982,42	2682,56
Manaus - AM	17	37,65	60	1282,5	2015,23	2696,96
Belém - PA	24	59,48	116	1939,58	2604,8	3079,96
Cuiabá - MT	0	0,83	4	938,24	1282,97	1592,54
São Luís - MA	4	14,13	32	919,67	1726,89	2200,91
Porto Velho - RO	1	11,74	100	1106,42	1755,62	2292,23
Boa Vista - RR	0	0,78	4	653,05	1516,58	2380,77
Palmas - TO	0	0,39	2	1121,88	1499,18	1781,12

Fonte: Os autores (2025), com dados do aplicativo LeptChuva.

Os resultados apresentados anteriormente demonstram a complexidade da relação entre variáveis ambientais e a ocorrência de leptospirose nos municípios da Amazônia Legal. A partir deste estudo, é possível aprofundar a análise, destacando tanto as regularidades observadas quanto as diferenças regionais, além de confrontar os dados obtidos com a literatura existente. A seguir, discutem-se os principais padrões identificados, as implicações práticas das evidências encontradas e as limitações inerentes ao estudo.

Neste estudo, por meio do aplicativo LeptChuva, revelou uma grande variabilidade entre os municípios analisados. Foram identificadas tanto correlações positivas quanto negativas entre a precipitação e os casos de leptospirose, além de localidades onde não se observou nenhum padrão consistente.

Os resultados obtidos a partir do município de Santarém (PA), utilizados como exemplo no presente estudo, evidenciaram uma forte correlação positiva entre a média mensal de

precipitação e os casos de leptospirose ( $R^2 = 0,79$ ). Alguns estudos realizados em diferentes regiões do Brasil têm demonstrado uma forte correlação positiva entre a precipitação pluviométrica e os casos de leptospirose. Em Belém, no estado do Pará, por exemplo, foi identificado um coeficiente de correlação de 0,86 entre o volume de chuvas e a incidência da doença (Baia *et al.*, 2023). De forma semelhante, no estado do Rio Grande do Sul, observou-se que o aumento da precipitação extrema esteve associado a um maior número de casos, com valores de  $R^2$  de 33,6% em 2023 e 64,04% em 2024 (Silva *et al.*, 2025).

A leptospirose apresenta um padrão sazonal bem definido, com picos de incidência nos períodos chuvosos, especialmente entre os meses de janeiro e maio (Alves *et al.*, 2022). Tal comportamento reforça a importância de considerar os fatores climáticos como determinantes ambientais para a ocorrência da doença. Além disso, áreas urbanas com infraestrutura precária de drenagem e saneamento básico são particularmente vulneráveis a surtos de leptospirose após eventos de chuvas intensas (Brito *et al.*, 2020).

Em nosso estudo, foi possível observar que Rio Branco (AC) apresentou um aumento considerável no número de casos até o ano de 2014, quando atingiu um pico de 812 registros, aproximadamente 5,3 vezes superior à média anual para o período analisado. Em relação às médias mensais, o município apresentou cerca de 12,63 casos por mês, com destaque para o mês de março, que concentrou média de 48,6 casos, representando aproximadamente 32% dos casos anuais. Segundo Magalhães *et al.* (2021), em Rio Branco - AC, a distribuição dos casos no período analisado mostra que eles ocorrem em todos os meses do ano, com destaque para o intervalo de janeiro a julho. Observa-se também que o mês de março apresenta a maior quantidade de casos, corroborando nossos resultados.

Uma análise dos casos notificados de leptospirose no Estado do Acre, entre os anos de 2015 e 2019, revelou uma média anual de 342 registros. Desse total, aproximadamente 68% foram concentrados na capital, Rio Branco (Negreiro *et al.*, 2021). Já no período mais extenso de 2001 a 2023, este estudo identificou 5.081 casos confirmados no estado, o que representa cerca de 221 casos por ano, sendo aproximadamente 152 em Rio Branco, novamente correspondendo a cerca de 68% do total. Nota-se que a média anual encontrada por Negreiro *et al.* (2021) é superior à deste estudo, o que se justifica pelo fato de seu recorte temporal abranger um período mais curto, incluindo o ano de 2015, que apresentou a segunda maior quantidade de casos no histórico analisado.

