

**PADRÕES ESPAÇO-TEMPORAIS DE *Haemagogus janthinomys* E *leucocelaenus* NA
ÁREA DE INFLUÊNCIA DA USINA HIDROELÉTRICA APM-MANSO, MT**

**SPACE-TIME PATTERNS OF THE *Haemagogus janthinomys* E *leucocelaenus* IN THE
AREA OF INFLUENCE OF HYDROELECTRIC POWER STATION APM-Manso, MT**

Marcos Antonio da Silva

Departamento de Geografia - UFMT
masmt@ibest.com.br

Peter Zeilhofer

Departamento de Geografia - UFMT
zeilhoferpeter@gmail.com

Emerson Soares dos Santos

Departamento de Geografia - USP
emer.santos@uol.com.br

Ana Lucia Maria Ribeiro

Faculdade de Ciências Médicas - UFMT
anadarlingi@yahoo.com.br

Rosina Djunco Miyazaki

Departamento de Biologia - UFMT
miya@vsp.com.br

Marina Atanaka dos Santos

Instituto de Saúde Coletiva - UFMT
slcs@terra.com.br

RESUMO

O ambiente físico na área de influência da hidroelétrica "Aproveitamento Múltiplo do Manso" (APM-Manso) apresenta elementos favoráveis para o desenvolvimento do ciclo silvestre da febre amarela. Neste contexto, o presente estudo visa a aplicação de técnicas de Sensoriamento Remoto, Sistema de Informação Geográfica e Regressão Logística para mapeamento da aptidão de *habitats* de *Haemagogus janthinomys* e *Haemagogus leucocelaenus*, os principais vetores de transmissão de Febre Amarela Silvestre. Foram realizadas 64 campanhas entomológicas entre os anos de 2000 e 2001, com capturas em oito pontos de coleta. Planos de Informação das Formações vegetais e da Terceira componente da transformação *Tasseled Cap*, um índice espectral da umidade da superfície terrestre foram obtidas de uma imagem multiespectral do Landsat ETM+. De um Modelo Numérico de Terreno de alta resolução foram derivados Planos de informação da Declividade, Exposição das rampas e Incidência solar. Um modelo de Regressão Logística identificou a Incidência solar, a Declividade e a Terceira componente da transformação *Tasseled Cap* como variáveis explanatórias significativas para a presença dos vetores. O modelo de Regressão Logística resultou em uma exatidão geral de 85,9%, um desempenho considerado satisfatório para predições espaciais da aptidão de *habitats*.

Palavras-chave: Mapeamento de habitat, SIG, *Haemagogus*, Febre amarela silvestre

ABSTRACT

In the surroundings of the Area of Multiple Use of Manso (APM-Manso), the physical environment presents the elements favorable for the development of jungle cycle of the yellow fever disease. Thus the purpose of this study was to apply remote sensing and GIS methods coupled with logistic regression (LR) for habitat suitability mapping of *Haemagogus janthinomys* and *leucocelaenus*, the principal transmission vectors of yellow fever in the region. 64 entomologic sampling campaigns were conducted during the years of 2000-2001, with captures at eight sampling points. Layers of

vegetation formations and the third component of the Tasseled Cap Transformation, a spectral index for surface humidity were derived from a multispectral Landsat ETM+ image. Slope, ramp exposition and sun incidence were derived from the processing of a high resolution digital elevation model. A LR model identified sun incidence, slope and the third component of the Tasseled Cap Transformation as significant explanatory variables for vector presence in the region. The LR model resulted in an overall accuracy of 85.9 %, considered of satisfactory quality for the spatial predictions of habitat suitability.

Keywords: Habitat mapping, GIS, *Haemagogus*, Sylvatic yellow fever

INTRODUÇÃO

A febre amarela silvestre é transmitida através da picada de mosquitos, principalmente do gênero *Haemagogus*, cujo ciclo está intacto em várias regiões do Brasil, devido à livre circulação do vírus entre vetores silvestres e animais vertebrados em áreas de vegetação densa. Nas redondezas da área de influência da hidroelétrica "Aproveitamento Múltiplo do Manso" (APM-Manso), localizada no centro sul do estado de Mato Grosso, o ambiente físico apresenta elementos propícios para o desenvolvimento do seu ciclo. Mesmo não havendo registros de casos da doença na região atualmente, torna-se importante a identificação e mapeamento dos *habitats* dos vetores transmissores, permitindo que ações sejam tomadas de forma preventiva, proporcionando a diminuição dos gastos públicos com tratamento dessa doença no futuro.

Sensoriamento Remoto e geoprocessamento se tornaram técnicas padrão no mapeamento de vetores transmissores de doenças infecciosas tais como Malária, Leishmaniose ou Dengue (Correia *et al* 2004, Aparicio & Bitencourt 2004, Barreto *et al* 2008). Estudos dos padrões espaciais da febre amarela e dos seus vetores abordam principalmente o ciclo urbano (Morrison *et al* 2004), sendo trabalhos sobre a forma silvestre ainda bastante esparsos, apesar do potencial de técnicas de Geoprocessamento para tal aplicação como apontado por Beck *et al* (2000).

Para modelagem espacial explícita da aptidão de *habitats*, Planos de Informação explanatórios podem ser elaborados a partir da análise de imagens de sensores remotos (Beck *et al* 2000), enquanto técnicas da análise espacial permitem a combinação dos Planos por regras, descrevendo a sua relação com a ocorrência dos vetores. Na ausência de autocorrelação espacial entre os pontos de coleta entomológica (Allouche *et al* 2008), a definição destas regras pode ser baseada em técnicas tais como Análise de Nichos Ecológicos (*Ecological Niche Factor Analysis* - ENFA) (Peterson & Shaw 2003) ou Algoritmos Genéticos (Nieto *et al* 2006), sendo, entretanto a Regressão Logística o método mais amplamente aplicado em estudos entomológicos com dados de presença e ausência (Sattler *et al* 2005, Gebre-Michael *et al* 2004).

Nesta perspectiva o presente trabalho tem como objetivo validar métodos de geoprocessamento para caracterização do *habitat* dos mosquitos *Haemagogus janthinomys* e *Haemagogus leucoceleaenus*, principais vetores da febre amarela silvestre na região da APM-Manso e desenvolver um modelo espacial baseado em Regressão Logística para mapear as probabilidades de contato com essas espécies.

