

**APLICAÇÃO DO DIAGRAMA DE VORONOI PARA AVALIAR DO RISCO DE OCORRÊNCIA DE ACIDENTES ESCORPIÔNICOS EM HUMANOS NA CIDADE DE UBERLÂNDIA (MG).**

Fábio Tonissi Moroni; Eustáquio Costa Damasceno Júnior; João Paulo Ferreira Campos; Juliana Junqueira da Silva; Raquel Borges-Moroni; Elton Nunes Britto; Flavio Alexandre Falcão Nascimento; Ana Maria Amarillo Bertone; Demóstenes Ferreira da Silva Filho.  
ftmoroni@ufu.br.

**RESUMO:** O escorpionismo é um problema de saúde pública na cidade de Uberlândia, com número crescente de registros anuais desse tipo de acidente, potencialmente fatal em determinados pacientes. Desta forma, este trabalho visou identificar áreas de risco de surto de acidentes escorpiônicos e avaliar os fatores ambientais associados por meio do diagrama de Voronoi. Foram analisadas variáveis como idade e sexo dos pacientes, sazonalidade dos acidentes e condições ambientais do local de ocorrência das picadas ocorridas no ano 2020. Dentre as variáveis analisadas, os fatores mais fortemente associados à ocorrência dos acidentes foram a época do ano (início da estação chuvosa), densidade populacional e faixa etária. Verifica-se também uma maior ocorrência de acidentes escorpiônicos nos bairros com menor cobertura vegetal. A aplicação do diagrama de Voronoi mostrou-se uma ferramenta adequada para o monitoramento das áreas de risco de acidentes escorpiônicos em humanos.

**Palavras-chave:** Acidente escorpiônico; epidemiologia; diagrama de Voronoi; modelagem matemática.

**APPLICATION OF THE VORONOI DIAGRAM TO ASSESS THE RISK OF OCCURRENCE OF SCORPION ACCIDENTS IN HUMANS IN THE CITY OF UBERLÂNDIA (MG).**

**ABSTRACT:** Scorpionism is a public health problem in the city of Uberlândia, with an increasing number of annual records of this type of accident, potentially fatal in certain patients. Thus, this work aimed to identify areas at risk of scorpion scorpion outbreaks and to evaluate the associated environmental factors through the Voronoi diagram. Variables such as age and sex of patients, seasonality of accidents and environmental conditions of the place where the bites occurred in 2020 were analyzed. Among the analyzed variables, the factors most strongly associated with the occurrence of accidents were the time of year (beginning of the season rainy season), population density and age group. There is also a higher occurrence of scorpion stings in neighborhoods with less vegetation cover. The application of the Voronoi diagram proved to be an adequate tool for monitoring risk areas for scorpion stings in humans.

**Keywords:** Scorpion accident; Epidemiology; Voronoi diagram; mathematical modeling

**APLICACIÓN DEL DIAGRAMA DE VORONOI PARA EVALUAR EL RIESGO DE OCURRENCIA DE ACCIDENTES SCORPION EN HUMANOS EN LA CIUDAD DE UBERLÂNDIA (MG).**

**RESUMEN:** El escorpionismo es un problema de salud pública en la ciudad de Uberlândia, con un número creciente de registros anuales de este tipo de accidentes, potencialmente fatales en ciertos pacientes. Por lo tanto, Revista Saúde e Meio Ambiente- UFMS- Campus Três Lagoas (Janeiro a Junho de 2023)- RESMA, Volume 15, número 1, 2023. Pág. 20-38

este trabajo tuvo como objetivo identificar áreas en riesgo de brotes de alacrán y evaluar los factores ambientales asociados a través del diagrama de Voronoi. Se analizaron variables como edad y sexo de los pacientes, estacionalidad de los accidentes y condiciones ambientales del lugar donde ocurrieron las mordeduras en el año 2020. Entre las variables analizadas, los factores más fuertemente asociados a la ocurrencia de accidentes fueron la época del año (inicio de la temporada de lluvias), la densidad de población y el grupo de edad. También hay una mayor incidencia de picaduras de alacrán en barrios con menor cobertura vegetal. La aplicación del diagrama de Voronoi demostró ser una herramienta adecuada para monitorear áreas con riesgo de picaduras de alacrán en humanos.

**Palabras clave:** picadura de alacranes; epidemiología; diagrama de Voronoi; modelo matematico.

## 1. Introdução

O escorpionismo é a principal causa de acidentes por animais peçonhentos no Brasil. Atualmente, ele supera a quantidade de acidentes ofídicos no país. Nesse sentido, o número de acidentes causados por esses artrópodes aumentou significativamente a partir da década de 1980<sup>1</sup>. Uma das possíveis causas desse aumento no número de casos é o crescimento desordenado das cidades, sem infraestrutura adequada. Esse fato possibilitou o acesso dos escorpiões a alimento e abrigo, condições necessárias para eles proliferarem no ambiente urbano<sup>2</sup>.

Assim, no Brasil a quatro espécies de escorpião possuem importância médica, a saber: Escorpião-amarelo (*Tityus serrulatus*); Escorpião-amarelo-do-nordeste (*Tityus stigmurus*), Escorpião-marrom (*Tityus bahiensis*) e Escorpião-preto-da-amazônia (*Tityus obscurus*)<sup>3</sup>. Entre esses, destaca-se o escorpião-amarelo na região do Triângulo mineiro como responsável pelas picadas causadoras de acidentes em humanos nessa localidade. Isso facilita sua propagação, pois o *T. serrulatus* é uma espécie partenogênica. Isto significa que as fêmeas desses animais conseguem gerar crias sem a necessidade de fecundação pelo macho, facilitando a sua reprodução, por consequência aumentando o número de animais na região<sup>4</sup>.