Essas evidências ressaltam a necessidade de uma abordagem multidisciplinar na gestão da saúde pública, que integre o monitoramento climático com estratégias preventivas em saúde e o planejamento urbano. A adoção de medidas como melhoria da infraestrutura urbana, campanhas educativas em períodos críticos e o uso de ferramentas interativas de vigilância, como o aplicativo apresentado neste estudo, pode contribuir para a mitigação dos riscos associados à leptospirose (Silva *et al.*, 2025).

Entre os aspectos positivos, destaca-se a facilidade em obter análises de dados de precipitação e séries históricas de casos de leptospirose para mais de 700 municípios pertencentes à Amazônia Legal. O aplicativo pode auxiliar em futuras pesquisas realizadas nesses municípios, uma vez que permite identificar cidades que, no período analisado, apresentaram uma quantidade alarmante de casos, além de possibilitar a verificação da existência de uma boa correlação linear entre a chuva e a incidência da doença.

Por outro lado, foi possível identificar algumas limitações do aplicativo. Uma delas é a ausência de uma *Application Programming Interface* (API), o que impede o aplicativo de manter-se automaticamente atualizado, exigindo a inserção manual de novos dados no *dataframe* para contemplar informações dos anos subsequentes. Outra limitação é o fato de que os dados utilizados estão sujeitos a subnotificação, especialmente no que se refere aos casos de leptospirose, e não consideram variáveis socioambientais complementares, como densidade populacional, presença de áreas alagáveis e cobertura de esgoto sanitário. Além disso, o modelo apresentado é descritivo e não busca estabelecer relações causais, sendo necessário o uso de modelos estatísticos para inferências conclusivas.

### Considerações finais

O presente estudo possibilitou a criação de um aplicativo utilizando o pacote *Flexdashboard* no software R, com o objetivo de desenvolver páginas web contendo dados estatísticos sobre a quantidade de casos de leptospirose e a série histórica de precipitação para qualquer município pertencente à Amazônia Legal. As comparações realizadas a partir dos dados obtidos no aplicativo corroboram pesquisas já existentes, ressaltando a importância da ferramenta e facilitando a realização de novos estudos acerca da leptospirose na região.

A pergunta de pesquisa: “se há correlação entre volumes de chuva e a incidência de leptospirose nos municípios da Amazônia Legal?” foi respondida de forma satisfatória.

Identificaram-se correlações significativas em diversos municípios, como Santarém (PA), em que a associação positiva foi forte. Esses resultados confirmam que, em muitos contextos da região, a precipitação exerce influência direta sobre os casos da doença, justificando a adoção de medidas de prevenção baseadas no monitoramento climático e no uso de tecnologias que integrem dados ambientais e epidemiológicos.

Além de fomentar novas pesquisas, o aplicativo pode auxiliar os órgãos de saúde em análises voltadas à previsão e ao combate dessa zoonose. A metodologia adotada também demonstra potencial para ser adaptada ao monitoramento de outras doenças relacionadas a fatores climáticos, como dengue e malária, evidenciando sua versatilidade e aplicabilidade em diferentes contextos.

Apesar das contribuições, reconhece-se limitações relacionadas à ausência de atualização automática via API, à possibilidade de subnotificação dos dados de saúde e à não inclusão de variáveis socioambientais relevantes, como infraestrutura de saneamento. Ainda assim, o modelo proposto apresenta potencial de ampliação, podendo ser adaptado para o monitoramento de outras doenças sensíveis ao clima, como dengue e malária.

Por fim, espera-se que os dados e análises gerados possam contribuir para ações mais eficazes por parte das autoridades competentes, servindo como base para o desenvolvimento de políticas públicas direcionadas à prevenção e ao controle da leptospirose na Amazônia Legal.

### Agradecimentos

Este trabalho contou com o apoio da Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT), por meio da bolsa de Iniciação Científica concedida ao primeiro autor (Termo de Outorga nº 453/2024). Agradecemos, ainda, à Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD) pelo suporte institucional e pelas condições oferecidas para o desenvolvimento desta pesquisa.

### Referências

ADEN-BUIE, Garrick *et al.* **Flexdashboard**: R Markdown format for flexible dashboards. R package version 0.6.2, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.32614/CRAN.package.Flexdashboard>>. Acesso em: 24 mai. 2025.