ÁREA DE ESTUDO

A área de influência da APM-Manso, incluindo o reservatório e áreas a jusante da represa, está localizada nos Municípios de Chapada dos Guimarães, Rosário Oeste e Nova Brasilândia, no centro-sul de Mato Grosso (Figura 1), entre as coordenadas 14°40' e 15°10' lat. S. e 55°35' e 56°15' lon. W. Presente em uma área de clima semi-úmido tropical, a temperatura média anual é de cerca de 26°C, com precipitação pluviométrica anual estimada entre 1400 e 1800 mm, distribuídos em dois períodos bem distintos: seca e chuvoso. Aproximadamente de 80% das chuvas ocorrem entre os meses de Novembro a Abril, enquanto as precipitações médias nos outros meses são abaixo de 50 mm, podendo não ocorrer chuvas nos meses de junho até agosto. Inclui, na sua porção leste, regiões com planaltos residuais da Chapada dos Guimarães em altitudes de até 700 metros, com rampas íngremes, enquanto a parte oeste, a jusante da barragem, faz parte da Depressão Cuiabana, área topograficamente rebaixada, com

altitudes entre 200 e 450 metros, com modelado do relevo e níveis de dissecação bastante variado em função da litologia e estrutura geológica.

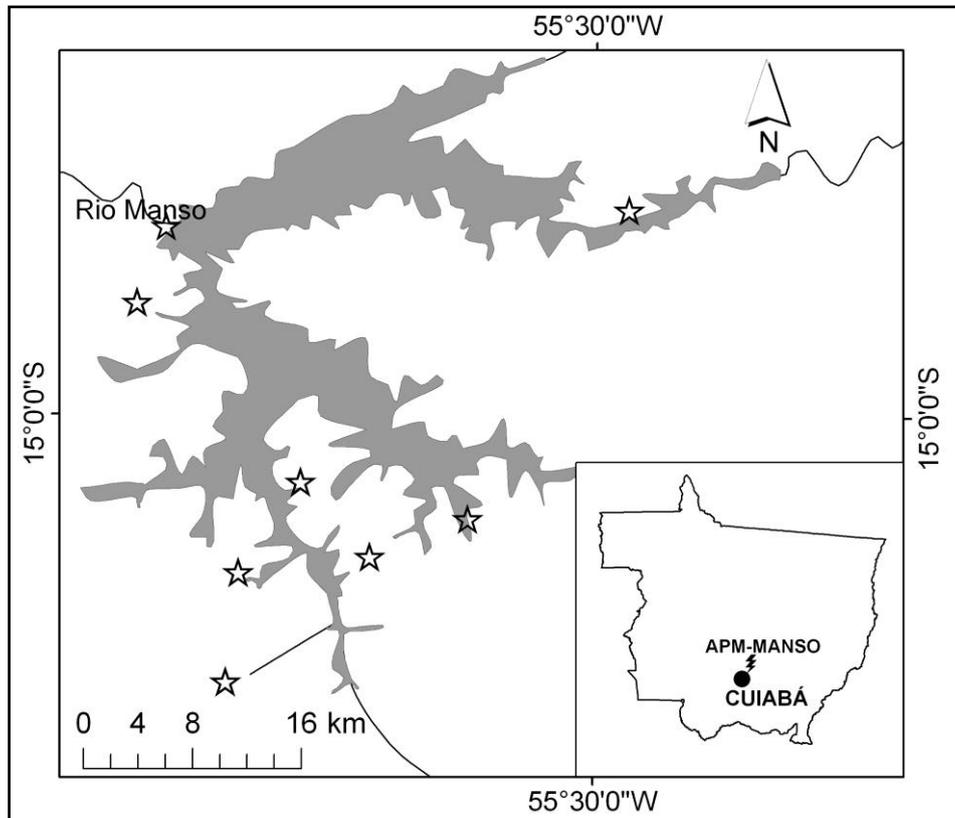


Figura 1. Localização da área de estudo com locais das coletas entomológicas.

As redondezas do reservatório, que em seu nível máximo de operação abrange uma área aproximada de 427 km², são originalmente cobertas por formações de Cerrado, em parte desmatada, principalmente para pecuária. Ao longo da rede hidrográfica e nas rampas das escarpas do planalto são encontradas florestas semi-decíduas. A área de Aproveitamento Múltiplo de Manso é localizada cerca de 100 km ao norte da aglomeração urbana de Cuiabá e Várzea Grande, que conta com uma população de mais de 700.000 habitantes. As redondezas do reservatório estão utilizadas para recreação, principalmente nos fins de semana.

MATERIAIS E MÉTODOS

- Dados entomológicos

Para desenvolvimento dos modelos espaciais da aptidão de *habitat* de *H. janthinomys* e *H. leucocelaenus* foram utilizados dados entomológicos referentes a 64 coletas, realizadas em oito pontos amostrais (Fig. 1) entre maio de 2000 e outubro de 2001. As capturas foram realizadas bimestralmente em ambientes de vegetação fechada, no período diurno das 10:00 às 16:00 horas, sendo uma hora de coleta em cada localidade, utilizando-se o capturador manual (modelo de Castro) no momento do pouso e uma rede entomológica com 20 cm de diâmetro para captura do inseto em voo. Os insetos recém capturados foram acondicionados em copos plásticos e posteriormente alimentados com algodão embebido com água açucarada para permanecerem vivos até o momento de serem sacrificados com acetato de etila e processar a identificação, através das chaves dicotômicas de Lane (1953), Forattini (1965) e Consoli & Lourenço-de-Oliveira (1994). Durante as coletas foram adquiridos dados abióticos como temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e fase lunar. Para análise exploratória e desenvolvimento dos modelos espaciais, os dados foram transformados em dados de picada por homem e hora (IPHH).

O material biológico encontra-se à disposição dos pesquisadores nos laboratórios de Entomologia da Coleção Entomológica Regional de Mato Grosso/IB/UFMT e Secretaria de Saúde do Estado de Mato Grosso/ Gerência de Entomologia.

- *Dados espaciais*

Uma imagem Landsat 7-ETM+ (WGR 226/070) de 20/07/2000, bandas #1 - #5 e #7, foi utilizada para mapeamento do uso e ocupação da terra e geração de índices espectrais de umidade. O mapeamento dos tipos de vegetação e uso da terra foi realizado por classificação supervisionada, algoritmo de verossimilhança máxima (MAXVER), implementado no software SPRING 4.3.3 (INPE). Foram diferenciadas as seguintes classes de uso: "Água", "Área aberta/Pastagem", "Cerrado" e "Cerradão/Mata".

Os levantamentos entomológicos foram efetuados apenas em áreas de vegetação densa, sendo desta forma as simulações da aptidão de *habitat* válidas somente para áreas com formações florestais e de savana densa (Cerradão). Ainda assim, a presença do vetor varia supostamente em função de diferentes tipos de vegetação de fisionomia florestal, sendo diferenciadas as classes Cerrado, Mata ciliar e Mata de encosta. Sendo a diferenciação das classes classe "Mata ciliar" e "Mata de encosta" não possível por critérios espectrais, a classe composta "Cerradão/Mata" foi dividida em seguida a partir de uma análise espacial (*buffer*). Pixels classificados como "Cerradão/Mata", localizados à uma distancia máxima de 250 metros da rede hidrográfica foram recodificados para classe de "Mata ciliar", sendo atribuídas as áreas restantes a classe "Mata de encosta".

