



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21c/2018/05.24.12.55-TDI

**MOBILIDADE HUMANA E HETEROGENEIDADE
ESPACIAL: NOVOS ELEMENTOS PARA O ESTUDO DA
MALÁRIA NA REGIÃO METROPOLITANA DE
MANAUS**

Jaidson Nandi Becker

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Ciência do Sistema Terrestre, orientada pelos Drs. Antônio Miguel Vieira Monteiro, e Maria Isabel Sobral Escada, aprovada em 28 de maio de 2018.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3R6LA48>>

INPE
São José dos Campos
2018

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GBDIR)

Serviço de Informação e Documentação (SESID)

CEP 12.227-010

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/7348

E-mail: pubtc@inpe.br

**COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO
DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):****Presidente:**

Dr. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CGCPT)

Membros:

Dra. Carina Barros Mello - Coordenação de Laboratórios Associados (COCTE)

Dr. Alisson Dal Lago - Coordenação-Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CGCEA)

Dr. Evandro Albiach Branco - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (COCST)

Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação-Geral de Engenharia e Tecnologia Espacial (CGETE)

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Coordenação-Geral de Observação da Terra (CGOBT)

Dra. Ieda Del Arco Sanches - Conselho de Pós-Graduação - (CPG)

Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

Murilo Luiz Silva Gino - Serviço de Informação e Documentação (SESID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21c/2018/05.24.12.55-TDI

**MOBILIDADE HUMANA E HETEROGENEIDADE
ESPACIAL: NOVOS ELEMENTOS PARA O ESTUDO DA
MALÁRIA NA REGIÃO METROPOLITANA DE
MANAUS**

Jaidson Nandi Becker

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Ciência do Sistema Terrestre, orientada pelos Drs. Antônio Miguel Vieira Monteiro, e Maria Isabel Sobral Escada, aprovada em 28 de maio de 2018.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3R6LA48>>

INPE
São José dos Campos
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Becker, Jaidson Nandi.

B388m Mobilidade humana e heterogeneidade espacial: novos elementos para o estudo da malária na região metropolitana de Manaus / Jaidson Nandi Becker. – São José dos Campos : INPE, 2018.

xviii + 97 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21c/2018/05.24.12.55-TDI)

Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2018.

Orientadores : Drs. Antônio Miguel Vieira Monteiro, e Maria Isabel Sobral Escada.

1. Malária. 2. Fontes e sumidouros. 3. Uso e cobertura da terra.
I.Título.

CDU 332.3:616.936(811.3)



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

Aluno (a): **Jaidson Nandi Becker**

Título: "MOBILIDADE HUMANA E HETEROGENEIDADE ESPACIAL: NOVOS ELEMENTOS PARA O ESTUDO DA MALÁRIA NA REGIÃO METROPOLITANA DE MANAUS".

Aprovado (a) pela Banca Examinadora em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do Título de **Doutor(a)** em **Ciência do Sistema Terrestre**

Dr. Claudio Aparecido de Almeida



Presidente / INPE / São José dos Campos - SP

() Participação por Vídeo - Conferência

Aprovado () Reprovado

Dr. Antônio Miguel Vieira Monteiro

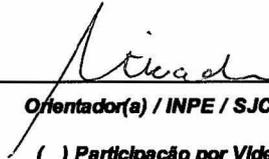


Orientador(a) / INPE / SJC Campos - SP

() Participação por Vídeo - Conferência

Aprovado () Reprovado

Dra. Maria Isabel Sobral Escada



Orientador(a) / INPE / SJC Campos - SP

() Participação por Vídeo - Conferência

Aprovado () Reprovado

Dra. Silvana Amaral Kampel

Membro da Banca / INPE / SJC Campos - SP

() Participação por Vídeo - Conferência

() Aprovado () Reprovado

Dra. Cláudia Torres Codeço



Convidado(a) / FIOCRUZ / Rio de Janeiro - RJ

Participação por Vídeo - Conferência

Aprovado () Reprovado

Dra. Liliam César de Castro Medeiros



Convidado(a) / UNESP / São José dos Campos - SP

() Participação por Vídeo - Conferência

Aprovado () Reprovado

Este trabalho foi aprovado por:

() maioria simples

unanimidade

São José dos Campos, 28 de maio de 2018

"Hey ho, let's go!"

Ramones

AGRADECIMENTOS

Começo agradecendo a meus orientadores, Antonio Miguel Vieira Monteiro e Maria Isabel Sobral Escada, pela ajuda prestada ao longo do doutorado, principalmente, nos últimos meses.

Agradeço aos professores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pelo conhecimento repassado.

Agradeço aos colegas de trabalho da Fundação de Vigilância em Saúde do Estado do Amazonas (FVS-AM), Angela Silva, Regina Carmem, Geani Gomes e Mirna Barata, pela amizade e ajuda prestada.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro.

Agradeço a meus pais, Osmar Rech Becker e Aide Nandi Becker, pelo apoio e carinho.

Agradeço aos colegas de turma, Ana Gabriela Araujo, Anahi Sobral, Ana Paula Santos, Carla Prieto, Chistianne Corsini, Graciela Pinell, Ian Seixas Lira Benites, Lis Broedel, Luciene Gomes, Lucinéia Souza, Sandro Veiga, Rafael Marão Guimarães e Victor Nascimento, pelo companheirismo e amizade.

Também pelo companheirismo, agradeço aos amigos, Henrique Cassol, Wagner Fabien, Mayume Hirye, Aline de Castro, Raquel Mello, Ana Paula Dal'Asta, Juliana Siqueira e Roberta Rosemback. Que a amizade continue.

Obrigado.

RESUMO

A principal contribuição desta Tese se situa na criação de uma ponte entre a pesquisa e os serviços em saúde. Através de duas propostas metodológicas, que são operacionalizadas com uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), gestores da vigilância em malária poderão observar dois novos elementos úteis à vigilância e ao planejamento das intervenções de controle e/ou eliminação da malária. São eles: (1) a Mobilidade, observada indiretamente a partir do movimento de humanos infectados pela malária, considerando os registros de Provável Local de Infecção e de Local de Residência referentes aos casos positivos de malária, que apresenta uma maneira de lidar com a vigilância de casos importados, e (2) a Heterogeneidade Espacial, vista através da caracterização da paisagem dos lugares por onde circulam os humanos infectados, e também os vetores e parasitos. A Tese concentra os aportes metodológicos propostos para a Região Metropolitana de Manaus. Para o estudo da Mobilidade tem-se uma adaptação do conceito de fontes e sumidouros de casos importados de malária, para qual é desenvolvida uma tipologia utilizando somente dados de notificação de casos provenientes do Sistema de Informação de Vigilância Epidemiológica (SIVEP-malária). Para o estudo da Heterogeneidade Espacial tem-se a exploração dos dados de uso e cobertura da terra produzido pelo Projeto TerraClass, na qual é desenvolvida uma tipologia de mosaicos de classes de uso e cobertura da terra que refletem a relevância da paisagem para transmissão da malária. As informações derivadas de sistemas de informação do setor saúde (SIVEP-malária) exploradas em conjunto com as informações derivadas de sistemas de informação de monitoramento ambiental (Projeto TerraClass), apontam novas possibilidades para pensar e planejar intervenções de controle e/ou eliminação da malária. Intervenções mais efetivas e a melhoria da vigilância de casos importados são premissas importantes para o sucesso de um programa de controle e/ou eliminação da malária. Com base nos novos elementos apresentados, torna-se possível planejar intervenções de controle e/ou eliminação específicas e, por isso, mais eficazes.

Palavras-chave: Malária. Fontes e sumidouros. Uso e cobertura da terra.

HUMAN MOBILITY AND SPATIAL HETEROGENEITY: NEW ELEMENTS FOR THE STUDY OF MALARIA IN THE METROPOLITAN REGION OF MANAUS

ABSTRACT

The main contribution of this Thesis lies in the development of a bridge between research and health services. Expressed through two methodological proposals operationalized with the use of Geographic Information Systems, malaria surveillance managers will be able to observe two new elements useful for surveillance and the planning of interventions of malaria control and/or elimination. These are: (1) Mobility, observed indirectly from the movement of humans infected by malaria, considering the Probable Local Infection and Residence Location records referring to positive cases of malaria, which presents a way of dealing with surveillance of imported cases, and (2) Spatial Heterogeneity, seen through the characterization of the landscape of places where infected humans circulate, as well as vectors and parasites. The Thesis concentrates the methodological contributions proposed for the Metropolitan Region of Manaus. For the study of mobility, there is an adaptation of the concept of sources and sinks of imported cases of malaria, for which a typology is developed using only case-reported data from the Epidemiological Information Surveillance System (SIVEP-malaria). For the study of Spatial Heterogeneity we explore land use and land cover data produced by the TerraClass Project. A typology of land use and land cover class mosaics reflecting the relevance of the landscape for malaria transmission is developed. Information derived from health sector information systems (SIVEP-malaria) operated in conjunction with information derived from environmental monitoring information systems (TerraClass Project), points to new possibilities for thinking and planning malaria control interventions and/or elimination. More effective interventions and improved surveillance of imported cases are important premises for the success of programs towards malaria control and/or elimination. Based on the new elements presented in this Thesis, it is possible to plan specific and therefore more effective interventions.

Keywords: Malaria. Sources and sinks. Land use and land cover.

LISTA DE FIGURAS

| | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| Figura 3.1: Mapa da RMM com seus 8 municípios metropolitanos | 16 |
| Figura 3.2: Número de infecções por malária adquiridas na RMM de 2003 a 2017 | 17 |
| Figura 4.1: Diagrama do movimento de humanos infectados | 21 |
| Figura 4.2: Diagrama simplificado da metodologia de mapeamento de fontes e sumidouros de casos importados..... | 23 |
| Figura 4.3: Localidades da RMM georreferenciadas..... | 25 |
| Figura 4.4: Grade celular criada para a RMM | 26 |
| Figura 4.5: Mapa dos casos exportados pelas células da RMM em 2015 | 31 |
| Figura 4.6: Mapa dos casos importados pelas células da RMM em 2015 | 32 |
| Figura 4.7: Mapa dos casos autóctones às células da RMM em 2015 | 33 |
| Figura 4.8: Mapa de fontes e sumidouros de casos importados na RMM em 2015 | 34 |
| Figura 4.9: Mapa de fluxos de casos exportados de uma determinada célula S2..... | 40 |
| Figura 4.10: Mapa de fluxos de casos importados de uma determinada célula S2..... | 41 |
| Figura 5.1: Borda, fronteira e linha de contato | 47 |
| Figura 5.2: Diagrama simplificado do processo de desenvolvimento do IRPm | 57 |
| Figura 5.3: Uso e cobertura da Terra na RMM em 2014..... | 68 |
| Figura 5.4: Mapa da composição da paisagem (mosaicos) para a RMM em 2014 | 70 |
| Figura 5.5: Mapa do Gradiente de Relevância para a transmissão da malária (GRm) para a RMM em 2014..... | 72 |
| Figura 5.6: Mapa do Índice de Contraste para a RMM em 2014..... | 73 |
| Figura 5.7: Mapa do Índice de Relevância da Paisagem para a transmissão da malária (IRPm) para a RMM em 2014..... | 75 |

| | |
|--|----|
| Figura 5.8: Recorte dos mapas IRPm e mosaicos | 78 |
| Figura 6.1: Recorte dos mapas fontes e sumidouros, IRPm e mosaicos | 89 |

LISTA DE TABELAS

| | <u>Pág.</u> |
|--|--------------------|
| Tabela 2.1: Períodos de transmissibilidade e incubação dos plasmódios da malária de casos importados..... | 10 |
| Tabela 2.2: Campos do módulo de notificação do SIVEP-malária (parcial) | 12 |
| Tabela 2.3: Campos do módulo de cadastro de Localidades do SIVEP-malária (parcial) | 13 |
| Tabela 4.1: Tipologia de categorias de fontes e sumidouros de casos importados..... | 28 |
| Tabela 4.2: Número de células e números de casos exportados, importados e autóctones (2015) segundo categorias de fonte e sumidouros de casos importados (2015) e municípios da RMM..... | 36 |
| Tabela 5.1: Classes temáticas dos dados TerraClass | 49 |
| Tabela 5.2: Tipologia de mosaicos..... | 58 |
| Tabela 5.3: Operadores de presença e ausência..... | 62 |
| Tabela 5.4: Fronteiras qualificadas ao cálculo do C..... | 65 |
| Tabela 5.5: Número de células segundo mosaicos (2014) e municípios da RMM | 71 |
| Tabela 5.6: Legendas do IRPm segundo GRm e C | 76 |
| Tabela 5.7: Número de células segundo IRPm (2014) e municípios da RMM . | 76 |
| Tabela 5.8: Números de células com infecções adquiridas, de infecções adquiridas e de casos importados (2015) segundo IRPm e mosaicos (2014) na RMM..... | 81 |
| Tabela 5.9: Números de células com infecções adquiridas, de infecções adquiridas e de casos importados (2015) segundo IRPm e C (2014) na RMM | 82 |
| Tabela 5.10: Médias de infecções adquiridas e de casos importados (2015) por célula, segundo IRPm (2014) na RMM | 83 |

| | |
|---|----|
| Tabela 6.1: Números de casos exportados, importados e autóctones (2015) segundo categoria de fontes e sumidouros de casos importados (2015) e por mosaicos(2014) na RMM | 86 |
| Tabela 6.2: Números de casos exportados, importados e autóctones (2015) segundo categoria de fontes e sumidouros de casos importados (2015) e IRPM (2014) na RMM | 87 |

SUMÁRIO

| | <u>Pág.</u> |
|---|--------------------|
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 Objetivos | 7 |
| 2.1.1 Organização da Tese | 7 |
| 2 MALÁRIA..... | 9 |
| 2.1 Sistema de notificação..... | 10 |
| 3 ÁREA DE ESTUDO..... | 15 |
| 4 MALÁRIA E MOBILIDADE HUMANA: MAPEANDO FONTES E SUMIDOUROS DE CASOS IMPORTADOS | 19 |
| 4.1 Fontes e sumidouros de casos importados de malária | 19 |
| 4.1.1 Casos importados e o movimento de humanos infectados | 20 |
| 4.1.2 Fontes e sumidouros | 21 |
| 4.2 Metodologia | 22 |
| 4.2.1 Espaço celular | 23 |
| 4.1.1.1 Criando grade regular para a RMM..... | 24 |
| 4.1.1.2 Preenchimento de células | 27 |
| 4.2.2 Tipologia de categorias de fontes e sumidouros de casos importados .. | 27 |
| 4.3 Resultados..... | 29 |
| 4.3.1 Discussões | 37 |
| 4.3.2 Fontes, sumidouros e mobilidade..... | 39 |
| 5 MALÁRIA E HETEROGENEIDADE ESPACIAL: PAISAGENS RELEVANTES PARA A TRANSMISSÃO DA MALÁRIA | 43 |
| 5.1 Paisagem: estrutura e métricas..... | 44 |
| 5.1.1 Composição: presença e ausência de classes..... | 46 |
| 5.1.2 Configuração: índice de contraste | 46 |
| 5.2 Projeto TerraClass: dados de monitoramento do uso e cobertura da terra | 48 |
| 5.3 Tipos de uso e cobertura da terra de relevância para a transmissão da malária | 51 |

| | |
|---|----|
| 5.4 Metodologia..... | 56 |
| 5.4.1 Espaço celular..... | 57 |
| 5.4.2 Tipologia de mosaicos..... | 58 |
| 5.4.3 Índice de Contraste | 65 |
| 5.4.4 Índice de Relevância da Paisagem (IRPm)..... | 66 |
| 5.5 Resultados | 67 |
| 5.5.1 Discussões..... | 76 |
| 5.5.2 Avaliação do IRPm..... | 79 |
| 6 MALÁRIA, MOBILIDADE HUMANA E HETEROGENEIDADE ESPACIAL: OBSERVANDO FONTES, SUMIDOUROS E PAISAGEM..... | 85 |
| 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 93 |
| 7.1 Contribuições | 93 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | |

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas duas décadas, iniciativas internacionais, tais como o Fundo Global de Combate à AIDS, Tuberculose e Malária, têm promovido a redução da morbidade e da mortalidade por malária em vários países (KATZ et al., 2011; NEWBY et al, 2016). Apoiada por esta conjectura, em maio de 2015, a Organização Mundial de Saúde (OMS) divulgou a Estratégia Técnica Mundial para o Paludismo (ETPM) 2016-2030, estabelecendo ambiciosas metas globais para a redução da morbidade e da mortalidade por malária (WHO, 2015).

