UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO

ANÁLISE ESPACIAL DOS PADRÕES DE DISSEMINAÇÃO DA MALÁRIA SEGUNDO A MOBILIDADE HUMANA

JAIDSON NANDI BECKER

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Antonio Nero

Defesa da Dissertação de Mestrado

Recife, 2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO

Jaidson Nandi Becker

ANÁLISE ESPACIAL DOS PADRÕES DE DISSEMINAÇÃO DA MALÁRIA SEGUNDO A MOBILIDADE HUMANA

Defesa da Dissertação de Mestrado

Defesa da dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, área de concentração Cartografia e Sistemas de Geoinformação.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Antonio Nero

Recife, 2013

Catalogação na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

B395a Becker, Jaidson Nandi.
Análise espacial dos padrões de disseminação da malária segundo a mobilidade humana / Jaidson Nandi Becker. - Recife: O Autor, 2013.
ix, 81 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Antonio Nero.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2013.
Inclui Referências e Anexos.

1. Engenharia Cartográfica. 2. Malária. 3. Mobilidade humana. 4. Localidades de Transmissão da Malária (LTM). 5. Clusters espaciais. 6. Fluxos. I. Nero, Marcelo Antonio. (Orientador). II. Título.

UFPE

526.1 CDD (22. ed.) BCTG/2013-025

ANÁLISE ESPACIAL DOS PADRÕES DE DISSEMINAÇÃO DA MALÁRIA SEGUNDO A MOBILIDADE HUMANA

POR

JAIDSON NANDI BECKER

Dissertação defendida e aprovada em 29/01/2013.

Banca Examinadora:

_____

Prof. Dr. MARCELO ANTONIO NERO
Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco

_____

Profa. Dra. SOLANGE LAURENTINO DOS SANTOS
Departamento de Medicina Social - Universidade Federal de Pernambuco

_____

Prof. Dr. JOSÉ LUIZ PORTUGAL
Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço aos meus pais, Osmar e Aide, pelo apoio e carinho me dado ao longo de toda vida. Em segundo a Fundação de Vigilância em Saúde do Amazonas e a todos os amigos que lá ficaram e, com os quais, adquiri boa parte do conhecimento necessário para a realização deste estudo.

Agradeço aos Professores do Mestrado pelo conhecimento repassado, em especial a Professora Ana Lúcia Candeias, com a qual tive contato inicial por telefone e muito me ajudou para estar aqui hoje. Agradeço também aos amigos de mestrado, à minha turma, à turma anterior e à turma posterior, pela amizade e companheirismo construídos, agradeço particularmente ao Marcondes por estar sempre disposto a tirar minhas duvidas quanto ao Terra View e Spring.

Agradeço muito a meu orientador, Professor Marcelo Nero, pela paciência, dedicação, empenho, compreensão a mim prestadas, assim como pela amizade adquirida. Por fim, agradeço a Banca, em especial aos Professores José Luiz Portugal e Mircia Betânia Costa e Silva, os quais me acompanharam desde o início desta jornada. Agradeço pelas correções e sugestões, mesmo aquelas não muito bem recebidas, mas que com o tempo se mostraram bastante valiosas.

RESUMO

Atualmente a malária é considerada um dos mais relevantes problemas de saúde pública existentes no mundo. A ocorrência da malária é um processo altamente complexo. A transmissão da doença normalmente é atribuída à forma de ocupação do solo, a exploração dos recursos naturais, as migrações populacionais, a mobilidade humana e as características sociais e culturais de uma região. O padrão de distribuição espacial da população, as migrações e a mobilidade humana dificultam o controle da malária na Amazônia. As migrações permitem um fluxo de pessoas para áreas de alto risco de transmissão da doença, mas a mobilidade humana permite, além do fluxo de pessoas, o refluxo (retorno) de indivíduos infectados, o que significa neste caso a disseminação da malária. O objetivo deste estudo foi definir os padrões espaciais de disseminação da doença segundo a mobilidade humana entre as Localidades de Transmissão da Malária (LTM), ou seja, a disseminação da malária segundo a relação entre o "local de provável infecção" e o "local de residência" dos pacientes. O estudo foi aplicado ao Município de Manaus/AM, e assim, às LTM pertencem ao mesmo. Para obter-se uma melhor representação e visualização dos padrões espaciais de disseminação da malária aplicou-se a detecção de clusters espaciais, de modo a se reconhecer conglomerados de LTM segundo a probabilidade de casos exportados (clusters exportadores) e importados (clusters importadores) da doença. Em sequencia foram gerados fluxos de casos de malária entre os clusters detectados. A partir destas análises, observou-se que o padrão de disseminação da malária quanto à mobilidade humana em Manaus se caracteriza, em sua grande maioria, por movimentos de curta distância entre área urbana, urbana periférica e rural próxima.

Palavras-chave: Malária, Mobilidade humana, Localidades de Transmissão da Malária (LTM), Clusters espaciais e Fluxos.

ABSTRACT

Currently malaria is considered one of the most important public health problems in the world. The occurrence of malaria is a highly complex process. The transmission of disease is usually attributed to the form of land use, exploitation of natural resources, population migrations, human mobility and social and cultural characteristics of a region. The spatial distribution pattern of population, migrations and human mobility hinders the control of malaria in Amazon Region. Migrations allows flow of people for areas of high risk of disease transmission, but human mobility allows, besides the flow of people, the reflux (return) of infected individuals, which means, in this case, the malaria dissemination. The aim of this study was define the spatial patterns of dissemination of the disease according to human mobility between Malaria Transmission Localities (MTL), in other words, the dissemination of malaria according to the relationship between “locality of probable infection" and "locality of residence "of patients. The study was applied to the city of Manaus / AM, and therefore, to the MTL of Manaus. To get a better representation and visualization of spatial patterns of dissemination of malaria was applied the detection spatial of clusters so as to recognize clusters according to probability in the MTL for exported cases (exporters clusters) and imported (importers clusters) of disease. In sequence were generated flows of malaria cases among the clusters detected. From these analyzes, it was observed that, in Manaus, the pattern of malaria dissemination according to human mobility is characterized mostly by short-distance movements between urban, urban peripheral and rural next.

Keywords: Malaria, Human mobility, Malaria Transmission Localities (MTL), Spatial clusters and Flows.

SUMÁRIO

1. Introdução....1
1.1. Justificativa....3
1.2. Objetivo geral....4
1.3. Objetivos específicos....4
1.4. Organização da dissertação....5
2. Fundamentação teórica....6
2.1. Concetuação da malária....6
2.1.1. Notificação da malária....8
2.1.2. Fatores condicionantes da malária....10
2.2. Geografia da saúde....12
2.3. Análise espacial....13
2.3.1. Estátistica espacial....15
2.3.1.1. Detecção de conglomerados espaciais....16
2.3.1.1.1. Modelo de Poisson....19
2.3.1.1.2. Significância estatística....20
3. Área de estudo....22
4. Materiais e métodos....27
4.1. Recursos disponíveis....27
4.2. Metodologia....28
4.2.1. Tabulação dos dados....29
4.2.1.1. Casos exportados e importados....30
4.2.1.2. Fluxo de casos....32
4.3. Espacialização da malária....32
4.4. Detecção de clusters de disseminação da malária....33
4.4.1. LTM exportadoras....33
4.4.2. LTM importadoras....34
4.4.3. Análise epidemiológica dos clusters....35
4.5. Geração de fluxos de disseminação da malária....38
4.5.1. Análise epidemiológica dos fluxos....38
4.6. Forma de ocupação do solo nos clusters detectados....39
5. Resultados....40
5.1. Espacilaização dos casos de malária....40
5.1.1. Distribuição por local de provável infecção....40
5.1.2. Distribuição por local de residência....42
5.1.3. Distribuição por casos exportados e importados....44
5.1.3.1. Casos exportados....45
5.1.3.2. Casos importados....48
5.2. Detecção dos clusters de disseminação da malária....50
5.2.1. Clusters exportadores....50
5.2.2. Clusters importadores....56
5.2.3. Análise epidemiológica dos clusters....59
5.3. Geração dos fluxos de disseminação da malária....65
5.3.1. Análise epidemiológica dos fluxos....67
5.4. Forma de ocupação do solo nos clusters detectados....68

6. Discusão 71
7. Conclusões 73
7.3. Considerações finais 75
Referências. 76
Anexo 01 - Análise preliminar dos fluxos de disseminação da malária
Anexo 02 - Ficha de notificação de casos da malária

LISTA DE FIGURAS

01 Modelo de disseminação da malária.....11
02 Localização geográfica de Manaus.....22
03 Localidades de transmissão da malária em Manaus 24
04 Diagrama da metodologia.....28
05 Distribuição da malária por local de provável infecção. 41
06 Distribuição da malária por local de residência.....43
07 Distribuição da malária por casos exportados 46
08 Distribuição da malária por casos importados 48
09 Clusters exportadores e distribuição da malária por local de provável infecção .52
10 Clusters exportadores e distribuição da malária por casos exportados 53
11 Cluster importador e distribuição da malária por local de residência.....57
12 Cluster importador e distribuição da malária por casos importados.....58
13 Clusters de disseminação da malária detectados.....60
14 Clusters e fluxos de disseminação da malária.....66
15 Imagem da ocupação do solo nos clusters de disseminação da malária 69

LISTA DE GRÁFICOS

01 População e número de casos da malária em Manaus de 1992 a 2011 25
02 Número de casos da malária por local de provável infecção 42
03 Número de casos da malária por local de residência 44
04 Número de casos da malária exportados 47
05 Dispersão dos casos da malária por local de provável infecção e exportados ...47
06 Número de casos da malária importados.....49
07 Dispersão dos casos da malária por local de residência e importados.....50
08 Casos da malária referentes às LTM do cluster exportador 01.....54
09 Casos da malária referentes à LTM do cluster exportador 02. 54
10 Casos da malária referentes às LTM do cluster exportador 03.....55
11 Casos da malária referentes às LTM do cluster exportador 04.....55
12 Casos da malária referentes às LTM do cluster importador.....59
13 Casos da malária nos clusters 64
14 Valores da malária nas LTM não abrangidas pelos clusters.....65
15 Casos da malária nos fluxos gerados 68

LISTA DE QUADROS

01 Períodos de transmissibilidade e incubação dos plasmódios da malária 7
02 Dados de notificação da malária.....29
03 Dados de LTM 30
04 Casos de malária tabulados.....31
05 Fluxo de casos tabulados 32
06 Número de casos de malária em Manaus no ano de 2011.....40
07 Número de casos alóctones às LTM.....45
08 Clusters exportadores da malária detectados.....51
09 Valores de probabilidades dos clusters exportadores da malária. 56
10 Cluster importador da malária detectado 56
11 Valor de probabilidade do cluster importador da malária.....59
12 Valores da malária nas 831 LTM analisadas 61
13 Valores da malária nas LTM dos clusters 61
14 Casos autóctones aos clusters bruto 62
15 Casos da malária em regiões de intersecção de clusters.....62
16 Casos autóctones aos clusters detectados.....62
17 Percentuais de casos da malária exportados e importados pelos clusters.....63
18 Valores da malária nas LTM não abrangidas pelos clusters.....64
19 Valores e descrição dos fluxos gerados.....66
20 Valores da malária nos fluxos e nos clusters de origem e destino.....67
21 Percentuais de casos da malária exportados e importados nos fluxos.....67

SIGLAS

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
LTM	Localidade de Transmissão da Malária.
LVC	Lâmina de Verificação de Cura.
MS	Ministério da Saúde.
OMS	Organização Mundial da Saúde.
OPAS	Organização Pan-Americana da Saúde
PNCM	Plano Nacional de Controle da Malária.
SIG	Sistema de Informação Geográfica.
SISLOC	Sistema de Informações de Localidades.
SIVEP	Sistema de Informação de Vigilância Epidemiológica.
SVS	Secretaria de Vigilância em Saúde.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente a malária é considerada um dos mais relevantes problemas de saúde pública existentes no mundo. Segundo dados da OMS (WHO, 2009), cerca de 40% da população mundial vive em áreas com risco de transmissão de malária. Ainda segundo a OMS, estima-se que mundialmente ocorram trezentos milhões de casos da doença e um milhão de mortes ao ano.

No Brasil o quadro epidemiológico da doença é preocupante. Conforme dados consultados no SIVEP_malária em agosto de 2012, embora em declínio, o número total de casos de malária contraídos em todo território nacional no ano de 2011 foi superior a 280 mil. Sendo que, aproximadamente 99,8% dos casos são contraídos na Região Amazônica, onde as condições ambientais e socioculturais são favoráveis à transmissão da doença.

A ocorrência da malária é um processo altamente complexo. Segundo a SVS/MS (BRASIL, 2010), a doença esta condicionada à interação de três fatores (tríade epidemiológica): o parasito (plasmódio), o hospedeiro (homem) e o vetor (mosquito). Desta forma, a dinâmica socioambiental está presente e exerce forte influência na relação entre o vetor e o homem (ASSIS et al, 2007; PARISE et al., 2011).

Segundo Barata (1998), a malária caracteriza-se como um problema focal. A heterogeneidade de sua distribuição reforça a ideia de foco e constata que sua transmissão não ocorre em igual intensidade e rapidez em todas as áreas malarígenas. Para muitos autores (ATANAKA SANTO et al., 2006; BARBIERI E SAWYER, 1996; CORDEIRO et al., 2002; RIBEIRO et al., 2005; RODRIGUES et al,, 2008; SALCEDO et al., 2000; VASCONCELOS et al., 2006), esta variação na transmissão da doença é atribuída à forma de ocupação do solo, a exploração dos recursos naturais, as migrações populacionais, a mobilidade humana e as características sociais e culturais.

O padrão de distribuição espacial da população, as migrações, e a mobilidade humana dificultam o controle da malária na Amazônia. As migrações permitem um fluxo de pessoas para áreas de alto risco de transmissão da doença. Mas, a mobilidade humana permite, além do fluxo de pessoas, o refluxo (retorno) de indivíduos infectados. Nesse caso, a mobilidade humana (ida e retorno de pessoas) significa também a disseminação da doença (ALMEIDA et al., 2009; BARBIERI, 2005).

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é definir os padrões de disseminação[1] da doença segundo a mobilidade humana entre as Localidades de Transmissão[2] da Malária (LTM).

As LTM são locais previamente definidos para os quais a ficha de notificação da malária é preenchida quanto aos campos "local de provável infecção[3]" e "local de residência" do paciente (ver capítulo 2). Portanto, a disseminação da doença segundo a mobilidade humana pode ser representada pela relação entre o local de provável infecção e o local de residência dos pacientes conforme os registros de notificação dos casos de malária.

O estudo foi aplicado ao Município de Manaus/AM, sendo que as LTM pertencentes ao mesmo. O Município possui 831 LTM passiveis para com o estudo (georreferenciadas). A geração de fluxos de casos da doença entre estas LTM, de modo a representar a mobilidade humana, mostrou-se pouco eficiente e de difícil visualização, devido ao grande número de fluxos gerados e ao pequeno número de casos atribuído a cada fluxo (ver anexo 01).

1. Disseminação: difundir ou propagar algo em um meio, no caso, uma doença.
2. Transmissão: transferência de um agente etiológico de um reservatório ou fonte de infecção para um novo hospedeiro suscetível.
3. Infecção: colonização de um organismo hospedeiro por uma espécie estranha.

Como solução a este problema, aplicou-se a detecção de aglomerados de eventos (conglomerados ou clusters espaciais) ao estudo. Segundo Assunção. (2001), uma vez detectado o conglomerado de casos, pode-se dar início a estudos mais sofisticados na tentativa de encontrar o meio causador destes casos. Lawson e Kulldorff (1999) apresentam várias situações onde a detecção do conglomerado de doenças foi um passo importante no estabelecimento de sua etiologia.

Neste estudo, o objetivo da detecção de clusters foi reconhecer conglomerados de LTM segundo a probabilidade de casos exportados[1] (clusters exportadores) e importados[2] (clusters importadores) da doença. Assim, foi possível a geração de fluxos entre os clusters detectados e, consequentemente, uma melhor representação e visualização dos padrões espaciais de disseminação da malária quanto à mobilidade humana.

Além da melhor representação dos fluxos de casos da doença, a detecção dos clusters também possibilitou analisar a forma de ocupação do solo em cada cluster detectado. Desta forma, houve uma melhor contribuição para com a definição dos padrões espaciais de disseminação da doença.

1.1. JUSTIFICATIVA

A produção de informações para a gestão de serviços e formulação de políticas de saúde é hoje um desafio às administrações públicas. Embora o Brasil possua um grande banco de dados disponível e constantemente atualizado na área da saúde, frequentemente, sua utilização é limitada pela ausência ou baixa qualidade das ferramentas de análise.

O uso de mapas na saúde vem sendo cada vez mais difundido. A longa data a OPAS vem incentivando uso de mapas como ferramenta de apoio no controle de doenças endêmicas.

---

1. Casos exportados: destinados à outro local que não o local de infecção.
2. Casos importados: oriundos de outro local que não o local de residência do infectado.

A análise espacial de disseminação da malária tem sido pouco realizada. Durante pesquisa bibliográfica poucos estudos sobre o tema foram encontrados, tratando a maioria da disseminação da doença quanto à migração populacional e não à mobilidade humana.

O estudo pretende mostrar que a análise dos padrões de disseminação da malária pode em muito contribuir para com as ações de controle da doença. Assim como, trazer uma nova ótica sobre estas ações, incentivando a adoção de novas práticas de vigilância epidemiológica de modo a prever e impedir a disseminação da malária.

Quanto ao âmbito acadêmico. O método de detecção de clusters exportadores e importadores da malária a ser apresentado, além de ser realizado por meio de dados de fácil obtenção através da SVS/MS, oferece uma nova abordagem de espacialização da doença, abrindo horizontes à novas pesquisas.

1.2. OBJETIVO GERAL

Analisar os padrões de disseminação da malária segundo a relação entre as LTM de provável infecção e de residência dos pacientes infectados.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Detectar clusters espaciais para as LTM segundo valores de casos exportados e importados;
- Gerar fluxos de casos da doença entre os clusters detectados;
- Realizar análise dos dados epidemiológicos para os clusters detectados e para os fluxos gerados;
- Analisar a forma de ocupação do solo nos clusters detectados.

1.4. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

No capítulo 2 é apresentada a fundamentação teórica. Nela esta contida uma revisão da literatura com foco nas questões de interesse ao estudo: a malária, suas características epidemiológicas e clínicas, seus fatores condicionantes e as técnicas de análises espaciais empregadas.

No capítulo 3, caracterização da área de estudo, apresenta-se o Município de Manaus, com sua localização e uma caracterização de seu perfil epidemiológico quanto à malária.

No capítulo 4, materiais e métodos, são descrito os recursos utilizados (dados e programas computacionais) e a metodologia empregada (tabulação de dados epidemiológicos, detecção de clusters, geração de fluxos e análise da forma de ocupação de solo).

No Capitulo 5 são apresentados os resultados, ou seja, os padrões espaciais de disseminação da malária observados em Manaus: os clusters detectados, os fluxos gerados e as análise epidemiológica destes.

Finalmente, no capítulo 6, é apresentada uma discussão sobre os resultados e no capítulo 7 as conclusões e considerações finais.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica esta organizada pelos temas: conceituação da malária, geografia da saúde e análise espacial.

2.1. CONCEITUAÇÃO DA MALÁRIA

A malária é uma doença infecciosa febril aguda, causada por protozoários do gênero *Plasmodium* e transmitida ao homem, através da picada de mosquitos fêmeas do gênero *Anopheles* (ÁVILA, 1996; SOUZA et al., 1997). Portanto, sua ocorrência está condicionada à interação de três fatores: o parasito (plasmódio), o hospedeiro (homem) e o vetor (mosquito).

As espécies de plasmódio associadas à infecção humana são: *Plasmodium falciparum, P. vivax P. malariae* e *P. ovale.* A malária por *P. ovale* ocorre apenas no continente africano. Entretanto, ocasionalmente podem ser diagnosticados no Brasil casos importados (BRASIL, 2008; BRASIL, 2010).

Os mosquitos transmissores da malária compreendem aproximadamente 400 espécies, das quais cerca de 60 ocorrem no Brasil. O principal vetor da doença no país é o *Anopheles darlingi,* cujo comportamento é extremamente antropofílico, ou seja, é constantemente encontrado picando no interior e nas proximidades das residências (FORATTINI, 2003; SOUZA et al., 2004).

O mosquito torna-se transmissor da doença quando infectado ao sugar o sangue de uma pessoa com gametócitos circulantes. Gametócito é a forma sexuada dos parasitos (plasmódio da malária) encontrados nos humanos infectados.

Os parasitos surgem na corrente sanguínea humana em períodos que variam, após a picada do mosquito infectado, de poucas horas para o *P. vivax* e de 7 a 12 dias para o *P. falciparum*. Enquanto que, o espaço de tempo correspondente entre a picada do mosquito e o aparecimento dos primeiros sintomas (período de incubação) é de 08 a 12 dias para o *P. falciparum*, 13 a 17 para o *P. vivax* e de 28 a

30 para o *P. malarie* (ÁVILA, 1996; BRASIL, 2008; FERREIRA, 2004). Estas informações encontram-se apresentadas de forma mais compreensível no quadro 01.

Quadro 01: Períodos de transmissibilidade e incubação dos plasmódios da malária.

Plamódio	Período de transmissibilidade	Período de incubação
P. vivax	Poucas horas	13 a 17 dias
P. falciparum	7 a 12 dias	8 a 12 dias
P. malariae	-	28 a 30 dias

Indivíduos não adequadamente tratados podem vir a ser fonte de infecção por até 01 ano no caso da malária por *P. falciparum*, 03 anos para caso do *P. vivax* e por mais de 03 anos para o caso do *P. malariae*. Em populações expostas à transmissão por muitos anos é possível a existência de portadores assintomáticos do plasmódio, os quais podem ser fontes de infecção (BRASIL, 2008).

O quadro clínico da doença apresenta uma fase inicial caracterizada por mal-estar, dor de cabeça, cansaço, dores musculares, náuseas e vômitos. A fase sintomática de maior intensidade começa com um calafrio que pode durar de 15 minutos à uma hora, sendo seguido por uma fase febril com temperatura corpórea que pode atingir 41ºC ou mais. Após um período de duas a seis horas ocorre declínio da febre e o paciente apresenta suor excessivo e fraqueza intensa (BRASIL, 2008, FERREIRA, 2004; SOUZA, 2004).

Nos casos com complicações podem ainda ocorrer forte dor abdominal, sonolência e redução da consciência, podendo levar ao coma nos casos de malária cerebral. Os adultos não imunes, bem como crianças e gestantes, podem apresentar manifestações mais graves da infecção, podendo ser letal. De um modo geral, as formas brandas são causadas pelo *P. malarie* e *P. vivax* e as formas clínicas mais graves pelo *P. falciparum* (BRASIL, 2008, FERREIRA, 2004; SOUZA, 2004).

2.1.1. NOTIFICAÇÃO DA MALÁRIA

De acordo com exigências estatutárias estipuladas pela SVS/MS, a malária é uma doença de notificação compulsória em todo Brasil. Portanto, todo caso de malária deve ser notificado às autoridades de saúde (ASSIS et al., 2007; BRASIL, 2010).

Para a Região Amazônica, área considerada como endêmica para a doença, os casos são notificados através da "ficha de notificação de casos de malária" (ver anexo 02). Nela são coletados os dados de identificação da unidade e do agente notificante, identificação do paciente, local provável onde ocorreu a infecção, resultado do exame laboratorial e esquema de tratamento utilizado (ALMEIDA et al 2006). A mesma deve ser preenchida para cada atendimento da malária realizado e enviada ao setor competente para processamento.

O processamento refere-se à inclusão das informações contidas nas fichas de notificação preenchidas ao sistema de informação SIVEP_malária. Implantado em 2003, o sistema visa melhorar o fluxo, a qualidade e a oportunidade de informações entre os Municípios, Estado e União. O mesmo é composto por módulos de notificação e módulos auxiliares para cadastrar LTM, laboratórios, unidades notificantes e agentes notificantes (ALMEIDA et al., 2006; BRAZ et al., 2006).

O PNCM considera a Localidade de Transmissão da Malária (LTM) como sendo a menor unidade epidemiológica de agregação de dados para a doença, estando o SIVEP_malária, perfeitamente, estruturado segundo este critério de consolidação de dados (TERRAZAS, 2005).

A função do emprego da LTM é possibilitar a formação e gerenciamento de um banco de dados de reconhecimento geográfico para acompanhamento, monitoramento e avaliação das ações de controle da malária.

O conceito de localidade é herança do SISLOC. Criado em 1995 pela FUNASA, o SISLOC é um sistema de referencial geográfico desenvolvido para

padronização dos dados comuns aos vários sistemas de controle de endemias da época (malária, chagas, peste, esquitossomosses, oncocercose, filariose, leishmaniose, febre amarela e dengue).

A adoção do conceito da localidade foi dada pela dificuldade encontrada para o georreferenciamento dos dados quanto às áreas rurais, uma vez que a digitalização dos registros depende da padronização mínima dos endereços para a definição da unidade de análise que permita agregar ou desagregar informações de forma precisa (GARNELO et al., 2005).

Ainda segundo Garnelo et al. (2005), um dos problemas apresentados pela adoção das localidades, como forma de reconhecimento geográfico, é a incongruência da mesma em relação a outros bancos de dados, como o do IBGE, por exemplo, que adota um conceito de classificação geográfica baseado em critérios políticos e administrativos diferentes daqueles adotados para às LTM.

O SIVEP_malária possibilita o registro das coordenadas geográficas referentes as LTM nele cadastradas. Desta forma, permitindo a espacialização dos casos da doença atribuídos às mesmas.

O georreferenciamento para cada LTM é realizado pelo registro de um único par de coordenadas geográficas (ponto). Portanto, as LTM não possuem seus limites físicos descritos ou graficamente delimitados. A SVS/MS orienta que o ponto de georreferenciamento da LTM seja coletado por GPS de navegação em local de concentração populacional para a mesma.

