

## Hidrografia

# DESENVOLVIMENTO DE MODELO DE REDE DE DRENAGEM COMO SUBSÍDIO NA ANÁLISE ESPACIAL E DISTRIBUIÇÃO DA ESQUISTOSSOMOSE NO ESTADO DE MINAS GERAIS

**Leonardo Silva Santos Rocha<sup>1</sup>, Ana Clara Mourão Moura<sup>1</sup>, Charles Rezende Freitas<sup>1</sup>, Luciano Vieira Dutra<sup>2</sup>, Omar Carvalho<sup>3</sup>, Corina da Costa Freitas<sup>2</sup>, Ricardo José Guimarães<sup>3</sup>, Ronaldo Santos Amaral<sup>4</sup>, Sandra Drummond<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal de Minas Gerais – Depto Cartografia

Avenida Antônio Carlos, 6627 Pampulha – BH – MG Cep: 31270 – 901

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/DPI

<sup>3</sup>Centro de Pesquisas Rene Rachou/Fiocruz-MG

<sup>4</sup>Secretaria de Vigilância em Saúde/MS

<sup>5</sup>Secretaria do Estado de Saúde de Minas Gerais

[leossrocha@yahoo.com.br](mailto:leossrocha@yahoo.com.br), [anaclara@ufmg.br](mailto:anaclara@ufmg.br), [charlesrf@gmail.com](mailto:charlesrf@gmail.com), [dutra@dpi.inpe.br](mailto:dutra@dpi.inpe.br), [corina@dpi.inpe.br](mailto:corina@dpi.inpe.br), [omar@cpqrr.fiocruz.br](mailto:omar@cpqrr.fiocruz.br), [ronaldo.amaral@funasa.gov.br](mailto:ronaldo.amaral@funasa.gov.br), [sandra.drummond@saude.gov.br](mailto:sandra.drummond@saude.gov.br), [ricardo@cpqrr.fiocruz.br](mailto:ricardo@cpqrr.fiocruz.br)

## Resumo

O trabalho está inserido em pesquisa maior, que visa o estudo da distribuição da esquistossomose em Minas Gerais, para identificação de áreas potenciais a partir da realidade vigente. Foi organizado de um SIG para a integração dados para caracterizar a esquistossomose mansoni e seus hospedeiros intermediários. A contribuição desta nova etapa é o detalhamento de estudos hidrológicos, sobretudo os de acessibilidade hídrica. Em estudo anterior, foi organizado um modelo de regressão linear para identificação das variáveis espaciais de maior importância na ocorrência da doença, visando à redução das variáveis preditivas. Foram utilizadas quarenta e quatro variáveis independentes e uma variável dependente com informações da prevalência da doença, das quais foram selecionadas 5 variáveis que melhor explicam a prevalência da doença, e duas delas respondiam pelo primeiro e pelo segundo municípios mais próximos. A proximidade, nesta etapa, foi trabalhada pelo cálculo da distância euclidiana entre as sedes dos municípios e entre os centróides das áreas dos municípios em relação a municípios com prevalência. Diante da importância do fator proximidade, decidiu-se pelo aprofundamento no estudo desta questão. Foi proposta a representação da drenagem em modelo de rede, para que se pudessem identificar os municípios mais próximos segundo a posição na rede hídrica. Contudo, também em trabalho anterior, havia sido detectada a impossibilidade de trabalhar com dados de drenagem a partir das cartas do IBGE, pois uma parte do estado é mapeado em escala 1:100.000 e outra em 1:50.000. Outro problema observado foi a falta de procedimento metodológico uniforme no mapeamento da rede de drenagem, construída em diferentes épocas e por diferentes instituições, o que resultou em descontinuidade nas linhas de drenagem entre as cartas e de diferentes resoluções das informações. Isto levou à exploração dos recursos do SRTM, a partir do qual foi gerado um modelo digital de elevação e a rede de drenagem por grade de acumulação. Sendo a resolução da imagem de 90 metros, foram estudados limiares para construção da rede compatível com escala de 1:100.000, o que gerou produto com padrão de exatidão cartográfica C, considerado adequado para os objetivos do estudo. Acreditava-se que seria simples a transformação da rede de drenagem em representação *raster* para a representação vetorial, para posterior organização do sistema de arcos e nós e estruturação de um sistema de rede propriamente dito. Foram testados diferentes aplicativos de conversão automática, mas todos apresentaram perda de informação e grau de generalização não aceitáveis para o estudo. Foram testados filtros morfológicos para tratamento do *raster* para posterior vetorização, mas sem obtenção de resultados satisfatórios. Decidiu-se então pela vetorização semi-automática da base matricial, seguida de correção topológica, separação por sub-bacias e estruturação do sistema de rede propriamente dito. Como resultado, tem-se a representação da rede vetorial de drenagem do Estado de Minas Gerais. Assim, ao responder sobre os cinco municípios mais próximos a um com prevalência, eles são listados segundo a conectividade hídrica. O produto gerado terá muitas outras aplicações, como a resposta a questões relativas a origem-destino de materiais e contaminantes ao longo de um curso d'água.