Um índice espectral de umidade do solo e vegetação foi obtido através da transformação das bandas #1 - #5 e #7 pelo método *Tasseled Cap* (Crist & Cicone 1986), implementado no software ENVI 4.0. A variação dos níveis de cinza na terceira componente da transformação (TC₃) (*Wetness*) é determinada principalmente em função dos diferentes níveis de umidade dos pixels monitorados. Não foram disponíveis imagens Landsat TM para todos os períodos de monitoramento, não permitindo um cálculo dos respectivos índices de umidade durante as datas das capturas entomológicas. Entende-se, porém, que o índice de umidade no período da seca é um indicador da situação edáfica média nas formações vegetais, cuja diferença é realçada neste período de ano com mais elevados valores nas florestas ripárias, seguidas pelas matas de encosta e formações de savana (Cerrado).

Para a estimativa da Incidência solar e mapeamento da Declividade e Exposição das rampas foi utilizado um Modelo Numérico de Terreno (MNT), gerado com base em curvas de níveis com equidistância de 10 m, fornecidas por FURNAS SA, porem disponíveis somente para as redondezas imediatas do reservatório.

Mapas da Incidência solar foram elaborados para cada data de coleta a partir da ferramenta *Solar Analyst* do ArcGIS 9.3 (ESRI, Redlands) com simulação da Incidência solar em cada data respectiva. Para desenvolvimento do modelo de *habitat* foi gerado um Plano de Informação da média anual. Os mapas da exposição das rampas e da declividade foram gerados a partir das ferramentas "*Aspect*" e "*Slope*" do ArcGIS 9.3 (ESRI, Redlands).

A obtenção dos atributos para cada data/coleta foi garantida a partir de sobreposição das camadas espaciais "Vegetação", "Umidade do solo e vegetação", "Incidência solar", "Exposição das rampas" e "Declividade". Os valores para cada data/coleta foram extraídos para um raio de análise de 200 metros. Para as camadas "Umidade do solo e vegetação", "Incidência solar" e "Declividade" foram calculadas as médias aritméticas e para as variáveis "Vegetação" e "Exposição das rampas" foram determinadas as categorias predominantes no raio de análise.

Todos os Planos de Informação foram georreferenciados a partir das cartas topográficas 1:100.000 da região para o sistema UTM (Datum SAD 69). A integração dos dados espaciais e sobreposição dos mapas para mapeamento dos *habitats* foram realizadas a partir do software ArcGIS 9.3 (ESRI, Redlands).

Para a simulação de aptidão do *habitat* foi aplicada a técnica de Regressão Logística (RL). Conceitualmente, esta metodologia é considerada técnica da análise espacial, baseada no aferimento de atributos a áreas com características supostamente homogêneas. Visa-se a detecção e possíveis explicações da variação do fenômeno em estudo (ocorrência do vetor), modelado a partir de variáveis explanatórias que definem a variação da variável em estudo (variável dependente) (Druck *et al* 2004). A utilização de métodos da estatística de inferência

para modelação espacial deve ser baseada no pressuposto da ausência de autocorrelação espacial entre os pontos de amostragem utilizados para o desenvolvimento do modelo (Zeilhofer *et al* 2009). Para teste da autocorrelação espacial entre as densidades medias das campanhas de captura foi calculado o Índice geral de Moran (Moran, 1950), que resultou em valores de 0,04 (*H. janthinomys*), 0,07 (*H. leucocelaenus*) e 0,05 (somatório das espécies), que não indicam dependência espacial significativa, isso principalmente em função da grande distancia entre os pontos de coleta e a vinculação da ocorrência dos vetores as condições ambientais locais.

Na análise, as cinco variáveis espacializadas foram completadas com quatro variáveis não-espaciais (“Fase lunar”, “Temperatura do ar”, “Umidade relativa do ar”, “Sazonalidade Climática”), construindo uma tabela com nove variáveis explanatórias (Tabela 1).

Tabela 1

Variáveis explanatórias utilizadas na regressão logística (* variáveis espacializadas).

Variável Explanatória	Origem	Escala	Nr. de classes
Fase lunar	Obs. de Campo	Ordinal	4
Temperatura do ar	Medição de Campo	Absoluta	Contínuo
Umidade relativa do ar	Medição de Campo	Absoluta	Contínuo
Período climático	Obs. de Campo	Ordinal	2
Umidade do solo e vegetação*	Transformação <i>Tasseled Cap</i>	Absoluta	Contínuo
Vegetação*	Classificação de Imagem ETM+	Ordinal	3
Declividade*	Análise MNT	Absoluta	Contínuo
Incidência solar*	Análise MNT	Absoluta	Contínuo
Exposição das rampas*	Análise MNT	Ordinal	5

Foram primeiramente desenvolvidos modelos individuais de RL para cada espécie, porém não resultando em modelos significativos, principalmente pelas altas taxas de ausência das espécies durante o período de monitoramento.

Estudos entomológicos disponíveis sugerem que as duas espécies possuem preferências similares nos hábitos de reprodução e alimentação (Alencar *et al* 2008, Alencar *et al* 2005, Gomes *et al* 2007, Forattini *et al* 1978). Desta forma, justifica-se a junção das contagens das duas espécies para o desenvolvimento de modelos de aptidão de *habitat* únicos. Para seleção do modelo final foram avaliados valores de corte entre um e quatro para binarização dos índices de captura dos vetores e avaliados as principais saídas da análise, como tabela de classificação (matriz de confusão) e o índice de Nagelkerke: uma versão ajustada do índice de Cox & Snell que escalona a escala da estatística para uma faixa inteira entre 0 até 1 (ajuste perfeito) (Nagelkerke 1991, Hosmer & Lemeshow 1989).

RESULTADOS

De acordo com teste não-paramétrico de Kruskal Wallis, as frequências da espécie *H. janthinomys* como também do somatório com *H. leucocelaenus* são superiores no período da cheia do que no período da seca, sendo as diferenças altamente significativas ($p < 0,01$). A espécie *H. leucocelaenus* possui frequências superiores, embora pouco significativas ($p = 0,07$) no período chuvoso do que no período da seca.

Apesar de ser um preditor significativo em um modelo uni-variado (compare Tab. 3), a variável das estações seca e cheia (codificado ordinalmente), não está inclusa no modelo de RL multi-variado (Valor de corte: 2). São identificados os fatores “Incidência solar” ($p = 0,039$), a “Declividade” ($p = 0,027$) e a “Umidade do solo e vegetação” (chamaremos de “TC_3” ($p = 0,017$)) como preditores espaciais significativos para a presença das espécies *H. janthinomys* e *leucocelaenus*.