As LTM são definidas pelos administradores regionais do SIVEP_malária juntamente com o gestor da vigilância epidemiológica municipal. Sendo que elas podem representar bairros, comunidades, vilas, aldeias, garimpos, assentamentos, clubes, estradas, sítios, fazendas, casas, etc.

2.1.2. FATORES CONDICIONANTES DA MALÁRIA

De uma forma geral, as causas da malaria são sempre múltiplas, um processo altamente complexo que envolve o agente, o hospedeiro e o ambiente. Segundo a OPAS (2008; apud SHIMADA et al, 2010), os fatores que condicionam a transmissão da malária são: ambientais (vegetação, clima, hidrologia, topografia); sócio demográficos (migrações, mobilidade humana e densidade populacional); biológicos (ciclo vital dos insetos vetores de agentes infecciosos); médico sociais (estado imunológico da população, efetividade dos sistemas locais de saúde e dos programas específicos de controle de doenças) e as origens históricas da doença na região.

Para Cruz et al. (apud SHIMADA et al., 2010), os fatores ambientais desempenham um papel importante na transmissão da malária e podem ser divididos em dois grupos: meio ambiente natural e meio ambiente modificado pela ação humana (antrópico). O meio natural inclui a topografia, hidrologia, tipo de solo e clima. Enquanto que o meio antrópico pode ter influência das migrações populacionais, da mobilidade humana, da ocupação desordenada nas áreas rurais, do uso inadequado de corpos d'água, etc. O impacto de cada um desses grupos varia por área geográfica e depende do contexto socioeconômico em que são observados. Além disso, a distribuição de vetores é regulada por fatores climáticos, como temperatura, umidade relativa do ar e regime das chuvas que criam condições favoráveis para a sua reprodução, desenvolvimento e longevidade.

Para Martens et al. (1995), a precipitação exerce influência sobre a malária porque parte do ciclo do mosquito ocorre na água. As chuvas em quantidade moderada podem facilitar a proliferação dos mosquitos vetores, mas se ocorrerem, em excesso, destroem os criadouros dos mosquitos, eliminando as larvas dos mesmos.

Para Barata (1998), a malária caracteriza-se como um problema focal. A heterogeneidade de sua distribuição reforça a ideia de foco e constata que sua transmissão não ocorre em igual intensidade e rapidez em todas as áreas

malarígenas. Ainda segundo muitos autores (ATANAKA et al., 2006; CORDEIRO et al., 2002; RIBEIRO et al., 2005; RODRIGUES et al., 2008; SALCEDO et al., 2000; VASCONCELOS et al., 2006), esta variação na transmissão da doença é atribuída à forma de ocupação do solo, a exploração dos recursos naturais, as migrações populacionais e a mobilidade humana. Cada forma de uso da terra apresenta especificidades que influenciam no risco de transmissão da malária, principalmente no que se refere ao padrão de mobilidade humana e as características sociais e culturais (BARBIERI et al., 1996).

O padrão de distribuição espacial da população, as migrações e a mobilidade humana dificultam o controle da malária na Amazônia. As migrações permitem um fluxo de pessoas para áreas de alto risco de transmissão da doença. Mas, a mobilidade humana permite, além do fluxo de pessoas, o refluxo (retorno) de indivíduos infectados. Nesse caso, a mobilidade humana (ida e retorno de pessoas) significa também a disseminação da doença (ALMEIDA et al., 2009; BARBIERI, 2005). A figura 01 mostra um modelo simplificado de disseminação da malária entre 02 regiões.

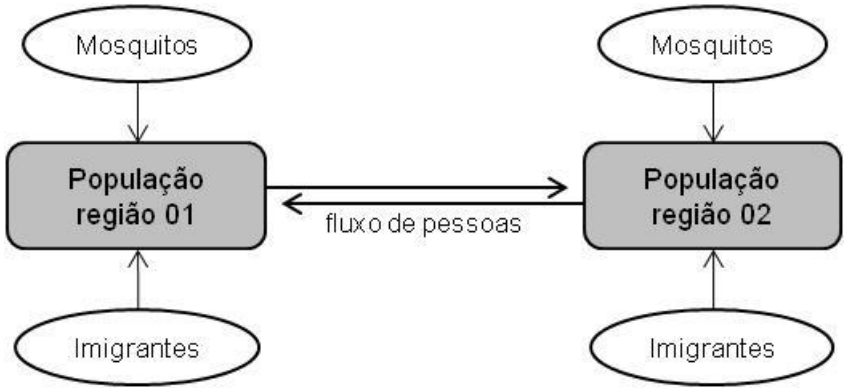


Figura 01: Modelo de disseminação da malária (fonte: adaptado de BARBIERI, 2005).

Conforme Sawyer (1992), a floresta Amazônica oferece condições ideais de temperatura e umidade para o ciclo de vida do mosquito vetor da malária. O fator climático, assim como, à amplitude da malha hídrica, a cobertura vegetal, as profundas modificações ambientais que vêm ocorrendo desde a década de 70 e que rompem o equilíbrio ecológico existente (construção de rodovias e hidroelétricas,

implantação de projetos agropecuários, sistemas de irrigação, assentamentos, mineração, garimpos, exploração de madeira e surgimento de numerosos grupos populacionais) e as precárias condições de moradia, favorecem a aproximação do homem com o vetor e, consequentemente, a transmissão da doença (BRASIL, 2008). Esses fatores que produzem grandes mudanças ambientais proporcionam não apenas a manutenção da endemia, mas também sua disseminação.

2.2. GEOGRAFIA DA SAÚDE

A geografia da saúde, ou geografia médica, é a disciplina que estuda a geografia das doenças, ou seja, a patologia à luz dos conhecimentos geográficos (LACAZ, 1972). Em suma, cabe à geografia da saúde estudar a espacialização de doenças.

Ainda segundo Lacaz (1972), a geografia da saúde nasceu aproximadamente 480 a.C. quando Hipócrates publicou sua famosa obra *Dos ares, das águas e dos lugares.* Portanto, a geografia da saúde nasceu com a própria história da medicina.

O primeiro caso de estudo que se aproxima das aplicações atuais da geografia da saúde foi efetuado em Londres, no ano de 1854, pelo Dr. Jonh Snow durante a grande epidemia de cólera. Após registrar a localização das residências das pessoas afetadas pela doença em um mapa da área de ocorrência do surto (cerca de seis quarteirões), observou-se um grande número de ocorrências registradas nas proximidades de determinadas bombas d'água. O estudo indicou a existência de uma relação entre o espaço de disseminação da doença e a localização das bombas d'água, levando à interdição das mesmas. Tal decisão culminou no controle da epidemia local (OLIVEIRA, 2008).

Somente em 1930 a geografia da saúde se aproxima mais fortemente da epidemiologia, buscando estabelecer para diversas doenças suas redes de causalidades (JUNQUEIRA, 2009). Uma das principais aplicações dos mapas na epidemiologia é facilitar a identificação de áreas geográficas e grupos da população

que apresentam maiores riscos de adoecer ou morrer prematuramente e que, portanto, precisam de maior atenção e promoção da saúde.

A geografia da saúde, na medida em que fornece uma visão mais abrangente do que a sintomatologia, pode ter um papel importante na concepção e no desenvolvimento de políticas de saúde pública, tanto preventivas quanto corretivas. (RIBEIRO, 2000).

2.3. ANÁLISE ESPACIAL

A análise espacial vem sendo utilizada nas últimas duas décadas, como importante ferramenta para determinação de áreas de risco e identificação dos fatores associados à ocorrência de malária. Os estudos têm buscado a determinação de área de risco pela distância entre criadouros de vetores e domicílios, pela dispersão de vetores e por aglomerado de casos (BOOMAN et al., 2000; CAETER et al., 2000; CARVALHO et al., 2005).

Segundo Haining (2003), a análise espacial representa um conjunto de técnicas que utilizam explicitamente a referência espacial associada aos dados do sistema investigado. Métodos de análise espacial criam suposições sobre esses dados, procuram descrever as relações ou interações espaciais do objeto em estudo. Os resultados de qualquer análise espacial nunca serão os mesmos sobre rearranjos da distribuição espacial de valores ou reconfigurações da estrutura espacial do sistema investigado.

De acordo com Bailey (2001), a análise espacial refere-se à capacidade de manipular dados espaciais em diferentes formas e extrair conhecimento adicional como resposta.

Para Câmara et al. (2002), a análise espacial presta-se à mensuração de propriedades e relacionamentos, levando-se em consideração a localização espacial do fenômeno em estudo, ou seja, incorpora o espaço à análise que se deseja fazer.

Conforme Chou (1996), a análise espacial foi concebida para responder perguntas relacionadas com a ordem ou associação espacial de um fenômeno.

As relações espaciais são muito importantes em análises espaciais, sendo que o domínio da aplicação determinará a importância de cada tipo de relação. As relações espaciais podem ser agrupadas em três categorias (BERTINI, 2003):

- Topológicas: descrevem conceitos de vizinhança, incidência e sobreposição, não variando com a escala ou com a rotação, como por exemplo, disjunto, adjacente, dentro de;
- Métricas: consideradas em termos de distâncias (como perto, longe) e direções (como, norte, sul etc.);
- De ordem (total ou parcial): são descritas por preposições do tipo em frente a, acima de, abaixo de etc.

Ainda segundo Bertini (2003), outra questão que merece destaque são os dados espaciais. Dados espaciais descrevem fenômenos associados à dimensões espaciais e possuem três características importantes:

- Espaciais: informam a geometria e posição geográfica do fenômeno;
- Não-espaciais: descrevem o fenômeno;
- Temporais: informam o período de validade dos dados geográficos e suas variações no tempo.

Para Meneses (2003), a análise espacial apresenta duas vertentes principais, a estatística espacial e a modelagem espacial. A primeira gera modelos matemáticos de distribuição e correlação, os quais incorporam propriedades de significância e incerteza, resultantes da dimensão espacial. Já a modelagem espacial usa técnicas de redes neurais, busca heurística e autômatos celulares para explorar grandes bases de dados e gerar resultados empíricos.

2.3.1 ESTATÍSTICA ESPACIAL

As técnicas de estatística espacial consideram explicitamente as coordenadas geográficas dos dados a serem analisados (ROCHA 2004). A estatística espacial permite analisar a localização espacial de eventos de modo a modelar a ocorrência destes fenômenos.

Segundo Costa (2003), a estatística espacial é um conjunto de técnicas estatísticas utilizadas para analisar e estimar valores de uma variável que esta distribuída no espaço ou no tempo. Sendo aplicada principalmente quando os valores das amostras não são independentes, ou seja, existe uma continuidade espacial entre eles. A estatística espacial é constantemente utilizada no conhecimento físico de determinado fenômeno, na predição de valores desconhecidos, na modelagem de incertezas, na geração de mapas por simulação, dentre outros.

A estatística espacial é muito útil quando se procura definir de forma objetiva o conteúdo investigado por meio de medidas como densidades, dispersão, concentração, vizinhança, potencial, acessibilidade, etc. (PAREDES,1994).

Segundo Anselin (1992), a característica que distingue a análise estatística dos dados espaciais é que seu foco principal está em inquirir os padrões espaciais de lugares e valores, a associação espacial entre eles e a variação sistemática do fenômeno por localização.

Bailey e Gatrell (1995) dividem a estatística espacial em quatro grandes áreas, de acordo com o tipo de dado disponível e finalidade desejada:

- Eventos pontuais: esses métodos têm por objetivo estudar a distribuição espacial de eventos associados a representações pontuais, verificando se sua disposição apresenta características de aleatoriedade, de regularidade ou de aglomeração (Diggle, 2003);

- Superfícies contínuas: esses métodos têm por objetivo estudar a distribuição espacial dos valores de um atributo sobre toda a região de estudo, a partir de uma amostra coletada pontualmente. É útil na obtenção de estimativas de valores do atributo em pontos não amostrados;
- Áreas com contagens ou taxas agregadas: tem por objetivo estudar a distribuição espacial de eventos, agregados em áreas discretas, dentro de uma região previamente delimitada;
- Interação espacial: esse método tem por objetivo modelar um padrão de fluxo, em termos de acessibilidade geográfica, relacionando origens e destinos.

Segundo Smallman Raynor e Cliff (1991), as modelagens de padrões de fluxo são uteis na análise dos deslocamentos populacionais (de vetores, hospedeiros ou parasitas), cujos fluxos são determinantes na compreensão dos mecanismos de propagação epidêmica.

2.3.1.1. DETECÇÃO DE CONGLOMERADOS ESPACIAIS

Segundo Moura (2006), nos últimos anos o estudo de conglomerados espaciais vem ganhando espaço na literatura, sendo, vários métodos propostos para a detecção dos mesmos. O termo cluster também é usado para definição de conglomerado espacial.

Um conglomerado é uma área de risco significativamente distinto (elevado ou baixo), mas não explicado pelas covariáveis conhecidas. Os conglomerados são ditos puramente espaciais quando a ocorrência dos casos é mais alta em algumas áreas do que em outras. Quando a incidência dos casos é mais alta durante um determinado intervalo de tempo, esses conglomerados são puramente temporais. Quando a análise é feita levando-se em conta tanto o espaço quanto o tempo esses conglomerados são ditos espaço-temporais. (ASSUNÇÃO, 2001).

O método de varredura espacial de Kulldorff, ou Estatística Scan, foi inicialmente desenvolvido para uso em estudos epidemiológicos humanos. Para a aplicação da Estatística Scan, é necessário dados contendo as coordenadas espaciais de um conjunto de localizações. Para cada localização são necessárias informações sobre o número de casos atribuídos a mesma, sendo que, para as análises temporais e espaço-temporais, o número de casos deve estar estratificado pelo tempo (KULLDORFF, 2010).

Desde sua criação no ano de 1995 por Kulldorff e Nagarwalla, onde os autores apresentaram a metodologia original utilizando-se o modelo Bernoulli, à estatística Scan tem evoluído com a proposição de novos modelos de probabilidade para a variável de interesse. Atualmente, é possível detectar conglomerados supondo que a variável de interesse siga os modelos de probabilidade: Bernoulli, Poisson, Ordinal, Permutação espaço-temporal, Exponencial e Normal. Tem-se, ainda, o modelo Bayesiano e Não-paramétrico propostos para vigilância e detecção de surtos de doenças.

A escolha do modelo depende da distribuição da variável de interesse em estudo. Para dados oriundos de contagens os modelos indicados são Poisson, Bernoulli e Permutação espaço-temporal. Para dados categóricos é indicado o modelo Multinominal. O modelo ordinal é indicado quando o número de casos apresenta categorias hierárquicas. Quando os casos apresentam valores contínuos o modelo Normal e Exponencial podem ser usados.

A teoria geral estatística utilizada como base nos modelos é descrita em detalhes por Kulldorff (1997) para o modelo de Bernoulli e Poisson, por Kulldorff et al. (2005) para Permutação espaço-temporal, por Jung et al. (2008) para Multinomial, por Jung et al. (2007) para Ordinal; por Huang et al. (2006) para Exponencial, por Kulldorff et al. (2009) para o modelo Normal, por Neil et al.. (2008) para o Bayesiano e por Neil e Lingwall (2008) para o modelo Não-paramétrico.

A Estatística Scan pode ser usada tanto para dados agregados de área quanto para dados pontuais. A estatística scan padrão puramente espacial impõe uma janela circular de varredura sobre os dados espacializados. A janela é centrada em cada uma das coordenadas do conjunto de localizações definido para estudo (pontos ou centróides), ou ainda, em possiveis pontos centróide de uma grade posicionados ao longo da região de estudo. Para cada ponto (ou centróide), o raio da janela varia continuamente em tamanho, de zero a um limite superior especificado. Desta forma, a janela circular é flexível tanto na localização quanto no tamanho. No final, é criado um número infinito de diferentes círculos geográficos, abrangendo diferentes conjuntos de localizações. Cada círculo é um candidato a possivel cluster (KULLDORFF, 2010).

Ao usar janelas circulares, o método pode apresentar algumas deficiências. Se o conglomerado real tiver um formato muito diferente de um círculo, é possível identificar um conglomerado maior do que o real (superestimação do conglomerado), ou ainda, encontrar um conglomerado pequeno que inclui poucas regiões do conglomerado real (subestimação do conglomerado) (ASSUNÇÃO, 2001; MOURA, 2006).

O uso da razão de verossimilhança ponderada, no qual pesos funcionam como um fator de correção para o teste, foi proposto por Ronald e Murray (2001). Duczmal e Assunção (2004) acrescentaram no mapa uma estrutura de grafo, onde neste caso, as áreas encontradas como conglomerados são zonas conectadas com formato irregular. Outras formas também são possíveis de serem usadas, como por exemplo, elipses, quadrados ou triângulos (MOURA, 2006).

Ainda segundo Moura (2006), muitos métodos têm sido desenvolvidos para detecção de cluster de forma arbitrária, mas, no geral, o scan circular tem mostrado ser mais eficiente que todos estes.

2.3.1.1.1. MODELO DE POISSON

Para descrever a Estatística Scan para o modelo de Poisson, conforme proposto em Kulldorff (1997), é necessário conceituar zona e cluster. Considere um mapa dividido em m regiões, onde cada região R_i ($i = 1, ...,m$) tem uma população N_i e uma contagem C_i que representa o número de casos de um determinado tipo de ocorrência (crime, doenças, etc.) e que estão distribuídos aleatoriamente pelas regiões do mapa. Denotamos por $N = \sum_{i=1}^{m} N_i$ e $C = \sum_{i=1}^{m} C_i$ respectivamente a população e o número total de ocorrências no mapa. Uma zona z é definida como um subconjunto conexo de regiões do mapa. O conjunto de todas as zonas z será denotado por Z. Um cluster representa um subconjunto de regiões do mapa em que a ocorrência de casos é discrepante do restante do mapa, seja por ser a contagem dos casos alta ou baixa demais.

Usa-se o modelo de Poisson para descrever a distribuição dos casos entre as regiões do mapa. Considera-se que o número de casos C_i é uma variável aleatória com distribuição de Poisson cujo parâmetro λ_i , que representa o número esperado de casos, é tal que $\lambda_i = p_i N_i$, onde P_i representa a probabilidade de um indivíduo da região R_i ser um caso ou ocorrência. Escrevemos que $C_i \sim Poisson(\lambda_i = p_i N_i)$. Neste caso o número de casos C_z em uma zona z será uma variável de Poisson com parâmetro $\lambda_z = pN_z$ sendo N_z a população da zona z e p a probabilidade de um indivíduo qualquer da zona z ser um caso.

A situação em que a probabilidade p , estimada por C/N , de um indivíduo ser um caso em qualquer parte do mapa seja igual, é uma hipótese que supõe a não existência de cluster no mapa, sendo esta denominada hipótese nula H_0. A hipótese alternativa supõe a existência de pelo menos uma zona $z_c \in Z$ onde a probabilidade p de um indivíduo ser um caso é maior ou menor do que a probabilidade q de um indivíduo em uma região qualquer do mapa fora da zona z_c ser um caso. O problema de detecção de clusters pode ser visto como um teste de hipóteses onde $H_0 : p = q$ e $H_1 : p > q \text{ ou } p < q$.

Define-se *L(z)* como sendo a verossimilhança da zona z sob a hipótese alternativa H_1 e L_0 a verossimilhança sob H_0. Considera-se $\mu(z)=(C/N)N_{(z)}$ o número esperado de casos dentro da zona z sob H_0, então define-se a razão de verossimilhança como sendo:

$$LR(z) = \begin{cases} \left(\frac{C_z}{\mu(z)}\right)^{C_z} \left(\frac{C-C_z}{C-\mu(z)}\right)^{C-C_z}, & se\ \frac{C(z)}{\mu(z)} > 1 \\ 1 & c.c. \end{cases} \quad (1)$$

Para cada zona z tem-se uma $LR(z)$, Kulldorff (1997) definiu a Estatística Scan Espacial como:

$$T = max_{z \in Z}\{LR(z)\} \quad (2)$$

Onde Z é o conjunto de todas as zonas z. A zona z_c que maximiza $LR(z)$ será definida como zona mais verossímil. Em particular a Estatística Scan será definida como o máximo no conjunto de todas as janelas circulares centradas nos pontos ou centróides de cada região.

2.3.1.1.2. SIGNIFICÂNCIA ESTATÍSTICA

A princípio a zona z_c que maximiza a razão de verossimilhança é uma candidata a cluster. Somente após a verificação de sua significância estatística a zona z poderá ter seu status alterado para cluster detectado.

Para testar a significância da estatística, utilizam-se as simulações de Monte Carlo como apresentado em Dwass (1957). Essa simulação consiste em construir milhares de réplicas do mapa original em que o número total de casos C está fixo e os casos em cada região são distribuídos aleatoriamente sob H_0. Para cada réplica tem-se um valor da estatística T. O conjunto destes valores gera uma distribuição empírica da estatística de teste. O *p-valor* da estatística de teste $LR(z_c)$ para o mapa dos casos observados pode ser estimado determinando o posto ocupado pelo seu valor no meio dos valores da distribuição empírica da estatística de teste sob H_0. Ou seja, o *p-valor* do cluster é estimado como sendo a proporção entre o número de

valores empíricos de $LR(z)$ que ultrapassam o valor de $LR(z_c)$ e o número total de mapas gerados aleatoriamente na simulação. Se esta proporção exceder 95%, então, o conglomerado é considerado significativo ao nível de 0,05 (*p-valor*).

3. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde ao Município de Manaus, capital do Estado do Amazonas e situado na região norte do país (ver figura 02). O Município está localizado à margem esquerda do Rio Negro, junto à confluência deste com o Rio Solimões (Rio Amazonas). O mesmo teve origem em 1669 como um pequeno arraial formado em torno do Forte de São José da Barra do Rio Negro. No ano de 1833 passou a categoria de Vila com o nome de Manaós, homenagem à tribo indígena de mesma denominação que habitava a região cujo nome significa "Mãe de Deus". Em 24 de Outubro de 1848 recebe o título de cidade, tornando-se a Capital da Província do Amazonas. Na atualidade o Município é considerado o portão de entrada para a Floresta Amazônica.

Figura 02: Localização geográfica de Manaus.

Segundo dados do censo 2010 realizado pelo IBGE, Manaus possui área territorial de 11.401,077 km² e população de 1.802.014 habitantes, dos quais 1.792.881 residem na área urbana (99,49%).

O Município de Manaus foi escolhido como área de estudo por tratar-se de uma área malarígena, por apresentar um programa de vigilância epidemiológica atuante e principalmente por possuir quase a totalidade das LTM cadastradas no SIVEP_malária georreferenciadas (95,96%, 831 de 866).

A figura 03 mostra a distribuição espacial das LTM, cuja espacialização fornece a percepção de como a população está distribuída em Manaus. Nessa figura percebe-se que as LTM (portanto a população) estão concentradas na área urbana e espaçadas as margens dos rios, igarapés e rodovias na área rural. Percebe-se também que algumas LTM pertencem geograficamente ao Município de Rio Preto da Eva. Isto é resultado de uma pactuação realizada entre os dois Municípios. Por apresentar melhor logística de acesso, as populações destas LTM são atendidas pela Vigilância Epidemiológica de Manaus quanto às ações de controle da malária. Portanto, serão consideradas como pertencentes ao território de Manaus, sendo incluídas no estudo.

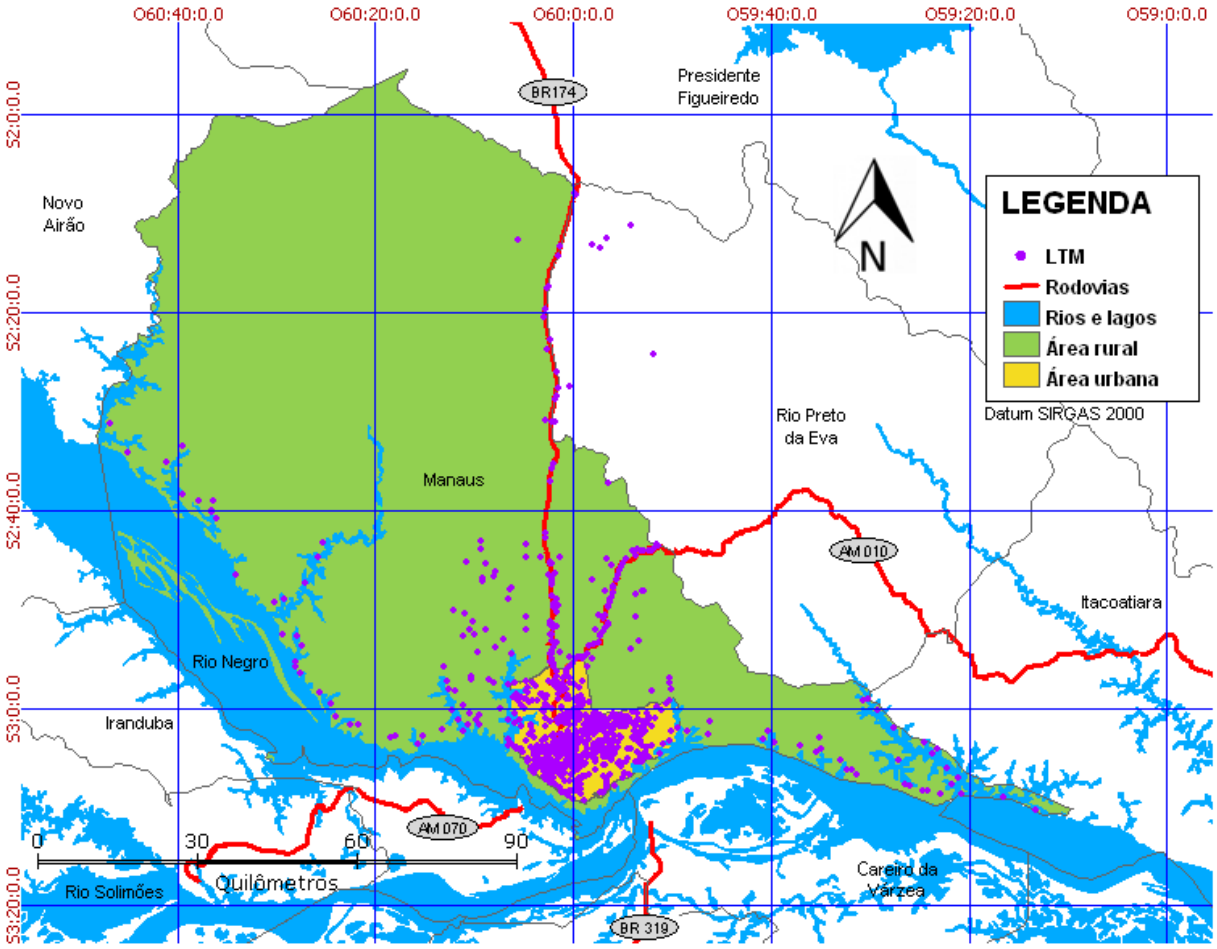


Figura 03: Localidades de Transmissão da Malária (LTM) em Manaus.