Além do padrão de urbanização das cidades, a sazonalidade também está associada aos acidentes escorpiônicos. Esses tendem a ocorrer nas épocas mais quentes e chuvosas do ano. Assim, esse padrão sazonal do aumento das picadas por escorpião é descrito em diversos trabalhos, os quais correlacionam a maior frequência de registros de acidentes com os meses de temperaturas mais elevadas, tanto na zona urbana, quanto na zona rural<sup>5</sup>.

Ademais, as condições socioeconômicas da população também estão fortemente associadas ao escorpionismo. Desse modo, alguns autores descrevem que baixos níveis de escolaridade e baixos níveis de informação sobre os acidentes com esse animal podem atrasar a busca por cuidados médicos e o início do tratamento das picadas de escorpião, agravando os quadros de intoxicação pelo veneno escorpiônico nos indivíduos socialmente mais vulneráveis<sup>6</sup>. Adicionalmente, as áreas com menor cobertura vegetal, como aquelas de ambiente degradado devido a ocupação irregular do solo, também podem favorecer os acidentes escorpionicos, uma vez que este é um animal que possui hábitos noturnos, apresentando um comportamento negativamente fototático, isto é, ele busca proteção aos raios ultravioleta, evitando a exposição à luz solar<sup>7</sup>.

Desse modo, Uberlândia-MG registra uma média de incidência de 32,96 casos por 100.000 habitantes desde 2009<sup>8</sup>. Em todos esses casos, a unidade de referência para tratamento dos pacientes acometidos por picadas de escorpião é o Hospital de Clínicas da Universidade Federal de Uberlândia (HC-UFU), onde serão recebidas e evoluídas as pessoas que sofreram acidente por picadas de escorpião na cidade que buscaram por atendimento, especialmente de casos graves que necessitam de internação e atendimento especializado, como o uso do soro antiescorpiônico.

Dentre os principais fatores encontrados como sendo definidores de gravidade do acidente com escorpiões temos: a faixa etária pediátrica, que contém o maior número de casos graves registrados<sup>9</sup>, o tempo até o atendimento médico<sup>8</sup>, e por fim, a toxicidade do veneno, que é composto por polipeptídios, que se ligam aos canais de sódio voltagem dependente. Ao se ligarem a este canal, causam a despolarização da membrana celular, desencadeando potenciais de ação excitatórios nas células neuronais<sup>10</sup>. As manifestações mediadas pelas toxinas são dependentes da ativação desregulada e intensa do sistema autonômico parassimpático e simpático ao mesmo tempo, levando a sudorese profusa, náuseas e vômitos, arritmias cardíacas, falência respiratória, acidose, coma e morte<sup>11</sup>.

Devido à letalidade desse tipo de veneno, é de extrema importância efetuar o mapeamento das áreas de risco dos surtos dos acidentes escorpiônicos com o intuito de auxiliar o estabelecimento de políticas públicas e de planejamento ambiental<sup>12</sup>. O presente trabalho justifica-se devido à possibilidade de identificar as áreas de maior probabilidade de surtos de acidentes com escorpiões em Uberlândia-MG, com a finalidade de que tais informações sejam utilizadas para o desenvolvimento de medidas de vigilância para estabelecer programas de prevenção específicos, mediante a criação de modelos preditivos.

O diagrama de Voronoi é uma ferramenta usada atualmente na geometria computacional, com a capacidade de determinar as áreas de influência de diversos pontos no mapa, a partir da tesselação dos polígonos formados pelas linhas traçadas entre dois pontos que tem uma mesma distância entre esses dois pontos. Esse diagrama apresenta diversas aplicações na atualidade, seja na antropologia, arqueologia, astronomia, cartografia, entre outros. Foi formalizado por Georgy Voronoi (1868-1908) em 1908, embora suas aplicações práticas já tenham sido feitas desde o início da era moderna, com Descartes em 1644, até na atualidade, em que versões modificadas (como os polígonos Thiessen) são utilizadas para calcular a precipitação de uma área com base em uma série de medições pontuais.

Para sua determinação, adota-se o seguinte algoritmo: seja  $S$  um conjunto de  $n$  pontos, dados dois pontos  $P_i$  (um ponto qualquer) e  $P_j$  (qualquer ponto diferente de  $P_i$ ), ambos pertencentes ao conjunto  $S$  e sendo  $H(P_i, P_j)$  o plano que contém  $P_i$ , o polígono de Voronoi associado à  $P_i$  é devido como:

$$V(i) = \bigcap_{i \neq j} H(P_i, P_j)$$

Nesse sentido, o objetivo geral é pesquisar, dentro dos registros de acidentes por escorpião do HC – UFU, variáveis biofísicas, ambientais e socioeconômicas, por exemplo, faixa etária, etnia, bairro e época do ano em que os acidentes ocorreram e correlacionar essas informações com mapas gráficos da cidade que irão indicar a área verde de cada bairro, localização e regiões de maior proximidade com o acidente, que estão expostas a maiores riscos de reincidência.

Os objetivos específicos foram: a) caracterizar o acidentado (sexo, faixa etária, ocupação profissional, etc.); b) estabelecer a data (mês, ano) e local do acidente (separado por bairros e zonas norte, sul, centro, leste e oeste); c) definir a constituição da cidade de acordo com a quantidade de área verde; d) definir a renda *per capita* por bairro e zonas (norte, sul, centro, leste e oeste); e) estabelecer os grupos étnicos mais atingidos e estratificá-los de acordo com a gravidade do acidente e desfecho (recuperação ou óbito); e f) correlacionar às informações obtidas através de análise estatística visando à criação de modelos preditivos de escorpionismo nos bairros de Uberlândia-MG.