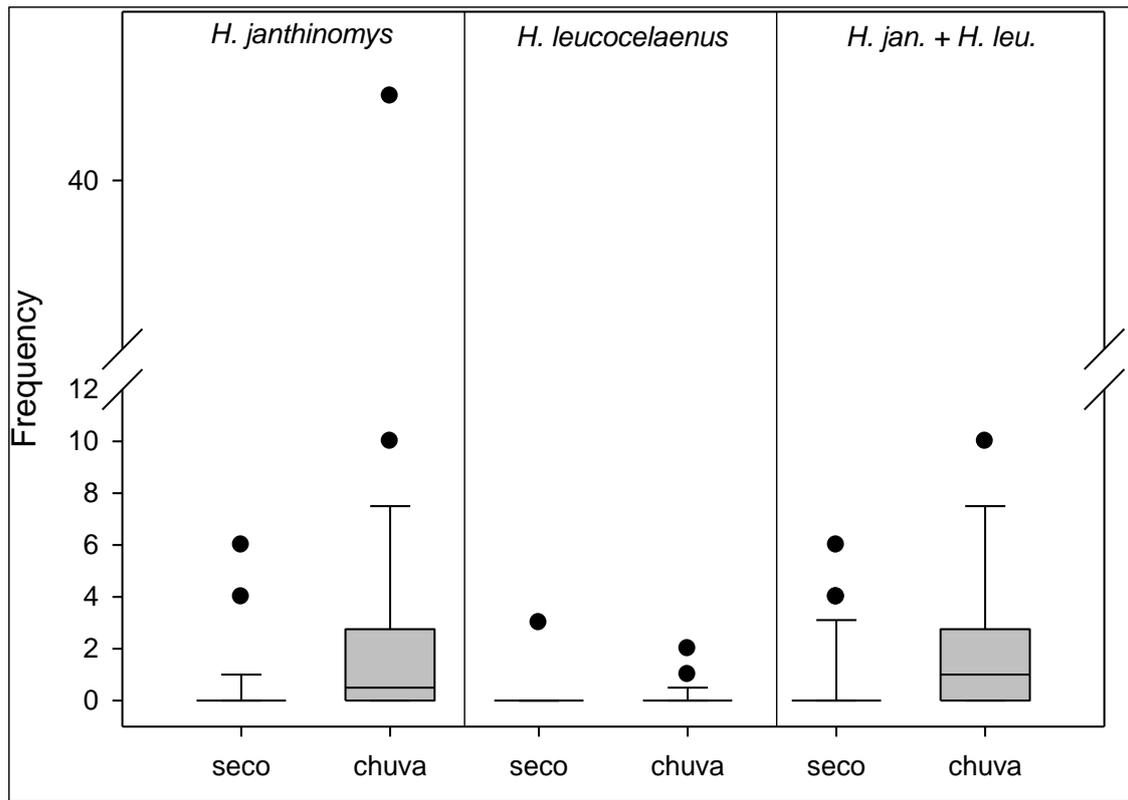


Fig. 2. Freqüência das espécies *Haemagogus. janthinomys* e *Haemagogus. leucocelaenus* durante os períodos sazonais.

Tabela 2

Coeficientes significativos ($p < 0.01$) da RL (“backward conditional”) para estimativa de aptidão do habitat das duas espécies de *Haemagogus* (Valor de corte: 2).

Variável	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Incidência solar	14,785	6,781	4,755	1	0,039	263,706 E+4
Declividade	1,424	0,644	4,893	1	0,027	4,155
TC_3	13,372	5,591	5,721	1	0,017	641,661 E+4
Constante	-121,852	41,300	8,705	1	0,003	0,000

B = estimativas dos parâmetros das equações; S.E. = erro padrão; Wald = Estatística de Wald; df = grau de liberdade; Sig = significância da estatística de Wald; Exp (B) = ODDS ratio

O ajuste da RL é ligeiramente melhor se uma constante é incluída no modelo. Hosmer & Lemeshow (1989) salientam que a mesma deve ser excluída na seguinte situação: se pode ser esperado que a probabilidade de um evento é de 0,5, e se todos os coeficientes das variáveis explanatórias fossem definidas como 0. Não ocorrendo isto nesta situação e tendo a constante alta significância, a mesma foi mantida no modelo.

A interpretação dos coeficientes em modelos RL logísticos multi-variados é dificultado devido a não-linearidade da transformação *logit* (Frandsen & Wouters 2009), isso sobretudo se existe colineariedade entre as variáveis e efeitos de mediação (efeito de uma segunda e terceira variável explanatória sobre uma primeira) (MacKinnon et al. 1995).

No modelo multi-variado, todas as variáveis possuem coeficiente positivo, supondo um aumento do risco com aumento nos valores das três variáveis. Sendo isso coerente para as variáveis “TC_3” (aumento da aptidão do habitat em áreas de maior umidade) e “Declividade” (as rampas dos chapadões são frequentemente ocupadas por florestas mais densas), este

resultado está contrapondo a expectativa para a variável da "Incidência solar". Em um modelo uni-variado, porém, o plano da "Incidência solar" possui coeficiente negativo, sendo baixos valores relacionados com probabilidades mais altas da ocorrência dos vetores. De forma a corroborar com este fato, foram observadas frequências medianas superiores e casos positivos (valores além do corte) dos vetores principalmente em áreas sombreadas (Figura 2), de maior declive (Figura 3) e de índices de umidade elevadas, principalmente nas encostas côncavas de alto declive no limites entre o Planalto da Chapada dos Guimarães e a Depressão Cuiabana e nos vales dos rios.