O gráfico 01 mostra a série histórica dos registros de casos positivos de malária tendo o Município de Manaus como local provável de infecção nos últimos 20 anos (1992 a 2011). No mesmo gráfico estão plotados dados de população para o mesmo período. Os dados de população foram obtidos do IBGE e os de malária da SVS/MS.

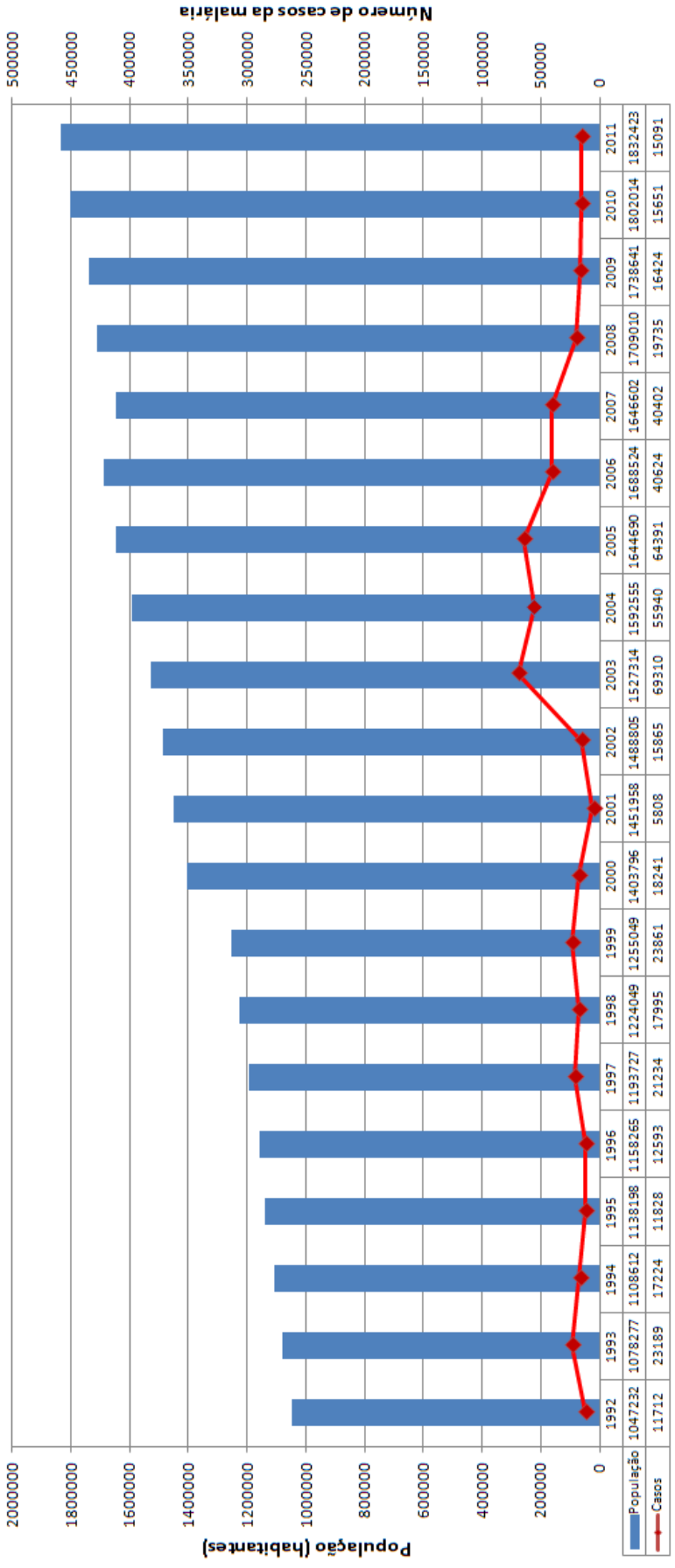


Gráfico 01: População e número de casos da malária em Manaus de 1992 a 2011.

Ao observar o gráfico 01 percebe-se que até o ano de 1999 os casos registrados de malária sofriam pequenas variações anuais e aproximadamente acompanhavam o crescimento populacional de Manaus. No ano de 2001 ocorreu uma redução (5.801 casos registrados) seguida de um forte acréscimo em 2003 (69.310 casos). Após forte campanha do governo no controle da malária, os números de casos da doença baixaram. Desde o ano de 2008 a malária tem se mantido estável, sendo que, o ano de 2011 teve o registro de 15.091 casos de malária para Manaus como local de provável infecção, o que representa um índice parasitário de 8,23 casos/1.000 habitantes, valor considerado pela SVS/MS como indicativo para área de baixo risco de transmissão da doença.

Apesar do baixo índice parasitário e da grande redução dos casos de malária em Manaus nos últimos anos, os valores absolutos do número de casos ainda são altos. Isto, associado a grande quantidade de LTM cadastradas no SIVEP_malária, torna o Município de Manaus adequado à aplicação deste estudo.

Os resultados obtidos neste estudo são provenientes dos dados de notificação da malária referentes ao ano 2011.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente capítulo encontra-se organizado segundo recursos disponíveis e metodologia empregada.

4.1. RECURSOS DISPONÍVEIS

No desenvolvimento deste estudo foram utilizados os programas computacionais:

- Empregados para manipulação e análise de dados SIG: Terra View 4.2.0, Quantum GIS 1.8.0 Lisboa e Spring 5.2 (disponibilizados gratuitamente);
- Empregados para detecção de clusters: SaTScan 9.1.1 (disponibilizado gratuitamente);
- Empregados para manipulação de banco de dados e planilhas: Microsoft Office Access 2010 e Microsoft Excel 2010.

Os dados utilizados foram:

- Dados de notificação da malária referente ao Município de Manaus no ano de 2011, disponibilizados pelo SIVEP em 08/08/2012;
- Dados das LTM referentes ao Município de Manaus, disponibilizados pelo SIVEP em 08/08/2012;
- Malha digital dos setores censitários 2010 referente ao Município de Manaus, disponibilizado pelo IBGE em 09/07/2011;
- Imagens do satélite Landsat 5 (órbita 231, ponto 62 de 31/08/2011), disponibilizadas pelo INPE em 19/09/2012.

4.2. METODOLOGIA

O estudo obedeceu aos passos ilustrados no diagrama abaixo (figura 04).

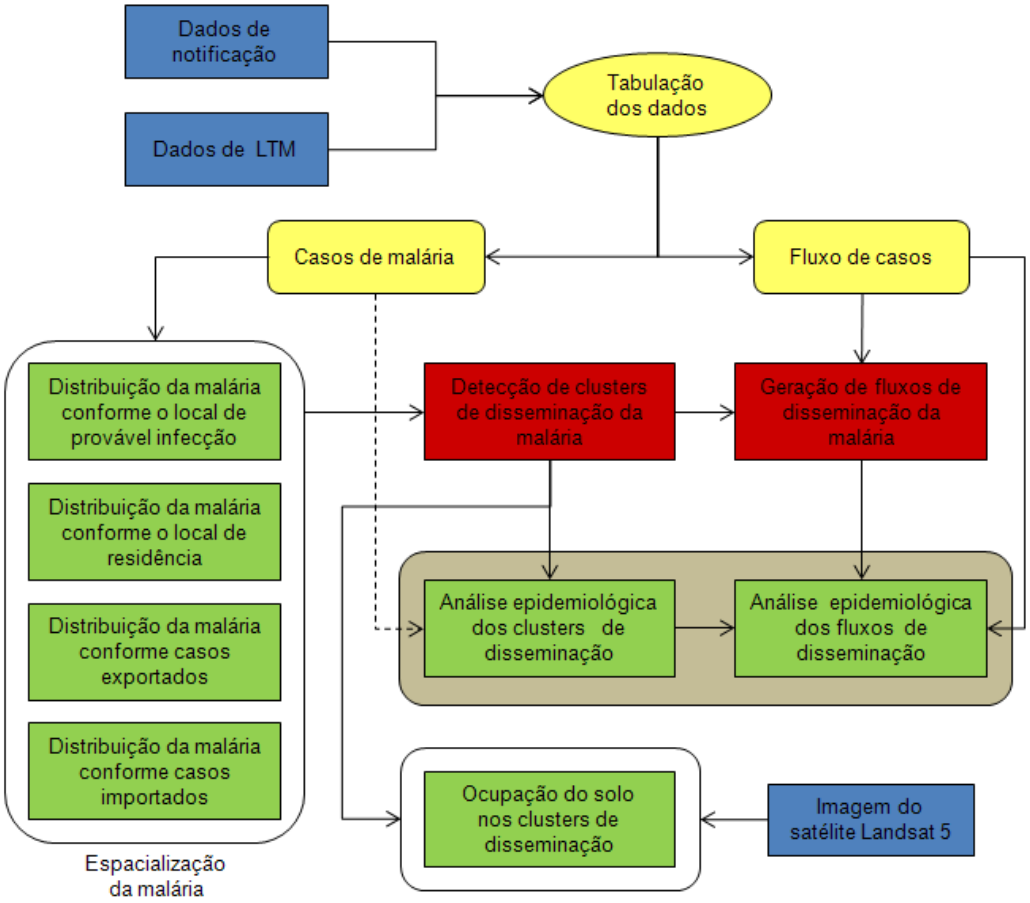


Figura 04: Diagrama da metodologia.

Por meio dos dados de notificação da malária, assim como dos de LTM, foram tabulados os casos e fluxos de malaria. Da espacialização dos casos da malária foram detectados os clusters de disseminação de doença e destes, juntamente aos dados de fluxo de casos, geraram-se os fluxos de disseminação da mesma.

Para os clusters detectados e fluxos gerados realizou-se a análise espacial dos dados epidemiológicos. Destas análises foram definidos os padrões de disseminação da malária observados no Município de Manaus para o ano de 2011.

De forma a complementar o estudo, foi analisada a forma de ocupação do solo nos clusters de disseminação da malária detectados.

4.2.1. TABULAÇÃO DOS DADOS

Foram tabulados os dados de notificação da malária referentes ao Município de Manaus para o ano de 2011. Nestes dados estão contidas as informações que vieram a ser descritas nas fichas de notificação dos casos de malária (ver anexo 02), para o período pesquisado.

Foi de interesse a este estudo somente os registros de notificação positiva da doença que não sejam LVC (Lâmina de Verificação de Cura). A exclusão dos casos positivos de LVC garantiu que fossem analisados somente os casos novos de malária, descartando os casos mal curados e considerados reincidentes (prevalentes). Ou seja, somente foram analisados os casos incidentes da malária.

O quadro 02 mostra os campos dos registros de incidência da doença que foram utilizados no estudo.

Quadro 02: Dados de notificação da malária (modelo).

Data de notificação	Município de residência do paciente	Local de residência do paciente	Município de provável infecção do paciente	Local de provável infecção do paciente
03/04/2011	130260	012	130260	130
01/01/2011	130260	130	130260	130
21/10/2011	130260	631	130260	331
...	...	...	...	...

No quadro 02 os Municípios estão informados pelo do código municipal do IBGE, neste caso, o código de Manaus. Os locais de residência e de provável infecção estão informados por códigos específicos do SIVEP_malária que representam as LTM.

O arquivo de LTM contêm as coordenadas geográficas das mesmas (ver quadro 03). Portanto, foi necessária a criação de uma chave primária (Código LTM)

entre as tabelas dos dados de notificação e de LTM para que as informações epidemiológicas pudessem ser espacializadas.

Quadro 03: Dados de LTM (modelo).

Código LTM	Nome da LTM	Município	Latitude	Longitude
012	RAMAL DA JONASA AM-010	130260	-2.95875	-60.00676
130	NSA. SRA. DA SAUDE RIO NEGRO	130260	-2.82173	-60.50249
331	CIDADE NOVA III NUCLEO 4	130260	-3.043146	-59.981487
...	...	...	...	...

As LTM são espacialmente representadas por pontos (ver figura 03). Originalmente as informações das coordenadas geográficas estão em graus decimais no WGS 84.

Os dados foram tabulados em dois momentos distintos. Primeiro foram determinados os números de casos importados e exportados para cada LTM e, posteriormente, o fluxo destes casos.

4.2.1.1. CASOS EXPORTADOS E IMPORTADOS

Para a análise dos padrões de disseminação da malária é necessário que se tenha conhecimento dos casos exportados e dos importados em cada LTM. Estas informações são facilmente obtidas através da tabulação dos dados de notificação da malária (ver quadro 02).

Foram analisados somente os casos autóctones à Manaus, ou seja, os casos naturais da região de residência do paciente. Portanto, autóctone à Manaus significa que o adoecido reside no município e contraiu a doença no mesmo, isto é, no registro da doença os campos referentes ao município de residência e município de provável infecção devem ser iguais, neste caso, Manaus.

A adoção desta medida limitou o estudo da disseminação da malária somente ao território de Manaus, desconsiderando as infecções ocorridas em outros

municípios por pacientes residentes em Manaus, assim como as ocorridas em Manaus por pacientes residentes em outros municípios.

Os dados foram tabulados de modo a se obter para cada LTM o total de casos por local de residência, por local de provável infecção e autóctones (ver quadro 04). Sendo agora, os casos autóctones entendidos como os registros que possuem local de provável infecção e local de residência iguais. Portanto, autóctones às LTM.

Quadro 04: Casos de malária tabulados (modelo).

Código LTM	Número de casos de malária				
	Local de provável infecção na LTM	Local de residência na LTM	Autóctone à LTM	Exportado pela LTM	Importado pela LTM
001	101	208	91	10	117
371	113	73	73	40	0
623	4	3	3	1	0
...	...	...	...	...	...

Os números de casos exportados são obtidos pela diferença entre o número de casos por local de provável infecção e casos autóctones às LTM, enquanto que os importados pela diferença entre o número de casos por local de residência e, novamente, os casos autóctones às LTM (ver equações 3 e 4).

$$cs\ exp\ LTM = cs\ infe\ LTM - cs\ autóc\ LTM \quad (3)$$

$$cs\ imp\ LTM = cs\ resi\ LTM - cs\ autóc\ LTM \quad (4)$$

onde:
cs exp LTM: casos de malária exportados pela LTM.
cs imp LTM:casos de malária importados pela LTM.
cs infe LTM: casos de malária por local de provável infecção na LTM.
cs resi LTM: casos de malária por local de residência na LTM.
cs autoc LTM: casos autóctones à LTM.

Considerando as equações acima, os casos exportados e importados são referentes aos registros da doença que possuem LTM de provável infecção diferente da LTM de residência.

4.2.1.2. FLUXO DE CASOS

Nesta etapa foram tabulados os fluxos dos casos alóctones às LTM pertencentes ao Município de Manaus. Os casos alóctones são todos os casos que não sejam autóctones, neste caso, os que possuem LTM de provável infecção e LTM de residência diferentes. Portando, os casos importados e exportados.

Considerando que os casos exportados são os que “emigram” de uma LTM para outra e os importados os que “imigram”, então sua classificação depende do ponto de vista de quem observa. Isto é, os casos que emigram de uma LTM são os que imigram em outra, formando fluxos.

Semelhante ao caso anterior, as informações de fluxo foram obtidas pela tabulação dos dados de notificação da malária (ver quadro 02). Os dados foram tabulados de modo a se obter, para cada fluxo, a LTM de provável infecção (que é a LTM exportadora da malária e origem do fluxo), a LTM de residência (que é a LTM importadora e destino do fluxo) e o número total de casos atribuídos ao fluxo (ver quadro 05).

Quadro 05: Fluxo de casos tabulados (modelo).

LTM exportadora	LTM importadora	Casos atribuídos ao fluxo
007	140	24
151	227	10
026	003	1
...	...	...

4.3. ESPACIALIZAÇÃO DOS CASOS DE MALÁRIA

Estas análises mostram a espacialização das LTM conforme a distribuição dos casos da doença por:

- Local de provável infecção;
- Local de residência;
- Exportados;
- Importados.

Estas análises têm como objetivo a caracterização da distribuição da doença em Manaus no ano de 2011 e a formatação de dados para a detecção dos clusters de disseminação da malária.

4.4. DETECÇÃO DE CLUSTERS DE DISSEMINAÇÃO DA MALÁRIA

O objetivo da detecção de clusters não é delimitar áreas específicas, mas reconhecer conglomerados de LTM com potencialidades em comum, neste caso, a probabilidade de casos exportados e importados da doença.

A detecção dos clusters tornou possível a simplificação, assim como a potencialização, dos fluxos existentes. O método utilizado para a detecção dos clusters foi o da estatística de varredura espacial, mais conhecido como Estatística Scan. Como os dados de análise são pontuais com contagens, foi aplicado o modelo de Poisson que é específico para estes casos.

O processo foi realizado por varredura circular, sendo limitada a 50% da população. A análise foi puramente espacial.

Os clusters de disseminação da malária foram detectados para duas situações. Reconhecimento de conglomerados de LTM exportadoras da doença e reconhecimento de conglomerados de LTM importadoras.

4.4.1. LTM EXPORTADORAS

Para reconhecimento dos conglomerados das LTM exportadoras da doença (clusters exportadores), foram utilizados os seguintes dados referentes às mesmas:

- Número de casos exportados;
- Número de casos por local de provável infecção;
- Latitude e longitude (ponto) das LTM.

De modo bastante simplificado, o que se forma é uma razão, considerada no cálculo da Estatística Scan como sendo a probabilidade (ver capítulo 2), onde o

numerador é o número de casos exportados e o denominador é o número de casos por local de provável infecção (ver equação 5).

$$prob\exp LTM = \frac{cs\exp LTM}{cs\ infe\ LTM} \quad (5)$$

onde:
prob exp LTM: probabilidade de casos de malária exportados na LTM.
cs exp LTM: casos de malária exportados pela LTM.
cs infe LTM: casos de malária por local de provável infecção na LTM.

O valor de casos exportados deriva diretamente do número de casos por local de provável infecção, potencializando a informação sobre a probabilidade de casos exportados por cada LTM.

A operação foi realizada de modo a detectar clusters com altos valores de probabilidade como formulada na equação 5. Basicamente, cada cluster detectado contém um conjunto de LTM, onde a probabilidade média destas LTM é maior que a probabilidade média das demais LTM, ou seja, as externas ao cluster detectado.

Somente foram aproveitados os clusters que obtiverem significância estatística (*p*-valor) máxima de 0,05 para 999 simulações (significância > 95%).

4.4.2. LTM IMPORTADORAS

O reconhecimento dos conglomerados das LTM importadoras de malária (clusters importadores) segue a mesma metodologia da seção anterior. Os seguintes dados referentes às LTM foram utilizados na detecção dos clusters:

- Número de casos importados;
- Número de casos por local de residência;
- Latitude e longitude das LTM.

A probabilidade (ver equação 6) fica formulada pela razão entre o número de casos importados (numerador) e o número de casos por local de residência (denominador).

$$prob\ imp\ LTM = \frac{cs\ imp\ LTM}{cs\ resi\ LTM} \quad (6)$$

onde:
prob imp LTM: probabilidade de casos de malária importados na LTM.
cs imp LTM: casos de malária importados na LTM.
cs res LTMi: casos de malária por local de residência na LTM.

O valor de casos importados deriva diretamente do número de casos por local de residência, potencializando a informação sobre a probabilidade de casos importados de cada LTM.

Semelhante aos clusters exportadores, a operação foi realizada de modo a detectar clusters com altos valores da probabilidade como acima formulada. Cada cluster detectado contém um conjunto de LTM, onde a probabilidade média destas localidades é maior que a probabilidade média das demais LTM.

Somente foram aproveitados os clusters que obtiverem significância estatística (*p*-valor) máxima de 0,05 para 999 simulações (significância > 95%).

4.4.3. ANÁLISE EPIDEMIOLÓGICA DOS CLUSTERS

Na análise dos clusters de disseminação da malária foram determinadas às características epidemiológicas destes quanto aos casos da doença notificados para o ano de 2011. Obtiveram-se as seguintes informações para cada cluster detectado:

- Número de LTM abrangidas;
- Número de casos por local de provável infecção no cluster;
- Número de casos por local de residência no cluster;
- Número de casos autóctones ao cluster;
- Número de casos exportados pelo cluster;
- Número de casos importados pelo cluster.

Os casos autóctones aos clusters são aqueles que possuem local de provável infecção e local de residência referentes à LTM abrangidas por determinado cluster,

não necessitando ser necessariamente a mesma LTM. Embora, os casos autóctones às LTM façam parte dos casos autóctones aos clusters que às abrange.

Outro fator importante, que também devem ser considerado, são os casos de malária referentes a regiões de intersecção de clusters. Sendo que, devido à metodologia adotada, somente é possível de ocorrer intersecção entre clusters exportadores e importadores.

Deve ser considerado que em casos de intersecção entre clusters é possível que casos autóctones a um cluster também sejam casos importados por outro cluster, ou ainda, casos exportados por um cluster também sejam casos autóctones a outro cluster. Pois, nestes casos, os clusters estariam invadindo o limite geográfico um do outro e compartilhando LTM.

Quanto ao cluster exportador, a informação que se deseja é o número de casos por ele exportados e destinados às LTM situadas em região de intersecção. Enquanto que, ao cluster importador interessa o número de casos por ele importados e originados nas LTM situadas em região de intersecção.

Considerando que os casos autóctones aos clusters são casos que não ultrapassam o limite geográfico dos mesmos e, a princípio, não devem ser considerados como exportados ou importados, mas em caso de intersecção de clusters é possível que ocorra exportação e/ou importação dos mesmos, então, pode-se afirmar que:

- Para o cluster exportador:

$$cs\ autóc\ cluster = cs\ autóc\ cluster\ bruto - cs\ exp\ inter \quad (7)$$

$$cs\ exp\ cluster = \sum cs\ exp\ LTM + \sum cs\ autóc\ LTM - cs\ autóc\ cluster \quad (8)$$

$$cs\ imp\ cluster\ = \sum cs\ imp\ LTM + \sum cs\ autóc\ LTM - cs\ autóc\ cluster \quad (9)$$

$$cs\ \text{infe}\ cluster = cs\ \text{autóc}\ cluster + cs\ \text{exp}\ cluster \quad (10)$$

$$cs\ resi\ cluster\ = cs\ autóc\ cluster + cs\ imp\ cluster \quad (11)$$

- Para o cluster importador:

$$cs\ autóc\ cluster' = cs\ autóc\ cluster\ bruto + cs\ imp\ inter \quad (12)$$

$$cs\ exp\ cluster' = \sum cs\ exp\ LTM + \sum cs\ autóc\ LTM - cs\ autóc\ cluster' \quad (13)$$

$$cs\ imp\ cluster' = \sum cs\ imp\ LTM + \sum cs\ autóc\ LTM - cs\ autóc\ cluster' \quad (14)$$

$$cs\ infe\ cluster' = cs\ autóc\ cluster' + cs\ exp\ cluster' \quad (15)$$

$$cs\ resi\ cluster' = cs\ autóc\ cluster + cs\ imp\ cluster' \quad (16)$$

onde:
cs autóc cluster: casos de malária autóctones ao cluster exportador.
cs exp cluster: casos de malária exportados pelo cluster exportador.
cs imp cluster: casos de malária importados pelo cluster exportador.
cs infe cluster: casos de malária por local de provável infecção no cluster exportador.
cs resi cluster: casos de malária por local de residência no cluster exportador.
cs exp cluster': casos de malária exportados pelo cluster importador.
cs imp cluster': casos de malária importados pelo cluster importador.
cs autóc cluster': casos de malária autóctones ao cluster importador.
cs infe cluster': casos de malária por local de provável infecção no cluster importador.
cs resi cluster': casos de malária por local de residência no cluster importador.
cs autóc cluster bruto: casos autóctones ao cluster sem considerar uma possível intersecção.
cs exp inter: casos exportados pelo cluster exportador e destinados à região de intersecção.
cs imp inter: casos importados pelo cluster importador e originados na região de intersecção.
∑cs exp LTM: somatória dos casos exportados pelas LTM abrangidas pelo cluster.
∑cs imp LTM: somatória dos casos importados pelas LTM abrangidas pelo cluster.
∑cs autóc LTM: somatória dos casos autóctones as LTM abrangidas pelo cluster.

O conceito de "casos autóctones ao cluster bruto", aqui inserido, trata dos casos autóctones ao cluster sem considerar uma possível intersecção deste com outro cluster, o que pode interferir na contagem dos casos.

Os valores de casos de malária autóctones aos clusters bruto foram obtidos através da tabulação dos dados de notificação da malária (ver quadro 02) junto à informação das LTM abrangidas pelos clusters detectados. Sendo que a informação das LTM abrangidas pelos clusters foi dada pelo programa computacional Sat Scan quando operado para a detecção dos mesmos.

De forma semelhante, os valores de casos de malária referentes a regiões de intersecção de clusters (casos exportados pelo cluster exportador e destinados à região de intersecção, e casos importados pelo cluster importador e originados na região de intersecção) foram obtidos por meio da tabulação dos dados de notificação da malária (ver quadro 02) junto a informação das LTM abrangidas pelos clusters detectados.

4.5. GERAÇÃO DE FLUXOS DE DISSEMINAÇÃO DA MALÁRIA

Os fluxos foram gerados conforme os clusters de disseminação da malária detectados. Os mesmos tiveram origem nos clusters exportadores e destino nos clusters importadores.