Conforme as metas da ETPM, até o final de 2030, a incidência e a mortalidade anual por malária deverão estar mundialmente reduzidas a menos de 10% dos valores de 2015, quando houve 212 milhões de novos casos e 429 mil mortes. No entanto, o último relatório mundial sobre a malária, publicado em dezembro de 2017, traz dados preocupantes (WHO, 2017). No ano de 2016 a morbidade e a mortalidade por malária no mundo aumentou. Houve 216 milhões de novos casos e 445 mil mortes por malária em 2016, quatro milhões de casos e 16 mil mortes a mais que o documentado para 2015 (WHO, 2017).

O Boletim de Atualização Epidemiológica da Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS), publicado em janeiro de 2018, confirma este quadro para as Américas. Em 2016 nove países notificaram aumentos de casos: Colômbia, Equador, El Salvador, Guiana, Haiti, Honduras, Nicarágua, Panamá e Venezuela. Em 2017 cinco países notificaram aumento: Equador, Nicarágua, Venezuela, Brasil e México (OPS/OMS, 2018).

Outra meta da ETPM 2016-2030 refere-se especificamente a eliminação da malária. A OMS define eliminação da malária como sendo a interrupção da transmissão vetorial da doença, com redução à zero da incidência de infecções, considerando uma definida área geográfica e, pelo menos, uma espécie parasitária específica (WHO, 2007). Até 2030 a OMS almeja que a transmissão da doença esteja eliminada em pelo menos 35 países com transmissão ativa em 2015 (WHO, 2015). Mas, enquanto que no início de 2016

havia no mundo 91 países com transmissão ativa, ao fim do ano havia 94 (WHO, 2016; WHO, 2017).

Diante deste quadro controverso, visando retomar o caminho da redução gradativa da malária em seu território, de modo à construir uma parceria com a OMS e, assim, contribuir para o alcance das metas da ETPM 2016-2030, a Secretaria de Vigilância em Saúde do Ministério da Saúde (SVS/MS) lançou no início de 2016, a versão preliminar do intitulado Plano de Eliminação de Malária no Brasil¹ (BRASIL, 2016).

Segundo dados do Sistema de Informação de Vigilância Epidemiológica para a malária (SIVEP-malária), consultado em março de 2018, entre 2005 e 2016 houve no Brasil uma redução gradativa da malária. No ano de 2005 houve uma incidência de 606.069 casos e em 2016 houve 123.910, uma redução de 482.159 casos. No entanto, ainda segundo dados do SIVEP-malária, no ano de 2017 houve no Brasil uma incidência de 189.143 casos, um aumento de 65.233 casos em relação ao ano anterior (SIVEP-malária; 2018)

A ocorrência da malária é um processo altamente complexo. A transmissão da doença resulta de uma trama de relações que envolvem: (1) os mosquitos do gênero *Anopheles*, que são os vetores da doença, (2) o homem, o único reservatório de importância para a malária humana, e (3) o parasito (plasmódio), que é o agente etiológico da doença (BRASIL, 2010). No Brasil, são três espécies de plasmódio que causam malária, *Plasmodium vivax*, *P. falciparum* e o *P. malariae*, mas casos de malária relacionados a esta última espécie são raramente observados. O principal vetor da doença no país é o mosquito fêmea do gênero *Anopheles darlingi*, presente em aproximadamente 80% do território nacional (OLIVEIRA-FERREIRA et al., 2010; SINKA et al., 2010).

¹ O Plano de Eliminação de Malária no Brasil (versão preliminar), sub intitulado Fase 1: malária *falciparum*, estabelece estratégias para eliminação da malária por *Plasmodium falciparum*. O documento também se compromete com a elaboração de estratégias para eliminação da malária por *P. vivax* em fases futuras.

A complexidade das relações que tem por desfecho um caso de malária foi expressada por Lewis Hackett (1937) da seguinte forma: *“Tudo na malária é tão moldado e alterado pelas condições locais que ela se apresenta como se transformada em milhares de doenças diferentes estabelecendo muitos quebra-cabeças epidemiológicos. Como em um jogo de xadrez, a malária se monta com poucas peças, mas o processo se desenrola numa variedade de possíveis situações quase infinitas”* (tradução livre do autor).

Esta complexidade tem impacto no planejamento das estratégias que buscam o controle e, principalmente, a eliminação da malária. Não é possível pensar em programas de eliminação para malária, assim como realizar o planejamento de intervenções, sem o conhecimento das singularidades locais que conformam a transmissão da doença. Especificidades locais precisam ser observadas, principalmente as associadas à ecologia do vetor e aos espaços de vida das pessoas: uma mesma paisagem, compartilhada por mosquitos, parasitos e humanos.

Ao procurar eliminar a malária, ou seja, ao almejar interromper a transmissão vetorial da doença sem necessariamente eliminar os vetores, a vigilância de casos importados torna-se essencial (WHO, 2007). A presença de casos importados retrata a chegada de humanos infectados, que são hospedeiros de parasitos não naturais da área em que chegam. A introdução de parasitos em áreas com transmissão ativa para malária contribui para a persistência da transmissão da doença (LINARD et al., 2009; TATEM e SMITH, 2010; PROSPER et al., 2012; WESOLOWSKI et al., 2012; ANGELO et al, 2017). Por outro lado, a introdução de parasitos em áreas endêmicas sem transmissão ativa pode causar a emergência ou reemergência da transmissão, reduzindo avanços da estratégia de eliminação, sobretudo se as ações de vigilância locais forem pouco efetivas (ACEVEDO et al., 2015).

A Região Amazônica possui ambiente propício à proliferação de grande número de espécies vetor da malária e condições sociais oportunas ao contato do homem com o vetor (SAWYER, 1992; BARBIERI, 2005; CASTRO et al., 2006). Aproximadamente 97% das infecções por malária ocorridas no Brasil

são adquiridas na Região Amazônica (BRASIL, 2015). A Amazônia Legal Brasileira² abrange os Estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins e 182 municípios do Maranhão. A Região representa aproximadamente 59% do território brasileiro (IBGE, 2018).

Há na Amazônia uma ampla diversidade de formas sócio-espaciais, tais como aldeias indígenas, comunidades tradicionais, vilas ribeirinhas, projetos de assentamentos, madeiras, fazendas, minerações, indústrias, cidades, comércios e serviços, em contínua expansão sobre, e em meio, uma densa floresta (AB`SABER, 2004; CARDOSO e LIMA, 2006; BECKER, 2013; CARDOSO et al., 2016). A complexidade da urbanização contemporânea da Amazônia requer novas abordagens para entender estas diversas formas sócio-espaciais.

Monte-Mór (2004; 2005) argumenta que, na Amazônia, as cidades, vilas, centros de comércio e de serviços, plantas industriais, grandes e pequenas fazendas, pequenos assentamentos extrativistas, campos de mineração e mesmo áreas indígenas, funcionam como nós em um sistema urbano com múltiplas centralidades. Estes nós são ligados através de diferentes fluxos, favorecendo intensa mobilidade humana e variados padrões de circulação. Situação esta que impõe desafios ao avanço das estratégias de controle e/ou eliminação da malária (PINDOLIA et al., 2012; STURROCK et al., 2015).

Ferreira e Castro (2016) apontam a mobilidade humana como um dos principais desafios à eliminação da malária no Brasil. Em contextos de intensa mobilidade humana a circulação de humanos infectados tende a crescer, atuando, os humanos infectados, como reservatórios e disseminadores da malária. À medida que o trabalho para controlar e eliminar a malária avança a necessidade de um planejamento estratégico sólido pelos programas de eliminação torna-se cada vez mais indispensável.

² Se refere a região definida pela Lei Ordinária nº 5.173 de 27 de outubro de 1966 atualizada pela Lei Complementar nº 124 de 3 de Janeiro de 2007.

A ciência deve sempre buscar construir pontes entre o conhecimento acadêmico e serviços aplicados. Na saúde pública, é possível explorar conjuntamente (1) dados produzidos pelos sistemas de informação do setor saúde, os quais normalmente estão relacionados ao registro sistemático de dados de notificação de casos, e (2) dados produzidos fora do contexto do setor saúde que tragam informações relevantes. Uma destas informações relevantes, produzidas fora do contexto do setor saúde, é o monitoramento do uso e cobertura da terra. Produzidas no contexto da vigilância ambiental, dados de uso e cobertura da terra permitem caracterizar os padrões de paisagem dos lugares endêmicos à malária.

Fundamentada sobre esta conjectura, esta Tese faz uso de dados de notificação de casos de malária, provenientes do SIVEP-malária (BRASIL, 2003), e de dados de uso e cobertura da terra, de responsabilidade do Projeto TerraClass (ALMEIDA et al., 2016), para a produção de informação espacial úteis à vigilância e ao planejamento de intervenções de controle e/ou eliminação da malária. Através de duas propostas metodológicas, operacionalizadas pelo uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), gestores da vigilância em malária poderão ter acesso a informações referentes a dois novos elementos orientados a vigilância e ao planejamento das intervenções de controle e/ou eliminação da malária, são eles:

1. a mobilidade humana: observada indiretamente a partir do movimento de humanos infectados; e
2. a heterogeneidade espacial: representada através da caracterização da paisagem dos lugares por onde circulam os humanos infectados.

Esta Tese aplica seus aportes metodológicos em um estudo desenvolvido para a Região Metropolitana de Manaus (RMM), mais precisamente para oito municípios metropolitanos: Manaus, Iranduba, Novo Airão, Itacoatiara, Presidente Figueiredo, Rio Preto da Eva e Careiro da Várzea e Manacapuru.

Para o estudo da mobilidade humana, é apresentada uma adaptação do conceito de fontes e sumidouros de casos importados de malária (TATEM e SMITH, 2010; PINDOLIA et al., 2012; PROSPER et al., 2012; WESOLOWSKI

et al., 2012; RUKTANONCHAI et al., 2016). Uma tipologia de fontes e sumidouros de casos importados é desenvolvida. A tipologia utiliza unicamente dados provenientes do SIVEP-malária. Os dados utilizados estão na escala espacial das Localidades, as quais são menores unidades espaciais de referência à notificação de casos de malária. Ao final, é produzido um mapa de fontes e sumidouros de casos importados capaz de sintetizar o movimento de humanos infectados sobre uma determinada região, no caso deste estudo, a RMM.

O estudo da heterogeneidade espacial é realizado através da exploração dos dados de uso e cobertura da terra produzido pelo Projeto TerraClass. Nesta parte do estudo é desenvolvida uma tipologia para a caracterização de mosaicos de classes de uso e cobertura da terra. Métricas do campo da ecologia da paisagem são estabelecidas para células regulares de [4x4]km e, ao fim, um Índice de Relevância da Paisagem para a transmissão da malária (IRPm) é produzido e espacializado.

As células regulares de [4x4]km são aplicadas tanto no estudo da mobilidade humana quanto da heterogeneidade espacial. Desta forma, uma unidade espacial comum de análise é constituída, possibilitando a integração dos elementos representados pelos dois estudos. As informações referentes ao Mapa de fontes e sumidouros de casos importados e ao Mapa do IRPm contribuem para o planejamento das intervenções de controle e/ou eliminação da malária, inclusive para a definição das áreas prioritárias a execução destas intervenções.

Metodologias inovadoras são necessárias para que se avance em direção à eliminação da malária. Os aportes metodológicos apresentados nesta Tese buscam estas inovações. Esta Tese procura dialogar com programas de vigilância em malária, apresentando novos elementos e novas possibilidades para pensar e planejar intervenções de controle e/ou eliminação da malária em uma região de grande complexidade e de enorme importância epidemiológica para o Brasil, a Região Amazônica.

1.1. Objetivos

O objetivo principal desta Tese é desenvolver aportes metodológicos para o estudo da mobilidade humana e da heterogeneidade espacial, ambos orientados a vigilância e ao planejamento de intervenções de controle e/ou eliminação da malária na Amazônia brasileira.

Os objetivos específicos são:

1. desenvolver método para observar o movimento de humanos infectados através do mapeamento de fontes e sumidouros de casos importados de malária utilizando unicamente dados disponibilizados pelo SIVEP-malária;
2. desenvolver método para quantificar a relevância da paisagem para a transmissão da malária através da caracterização de mosaicos de uso e cobertura da terra utilizando dados produzidos pelo Projeto TerraClass;
3. discutir o planejamento de intervenções de controle e/ou eliminação da malária a partir das informações de mobilidade humana e heterogeneidade espacial produzidas para a RMM.

1.2. Organização da Tese

O Capítulo 2 trata de uma revisão teórica sobre a malária: características gerais, aspectos clínicos, etc. O Capítulo 2 também descreve o sistema de notificação de casos utilizado na Amazônia brasileira, o SIVEP-malária.

O Capítulo 3 descreve a Região Metropolitana de Manaus (RMM), mais precisamente oito de seus municípios: Manaus, Iranduba, Novo Airão, Itacoatiara, Presidente Figueiredo, Rio Preto da Eva e Careiro da Várzea e Manacapuru. O capítulo descreve os aspectos sócio-espaciais da região e apresenta o perfil epidemiológico da RMM para a malária.

O Capítulo 4 desenvolve metodologia para o mapeamento de fontes e sumidouros de casos importados de malária. No capítulo, a grade regular de células [4x4]km é criada, a tipologia de fontes e sumidouros é aplicada e os

resultados são discutidos, principalmente no que se refere ao planejamento de intervenções de controle e/ou eliminação da malária.