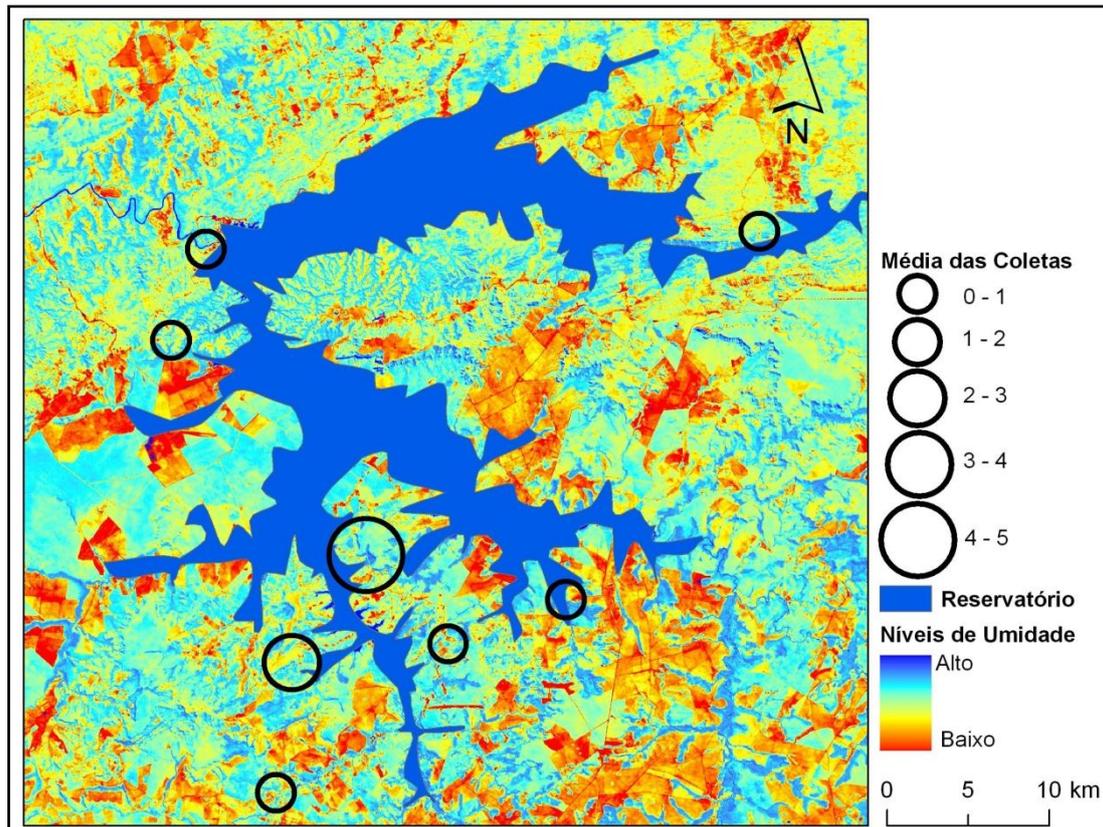


Figura 2. Índice de Umidade do solo e vegetação ("Wetness"), obtido pela transformação "Tasseled Cap" da imagem Landsat-ETM+.

A RL obteve um valor de exatidão geral de 85,9 % e índice de Nagelkerke de 0,757, valores que apontam um bom desempenho do modelo. O índice de acerto de casos positivos de 76,5 porem mostra a limitação do modelo gerado, na predição da presença dos vetores.

Tabela 2

Matriz de erro da RL ("backward conditional") para estimativa de aptidão do *habitat* das duas espécies de *Haemagogus* (Valor de corte: 2). Índice de Nagelkerke: 0,757.

Observado	Modelado		Porcentual acerto
	0	1	
0	42	5	89,4
1	4	13	76,5
Exatidão geral			85,9

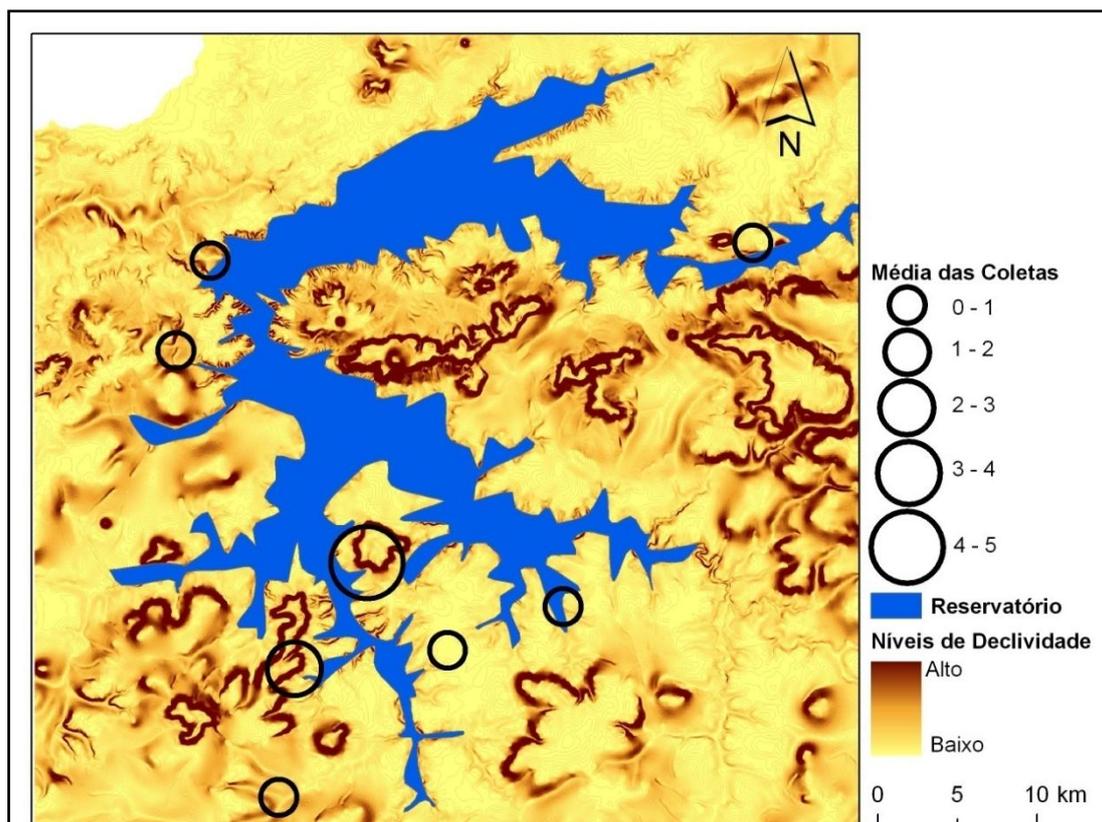


Figura 3. Declividade derivada do Modelo Numérico de Terreno.