Palavras Chaves: Rede de Drenagem, SRTM, Esquistossomose, Minas Gerais

## Abstract

The work is part of a wider research that aims at studying the schistosomiasis distribution in Minas Gerais State, in order to identify potential areas, from the current reality. It was organized from a SIG to integrate data in order to characterize mansoni schistosomiasis and its intermediate host. The contribution of this new phase is to detail the hydrological studies, particularly the studies about hydric accessibility. In the previous studies, a linear regression model was organized to identify the most important spatial variables regarding the occurrence of the disease, aiming the reduction of the predictive variables. Forty-four independent variables and one dependent variable were utilized with information regarding the prevalence of the disease, among these, five variables that best explain the prevalence of the disease were selected and two of them were related to the first and the second closest districts. The proximity, in this phase, was studied through the calculation of the euclidean distance between the headquarters of the districts and between the center areas of the districts in relation to the districts with prevalence. Due to the importance of the proximity factor, it was decided to study deeper this subject. The representation of the drainage in the net model was proposed in order to identify the closest districts according to the position in the hydric net. However, also considering previous work, the impossibility to work with the drainage data from IBGE letters had been detected, because part of the state is mapped in a scale of 1:1000.000 and the other in a scale of 1:50.000. Another problem observed was the lack of the methodological procedure uniform to the drainage net mapping, built in different times and by different institutions. That fact resulted in the discontinuity in the drainage lines between the letters and different resolutions of the information. This led to the exploration of the SRTM resources, from which a digital elevation model was generated and a drainage net using accumulation grade. The resolution of the image was 90 meters, threshold were studied for the construction of a compatible net with scale of 1:100.000, this generated a product with the cartographic accuracy C, considered adequate for the objectives of the study. It was supposed that it would be simple to transform the drainage system based on the raster representation to the vectorial representation, and then to organize the arch and knot system and the structuring of a net system. Different applications of automatic conversion were tested, but all of them showed a loss of information and a level of generalization not acceptable for the study. Morphological filters for raster treatment and then posterior vectorization were tested, but no satisfactory result was obtained. It was decided for the semi automatic vectorization of the matrix base, followed by the topological correction, separation by sub basins and structuring of the system itself. As a result, there is the representation of the drainage vectorial net of Minas Gerais State. Thus, when answering about the closest five districts to one district with prevalence, they are listed according the hydric connectivity. The product generated will have many applications, like the answer to questions related to the origin and the destiny of materials and contaminants along a water stream.

Key Words: drainage net, SRTM, schistosomiasis, Minas Gerais State

## Introdução

A esquistossomose mansoni, causada pelo trematódeo *Schistosoma Mansoni*, é uma grave doença e apresenta formas agudas ou crônicas, com sintomatologia geral ou intestinal. Por vezes, podem surgir formas ainda mais graves, com extensa fibrose hepática, hipertensão porta e esplenomegalia. O *Schistosoma mansoni* tem como hospedeiros naturais intermediários gastrópodes pulmonados de água doce (moluscos) do gênero *Biomphalaria*, sendo 3 as espécies de importância epidemiológica: *Biomphalaria glabrata*, *Biomphalaria tenagophila* e *Biomphalaria straminea*. Os hospedeiros habitam preferencialmente coleções lacustres com baixa velocidade de água, onde proporcionam a contaminação humana pelo *Schistosoma Mansoni* por via cutânea. O ciclo da doença se fecha, por sua vez, quando as fezes do indivíduo contaminado (contendo os ovos do parasita) chegam à coleção hídrica, onde os ovos eclodem dando origem aos miracídeos, que por sua vez parasitam o hospedeiro intermediário da doença (molusco).