Cada cluster exportador possui um fluxo com destino ao cluster que lhe importa casos da doença (cluster importador). Por exemplo, se houve a detecção de 02 clusters importadores, os clusters que exportassem casos da malária (clusters exportadores) para os dois clusters importadores teriam dois fluxos como origem, cada qual destinado a um cluster exportador.

4.5.1. ANÁLISE EPIDEMIOLÓGICA DOS FLUXOS

Na análise epidemiológica dos fluxos de disseminação da malária foram analisados os valores dos casos de malária atribuídos aos mesmos quanto aos casos exportados pelos clusters de origem e importados pelos clusters de destino dos fluxos.

Obtiveram-se para cada fluxo gerado as seguintes informações:

- Número de casos atribuídos ao fluxo;
- Número de casos exportados pelo cluster de origem (cluster exportador);
- Número de casos importados pelo cluster de destino (cluster importador).

Os fluxos de disseminação foram gerados no programa Terra View e os valores de casos de malária a eles atribuídos foram obtidos através da tabulação

dos dados de fluxo de casos (ver tabela 05) junto à informação das LTM abrangidas pelos clusters detectados.

4.6. FORMA DE OCUPAÇÃO DO SOLO NOS CLUSTER DETECTADOS

A análise da forma de ocupação do solo nos clusters de disseminação da malária foi realizada pela simples sobreposição dos clusters detectados à composição RGB das bandas 5, 4 e 3 do satélite Landsat 5. Trata-se de uma análise visual para identificação de feições que caracterizem fatores ambientais condicionantes da doença.

As principais feições a serem identificadas são:

- Ocupação humana / urbanização;
- Área verde;
- Rios e lagos.

Outro fator importante para qual imagem pode contribuir é o reconhecimento dos lugares abrangidos pelos clusters, as principais atividades econômicas e sociais que nelas ocorrem e favorecem a mobilidade humana e, assim, a disseminação da malária.

5. RESULTADOS

Os resultados estão apresentados conforme:

- Espacialização dos casos de malária;
- Detecção dos clusters de disseminação da malária;
- Geração dos fluxos de disseminação da malária;
- Forma de ocupação do solo nos clusters detectados.

5.1. ESPACIALIZAÇÃO DOS CASOS DE MALÁRIA

O objetivo desta é a caracterização da distribuição geográfica da malária em Manaus. Para tanto, foram analisadas a distribuição espacial dos casos da doença por local de provável infecção, por local de residência, por casos exportados e por importados. O quadro 06 mostra um resumo dos valores de casos de malária notificados para Manaus em 2011.

Quadro 06: Número de casos de malária em Manaus no ano de 2011.

Casos	Por local de provável infecção	Por local de residência
Total	16.821	18.862
Incidentes	14.603	16.340
Autóctones à Manaus	14.282	
Alóctones à Manaus	(exportados) 321	(importados) 2.058

Constatou-se um maior número de casos incidentes por local de residência do que por local de provável infecção, evidenciando a característica de o Município ser um importador da doença, ou seja, mais recebe casos (2.058) de outros Municípios e Estados do que envia (321).

5.1.1. DISTRIBUIÇÃO POR LOCAL DE PROVÁVEL INFECÇÃO

Para 2011, Manaus apresentou 16.821 casos registrados como local de provável infecção, destes 2.218 eram LVC. Portanto, 14.603 são incidentes, sendo, 14.282 autóctones à Manaus e, dos quais, 13.632 possuem LTM georreferenciadas

para o local de provável infecção (95,45%). A figura 05 mostra a distribuição espacial destes casos.

Nesta figura, visualiza-se a concentração de LTM com altos valores de casos por local de provável infecção em pelo menos duas regiões. Estas duas regiões encontram-se situadas no limite da área urbana, estando uma ao norte e outra ao oeste.

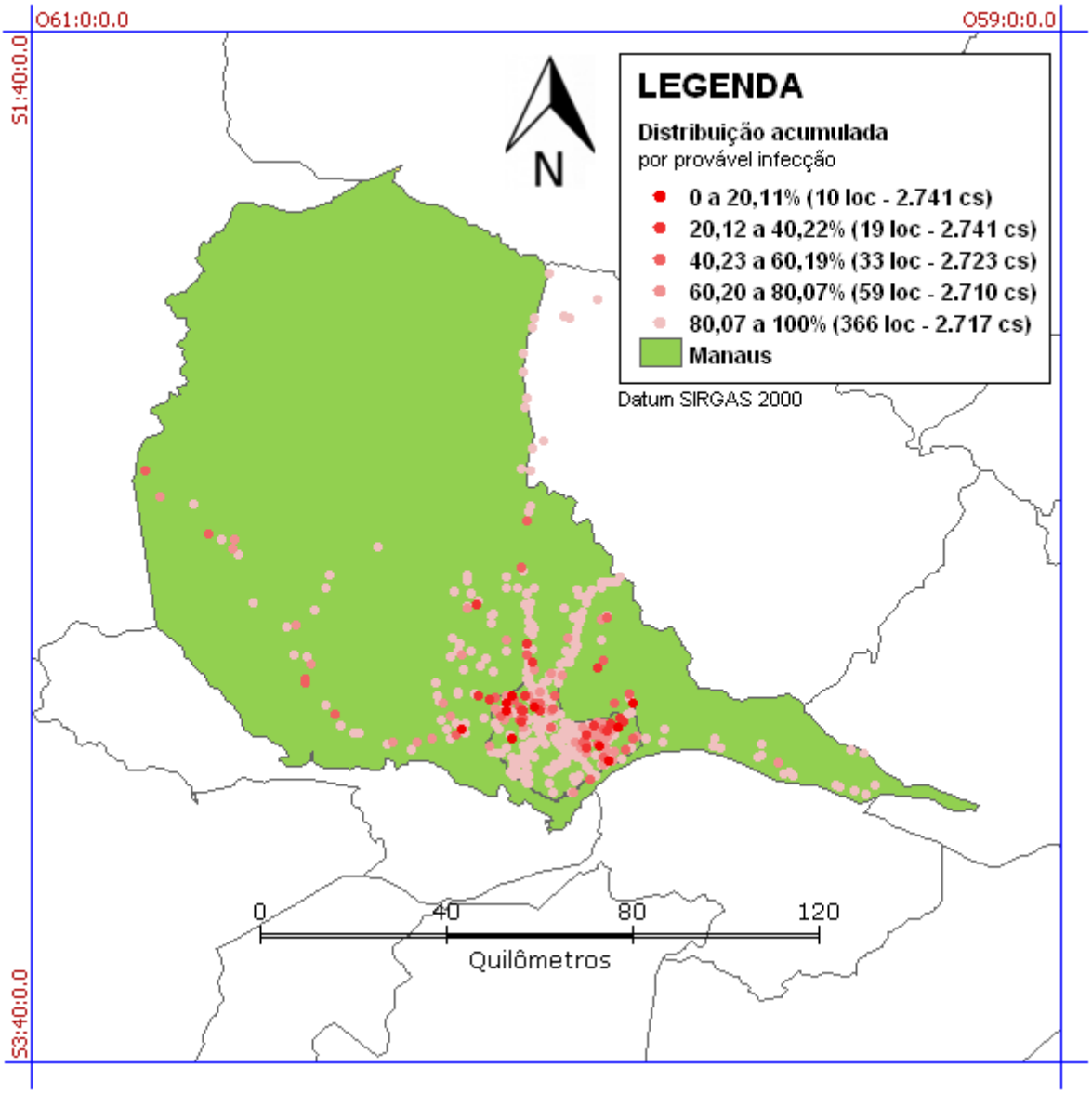


Figura 05: Distribuição da malária por local de provável infecção.

Ainda no mapa da figura 05, as LTM foram classificadas em quantis aproximados de 20% segundo a distribuição acumulada dos casos por local de provável infecção na ordem decrescente de valores. Esta classificação pode ser mais bem compreendida ao traçar-se relações entre as informações da figura 05 e do gráfico 02.

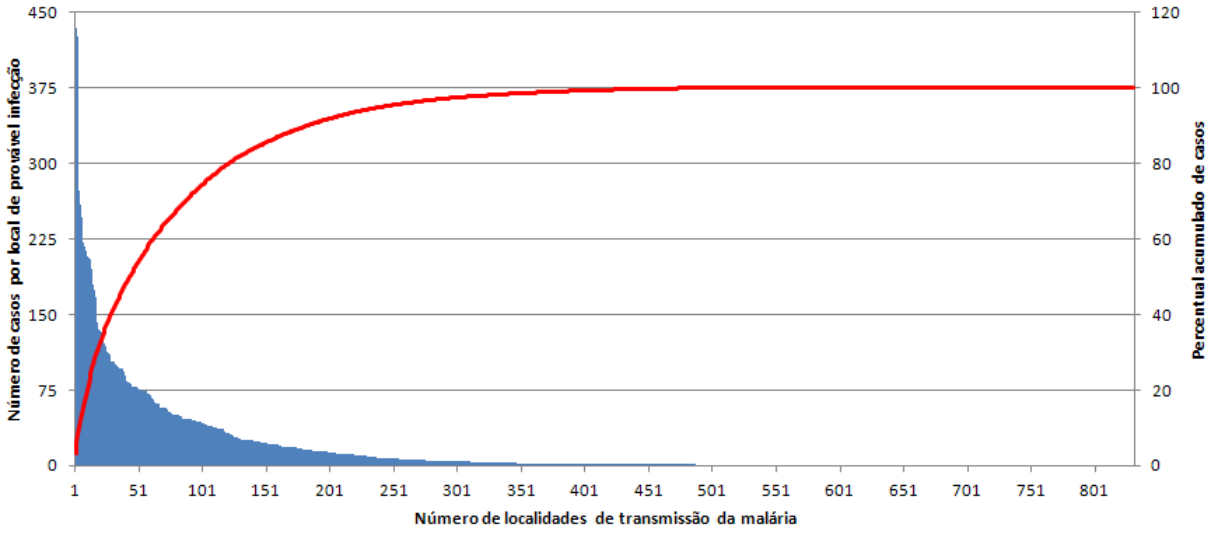


Gráfico 02: Número de casos da malária por local de provável infecção.

O gráfico 02 apresenta o número de casos de malária por local de provável infecção em ordem decrescente de valor associado ao percentual acumulado dos mesmos.

Das 831 LTM georreferenciadas, as 10 LTM com os maiores números de casos por local de provável infecção são, isoladamente, responsáveis por 20,11% casos da doença analisados (2.741 de 13.632 casos). Enquanto na outra ponta, foi necessária a soma das 366 LTM com os menores valores de casos por local de provável infecção para obter 19,93% (2.717) dos casos. Houve ainda, outras 344 LTM que registraram “zero” caso de malária atribuído.

5.1.2. DISTRIBUIÇÃO POR LOCAL DE RESIDÊNCIA

Segundo os registros dos casos de malária por local de residência, Manaus apresentou 18.862 casos para o ano de 2011, sendo 2.522 LVC e 16.340 incidentes.

Dos incidentes, 14.282 são autóctones a Manaus e 13.795 possuem LTM georreferenciadas para local de residência (96,59%). Estes casos estão representados na figura 06.

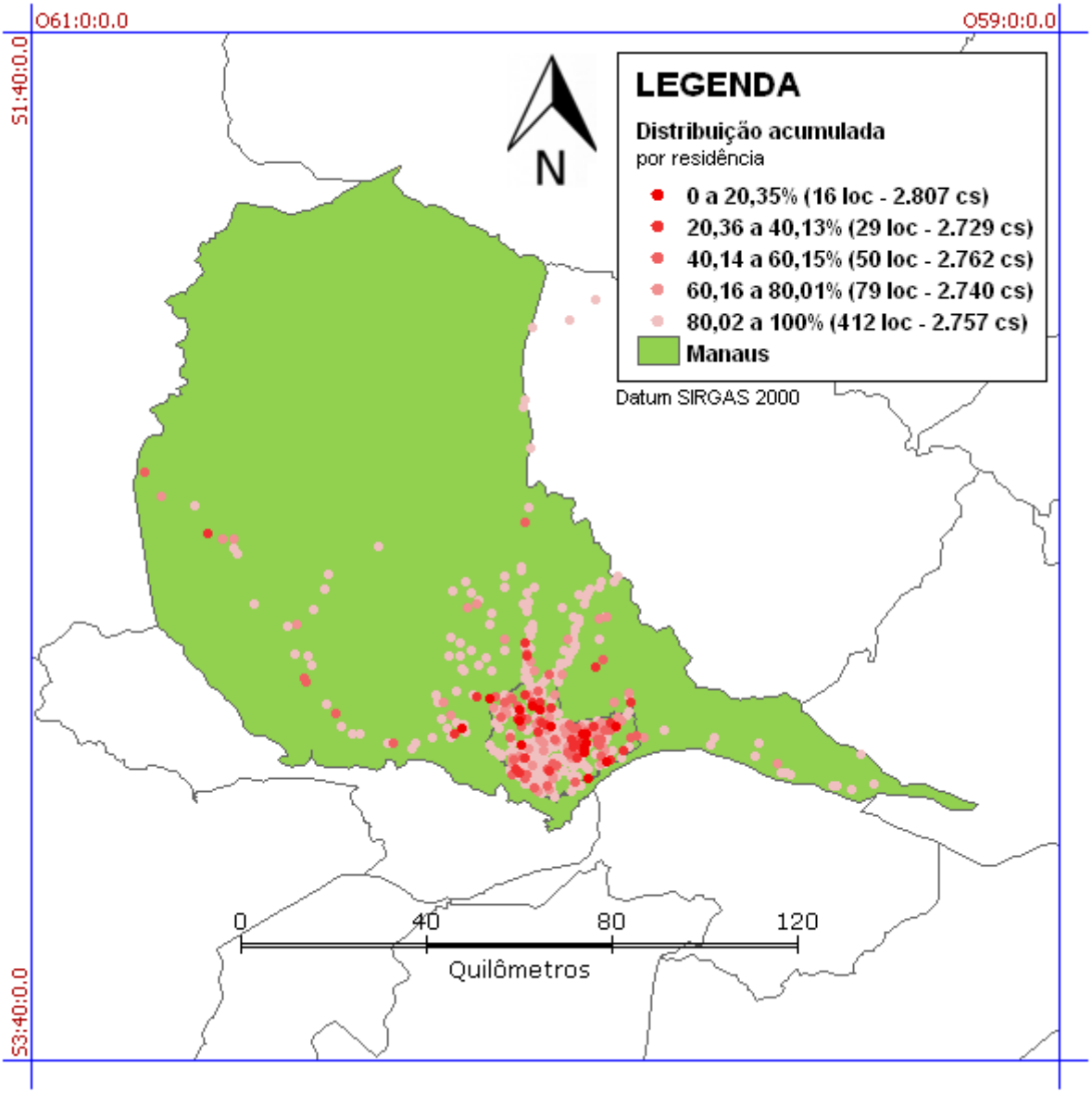


Figura 06: Distribuição da malária por local de residência.

Observando o mapa da figura 06 percebe-se uma concentração de LTM com alto número de casos por local de residência na área urbana de Manaus.

No referido mapa, as LTM foram classificadas em quantis aproximados de 20% segundo a distribuição acumulada dos casos por local de residência na ordem decrescente de valores.

O gráfico 03 apresenta os casos da malária por local de residência, espacializados na figura 06, associados ao percentual acumulado dos mesmos.

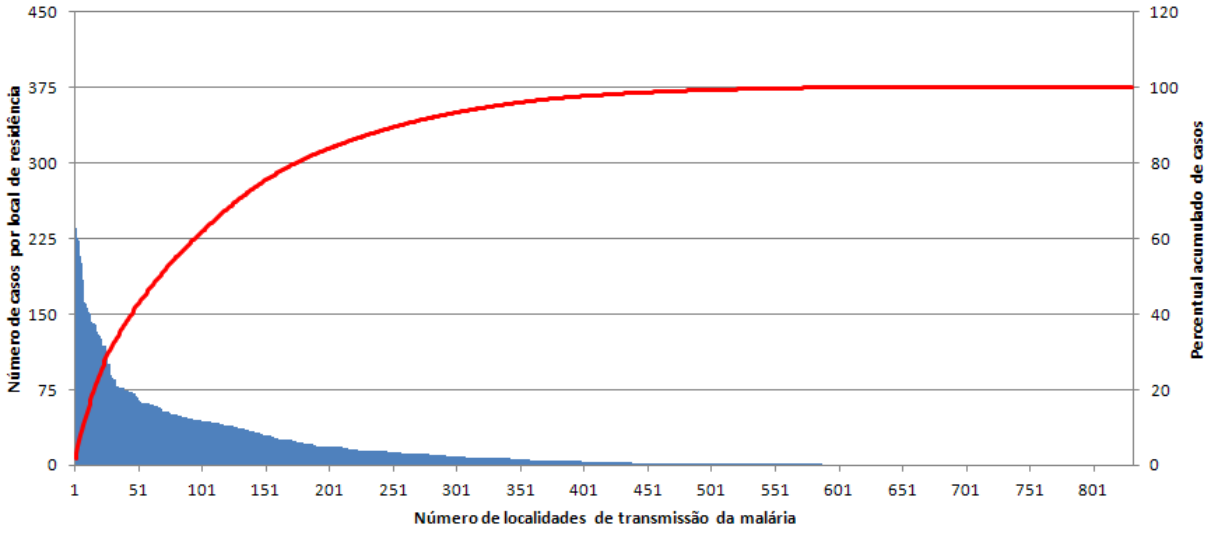


Gráfico 03: Número de casos da malária por local de residência.

Ao analisar conjuntamente a figura 06 e o gráfico 03, nota-se que foi necessária somente a soma das 16 LTM com os maiores número de casos por local de residência para a obtenção de 20,35% dos casos analisados (2.807 de 13.795). Entretanto, para a obtenção 19,99% do total de casos analisados referentes às LTM com os menores números de casos foi necessária a soma de 412 das mesmas (2.757 casos). Além disso, do conjunto de 831 LTM georreferenciadas, 412 não apresentaram casos registrados por local de residência.

5.1.3. DISTRIBUIÇÃO POR CASOS EXPORTADOS E IMPORTADOS

Para 2011 foram registrados 14.282 casos autóctones à Manaus. Destes, 7.915 são autóctones à LTM e, por consequência, 6.367 casos são alóctones, ou seja, a notificação da doença apresentou local de provável infecção e local de residência diferentes.

Como pode ser visto no quadro 07, dos 6.367 casos alóctones, 6.134 (96,34%) possuem LTM georreferenciadas para sua origem (LTM exportadora) e 6.297 casos (98,90%) possuem LTM georreferenciadas para seu destino (LTM importadora).

Quadro 07: Número de casos alóctones às LTM.

Casos	Por local de provável infecção		Por local de residência	
Autóctones à Manaus	14.282			
Autóctones às LTM	7.915			
Alóctones às LTM	(exportados)	6.367	(importados)	6.367
Alóctones às LTM georreferenciadas	(exportados)	6.134	(importados)	6.297

5.1.3.1. CASOS EXPORTADOS

A distribuição espacial da malária por casos exportados apresentou padrão semelhante à análise por local de provável infecção, ou seja, também é observada duas regiões de concentração de LTM na área urbana, uma no norte e outra no oeste (ver figura 07). Sendo desta vez, a concentração de LTM formada por altos valores de casos da doença exportados.

Na figura 07 e no gráfico 04 são observados que das 831 LTM analisadas foram necessárias somente 06 LTM com os maiores números de casos exportados para obter 22,98% dos casos analisados (1.410 de 6.134) e 305 LTM com os menores valores para obter 19,99% (1.226 casos). Por fim, 423 LTM não registraram casos exportados.

Para complementar a análise, foi gerado um gráfico de dispersão (ver gráfico 05). O mesmo apresenta uma linha de tendência (regressão linear) formada entre os casos da doença por local de provável infecção e casos exportados para as LTM analisadas. A dispersão dos dados e a tendência apresentada foram condizentes com a afirmação de que os casos por local de provável infecção e exportados possuem padrões de distribuição espacial semelhantes.

A regressão linear apresentou o resultado de *y=1.4822x+5.4633*, onde y é o número de casos por local de provável infecção e *x* o número de casos exportados. Portanto, o número de casos exportados cresce em conjunto com o aumento do número de casos por local de provável infecção na taxa descrita.

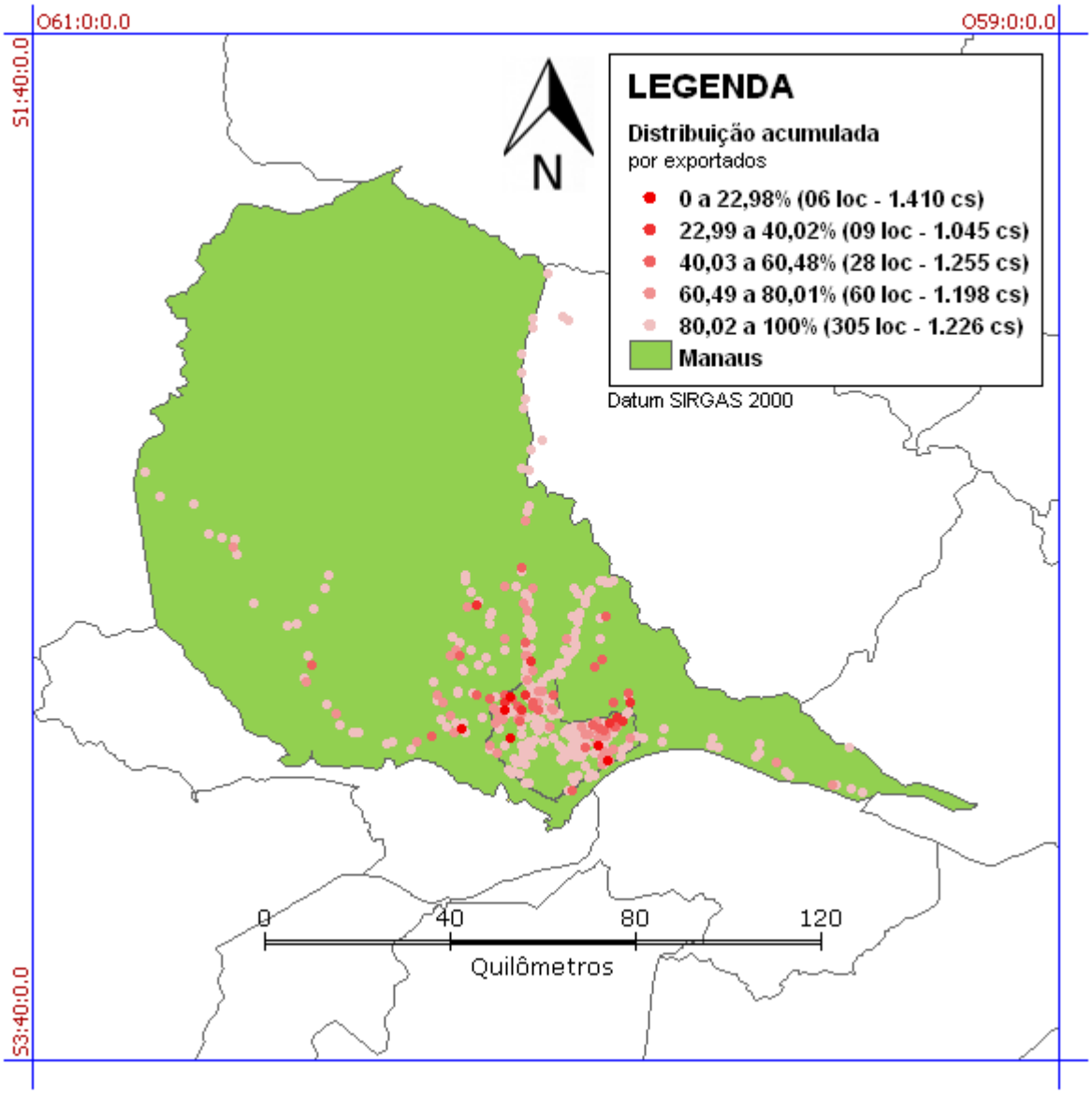


Figura 07: Distribuição da malária por casos exportados.

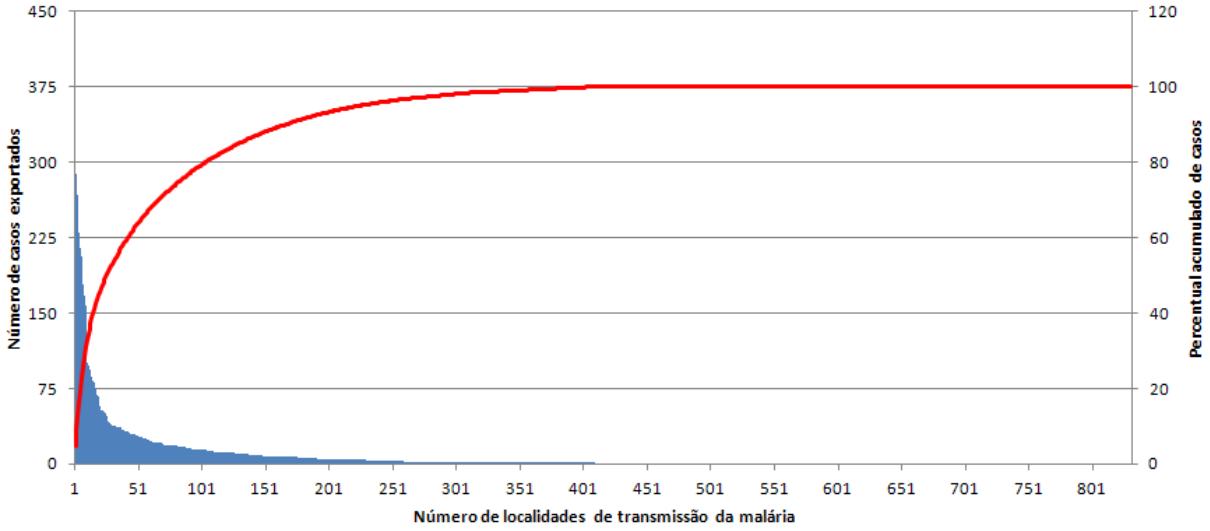


Gráfico 04: Número de casos da malária exportados.