## 2. Material e métodos

## 2.1. Área de estudo

O estudo foi realizado em Uberlândia-MG, cidade localizada na região Sudeste do Brasil dentro do Cerrado brasileiro. Ela possui as seguintes coordenadas geográficas: 18°55'08" de latitude Sul, 48°16'37" de longitude Oeste e altitude média de 863 metros acima do nível do mar<sup>13</sup>. A área territorial de Uberlândia possui 4.115,206 km<sup>2</sup>, com população de 691.305 habitantes e densidade demográfica de 168 hab./km<sup>2</sup>. Segundo dados do IBGE, 96% dos residentes dessa cidade vivem na zona urbana (663.652 habitantes de zona urbana e 27.653 habitantes da zona rural)<sup>14</sup>, apresentam IDH de 0,789 (alto), PIB *per capita* em 2017 de R\$ 50.548,78 e 98,2% possuem acesso a saneamento básico adequado<sup>14</sup>.

## 2.2. População de estudo

Nesse estudo foi analisada a população residente da cidade de Uberlândia, analisando os casos de acidentes por picadas de escorpião no ano de 2020, os quais foram encaminhados para tratamento no HC-UFU. Assim, foram incluídos os pacientes picados por escorpiões no município de Uberlândia e excluídos pacientes picados em outros municípios encaminhados ao serviço.

## 2.3 Modelagem matemática

A modelagem matemática com manipulação de dados ocorreu seguindo seis passos: 1º) descrição do problema; 2º) descrição dos dados coletados, análise e organização; 3º) elaboração do enunciado do problema matemático; 4º) escolha da técnica matemática e das ferramentas computacionais; 5º) interpretação, análise e validação da solução matemática; 6º) elaboração da conclusão. O detalhamento desses passos está descrito abaixo.

### 2.3.1 Descrição do Problema

Todos os anos, um número crescente de casos de acidentes com picadas de escorpiões são encaminhados para o Hospital de Clínicas da Universidade Federal de Uberlândia (HC-UFU). Assim, uma das possíveis causas desse aumento no número de casos de acidentes por escorpião é o acelerado crescimento das cidades, sem infraestrutura adequada, o qual cria

Revista Saúde e Meio Ambiente- UFMS- Campus Três Lagoas (Janeiro a Junho de 2023)- RESMA, Volume 15, número 1, 2023. Pág. 20-38

condições para a proliferação de escorpiões capazes de se adaptar melhor ao ambiente urbano, como as espécies *Tityus serrulatus* e *Tityus stigmurus*<sup>2</sup>. Desse modo, torna-se necessário compreender adequadamente os fatores ambientais associados ao aumento constante no número de casos registrados na cidade, visto que tais informações podem auxiliar no controle e redução no número de animais em contato com seres humanos e conseqüentemente o número de acidentes.

### **2.3.2 Descrição dos dados coletados, análise e organização.**

Os dados dessa pesquisa foram obtidos por meio da combinação entre as informações fornecidas pelo banco de dados do hospital público e o mapa de registros de acidentes fornecido pelo Centro de Controle de Zoonoses (CCZ) de Uberlândia/MG. Tais dados foram combinados mediante verificação de correspondência entre os acidentes do hospital público e os dados do CCZ que ocorreram no ano de 2020. Os dados do mapa elaborado pelo CCZ continham a data, a localização e se o registro se tratava de um acidente ou apenas o relato de observação visual de escorpião na região. Posteriormente, essas informações foram comparadas com os dados do hospital público que informavam sobre idade, sexo, época do acidente e necessidade de internação e bairro. Para se comparar as informações extraídas dos dois bancos de dados, uma tabela do *Microsoft Excel 2019*©<sup>15</sup> foi elaborada a fim de se colocar lado a lado os acidentes registrados pelo CCZ e pelo hospital e assim, formular uma nova tabela que continha as informações sobre o bairro que ocorreu o acidente, sexo, idade, data do ocorrido e endereço (número do imóvel, rua e bairro).

### **2.3.3 Elaboração do enunciado do problema matemático**

Esse visa identificar as áreas de influência dos acidentes por picada de escorpião na cidade, ou seja, determinar, a partir de um ponto confirmado de acidente escorpiônico, quais áreas daquela região tem maior risco de recidiva.

### **2.3.4 Escolha da Técnica Matemática e das Ferramentas Computacionais**

O Diagrama de Voronoi foi utilizado no estudo, sendo utilizados métodos de clusterização para determinar a regiões de influência <sup>16</sup>. Essa ferramenta foi escolhida pela Revista Saúde e Meio Ambiente- UFMS- Campus Três Lagoas (Janeiro a Junho de 2023)- RESMA, Volume 15, número 1, 2023. Pág. 20-38

facilidade de utilizar o diagrama em um mapa da cidade. Para realizar a diagramação foram empregados o *software* GeoGebra (versão 5.0, EUA)<sup>17</sup> e o aplicativo MyMaps do Google Maps®<sup>18</sup>, permitindo a construção da representação cartográfica dos acidentes escorpiônicos e as possíveis áreas de maior recorrência deles. O mapa foi construído a partir dos dados obtidos entre as fontes do HC-UFU e do CCZ, com posterior plotagem dos endereços na plataforma ViconSAGA<sup>19</sup>.

## 2.4 Cobertura arbórea nos bairros de Uberlândia

Foram utilizadas imagens de satélite para a construção do mapa através do *software* LecoS (*Landscape Ecology Statistics*), onde foi possível estabelecer as áreas de cobertura arbórea nos bairros de Uberlândia, segundo Jung<sup>20</sup>.

## 2.5 Análises estatísticas

Foi utilizado o *software* R conforme R Core Team para as análises estatísticas de acidentes com escorpiões em cinco zonas administrativas de Uberlândia-MG<sup>21</sup>. O tipo de correlação utilizada foi Spearman, seguindo os critérios de Levin<sup>22</sup>. Para isso, foram assumidos os valores do *r* são classificados como sendo: a) ausência de correlação ( $r=+0.00$ ); correlação positiva fraca ( $r=+0.10$ ); correlação positiva moderada ( $r=+0.50$ ); correlação positiva forte ( $r=+0.95$ ); correlação positiva perfeita ( $r=+1.00$ ).