O Capítulo 5 desenvolve o Índice de Relevância da Paisagem para a transmissão da malária (IRPm). No capítulo é descrito o Projeto TerraClass e os dados de uso e cobertura da terra por este produzidos, uma revisão bibliográfica sobre a relevância de diferentes formas de uso e cobertura de terra na transmissão da malária é apresentada, métricas do campo da ecologia da paisagem são estabelecidas para as células da grade regular [4x4]km. O IRPm é aplicado e os resultados são discutidos e avaliados.

No Capítulo 6 é discutido o uso integrado das informações referentes ao Mapa de fontes e sumidouros de casos importados e ao Mapa do IRPm, como estes elementos podem orientar o planejamento das intervenções de controle e/ou eliminação da malária. Por fim, no Capítulo 7, as considerações finais são apresentadas.

2. MALÁRIA

A malária é uma doença infecciosa febril aguda, causada por protozoários do gênero *Plasmodium* transmitida ao homem através da picada de mosquitos fêmeas do gênero *Anopheles* (BRASIL, 2010). 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, 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 ao sugar o sangue de uma pessoa com gametócitos circulantes. O gametócito é a forma sexuada dos parasitos 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. malariae* (ÁVILA, 1996; FERREIRA, 2004; BRASIL, 2010). A Tabela 2.1 apresenta estas informações.

Tabela 2.1: Períodos de transmissibilidade e incubação dos plasmódios da malária.

| Plasmódio | Período de transmissibilidade | Período de incubação |
|----------------------|-------------------------------|----------------------|
| <i>P. vivax</i> | Poucas horas | 13 a 17 dias |
| <i>P. falciparum</i> | 7 a 12 dias | 8 a 12 dias |
| <i>P. malariae</i> | - | 28 a 30 dias |

Fonte: Brasil (2010).

Indivíduos não adequadamente tratados podem vir a ser fonte de infecção por até um ano no caso da malária por *P. falciparum*, três anos no caso do *P. vivax* e por mais de três anos no caso do *P. malariae*. Em populações expostas à transmissão por muitos anos é possível a existência de humanos assintomáticos portadores do plasmódio (BRASIL, 2010).

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, seguido por uma fase febril com temperatura corpórea que pode atingir 41°C ou mais. Após um período de duas a seis horas ocorre declínio da febre e o paciente apresenta suor excessivo e fraqueza intensa (FERREIRA, 2004; SOUZA et al., 2004).

Nos casos com complicações pode 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. malariae* e *P. vivax* e as formas clínicas mais graves pelo *P. falciparum* (FERREIRA, 2004; SOUZA et al., 2004).

2.1. Sistema de notificação

De acordo com Secretária de Vigilância em Saúde do Ministério da Saúde (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 (BRASIL, 2010). Para a Região Amazônica, área considerada endêmica à

malária, os casos são notificados por meio da Ficha de Notificação de Casos de Malária (FNCM).

A FNCM coleta dados referentes à identificação da: unidade e do agente notificante, do paciente, incluindo, Local de provável infecção e Local de residência, do resultado do exame laboratorial, e do esquema de tratamento utilizado. Toda FNCM preenchida deve ser enviada ao setor competente para processamento digital, no qual as informações contidas nas FNCM são inseridas no Sistema de Informação de Vigilância Epidemiológica para a malária (SIVEP-malária).

O SIVEP-malária é composto pelo módulo de notificação e por quatro módulos auxiliares: cadastro de Localidades, cadastro de laboratórios, cadastro de unidades e cadastro de agentes notificantes (ALMEIDA et al., 2010; BRAZ et al., 2006). São muitas as informações contidas no SIVEP-malária. Somente os campos de interesse para o desenvolvimento deste estudo serão descritos. A Tabela 2.2 apresenta os campos de interesse referentes ao módulo de notificação, e a Tabela 2.3 apresenta os referentes ao módulo de cadastro de Localidades.

Do módulo de notificação, os campos País de provável infecção, UF de provável infecção, Município de provável infecção e Local de provável infecção, são obtidos por meio de inquérito (entrevista) ao paciente. Com base na data de surgimento dos primeiros sintomas e da espécie de plasmódio circulante (campos do módulo de notificação não apresentado na Tabela 2.2), é possível estimar o dia de ocorrência da infecção, o que auxilia no reconhecimento do possível País, UF, Município e Localidade onde o paciente contraiu a doença. Trata-se de um pressuposto e por isso o emprego do termo provável.

Do módulo de cadastro de Localidades, se faz necessário uma descrição mais detalhada do termo Localidade. Conforme o Programa Nacional de Prevenção e Controle da Malária (PNCM), as Localidades são as menores unidades espaciais de agregação dos dados de notificação da malária registrados no SIVEP-malária (BRASIL, 2003).

Definidas pelos administradores regionais do SIVEP-malária em conjunto com o Gestor da Vigilância Epidemiológica Municipal, as Localidades podem representar bairros, comunidades, vilas, aldeias, garimpos, assentamentos, clubes, estradas, sítios, fazendas, casas, etc. De modo prático, as Localidades são locais previamente definidos para os quais a FNCM é preenchida quanto aos campos Local de provável infecção e Local de residência.

Uma das funções das Localidades é possibilitar a formação de um banco de dados geográfico referentes aos dados de notificação da malária através do registro da latitude e longitude (ponto) de cada Localidade cadastrada no SIVEP-malária.

Tabela 2.2: Campos do módulo de notificação do SIVEP-malária (parcial).

| Campo | Descrição |
|--|---|
| Data da notificação | Informa a data de preenchimento da ficha de notificação, a qual pode ser considerada como sendo a data de consulta do paciente. |
| Resultado do exame | Informa se resultado do exame foi negativo ou positivo e, em caso de positivo, a espécie do plasmódio circulante (o preenchimento dos demais campos deste módulo são preenchidos somente em casos de resultado positivo). |
| Identificador de Lamina de Verificação de Cura (LVC) | Informa se o caso é incidente (novo) ou prevalente (mal curado, recorrente). |
| País de provável infecção | Informa o País em que provavelmente o paciente contraiu a doença. |
| UF de provável infecção | Informa o Estado em que provavelmente o paciente contraiu a doença (caso o País seja o Brasil). |
| Município de provável infecção | Informa o Município em que provavelmente o paciente contraiu a doença (caso o País seja o Brasil). |
| Local de provável infecção | Informa a Localidade em que provavelmente o paciente contraiu a doença (caso o País seja o Brasil). |
| País de residência | Informa o País de residência do paciente. |
| UF de residência | Informa o Estado de residência do paciente (caso o País seja o Brasil). |
| Município de residência | Informa o Município de residência do paciente (caso o País seja o Brasil). |
| Local de residência | Informa a Localidade de residência do paciente (caso o País seja o Brasil). |

Fonte: Produção do autor.

Tabela 2.3: Campos do módulo de cadastro de Localidades do SIVEP-malária (parcial).

| Campo | Descrição |
|-----------|--|
| Código | Informa código da Localidade |
| Nome | Informa o nome da Localidade. |
| UF | Informa o Estado no qual a Localidade esta situada. |
| Município | Informa o Município no qual a Localidade esta situada. |
| Latitude | Informa a coordenada referente à latitude na qual está situado o centro geográfico da Localidade. |
| Longitude | Informa a coordenada referente à longitude na qual está situado o centro geográfico da Localidade. |

Fonte: Produção do autor.

3. ÁREA DE ESTUDO

Esta Tese apresenta um estudo de caso desenvolvido para a Região Metropolitana de Manaus (RMM). Em 30 de maio de 2007, o Estado do Amazonas, por meio da Lei Complementar nº 52, instituiu a RMM, incluindo os seguintes municípios: Manaus, Iranduba, Novo Airão, Itacoatiara, Presidente Figueiredo, Rio Preto da Eva e Careiro da Várzea e Manacapuru (incluído posteriormente). Em outubro de 2011, mais cinco municípios foram incorporados: Autazes, Careiro, Itapiranga, Manaquiri e Silves. Manaus é a cidade central desta região.

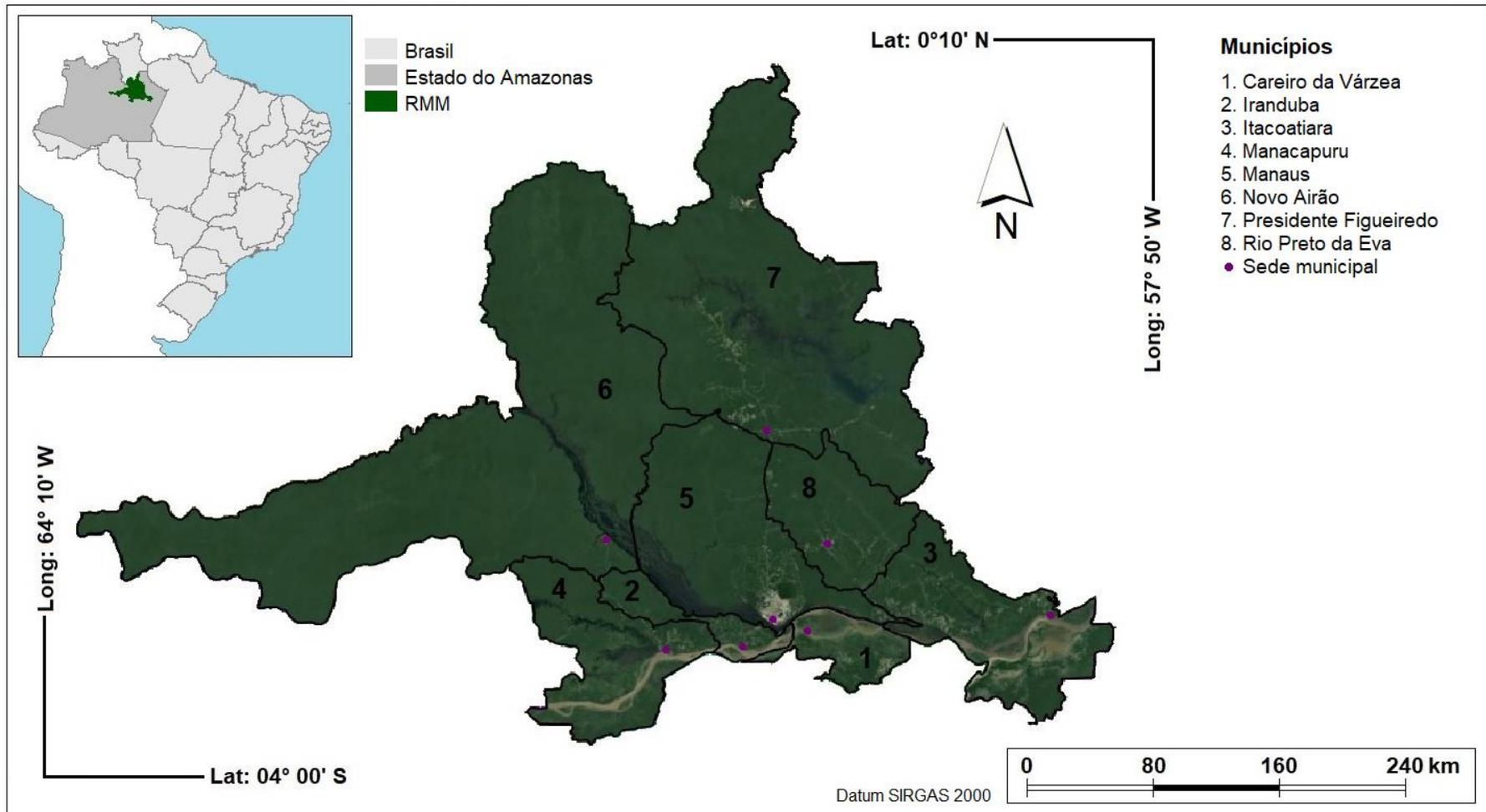
Atualmente, a RMM possui o total 13 municípios, sendo os oito municípios iniciais considerados metropolitanos, e os cinco últimos extra-metropolitanos (IBGE, 2018). O estudo de casos desta Tese está concentrado nos oito municípios metropolitanos: Manaus, Iranduba, Novo Airão, Itacoatiara, Presidente Figueiredo, Rio Preto da Eva e Careiro da Várzea e Manacapuru (Figura 3.1).

A partir deste momento, os oito municípios metropolitanos da RMM serão simplesmente denominados de RMM.

Segundo dados do SIVEP-malária, consultados em março de 2018, a RMM apresentou sua pior situação epidemiológica em 2005. No ano em questão, houve 110.241 infecções por malária na RMM. Nos anos seguintes, entre 2005 e 2014, ocorreu uma redução significativa da malária na RMM. No ano de 2014 foram adquiridas 8.790 infecções, uma redução de 101.451 casos em relação a 2005. No entanto, em 2015, o número de infecções começou gradativamente a aumentar, havendo 20.542 infecções adquiridas na RMM em 2017 (SIVEP-malária, 2018). A Figura 3.2 apresenta o histórico epidemiológico da malária para a RMM de 2003 a 2017.

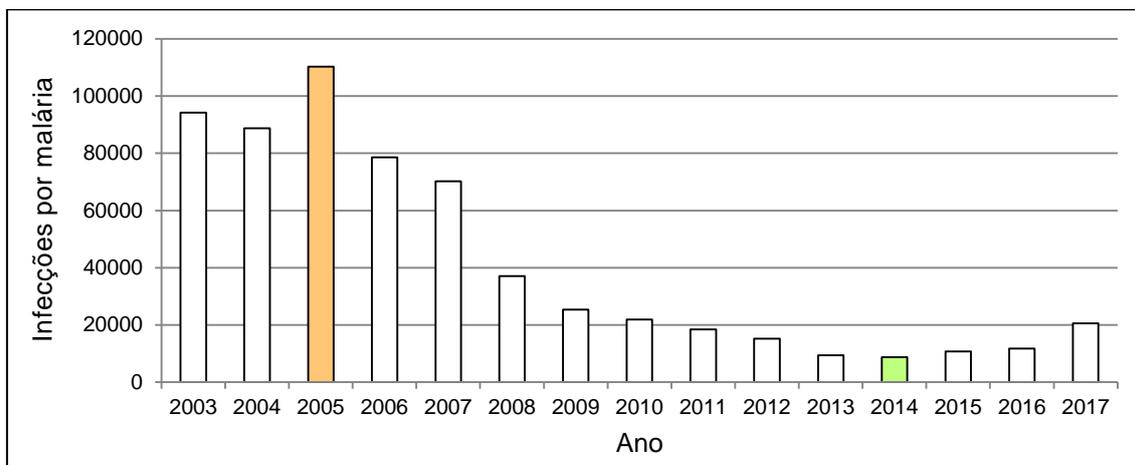
A malária na RMM, assim como em outras regiões da Amazônia e do mundo, não está contida ou controlada. O planejamento de intervenções de controle e/ou eliminação sólidas se tornam cada vez mais indispensável.

Figura 3.1: Mapa da RMM com seus 8 municípios metropolitanos.



Fonte: Produção do autor.