- ALLAIR, B. *et al.* **Using Flexdashboard**. RStudio, 2024. Disponível em: <<https://pkgs.rstudio.com/Flexdashboard/articles/using.html>>. Acesso em: 24 mai. 2025.
- ALVES, Samuel Filipe Lopes *et al.* Análise temporal da relação entre incidência de casos de leptospirose e precipitação pluviométrica / Temporal analysis of the relationship between incidence of leptospirosis cases and rainfall. **Brazilian Journal of Development**, São José dos Pinhais, v. 8, n. 4, p. 31411–31422, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.34117/bjdv8n4-564>>. Acesso em: 12 mai. 2025.
- AMORIM, William. **Programando em Shiny**. São Paulo: Curso-R, 2024. Disponível em: <https://programando-em-shiny.curso-r.com/>. Acesso em: 16 ago. 2025.
- BAIA, Breno Rodrigues *et al.* Possível correlação entre Leptospirose e a Pluviosidade no município de Belém - Pará entre os anos de 2010-2020. **Revista Eletrônica Acervo Científico**, São Paulo, v. 45, p. e13737, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.25248/reac.e13737.2023>>. Acesso em: 14 dez. 2024.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Departamento de Informática do SUS – DATASUS. **Informações de Saúde – TABNET**. Brasília, 2025. Disponível em: <https://datasus.saude.gov.br/informacoes-de-saude-tabnet/>. Acesso em: 16 ago. 2025.
- BRITO, Fábio Sergio Lima *et al.* Drenagem urbana e sua influência nos casos epidemiológicos de leptospirose na cidade de Belém – região amazônica do estado do Pará. **Revista de Geografia**, Recife, v. 37, n. 3, p. 181–200, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.51359/2238-6211.2020.245991>>. Acesso em: 14 jul. 2025.
- CERDA, Jaime; VALDIVIA, Gonzalo. John Snow, a epidemia de cólera e os fundamentos da epidemiologia moderna. **Revista Chilena de Infectología**, Santiago, v. 24, n. 4, p. 331–334, ago. 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0716-10182007000400014](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0716-10182007000400014)>. Acesso em: 18 abr. 2025.
- CHANG, Winston *et al.* **Shiny**: web application framework for R. R package version 1.10.0, 2024. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=Shiny>>. Acesso em: 6 mar. 2025.
- CLAZER, Marília *et al.* Leptospirose e seu aspecto ocupacional – revisão de literatura. **Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR**, Umuarama, v. 18, n. 3, p. 191-198, 2015. Disponível em: <<https://unipar.openjournalsolutions.com.br/index.php/veterinaria/article/view/5541>>. Acesso em: 6 mar. 2025.
- ESTEVEES, Gabriela dos Santos. **Desenvolvimento de metodologias para purificação e caracterização da proteína recombinante LigANI candidata a vacina contra Leptospirose humana e animal**. Tese (Doutorado em Biologia Celular e Molecular). Instituto Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <[https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/CRUZ\\_0c922fb6011c5d4954c0a74d23b11935](https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/CRUZ_0c922fb6011c5d4954c0a74d23b11935)>. Acesso em: 16 jul. 2025.

GENOVEZ, Margareth Elide. Leptospirose: uma doença de ocorrência além da época das chuvas. **Biológico**, São Paulo, v. 71, n. 1, p. 1–3, jan./jun. 2009. Disponível em: <[https://biologico.agricultura.sp.gov.br/uploads/docs/bio/v71\\_1/genovez.pdf](https://biologico.agricultura.sp.gov.br/uploads/docs/bio/v71_1/genovez.pdf)>. Acesso em: 24 jun. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Amazônia Legal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/redes-geograficas/15819-amazonia-legal.html>>. Acesso em: dez. 2024.

KONRATH, Andrea Cristina *et al.* Aplicativo *Shiny* como Suporte de Ensino de Métodos de Previsão. **Abakós**, Belo Horizonte, v. 7, n. 3, p. 35–50, 2019. Disponível em: <<https://periodicos.pucminas.br/abakos/article/view/18679>>. Acesso em: 25 mai. 2025.

