

## Modelagem de risco de endemia de chagas para a Amazônia

Flávio Augusto Altieri dos Santos<sup>1</sup>  
Nathália Caroline Cordovil Ribeiro<sup>2</sup>

Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia / Centro Regional de  
Belém (CENSIPAM/CR-BE)

Av. Júlio César 7060 – 66820-000 – Belém – PA - Brasil

[flavio.santos, nathalia.ribeiro}@sipam.gov.br](mailto:{flavio.santos, nathalia.ribeiro}@sipam.gov.br)

**Abstract.** It is estimated that in Brazil there are about 3 million people infected by the protozoan *Trypanosoma cruzi*. This article presents a methodology for the identification and monitoring of risk endemic areas for human Chagas disease to Amazon. The use of geospatial tools enabled the modeling of variables that provide the narrowing of the man - vector, usually determined by degradation of the natural environment, with the displacement of triatomines from its primitive wild ecotypes and their adaptation to human habitation. Due to a possible interaction occurs between man and vector were defined variables that allow to model the spatial population distribution and the areas that gather minimum requirements to serve as habitat for the triatomine and their reservoirs. From the preliminary analysis of the mapping of the potential surfaces of population and wild ecotypes was possible to generate the map of the risk of endemic Human Chagas Disease.

**Palavras-chave:** geotechnology, geoprocesseng, remote sensing, population distribution, Chagas disease, geotecnologia, geoprocessamento, sensoriamento remoto, distribuição populacional, doença de Chagas.

### 1. Introdução

Estima-se que no Brasil existam cerca de 3 milhões de pessoas infectadas pelo protozoário *Trypanosoma cruzi* - *T. cruzi* causador da Doença de Chagas (DIAS, J. C. P. *et al*, 2002). O *T. cruzi* em geral é transmitido pelas excretas de triatomíneos infectados (forma vetorial), por meio de transfusão de sangue ou hemocomponentes, ou da mãe infectada para o feto. Sua transmissão por via oral era considerada infreqüente até bem pouco tempo, tendo sido registrada em episódios coletivos, em especial na região Amazônica, e pressupõe fatores causais comuns.

A circulação do *T. cruzi* ocorre em dois ciclos: o ciclo silvestre e o ciclo doméstico. No ciclo silvestre o protozoário mantém-se por meio de uma extensa gama de reservatórios em diversos ecótopos naturais (desertos, palmeiras, matas, caatinga, cerrado, pedregais, pampa, chaco, pantanal, etc), em diversos países do continente americano. O parasito circula em diversos mamíferos (reservatórios) e triatomíneos (vetores) harmonicamente, por meio dos hábitos alimentares destes. Os principais reservatórios nesse ciclo são os tatus, gambás, alguns roedores (especialmente ratos) e morcegos. Enquanto o ciclo doméstico decorre da inserção do homem no ambiente silvestre, em especial em áreas de zona rural. Favorecendo a domiciliação dos triatomíneos com a construção de habitações precárias. Neste ciclo, os reservatórios são os homens e alguns pequenos mamíferos domésticos, como gatos, cães e ratos.

A quase a totalidade da transmissão da doença de Chagas ocorre por meio de vetores e se faz a partir do estreitamento da relação homem-vetor, normalmente determinada por uma degradação do ambiente natural, com o deslocamento de triatomíneos de seus ecótopos silvestres primitivos – causado pela eliminação ou redução de fontes alimentares disponíveis e sua adaptação à habitação humana. Esta antropização progressiva do meio explica a trajetória da enzootia a antropozoonose. Isto implica em dizer que em espaços umbrosos é improvável a domiciliação de vetores. Assim a transmissão da doença é própria de ambientes abertos, primários ou resultantes da ação do homem.