Figura 3.2: Número de infecções por malária adquiridas na RMM de 2003 a 2017.



Fonte: Produção do autor.

4. MALÁRIA E MOBILIDADE HUMANA: MAPEANDO FONTES E SUMIDOUROS DE CASOS IMPORTADOS

Este capítulo desenvolve proposta metodológica que possibilita observar o movimento de humanos infectados pela malária através do mapeamento de fontes e sumidouros de casos importados.

O mapeamento de fontes e sumidouros de casos importados de malária permite reconhecer áreas onde humanos susceptíveis adquiriram a infecção e de lá partiram sem serem tratados, e áreas onde humanos infectados chegaram. Estas informações são uteis a vigilância de casos importados e contribuem com o planejamento das intervenções de controle e/ou eliminação da malária (PINDOLIA et al., 2012; WESOLOWSKI et al., 2012; STURROCK et al., 2015; RUKTANONCHAI et al., 2016).

A metodologia desenvolvida utiliza unicamente dados provenientes do Sistema de Informação de Vigilância Epidemiológica para a malária (SIVEP-malária). Um estudo de caso foi aplicado à RMM utilizando dados referentes a 2015, o ano base das metas estabelecidas na Estratégia Técnica Mundial para o Paludismo (ETMP) 2016-2030 (WHO, 2016).

A Seção 4.1 conceitua os termos fonte e sumidouros de casos importados de malária, a Seção 4.2 descreve a metodologia desenvolvida para o mapeamento de fontes e sumidouros, e a Seção 4.3 apresenta os resultados obtidos.

4.1. Fontes e sumidouros de casos importados de malária

Esta seção do estudo encontra-se dividida em duas partes. A primeira parte caracteriza os casos importados de malária e sua relação com o movimento de humanos infectados. A segunda parte conceitua os termos fonte e sumidouros de casos importados de malária.

4.1.1. Casos importados e o movimento de humanos infectados

No SIVEP-malária, a informação do Local de Provável Infecção (LPI) e do Local de Residência (LR), de cada caso positivo de malária registrado, possibilita distinguir casos autóctones de casos importados na escala espacial das Localidades.

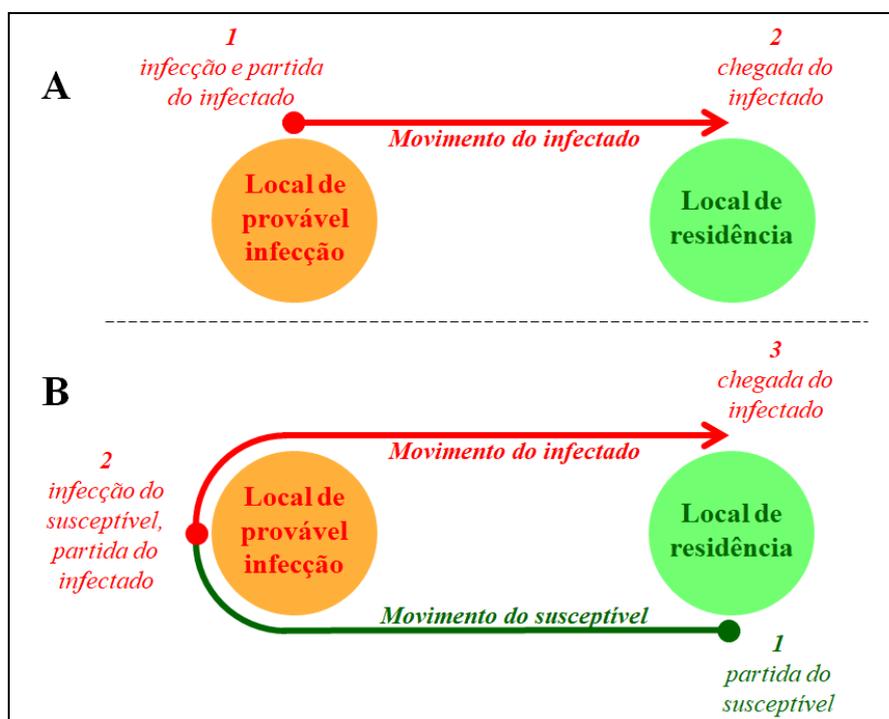
Os casos que possuem a mesma Localidade informada como LPI e LR são casos autóctones, o que significa que a infecção é natural do LR do infectado, ou seja, o paciente adquiriu a infecção na Localidade em que reside. Os casos que possuem uma determinada Localidade informada como LPI e outra Localidade informada como LR são casos importados à Localidade informada como LR. Sendo assim, os casos importados retratam o movimento de humanos infectados do LPI para o LR, os quais, logicamente, referem-se a Localidades distintas.

Existem três fatos importantes sobre o movimento de humanos infectados e, conseqüentemente, sobre os casos importados de malária. O primeiro fato é que o movimento de humanos infectados pode ser originado tanto pela migração quanto pela circulação de indivíduos (PROTHERO, 1977; MARTENS e HALL, 2000).

A Figura 4.1 mostra o movimento de humanos infectados em uma migração e em uma circulação. Na primeira situação, o humano infectado parte, sem ser tratado, do LPI para estabelecer residência em outra Localidade. Na segunda situação, o humano parte do LR, passa pelo LPI, onde adquire a infecção, e retorna, sem ser tratado, ao LR.

O SIVEP-malária não distingue os casos importados quanto a serem oriundos de migração ou de circulação, portanto, no estudo destes, ambas as possibilidades devem ser consideradas.

Figura 4.1: Diagrama do movimento de humanos infectados. (A) Migração. (B) Circulação.



Fonte: Produção do autor.

O segundo fato é que todo caso importado também é um caso exportado. Quando observado pelo viés da Localidade de chegada do infectado (LR), o caso é dito importado. Mas, quando observado pelo viés da Localidade de partida do infectado (LPI), o caso, que na situação anterior era importado, é dito exportado (STURROCK et al., 2015; RUKTANONCHAI et al., 2016).

O terceiro fato é que uma Localidade pode possuir casos exportados, importados e autóctones de modo concomitante. Sendo assim, uma Localidade pode ser a Localidades de partida de determinados humanos infectados (LPI) e, ao mesmo tempo, a Localidade de chegada de outros humanos infectados (LR) e, ainda, possuir, ou não, casos autóctones.

4.1.2. Fontes e Sumidouros

Embora o conceito de fonte e sumidouro venha sendo atualmente utilizado em estudos epidemiológicos (PINDOLIA et al., 2012; PROSPER et al., 2012;

WESOLOWSKI et al., 2012; RUKTANONCHAI et al., 2016), ainda não há uma definição específica do conceito aplicada à epidemiologia.

De um modo geral, a definição de fontes e sumidouros está ligada à análise dos fluxos líquidos de certas propriedades, ou valores, entre componentes de um sistema. Nesta lógica, uma fonte é um subsistema que se comporta como um exportador, considerando o balanço líquido (entradas e saídas) de certa propriedade ou entidade. Do outro lado, um sumidouro é um subsistema que se comporta como um importador (PULLIAM, 1988; LOREAU et al., 2012; TATEM et al., 2014).

Estudos no campo da ecologia, especialmente em Ciências da Terra, têm feito uso adaptado da ideia de fontes e sumidouros, associando o balanço líquido, de certa propriedade ou entidade, a unidades espaciais (PULLIAM, 1988; LOREAU et al., 2012; TATEM et al., 2014). Deste modo, considerando os registros de casos positivos de malária, conforme disponibilizados pelo SIVEP-malária, este estudo estabelece como:

1. fontes de casos importados, unidades espaciais que possuam casos exportados de malária; e
2. sumidouros de casos importados, unidades espaciais que possuam casos importados.

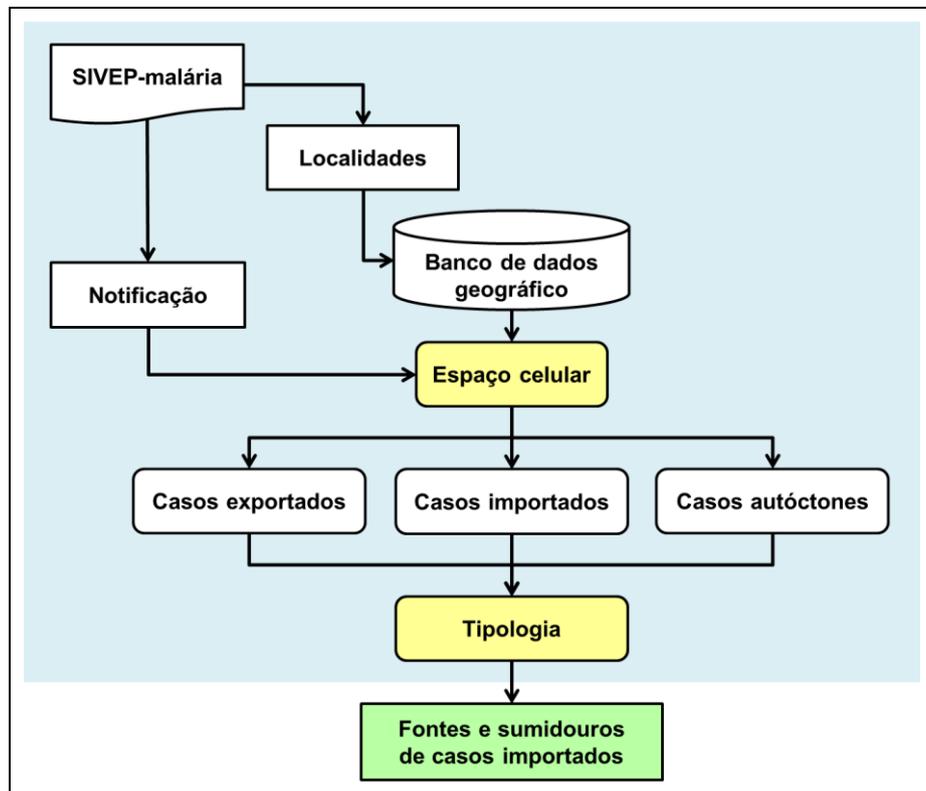
Entretanto, considerando que uma definida unidade espacial pode possuir casos importados e exportados de modo concomitante, de modo a normalizar esta situação, foi desenvolvida uma tipologia de categorias de fontes e sumidouros de casos importados, a qual é apresentada na seção seguinte.

4.2. Metodologia

Para o mapeamento de fontes e sumidouros de casos importados de malária foi realizado uma sequência de procedimentos, operacionalizados pelo uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), envolvendo: (1) a criação de uma grade celular, e (2) o desenvolvimento de uma tipologia para a caracterização

de fontes e sumidouros. A Figura 4.2 apresenta um diagrama simplificado do processo.

Figura 4.2: Diagrama simplificado da metodologia de mapeamento de fontes e sumidouros de casos importados.



Fonte: Produção do autor.

4.2.1. Espaço celular

A chegada de humanos infectados a uma definida área geográfica retrata a introdução de parasitas a esta área. No entanto, a introdução de parasitas, em uma definida área geográfica, pode também resultar do voo de mosquitos infectados (TATEM e SMITH, 2010; WESOLOWSKI et al., 2012).

Considerando que o mapeamento de fontes e sumidouros de casos importados tem como propósito observar a introdução de parasitas referentes ao movimento de humanos infectados, de modo a focar o mapeamento de fontes e sumidouros em movimentos de humanos infectados de distância maior que a do voo de mosquitos, diminuindo, desta forma, possíveis dúvidas, foi

estabelecida a criação de uma grade celular cujas dimensões ultrapassam a distância de voo de um *Anopheles darlingi*, principal vetor da malária no Brasil.

Em situação de normalidade, o *An. darlingi* tem capacidade de voo de 2 km (TADEI et al., 1988, CHARLWOOD e ALECRIM, 1989). As dimensões da grade celular estabelecidas para este estudo foram de 4x4 km.

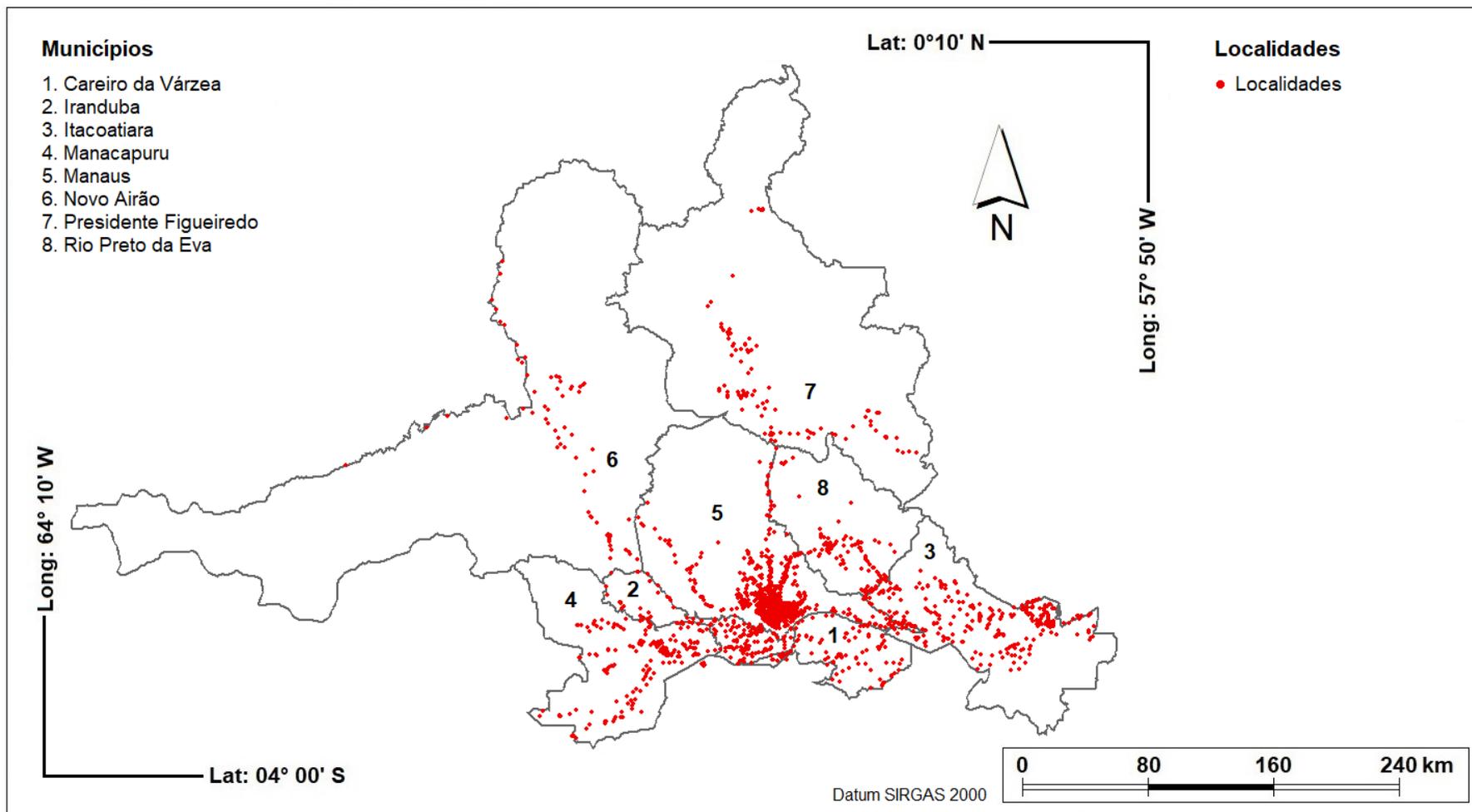
A criação da grade celular redefiniu a unidade espacial de análise dos casos de malária, que deixou de ser a Localidade e passou ser a célula. Esta mudança de suporte espacial permite também que fonte e sumidouro possam ser analisados integradamente com a paisagem, o que será apresentado no Capítulo 5 desta Tese.