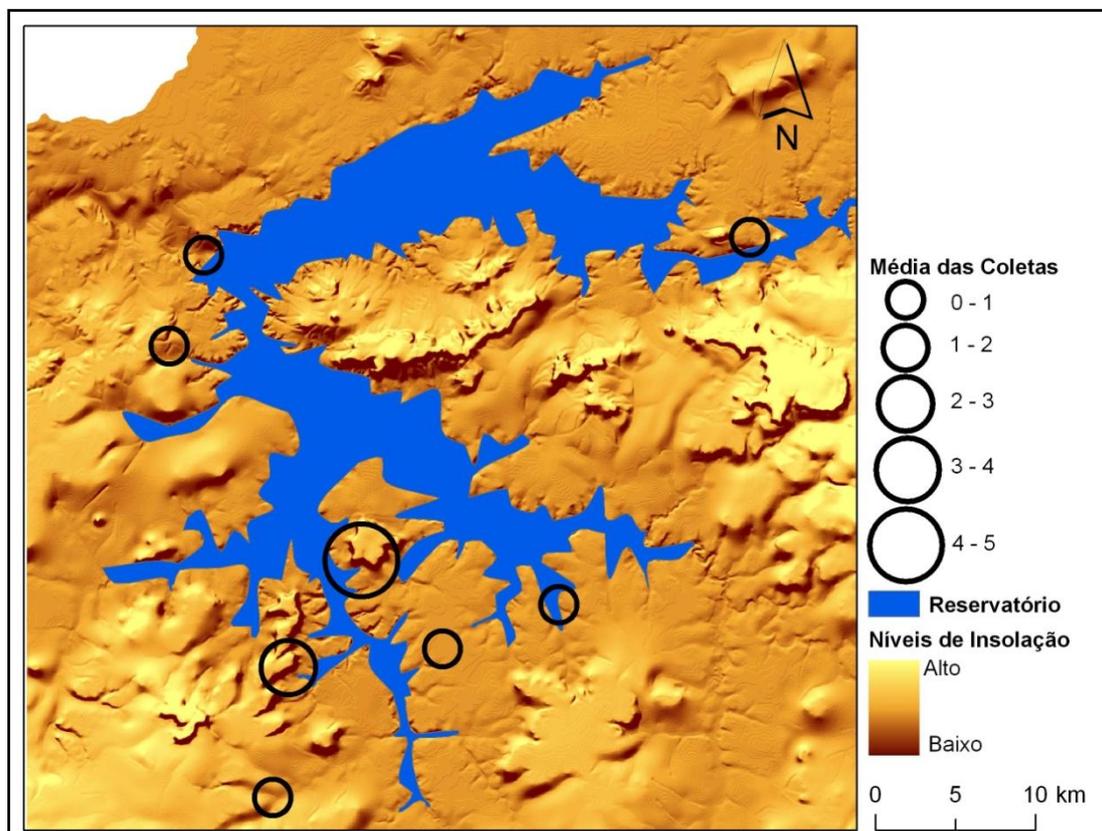


Figura 4. Incidência solar derivada do Modelo Numérico de Terreno.

Os Planos de Informação da “Incidência Solar” (calculado para cada data de coleta) e o “TC₃” (determinado somente para o período da seca) variam no período de avaliação. O modelo exposto na figura 5 apresenta a distribuição espacial da probabilidade da ocorrência dos vetores para um valor de corte de dois indivíduos para uma situação média anual de incidência solar e um índice de umidade (“TC₃”) típico para o período da seca. Ressalta-se que no período chuvoso tende a ocorrer um efeito de aumento da probabilidade do contato, considerando que principalmente o termo da “TC₃” tende a subir com aumento da umidade do solo e cobertura vegetal.

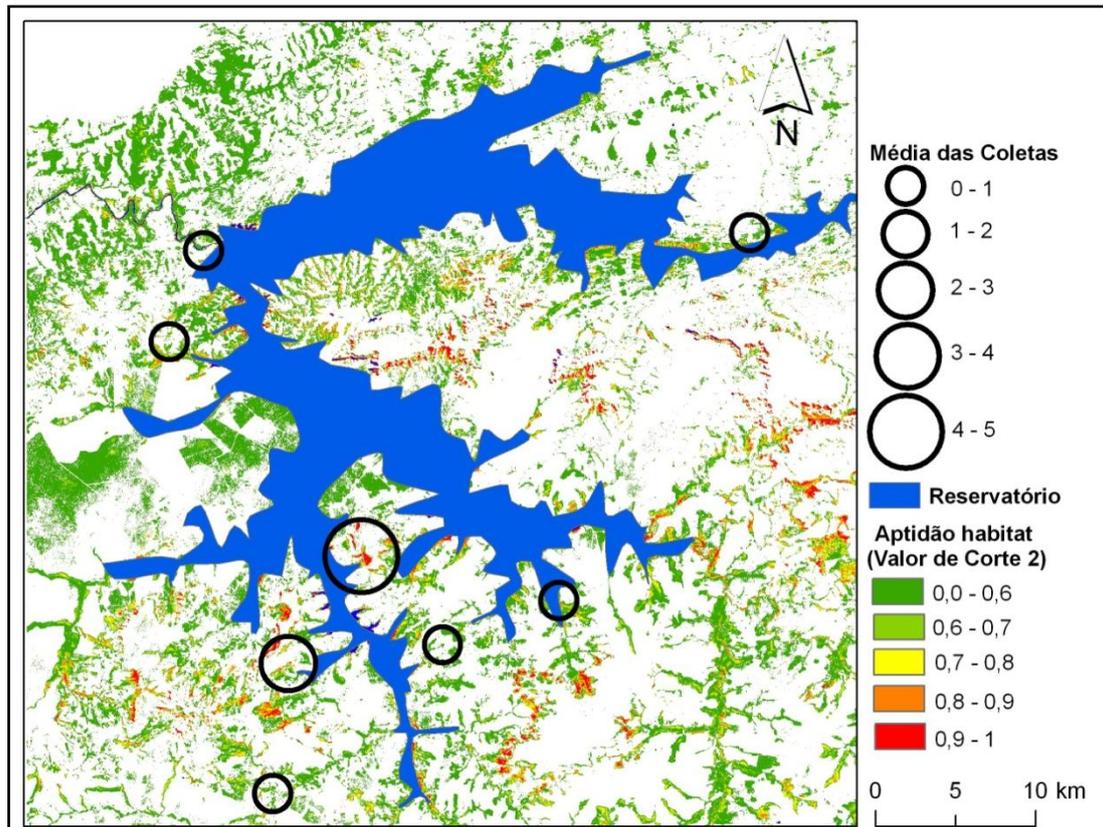


Figura 5. Aptidão de habitat das duas espécies de *Haemagogus* no período da chuva.

De acordo com a figura 5, As áreas mais propícias para a ocorrência de *habitats* para as duas espécies do gênero *Haemagogus* são localizados em áreas sombreadas (rampas com exposição para sul e sudeste) com declividades acima de 10%, e de umidades elevadas, áreas principalmente ocupadas por mata ciliares e matas de encosta. Em decorrência da amostragem entomológica o modelo foi somente calculado, como salientado, para áreas que apresentam formações vegetais de Cerradão, Matas ciliares ou Matas de encosta.

DISCUSSÃO

A utilização conjunta de técnicas de geoprocessamento e Regressão Logística mostrou potencial para o diagnóstico das preferências de *habitat* e o mapeamento da probabilidade da presença de *H. janthinomys* e *H. leucocelaenus*, principais transmissores da febre amarela silvestre no Brasil. Não foram obtidos resultados significativos para modelos preditivos por espécie, fazendo necessária a junção das presenças de ambas as espécies, que compartilham, reconhecidamente, *habitats* similares (Lopes 1997, Alencar *et al* 2004). Foram incluídos no modelo conjunto como variáveis espaciais de relação significativa com a presença-ausência dos vetores, os Planos de Informação “Incidência solar”, “Declividade” e “TC₃”. A validação interna a partir da matriz de confusão e o índice de Nagelkerke indicam um

desempenho do modelo satisfatório, com limitações na previsão de casos positivos, resultado supostamente ligado a baixa amostragem espacial das coletas entomológicas.