Com a progressiva ocupação da região Amazônica e as alterações ambientais causadas pelo homem, casos autóctones da doença passaram a ser conhecidos em número crescente nos últimos anos. Suspeita-se, no entanto que nem todos os que ocorrem sejam diagnosticados,

pois a vigilância ainda é exercida de forma não sistemática. Apesar disto, dados acumulados no período de 1996 a 2006 mostram que foram notificados 416 casos autóctones dos quais 411 eram agudos. Foram registrados 59 micro epidemias, somando-se a este total mais 17 casos confirmados ocorridos em Santarém em junho/julho de 2004. Os padrões de transmissão na Amazônia são distintos daqueles que se reconhece como próprio da endemia, com a instalação e permanência do vetor nos domicílios. Os casos conhecidos foram por meio de transmissão oral, vetorial domiciliar sem colonização e extradomiciliar.

Toda a informação disponível impulsionou a uma revisão da classificação de “área indene” para a Amazônica Brasileira e a estruturar um sistema de vigilância que permitisse sistematizar as informações e assim poder intervir oportunamente no controle e interrupção da transmissão.

Assim, existe uma demanda pelo desenvolvimento de metodologias de monitoramento das condições ambientais, climáticas, ocupação de território, desmatamento e outros condicionantes sócio-ambientais que podem interferir como fator de risco para a ocorrência da doença de Chagas. Com isso, o objetivo de desenvolver uma metodologia de mapeamento do risco de uma endemia de Doença de Chagas Humana - DCH na Amazônia, através da aplicação de ferramentas de geotecnologia.

## 2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo abrange a localidade de Mojui, município de Santarém no oeste Paraense, escolhida em virtude de um surto da doença em 2004. Situada entre as coordenadas geográficas 02° 24’ S a 02° 43’ S e Longitude de 54° 46’ W a 54° 22’ W , Figura 1.



Figura 1. Localização da área de estudo.

Para o estabelecimento de uma metodologia capaz de avaliar áreas de risco de endemia de chagas foram utilizadas técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto para caracterizar o ambiente físico e identificar variáveis que influenciam a distribuição das espécies de triatomíneos e dos seus reservatórios, bem como, a distribuição populacional.

Foram usados dados de sensores remotos do satélite Satélite Landsat TM5 de 30 m de resolução espacial bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. A correção geométrica através do uso do modelo polinomial 1º grau e o interpolador vizinho mais próximo, tendo como base as imagens ortorretificadas divulgadas pela NASA, disponíveis em <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid>.

Na etapa de classificação, a imagem foi tratada por um algoritmo de classificação não-supervisionado de agrupamento de dados (ISODATA), seguida pela aplicação de filtros para reduzir os ruídos na imagem proveniente da classificação e uma edição manual das classes que necessitavam de ajustes. Para facilitar o mapeamento e seguindo padrões já claramente definidos através de estudos realizados, quatro classes temáticas foram estabelecidas: cobertura florestal, ausência de cobertura florestal, água e outros (nuvem e sombra).

A classe “cobertura florestal” agrega os tipos de vegetação primária e secundária, incluindo formações florestais em estágio maduro ou avançado de regeneração (capoeira). A

classe “ausência de cobertura florestal” corresponde a qualquer tipo de padrão de uso da terra, seja ela pastagem, solo exposto, agricultura de ciclo curto, edificações e tipos de vegetação em estágio inicial de regeneração, Figura 2.