4.2.1.1. Criando grade regular para a RMM

Em 2015, a RMM possuía 2.171 Localidades cadastradas no SIVEP-malária. Para 1.407 Localidades o Sistema possuía registro de coordenadas geográficas e para 638 as coordenadas foram coletadas em campo, totalizando 2.045 Localidades georreferenciadas (94,19%). O georreferenciamento das Localidades no SIVEP-malária é dado pelo registro de um par de coordenadas Lat/Long (ponto). O mesmo formato foi adotado para as coordenadas coletadas em campo. A Figura 4.3 espacializa as Localidades georreferenciadas.

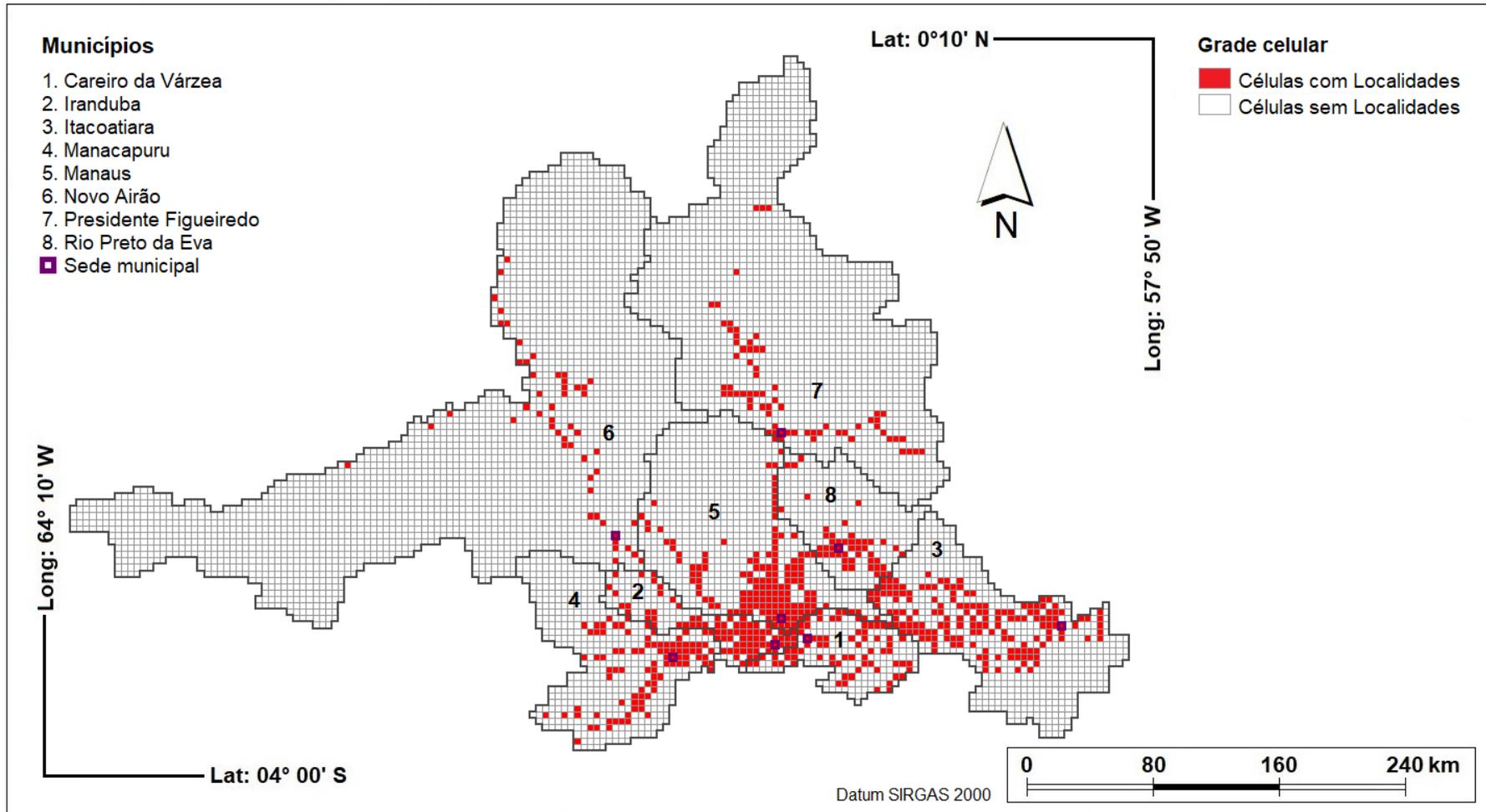
O espaço celular criado sobre a RMM gerou 6.806 células, das quais 709 possuem a presença de uma ou mais Localidades. A Figura 4.4 mostra a grade celular criada para a RMM.

Figura 4.3: Localidades da RMM georreferenciadas.



Fonte: Produção do autor.

Figura 4.4: Grade celular criada para a RMM.



Fonte: Produção do autor.

4.2.1.2. Preenchimento de células

Após criação da grade regular, as células servirão de área geográfica para a espacialização dos casos de malária. Somente os casos novos de malária serão espacializados, portanto, os casos reincidentes (LVC) serão previamente descartados.

Os casos novos, referentes a cada Localidade georreferenciada, serão redistribuídos às células de modo que, ao final do processo, cada célula possua o número de casos exportados, o número de casos importados, e o número de casos autóctones referentes às Localidades por ela espacialmente contida.

É importante ressaltar que, com a mudança do suporte espacial das Localidades para as células, os casos importados e exportados cujo LPI e LR referirem-se a Localidades contidas sob uma mesma célula serão prontamente convertidos em casos autóctones à célula em questão.

4.2.2. Tipologia de categorias de fontes e sumidouros de casos importados

Células com casos exportados identificam fontes de casos importados, retratando áreas onde casos importados foram originados, ou seja, áreas onde humanos susceptíveis adquiriram a infecção e de lá partiram sem serem tratados. Células com casos importados identificam sumidouros, retratando áreas onde parasitas foram introduzidos, ou seja, áreas onde ocorreu a chegada de humanos infectados. Por fim, células com casos autóctones retratam áreas onde ocorreram infecções naturais à área.

Semelhante a uma Localidade, uma célula pode possuir casos exportados, importados e autóctones. Sendo assim, uma célula pode ser fonte de determinados casos importados e, ao mesmo tempo, sumidouro de outros casos importados, e ainda, possuir, ou não, casos autóctones. Deste modo, tendo como unidade espacial de referência as células, para que fontes fossem distinguidas de sumidouros, e vice-versa, foi desenvolvida uma tipologia de

categorias de fontes e sumidouros fundamentadas em um conjunto de regras que envolvem o número de casos exportados, importados e autóctones de cada célula. A Tabela 4.1 apresenta esta tipologia, descrevendo as categorias pelas regras que as fundamentam e pelo movimento de humanos infectados que representam.

Tabela 4.1: Tipologia de categorias de fontes e sumidouros de casos importados.

| Categoria | Regras | Movimento de humanos infectados | Transmissão ativa |
|---|---|---|-------------------|
| Unicamente fonte (F1) | $C_{exp}>0$ e $C_{imp}=0$ | Ocorreu somente partida de humanos infectados. | Sim |
| Majoritariamente fonte (F2) | $C_{exp}>0$ e $C_{imp}>0$ e $C_{exp}>C_{imp}$ | Ocorreram partidas e chegadas de humanos infectados, mas as partidas ocorreram em maior número. | Sim |
| Igualmente fonte e sumidouro (FS) | $C_{exp}>0$ e $C_{imp}>0$ e $C_{exp}=C_{imp}$ | Ocorreram partidas e chegadas de humanos infectados, ambos em igual número. | Sim |
| Majoritariamente sumidouro (S2) | $C_{exp}>0$ e $C_{imp}>0$ e $C_{exp}<C_{imp}$ | Ocorreram partidas e chegadas de humanos infectados, mas as chegadas ocorreram em maior número. | Sim |
| Unicamente Sumidouro com casos autóctones (S1a) | $C_{exp}=0$ e $C_{imp}>0$ e $C_{aut}>0$ | Ocorreu somente chegada de humanos infectados. | Sim |
| Unicamente sumidouro sem casos autóctones (S1na) | $C_{exp}=0$ e $C_{imp}>0$ e $C_{aut}=0$ | Ocorreu somente chegada de humanos infectados. | Não |
| Exclusivamente autóctones(A1) | $C_{exp}=0$ e $C_{imp}=0$ e $C_{aut}>0$ | Não ocorreram partidas e chegadas de humanos infectados. | Sim |
| Livre(L1) | $C_{exp}=0$ e $C_{imp}=0$ e $C_{aut}=0$ | Não ocorreram partidas e chegadas de humanos infectados. | Não |
| C_{exp} =número de casos exportados; C_{imp} =número de casos importados; e C_{aut} = número de casos autóctones. | | | |

Fonte: Produção do autor.

Toda fonte de casos importados é uma área com transmissão ativa para a malária, mas um sumidouro pode ser uma área com ou sem transmissão ativa.

O reconhecimento de que determinado sumidouro trata de uma área com ou sem transmissão ativa é importante ao planeamento das intervenções de eliminação de malária.

Células que possuem casos exportados ou casos autóctones retratam áreas com transmissão ativa para malária, pois nestas áreas houve infecções locais. As demais células são áreas sem transmissão ativa, mesmo se a célula em questão possuir casos importados, pois, casos importados não são infecções locais. Neste sentido, a análise dos casos autóctones permite diferenciar a categoria S1a da S1na, e a categoria A1 da L1 quanto a estas áreas possuírem ou não transmissão ativa para a malária.

As categorias de fontes e sumidouros foram definidas de modo a possibilitar a criação de um mapa síntese como representação indireta da circulação de parasitos mediada pela mobilidade regional na RMM e captada pelo movimento de humanos infectados.

4.3. Resultados

O SIVEP-malária possui o registro de 10.734 casos novos de malária por LPI e 11.309 casos novos por LR para a RMM em 2015 (SIVEP-malária, 2016). Dos casos registrados por LPI, 10.412 (97,00%) possuíam a referente Localidade georreferenciada, e dos casos notificados por LR, 11.117 (98,30%) possuíam a referente Localidade georreferenciada.

Dos 10.412 casos por LPI e dos 11.117 casos por LR georreferenciados, 5.956 eram casos autóctones às Localidades, possuíam LPI e LR referentes à mesma Localidade, 4.456 eram casos exportados ($10.412 - 5.956 = 4.456$), e 5.161 eram casos importados ($11.117 - 5.956 = 5.161$).

Durante o processo de redistribuição dos casos das Localidades às células, 155 casos exportados e importados às Localidades foram convertidos em casos autóctones às células por possuírem LPI e LR espacialmente contidos em mesma célula, o que resultou em 6.111 casos autóctones ($5.956 + 155 = 6.111$), 4.301 casos exportados ($4.456 - 155 = 4.301$), e 5.006 casos

importados às células ($5.161-155=5.006$). A Figura 4.5 mostra a espacialização dos casos exportados pelas células da RMM em 2015, a Figura 4.6 mostra a espacialização dos casos importados, e a Figura 4.7 mostra a espacialização dos casos autóctones.

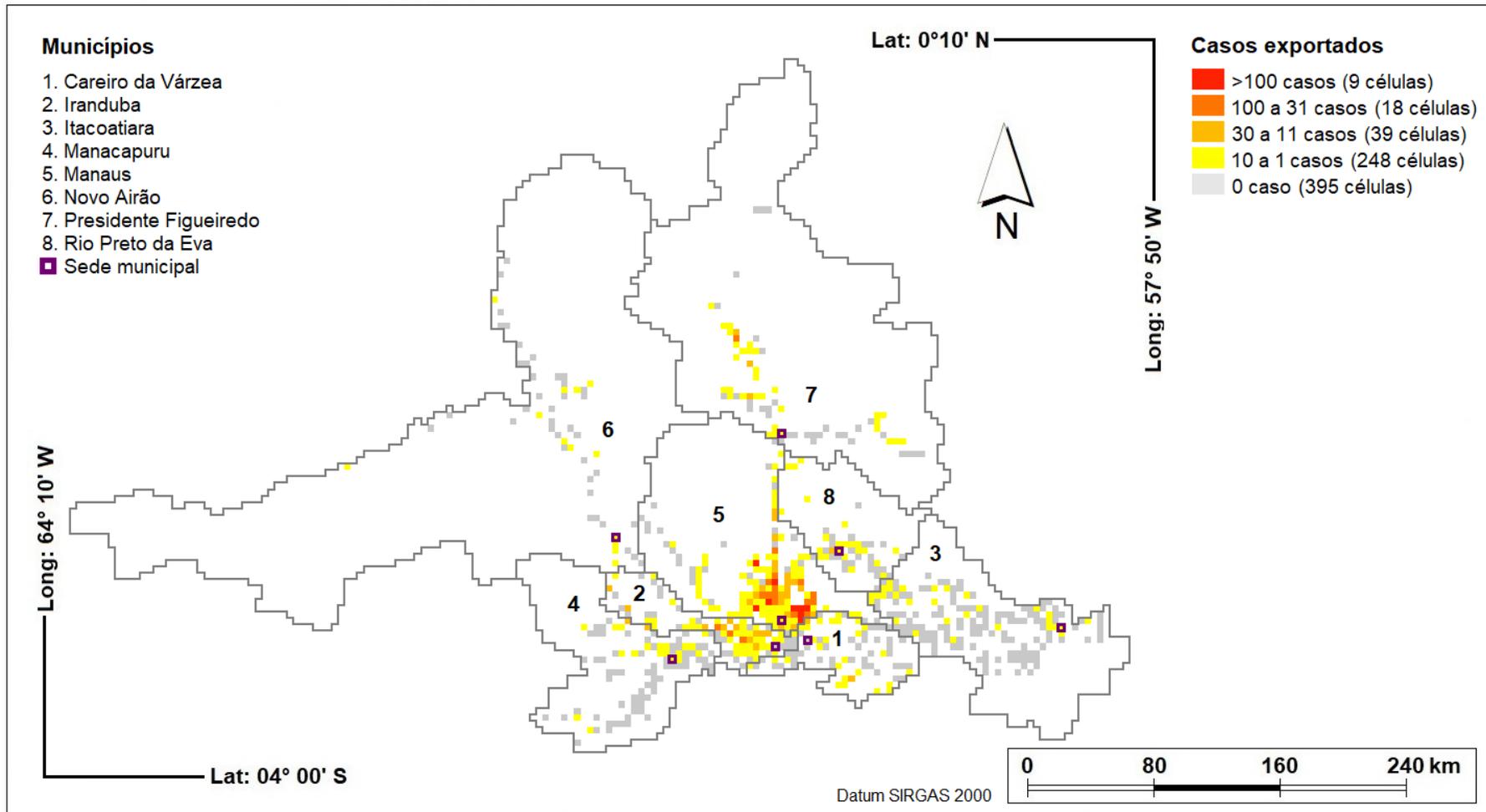
A Figura 4.5 apresenta 314 células com casos exportados de malária. Manaus se destaca pelo número de casos exportados. A Tabela 4.2 mostra que Manaus exportou 3.365 casos, o que corresponde a 78,23% dos exportados pelas células da RMM. Iranduba foi o segundo município com maior número de exportados, 458 casos (10,65%) e Presidente Figueiredo, o terceiro, com 175 (4,07%).