Para verificar a relação das idades por sexo nos bairros foi aplicado o teste T de Student. Para analisar a relação entre a presença de árvores nos bairros e a incidência dos acidentes foi utilizado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk<sup>23</sup>.

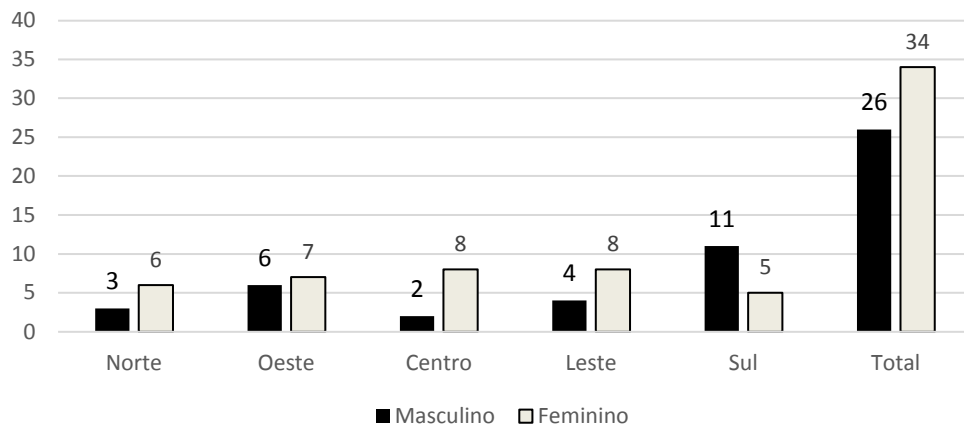
## 3 Resultados

Após a análise dos acidentes registrados no HC-UFU, os quais tinham correspondência com os acidentes registrados pelo CCZ, foram obtidos 150 registros. Foram obtidas 125 correspondências. Com relação à variável sexo, 46% dos casos ocorreram entre homens e 54% entre mulheres, diferenciando a incidência entre as regiões pesquisadas, conforme demonstrado na Figura 01. A idade média das pessoas acidentadas foi 41,5 anos (desvio padrão de 20,5 e moda de 39 anos), com destaque que dentre os acometidos 18 pessoas eram crianças menores

Revista Saúde e Meio Ambiente- UFMS- Campus Três Lagoas (Janeiro a Junho de 2023)- RESMA, Volume 15, número 1, 2023. Pág. 20-38

de 10 anos (14%). Quanto à sazonalidade dos acidentes, foi observado dois picos principais de incidência de picadas por escorpião: um em julho e outro nos meses finais do ano, principalmente, em outubro, conforme representado na Figura 02.

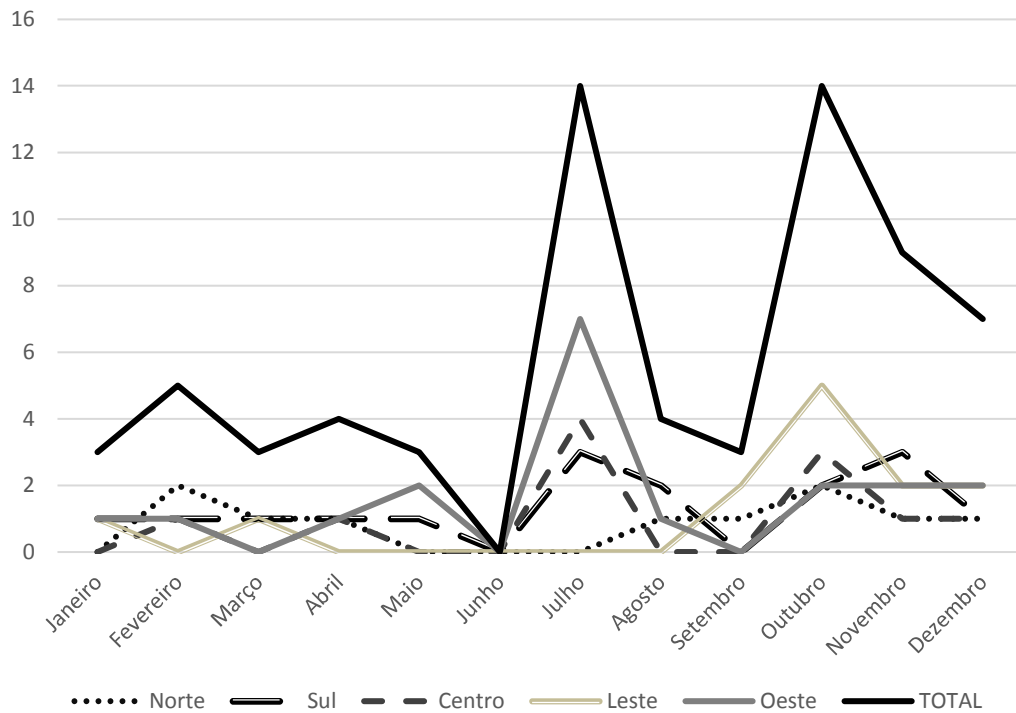
FIG. 1 – Incidência do número de pessoas do sexo masculino e feminino que foram picadas de escorpião em Uberlândia-MG, de janeiro a dezembro de 2020.



Fonte: Banco de dados HC/UFU; Registros do Centro de Controle de Zoonoses de Uberlândia/MG.

FIG. 2 – Variação sazonal do número de acidentes escorpiônicos registrados no município de Uberlândia (MG), de janeiro a dezembro de 2020.





Fonte: Banco de dados HC/UFU; Registros do Centro de Controle de Zoonoses de Uberlândia/MG.

Na tabela 1, estão representados os resultados das análises estatísticas de ataques de escorpiões em cinco zonas administrativas de Uberlândia-MG.