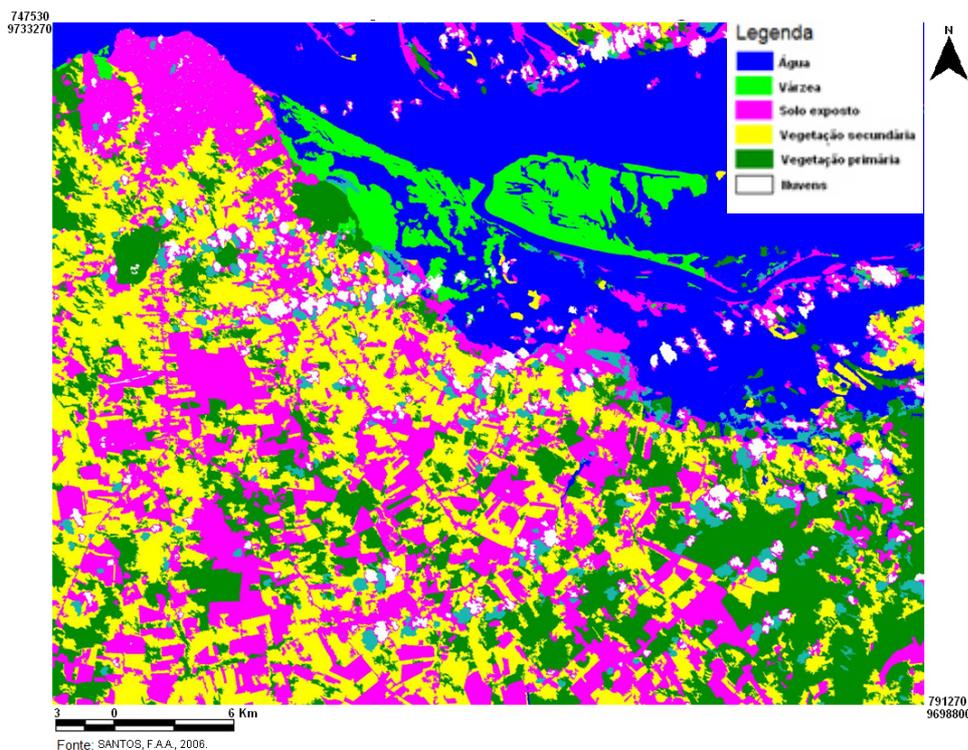


Figura 2. Classificação não supervisionada da imagem Landsat TM5.

A técnica utilizada para identificação de estradas e hidrografias foi a de interpretação visual, que foram digitalizados em um ambiente de geoprocessamento, tendo como suporte uma ferramenta de SIG. Por meio de um Sistema de Informação Geográfica – SIG foi realizada a análise espacial como forma de obter explicações para as ocorrências da doença de chagas na área de estudo, admitindo-se que as variáveis de interesse estão em algum lugar no espaço e que eventualmente estão correlacionadas.

As variáveis de maior relevância à análise desta problemática foram selecionadas através do levantamento de dados sobre os últimos casos da doença de chagas registrados na Amazônia no período de 1996 a 2006. Foram consideradas também, as informações contidas no relatório entomológico elaborado por técnicos da Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde e da Secretária de Saúde do Estado do Pará - SESP (PARÁ, 2006) coletados a partir de levantamentos de campo na área de estudo. Foram definidas cinco variáveis consideradas como preditoras para a ocorrência tanto de triatomíneos como de ocupação humana na região Amazônica, e definidas em dois grupos: **Grupo I** – variáveis relacionadas com o meio físico que exercem grande influência na identificação e delimitação do espaço natural, onde a ocorrência das mesmas potencializa a identificação dos ecótopos naturais e de reservatórios dos *triatomíneos*, são elas: i) *Cobertura Vegetal* – visa identificar as áreas de vegetações associadas com a ocorrência de palmeiras que serve de abrigo natural preferido para os triatomíneos constituírem suas colônias; ii) *Hidrografia* – Normalmente a maioria das espécies de palmeiras está localizada próximo de nascentes, cursos d’água, igarapés, rios e áreas alagadas. Desta maneira, a identificação das áreas de cobertura vegetal próximo a hidrografia, potencializa o mapeamento de locais onde este tipo de espécie vegetal possa estar presente.

**Grupo II** – Também estão associadas ao meio físico, porém são relacionadas com a potencialidade de ocorrência de população humana, são elas: i) *Núcleo urbano e localidade* – O mapeamento dessas áreas permite a identificação dos grandes aglomerados populacionais. ii) *Estrada e hidrografia* – estas variáveis estão diretamente relacionadas com a distribuição da população na região, assim como, são rotas por onde possa circular o escoamento de produtos que possam estar contaminados pelo *Tripanossoma cruzi* de uma localidade a outra.

O processo de modelagem foi definido a partir do conceito de grid celular, que representa a superfície na forma de matrizes ou malhas de pontos espaçados regularmente. Para este estudo foi definido células 200 m x 200 m de resolução espacial, onde cada célula recebeu como atributo os dados pertinentes a cada uma das variáveis definidas para o estudo.