A Figura 4.6 apresenta 176 células com casos importados de malária. Novamente Manaus se destaca. A Tabela 4.2 mostra que Manaus importou 4.549 casos, 90,87% dos importados pelas células da RMM. Iranduba foi o segundo município com maior número de importados, 141 casos (2,81%) e Manacapuru, o terceiro, com 124 (2,47%).

A Figura 4.7 apresenta 232 células com casos autóctones de malária. A Tabela 4.2 mostra que Manaus apresentou 4.931 casos autóctones, 80,69% dos autóctones às células da RMM. Iranduba foi o segundo município com maior número de autóctones, 498 casos (8,15%) e Presidente Figueiredo, o terceiro, com 242 (3,96%).

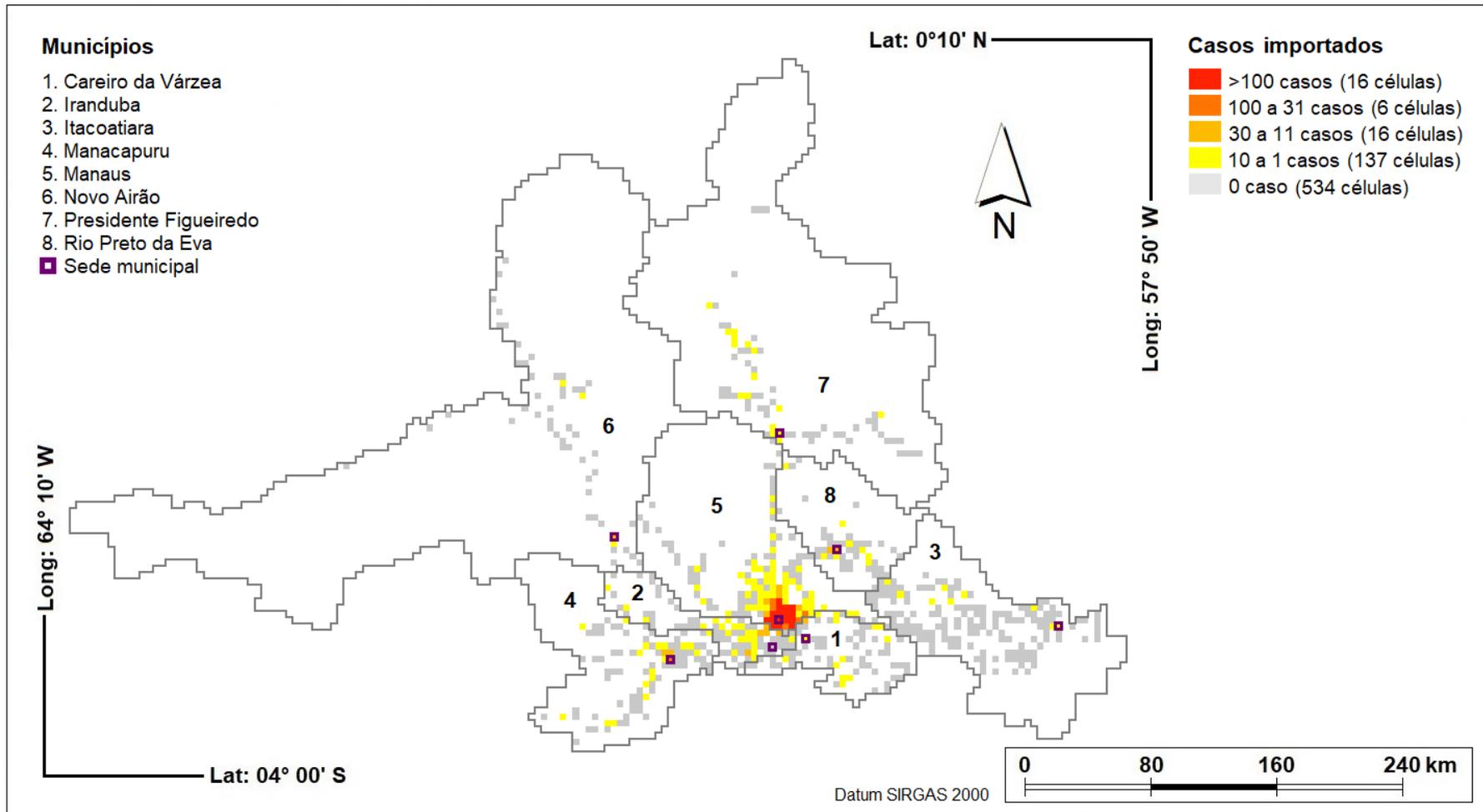
A Figura 4.8 apresenta as células classificadas conforme as categorias de fontes e sumidouros de casos importados estabelecidas na Tabela 4.1, ou seja, o mapa de fontes e sumidouros de casos importados de malária para a RMM em 2015.

Figura 4.5: Mapa dos casos exportados pelas células da RMM em 2015.



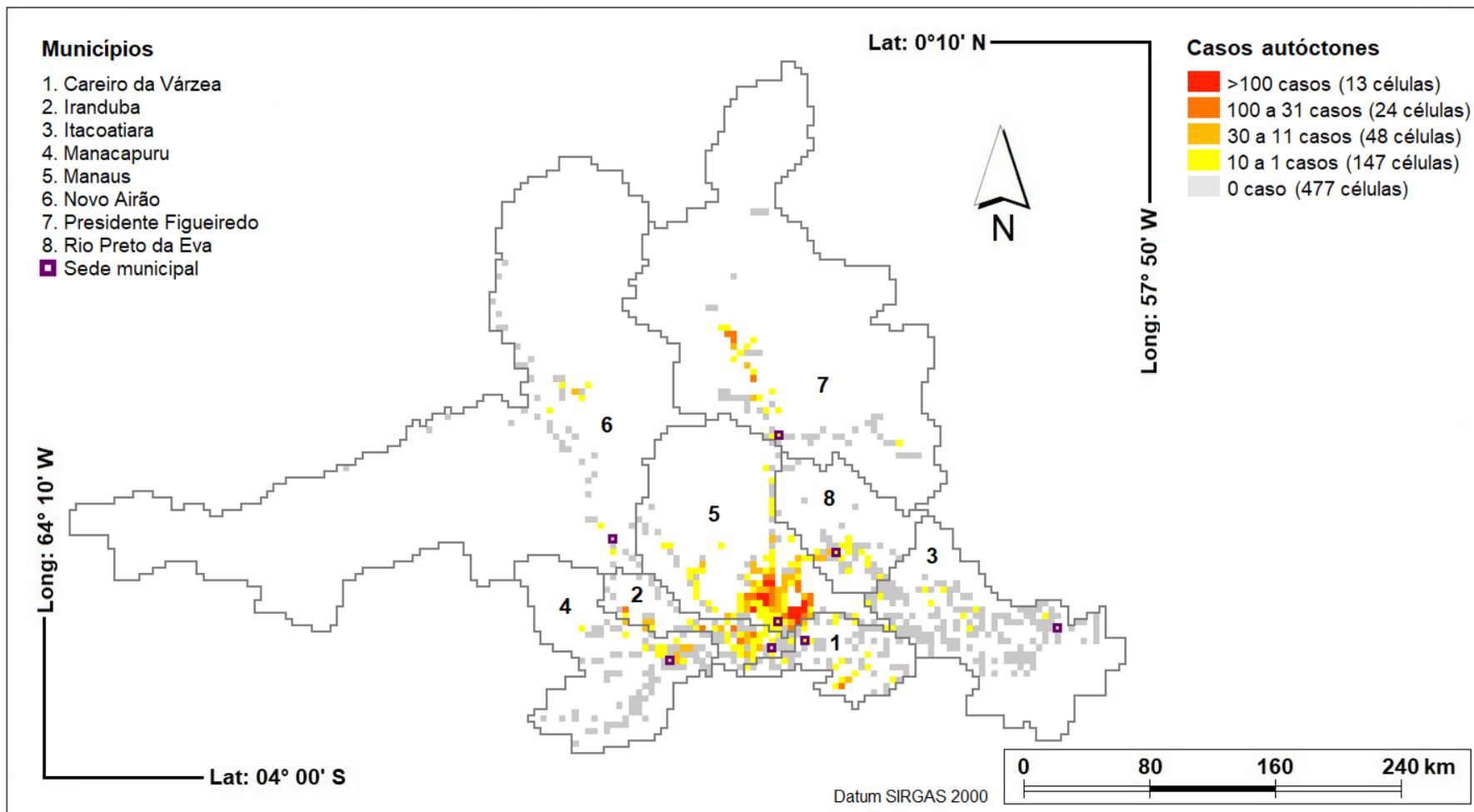
Fonte: Produção do autor.

Figura 4.6: Mapa dos casos importados pelas células da RMM em 2015.



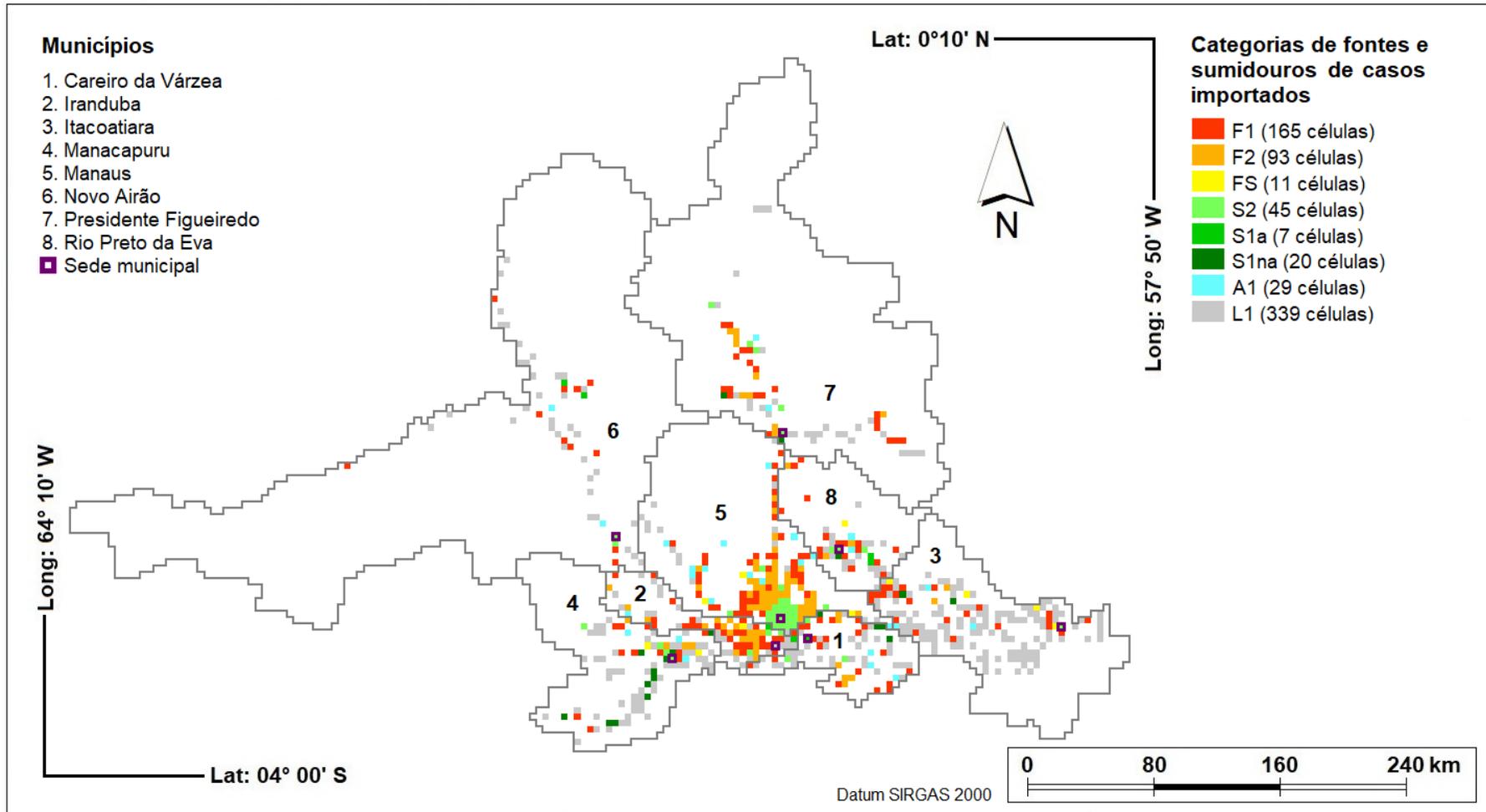
Fonte: Produção do autor.

Figura 4.7: Mapa dos casos autóctones às células da RMM em 2015.



Fonte: Produção do autor.

Figura 4.8: Mapa de fontes e sumidouros de casos importados de malária para a RMM em 2015.



Fonte: Produção do autor.

O mapa de fontes e sumidouros de casos importados (Figura 4.8) representa uma síntese das informações apresentadas nas Figuras 4.4, 4.5 e 4.6. O propósito principal do mapa de fontes e sumidouros é possibilitar a fácil observação do movimento de humanos infectados.

Para a RMM em 2015, Manaus foi o município onde ocorreu a maioria das partidas e chegadas de infectados, assim como, também foi o município onde a maioria das infecções foram adquiridas, fossem estas autóctones ou exportadas.

Na figura 4.8, mais precisamente no município de Manaus, é notada a presença de um aglomerado espacial formado por células S2, o qual possui, em seu entorno, dois agrupamentos menores formados por células F2, um acima e outro à esquerda do aglomerado S2. Ao observar conjuntamente a Figura 4.8 com a Figura 4.6 revela-se que o aglomerado de células S2 situa-se em localização similar à de células com elevado número de casos importados. Ao observar conjuntamente a Figura 4.8 com a Figura 4.5 revela-se que os dois agrupamentos de células F2 situam-se em localização similar à de células com elevado número de casos exportados.