MAGALHÃES, Flávio Aparecido da Cruz; MENDES, Rayniel de Moraes; MELO, Andréia Lima Tomé. Análise descritiva dos casos confirmados de leptospirose em humanos no Brasil, período de 2010-2019. **Journal Health NPEPS**, Cuiabá, v. 6, n. 1, 2021. Disponível em: <<https://periodicos.unemat.br/index.php/jhnpeps/article/view/4697>>. Acesso em: 14 jul. 2025.

MARTINS, Mário Henrique da Mata; SPINK, Mary Jane Paris. A leptospirose humana como doença duplamente negligenciada no Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 3, p. 919-928, 2020. Disponível em: <<https://www.scielo.org/pdf/csc/v25n3/1413-8123-csc-25-03-0919.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2025.

MEDEIROS, Felipe Leviski *et al.* Um Aplicativo *Shiny* para Ajuste de Distribuições de Probabilidades aos Dados de Precipitação. **Abakós**, Belo Horizonte, v. 13, n. 1, p. e2025130102, 2025. Disponível em: <<https://periodicos.pucminas.br/abakos/article/view/31101>>. Acesso em: 14 jul. 2025.

NEGREIRO, Vinicius Zanotelli *et al.* Ocorrência de casos de leptospirose no Acre em um período de 5 anos. **DêCiência em Foco**, Rio Branco, v. 4, n. 2, p. 46-58, 2021. Disponível em: <<https://revistas.uninorteac.edu.br/index.php/DeCienciaemFoco0/article/view/104>>. Acesso em: 14 jul. 2025.

OLIVEIRA, Gustavo Souza de *et al.* Leptospirose: evolução da doença nos casos confirmados no Acre em 2022. **Revista Foco**, São José dos Pinhais, v. 17, n. 2, p. 1-10, 2025. Disponível em: <<https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/7314/5238>>. Acesso em: 6 mar. 2025.

OLIVEIRA, Vinicius; SANTOS, Alan Francisco dos; CAMPOS, Humberto. Leptospirose: um estudo epidemiológico dos casos notificados no Brasil entre os anos de 2015 e 2019. **Brazilian Journal of Health Review**, São José dos Pinhais, v. 5, n. 2, p. 5964–5979, 2022. Disponível em: <<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJHR/article/view/46064>>. Acesso em: 24 maio 2025.

PELLISSARI, Daniele Maria *et al.* Revisão sistemática dos fatores associados à leptospirose no Brasil, 2000-2009. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, Brasília, v. 20, n. 4, p. 565–574, dez. 2011. Disponível em: <[http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1679-49742011000400016](http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-49742011000400016)>. Acesso em: 7 mar. 2025.

R CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 24 mai. 2025.

RSTUDIO TEAM. **RStudio**: integrated development environment for R. RStudio, PBC, Boston, 2021. Disponível em: <<http://www.rstudio.com/>>. Acesso em: 24 mai. 2025.

SILVA, Viviane Farias *et al.* Relação entre casos de leptospirose e eventos extremos de precipitação no Rio Grande do Sul - Brasil. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, São José dos Pinhais, v. 18, n. 4, p. e17237, 2025. Disponível em: <<https://doi.org/10.55905/revconv.18n.4-256>>. Acesso em: 14 jul. 2025.

SPARKS, Adam. **nasapower**: NASA-POWER Data from R. R package version 4.2.1, 2024. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=nasapower>>. Acesso em: 17 mai. 2025.

VIANA, Rosana Lima; FREITAS, Carlos Machado de; GIATTI, Leandro Luiz. Saúde ambiental e desenvolvimento na Amazônia legal: indicadores socioeconômicos, ambientais e sanitários, desafios e perspectivas. **Saúde e Sociedade**, São Paulo, v. 25, n. 1, p. 233–246, jan. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0104-12902016140843>>. Acesso em: 12 mar. 2025.

WICKHAM, Hadley. **ggplot2**: elegant graphics for data analysis. New York: Springer-Verlag, 2016. Disponível em: <<https://ggplot2-book.org/>>. Acesso em: 12 mar. 2025.

WILLIAMS, Immanuel James; WILLIAMS, Kelley Kim. Using an R *Shiny* to enhance the learning experience of confidence intervals. **Teaching Statistics**, Londres, v. 40, n. 1, p. 24–28, 2018. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1111/test.12145>>. Acesso em: 14 ju