O modelo de RL multi-variado final, caracterizado pela não-inclusão de alguns preditores comprovadamente relacionados com a presença dos vetores é influenciado pela amostragem entomológica, a metodologia da geração das camadas e questões de correlação (colinearidade) entre as variáveis explanatórias.

A abordagem epidemiológica nas coletas de campo (pré-seleção de pontos de coleta de acordo com a probabilidade de presença) impõe restrições para o mapeamento efetuado. Devido ao alto investimento de recursos humanos e financeiros necessários em levantamentos entomológicos, as capturas foram limitadas a locais que representaram, supostamente, potenciais *habitats* naturais para as espécies (floresta, cerrado). Não foram efetuadas coletas em campos abertos, pastagens e lavouras, limitando, portanto a aplicabilidade dos modelos para mapeamento das formações vegetais amostradas. Desta forma, sendo a amplitude dos fatores eco-fisiológicos determinada pela cobertura vegetal não representada na íntegra, o poder preditivo desta variável é reduzida. O dossel denso das três formações vegetais amostradas favorece de forma geral a ocorrência dos vetores (elevados níveis de sombreamento, umidade relativa), sendo os vetores raramente observados em áreas abertas (áreas desmatadas, uso agropecuário) distantes dos *habitats* de reprodução (Ribeiro, não publicado). Supõe-se, portanto que a cobertura vegetal possuirá poder preditivo maior em uma amostragem entomológica com abordagem ecológica que incluísse todos os tipos de vegetação (e usos da terra). Futuros estudos entomológicos deveriam incluir coletas em todas as unidades da paisagem, permitindo o desenvolvimento de mapeamentos integrais.

Apesar das citadas limitações, a camada possui relação significativa com a presença das espécies em um modelo de RL simples (Tabela 3), porém com baixa capacidade de prever casos positivos. Isso também é o caso para o preditor “Exposição das rampas” e a variável não-espacializada do período sazonal cuja interferência foi exposta na análise exploratória das densidades dos vetores, e que possui poder preditivo significativo em um modelo de RL uni-variado.

Tabela 3

Variáveis significativas ($p < 0,05$) em modelos de RL uni-variados (“backward conditional”) para estimativa de aptidão do habitat das duas espécies de *Haemagogus* (Valor de corte: 2).

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Período sazonal ¹	2,163	0,817	7,008	1	0,008	8,700
Vegetação ¹	2,216	0,724	9,364	1	0,021	9,167
Exposição ¹	-0,257	0,074	12,178	1	0,000	0,774
TC_3 ²	-0,265	,065	16,664	1	0,000	0,767
Insolação ²	-0,326	,081	16,266	1	0,000	0,722
Declividade ²	-0,270	,170	2,539	1	0,011	0,763

¹ variável descartada no modelo de RL multi-variado.

² variável incluída no modelo de RL multi-variado.

A inclusão destas variáveis em modelos uni-variados e a sua exclusão no modelo multi-variado ocorre em função da correlação (colinearidade) entre as variáveis explanatórias. Fatores cuja variação é parcialmente explicada por outros fatores preditivos, no caso pelos Planos de Informação da “Declividade” ou “TC_3”, são excluídos em modelos de RL múltiplos em casos de correlação (colinearidade) elevada.

O Plano de Informação da “Vegetação” está positivamente correlacionado com o da “TC_3” (Tab. 4) e a “Declividade” sendo, portanto, a ocorrência das formações vegetais, ligada às características do relevo e a umidade durante o período de seca (TC_3). Caracterizadas por mais altos níveis de confiança em modelo uni-variados do que o PI da “Vegetação”, a “Declividade” e “TC_3” explicam desta forma uma parte da variância contida no PI das formações vegetais, resultando a sua exclusão no modelo RL multi-variado.

Tabela 4

Coeficientes de correlação de Spearman entre os valores dos pontos amostrais nas cinco camadas espaciais avaliadas, testadas para sua estimativa de aptidão do *habitat* das duas espécies de *Haemagogus*, não incluídos no modelo final

	Vegetação	3. TC	Declividade ¹	Insolação ¹
Vegetação	1,000	0,721**	0,767**	-0,245
3. TC	0,721**	1,000	0,549**	-0,191
Declividade	0,767**	0,549**	1,000	-0,120
Insolação	-0,245	-0,191	-0,120	1,000

(¹fator incluído no modelo de RL múltiplo, **correlação altamente significativa).

A "TC_3" possui em modelo uni-variado (Tab. 3) limitações em predizer casos positivos, mas esta incluída no modelo final, porém com nível de significância reduzido ($p=0,017$). Isso está supostamente ligado a disponibilidade de somente uma imagem ETM para o período do monitoramento entomológico, não sendo possível a representação da variabilidade inter-anual da umidade da superfície em função de características climáticas (precipitação), sua interferência na fenologia das formações vegetais e efeitos microclimáticos: A umidade relativa do ar nas formações vegetais, fator relevante para a aptidão dos *habitats* das espécies não sofre somente interferência em função das massas de ar predominantes, mas também pelas características do dossel, sendo a mesma reduzida com as perdas da folhagem de Cerradões e Florestas semi-decíduas no período seco. Futuros estudos devem, portanto, incluir a utilização de imagens provenientes de sistemas sensores de alta resolução temporal (ex. MODIS), para aquisição de informações espectrais de dias próximos às datas das coletas entomológicas.

Apesar de incluído no modelo final, o poder preditivo da "Incidência solar" é limitada, possuindo um nível de significância perto do limite de exclusão em um intervalo de confiança de 95% ($p=0,039$). Entende-se que este limitado poder preditivo se deve a uma distribuição não unimodal da probabilidade da presença dos vetores ao longo do gradiente desta variável: as florestas de encosta, áreas sombreadas de menor insolação tendem a constituir *habitats* favoráveis, locais com tendência de segurar a umidade do ar. Outras áreas de alta aptidão de *habitats*, as matas ciliares, estão localizadas em áreas de relevo mais plano, com insolação média maior do que rampas de encosta florestadas com exposição para o sul ou leste.