TAB. 1 - Correlações das variáveis resposta e variáveis independentes, obtidas a partir de dados coletados nos bairros de Uberlândia, de janeiro a dezembro de 2020.

Variável resposta	Variável independente	Coefficiente de correlação r	Amostra (n)	p-valor
Naeisb n=41	Narvb n=41	r=0.80	41	p=3.377e-10*
Naeisb n=22	Ntbb n=22	r=0.74	22	p=7.657e-5*
Naeisb n=9	Ncb n=9	r=1	9	p=2.2e-16*
Naemb n=31	Narvb n=31	r=0.74	31	P=1.677e-6*

Naefb n=30	Narvb n=30	r=0.55	30	P=0.00181 2*
Nasib n=25	Nisb n=25	r=0.07	25	p=0.7316

\*diferença significativa menor que  $\alpha=5\%$ ; Naeisb=Número (n.) de ataques de escorpiões independente do sexo/bairro; Narvb= n. de arvores/bairro; Ntbb= n. de terrenos baldios/bairro; Ncb= n. de caçambas/bairro; Naemb= n. de acidentes de escorpiões do sexo masculino/bairro; Naefb= n. de acidentes de escorpiões do sexo feminino/bairro; Nasib= n. de acidentes por sexo/bairro; Nisb= n. de idades por sexo/ bairro; n= n. de variáveis avaliadas.

**Fonte: autores**

Conforme os dados de análise de correlação, demonstrados na Tabela 1, quase todas as variáveis respostas *versus* as variáveis independentes possuem correlação positiva, com tendência positiva, variando entre moderada e forte. Não há correlação entre as variáveis numéricas de acidentes/sexo *versus* o número de idades/sexo/bairro.

Em relação aos pacientes acidentados foi observado que as mulheres apresentaram idade superior aos homens, com diferença significativa entre as idades por sexo nos bairros pelo p-valor=3.247e-11, conforme Tabela 2.

TAB. 2. Média de idade em relação ao sexo dos acidentados com picadas de escorpião em bairros de Uberlândia, de janeiro a dezembro de 2020.

Sexo	Média (anos)	Erro padrão	N amostral	Valor de p- valor
Homens	41.46	13.6024	13 a*	p=3.247e-11
Mulheres	45.5	14.0532	12 b	

\*Letras diferentes representam diferença significativa ao  $\alpha=5\%$ , Teste T de Student, n = número de acidentados.

**Fonte: Autores**

Outro aspecto analisado foi a cobertura vegetal das regiões pesquisadas. Foi possível constatar uma grande variação no número de árvores próximas dos acidentes, sendo 98 o maior número de árvores contabilizadas e o menor 0 (média de 4,5 árvores/acidente). Foi realizada a contagem de terrenos baldios e de caçambas no local em que foram registrados os acidentes: em média menos de 1 terreno baldio por acidente e caçamba.



FIG. 4 – Diagrama de Voronoi construído a partir dos dados de acidentes escorpiônicos ocorridos em Uberlândia (MG), de janeiro a dezembro de 2020.



Fonte: ViconSAGA<sup>19</sup>; elaborado pelos Autores.

#### 4 Discussão

A partir dos registros de acidentes por escorpião do HC – UFU e do Centro de Controle de Zoonoses da Prefeitura Municipal da cidade de Uberlândia, foram avaliadas as variáveis biofísicas e ambientais dos locais onde houve o acidente. Assim, verificou-se que o sexo masculino foi o mais acometido com acidentes por picada de escorpião com 27 (51%) registros, comparados aos 26 (49%) registros do sexo feminino, sendo mais frequentes entre os homens especialmente nas zonas leste, norte e sul. De acordo com Mesquita e colaboradores<sup>24</sup> e Barros e colaboradores<sup>25</sup>, as diferenças de ocorrência entre sexos podem ser explicadas devido às diferenças de ocorrência entre acidentes domésticos ou em regiões de trabalho. Nesse sentido, em localidades em que os acidentes ocorrem mais nos ambientes domésticos, o sexo feminino é o mais acometido, o que pode explicar a maior ocorrência dos acidentes nas Zonas Centro e

Revista Saúde e Meio Ambiente- UFMS- Campus Três Lagoas (Janeiro a Junho de 2023)- RESMA, Volume 15, número 1, 2023. Pág. 20-38

Oeste, diferentemente dos acidentes registrados nas regiões e em que os homens foram os mais acometidos.

No entanto, essa diferença entre a incidência entre homens e mulheres envolvidos nos acidentes escorpiônicos apresentam divergências na literatura quanto à predominância de acidentes. Em revisão de acidentes em nível nacional, o acometimento dos sexos foi igual entre os homens e mulheres (50% dos pacientes eram do sexo masculino e 50% do sexo feminino) na faixa etária predominante (de 20-39 anos). Isso pode ser atribuído ao fato de que há uma grande semelhança de riscos entre os dois sexos, baseados nas características da vida urbana e doméstica, que predomina atualmente<sup>26, 27</sup>.

Em relação às faixas etárias mais acometidas, o presente estudo identificou certa homogeneidade entre os pacientes: a média de idade variou de no mínimo 30,8 anos na região Norte a 42,5 anos na região Centro, correspondendo, em sua maior parte à população economicamente ativa da cidade. Diversos estudos encontram resultados similares, o que pode estar relacionado ao fato de que essa população se expõe mais ao contato com os animais devido às atividades profissionais (serviços na construção civil e cuidados domésticos em especial)<sup>24, 25, 28</sup>.

Em relação à sazonalidade dos acidentes, o presente estudo identificou que nos meses de julho a outubro, ocorreram a maior parte dos registros, correspondendo ao final da época de estiagem na cidade e início da época chuvosa na região de Uberlândia. Esse dado corrobora com a maior parte dos estudos de que os acidentes tendem a ocorrer nos meses com maior precipitação, devido ao alagamento do habitat natural dos animais (regiões de mata, entulho, construção civil) e procura por locais mais secos, como dentro de residências, encontrando frestas em paredes, mobília, locais no banheiro e quartos (como no vestuário), que são locais em que os acidentes podem ocorrer<sup>29</sup>.