A questão primordial acerca do estudo da doença foi a metodologia de análise espacial de seus padrões. Para esta metodologia, chegou-se a duas opções de análise: a lógica de fluxo espacial do hospedeiro final (homem) e

a lógica de fluxo espacial do hospedeiro intermediário (molusco), posto que a doença necessita dos dois para existir. Visto que o padrão de deslocamento espacial humano é dotado de elevada complexidade (sendo extremamente difícil de ser previsto e planejado pelo SIG), foi adotado como metodologia principal de estudo o padrão de fluxo espacial do molusco, muito mais simples por obedecer basicamente ao fluxo hidrográfico da coleção hídrica onde se encontra.

Definida a metodologia de análise do fluxo da doença, as ações acerca da configuração do SIG para determinação da disseminação da doença puderam ter início.

## Tratamento de dados iniciais da doença

A princípio, os dados iniciais a serem tratados se referiam à ocorrência da doença e sua gravidade (prevalência) nos municípios de Minas Gerais. Dos 853 municípios mineiros, a Secretaria de Saúde do estado possui informações sobre prevalência de apenas 197, o que justifica a proposição de estudos que possam determinar a probabilidade de ocorrência da doença no restante do estado. O primeiro aspecto trabalhado foi a influência da proximidade entre municípios como

**Tabela 1: descrição dos 5 municípios prevalentes mais próximos de cada um dos 853 municípios de Minas Gerais**

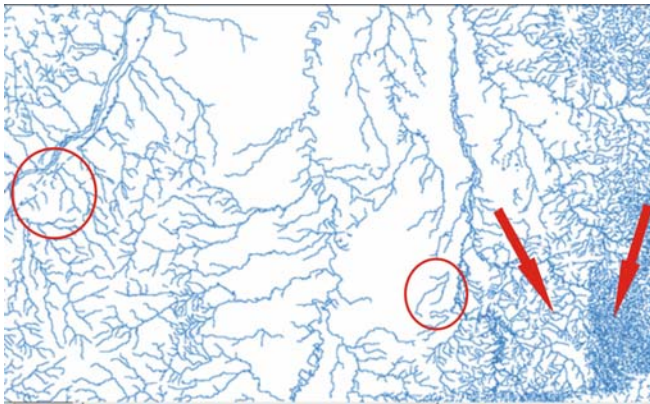
As tabelas foram organizadas com o objetivo de desenvolver um modelo de regressão linear para estimar a prevalência de esquistossomose no Estado de Minas Gerais, utilizando quarenta e quatro variáveis, incluindo as citadas distâncias entre sedes e centróides de municípios, variáveis de sensoriamento remoto, sócio-econômicas e a variável dependente com informações da prevalência da doença. Dos 197 municípios com dados históricos de prevalência da esquistossomose, foram usados 142 municípios para a construção do modelo e 55 municípios para a validação do modelo de regressão linear.

pela raiz quadrada da distância, e a prevalência do segundo município mais próximo dividido pela raiz quadrada de sua distância. Foi obtida correlação positiva em relação aos dois municípios mais próximos, chegando a uma conclusão de, quanto maior a prevalência dos municípios vizinhos à cidade em estudo, maior é a prevalência da esquistossomose. Esta relação, segundo Fonseca et al. (op. cit.) pode ser justificada segundo a “lei de Tobler”: “no mundo, todas as coisas se parecem; mas coisas mais próximas são mais parecidas que aquelas mais distantes” (Tobler, 1979).

## O estudo da proximidade em relação à Dinâmica da doença

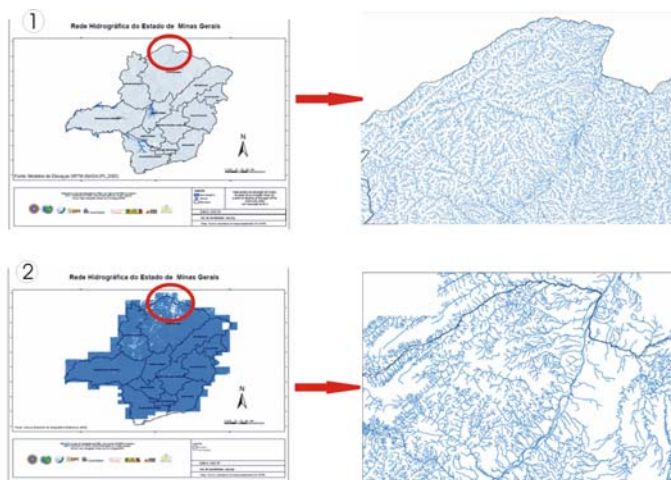
Definida a linha de trabalho, constatou-se a impossibilidade de trabalhar com dados de drenagem provenientes das cartas do IBGE. O fato de o mapeamento ter sido feito de maneiras diferentes ao longo do estado (uma parte feita na escala de 1:50000 e outra parte na escala 1:100000), aliado à falta de procedimento metodológico para o mapeamento

uniforme da rede de drenagem (construído em épocas diferentes por entidades diferentes), que resultou na descontinuidade de linhas (entre as cartas) representando a drenagem em todo o estado, inviabilizando por completo o uso de tais dados.