A espacialização à densidade populacional foi feita considerando duas condições: i) não existência de população às áreas associadas a floresta e massa d'água; ii) as variáveis do grupo II potencializam a presença de população e sua existência sugere a ocorrência e distribuição da densidade populacional. Considerando estes fatos foram aplicados dois métodos para o mapeamento do potencial populacional: *Método Dasimétrico* – visa restringir as áreas não habitadas a partir da identificação das células onde a possibilidade da existência de população é mínima, ou seja, com presença de vegetação e massa d'água (AMARAL, *et al*, 2005). A base utilizada nesse método foi o produto gerado através da classificação não supervisionada. *Método Multivariado* – Para obter uma superfície de densidade populacional é necessário inferir uma superfície adjacente relacionada à distribuição da população (Goodchild et al, 1993). O método consiste numa tentativa de criar um modelo de distribuição da população, adotando-se critérios extraídos de literaturas.

Vários fatores condicionam a presença de população na Amazônia, entre estes estão às vias de acesso (estradas e hidrografia) e a proximidade dos centros urbanos e localidades. Estudos já realizados comprovam que a concentração populacional na região está diretamente relacionada com a proximidade ou afastamento em relação às vias de acesso (terrestre e fluvial), aos núcleos urbanos e localidades. Desta maneira, foi gerada uma superfície de análise espacial para inferir o distanciamento de cada célula da grade estabelecida para essas variáveis. O cálculo da distância média de cada célula para as variáveis indicadoras foi realizado com base nas ferramentas de geoprocessamento disponível em aplicativos SIG.

Tabela 1 - Tabela de atributo da malha de 200 m x 200 m contendo os valores de cada célula em relação as variáveis.

Shape	Area	Perimeter	Grid_I	Perc_ÁA	Perc_águ	Dist_est	Dist_hid	Dist_urb	Dist_loc
Polygon	40000.000000	800.000000	435	0.00	100.00	2.3000000000	1.9000000000	2.3000000000	9.3000000000
Polygon	40000.000000	800.000000	436	0.00	100.00	2.1000000000	1.9000000000	2.1000000000	9.2000000000
Polygon	40000.000000	800.000000	437	0.00	100.00	2.0000000000	1.8000000000	2.0000000000	9.1000000000
Polygon	40000.000000	800.000000	438	0.00	100.00	1.9000000000	1.7000000000	1.9000000000	9.0000000000
Polygon	40000.000000	800.000000	439	0.00	100.00	1.8000000000	1.7000000000	1.7000000000	8.9000000000

As condições estabelecidas para o mapeamento de áreas de ambiente natural propícia à existência de colônia de triatomíneos foram: i) necessariamente deveriam ter vegetação e, ii) área de vegetação próxima de hidrografia teria mais importância, pois, potencializa a ocorrência de palmeiras, tanto aquelas de preferência para constituírem como habitat dos triatomíneos e seus reservatórios, como também, para aquelas que produzem frutos que são fonte alimentar da população local, como por exemplo, o açazeiro, abacabeira e buriti.

Da mesma forma como foi realizada a inferência do distanciamento de cada célula da malha estabelecida em relação à vegetação existente, e também, quantificado o quanto de vegetação cada célula possuía. Quanto mais vegetação cada célula dispõe e mais próximo a mesma se encontra da hidrografia, maior será a possibilidade da existência dos ecótopos naturais para os triatomíneos e seus reservatórios.

Na sequência foram definidas as classes de agrupamentos que deveriam ter um mesmo peso em função da sua importância para o mapeamento da população de dos ecótopos naturais. Os pesos atribuídos para cada uma das variáveis foi feito de forma empírica conforme estabelecido na Tabela 2.

Tabela 2 - Relação das faixas e pesos das variáveis.