Com relação à geolocalização dos acidentes, foi observada uma tendência da maior ocorrência dos acidentes em áreas com menor cobertura vegetal. No entanto, também foi observado que nas residências com maior número de árvores ao redor houve maior registro desses acidentes. Isso pode ser explicado pelo próprio comportamento do escorpião e características de habitação destes animais, encontrados habitualmente em cascas de árvores, troncos em decomposição, sob serrapilheira e em tocas, escondendo-se de predadores naturais como aves (seriemas, galinhas e corujas), anfíbios anuros e lagartos, ao mesmo tempo em que conseguem conservar-se em ambientes com temperatura adequada, umidade e oferta de presas

como baratas, cupins e aranhas, garantindo o estabelecimento e a proliferação dessas populações de escorpião<sup>30</sup>.

Essas análises explicam o fato de na cidade de Uberlândia ter sido observado dois agrupamentos de acidentes nos bairros da cidade. O primeiro ocorre no centro da cidade e nos bairros mais antigos, com menor cobertura vegetal e áreas mais densamente povoadas. O segundo agrupamento ocorre nos bairros onde está havendo desmatamento para construção de loteamentos e condomínios, locais ainda com maior cobertura vegetal, porém menos habitados. Assim, permanece em aberto a discussão nesse ponto, necessitando novos estudos, com um número de casos maior para verificar se um fator que influencia a ocorrência desses acidentes seria a falta da cobertura vegetal ou o aumento da densidade populacional em áreas recém-desmatadas.

Na tentativa de identificar os fatores que mais determinaram a ocorrência de acidentes, o trabalho de Amado e colaboradores<sup>31</sup> encontrou que variações de temperatura nas épocas mais frias do ano (ocorrência de dias mais quentes durante épocas de inverno) foram associadas com maior número de ocorrências principalmente pelas espécies *T. stigmurus* e *T. obscurus*, enquanto que a espécie *T. serrulatus* – a de maior ocorrência na região – foi mais influenciada pela urbanização local. Embora ainda seja necessário o desenvolvimento futuro de novos trabalhos para compreender melhor o comportamento desses animais acerca das variações de temperatura, a urbanização como fator preponderante para o contato entre seres humanos e *T. serrulatus* tem importante relação com a capacidade deste animal se adaptar ao meio urbano e à reprodução por partenogênese<sup>31</sup>. Também é importante considerar que inicialmente os acidentes por *T. serrulatus*, *T. stigmurus* e *T. bahiensis*, não estiveram relacionados com a urbanização e densidade populacional, mas esses animais se adaptaram ao novo habitat, aproveitando a maior disponibilidade de abrigo e alimento fornecida pelos centros urbanos com crescimento desorganizado<sup>31</sup>. Importante salientar, portanto, que a região sudeste como um todo lida com acidentes frequentes destas espécies, o que torna essa região prioritária para investimentos para controle sanitário a fim de se evitar que acidentes como esses ocorram<sup>32</sup>.

O diagrama de Voronoi, explicitado na Figura 04, demonstra a área de influência dos acidentes escorpionicos ocorridos na cidade. Essa pode evidenciar uma possibilidade de recorrência dos acidentes nestas regiões, visto que esta ferramenta já fora utilizada por diversas vezes na determinação de fontes de contaminação, locais de risco para acidentes e até mesmo zonas de maior influência de estabelecimentos de acordo com a proximidade do consumidor<sup>33</sup>. Assim, quanto menor a área de influência, isto é, menor a área do polígono, maior a

Revista Saúde e Meio Ambiente- UFMS- Campus Três Lagoas (Janeiro a Junho de 2023)- RESMA, Volume 15, número 1, 2023. Pág. 20-38

probabilidade de recorrência do acidente. Até o nosso conhecimento, essa é primeira aplicação do diagrama de Voronoi para representar a epidemiologia desse tipo de acidente no Brasil. Esse modelo matemático pode ser utilizado para determinar regiões que devem ter maior atenção das unidades de vigilância de zoonoses do país, haja vista seu potencial para identificar as regiões mais próximas de cada evento.

Com esta representação, destaca-se que as regiões centrais da cidade, com elevada densidade populacional e os locais de urbanização recente, com contato muito próximo da população e regiões de mata recentemente degradada (que ainda pode conter boa parte da fauna preservada, fazendo com que seres humanos entrem em contato com animais peçonhentos como cobras, escorpiões e outros artrópodes) concentram as áreas de maior risco de acidentes.

Além disso, destaca-se que a área periurbana/rural não apresentou acidentes registrados no CCZ que foram encaminhados ao HC-UFU. Isso vai de acordo com o que fora encontrado por Reckziegel e Pinto<sup>26</sup>, que demonstraram um aumento acentuado dos casos nas regiões urbanas, e diminuição relativa do número de acidentes escorpiônicos nas zonas rurais, devido à expansão da fronteira agrícola, diminuindo a população rural e aumentando o número de residentes urbanos e conseqüentemente levando a um crescimento acelerado desses centros, que passam a ocupar agora regiões de mata fechada, fazendo com que os animais que antes habitavam esses locais, migrassem ou se adaptassem às novas condições, sendo este fato que foi particularmente frequente entre as populações de escorpião predominante no Brasil<sup>12, 26</sup>.