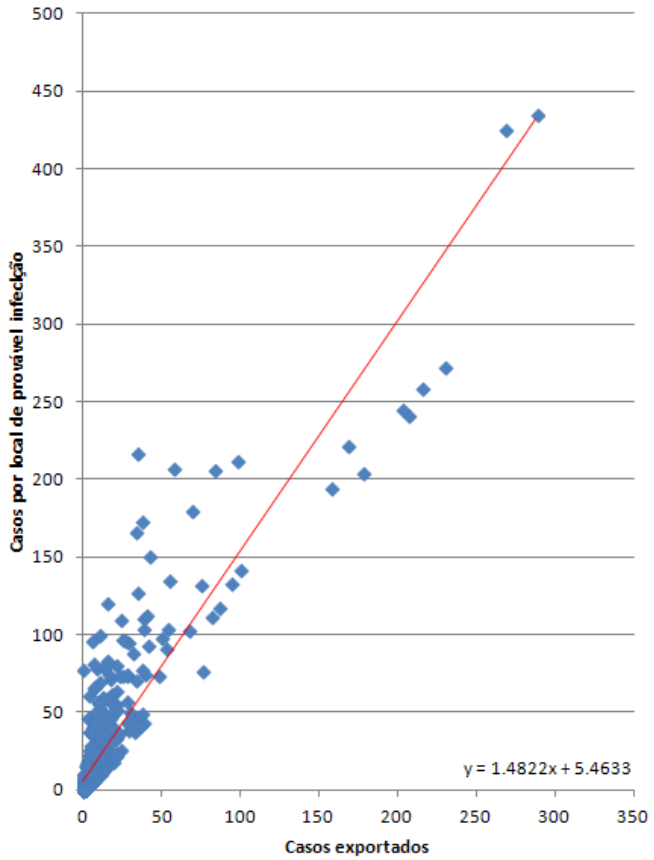


Gráfico 05: Dispersão dos casos da malaria por local de provável infecção e exportados.

5.1.3.2. CASOS IMPORTADOS

A distribuição espacial da malária por casos importados apresentou padrão semelhante à análise por local de residência. Observou-se uma concentração de LTM com altos valores de casos exportados, abrangendo quase a totalidade da área urbana (ver figura 08).

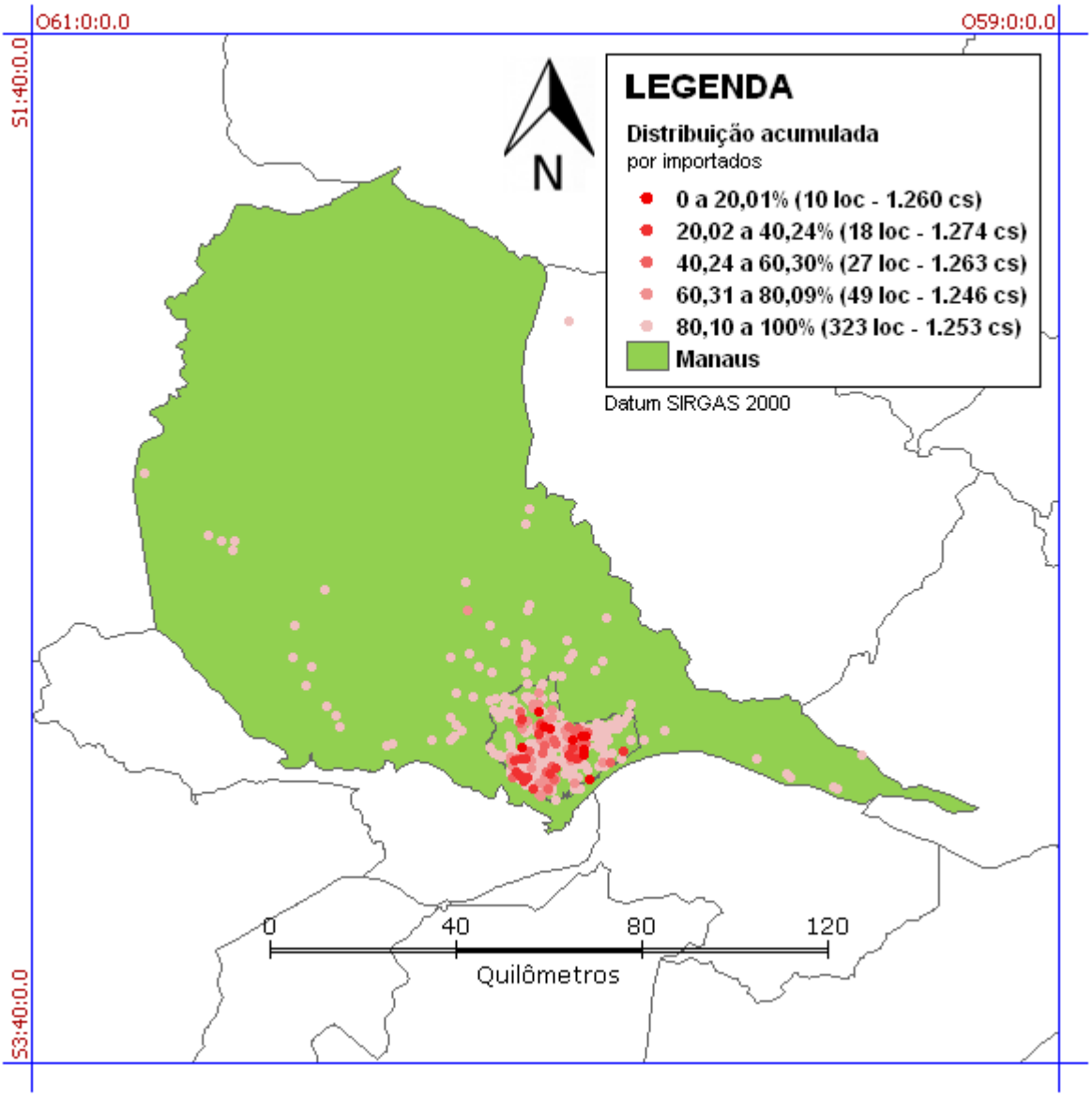


Figura 08: Distribuição da malária por casos importados.

Conforme a figuras 08 e o gráfico 06, um total de 404 das 831 LTM não possuem casos registrados (zero caso). 20,01% dos casos importados (1.260 de 6.297) estão atribuídos às 10 LTM com os maiores números de casos registrados

para o mesmo. Enquanto que, para as LTM com os menores valores de casos importados foi necessária a soma de 323 delas para se obter 19,91% (1.254) dos casos analisados.

No gráfico 07 é mostrada a linha de tendência (regressão linear) entre os casos da doença por residência e casos importados para as LTM analisadas. Também de modo similar ao ocorrido com os casos exportados, a dispersão dos dados e a tendência apresentada foram condizentes com a afirmação de que os casos por local de residência e importados possuem padrões de distribuição espacial semelhantes.

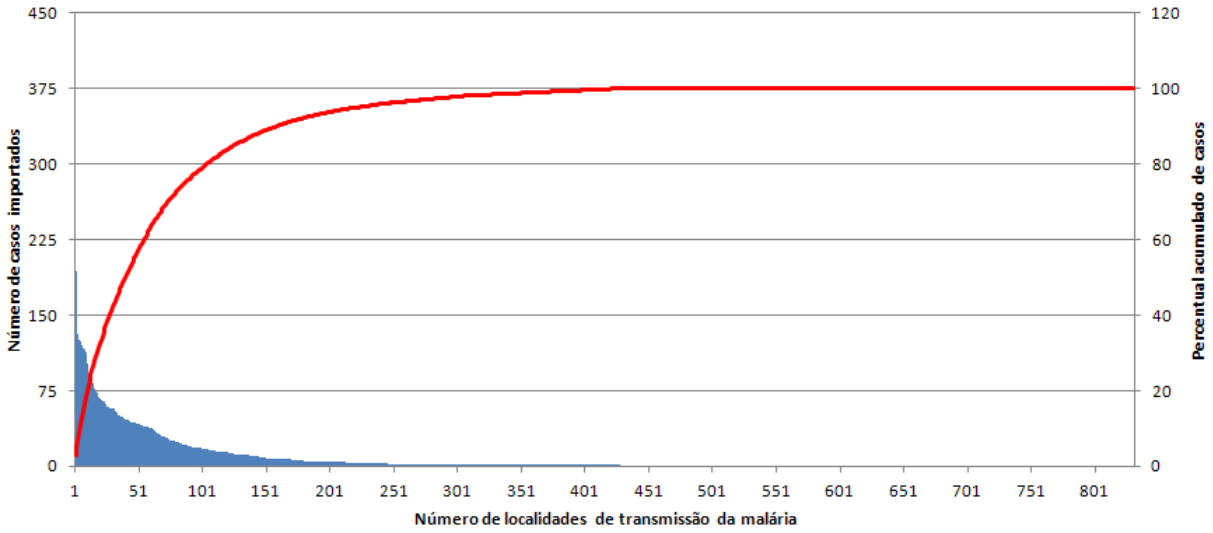


Gráfico 06: Número de casos da malária importados.

A regressão linear apresentou o resultado de *y=1.224x+7.3254*, onde y é o número de casos por local de residência e *x* o número de casos importados. Portanto, o número de casos importados cresce em conjunto com o aumento do número de casos por local de residência na taxa descrita.

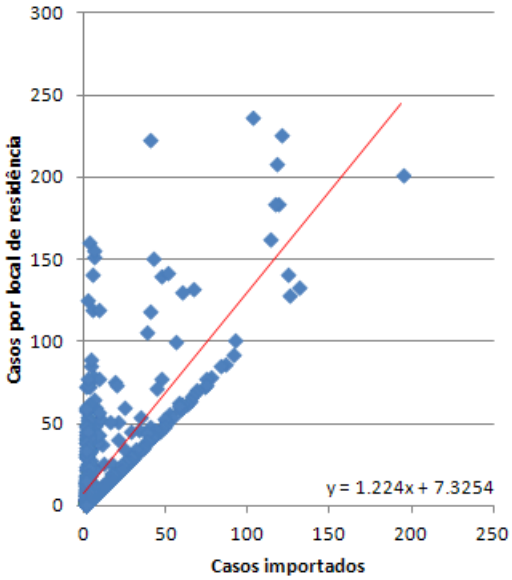


Gráfico 07: Dispersão dos casos da malária por local de residência e importados.

5.2. DETECÇÃO DOS CLUSTERS DE DISSEMINAÇÃO DA MALÁRIA

Como descrito na metodologia, o objetivo da detecção de clusters não é delimitar áreas específicas, mas reconhecer conglomerados de LTM com potencialidades em comum. Os clusters de disseminação da malária foram detectados para duas situações: o reconhecimento de conglomerados de LTM exportadoras da doença e o reconhecimento de conglomerados de LTM importadoras.

5.2.1. CLUSTERS EXPORTADORES

O Município de Manaus, no ano de 2011, registrou 14.603 casos incidentes de malária por local de provável infecção. Destes, 14.282 são autóctones à Manaus, sendo, 13.632 pertencentes à LTM georreferenciadas (95,45%).

Dos 14.282 casos autóctones a Manaus, 7.915 são autóctones às LTM. Por consequência, 6.367 casos são alóctones e, destes, 6.134 (96,34%) possuem LTM georreferenciadas para sua origem (LTM exportadora).

Para detecção dos clusters exportadores foram utilizados os valores referentes aos 13.632 casos por local de provável infecção autóctones à Manaus e os 6.134 casos exportados.

O processamento dos dados resultou na detecção de 04 clusters com significância estatística acima de 99,999%. No quadro 08 os mesmos encontram-se descritos e ordenados pela significância mencionada.

Quadro 08: Clusters exportadores da malária detectados.

Cluster	Centro (SIRGAS 2000)		Raio (m)	Significância (*p*-valor)
	Latitude	Longitude		
01	-02º 55' 51,24"	-60º 13' 00,59"	20.360	0.1^{-16} (> 99,999%)
02	-03º 03' 13,12"	-59º 53' 47,18"	0	5.7^{-13} (> 99,999%)
03	-02º 56' 59,53"	-59º 50' 19,86"	7.700	3.1^{-05} (> 99,999%)
04	-03º 05' 09,06"	-59º 54' 31,00"	3.470	6.1^{-03} (99,994%)

A figura 09 mostra a espacialização dos clusters exportadores e a distribuição dos casos da malária por local de provável infecção segundo as LTM georreferenciadas. Enquanto a figura 10 mostra os mesmos quanto à distribuição da doença por casos exportados.

Percebe-se, comparando as figuras 09 e 10, que os clusters responderam geograficamente de forma mais positiva aos valores de casos exportados, tendendo a abranger as LTM com maior número de casos destes em comparação com os casos por local de provável infecção.

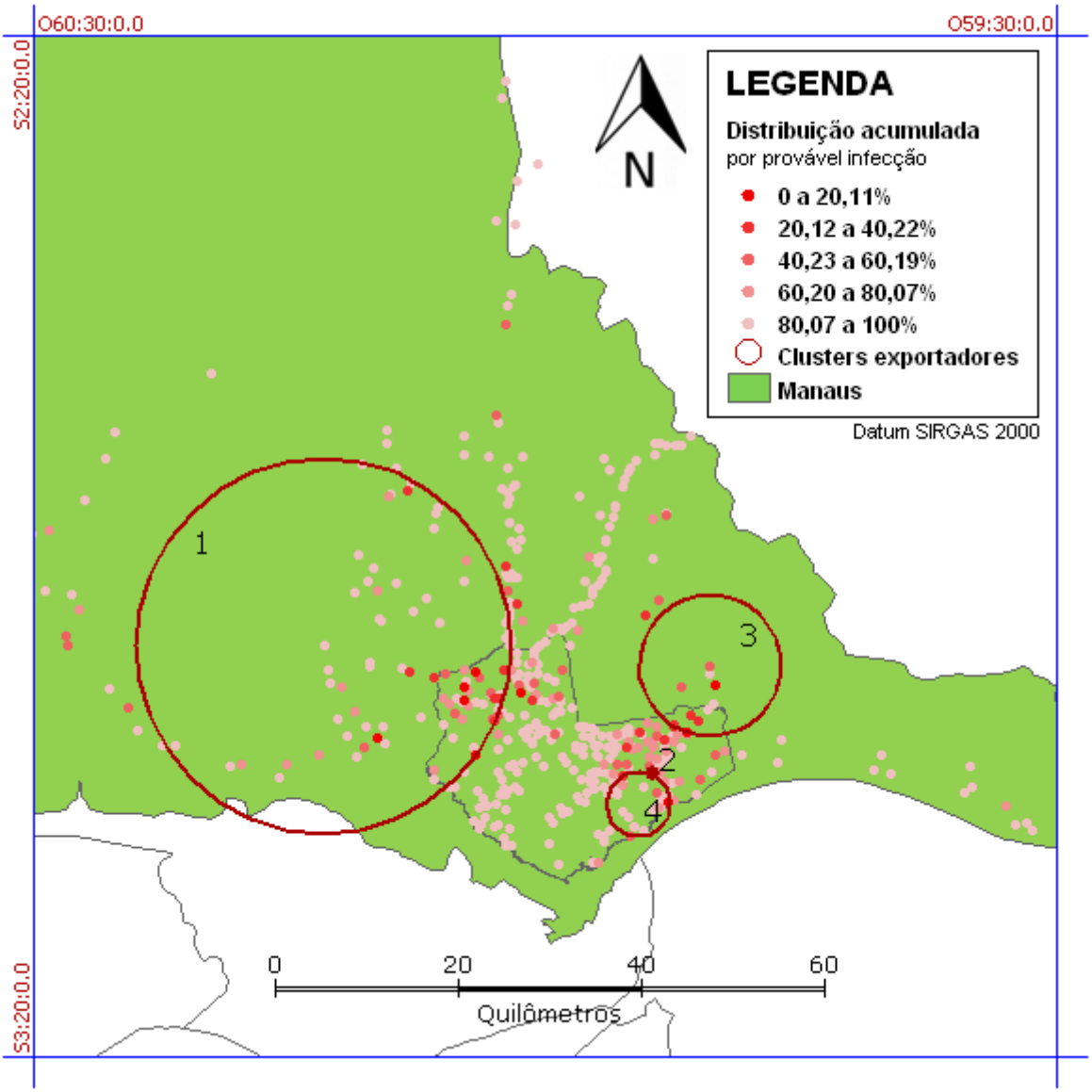


Figura 09: Clusters exportadores e distribuição da malária por local de provável infecção.

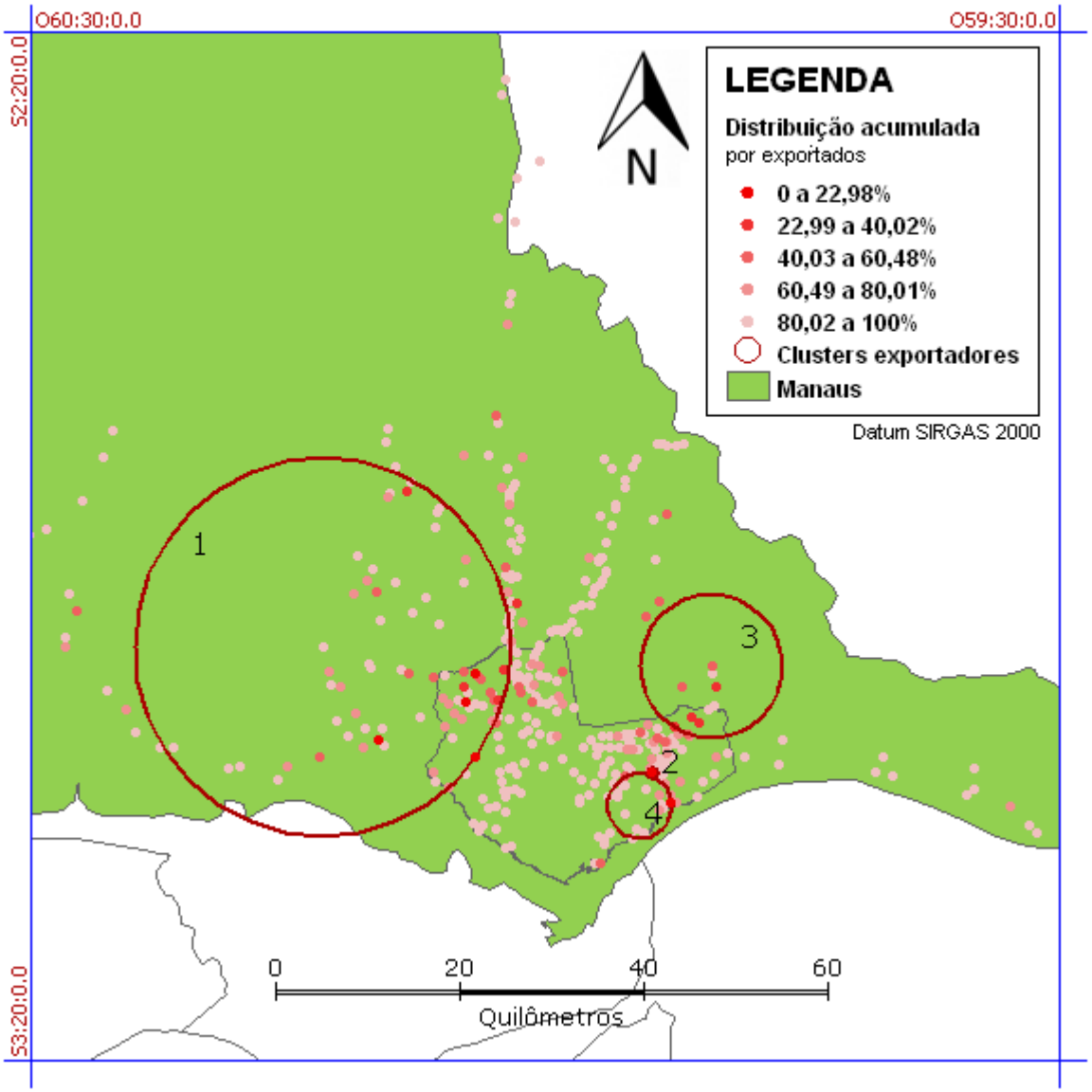


Figura 10: Clusters exportadores e distribuição da malária por casos exportados.

Nos gráficos 08, 09, 10 e 11 é possível visualizar a distribuição dos casos da doença referentes às LTM abrangidas por cada cluster exportador.

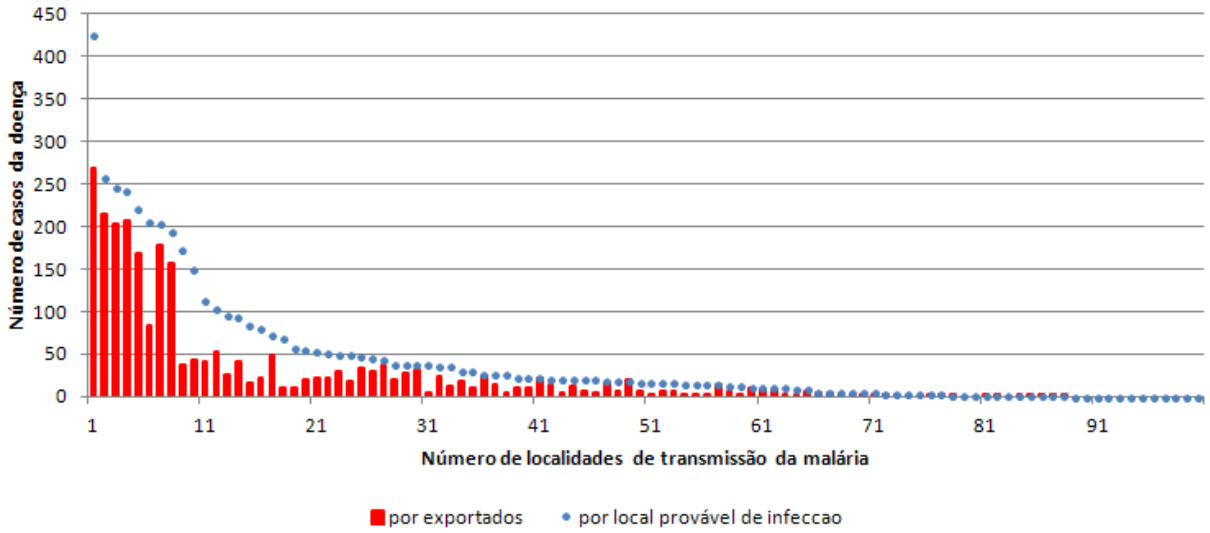


Gráfico 08: Casos da malária referentes às LTM do cluster exportador 01.

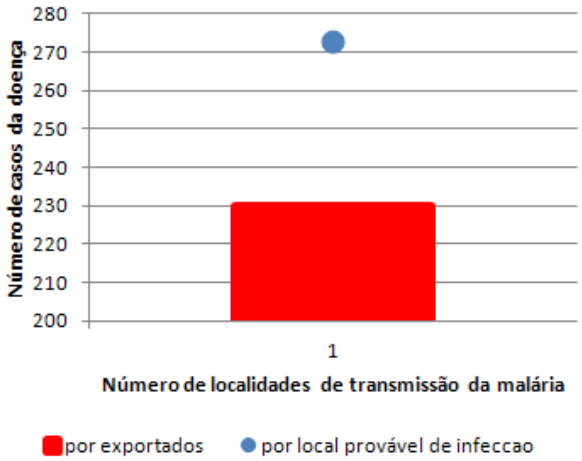


Gráfico 09: Casos da malária referentes à LTM do cluster exportador 02.

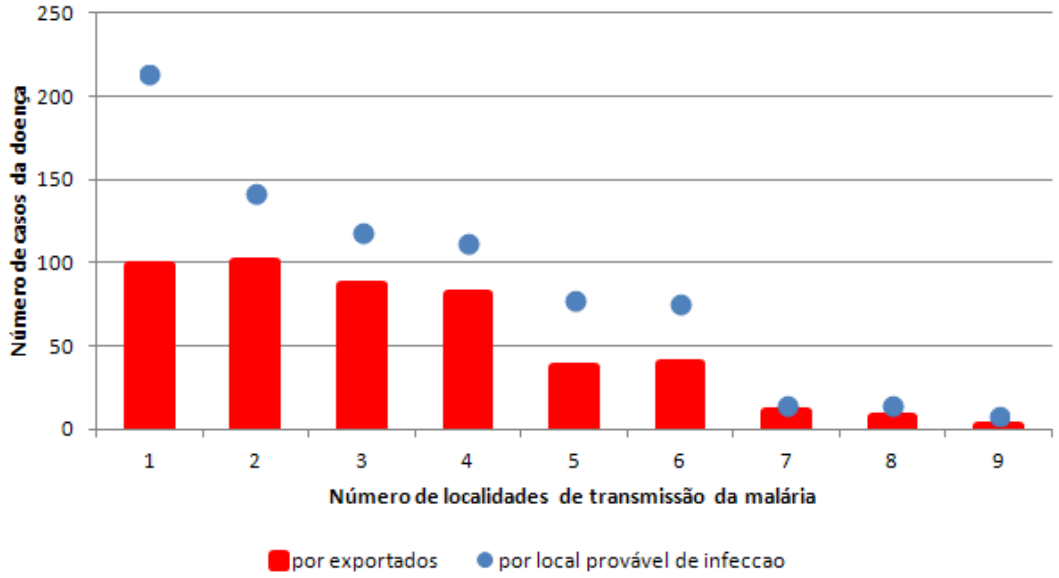


Gráfico 10: Casos da malária referentes às LTM do cluster exportador 03.