A Tabela 4.2 mostra que as células S2 pertencentes ao município de Manaus possuem 4.186 casos importados, o que corresponde a 83,61% dos casos importados pelas células da RMM. As células F2 de Manaus possuem 2.786 casos exportados (66,77%). Considerando que o aglomerado de células S2 situa-se sobre a área urbana de Manaus, conclui-se que uma significativa parte do movimento de infectados na RMM em 2015 ocorreu entre áreas urbanas de Manaus (chegada) e áreas peri-urbanas (infecção e partida).

Tabela 4.2: Número de células e números de casos exportados, importados e autóctones (2015) segundo categoria de fontes e sumidouros de casos importados (2015) e municípios da RMM.

| Municípios | Categorias | | | | | | | Total |
|---------------|----------------------------|------|----|------|-----|------|----|-------|
| | F1 | F2 | FS | S2 | S1a | S1na | A1 | |
| | Número de células | | | | | | | |
| C. da Várzea | 19 | 6 | 0 | 3 | 1 | 4 | 3 | 36 |
| Iranduba | 27 | 19 | 1 | 3 | 2 | 0 | 1 | 53 |
| Itacoatiara | 22 | 2 | 4 | 1 | 0 | 2 | 3 | 34 |
| Manacapuru | 11 | 4 | 2 | 4 | 0 | 11 | 3 | 35 |
| Manaus | 39 | 49 | 3 | 24 | 0 | 0 | 13 | 128 |
| Novo Airão | 11 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 17 |
| P. Figueiredo | 20 | 10 | 0 | 5 | 0 | 2 | 2 | 39 |
| R. P. da Eva | 16 | 3 | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 | 28 |
| Total | 165 | 93 | 11 | 45 | 7 | 20 | 29 | 370 |
| | Número de casos exportados | | | | | | | |
| C. da Várzea | 28 | 32 | - | 15 | 0 | 0 | 0 | 75 |
| Iranduba | 135 | 290 | 1 | 32 | 0 | - | 0 | 458 |
| Itacoatiara | 34 | 9 | 5 | 2 | - | 0 | 0 | 50 |
| Manacapuru | 48 | 35 | 2 | 9 | - | 0 | 0 | 94 |
| Manaus | 233 | 2786 | 3 | 343 | - | - | 0 | 3365 |
| Novo Airão | 16 | - | - | 3 | 0 | - | 0 | 19 |
| P. Figueiredo | 60 | 105 | - | 10 | - | 0 | 0 | 175 |
| R. P. da Eva | 28 | 13 | 1 | 23 | 0 | 0 | 0 | 65 |
| Total | 582 | 3270 | 12 | 437 | 0 | 0 | 0 | 4301 |
| | Número de casos importados | | | | | | | |
| C. da Várzea | 0 | 19 | - | 33 | 1 | 6 | 0 | 59 |
| Iranduba | 0 | 51 | 1 | 59 | 30 | - | 0 | 141 |
| Itacoatiara | 0 | 2 | 5 | 6 | - | 2 | 0 | 15 |
| Manacapuru | 0 | 11 | 2 | 61 | - | 50 | 0 | 124 |
| Manaus | 0 | 378 | 3 | 4168 | - | - | 0 | 4549 |
| Novo Airão | 0 | - | - | 22 | 3 | - | 0 | 25 |
| P. Figueiredo | 0 | 21 | - | 28 | - | 3 | 0 | 52 |
| R. P. da Eva | 0 | 3 | 1 | 30 | 3 | 4 | 0 | 41 |
| Total | 0 | 485 | 12 | 4407 | 37 | 65 | 0 | 5006 |
| | Número de casos autóctones | | | | | | | |
| C. da Várzea | 16 | 112 | - | 21 | 1 | 0 | 4 | 154 |
| Iranduba | 70 | 400 | 0 | 22 | 2 | - | 4 | 498 |
| Itacoatiara | 5 | 5 | 0 | 0 | - | 0 | 3 | 13 |
| Manacapuru | 56 | 63 | 2 | 8 | - | 0 | 4 | 133 |
| Manaus | 260 | 3691 | 0 | 950 | - | - | 30 | 4931 |
| Novo Airão | 34 | - | - | 0 | 5 | - | 2 | 41 |
| P. Figueiredo | 38 | 194 | - | 7 | - | 0 | 3 | 242 |
| R.P. da Eva | 48 | 24 | 0 | 19 | 5 | 0 | 3 | 99 |
| Total | 527 | 4489 | 2 | 1027 | 13 | 0 | 53 | 6111 |

Fonte: Produção do autor.

Manaus foi o único município da RMM em que as células F2 predominaram sobre as demais células. Todos os outros municípios da RMM apresentaram predomínio de células F1, com exceção de Manacapuru, onde o número de

células F1 e S1na foram iguais. Os municípios de Iranduba e Presidente Figueiredo também apresentaram um número relevante de células F2, embora menor que células F1.

No geral, as células F2 foram as que apresentaram o maior número de casos exportados, 3.270 casos, o que corresponde a 76,03% dos casos exportados pelas células da RMM. As células F2 também apresentaram o maior número de casos autóctones, 4.489 casos (73,46%). As células S2 apresentaram o maior número de casos importados, 4.407 casos, (88,03%). Sendo assim, a maioria do movimento de infectados na RMM em 2015 ocorreu no sentido das células F2 para as células S2.

A RMM apresentou 370 células com casos novos de malária em 2015, das quais 350 representam áreas com transmissão ativa para malária (F1, F2, FS, S2, S1a e A1), e 20 representam áreas sem transmissão ativa (S1na). Das 350 células com transmissão ativa, em 165 ocorreram partidas de infectados e não ocorreram chegadas (F1), em 149 ocorreram partidas e chegadas de infectados (F2, FS e S2), em 7 não ocorreram partidas de infectados e ocorreram chegadas (S1a), e em 29 não ocorreram partidas nem chegadas de infectados (A1). Nas 20 células sem transmissão ativa (S1na) não ocorreram partidas de infectados e ocorreram chegadas.

4.3.1. Discussões

As células F1, F2, FS, S2, S1a e A1 são áreas com transmissão ativa para malária. As células S1na e L1 são áreas sem transmissão ativa para malária. As áreas com transmissão ativa estão divididas em seis categorias, nas quais em cinco ocorreram movimento de humanos infectados (F1, F2, FS, S2 e S1a) e em uma não ocorreu (A1). As áreas sem transmissão ativa estão divididas em duas categorias, nas quais em uma ocorreu movimento de humanos infectados (S1na) e em outra não (L1).

A chegada de humanos infectados em áreas com transmissão ativa para malária, no que introduz parasitas importados, contribui para a persistência da

transmissão local da doença, o que dificulta o avanço da estratégia de eliminação, principalmente quando a chegada de humanos infectados ocorre de modo frequente (LINARD et al., 2009; TATEM e SMITH, 2010; PROSPER et al., 2012; WESOLOWSKI et al., 2012; ANGELO et al, 2017). A chegada de humanos infectados em áreas endêmicas sem transmissão ativa pode causar a emergência ou reemergência da transmissão local, reduzindo possíveis avanços ou, até mesmo, levando a estratégia de eliminação à bancarrota (TATEM e SMITH, 2010; WESOLOWSKI et al., 2012; ACEVEDO et al., 2015; ANGELO et al, 2017).

Considerado este quadro geral, a partir da síntese produzida pelo Mapa de fontes e sumidouros de casos importados de malária (Figura 4.8), é observado que:

1. em células F1, a partida de infectados dificulta o avanço da eliminação em outras células (F2, FS, S2, S1a e S1na), mas o avanço da eliminação local não é dificultado pela chegada de infectados;
2. em células F2, FS e S2 a chegada de infectados dificulta o avanço da eliminação local, e a partida de humanos infectados dificulta o avanço da eliminação em outras células (S1a e S1na) e em células da mesma categoria (F2, FS e S2);
3. em células S1a, a chegada de infectados dificulta o avanço da eliminação local; e
4. em células S1na, a chegada de infectados pode causar a emergência ou reemergência da transmissão local.

Em células F1, considerando que nelas não ocorre a introdução de parasitos importados, intervenções de diagnóstico e tratamento, tais como a adequação da cobertura dos serviços de saúde e, principalmente, ações de busca ativa, podem ser suficientes para interromper a cadeia de transmissão local (BRASIL, 2008), baixando a incidência local à zero, eliminando a partida de humanos infectados e, conseqüentemente, reduzindo a chegada de humanos infectados em outras células. Em complemento as intervenções de diagnóstico e tratamento, intervenções de controle vetorial, tais como borrifação

intradomiciliar e instalação de mosquiteiros impregnados, podem vir a ser executadas (BRASIL, 2009).

Em células F2 a chegada de humanos infectados reduz a efetividade das ações de diagnóstico e tratamento, principalmente no que se refere às ações de busca ativa (BRASIL, 2009). Conforme a Tabela 4.2, as células F2 possuem um significativo número de infecções locais adquiridas (casos exportados e autóctones). Nesta situação, a execução de intervenções de controle vetorial, tais como a instalação de mosquiteiros impregnados, borrifação intradomiciliar e, inclusive, termonebulizações são as mais indicadas (BRASIL, 2009).

De modo semelhante às células F2, em células FS e S2 a chegada de humanos infectados reduz a efetividade das ações de diagnóstico e tratamento (BRASIL, 2009). Mas, conforme a Tabela 4.2, as células FS e S2 possuem um número de infecções locais adquiridas (casos exportados e autóctones) muitas vezes baixo. Nesta situação, intervenções de investigação de casos individuais podem ser suficientes para o controle e avanço da estratégia de eliminação (WHO, 2007).

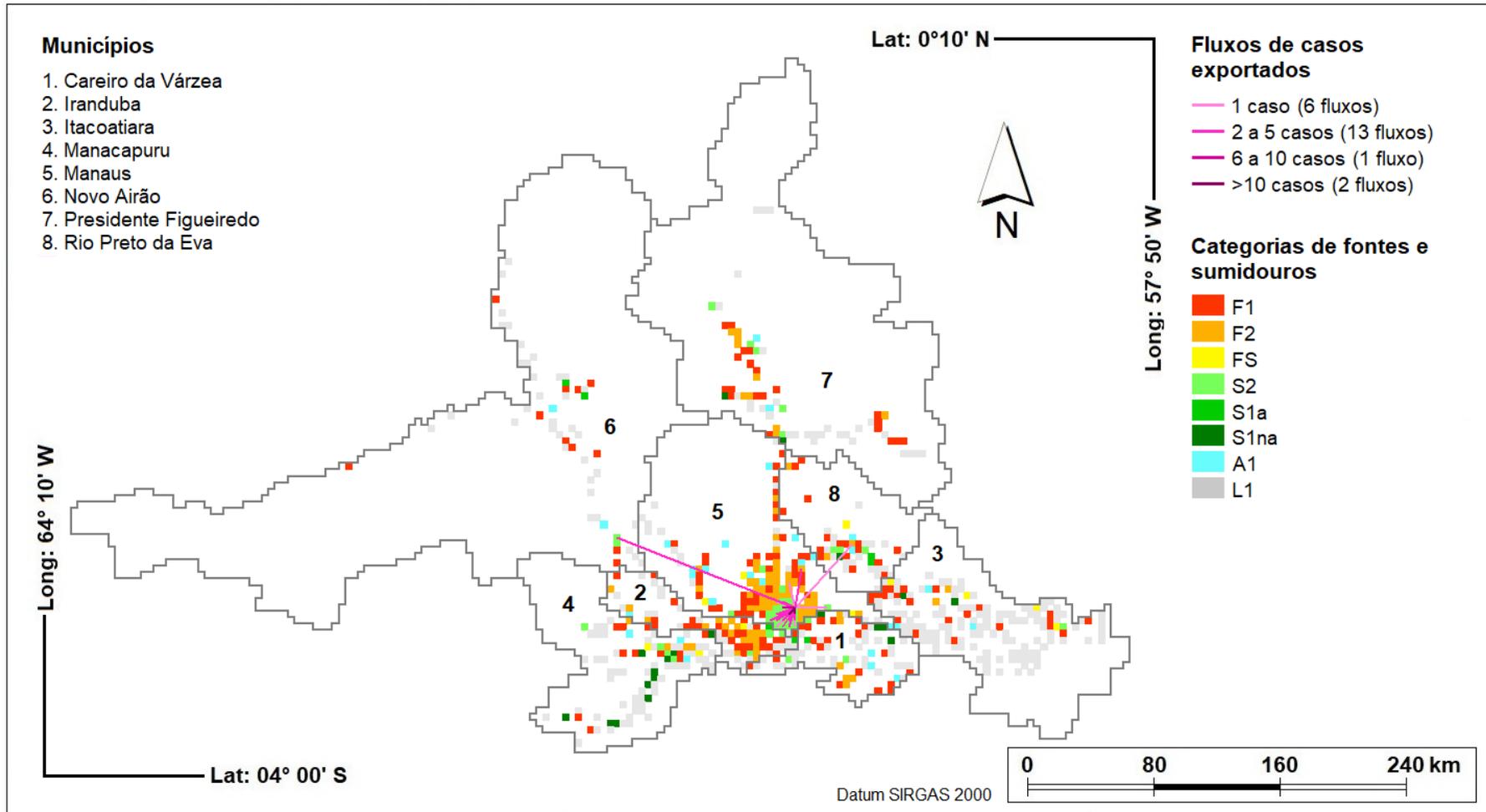
Em células S1a, S1na e A1, intervenções voltadas a investigação de casos individuais são as mais indicadas (WHO, 2007).

4.3.2. Fontes, sumidouros e mobilidade

As células fontes e sumidouros de casos importados, principalmente as categorias F2 e S2, se apresentam como nós em um sistema com múltiplas centralidades. Estes nós são ligados através de diferentes fluxos, que representam a mobilidade humana e seus variados padrões de circulação.

