

## MÉTODO MULTICRITÉRIO ADITIVO NO MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE RISCO PARA TRANSMISSÃO DE MALÁRIA EM CAMPO LARGO DO PIAUÍ E PORTO, PIAUÍ, BRASIL

**Antonio Carlos dos Santos**

Mestre em Geografia  
Universidade Federal do Piauí – UFPI  
[baulive@hotmail.com](mailto:baulive@hotmail.com)

**Gustavo Souza Valladares**

Professor Associado do Programa de Mestrado e Doutorado em Agronomia  
Universidade Federal do Piauí, Teresina – PI  
[valladares@ufpi.edu.br](mailto:valladares@ufpi.edu.br)

**Izabella Cabral Hassum**

Doutora - Pesquisadora A, Chefe Adjunta de Transferência de Tecnologia  
Embrapa Meio-Norte, Teresina – PI  
[izabella.hassum@embrapa.br](mailto:izabella.hassum@embrapa.br)

### RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo principal a modelagem espacial das áreas de risco de ocorrência de malária nos municípios de Campo Largo do Piauí e Porto – PI, locais onde ocorreram surtos nos últimos quinze anos. A análise ambiental para geração do mapa do risco de malária levou em consideração inventários envolvendo os meios físico e biótico, inclusive com as intervenções antrópicas, quanto ao uso e cobertura das terras, envolvendo análises do relevo por morfometria e do uso e cobertura das terras por sensoriamento remoto. Os temas foram sobrepostos e analisados por método multicritério aditivo para se chegar ao mapa de risco de ocorrência da doença e, posteriormente, os casos registrados foram sobrepostos com objetivo de validação da metodologia proposta. O mapeamento de risco de ocorrência de malária gerou quatro classes: baixo, moderado, alto e muito alto, sendo que as classes alto e muito alto risco de ocorrência da doença tiveram maior destaque com 7,1% e 92,9% de concentração, respectivamente, nos dois municípios durante o período estudado. Este trabalho sugere que o modelo do método multicritério aditivo para determinar a ocorrência dos casos de malária é altamente eficiente, indicando que as características naturais e antrópicas eleitas para compor as análises apresentaram resultado satisfatório.

**Palavras-chave:** Geoprocessamento em Saúde. Modelagem espacial. SIG. *Plasmodium*.

### ADDITIVE MULTICRITERIA METHOD IN THE MAPPING OF RISK AREAS FOR TRANSMISSION OF MALARIA IN CAMPO LARGO DO PIAUÍ AND PORTO, PIAUI, BRAZIL

### ABSTRACT

The main objective of this works was the spatial modelling for the areas of risk of malaria in the municipalities of Campo Largo do Piauí and Porto – in Piauí State, sites with outbreak records in the last fifteen years. The environmental analysis to generate the malaria risk map took into account inventories involving the physicals and biotics parameters, besides with the anthropic interference, as the land use and land cover, involving morphometric relief analyzes and the land use and covering for remote sensing. The subjects were overlaid and analyzed by an additive multicriteria method to arrive the risk map of occurrence of the disease, and subsequently the registered cases were overlaid with the purpose of validating the proposed methodology. Malaria risk mapping generated four classes: low, moderate, high and very high, with high and very high risk of occurrence of the disease were more prominent with 7.1% and 92.9% concentration, in the two municipalities during the period studied. This work suggests that the model of the additive multi criterion method to determine the occurrence of malaria cases is highly efficient, indicating that the natural and anthropic characteristics chosen to compose the analyzes presented satisfactory results.

**Keywords:** Health Geosciences. Spatial Modeling. GIS. *Plasmodium*.

## INTRODUÇÃO

A malária é uma doença infecciosa aguda e febril transmitida pela picada da fêmea de mosquito do gênero *Anopheles*. É uma doença de importância epidemiológica na Amazônia brasileira por apresentar uma elevada incidência e potencial de gravidade (SANTOS et al., 2013). Segundo Costa et al. (2014) 99,6% dos casos de malária registrados são na Amazônia. Os outros casos acontecem na área extra-amazônica cujos registros são esporádicos e isolados.

Segundo Barreto e Alves (1994), o conceito de risco e os recortes na estrutura social possibilitaram a visualização de subgrupos populacionais, com maior homogeneidade, localizados em um espaço mais reduzido, nos quais as doenças ocorrem com maior intensidade.

Castro et al. (2005) discutiram sobre o risco ambiental ser um processo construído ao longo do tempo, não estando restrito aos eventos "naturais" ou tecnológicos catastróficos (de grande magnitude e concentrados em curtos intervalos de tempo, ainda que recorrentes), como grandes enchentes, acidentes industriais etc. A construção do risco ocorre através do somatório de processos em diferentes intervalos temporais, estando vinculada ao modo de vida moderno e à vida cotidiana nas cidades.

Resumidamente, risco epidemiológico pode ser considerado como a probabilidade de ocorrência de um determinado evento relacionado à doença, estimado a partir do que ocorreu no passado recente (LUIZ; COHN, 2006).

Os conceitos de risco citados por Barreto e Alves (1994), Castro et al. (2005) e Luiz e Cohn (2006), via de regra, podem ser qualificados como risco social, risco ambiental e risco epidemiológico. Outros, estão associados à segurança pessoal, saúde, condições de habitação, trabalho, transporte, ou seja, o que convém ou se aplica ao cotidiano da sociedade moderna.