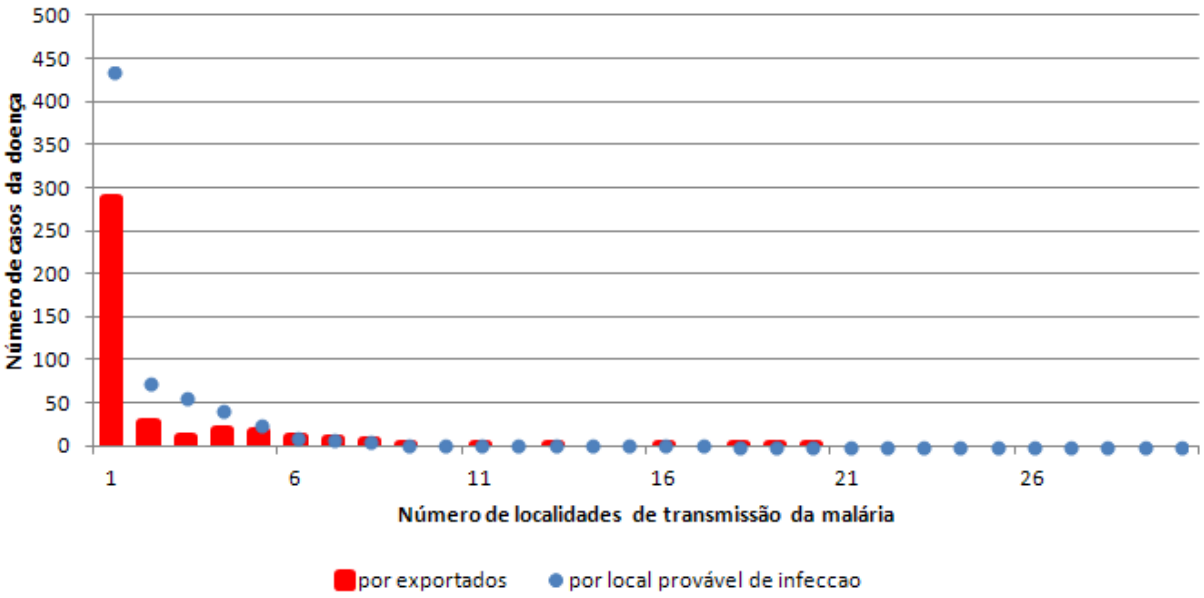


Gráfico 11: Casos da malária referentes às LTM do cluster exportador 04.

Os clusters detectaram conglomerados de LTM que apresentaram alta probabilidade conforme equação 5 formulada (ver capítulo 4). Os gráficos 08 a 11 mostram LTM com altos valores de casos exportados em relação aos casos por local de provável infecção nos clusters detectados. Dois fatores estes, utilizados na equação mencionada.

Embora, principalmente nos clusters 04 e 01, tenham sido constadas LTM com baixos valores de casos da doença, a probabilidade resultante dos valores totais das LTM abrangidas pelos clusters foram mais significantes que a probabilidade das LTM externas a eles. Esta afirmação pode ser comprovada no quadro 09.

Quadro 09: Valores de probabilidades dos clusters exportadores da malária.

Cluster	Abrangida pelo cluster				Externas ao cluster			
	Total de LTM	Casos por local de provável infecção nas LTM	Casos exportados pelas LTM	Casos exportados / casos por local de provável infecção	Total de LTM	Casos por local de provável infecção nas LTM	Casos exportados pelas LTM	Casos exportados / casos por local de provável infecção
01	100	4.396	2.463	0,56	731	9.236	3.671	0,40
02	01	273	230	0,84	830	13.359	5.904	0,44
03	09	774	460	0,59	822	12.858	5.674	0,44
04	30	686	393	0,57	801	12.946	5.741	0,44
Geral	**141**	**6.129**	**3.546**	**-**	**690**	**7.503**	**2588**	**-**

5.2.2. CLUSTERS IMPORTADORES

Para o ano de 2011, Manaus registrou 16.340 casos incidentes de malária por local de residência. Destes, 14.282 são autóctones a Manaus, sendo, 13.632 pertencentes à LTM georreferenciadas (95,45%). Dos 14.282 casos autóctones a Manaus, 7.915 são autóctones à LTM. Por consequência, 6.367 casos são alóctones e, destes, 6.297 (98,90%) possuem LTM georreferenciadas para seu destino (LTM importadora).

Para detecção dos clusters importadores foram utilizados os valores referentes aos 13.632 casos por local de residência autóctones à Manaus e os 6.297 casos importados. O processamento dos dados resultou na detecção de um único cluster com significância estatística acima de 99,999%. No quadro 10 o mesmo encontra-se descrito.

Quadro 10: Cluster importador da malária detectado.

Cluster	Centro (SIRGAS S2000)		Raio (m)	Significância (*p*-valor)
	Latitude	Longitude		
05	-03º 05’ 01,25”	-59º 50’ 38,35”	11.020	0.1^{-16} (> 99,999%)

A figura 11 mostra a espacialização do cluster importador e a distribuição dos casos da malária por local de residência segundo as LTM georreferenciadas. Enquanto que, a figura 12 mostra a espacialização do mesmo cluster e a distribuição dos casos exportados da malária.

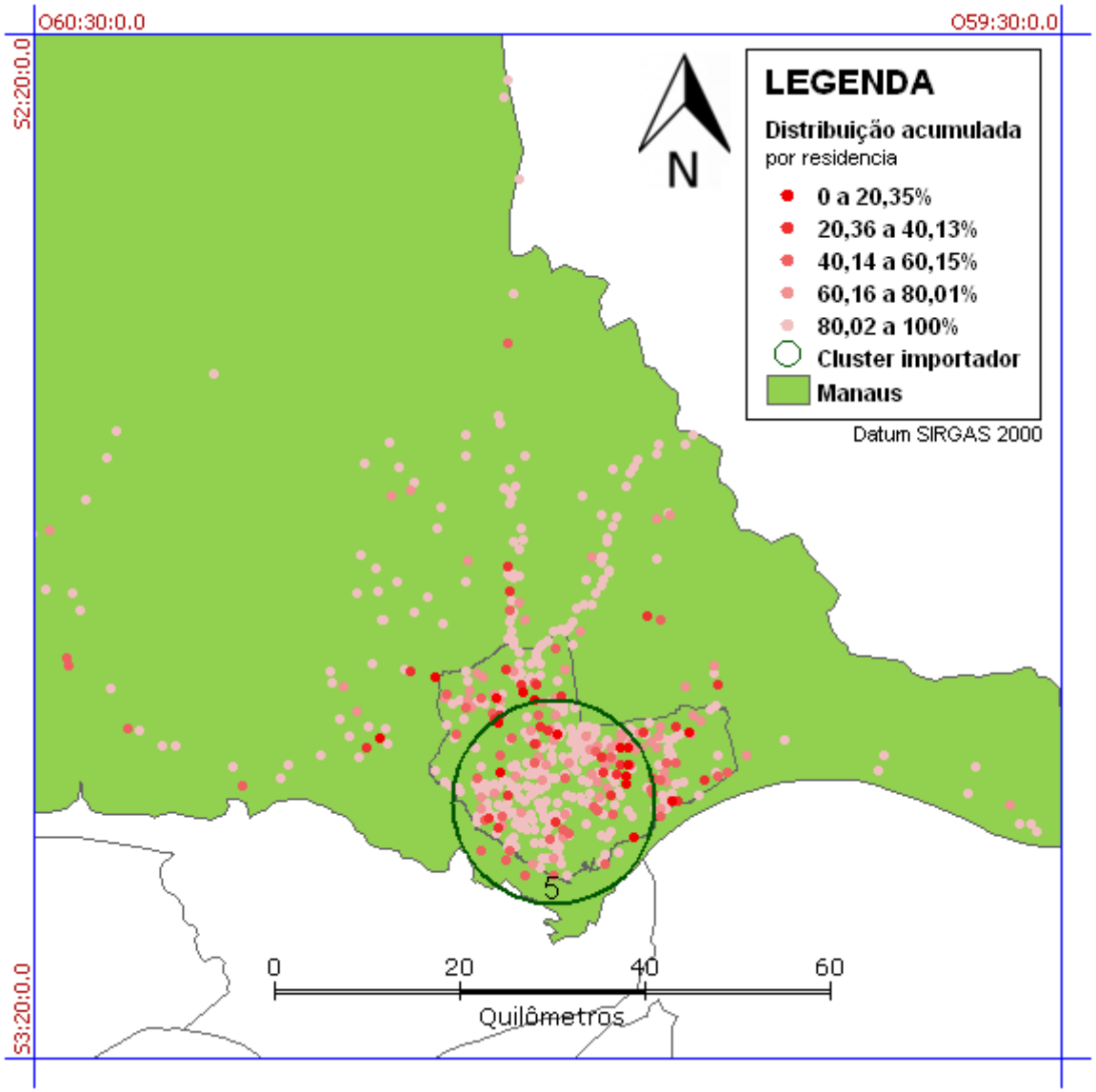


Figura 11: Cluster importador e distribuição da malária por local de residência.

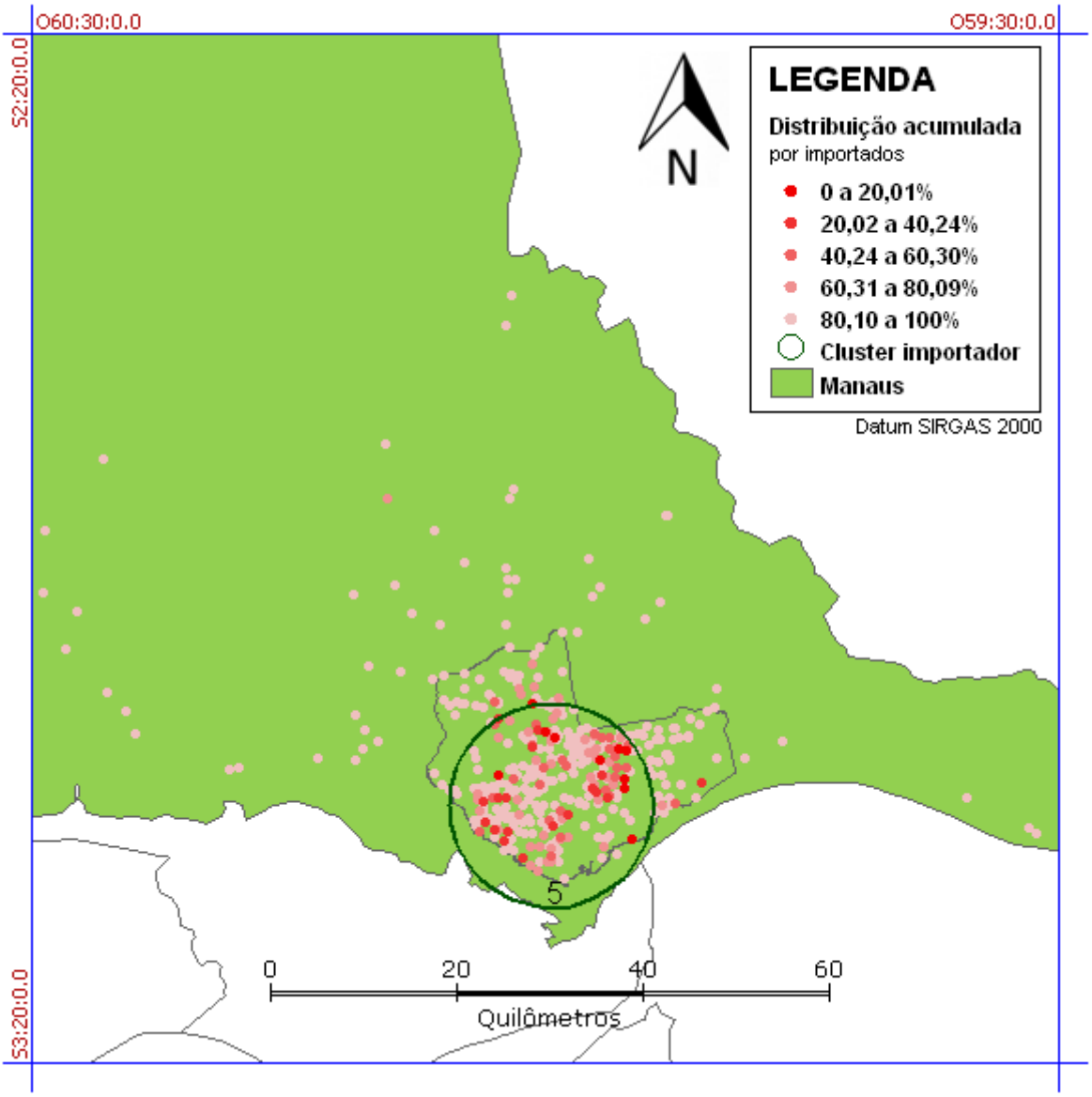


Figura 12: Cluster importador e distribuição da malária por casos importados.

Comparando-se as figuras 11 e 12, percebe-se que os clusters responderam geograficamente de forma mais positiva aos valores de casos importados, apresentando uma tendência a abranger as LTM com maior número de casos destes em comparação com os casos por local de residência.

No gráfico 12 é possível visualizar a distribuição dos casos da doença referentes às LTM abrangidas pelo cluster importador.

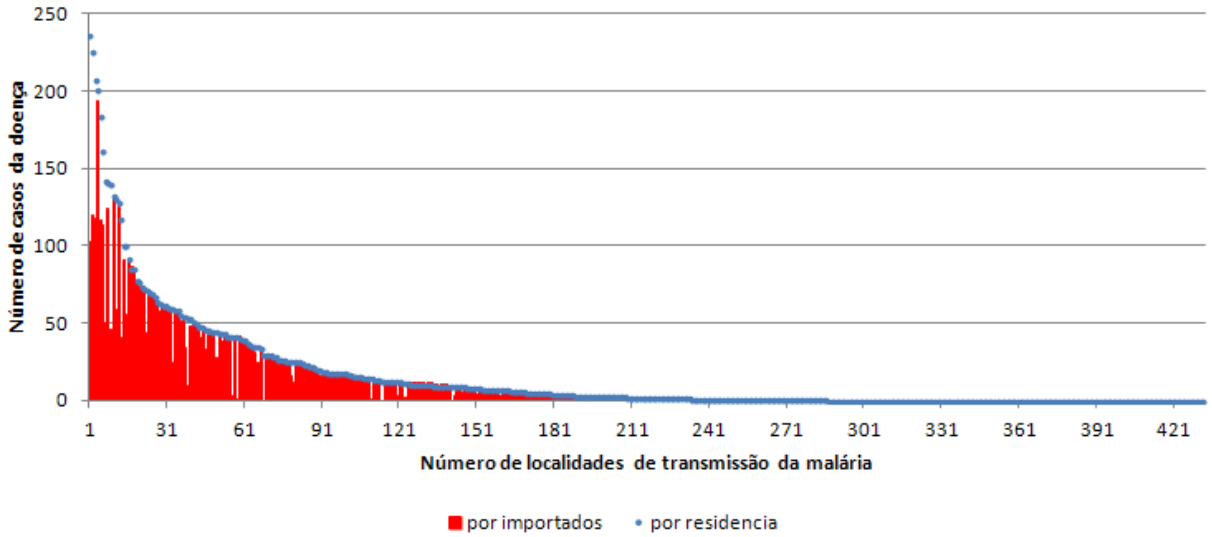


Gráfico 12: Casos da malária referentes às LTM do cluster importador.

O cluster detectou o conglomerado de LTM com alta probabilidade conforme equação 6 formulada (ver capítulo 4). O gráfico acima mostra que as LTM abrangidas pelo cluster possuem altos valores de casos importados em relação aos casos por local de residência.

Ainda que tenham sido registradas LTM com baixos valores de casos da doença, a probabilidade das LTM abrangidas pelo cluster foi alta comparada aos valores das LTM externas a ele. (ver no quadro 11).

Quadro 11: Valor de probabilidade do cluster importador da malária.

Cluster	Abrangida pelo cluster				Externas ao cluster			
	Total de LTM	Casos por local de residência nas LTM	Casos importados pelas LTM	casos importados / casos por local de residência	Total de LTM	Casos por local de residência nas LTM	Casos importados pelas LTM	casos importados / casos por local de residência
05	432	6.901	5.507	0,80	399	6.731	790	0,12

5.2.3. ANÁLISE EPIDEMIOLÓGICA DOS CLUSTERS

A análise epidemiológica dos clusters de disseminação da malária tratou da caracterização dos mesmos a partir dos valores de malária das LTM por eles abrangidas.

Na análise epidemiológica dos clusters de disseminação da malária dois fatores importantes são observados: os casos de malária autóctones aos clusters detectados, que diferem dos casos autóctones às LTM por eles abrangidas, e os casos referentes a regiões de intersecção de clusters, que interferem na contagem de casos da doença nos mesmos.

A figura 13 mostra os cinco clusters detectados, sendo quatro de reconhecimento dos conglomerados de LTM exportadoras da malária e 01 de reconhecimento dos conglomerados de LTM importadoras.

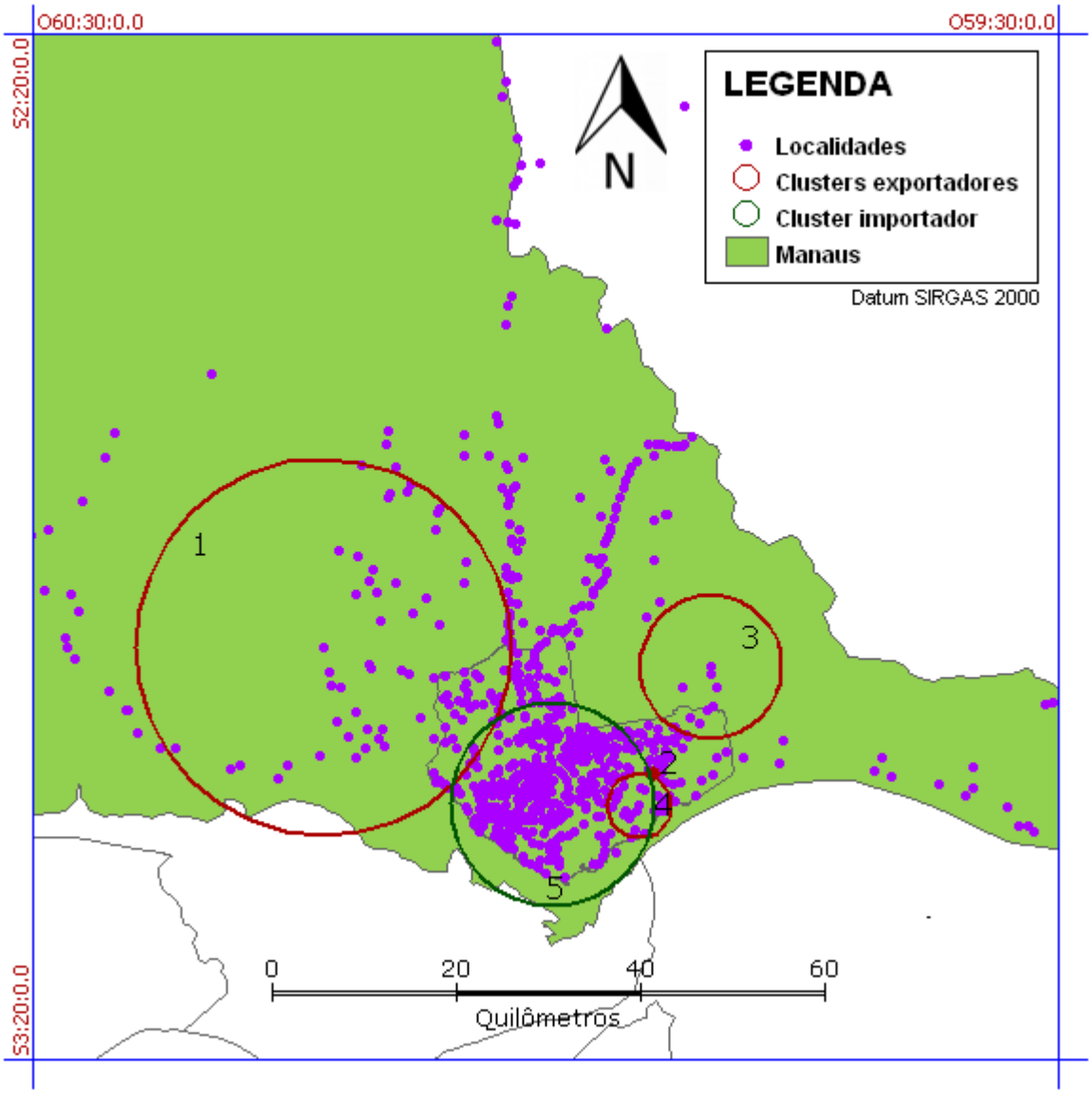


Figura 13: Clusters de disseminação da malária detectados.

O quadro 12 mostra os valores da doença referentes às 831 LTM analisadas (georreferenciadas).

Quadro 12: Valores da malária nas 831 LTM analisadas.

Total de LTM	Casos por local de provável infecção nas LTM	Casos por local de residência nas LTM	Casos Autóctones às LTM	Casos exportados pelas LTM	Casos importados pelas LTM
831	13.632	13.795	7.915	6.134	6.297

O quadro 13 apresenta os casos de malária referentes às LTM abrangidas por cada cluster detectado.

Quadro 13: Valores da malária nas LTM dos clusters.

Cluster	Total de LTM	Casos por local de provável infecção nas LTM	Casos por local de residência nas LTM	Casos Autóctones às LTM	Casos exportados pelas LTM	Casos importados pelas LTM
01	100	4.396	2.100	1.933	2.463	167
02	01	273	49	43	230	6
03	09	774	325	314	460	11
04	30	686	534	293	393	241
05	432	2.072	6.901	1.394	678	5.507

Com exceção do cluster 02, que abrange somente 01 LTM, todos os demais clusters possuem registro de casos de malária que apresentem local de provável infecção e local de residência de diferentes e abrangidas pelo mesmo cluster. Portanto, somente o cluster 02 apresenta igual valor para casos autóctones à LTM e autóctones ao cluster “bruto” (ver capítulo 4).

O quadro 14 apresenta os valores de casos autóctones aos clusters bruto.

Quadro 14: Casos autóctones aos clusters bruto.

Cluster	Casos autóctones ao cluster bruto
01	2.057
02	43
03	318
04	311
05	2.012

Quanto à intersecção de clusters, foram formadas duas destas regiões. Uma entre os clusters 01 e 05 e outra entre o cluster 04 e, novamente, o 05. O quadro 15 apresenta os casos de malária referentes a estas regiões.

Quadro 15: Casos de malária em regiões de intersecção de clusters.

Intersecção	Cluster exportador		Cluster importador	
	nº	Casos exportados destinados a região de intersecção	nº	Casos importados originados na região de intersecção
01 ∩ 05	01	14	05	206
04 ∩ 05	04	8	05	26

O quadro 16 apresenta os valores de casos da malária nos clusters de disseminação da doença conforme o resultado das equações 07 a 16.

Quadro 16: Valores de casos da malária nos clusters.

Cluster	Casos por local de provável infecção no cluster	Casos por local de residência nos cluster	Casos autóctones ao cluster	Casos exportados pelo cluster	Casos importados pelo cluster
01	4.396	2.096	2.043	2.353	53
02	273	49	43	230	6
03	774	325	318	456	7
04	686	534	303	383	231
05	2.072	6.901	1.778	294	5.123

O quadro 17 mostra os valores percentuais dos casos exportados e importados pelos clusters de disseminação da malária.

Quadro 17: Percentuais de casos da malária exportados e importados pelos clusters.

Cluster	Casos por local de provável infecção no cluster	Casos exportados pelo cluster	Percentual de casos exportados pelo cluster	Casos por local de residência nos cluster	Casos importados pelo cluster	Percentual de casos importados pelo cluster
01	4.396	2.353	53,53	2.096	53	2,53
02	273	230	84,25	49	6	12,24
03	774	456	58,91	325	7	2,15
04	686	383	55,83	534	231	43,25
05	2.072	294	14,19	6.901	5.123	74,24

Para o cluster 05 percebe-se um baixo percentual de casos exportados e um alto percentual de casos importados, comprovando suas características de cluster importador da malária. De forma inversa, os clusters exportadores 01, 02 e 03 apresentaram alto percentual de casos exportados e baixo de casos importados, que por sua vez, comprova suas características de clusters exportadores.

O cluster 04 apresentou um alto percentual de casos importados comparado aos demais clusters exportadores. Mesmo assim, o percentual de casos exportados por ele é maior que o percentual de casos importados. O cluster 04 foi o que apresentou menor significância estatística em sua detecção e é o que possui valores menos representativos.

Outro aspecto interessante é o baixo valor de casos autóctones ao cluster 02, o que indica um baixo número de pessoas infectadas residentes na única LTM por ele abrangida.

Os dados do quadro 16 encontram-se plotados no gráfico 13, no qual, o cluster 01 apresenta os maiores números de casos por local de provável infecção e de casos exportados, destacando-se como uma região de grande infecção e exportação de casos da doença.