Variável	Faixa	Peso	Variável	Faixa	Peso
<b>Estrada</b>	>3.000m	0,0	<b>Localidade</b>	> 3.000m	0,0
	>1.500m e <= 3.000m	0,2		> 1.500m <= 3.000m	0,2
	>1.000m e <=1.500m	0,6		> 1.000m <= 1.500m	0,6
	<= 1.000m	1		<= 1.000m	1
<b>Hidrografia</b>	>1.000m	0,0	<b>Floresta (% de floresta na célula)</b>	<= 5%	0,0
	> 600m e <= 1.000m	0,2		> 5% e <= 15%	0,2
	> 400m e <= 600m	0,6		> 15% e <= 60%	0,6
	<= 400m	1		> 60%	1
<b>Área Urbana</b>	> 5.000m	0,0	<b>Floresta</b>	> 2.000m	0
	> 3.000m e <= 5.000m	0,2		> 1.500m e <= 2.000m	0,2
	> 2.000m e <= 3.000m	0,6		> 1.000m e <= 1.500m	0,6
	<= 2.000m	1		<= 1.000m	1

Por não existir um modelo conceitual que proporcione obter uma relação entre as variáveis visando determinar o valor do potencial da distribuição de população existente em cada célula, optou-se pelo cálculo da média simples correspondente ao peso das mesmas, Equação 1.

$$peso_{pop} = \frac{peso_{est} + peso_{hid} + peso_{urb} + peso_{loc}}{4} \quad (1)$$

Onde:

$peso_{pop}$  – Potencial de população de cada célula;  $peso_{est}$  – Peso da célula à distância da variável estrada;  $peso_{hid}$  – Peso da célula à distância da variável hidrografia;  $peso_{urb}$  – Peso da célula à distância da variável área urbana;  $peso_{loc}$  – Peso da célula à distância da variável localidade

Para as células onde os valores de floresta ou massa d'água for superiores a 95 %, ficou padronizado que a possibilidade de ocorrência de população é praticamente nula, atribuindo-se a cada célula o valor zero.

A identificação das áreas com condições naturais propícias para habitat dos triatomíneos e seus reservatórios, foi feita a partir do cálculo da média simples para os valores das variáveis de hidrografia e percentagem de floresta correspondente a cada célula conforme a Equação 2.

$$pot_{eco} = \frac{peso_{hid} + peso_{veg}}{2} \quad (2)$$

As células onde o valor da percentagem de floresta foi igual ou menor que 5%, ou de massa d'água igual ou maior que 95 %, ficou também estabelecido que a possibilidade de ocorrência de áreas com as condições propícias para habitat natural de triatomíneos é praticamente nula, atribuindo-se zero ao valor do peso da célula.

A área de risco à ocorrência de um surto foi identificada a partir do cálculo da média simples para os valores dos pesos atribuído as variáveis estradas, hidrografias, áreas urbanas, localidades, percentagem de floresta e distância que cada célula se encontra de uma área de floresta. A Equação 3 foi definida com objetivo de potencializa a relação entre população versus ecótopo natural versus vetor.

$$risco_{dhc} = \frac{peso_{est} + peso_{hid} + peso_{urb} + peso_{loc} + peso_{veg} + peso_{dfl}}{4} \quad (3)$$

Onde:

$peso_{pop}$  – Potencial de população de cada célula;  $peso_{est}$  – Peso da célula à distância da variável estrada;  $peso_{hid}$  – Peso da célula à distância da variável hidrografia;  $peso_{urb}$  – Peso da célula à distância da variável área urbana;  $peso_{loc}$  – Peso da célula à distância da variável localidade;  $peso_{veg}$  – Peso da célula em relação a percentagem de vegetação;  $peso_{dfl}$  – Peso da célula à distância da vegetação.

### 3. Resultado e discussão

A modelagem desenvolvida para o mapeamento da superfície do potencial populacional apresentado na Figura 3 se mostrou bastante coerente com a realidade da área de estudo. Podemos observar que a área urbana de Santarém e seu entorno, assim como, as localidades com significativa concentração humana ficaram relacionadas na classe de maior possibilidade de existência populacional, de 70 a 100%. Já as localidades com menor número de habitantes e áreas lindeiras as hidrografias e estradas, ficaram agrupadas na classe de 50 a 70%. As demais classes ficaram as áreas distantes das vias de acesso e dos núcleos populacionais, portanto, com menor probabilidade de existir pessoas morando.