De acordo com Costa et al. (2014), a taxa de letalidade por malária na região Nordeste é muito maior do que na Amazônia brasileira. Isso ocorre do atraso no diagnóstico, que é recomendado pelo Ministério da Saúde, em até 48 horas após o aparecimento dos sintomas. Entre 1996 a 2013, houve um aumento de 187,2% na proporção de mortes na região extra-amazônica. Três mortes ocorreram no estado do Piauí, segundo dados do SIM/SESAPI. A taxa de mortalidade por malária mais baixa registrada foi em 2004 (0,47%) e a maior taxa de morte registrada foi no ano de 2009 (1,78%), o que representa um aumento de 380% no risco de morte (COSTA et al., 2014).

A malária é considerada uma doença muito complexa e que está relacionada com a interação entre o parasita, o vetor, os hospedeiros humanos e o meio ambiente. É imprescindível o estudo em conjunto de todos esses fatores para estabelecer seu controle (VASCONCELOS et al., 2006).

A malária no Piauí, nos últimos quinze anos, tem acometido pessoas principalmente residentes na área rural que buscaram emprego em outras regiões e retornaram infectadas pelo *Plasmodium* sp., sendo pouquíssimos os casos ocorridos na zona urbana dos municípios. Entre os municípios piauienses com transmissão de malária destaca-se Campo Largo do Piauí e Porto, o primeiro a 197 km da capital Teresina e o segundo a 183 km, com um total de 141 casos notificados da doença, no período de 2004 a 2013 (SANTOS, 2015).

A hipótese da presente pesquisa é de que seja possível modelar espacialmente as áreas de risco de ocorrência de malária em Campo Largo do Piauí e Porto, no estado do Piauí, por meio de método multicritério aditivo e geoprocessamento.

Neste contexto, e utilizando informações entomoepidemiológicas registradas entre os anos de 2002 e 2013, esta pesquisa teve como objetivo a modelagem espacial, através do Sistema de Informação Geográfica (SIG), das áreas de risco de ocorrência de malária nos municípios de

Campo Largo do Piauí e Porto, no estado do Piauí, locais onde ocorreu o maior surto da doença no ano de 2004.

## METODOLOGIA

### Tipo de estudo

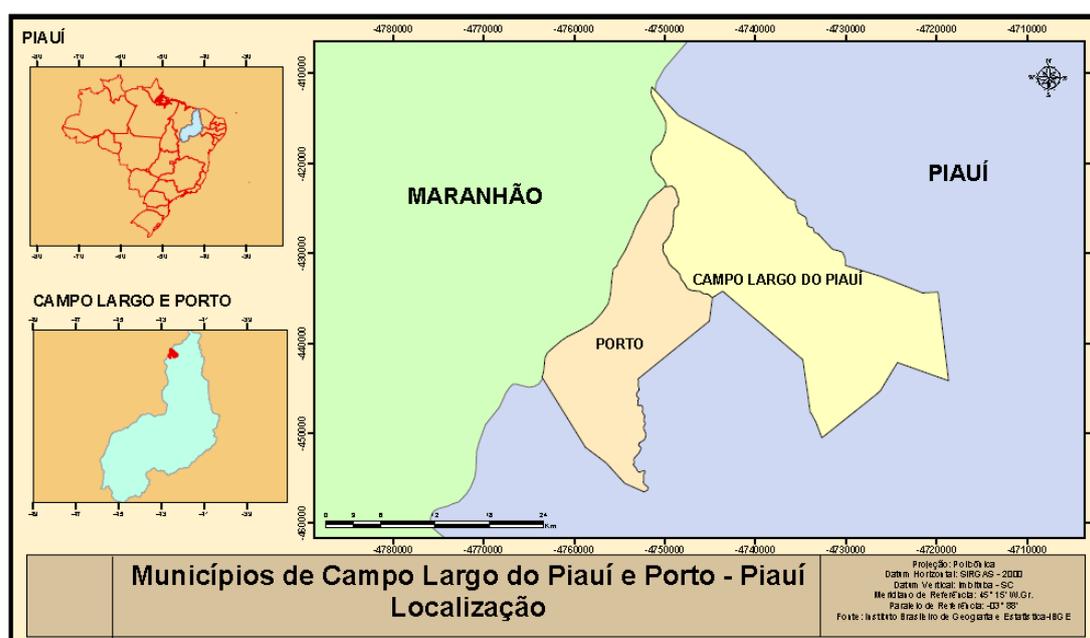
Nesta pesquisa além do estudo geográfico ambiental, que possibilita o entendimento da dinâmica da organização espacial (CAVALCANTI, 2006), foi utilizado também o epidemiológico, com abordagem retroativa, do tipo ecológico e ambiental, por se referir à área geográfica estudada (base municipal), com variáveis ambientais, habitacionais e indicadores de saúde (ALMEIDA FILHO; ROUQUAYROL,1990).

### Área de estudo

O município de Campo Largo do Piauí (Figura 1) está localizado na microrregião do Baixo Parnaíba Piauiense, compreendendo uma área de 434,18 km<sup>2</sup>. Faz limite ao norte com o município de Matias Olímpio e o estado do Maranhão, ao sul com Barras e Nossa Senhora dos Remédios, a leste com Matias Olímpio, São João do Arraial e Esperantina, e a oeste com Porto, Nossa Senhora dos Remédios e o estado do Maranhão. Sua sede municipal situa-se entre as coordenadas geográficas de 03°48'43" de latitude sul e 42° 37'44" de longitude oeste de *Greenwich* e dista 197 km de Teresina (BRASIL, 2004).