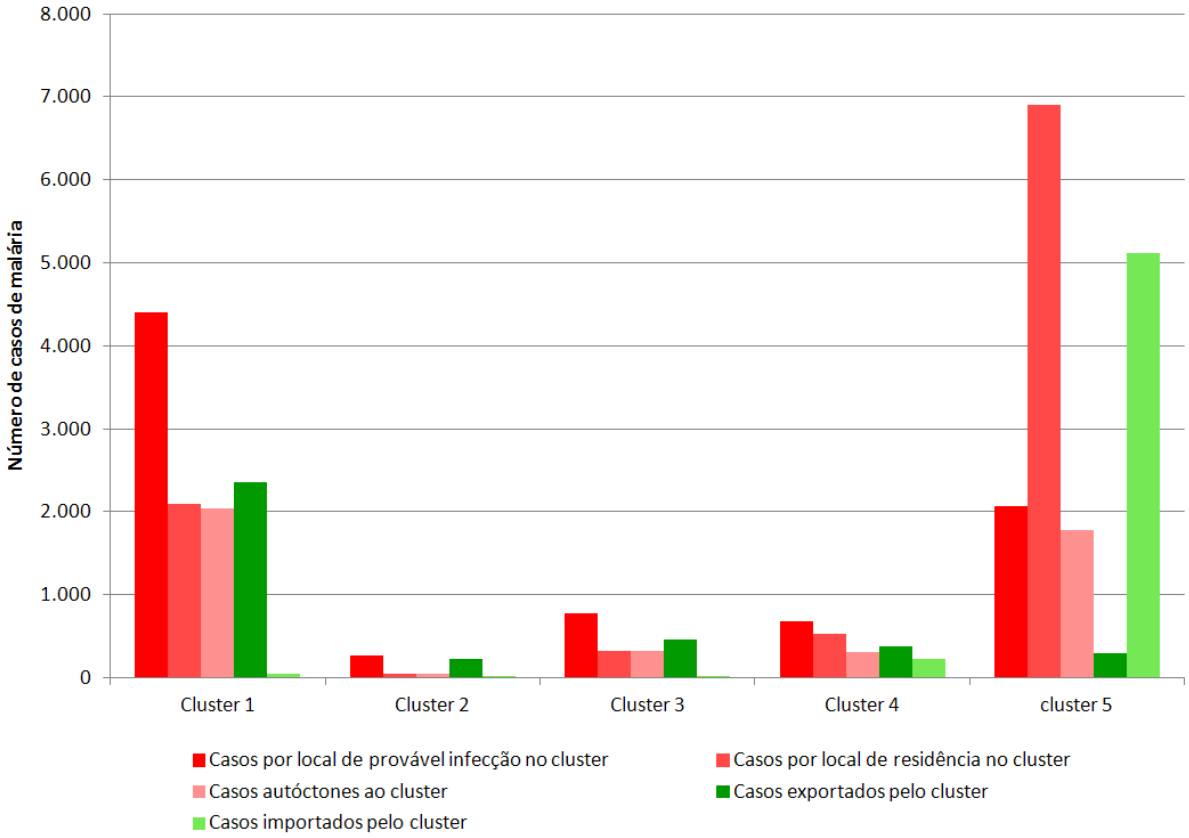


Gráfico 13: Casos da malária nos clusters.

É interessante ao estudo também analisar os dados epidemiológicos das LTM não abrangidas pelos clusters. O quadro 18 e o gráfico 14 mostram estes dados.

Quadro 18: Valores da malária nas LTM não abrangidas pelos clusters.

Total de LTM	Casos por local de provável infecção nas LTM	Casos por local de residência nas LTM	Casos autóctones às LTM	Casos exportados pelas LTM	Casos importados pelas LTM
283	5.825	4.217	3.655	2.170	562

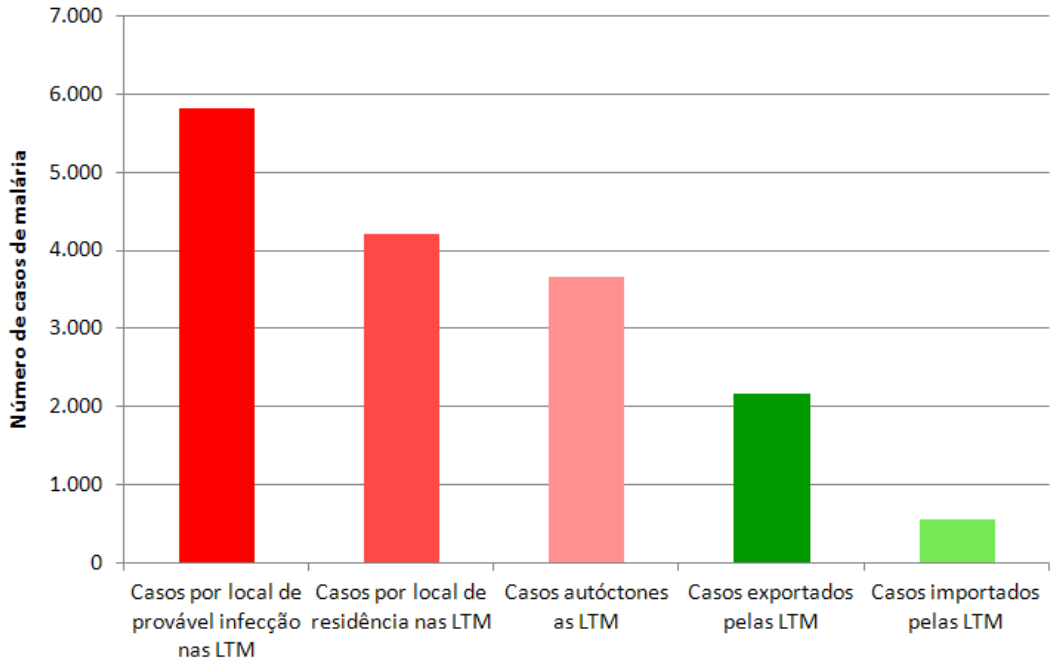


Gráfico 14: Valores da malária nas LTM não abrangidas pelos clusters.

Diferentes dos clusters exportadores e importadores, o conjunto das LTM não abrangidas pelos clusters, apresentou maior número de casos autóctones que de casos exportados e importados. O que indica uma menor influência das mesmas na disseminação da malária segundo a mobilidade humana em comparação aos clusters detectados.

5.3. GERAÇÃO DOS FLUXOS DE DISSEMINAÇÃO DA MALÁRIA

Os fluxos foram gerados conforme os clusters de disseminação da malária detectados, tendo como origem os clusters exportadores e como destino os importadores. A figura 14 mostra os quatro fluxos gerados e os cinco clusters de disseminação da malária detectados.

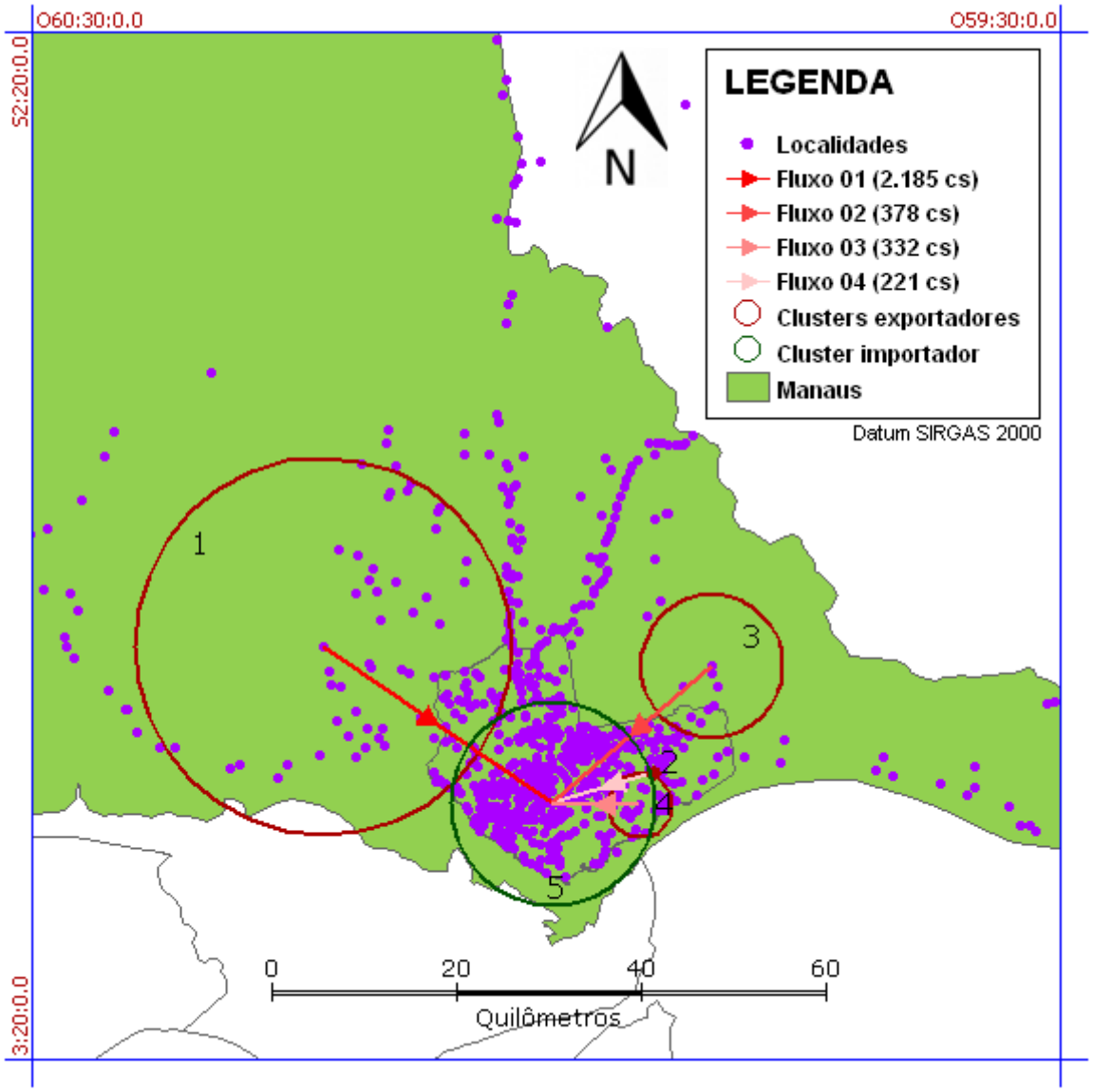


Figura 14: Clusters e fluxos de disseminação da malária.

Os valores de casos de malária atribuídos aos fluxos representados na figura 14, assim como sua descrição, também podem ser vistos no quadro 19.

Quadro 19: Valores e descrição dos fluxos gerados.

Fluxo	Cluster de origem	Cluster de destino	Casos atribuídos aos fluxos
01	01	05	2.185
02	03	05	378
03	04	05	332
04	02	05	221

5.3.1. ANÁLISE EPIDEMIOLÓGICA DOS FLUXOS

Na análise epidemiológica dos fluxos de disseminação da malária foram analisados os valores dos mesmos quantos aos casos exportados e importados pelos clusters de disseminação. No quadro 20 são apresentados os valores de malária para os fluxos de disseminação gerados e seus respectivos clusters de origem e destino.

Quadro 20: Valores da malária nos fluxos gerados e clusters de origem e destino.

Fluxo	Cluster de origem			Cluster de destino			Casos atribuídos aos fluxos
	nº	Casos por local de provável infecção nos clusters	Casos exportados pelos clusters	nº	Casos por local de residência nos clusters	Casos importados pelos clusters	
01	01	4.396	2.353	05	6.901	5.123	2.185
02	03	774	456	05	6.901	5.123	378
03	04	686	383	05	6.901	5.123	332
04	02	273	230	05	6.901	5.123	221

Os valores percentuais dos casos atribuídos aos fluxos de disseminação referentes aos casos da malária exportados e importados pelos clusters detectados estão apresentados no quadro 21.

Quadro 21: Percentuais de casos da malária exportados e importados nos fluxos.

Fluxo	Casos atribuídos aos fluxos	Cluster de origem			Cluster de destino		
		nº	Casos exportados pelos clusters	Percentual de casos exportados atribuídos aos fluxos	nº	Casos importados pelos clusters	Percentual de casos importados atribuídos aos fluxos
01	2.185	01	2.353	92,86	05	5.123	42,65
02	378	03	456	82,89	05	5.123	7,48
03	332	04	384	86,46	05	5.123	6,48
04	221	02	230	96,09	05	5.123	4,31

O quadro 21 mostra que 92,86% dos 2.353 casos exportados pelo cluster 01 foram destinados ao cluster 05, o que representa 42,65% dos casos importados por ele. E assim consecutivamente para os demais fluxos de disseminação da malária.

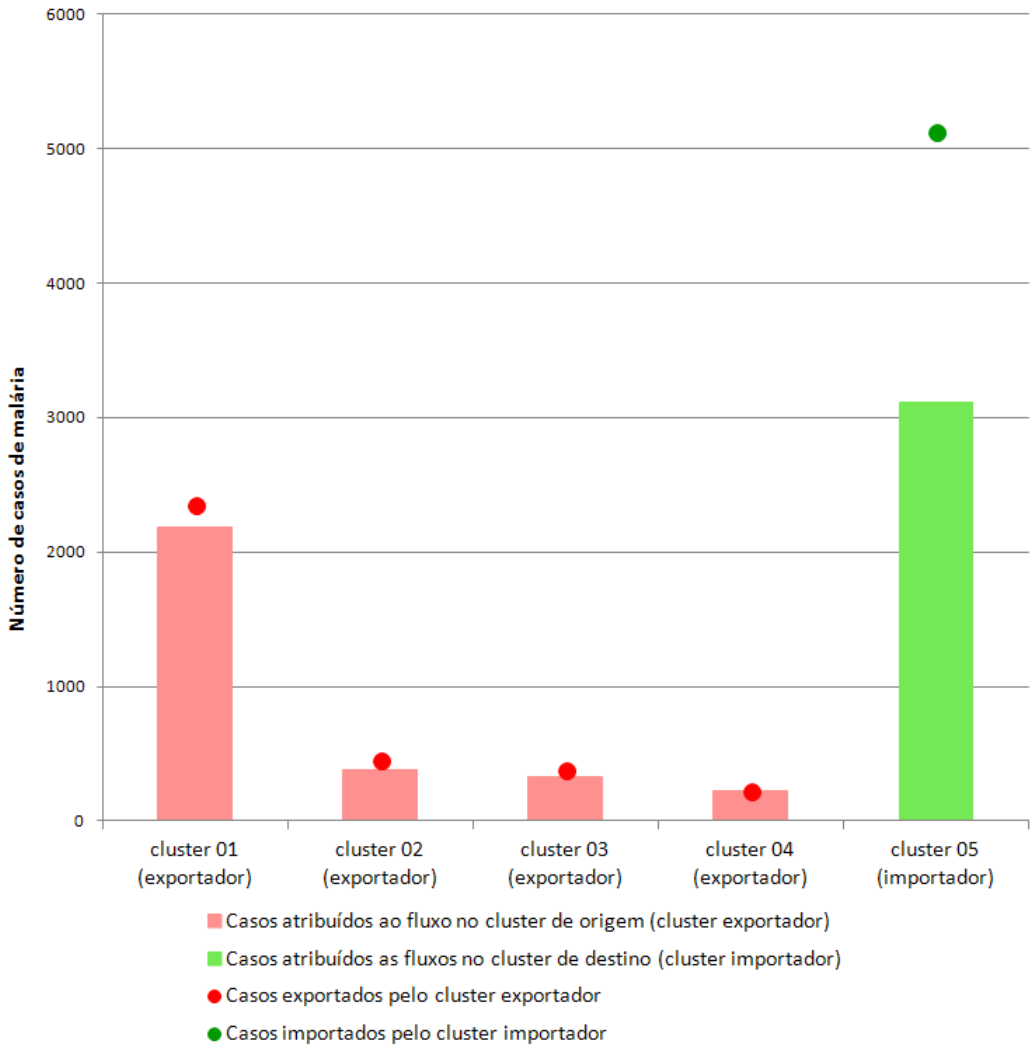


Gráfico 15: Casos da malária nos fluxos gerados.

No gráfico 15 foram plotados os dados do quadro 20. Percebe-se que, para os clusters exportadores, os valores de malária atribuídos aos fluxos respondem próximos aos valores dos casos exportados por eles. Enquanto que para o cluster importador o valor atribuído a soma dos fluxos de disseminação é de 69,07% (3.116 de 5.275 casos).

5.4. FORMA DE OCUPAÇÃO DO SOLO NOS CLUSTERS DETECTADOS

Na figura 15 são apresentados os clusters de disseminação da malária detectados sobrepostos a imagem obtida do satélite LandSat 5.

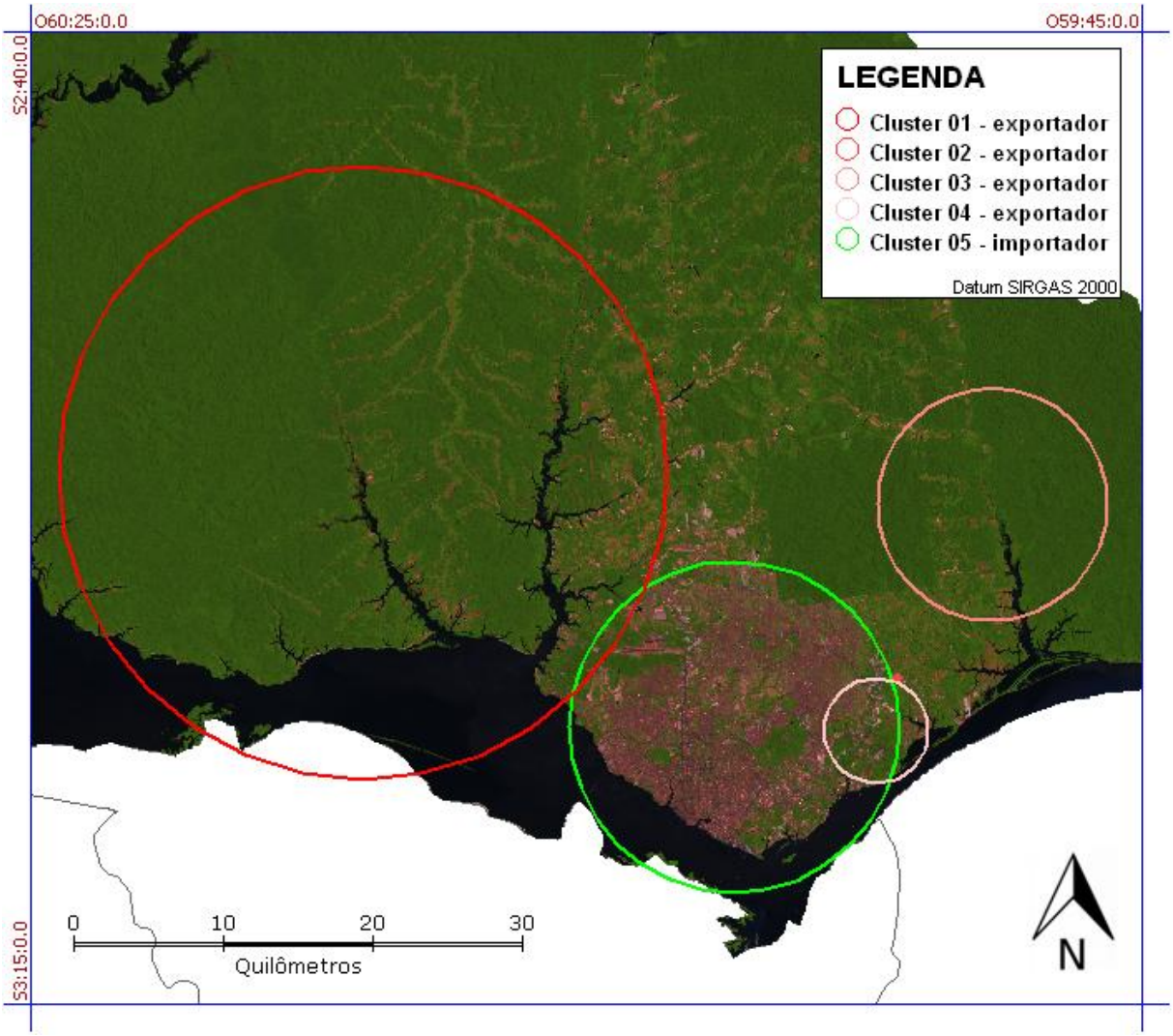


Figura 15: Imagem da ocupação do solo nos cluster de disseminação da malária.

Como esperado, observa-se que os clusters exportadores são regiões que apresentam perturbação do equilíbrio ambiental, onde a urbanização da cidade avança sobre o ambiente natural, incentivando a proliferação dos mosquitos e, consequentemente, a transmissão da malária. O cluster importador situa-se sobre a área urbana da cidade, densamente povoada, onde o processo de perturbação ambiental encontra-se estabilizado.

O cluster importador abrange a região de maior de maior população do município, a área urbana com 99,49% da população (IBGE, censo 2010). Os clusters exportadores 01 e 03 abrangem áreas rurais com presença de igarapés, portanto, muitos balneários e fazendas. O cluster, também exportador, 04 abrange

uma forte área de pressão urbana sobre o ambiente natural, incluindo o Igarapé do Aleixo. E o cluster 02, que é formado por única LTM, representa a Estrada do Puraquequara, uma rodovia de aproximadamente 13 km que leva a muitos balneários.

6. DISCUSSÕES

De modo geral, a aplicação da Estatística Scan para a detecção de clusters exportadores e importadores da malária apresentou resultados condizentes com a realidade observada. A detecção de dois tipos de cluster (importador e exportador) proporcionou uma análise comparativa e interativa entre os dados epidemiológicos referentes às LTM por eles abrangidas, tornando possível o reconhecimento de padrões distintos nos clusters, tanto epidemiologicamente quanto espacialmente.

Analisando os clusters detectados, junto às LTM por eles abrangidas e mais a imagem de satélite, visivelmente percebe-se que os clusters 01 e 03 foram superestimados. Estes clusters possuem grandes espaços sem nenhuma LTM inserida, são áreas de floresta, e no caso do cluster 01, uma grande área de massa d'água (Rio Negro).

O cluster 02 abrangeu uma única LTM, ou seja, a própria LTM é o cluster. Esta é uma situação incongruente com a definição de cluster, na qual um conglomerado é um agrupamento de objetos, no caso, de localidades (LTM). Além disto, o mesmo encontra-se praticamente adjacente ao cluster 04 (ambos os clusters exportadores), indicando claramente sua subestimação.

Novos estudos podem ser realizados modificando-se os critérios de detecção dos clusters. São vários os critérios que podem ser modificados: a forma da janela de varredura (elíptica, formato irregular, etc.), o limite da janela de varredura (comprimento do raio ou limite de população), a significância estatística (menor rigor ou menor número de simulações), etc.

Algumas análises preliminares foram realizadas modificando-se o formato e o limite da janela de varredura. Utilizou-se além da janela circular a janela elíptica e para ambas limitou-se o raio da janela a 2, 5 e 10 km. Em todas as análises os resultados apresentaram padrão espacial semelhante. Os clusters importadores situavam-se na área urbana densamente povoada, enquanto que os clusters importadores situavam-se em sua periferia.

Durante pesquisa bibliográfica para realização deste, poucos estudos abordando a disseminação espacial da malária foram encontrados. No Brasil os estudos encontrados tratam da disseminação da malária quanto à migração populacional e, geralmente, de abrangência intermunicipal (entre municípios). São alguns exemplos destes estudos: Barbieri (2005), que demonstra um modelo de disseminação da malária; Santos et a. (2007), que descreve sobre as potencialidades para exportação da malária na Bacia do Rio Purus; Botelho et al. (1998), que trata do fluxo migratório da malária em Cuiabá-MT, Souza et al. (1986) que pesquisou as migrações da malária na Bahia e Marques (1986), que traçou os fluxos de migração e disseminação da malária no Brasil para a época.

Quanto à detecção de clusters espaciais aplicados a malária temos o estudo de Júnior et al. (2010), que trata da malária no Amazonas e que usa os municípios como parcela de análise. Um artigo norteador deste estudo foi o de Wen et al. (2011), que emprega a detecção de clusters na análise da incidência de malária em Hainan, China. A semelhança do sistema de notificação da malária em Hainan com o utilizado para as LTM pelo SIVEP_malária é enorme, embora as informações de vigilância epidemiológica de Hainan aparentam ter melhor qualidade que as disponibilizadas pelo SIVEP_malária.

Os dados do SIVEP_malária são de baixíssima confiabilidade quanto à população (habitantes) das LTM, cujo para muitas, nem são informadas. Um, se não a maior, das colocações deste estudo foi o empregou os valores de malária por local de provável infecção como população para detecção dos clusters importadores e os valores de malária por local de residência como população para o cluster importador. Suprindo a deficiência de dados existentes, possibilitando uma gama de novas pesquisas e, principalmente, obtendo resultados congruentes.

7. CONCLUSÕES

Dos 14.282 casos analisados (autóctones a Manaus), 6.367 eram alóctones às LTM (exportados e importados). Portanto, 44,58% dos casos analisados para Manaus, de certa forma, são atribuídos à mobilidade humana.

A detecção dos clusters exportadores e importadores e a geração dos fluxos de casos da malária mostrou que existe um padrão de disseminação da doença em Manaus. Houve a detecção 04 conglomerados de LTM exportadoras de casos (clusters exportadores) e um único conglomerado de LTM importadoras (cluster importador). Sendo que, os casos atribuídos aos fluxos gerados entre estes clusters representam 48,94% (3.116 de 6.367) dos casos alóctones analisados.

Os clusters exportadores 01 e 03 encontram-se situados muitos próximos à área urbana. Enquanto os demais clusters exportadores (02 e 04) estão totalmente incluídos na área urbana (em sua periferia). O cluster importador 05 situa-se na área urbana, abrangendo-a quase que totalmente.

A partir destas observações pode-se afirmar que o padrão de disseminação da malária quanto à mobilidade humana em Manaus se caracteriza, em sua grande maioria, por movimentos de curta distância entre área urbana, urbana periférica e rural próxima.

Outras características referentes ao padrão de disseminação da doença serão melhores compreendidas em análise individual por cluster de disseminação detectado.

O cluster exportador 01, o maior cluster detectado e com o maior número de LTM abrangidas, apresentou 46,47% casos autóctones (2.043) em relação aos casos por local de provável infecção (4.396). O cluster exporta 53,53% (2.353 de 4.396) dos casos, dos quais 92,86% (2.185) são destinados ao cluster importador 05.

Os valores percentuais do cluster 01 são bem próximos aos dos clusters 03 e 04, embora os valores totais sejam bem diferentes, O cluster 03 apresenta 41,08 % (318 de 774) de casos autóctones e 58,52% (456) de casos exportados, sendo destes 82,89% (378) destinados ao cluster 05. Enquanto que o cluster 04 possui, respectivamente, os valores de 44,56% (303 de 686), 55,44% (383) e 86,68% (332).

O cluster 02, o menor conglomerado detectado abrangendo uma única LTM, possui somente 15,75% (43 de 273) de casos autóctones, e o alto percentual de 84,25% de casos exportados (230), sendo destes, 96,09% (221) destinados ao cluster 05.