CONCLUSÕES

O presente estudo visou uma análise dos padrões espaciais dos dois principais vetores da febre amarela silvestre no centro oeste brasileiro, utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto, SIG é modelação espacial por Regressão Logística. O modelo multi-variado identificou a incidência solar, a declividade e a terceira componente da transformação *Tasseled Cap* ("TC_3") como variáveis explanatórias significativas para a presença dos vetores. As áreas mais propícias para ocorrência dos vetores são áreas de baixa insolação, com índices de umidade elevados e declividades mais expressivas. A exatidão geral do modelo indica uma aplicabilidade boa dos conjuntos de dados espaciais avaliados para predições da aptidão do *habitat*. Limitações logísticas nas campanhas entomológicas com coletas restritas a áreas com predisposição para a ocorrência dos vetores restringiram o mapeamento a áreas de vegetação densa, (Cerradão, Mata de encosta, Floresta ripária), fazendo-se necessário, em estudos futuros, uma amostragem espacial mais extensa, possibilitando, desta forma, o desenvolvimento de modelos espaciais para regiões inteiras.

AGRADECIMENTOS

O presente estudo foi elaborado com recursos concedidos por FURNAS SA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, J. et al. Feeding Patterns of *Haemagogus capricornii* and *Haemagogus leucoceleaenus* (Diptera: Culicidae) in Two Brazilian States (Rio de Janeiro and Goiás). **Journal of Medical Entomology**, v. 45, n. 5, p. 873-876, Set. 2008.

- ALENCAR, J. et al. Feeding patterns of *Haemagogus janthinomys* (Diptera: Culicidae) in different regions of Brazil. **Journal of Medical Entomology**, v. 42, n. 6, p. 981-985, Nov. 2005.
- ALENCAR, J. et al. Microscopia eletrônica de varredura de ovos de *Haemagogus leucocelaenus* (Diptera: Culicidae). **Revista Saúde Pública**, v. 37, n. 5, p. 658-61, Out. 2003.
- ALLOUCHE, O. et al. Incorporating distance constraints into species distribution models. **Journal of Applied Ecology**, v. 45, n. 2, p. 599-609, Jan. 2008.
- APARICIO, C.; BITENCOURT, M. D. Modelagem espacial de zonas de risco da leishmaniose tegumentar americana. **Revista Saúde Pública**, v. 38, n.4, p. 511-516, Aug. 2004.
- BARCELOS, C.; RAMALHO, W. Situação atual do Geoprocessamento e da Análise de Dados Espaciais em Saúde no Brasil. **Revista Informática Pública**, v. 4, n. 2, p. 221-230, Dez. 2002.
- BARRETO, F. R. et al. Spread pattern of the first dengue epidemics in the City of Salvador, Brazil. **BMC Public Health**, v. 8, n. 1, p. 1-20, Fev. 2008.
- BECK, L. R.; LOBITZ, B. M.; WOOD, B. L. Remote sensing and human health: new sensors and new opportunities. **Emerging Infectious Diseases**, v. 6, n. 3, p. 217-226, Maio/Jun. 2000.
- CORREIA, V. R. M. et al. Remote sensing as a tool to survey endemic diseases in Brazil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 20, n. 4, p. 891-904, Jul./Aug. 2004.
- CRIST, E.P.; KAUTH R.J. The tasseled Cap De-Mystified. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 52, n. 1, p. 81-86, Jan. 1986.
- DRUCK, S. et al. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília, Embrapa, 2004.
- Forattini, O. P. et al. Estudos ecológicos sobre mosquitos Culicidae no sistema das Serra do Mar, Brasil: 1- Observacoes no ambiente extradomiciliar. **Revista de Saúde Publica**, v. 12, n. 3, p. 297-325, Set. 1978.
- FRANDSEN, T. F.; WOUTERS, P. Turning working papers into journal articles: An exercise in bibliometrics. **Journal of the American Society for Information Science and Technology**, v. 60, n. 4, p. 728-739, Abril 2009.
- GEBRE MICHAEL, T. et al. A. Mapping the potential distribution of *Phlebotomus martini* and *P. orientalis* (Diptera: Phlebotomidae), vectors of kala-azar in East Africa by use of geographic information systems. **Journal of Acta Tropica**, v. 90, n. 1, p. 73-86, março 2004.
- GOMES A.C. et al.. Encontro de *Haemagogus* (*Conopostegus*) *leucocelaenus* (Díptera: Culicidae), no Município de Porto Alegre, Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Sociedade de Medicina Tropical**, v. 40, n. 4, p. 487-488, aug. 2007.
- GUISAN, A.; ZIMMERMANN, N. E. Predictive habitat distribution models in ecology. **Journal of Ecological Modelling**, v. 135, n. 2, p. 147-186, Dez. 2000.
- HOSMER D.W.; LEMESHOW S. **Applied logistic regression**. New York: Wiley Interscience, 1989.
- LOPES, J. Ecologia de mosquitos (Diptera: Culicidae) em criadouros naturais e artificiais de área rural do Norte do Estado do Paraná, Brasil. V. Coleta de larvas em recipientes artificiais instalados em mata ciliar. **Revista de Saúde Pública**, v. 31, n. 4, p. 370-377, Aug. 1997.
- MORAN, P.A.P. Notes on Continuous Stochastic Phenomena. **Journal of Biometrika**, v. 37, n. 1-2, p. 17-23, Jun. 1950.
- MORRISON, A. C. et al. Temporal and Geographic Patterns of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) Production in Iquitos, Peru. **Journal of Medical Entomology**, v. 41, n. 6, p. 1123-1142, nov. 2004.
- NAGELKERKE, N. J. D. A note on the general definition of the coefficient of determination. **Journal of Biometrika**, v. 78, n. 3, p. 691-692, Set. 1991.
- NIETO, P.; MALONE, J. B.; BAVIA, M.E. Ecological Niche Modeling For Visceral Leishmaniasis In The State Of Bahia, Brazil, Using Genetic Algorithm For Rule-Set Prediction and Growing Degree Day-Water Budget Analysis. **Journal of Geospatial Health**, v. 1, n. 1, p. 115-126, Nov. 2006.

PETERSON, T. A.; SHAW, J. *Lutzomyia* vectors for cutaneous leishmaniasis in Southern Brazil: ecological niche models, predicted geographic distributions, and climate change effects. **International Journal for Parasitology**, v. 33, n. 9, p. 919–931, Aug. 2003.

SATTLER, M. A. et al. Habitat characterization and spatial distribution of *Anopheles* sp. mosquito larvae in Dar es Salaam (Tanzania) during an extended dry period. **Malaria Journal**, v. 4, n. 4, p. 1-15, Jan. 2005.

Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral - ZSEE-SEPLAN-MT, 2002. Disponível em: <<http://www.seplan.mt.gov.br/>>, acessado em 12/12/2007.

VASCONCELOS, P. F. C. et al. Epidemic of jungle yellow fever in Brazil, 2000: implications of climatic alterations in disease spread. **Journal of Medical Virology**, v. 65, n. 3, p. 598-604, Nov. 2001.

ZEILHOFER, P. et al. A web-based, component-oriented application for spatial modelling of habitat suitability of mosquito vectors. **International Journal of Digital Earth**, v. 2, n.4, p. 327-342, Jul. 2009.