O município de Porto, no estado do Piauí (Figura 1), está localizado na microrregião do Baixo Parnaíba Piauiense, compreendendo uma área irregular de 242,18 km<sup>2</sup>. Faz limites ao norte com Campo Largo do Piauí e o estado do Maranhão, ao sul com Miguel Alves e Nossa Senhora dos Remédios, a leste com Nossa Senhora dos Remédios e Campo Largo do Piauí, e a oeste com o Maranhão e Miguel Alves. A sede municipal situa-se entre as coordenadas geográficas 03°53'36" de latitude sul e 42°42'36" de longitude oeste de *Greenwich* e dista 183 km de Teresina (BRASIL,2004).

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo.



Fonte – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

### Coleta de dados e observação em campo

Realizou-se coleta dos dados epidemiológicos e entomológicos na Coordenação de Vigilância em Saúde Ambiental da Secretaria Estadual de Saúde do Piauí – SESAPI e pesquisa em campo diretamente nos municípios de Campo Largo do Piauí e Porto tanto na zona urbana como na rural onde ocorreram os casos de malária. Nesta etapa foram realizadas as pesquisas de campo para identificação das unidades geomorfológicas, das classes de uso e cobertura da terra e para georreferenciamento dos endereços dos casos de malária.

Para análise das variáveis antrópicas (ocupação, sexo e faixa etária) discutidas neste estudo utilizaram-se os seguintes documentos cedidos pela SESAPI: Formulários (Fichas de notificação e investigação) do Sistema de Informação de Agravos de Notificação – SINAN, Relatórios Técnicos das Equipes de Epidemiologia e Entomologia (Piauí (2005; e 2009)) e Planilhas estatísticas com os casos de malária 2002-2013 em escala estadual e municipal.

### Mapeamento do Risco de Ocorrência de Malária em Campo Largo do Piauí e Porto

Na confecção do mapa de risco foi utilizado um método multicritério aditivo, definido por Xavier-da-Silva (2001) como média ponderada. A integração entre SIG e Apoio Multicritério à Decisão é abordada na literatura (GOMES; ESTELLITA LINS, 2002).

Um algoritmo sugerido (eq. 1), aplicável as estruturas de matrizes ou matriciais, adequado aos mapas raster utilizados, é apresentado a seguir:

n

$A_{ij} = \sum_{k=1}^n (P_k \cdot N_k)$  (Eq. 1) sendo:

k=1

$A_{ij}$  = qualquer célula da matriz (alternativa);

n = número de parâmetros envolvidos;

P = peso atribuído ao parâmetro, transposto o percentual para a escala de 0 a 1;

N = nota na escala de 0 a 1, atribuída à categoria encontrada na célula.

Para a realização das avaliações foi empregada a função de cálculo em RASTER. Na qual, foram utilizadas informações do relevo, e do uso e cobertura das terras, na geração do mapa de risco de ocorrência de malária. Os pesos e notas foram atribuídos com base na experiência e por consenso de equipe multidisciplinar especializada em meio físico e parasitologia, composta por uma Geógrafa (UFPI), um Sanitarista/Mestre em Geografia (UFPI/SESAPI), um Engenheiro Agrônomo (UFPI) e uma Médica Veterinária - Parasitologista (EMBRAPA). Os resultados quantitativos foram transformados em classes qualitativas, como: baixa, moderada, alta, muito alta. Metodologia semelhante foi empregada em alguns trabalhos (CREPANI et al., 2002; VALLADARES e FARIA, 2004; VALLADARES et al., 2002; HASSUM e VALLADARES, 2006; VASCONCELOS et al., 2006). O princípio metodológico é baseado no conceito de ecodinâmica de Tricart (1977).

A todos os temas foram atribuídos os mesmos pesos, sendo considerados todos igualmente importantes para a análise ambiental em questão. Para atribuir as notas a cada tema, definidos para o estudo, levou-se em consideração alguns fatores, entre os quais, as formas de ocupação humana nos diversos espaços (urbano e rural), como também, o comportamento e a longevidade das espécies de mosquitos transmissores da malária. Fatores determinantes, descritos por Deane (1986), Rey (2001), Forattini (2002; 2004), Ferreira (2003), Barbieri (2005), Brasil (2006), Santos; Cavalcante (2007), Santos; Santos (2011), Santos et al., (2015), Nóbrega (2011), Piauí (2011) entre outros, que contribuem para transmissão de malária e de várias doenças

endêmicas. Baseados na literatura consultada e na experiência profissional dos membros da equipe multidisciplinar participante do estudo, as notas atribuídas aos temas variaram de 0 a 1. Os pesos dos temas foram considerados iguais. Ressalta-se que os pesos e as notas foram definidos após trabalhos de campo em consenso da equipe especializada e a mesma definiu que os valores dos pesos fossem iguais para cada tema.

As Tabelas 1, 2, 3, 4, 5 e 6 apresentam as notas de risco atribuídas a cada um dos parâmetros de análise. Em relação as unidades geomorfológicas (Tabela 1) identificadas na área de estudo, os terraços e planícies fluviolacustres e depósitos coluviais e lacustres receberam nota 1, a máxima de risco em relação a transmissão de malária, devido as duas unidades serem consideradas de acumulação e nestas feições se localizarem os criadouros positivos do mosquito transmissor da doença. As demais feições como as mesas (0,8), vales associados aos tabuleiros (0,7), agrupamentos de mesas e vales associados às mesas e aos tabuleiros (0,6) e os tabuleiros costeiros (0,1) tiveram notas atribuídas menores que variaram entre 0,8 a 0,1 por serem consideradas de dissecação e oferecerem menor risco para a doença. As mesas receberam notas mais elevadas por se localizarem próximas aos criadouros dos vetores.