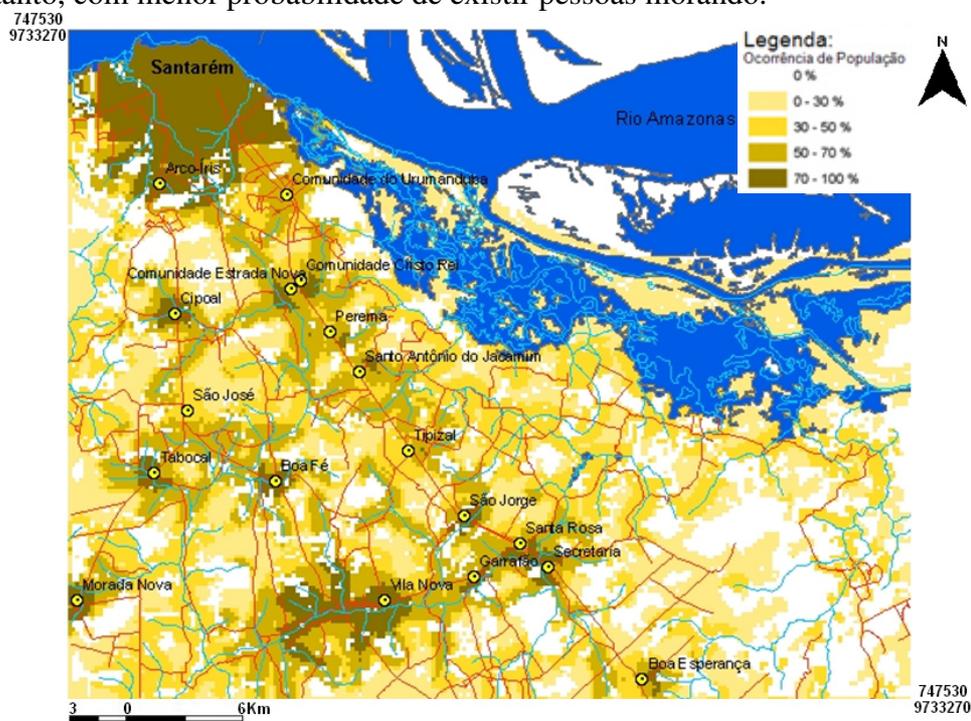


Figura 3 - Potencialidade de ocorrência populacional.

O mapa de potencialidade de ecótipos naturais mostrado na Figura 4 conseguiu agrupar na classe de 60-100% justamente as células com maior percentuais de vegetação e as que estão próximas das hidrografias, locais esses que apresentam maior condição para a ocorrência das espécies de palmeiras. As células agrupadas na classe de 40-60%, apesar de estarem mais distantes das hidrografias, mas dispõe de vegetação o que não anula a possibilidade de ocorrência de ecótipos naturais. As demais classes, de 0-20% e 20-40%, mesmo contendo vegetação estão mais distantes das hidrografias, portanto, apresentam uma menor potencialidade para a ocorrência das espécies preferidas tanto para os hospedeiros quanto aos vetores da DCH.