Quanto ao cluster importador 05, o mesmo apresenta 25,76% de casos autóctones (1.778) em relação aos casos por local de residência (6.901). O cluster possui 74,24% (5.123 de 6.901) de casos importados, e destes 60,82% (3.116) oriundos dos clusters exportadores (01 a 04).

A lógica existente nestes padrões é a de que os clusters exportadores apresentam maior percentual de casos autóctones por neles ocorrerem grande número de infecções, o que indica alta proliferação de vetores (mosquitos), infectando também os residentes da região. Enquanto que no cluster importador ocorre pequeno número de infecções, indicando baixa proliferação de vetores e, portanto, baixo percentual de casos autóctones.

O padrão apresentado pelo cluster 02 é atípico (baixo percentual de casos autóctones), podendo apresentar seus referidos valores pela existência de pessoas assintomáticas (que não demonstram os sintomas da doença) infectadas e não tratadas, ou ainda por erro de notificação, o que é pouco provável, pois teria de se tratar de quase 271 registros com erros.

O cluster 04, embora seja um cluster exportador, possui valores relativamente altos de casos por local de residência (534) e importados (231) quando comparados com os casos por local de provável infecção (686) e exportados (383). Esta situação

condiz em sua espacialização, pois o mesmo possui uma grande região intersectada pelo cluster importador. Deve-se relembrar que cluster 04 foi o que apresentou menor significância estatística em sua detecção.

Quando aos fatores determinantes à mobilidade humana entre os clusters detectados, conclui-se que as pessoas residentes no cluster importador procuram as regiões dos clusters exportadores por lazer, pela busca da natureza, de seus balneários e fazendas.

Outra questão a se considerar é a não detecção de clusters nas áreas rurais distantes da área urbana, ou ainda, a detecção de um único cluster importador. Resultados estes indicativos de um padrão de mobilidade humana bem definida que, em parte, é limitada pela dificuldade de logística encontrada no Município.

7.1. CONSIDERAÇÕES

São evidentes as possibilidades de novas pesquisas proporcionadas pela abordagem de espacialização da doença empregada. A utilização das áreas delimitadas pelos clusters como “amostras” torna possível determinar fatores condicionantes à disseminação da malária, podendo-se criar redes dinâmicas entre clusters, ou ainda, prever a formação de novas áreas exportadoras e importadoras da doença.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. B. BARBOSA, M. G. V. ESPINOSA, F. E. M. **Malária em mulheres de idade de 10 a 49 anos, segundo o SIVEP- Malária, Manaus, Amazonas, 2003-2006.** Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical, nº 43. 2010.

ALMEIDA, R. D. **O uso de geotecnologias para o mapeamento da malária no Município de Vitória/ES.** Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde, nº 5. 2009.

ANSELIN, L. **SpaceStat tutorial: a workbook for using SpaceStat in theanalysis of spatial data**. National Center for Geographic Information and Analysis. Santa Barbara, 1992.

ASSIS, M. C. GURGEL, H. C. ANGELIS, C. F. **A relação entre a dinâmica da malária e problemas sócio-ambientais na bacia do rio Purus**. III Simpósio Nacional de Geografia da Saúde e I Fórum Internacional de Geografia da Saúde, 2007.

ASSUNÇÃO, R. M. **Estatística especial com aplicações em epidemiologia, economia e sociologia.** Universidade Federal de São Carlos. São Carlos/SP, 2001.

ATANAKA, S. M. CZERESNIA, D. SOUZA, S. R. OLIVEIRA, R. M. **Comportamento epidemiológico da malária no Estado de Mato Grosso, 1980-2003.** Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical, Nº 39. 2006.

ÁVILA S. L. M. In: FERREIRA, A. W. **Diagnóstico laboratorial das principais doenças infecciosas e auto-imunes.** Guanabara Koogan. Rio de Janeiro/RJ, 1996.

BAILEY, T. C. **Spatial Statistics Methods in Health.** Cadernos de Saúde Pública, nº 5, 2001.

BAILEY, T. GATRELL, A. **Interactive Spatial Data Analysis**. Longman Scientific and Technical. Londres, 1995.

BARATA, R. B. **Malária e seu Controle.** HUCITEC. São Paulo, 1998.

BARBIERI, A. F. SAWYER, D. O. **Malária nos garimpos do Norte de Mato Grosso: diferenciais na homogeneidade.** Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais. Belo Horizonte/MG, 1996.

BARBIERI, A. F. **Uso do solo e prevalência de malária em uma região da amazônia brasileira**. Caderno de Geografia, nº 24. Belo Horizonte/MG, 2005.

BERTINI, G. C. **Uma modelagem orientada a objeto para o mapa urbano básico de Belo Horizonte.** Universidade Católica de Minas Gerais. 2003.

BOOMAN, M. DURRHEIM, D. N. La GRANGE, K. MATRIM, C. MABUZA, A.M. MBOKAZI, F. M. et al. **Using a geographical information system to plan a malaria control programme in South Africa.** Bulletin of the World Health Organization, nº 78. 2000.

BOTELHO, C. BARBOSA, L. S. G. SILVA, M. I. MEIRELLES, S. M. P. **Fluxo migratório de casos de malária em Cuiabá/MT.** Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo, nº 30. 1988.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção Básica. Departamento de Atenção Básica. **Cadernos de atenção básica: vigilância em saúde.** Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Vigilância Epidemiológica. 2º edição. Brasília/DF, 2008.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância Epidemiológica. **Guia de vigilância epidemiológica.** Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Vigilância Epidemiológica, 7º edição. Brasília/DF, 2010.

BRAZ, R. M. ANDREOZZI, V. L. KALE, P. L. **Detecção precoce de epidemias de malária no Brasil: uma proposta de automação.** Epidemiologia e Serviços de Saúde, nº 15. 2006.

CAETER, R. MENDIS, K. N. ROBERTS, D. **Spatial targeting of inteventions against malaria.** Bulletin of the world health organization, nº 78. 2000.

CÂMARA, G. CARVALHO, M. S. CRUZ, O. G. CORREA, V. **Análise espacial de dados geográficos**. INPE. São José dos Campo/SP, 2002.

CARVALHO, M. S. SOUZA, S. R. **Análise de dados espaciais em saúde pública: métodos, problemas, perspectivas.** Cadernos de Saúde Pública, nº 2. Rio de janeiro, 2005.

CHOU, Y. H. **Exploring spatial analysis in geographic information systems.** On Word. Santa Fe/USA, 1996.

CORDEIRO, C. E. S, FILOMENO, C. R. M. COSTA, C. M. A. COSTA, A. A. R. A. **Perfil epidemiológico da malária no Estado do Pará, em 1999, com base numa série histórica de dez anos (1980-1999).** Informe Epidemiológico do Sistema Único de Saúde, nº 11. 2002.

COSTA, F. C. L. et al. **Curso de introdução a Geoestatística**. Universidade Federal do Rio o de grande do Sul, Departamento de Engenharia de Minas, Metalúrgica e Metais. 2003.

CRESSIE, N. A. C. **Statistics for spatial data.** A Wiley-Interscience publication. USA, 1993.

DIGGLE, P. H. **Statistical Analysis of Spatial Point Pattern.** Academic Press. London, 2003.

DUCZMAL, L. ASSUNÇÃO, R. **A simulated annealing strategy for the detection of arbitrarily shaped spatial clusters.** Computational Statistics and Data Analysis, nº 45. 2004.

DWASS, M. **Modified randomization tests for nonparametric hypotheses.** Annals of Mathematical Statistics, nº 28. 1957.

FERREIRA M. S. In: VERONESI, R. FOCACCIA, R. **Tratado de Infectologia**. Atheneu, 2º edição. Rio de Janeiro/RJ, 2004.

FORATTINI, O. P. **Culicidologia médica.** Universidade de São Paulo. São Paulo/SP, 2003.

GARNELO, L. BRANDÃO, L. C. LEVINO, A. **Dimensões e potencialidades dos sistemas de informação geográfica na saúde indígena.** Revista de Saúde Pública, nº39. 2005.

HAINING, R. P. **Spatial data analysis**. Cambridge University Press. UK, 2003.

HUANG, L. KULLDORFF, M. GREGORIO, D. **A spatial scan statistic for survival data.** Biometrics, nº 26. 2007.

JUNG, I KULLDORFF, M. KLASSEN, A. **A spatial scan statistic for ordinal data.** Statistics in Medicine, nº 26. 2007.

JUNG, I. KULLDORFF, M. RICHARD, O. J. **A spatial scan statistic for multinomial data**. Statistics in Medicine, 201.

JÚNIOR, G. L. S. GUEDES, W. C. MESQUITA, D. S. **A malária no Amazonas na primeira década do século XXI Uma análise puramente espacial.** 2010.

JUNQUEIRA, R. D. **Geografia médica e geografia da saúde.** Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saude, nº 8. 2009.

KULLDORFF, M. **A spatial scan statistic.** Communications in Statistics: Theory and Methods, nº 26. 1997.

KULLDORFF, M. HEFFERNAN, R, HARTMAN, J, ASSUNÇÃO, R. M. MOSTASHARI, F. **A space-time permutation scan statistic for the early detection of disease outbreaks.** PLoS Medicine, nº2 . 2005.

KULLDORFF, M. HUANG, L. KONTY, K. **A scan statistic for continuous data based on the normal probability model.** International Journal of Health Geographics, nº 8. 2009.

KULLDORFF, M. NAGARWALLA, N. **Spatial disease cluster: detection and inference.** Statistics in Medicine., nº 14. 1995.

KULLDORFF, M. **SaTScan user guide.** version 9.0. 2010.

LACAZ, C. S. BASRUZZI, R. G. SIQUEIRA, W. **Introdução à geografia médica do Brasil.** Edgard Blücher. São Paulo, 1972.

LAWSON, A.B. KULLDORFF, M. **A review of cluster detection methods.** John Wiley and Sons. Chichester, 1999.

MARQUES, A. C. **Migrations and the dissemination of malaria in Brazil**. International Symposium on Malaria. Rio de Janeiro, 1986.

MARTENS, W. J. M. et al. **Potencial impact of global climate change onmalaria risk.** Environmental Health Perspectives, nº. 5. 1995.

MEDRONHO, R. A. **Geoprocessamento e Saúde: uma nova abordagem do espaço no processo saúde-doença**. FIOCRUZ. Rio de Janeiro, 1995.

MENESES, H. B. **Interface Lógica em Ambiente SIG para Bases de Dados de Sistemas Centralizados de Controle do Tráfego Urbano em Tempo Real.** Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia. Fortaleza, 2003.

MOTTA, E. G. F. **Fatores determinantes da situação da malária na Amazônia.** Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical, nº 25. Brasília/DF, 1992.

MOURA, F. R. **Detecção de clusters espaciais via algoritmo scan circular seletivo.** Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte/MG, 2006.

NEIL, D. B. LINGWALL, J. **A nonparametric scan statistic for multivariate diasease surveillance.** Advances in Disease Surveillance Journal. 2008.

NEIL, D. B. MOORE, A. W. COOPER, G. F. **A bayseian spatial scan statistic.** School of Computer Science. 2008.

OLIVEIRA, M. A. F. P. **Sistemas de vigilância epidemiológica e informação geográfica.** Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação da Universidade de Nova Lisboa. Nova Lisboa, 2008.

PAREDES, E. A. **Sistemas de Informação Geográfica: princípios e aplicações.** Érica. São Paulo, 1994.

PARISE, E. V. et al. **Análise espacial e determinação de áreas prioritárias para o controle da malária, no Estado no Tocantins, 2003-2008.** Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical, nº 44. Brasília/DF, 2011.

RIBEIRO H. **Geografia Médica e Saúde Pública**. Encontro Nacional de Geógrafos. Florianópolis/SC, 2000.

RIBEIRO, M. C. T. GONÇALVES E. G. R. TAUIL P.L. SILVA, A. R. **Aspectos epidemiológicos de um foco de malária no município de São Luis, Maranhão, 2003.** Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical, nº 38: 2005.

ROCHA, M. M. **Modelagem da Dispersão de Vetores Biológicos com emprego da Estatística Espacial,** Dissertação de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 2004.

RODRIGUES, A.F. ESCOBAR, A.L. SOUZA-SANTOS, R. **Análise espacial e determinação de áreas para o controle da malária no Estado de Rondônia.** Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical, nº 41. 2008.

RONALD, E. G. MURRAY, K. C. **A weighted average likelihood ratio test for spatial clustering of disease**. Statistics in Medicine, nº 20. 2001.

SALCEDO, J. M. V, CAMARGO, E. P. KRIEGER, H. SILVA, L.H.P, CAMARGO, L. M. A. **Malaria control in an agro-industrial settlement of Rondônia**. Memórias do Instituto Oswaldo Cruz, nº 95. 2000.

SANTOS, T. B. GURGEL, H. C. ANGELIS, C.F. **Bacia do Rio Purus: potencialidades para exportação da malária.** III Simpósio de Geografia da Saúde. Curitiba, 2007.

SAWYER, D. R.. **Malaria and the environment**. Brasília, Instituto Sociedade População e Natureza. 1992.

SHIMADA, M. S. IMAKAWA, A. **Reflexões sobre as mudanças climáticas e a dinâmica da malária na Amazônia.** Congresso Brasileiro de Meteorologia. Belém/PA, 2010.

SMALLMAN RAYNOR, M. CLIFF, A. **The spread of human immunodeficiency virus type 2 into Europe: a geographical analysis.** International Journal of Epidemiology, nº 2. 1991.

SOUZA, J. M. et al. in: LEÃO, R. N. Q. **Doenças Infecciosas e Parasitárias: enfoque amazônico.** CEJUP. Belém do Pará/PA,1997.

SOUZA, J. M. et al. In: VERONESI, R.; FOCACCIA, R. **Tratado de Infectologia**. Atheneu, 2º edição. Rio de Janeiro/RJ, 2004.

SOUZA, S. L. DOURADO, M. I. C. NORONHA, C. V. **Migrações internas e malária urbana - Bahia, Brasil.** Revista de Saúde Pública, nº 20. 1986.

VASCONCELOS, C. H. NOVO, E. M. L. M, DONALISIO, M. R. **Uso do sensoriamento remoto para estudar a influência de alterações ambientais na distribuição da malária na Amazônia brasileira.** Cadernos de Saúde Pública, nº 22. 2006.

WEN, L. et al. **Spatio-temporal analysis of malaria incidence at the village level in a malaria-endemic área in Hainan, China.** Malaria Journal, nº 10. 2011.

WHO. **World malaria report.** WHO library, 2009.

ANEXO 01

ANÁLISE PRELIMINAR DOS FLUXOS DE DISSEMINAÇÃO DA MALÁRIA

A necessidade da detecção de clusters de disseminação da malária surgiu durante a realização de análise preliminar. Ao gerar o diagrama de fluxos de casos da doença para as 831 LTM georreferenciadas que compõem a área de estudo observou-se a formação de uma grande quantidade dos mesmos, todos com valores relativamente baixos de casos atribuídos.

A análise preliminar foi referente aos dados de notificação da malária registrados no ano de 2011. Foram trabalhados somente os casos incidentes da doença e autóctones ao Município de Manaus. Sendo que, para o referente ano, Manaus apresentou 16.821 casos por local de provável infecção, onde, 14.603 são incidentes, e que, 14.282 são autóctones ao Município.

Dos 14.282 casos analisados, 7.915 eram autóctones à LTM, ou seja, a notificação da doença apresentava local de provável infecção e de residência iguais. Por consequência, 6.367 casos são alóctones, a notificação da doença apresentava local de provável infecção e de residência diferentes.

Os fluxos foram gerados tendo origem no local de provável infecção e destino no local de residência. Dos 6.367 casos, 6.069 possuem LTM georreferenciadas para sua origem e destino (95,32%). O resultado da análise foi a identificação de 3.805 fluxos, que podem ser visualizados na figura 01.

O gráfico da figura 02 mostra que, além da grande quantidade de fluxos, os mesmos possuem baixo número de casos atribuídos. 2.750 fluxos possuem somente 01 caso atribuído. Apenas 24 fluxos possuem 10 ou mais casos atribuídos. O fluxo com maior número possui 24 casos atribuídos, o que é relativamente baixo quando comparado com o número de 6.069 casos analisados.

A simples representação espacial dos fluxos, como apresentado, é confusa e poluída, apresentando dificuldades para a definição de um padrão dos mesmos. Assim, o método encontrado para resolver o problema da geração de fluxos foi à detecção de clusters para as LTM conforme suas contagens de casos importados e exportados.

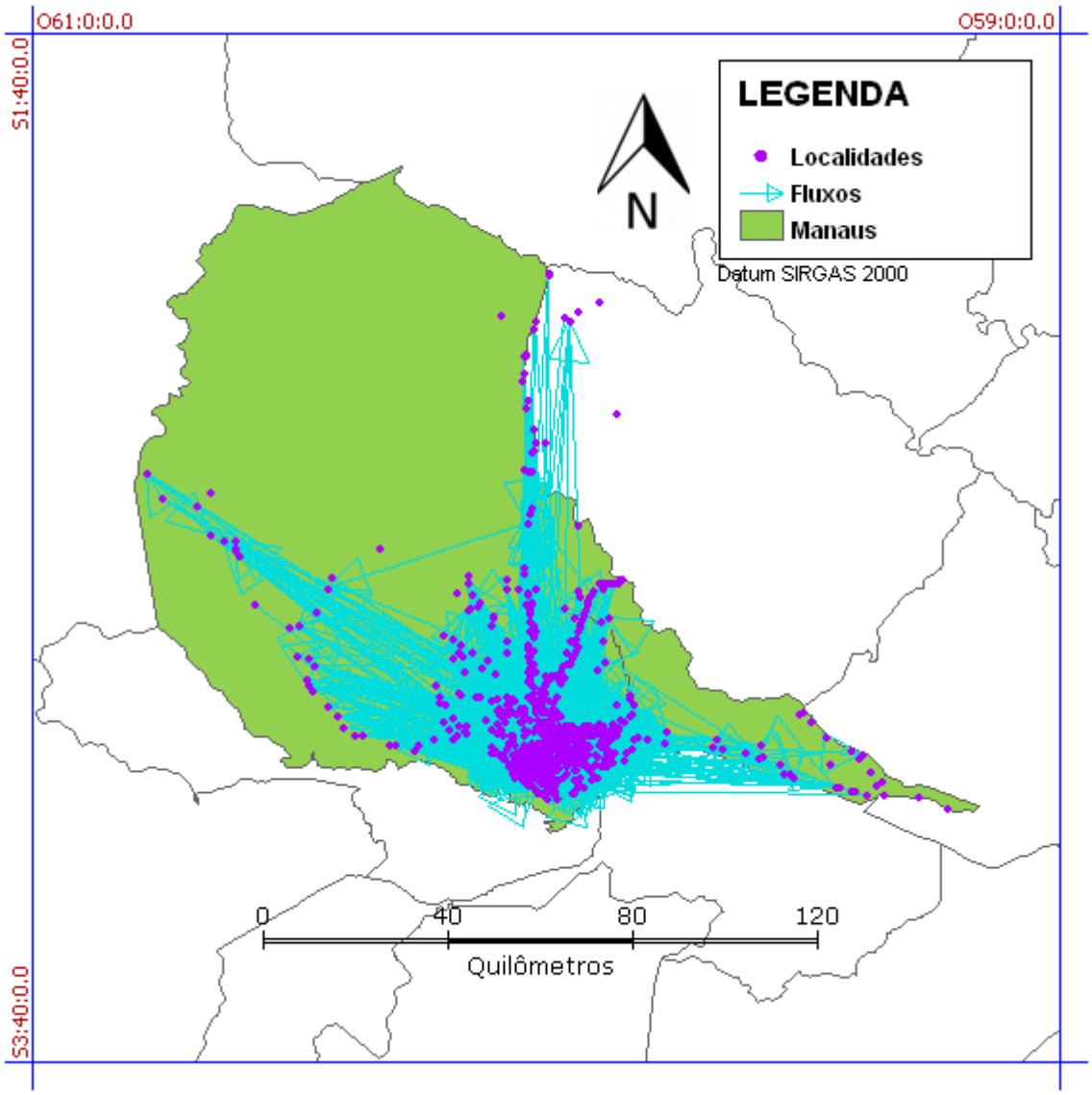


Figura 01: Diagrama dos fluxos de casos da malária em Manaus.

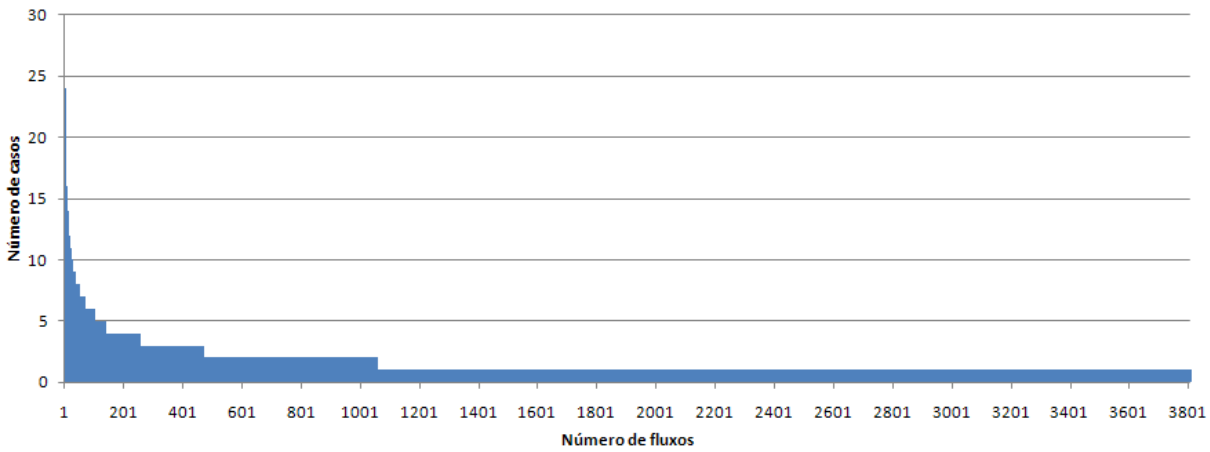
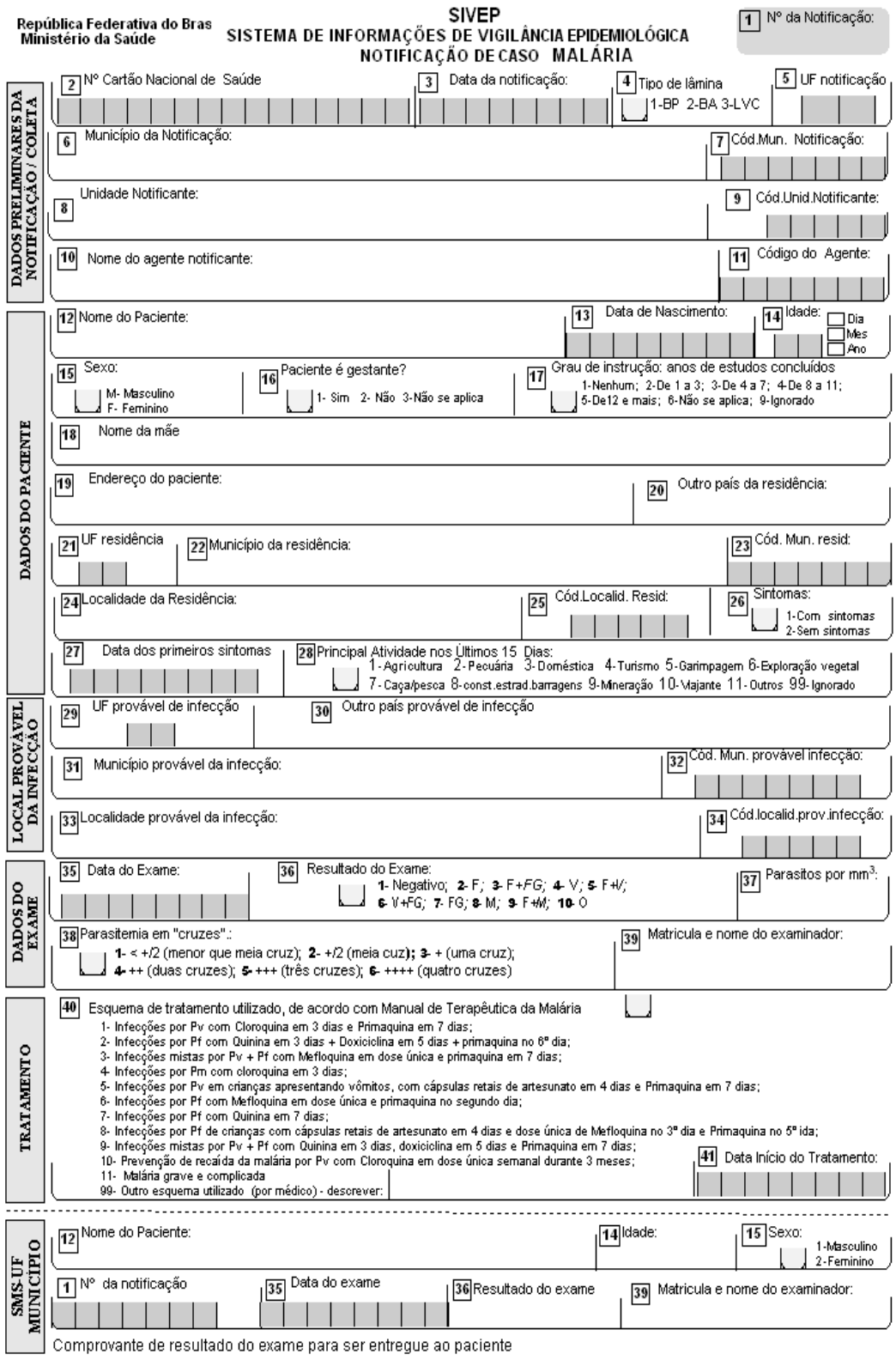


Figura 02: Gráfico dos fluxos de casos da malária em Manaus.

ANEXO 02

FICHA DE NOTIFICAÇÃO DE CASOS DA MALÁRIA