**Tabela 1** – Notas de risco atribuídas às unidades geomorfológicas.

GEOMORFOLOGIA	NOTA (0 a 1)
Terraços e planícies fluviolacustres	1,0
Depósitos coluviais e lacustres	1,0
Mesas	0,8
Vales associados aos tabuleiros	0,7
Agrupamentos de mesas	0,6
Vales associados às mesas e aos tabuleiros	0,6
Tabuleiros Costeiros	0,1

**Fonte** – INPE, Pesquisa de Campo.

Na Tabela 2 foram descritas as notas de risco atribuídas às classes de declividade: 0 - 2 % (1,0); 2 – 5% (1,0); 5 – 10% (0,8); 10 – 15% (0,5); 15 – 20% (0,2); e >20% (0,1). As classes com menor declive receberam notas mais elevadas por estarem sujeitas ao maior acúmulo de água.

**Tabela 2** – Notas de risco atribuídas às classes de declividade.

DECLIVIDADE	NOTA (0 a 1)
0 - 2%	1,0
2 - 5%	1,0
5 - 10%	0,8
10 - 15%	0,5
15 - 20%	0,2
>20	0,1

**Fonte** – INPE, Pesquisa de Campo.

Foram descritas as notas de risco atribuídas às classes de altimetria na Tabela 3: 0 – 40m (1,0); 40 – 60m (0,9); 60 – 80m (0,8); 80 – 100m (0,5); 100 – 128m (0,2). Foi atribuída a nota 1 a classe de 4 – 40m por apresentarem menor altitude na área de estudo e lá se concentrarem os criadouros positivos para o anofelino. As outras classes identificadas tiveram notas menores que variaram de 0,9 a 0,2, sendo que à medida que a altitude aumenta diminui a sua nota de risco para a transmissão da malária.

**Tabela 3** – Notas de risco atribuídas às classes de altimetria.

ALTITUDE	NOTA (0 a 1)
4 - 40m	1,0
40 - 60m	0,9
60 - 80m	0,8
80 - 100m	0,5
100 - 128m	0,2

**Fonte** – INPE, Pesquisa de Campo.

Na Tabela 4 estão identificadas as notas de risco atribuídas à distância da água: água (1,0); 100m (1,0); 200 (0,95); 300m (0,85); 400m (0,8); 500m (0,7); 1000m (0,6); 2000m (0,4) e >2000m (0,1). A nota 1 foi atribuída a própria água e a distância de 100m em relação a mesma, devido as duas classes oferecem maior risco para transmissão da malária, levando-se em consideração o raio de voo do vetor e as atividades de pescaria e de lazer que a população local exerce. Nas demais classes as notas atribuídas variaram de 0,95 a 0,1.

**Tabela 4** – Notas de risco atribuídas à distância da água.

DISTÂNCIA DA ÁGUA	NOTA (0 a 1)
Água	1,0
100m	1,0
200m	0,95
300m	0,85
400m	0,8
500m	0,7
1000m	0,6
2000m	0,4
>2000m	0,1

**Fonte** – INPE, Pesquisa de Campo.

A Tabela 5 apresenta as notas de risco atribuídas às classes relacionadas à distância das estradas, sendo que a de 500m que recebeu nota 1 e a de fora dos 500m recebeu 0,01 não oferecendo risco para transmissão da malária (por suposição). Para a atribuição das notas desse parâmetro levou-se em consideração o raio de voo do anofelino, a partir do local de procriação e a mobilidade dos munícipes que transitam entre o rural e urbano para realização de suas atividades laborais.

**Tabela 5** – Notas de risco atribuídas à distância das estradas.

BUFFER ESTRADAS	NOTA (0 a 1)
500m	1,0
Fora 500m	0,01

Fonte – INPE, Pesquisa de Campo.

As classes de uso e cobertura da terra (Tabela 6) identificadas na área de estudo, como os corpos d'água; campos, arbustos e lavoura; carnaubal e pasto, solo exposto e vilas, receberam nota 1. Após a visita a campo e consulta aos relatórios entomológicos e epidemiológicos da SESAPI, constatou-se que as referidas classes estão diretamente associadas com a longevidade dos mosquitos e a ocupação humana (atividades agrícolas, pecuária e lazer) da população da área de estudo. As classes babaçual, pasto e floresta (0,9); capoeira e babaçu (0,6); floresta e babaçual (0,5) foram as que tiveram menor associação com a transmissão da malária, devido se tratarem em sua maioria de florestas fechadas e com atividades de extrativismo praticada pela minoria da população local.

**Tabela 6** – Notas de risco atribuídas às classes de uso e cobertura das terras.

TIPO DE USO/COBERTURA	NOTA (0 a 1)
Corpo d'água	1,0
Solo exposto	1,0
Vilas	1,0
Carnaubal e pasto	1,0
Campos, arbustos e lavoura	1,0
Babaçual, pasto e floresta	0,9
Capoeira e babaçu	0,6
Floresta e babaçual	0,5
Área urbana	0,2
Lixão	0,2

Fonte – INPE, Pesquisa de Campo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta pesquisa a noção conceitual de risco à doença está relacionada com a probabilidade da ocorrência de malária em determinada área dos municípios avaliados, com base em estimativas geradas a partir de registros passados e aspectos ambientais. Para avaliar o risco de transmissão de malária, observando-se as correlações entre as diferentes variáveis (altimetria, declividade, feições do relevo, águas, estradas e uso e cobertura das terras), que são fatores geográficos ambientais (Figura 2) e epidemiológicos da doença, foi gerado o mapa de áreas de risco de Campo Largo do Piauí e Porto (Figura 3).