Nesse contexto, a preservação das áreas verdes dentro do meio urbano pode ser um fator auxiliar da prevenção da ocorrência de acidentes escorpiônicos. A Figura 03 representa um gráfico de dispersão, onde existe uma maior contração do número de casos registrados nas áreas com menor cobertura vegetal. Isso reforçando a hipótese de que a destruição do habitat natural dos escorpiões, e seus predadores naturais, podem aumentar o tamanho das populações de escorpiões em áreas urbanas e favorecer o contato desses animais com seres humanos. Logo, as picadas de escorpião podem ser consideradas um reflexo dos baixos níveis de saúde ambiental, aos quais as populações mais vulneráveis estão expostas<sup>34</sup>.

No entanto, são necessários novos estudos mais sistemáticos, os quais identifiquem e localizem a distribuição desses animais, visto que os são poucos os estudos realizados sobre a distribuição desses animais por meio de uma ferramenta reconhecida de localização e registro dos acidentes<sup>12</sup>. Por isso, o diagrama de Voronoi, pode ser útil no sentido de identificar a localização dos acidentes e das regiões com maior concentração de ocorrências, podendo se tornar uma ferramenta poderosa no monitoramento de novos dos acidentes.

Por fim, cabe ressaltar que a distribuição espacial dos casos de acidentes escorpiônicos na cidade de Uberlândia poderia ser melhor explorada se não houvesse como fator limitante a falta de registro da variável “Bairro” de muitos prontuários do HC – UFU. Entretanto, os registros realizados pelo CCZ e pelo banco do SINAN, apresentara boa fidedignidade, o que pode levar à constatação de que a digitalização sistemática feita pela Prefeitura de Uberlândia, quando os dados são adequadamente notificados, melhora a qualidade da informação espacial gerada, como pode ser identificado em outros trabalhos que identificaram dificuldades semelhantes<sup>35</sup>.

Desta forma, é importante salientar a necessidade de se estabelecer medidas direcionadas ao controle dos acidentes por picada de escorpião nas regiões da cidade que apresentam maior densidade populacional, e garantir também que as zonas da cidade que apresentam menores números de acidente não se tornem regiões propícias para a sua ocorrência, por meio do planejamento do crescimento urbano e medidas educacionais de prevenção de acidentes<sup>36, 37, 38</sup>.

## 5 Conclusão

Dentre as variáveis analisadas, os fatores fortemente associados à ocorrência dos acidentes foram época do ano (início da estação chuvosa), densidade populacional e faixa etária. A aplicação do diagrama de Voronoi foi uma ferramenta adequada para o monitoramento das áreas de risco de acidentes escorpiônicos em humanos.

## 6 Agradecimentos

Centro de Controle de Zoonoses, Prefeitura Municipal de Uberlândia – Uberlândia (MG).

## 7 Referências

1. FAPESP. Why scorpions are now more worrisome [Internet]. Batista EL, editor. Pesquisa FAPESP. [cited Aug]. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/en/why-scorpions-are-now-more-worrisome/>
2. Amorim MLP, Mello MJG de, Siqueira MT de. Intoxicações em crianças e adolescentes notificados em um centro de toxicologia no Nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Saúde Materno Infantil [Internet]. 2017 [citado em 27 de dezembro de 2022];17:765–72. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbsmi/a/CsBb8LLfG9Pcg38vCwVbf4J/?lang=en#>  
Revista Saúde e Meio Ambiente- UFMS- Campus Três Lagoas (Janeiro a Junho de 2023)- RESMA, Volume 15, número 1, 2023. Pág. 20-38



3. Benício RA, Carvalho LS, Fonseca MG. Animais peçonhentos do estado do Piauí: epidemiologia dos acidentes e lista de espécies de importância médica. *Revista Brasileira de Zootecias*. 2019 Aug 27;20(1):1–14.
4. Torrez PPQ, Dourado FS, Bertani R, Cupo P, França FO de S. Scorpionism in Brazil: exponential growth of accidents and deaths from scorpion stings. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*. 2019;52.
5. Boubekour K, L’Hadj M, SELMANE S. Demographic and epidemiological characteristics of scorpion envenomation and daily forecasting of scorpion sting counts: the case of Touggourt in Algeria. *Epidemiology and Health*. 2020 Jul 6;e2020050.
6. Torrez PPQ, Bertolozzi MR, França FO de S. Vulnerabilities and clinical manifestations in scorpion envenomations in Santarém, Pará, Brazil: a qualitative study. *Revista da Escola de Enfermagem da USP*. 2020;54.
7. Blass GRC, Gaffin DD. Light wavelength biases of scorpions. *Animal Behaviour*. 2008 Aug;76(2):365–73.
8. Ministério da Saúde - Governo Federal do Brasil [Internet]. Ministério da Saúde. [cited 2021 Mar 14]. Available from: <http://portalmis.saude.gov.br/saude-de-a-z/acidentes-por-animais-peconhentos>.
9. Baseer KA, Naser MAA. Predictors for Mortality in Children with Scorpion Envenomation Admitted to Pediatric Intensive Care Unit, Qena Governorate, Egypt. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 2019 Oct 2;101(4):941–5.
10. Jiang D, Tonggu L, Gamal El-Din TM, Banh R, Pomès R, Zheng N, et al. Structural basis for voltage-sensor trapping of the cardiac sodium channel by a deathstalker scorpion toxin. *Nature Communications* [Internet]. 2021 Jan 4 [cited 2021 Jan 14];12(1):128. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33397917/>
11. Feola A, Perrone MA, Piscopo A, Casella F, Della Pietra B, Di Mizio G. Autopsy Findings in Case of Fatal Scorpion Sting: A Systematic Review of the Literature. *Healthcare*. 2020 Sep 6;8(3):325.
12. Azevedo TS, Lorenz C, Chiaravalloti-Neto F. Escorpionismo no estado de São Paulo: a aplicação de um modelo de distribuição potencial no mapeamento das áreas de risco de surtos em cenários presentes e futuros. IX Simpósio Nacional de Geografia da Saúde; 2019 Sep p.36-43; Blumenau: Editora Instituto Federal Catarinense; 2019.
13. Harnden P, Joffe JK, Jones WG, editores. Germ cell tumours V. Proceedings of the 5th Germ Cell Tumour Conference; 2001 Sep 13-15; Leeds, UK. New York: Springer; 2002.
14. Sign in - Google Accounts [Internet]. [accounts.google.com](https://accounts.google.com). [cited 2021 Dec 17]. Available from: <https://www.google.com/maps/d/u/0/?hl=pt-BR>.
15. [ibge.gov.br](https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/uberlandia). 2022 [cited 2021 Mar 15]. Available from: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/uberlandia>.
16. Wickham, Hadley *et al*. Read Excel Files. [S.I.]. 2022. 10 p. *Revista Saúde e Meio Ambiente- UFMS- Campus Três Lagoas (Janeiro a Junho de 2023)- RESMA*, Volume 15, número 1, 2023. Pág. 20-38