**Figura 1: mosaico da rede hidrográfica de cartas do IBGE. Repare na descontinuidade de rios (círculos vermelhos) e na diferença metodológica entre duas cartas (indicada pelas setas vermelhas).**

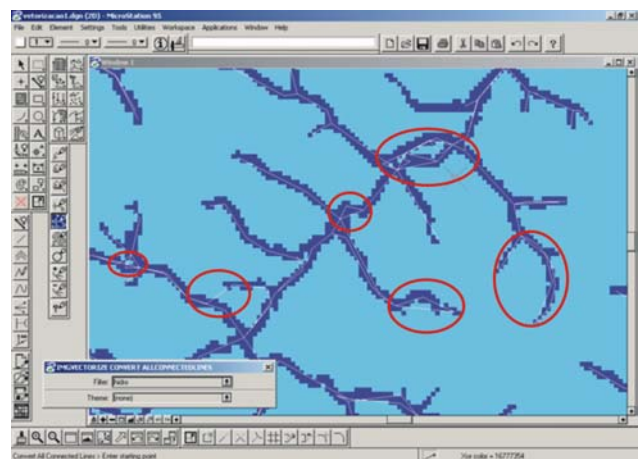
Assim, optou-se pela utilização do Modelo Digital de Elevação gerado pela missão SRTM/USGS, no intuito de gerar, por grade de acumulação, um novo modelo de drenagem para o estado de Minas Gerais. Por se tratar de imagens com resolução de 90 metros, foram trabalhados diferentes índices de presença de água, no intuito de gerar um modelo compatível à escala desejada (1:100.000). Diante da resolução da imagem, o que se obteve foi um produto com padrão de exatidão cartográfica C, considerado adequado aos objetivos do estudo. O procedimento metodológico e a verificação dos resultados foram apresentados por Moura et al. (2005) e tiveram como produto uma rede raster da drenagem em Minas Gerais, o que possibilitou novos desenvolvimentos que estão sendo aqui apresentados.



**Figura 2: Comparação entre o raster gerado (1) e o mosaico da drenagem feito a partir das cartas do IBGE (2) Construção do Modelo de Rede Hidrográfica para o estado de Minas Gerais**

O passo seguinte à construção da imagem raster da malha hidrográfica de Minas Gerais era a sua vetorização, no intuito de configurar posteriormente um modelo de rede.

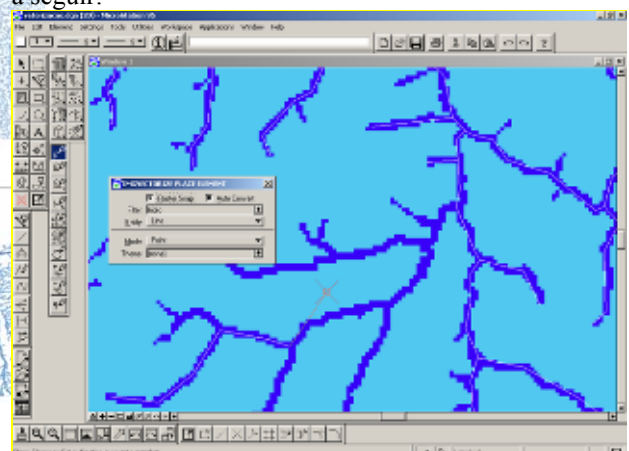
Acreditava-se que seria simples a conversão da rede de drenagem em modelo raster para um modelo vetorial, para posterior organização do sistema de arcos e nós e estruturação de um sistema de rede propriamente dito. Porém, após as tentativas de vetorização automática em diversos softwares (tais como ArcView e Microstation), esta apresentou perda de informação e grau de generalização incompatíveis ao desenvolvimento do estudo, como mostram a figura 3 a seguir:



**Figura 3: Tentativa de vetorização automática no software Microstation95. Repare nos trechos problemáticos da vetorização, destacados em vermelho acima**

Além disso, foram testados filtros morfológicos para tratamento do raster para posterior vetorização, mas sem obtenção de resultados satisfatórios.