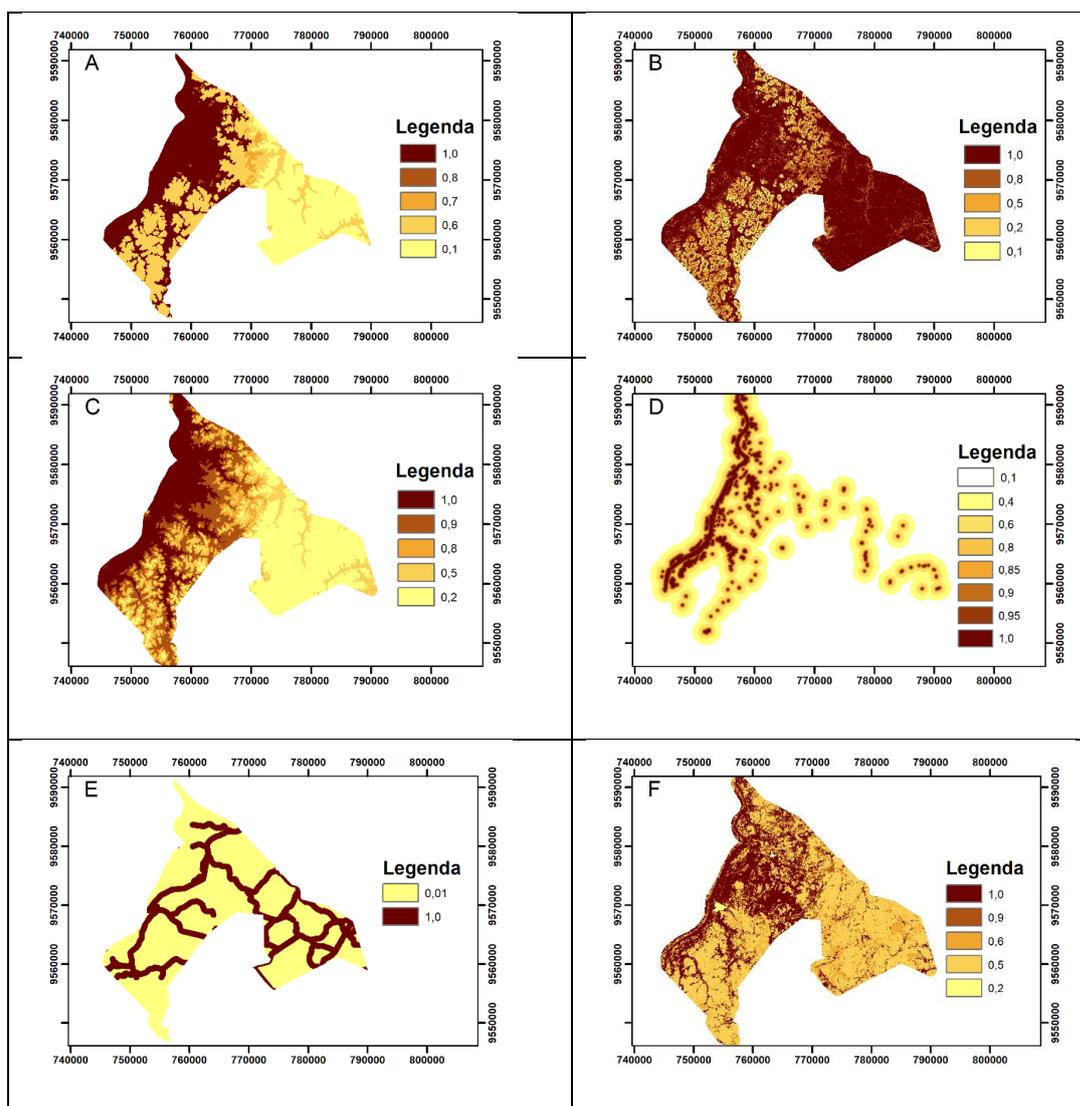
Fatores geográficos socioambientais e epidemiológicos identificados pelas fichas de notificação/investigação do SINAN e pelos Técnicos da SESAPI e das Secretarias Municipais de Saúde foram observados e validados na pesquisa de campo.

De acordo com Piauí (2009), epidemiologicamente no estado do Piauí são identificados nove fatores determinantes para transmissão da malária, dentre os quais quatro são presentes na área de estudo:

- 1) A relação estreita de ambos os municípios que fazem fronteira com o Maranhão em que as pessoas transitam diariamente entre os dois estados para realizar a prática de caça e pesca e até mesmo dormir em sítio de propriedade particular no lado maranhense;
- 2) Possuem temperatura e umidade, córregos com águas sombreadas que favorecem a proliferação do mosquito;
- 3) Presença confirmada dos vetores potenciais do agente etiológico;
- 4) A existência de um fluxo migratório das pessoas para áreas endêmicas para trabalhar com agropecuária e principalmente garimpo e que depois voltam infectadas.

Na figura 2 são apresentados todos os mapas das variáveis empregadas na modelagem espacial para risco da ocorrência de malária, incluindo altimetria, declividade, geomorfologia, uso e cobertura das terras, distância dos corpos d'água e distância das estradas, com as notas atribuídas, conforme tabelas de 1 a 6.

**Figura 2** – Notas de risco atribuídas às variáveis geoambientais. (A) geomorfologia, (B) declividade, (C) altimetria, (D) distância dos corpos d'água, (E) distância das estradas e (F) uso e cobertura das terras.