17. Aurenhammer F, Klein R. Handbook of Computational Geometry. In: Sack JR, Urrutia J. Elsevier; 2000. p. 201-290.
18. GeoGebra. GeoGebra | Free Math Apps - used by over 100 Million Students & Teachers Worldwide [Internet]. GeoGebra. 2018. Available from: <https://www.geogebra.org/>
19. Botelho PHF, Mendonça JVG, Bonutty LGF, Santos MGA. A utilização do Google MyMaps no processo de análise socioambiental da região metropolitana de Belo Horizonte, MG (RMBHMG). Anais do XIV ENANPEGE. Campina Grande: Realize Editora; 2021.
20. Andrade, MAC. Sistema de informações geográficas destinado ao aprimoramento de campanha de vacinação antirrábica animal [dissertação]. 2019 Fev 22.
21. Jung M. LecoS — A python plugin for automated landscape ecology analysis. Ecological Informatics. 2016 Jan;31:18–21.
22. Team R, Core et al. R: A language and environment for statistical computing. 2013.
23. Levin J. Estatística Aplicada para Ciências Humanas. Harbra; 1985.
24. Teste de Shapiro-Wilk [Internet]. [www.uel.br](http://www.uel.br/projetos/experimental/pages/arquivos/Shapiro.html). [cited 2022 Ago 02]. Available from: <http://www.uel.br/projetos/experimental/pages/arquivos/Shapiro.html>
25. Mesquita FNB, Nunes MAP, Santana VR, Neto JM, Almeida KBS, Lima SO. Acidentes escorpiônicos no Estado de Sergipe - Brasil. Revista da Faculdade de Ciências Médicas de Sorocaba. 2015; 17(1):15-20.
26. Barros RM, Pasquino JA, Peixoto LR, Targino ITG, Sousa JA de, Leite R de S. Clinical and epidemiological aspects of scorpion stings in the northeast region of Brazil. Ciência & Saúde Coletiva. 2014 Apr;19(4):1275–82.
27. Reckziegel G, Pinto V. Scorpionism in Brazil in the years 2000 to 2012. Journal of Venomous Animals and Toxins including Tropical Diseases. 2014;20(1):46.
28. Almeida CA de O, Silva GM, Coelho AS. Características clínico epidemiológicas dos casos de acidentes com escorpiões nos territórios de Sergipe, Brasil. Interfaces Científicas - Saúde e Ambiente. 2019 Dec 10;8(1):43–60
29. Quadros RM, Varela AR, Cazarin MG, Marques SMT. Acidentes escorpiônicos notificados pelo SINAN na Região Serrana de Santa Catarina, Brasil, 2000 - 2010. Revista Eletrônica de Biologia. 2014; 7(1):96-108.
30. Vaucel J, Mutricy R, Hoarau M, Pujo J-M, Elenga N, Labadie M, et al. Pediatric scorpionism in northern Amazonia: a 16-year study on epidemiological, environmental and clinical aspects. Journal of Venomous Animals and Toxins including Tropical Diseases. 2020;26.
31. Porto TJ, Brazil TK. Quem são os escorpiões: história natural. In: Brazil TK, Porto TJ. Os Escorpiões. Salvador: Edufba; 2011. p. 24-24..

32. Amado TF, Moura TA, Riul P, Lira AF de A, Badillo-Montaña R, Martinez PA. Vulnerable areas to accidents with scorpions in Brazil. *Tropical Medicine & International Health*. 2021 Mar 14;26(5):591–601.
33. Longkumer T, Armstrong LJ, Santra V, Finny P. Human, snake, and environmental factors in human - snake conflict in North Bihar - A one-year descriptive study. *Christian Journal for Global Health*. 2016 May 15;3(1):36.
34. Souza CM, Bochner, R . Escorpionismo no Rio De Janeiro: Contribuições da Ciência Cidadã para o aprimoramento das Políticas de Atenção em Saúde. P2p E Inovação. 2019; 6(1): 33-49.
35. Costa C. Aspectos epidemiológicos de alacrán en la región de Santarém, Pará, Brasil. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*. 2012 Jan 8;4(1):59.
36. Barbosa AD, Magalhães DF de, Silva JA da, Silva MX, Cardoso M de FEC, Meneses JNC, et al. Caracterização dos acidentes escorpiônicos em Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2005 a 2009. *Cadernos de Saúde Pública*. 2012 Sep;28(9):1785–9.
37. Costa Filho JM, Melo Neto D X, Carvalho RS, Oliveira SV. Epidemiologia do escorpionismo em Formosa, GO, Brasil: uma proposta de intervenção para a redução dos casos. *Revista Saúde e Meio Ambiente*. 2021 Out;13(1):108-23.
38. Lima CA, Alves CCH, Mendonca KS, Pires PLS, Medeiros NAS, Almeida Junior ER, Carvalho M, Calegari T, Oliveira SV. Epidemiologia do escorpionismo na faixa etária pediátrica no estado de Minas Gerais. *Revista Eletrônica Acervo em Saúde*. 2021 Feb; 13(2): p. e6404-11.