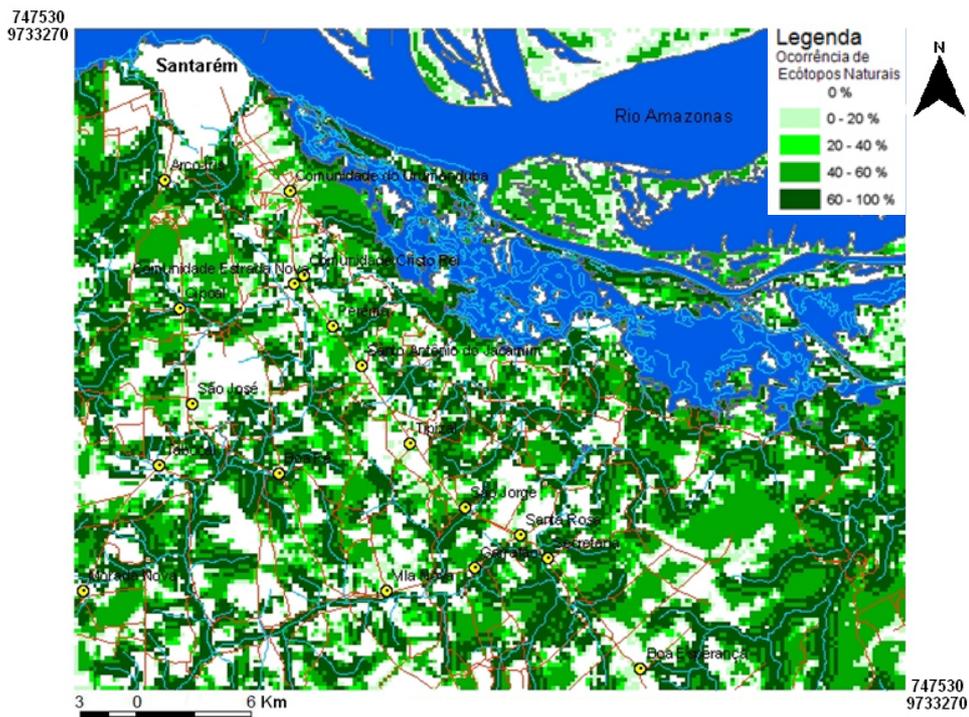


Figura 4 - Mapa da potencialidade de ocorrência de ecótipos naturais de triatomíneos.

O mapa de risco de DCH apresentado na Figura 5, obtido após a álgebra dos mapas de potencial populacional e de ecótipos naturais, registra a classe de 60-100% como a mais crítica, justamente onde estão as áreas de proximidade da concentração de população com as de ecótipos naturais, ou seja, aquelas onde o risco da doença de chagas aumenta com a interferência e circulação do homem ao ambiente natural tanto dos triatomíneos quanto de seus reservatórios.

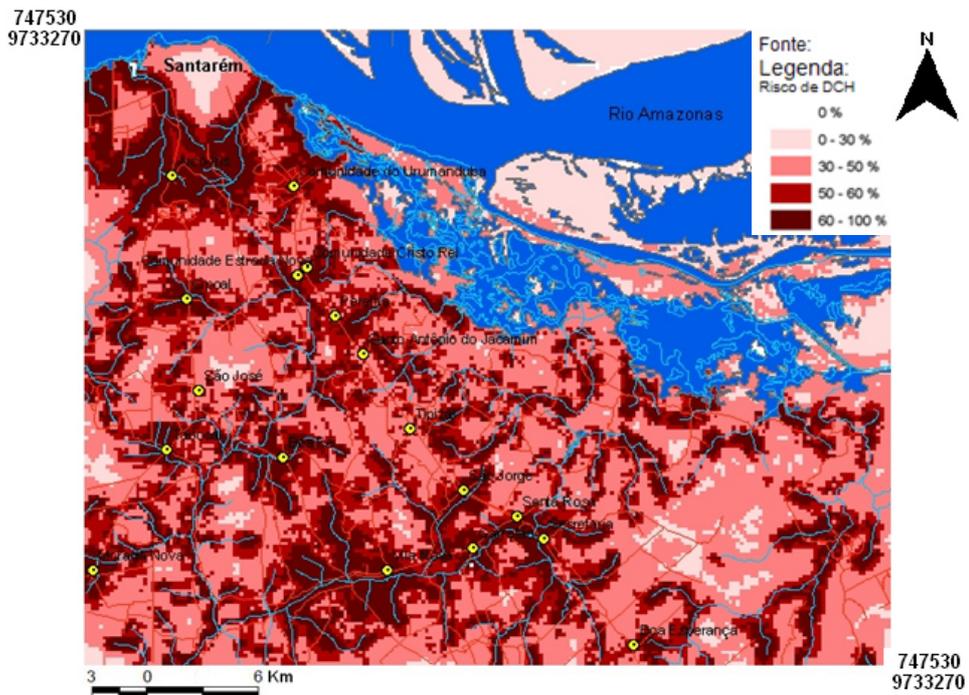


Figura 5. Mapa de risco de ocorrência da doença de chagas.