No mapa de risco para ocorrência de malária nos municípios de Campo Largo do Piauí e Porto, foram identificadas quatro classes de risco: baixo, moderado, alto e muito alto, conforme demonstrado na Figura 3. É importante destacar que o mapa da ocorrência da doença não foi utilizado na modelagem, somente na validação do mapa de risco.

Os resultados obtidos no mapa de áreas de risco de ocorrência de malária são demonstrados no Quadro 1.

**Quadro 1** – Relação das classes de risco para malária de Campo Largo do Piauí e Porto com área ocupada e as localidades positivas.

Classes de Risco	Área (km <sup>2</sup> )	Localidades atingidas por malária	Número de casos
Baixo	71,57	-	0
Moderado	216,14	-	0
Alto	241,88	Cavalos, Silva, Patos (Campo Largo do Piauí) e Sussuarana (Porto).	10
Muito alto	136,50	Vilas São Francisco, Carolina e São Bernardo, Campo Largo (CID), Carnaubas, Vermelha (Campo Largo do Piauí) e Guabiraba, Canto da Canoa, Cípó e Porto (CID) (Porto).	131
Total	666,09		141

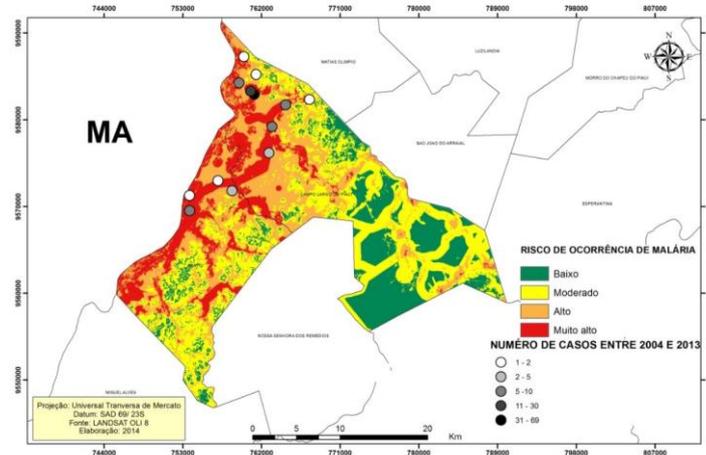
CID - cidade. **Fonte** – IBGE/SESAPI.

As classes de baixo e moderado risco ocupam uma área total de 287,71 km<sup>2</sup> e não tiveram localidades com ocorrência de malária. Na classe de risco alto, quatro localidades tiveram malária. A classe grau de risco muito alto foi a que teve maior número de localidades com transmissão de malária totalizando dez. Deste modo, a definição de áreas de risco para ocorrência de malária baseado nos princípios metodológicos da ecodinâmica de *Tricart* (1977) mostrou-se eficiente através do modelo proposto nos municípios em estudo.

As classes de risco alto e muito alto ocorreram principalmente em altimetria inferior a 50 metros, declividades baixas, feições do relevo de acumulação (Terraços e Planícies Fluvio-lacustre; e Depósitos coluviais e lacustres), uso e cobertura das terras com maior grau de antropização (zona urbana/rural, água, carnaúba e pasto; e floresta com babaçu) e nas proximidades de estradas ou corpos d'água.

O mapa da Figura 3, além das classes de grau de risco de ocorrência para malária nos municípios de estudo, apresenta também os casos de malária registrados no período de 2004 – 2013, onde o primeiro ano representa o maior surto que houve da série histórica de estudo e 2013 foi o ano que ocorreu o último surto nos dois municípios.

**Figura 3** – Mapa de risco de ocorrência de malária x número de casos de malária entre 2004-2013.



**Fonte** – LANDSAT OLI 8 (17.09.2013) /Pesquisa de campo.

As análises mostraram que os municípios de Campo Largo do Piauí e Porto apresentam o padrão de distribuição espacial dos casos de malária bem definido com localização na região norte dos respectivos municípios. Todos os casos de malária que ocorreram entre os anos de 2004 e 2013 estão situados nas áreas de alto e muito alto risco para a ocorrência de malária, conforme o modelo multicritério aditivo empregado. Estes resultados indicam que o modelo foi validado e tem uma alta confiabilidade, com 100% dos casos localizados nas áreas de maior risco. Vale ressaltar que a localização dos casos não entrou no modelo empregado no mapa de risco, sendo totalmente independentes. Destacam-se as Vilas de São Francisco com registro de 69 casos de malária, Carolina com 24 casos, São Bernardo, Campo Largo (CID), Carnaubas e Porto (CID) com sete casos cada uma, e demais localidades da área de estudo com registro de até cinco casos da doença. Tais registros indicam que 92,9% dos casos ocorreram na classe de risco muito alto.

Para melhor avaliar o modelo do método Multi Critério Aditivo (Média Ponderada) diante da interpolação por *Kernel* (verdade de campo) realizado por Santos (2015), realizou-se a tabulação cruzada das áreas de densidade de *Kernel* e as áreas de risco (Tabela 7).

**Tabela 7** – Classes de áreas (km<sup>2</sup>) de risco malária x densidade de *Kernel* de Campo Largo do Piauí e Porto.

Classes de Risco de malária	Densidade de <i>Kernel</i>				
	>160 - 200	>120 - 160	>80 - 120	>40 - 80	0 - 40
Muito alto	0,02	0,02	0,06	0,32	3,65
Alto	0,07	0,08	0,10	0,14	5,76
Moderado					0,77
Baixo					0,12
Total Geral	0,09	0,10	0,16	0,46	10,30

Fonte – Pesquisa de campo.