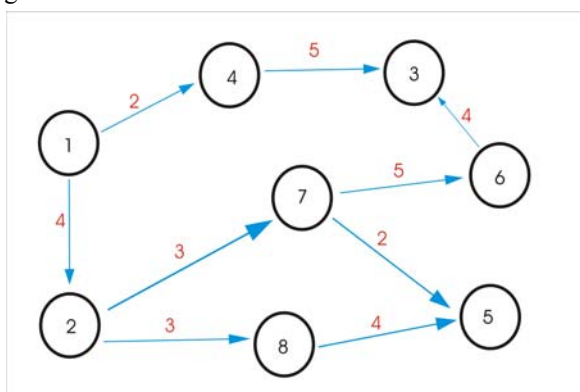
Por fim, optou-se pela vetorização semi-automática da base matricial, utilizando o software Microstation. A partir de um filtro de cor, fez-se a vetorização semi-automática, onde se pôde manter uma precisão satisfatória em todo o processo, como mostra a figura 4 a seguir:



**Figura 4: Vetorização de base semi-automática, no software Microstation95.**



De acordo com Freitas (2003), a função de um aplicativo de rede é tratar e simular dados espaciais que obedecem a um padrão de fluxo. É composto por um conjunto de vértices (“nós”) e arestas, chamado grafo. Cada aresta no grafo possui uma característica topológica específica (sentido de fluxo) e um custo para ser percorrida (impedância). Este custo pode representar a distância entre os vértices, velocidade de deslocamento ou até formas de impedância mais específicas, usadas em redes representativas de sistemas de fluxos de análise mais complexa, como o trânsito de automóveis em uma grande cidade. Obtidas estas características, cada grafo gera uma matriz de adjacência, que representa a relação topológica de todos os vértices do grafo entre si de maneira otimizada, como mostram as figuras 5 e 6 a seguir:



	1	2	3	4	5	6	7	8
1	∞	4	∞	2	∞	∞	∞	∞
2	4	∞	∞	∞	∞	∞	3	3
3	∞	∞	∞	5	∞	4	∞	∞
4	2	∞	5	∞	∞	∞	∞	∞
5	∞	∞	∞	∞	∞	∞	2	4
6	∞	∞	4	∞	∞	∞	5	∞
7	∞	3	∞	∞	2	5	∞	∞
8	∞	3	∞	∞	4	∞	∞	∞

**Figuras 5 e 6: Grafo e sua respectiva matriz de adjacência.**

Assim, a matriz de adjacência possibilita o emprego de algoritmos e sua execução por parte de ferramentas de informática e geoprocessamento. Estes meios proporcionam, no aplicativo de rede, as consultas acerca de caminhos ótimos (de menor custo) envolvendo dois ou mais vértices, consultas estas que podem ter como base quaisquer fatores, tais como distância, tempo, inclinação, velocidade, etc.

## Resultados

Após tratamento topológico e separação por sub-bacias, estruturou-se o sistema de rede propriamente dito. Como resultado, temos a representação em rede vetorial da drenagem de todo o estado de Minas Gerais. Esta rede terá condições de informar, por consulta, a distância por conectividade hídrica entre dois ou mais municípios, fomentando uma análise mais verossímil da influência da prevalência dos municípios entre si. Este produto, porém, não se encerra neste fim, tendo diversas aplicações no que tange à análise de fluxos de materiais em redes hídricas.

## Agradecimentos:

A pesquisa aqui relatada conta com o valioso apoio da Fapemig – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, CRA 893/05.

Os autores agradecem ainda o suporte do CNPq (305546/2003-1; 380203/2004-9; 304274/2005-4), Fapemig (EDP 1775/03; EDT 61775/03; CRA 0070/04, CRA 893/05) e NIH-Fogarty (5D43TW007012).

## Referências bibliográficas:

Fonseca, F. R. et al. **Desenvolvimento de um modelo de regressão linear para a predição da prevalência de esquistossomose no Estado de Minas Gerais.** Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 2573-2580.

Freitas, Christian Rezende; **Construção e Aplicação de Modelo de Rede em Ouro Preto: Utilização de Fatores Ambientais e Logísticos no Cálculo de Impedâncias** – Minas Gerais-Belo Horizonte. Monografia (Especialização) Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2003

Moura, A.C.M. et al. **Atualização de mapa de drenagem como subsídio para montagem de SIG para a análise da distribuição da esquistossomose em Minas Gerais.** Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 3551-3558.

Tobler, W. Cellular geography. In: S. Gale and O. G. (ed). **Philosophy in Geography.** Dordrecht, Reidel, 1979.