#### 4. Conclusão

A metodologia adotada possibilitou identificar e mapear a provável distribuição populacional para a área estudada, tornando-se um produto de grande importância para a modelagem pretendida, uma vez que os dados de contagem populacional realizado pelo IBGE, só estão disponíveis para acesso agrupados por setor censitário e na maioria das vezes na Amazônia, esses setores têm dimensões geográficas bastante extensas e de baixa densidade populacional.

As variáveis adotadas possibilitaram caracterizar os aspectos ambientais necessários para identificar e mapear as áreas mais propícia à existência de ecótopos naturais favoráveis tanto para o desenvolvimento do vetor da doença de Chagas, aos triatomíneos, quanto aos reservatórios silvestres.

A metodologia para a geração de mapa de risco de DCH se mostrou bastante promissora como uma ferramenta que possa propicia aos profissionais da área de saúde a revisarem a classificação de “área indene” para a Amazônica Brasileira e a estruturar um sistema de vigilância que permita sistematizar as informações e assim poder intervir oportunamente no controle e interrupção da transmissão.

Como forma de melhorar os resultados obtidos sugere-se a realização de novos estudos que objetivem a inclusão de outras variáveis ao modelo, como por exemplo, as relacionadas com a temperatura ambiente, precipitação e umidade relativa do ar.

#### 5. Citações e Referências

Amaral, S.; Monteiro, A. M. V.; Câmara, G.; Quintanilha, J. A. **Estimativa da distribuição espacial da população na Amazônia brasileira com o uso de Sensoriamento remoto orbital: Contribuições das imagens CCD/CBERS no caso do município de Marabá-PA.** Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 765-773.

Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância Epidemiológica. Coordenação Geral de Doenças Transmitidas por Vetores. **Projeto piloto para desenvolver metodologias de investigação e análise para a Vigilância Ecoentomoepidemiológica da doença de Chagas na região Amazônica por meio da integração com o Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM).** Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 8 p.

Dias, J. C. P.; Prata, A.; Schofield, C. J. Doença de Chagas na Amazônia: esboço da situação atual e perspectivas de prevenção. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical.** v. 35, n. 6, p. 669–678, 2002.

Gaunt, M.; Miles, M. **The Ecotopes and Evolution of Triatomine Bugs (Triatominae) and their Associated Trypanosomes.** Instituto Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, Vol. 95(4): 557-565, Jul./Aug. 2000.

Gonçalves, R. G.; Duarte, M. A.; Ramalho, E. D.; Palma, A. R. T.; Romana, C. A.; Cuba, C. A. **Distribuição espacial de populações de triatomíneos (Hemiptera: Reduviidae) em palmeiras da espécie *Mauritia flexuosa* no Distrito Federal, Brasil.** Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical 37(3):241-247, mai-jun, 2004

Kampel, S. A. **Geoinformação para estudos demográficos: representação espacial de dados de população na Amazônia Brasileira.** 2004. 166 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Transporte) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

Pará. Secretaria Executiva de Saúde Pública. 9ª Regional de Proteção Social. Divisão de Endemias. Centro de Controle de Zoonoses. **Atividades de Investigação Entomológica do surto de Doença de Chagas, na localidade do Garrafão/Santarém/PA.** Santarém: 9ª RPS, 2006. 10 p.

Rojas, A.; Vinhães, M.; Rodriguez, M.; Monroy, J.; Persaud, N.; Aznar, C.; Náquira, C.; Hiwat, H.; Benítez, J. Reunião Internacional sobre Vigilância e Prevenção de Doença de Chagas na Amazônia. Implementação da Iniciativa Intergovernamental de Vigilância e Prevenção da doença de Chagas na Amazônia. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical.** v. 38, n. 1, p. 82–89, 2005