A Tabela 7 demonstra que a densidade *Kernel* > 40 casos/km<sup>2</sup> só ocorre nas áreas com risco alto ou muito alto para transmissão da malária. E 91% da densidade de *Kernel* entre >0 - 40 casos/km<sup>2</sup> ocorrem nas áreas de risco alto e muito alto, e 92% da ocorrência de *Kernel* no geral está nas áreas de risco alto ou muito alto. Diante dos resultados das análises pode-se inferir que as áreas quentes identificadas pela estimativa de *Kernel* nos municípios em estudo estão totalmente concordantes com as áreas de maior risco para transmissão da malária definida pela metodologia empregada.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos últimos quinze anos, os casos de malária que ocorreram no estado do Piauí, foram provenientes principalmente da população que busca emprego em outras regiões e retornam infectadas pelo *Plasmodium* sp., que encontra o vetor potencial da doença e terras com características geoambientais favoráveis à sua ocorrência.

O mapa de risco de malária gerou quatro classificações: baixo, moderado, alto e muito alto risco de ocorrência da doença, sendo que as duas últimas tiveram destaque com respectivamente, 7,1% e 92,9% nos dois municípios, durante o período estudado. Esta observação demonstra que a validação do modelo multicritério aditivo empregado foi muito alta, indicando que as características naturais e antrópicas selecionadas para as análises foram assertivas.

A variação espacial e temporal da transmissão da malária nos municípios de Campo Largo do Piauí e Porto está associada a geomorfologia e com a dinâmica da população humana, isto é, com os padrões de uso da terra, atividades de pesca e de lazer como também dos fluxos migratórios.

A utilização do Sistema de Informação Geográfica – SIG e as técnicas de sensoriamento remoto podem contribuir no monitoramento de situações de risco, auxiliando as ações de controle da malária nas três esferas (federal, estadual e municipal). São ferramentas propícias particularmente em regiões de evidente risco ambiental e epidemiológico, onde ações específicas de proteção e assistência às populações mais vulneráveis podem ser priorizadas. Portanto, recomenda-se aos órgãos de gestão em saúde das esferas estadual e municipal, que invistam no emprego destas tecnologias, adquirindo equipamentos e treinando técnicos.

#### **AGRADECIMENTOS**

Aos órgãos de fomento promotores do edital FAPEPI/SESAPI/MS/CNPq/ Nº 003/2013 pelo financiamento da presente pesquisa.

A Secretária Estadual de Saúde do Piauí - SESAPI na pessoa do Supervisor Estadual do Programa de Controle da Malária – PCM, o sanitarista Mauro Fernando Barbosa Chagas, pela liberação dos dados de malária no SINAN.

#### **REFERÊNCIAS**

ALMEIDA FILHO, N.; ROUQUAYROL, M. Z. **Introdução a Epidemiologia Moderna**. Coedição ABRASCO. Apce Produtos do Conhecimento. 1990.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia/CPRM. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea/Diagnóstico do Município de Campo Largo do Piauí**. 1. ed. Fortaleza – CE, 2004, 19p.

BRASIL. Ministério da Saúde/Fundação Oswaldo Cruz. **Abordagens espaciais na Saúde Pública**. Editora MS. Brasília – DF, 2006. (Série Capacitação e atualização em geoprocessamento em saúde).

BARBIERI. A. F. Uso do Solo e Prevalência de Malária em uma Região da Amazônia Brasileira. **Revista Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 15, n. 24, p. 9-30, 1. sem. 2005.

BARRETO, M. L.; ALVES, P. C. O Coletivo *versus* individual na epidemiologia: contradição ou síntese? In: COSTA, M. F. L; SOUZA, R. P. (Org.) **Qualidade de vida: compromisso histórico da epidemiologia**. Belo Horizonte: Coopmed, 1994. p.129-136.

CÂMARA, G; CARVALHO, M.S. Análise espacial de eventos. In: DRUCK, S., CARVALHO, M.S., Câmara, G., MONTEIRO, A.M.V (eds) **Análise espacial de dados geográficos**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Cerrados (Embrapa Cerrados), Planaltina, Distrito Federal, p.53-122, 2004.

CASTRO, C. M.; PEIXOTO, M. N. O.; RIO, G. A.P. Riscos Ambientais e Geografia: Conceituações, Abordagens e Escalas. **Revista Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, Rio de Janeiro – RJ, v. 28-2, p. 11-30, 2005. Disponível em:[http://www.anuario.igeo.ufrj.br/anuario\\_2005/Anuario\\_2005\\_11\\_30.pdf](http://www.anuario.igeo.ufrj.br/anuario_2005/Anuario_2005_11_30.pdf). Acesso em: 29 dez. 2014.

CAVALCANTI, A. P. B. **Métodos e Técnicas da Pesquisa Ambiental**. UFPI/CCHL/DGH, Teresina – PI, 2006.

COSTA, A. P.; BRASIL, P.; DI SANTI, S. M.; ARAÚJO, M. P.; SUÁREZ-MUTIS, M. C.; SANTELLI, A. C. S.; FERREIRA, J. O.; OLIVEIRA, R. L.; RIBEIRO, C. T. D. Malária in Brazil: what happens outside the Amazonian endemic region. **Revista Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, Rio de Janeiro, v.109, n. 5, p.618-633, 2014. <https://doi.org/10.1590/0074-0276140228>

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; AZEVEDO, L.G.; DUARTE, V.; HERNANDEZ, P.; GOMES, E.G.; ESTELLITA LINS, M.P. Integrating Geographical Information Systems and Multi-criteria Methods: a case study. **Annals of Operations Research**, v.116, p.243-269, 2002. <https://doi.org/10.1023/A:1021344700828>

DEANE, L. M. **Vetores da malária no Brasil**. **Revista Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, 81, p.5-14, Rio de Janeiro – RJ, 1986. (Suplemento II). FORATTINI, O.P. **Culicidologia médica: identificação, biologia e epidemiologia**.v. II, São Paulo: Edusp, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0074-02761986000600002>

FORATTINI, O.P. **Ecologia, epidemiologia e sociedade**, 2nd ed., Artes Médicas, São Paulo, 2004.

FERREIRA, M. E. M. C. “Doenças tropicais”: o clima e a saúde coletiva. Alterações climáticas e a ocorrência de malária na área de influência do reservatório de Itaipu, PR. **Revista Eletrônica Terra Livre**. São Paulo. Ano 19 – v. I – n. 20, Jan/jul. 2003. Disponível em: <[http://www.agb.org.br/files/TL\\_N20.pdf](http://www.agb.org.br/files/TL_N20.pdf)>. Acesso em: 08 abr. 2014.

GOMES, E.G.; ESTELLITA LINS, M.P. Integrating Geographical Information Systems and Multi-criteria Methods: a case study. **Annals of Operations Research**, v.116, p.243-269, 2002. <https://doi.org/10.1023/A:1021344700828>

HASSUM, I. C.; VALLADARES, G. S. **Pedologia e SIG na estimativa de áreas de risco de contaminação por Schistosoma mansoni na Bacia do Rio Coruripe, Alagoas**. Campinas: CNPM, 2006. (Comunicado Técnico).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.175p. Disponível em:

[ftp://geofpt.ibge.gov.br/documentos/recursos\\_naturais/manuais\\_tecnicos/manual\\_tecnico\\_geomorfologia.pdf](ftp://geofpt.ibge.gov.br/documentos/recursos_naturais/manuais_tecnicos/manual_tecnico_geomorfologia.pdf). Acesso em 30.10.2013.

LUIZ O. C., COHN A. Sociedade de risco e risco epidemiológico. **Revista Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 11, p. 2339-2348, novembro, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2006001100008>

NÓBREGA, M. E. B. **Análise ecoepidemiológica da malária no município de Anajás, Pará, utilizando geoprocessamento**. 73 f.2011. Dissertação (Mestrado Profissional) Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca/FIOCRUZ, Belém, PA, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/mioc/v104n4/06.pdf>. Acesso em: 31 dez. 2014.

PIAUI, Secretária Estadual de Saúde - SESAPI. Coordenação de Vigilância em Saúde Ambiental. Relatório das Atividades de Malária em Campo Largo do Piauí e Porto - PI; Teresina, 2005. p. 1-32. PIAUI – Secretária de Saúde do Estado do Piauí - SESAPI. Relatório de Avaliação Epidemiológicas e Entomológica do Programa Estadual de Controle da Malária – PCM de 1995 a 2008. Teresina, 2009.

REY, L. **Parasitologia**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan. 2001.

RODRIGUES. J. L. P. **Estudos Regionais do Piauí**. Editora Halley S/A. Teresina – PI. 2001. p.15 –55.

SANTOS, A. C. **Estudo geoambiental da ocorrência de malária no Piauí. Estudo de caso: Campo Largo do Piauí e Porto 2002 a 2013**. 2015. 114 F. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Piauí, Teresina – PI, 2015.

SANTOS, A. C.; VALLADARES, G. S.; HASSUM, I. C. DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO - TEMPORAL DA MALÁRIA NO PIAUI DE 2002 A 2013. **Hygeia: Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde** (Uberlândia), v. 11, p. 1-84, 2015.

SANTOS, A.C.; CAVALCANTI, A. P. B.; Análise do Controle Ambiental realizado no Igarapé Mirandinha, Boa Vista - RR, 1999. **Revista on line Caminhos de Geografia**. v. 7, n. 20, Uberlândia-MG. p. 53 – 6, Fev/2007.

SANTOS, A. C.; SANTOS, J. P. Estudo Geoespacial da Prevalência da Leishmaniose Visceral Americana no Bairro Promorar, Teresina-Piauí, 2000/2004. **Hygeia, Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**. v. 7(13), Uberlândia-MG. p. 83 – 93. Dez/2011.

SANTOS, A.C.; CHAGAS, M. F. B.; LIMA, I. P.; VALLADARES, G. S.; ARAÚJO, T. M. E. Distribuição espacial dos anofelinos (Diptera: Culicidae) no município de Uruçuí (Piauí). In: XIII Reunião Nacional de Pesquisa em Malária, 11/2013, Manaus – AM. **Anais...** Manaus – AM: FMT, 2013. (PEN DRIVE).

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977. 91p.

VALLADARES, G.S.; FARIA, A.L.L. SIG na análise do risco de salinização na bacia do Rio Coruripe, AL. **ENGEVISTA**, v. 6, p.86-98, 2004. <https://doi.org/10.22409/engevista.v6i3.147>

VALLADARES, G.S.; GUIMARÃES, M; BATISTELLA, M. **Susceptibilidade à erosão das terras na Região Oeste do Estado da Bahia. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2002. (Comunicado Técnico 10).**

VASCONCELOS, C. H.; NOVO, E. L. M.; DONALISIO, M. R. Uso do sensoriamento remoto para estudar a influência de alterações ambientais na distribuição da malária na Amazônia brasileira. **Revista Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 22 n.3, p. 517-526, mar, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2006000300006>

XAVIER-DA-SILVA, J. **Geoprocessamento para Análise Ambiental**. Rio de Janeiro, Ed. do Autor, 2001.

---

Recebido em: 23/02/2018

Aceito para publicação em: 06/12/2018