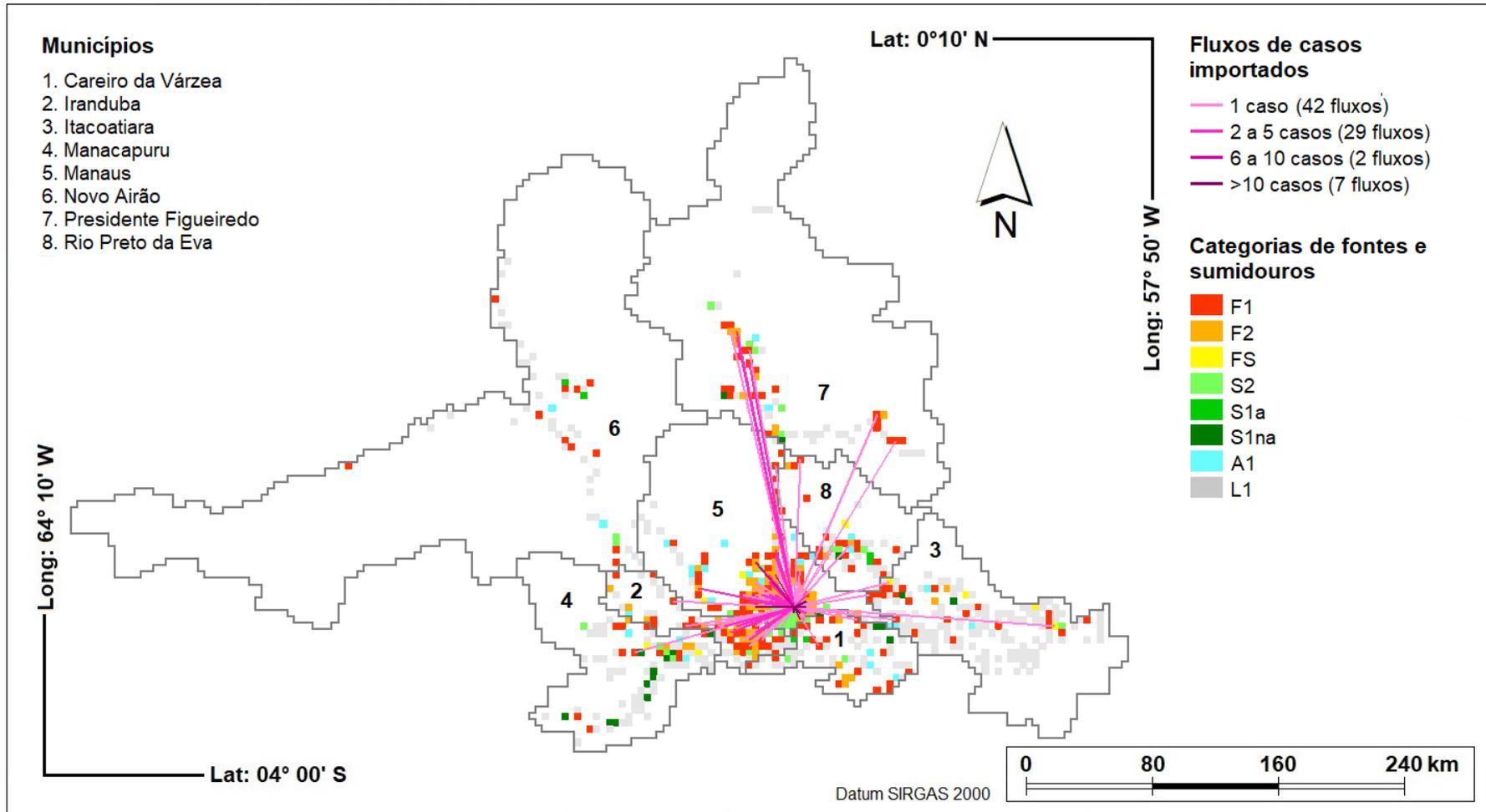
Neste contexto, uma célula foi escolhida para observação dos fluxos de casos exportados e importados a ela relacionados. A célula em questão está localizada na área urbana de Manaus, apresenta categoria S2 e possui 95 casos exportados e 423 casos importados a ela atribuídos. A Figura 4.9 mostra o mapa de fluxos de casos exportados por esta célula, e a Figura 4.10 mostra o mapa de fluxos de casos importados.

Figura 4.9: Mapa de fluxos de casos exportados de uma determinada célula S2.



Fonte: Produção do autor.

Figura 4.10: Mapa de fluxos de casos importados de uma determinada célula S2.



Fonte: Produção do autor.

Na Figura 4.9, a célula em evidência (S2) possui 22 fluxos relacionados a 95 casos exportados. Portanto 95 humanos residentes em 22 células distintas adquiriram infecção na célula S2, seja através de migração ou circulação. No caso da migração, 95 humanos infectados partiram da célula S2 e estabelecerem residência nas 22 células distintas. No caso da circulação, 95 humanos partiram das 22 células distintas, passaram pela célula S2, onde adquiriram infecção, e retornaram as 22 células.

Na Figura 4.10, a célula em evidência (S2) possui 80 fluxos relacionados a 423 casos exportados. Portanto 423 humanos residentes na célula S2 adquiriram infecção em 80 células distintas, seja através de migração ou circulação. No caso da migração, 423 humanos infectados partiram das 80 células distintas e estabelecerem residência na célula S2. No caso da circulação, 423 humanos partiram da célula S2, passaram por 423 células distintas, onde adquiriram infecção, e retornaram a célula S2.

A mobilidade humana observada para a RMM, reconfigura o espaço como um conjunto de localidades altamente conectadas, no qual a dicotomia urbano-rural se dissolve (BARBIERI et al., 2009; WILSON et al., 2015). Esta situação esta impõe significativos desafios ao avanço de qualquer estratégia de controle e/ou eliminação da malária.

Para que o controle e/ou eliminação da malária avance é necessário que as intervenções sejam planejadas em diferentes níveis de intensidade adaptadas aos contextos locais. A metodologia explorada neste capítulo aponta um caminho para a operacionalização da vigilância de casos importados, apoiada exclusivamente nos dados disponibilizados pelo SIVEP-malária. Faz isso através de um mapa de fontes e sumidouros que pode ser frequentemente atualizado. O instrumento proposto se situa como auxiliar a vigilância de casos importados e traz novos elementos que contribuem para o alcance da meta de eliminação da malária ETMP 2016-2030 na RMM, assim como, em outras regiões onde venha a ser aplicado.

5. MALÁRIA E HETEROGENEIDADE ESPACIAL: PAISAGENS RELEVANTES PARA A TRANSMISSÃO DA MALÁRIA

Visando gerar informação útil à vigilância da malária e ao planejamento das intervenções de controle e/ou eliminação da doença, este capítulo desenvolve metodologia para quantificar a relevância da paisagem, composta por mosaicos de uso e cobertura da terra, para a transmissão da malária em uma determinada região geográfica, mais especificamente, a Região Amazônica.

Para tanto, foi desenvolvido um Índice de Relevância da Paisagem para a transmissão da malária (IRPm). O IRPm quantifica a relevância do uso e cobertura da terra na transmissão da malária sobre um espaço delimitado, gerando informação útil à vigilância da malária e ao planejamento das intervenções de controle e eliminação da doença.

No desenvolvimento do IRPm foram empregados dados de uso e cobertura da terra produzidos pelo Projeto TerraClass (ALMEIDA et al., 2016) referentes o ano de 2014. O TerraClass produz, sistematicamente, dados de uso³ e cobertura⁴ da terra a cada 2 anos para toda a Amazônia Legal.

Conceitos e métricas do campo da ecologia da paisagem (McGARIGAL, 2015) foram adaptadas e utilizadas na construção do IRPm. Precisamente, duas métricas foram utilizadas, uma associada à composição da paisagem, e outra associada à configuração da paisagem.

Para a análise da composição da paisagem foi elaborada uma tipologia capaz de representar diferentes paisagens, compostas por diferentes arranjos de classes de uso e cobertura da terra, ordenadas segundo sua relevância para a

³ Uso da terra: Maneira nas quais os elementos biofísicos da superfície da terra são utilizados (manejados) e/ou o propósito para qual esses elementos são utilizados. Ex: uso agrícola, pecuária, extrativismo, urbano, etc. (MEYER e TURNER, 1994).

⁴ Cobertura da terra: estado biofísico da superfície da terra. Cobertura definida pelos componentes físicos presentes e sua composição. Ex: Água, gelo, formações rochosas, areia, solo exposto, área construída, vegetação natural ou cultivada (MEYER e TURNER, 1994).

transmissão da malária. A construção da tipologia foi fundamentada em revisão bibliográfica sobre diferentes tipos de uso e cobertura de terra e sua relação com a transmissão da malária, aplicada e adaptada aos dados TerraClass.

Para a análise da configuração da paisagem foi desenvolvido um índice de contraste específico, capaz de quantificar as fronteiras que favorecem o contato entre humanos e vetores da malária. Semelhante à composição da paisagem, a construção desta métrica também se fundamentou em revisão bibliográfica sobre diferentes tipos de uso e cobertura de terra e sua relação com a transmissão da malária, aplicada e adaptada aos dados TerraClass.

A partir dos resultados das análises de composição e configuração da paisagem é então determinado o IRPm. Um estudo de caso, utilizando dados do Projeto TerraClass referentes ao ano de 2014, foi realizado para a RMM.

A Seção 5.1 apresenta um embasamento teórico sobre ecologia da paisagem e as métricas de composição e configuração utilizadas para o desenvolvimento do IRPm. A Seção 5.2 apresenta o Projeto TerraClass e os dados de uso e cobertura da terra por ele produzidos. A Seção 5.3 apresenta uma revisão bibliográfica sobre diferentes tipos de uso e cobertura de terra e sua relação com a transmissão da malária. A Seção 5.4 apresenta metodologia para o desenvolvimento do IRPm, e a Seção 5.5 apresenta os resultados obtidos.

5.1. Paisagem: estrutura e métricas

Na ecologia da paisagem, a heterogeneidade espacial pode ser representada por, pelo menos, duas maneiras: (1) a partir de gradientes, que representam a variação de objetos no espaço, ou (2) a partir de mosaicos que representam arranjos espaciais entre elementos do tipo matriz, mancha e corredor (FORMAN, 1995).

No contexto dos mosaicos, forma de representação escolhida por este trabalho, a matriz é o elemento que exerce o papel dominante no funcionamento da paisagem, sendo o elemento mais conectado e/ou que apresenta maior área (FORMAN e GODRON, 1986; FORMAN, 1995; BUREL e

BAUDRY, 2002). As manchas são áreas homogêneas não lineares, que diferem dos elementos ao seu redor, são elementos de variados tamanhos e formas que diferem da matriz, e podem ser conectadas por meio dos corredores (FORMAN e GODRON, 1986; FORMAN, 1995). Os corredores são faixas estreitas que diferem dos elementos adjacentes à seus dois lados. A principal função dos corredores é servir para o deslocamento de espécies entre o interior de manchas não adjacentes e/ou para a movimentação de espécies de borda (FORMAN e GORDON, 1986). O corredor pode ter também a função de complementação de habitat, podendo fornecer parte dos recursos necessários para a sobrevivência das populações locais.

A ecologia da paisagem tem como principal objetivo observar a influência de padrões espaciais, referentes aos elementos (matriz, manchas e corredores) que formam a paisagem, sobre processos ecológicos. Os elementos que constituem uma paisagem geram diferentes composições e configurações que podem ser medidas a partir de métricas que quantificam características espaciais específicas. Neste sentido, métricas da paisagem podem ser separadas em dois grupos, o de composição da paisagem, que quantifica uma paisagem a partir da presença e da diversidade de seus elementos, e o de configuração da paisagem, que quantifica a paisagem a partir dos atributos espaciais de seus elementos (McGARIGAL e MARKS, 1995; GUSTAFSON 1998).

Métricas associadas à composição da paisagem referem-se às medidas de presença, ausência, área e/ou quantidade de classes de uso e cobertura da terra. Métricas associadas à configuração da paisagem referem-se às medidas tais como tamanho, forma, borda, contraste, densidade, conectividade e isolamento dos elementos que compõem a paisagem (McGARIGAL e MARKS, 1995).

Este estudo fez uso de duas métricas, uma associada à composição e outra à configuração espacial dos elementos da paisagem. A primeira métrica analisa a presença e ausência de classes de manchas (uso e cobertura da terra) da

paisagem, e a segunda métrica analisa a fronteira, mais especificamente, a linha de contato entre classes de manchas, um índice de contraste.

5.1.1. Composição: presença e ausência de classes

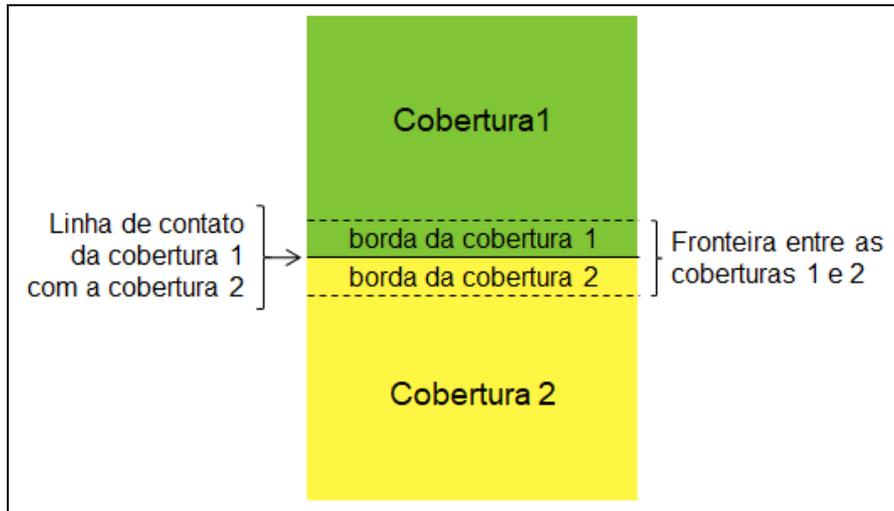
A presença e ausência de classes de uso e cobertura da terra é uma métrica pouco usual na análise de composição da paisagem, em especial, a ausência. Porém, a métrica proposta neste estudo foi elaborada exclusivamente para a caracterização de diferentes composições de paisagens, de forma a ordenar as composições segundo sua relevância para a transmissão da malária. Nos estudos de malária medidas de área das classes, que compõe uma definida paisagem, podem ser menos relevantes do que medidas de presença/ausência de uma cobertura. Manchas de mineração artesanal, por exemplo, apresentam áreas pequenas quando comparadas com as extensas áreas de agropecuária, entretanto, manchas de mineração são de grande relevância para a transmissão da malária, pois indicam atividades de alto risco de exposição humana à vetores (BARBIERI, 2005; STEFANI et al., 2013).

Neste estudo, os elementos da paisagem são representados pelas classes de uso e cobertura da terra mapeadas pelo Projeto TerraClass. Para estes elementos foram desenvolvidos operadores de presença e de ausência que caracterizam diferentes composições da paisagem (mosaicos) ordenadas segundo sua relevância para a transmissão da malária. Conhecimentos teóricos e conceituais, descritos na Seção 5.3, fundamentam a construção dos operadores, a caracterização dos mosaicos e, conseqüentemente, o desenvolvimento do IRPm.

5.1.2. Configuração: índice de contraste

Para compreender o conceito de contraste é necessário compreender os conceitos de borda, fronteira e linha de contato. A Figura 5.1 exemplifica estes conceitos.

Figura 5.1: Borda, fronteira e linha de contato.



Fonte: Adaptado de Forman (1995).

As bordas são áreas, ou zonas, que margeiam os elementos de uma paisagem (MAZZER, 2001). Bordas adjacentes constituem a chamada fronteira, e o limite onde estas bordas se encontram, constitui a linha de contato (FORMAN, 1995). Os elementos que geram as áreas de fronteira pertencem necessariamente a classes diferentes. Do ponto de vista da ecologia, as fronteiras são áreas, ou zonas, de transição entre habitats adjacentes (KIENAST, 1993), podendo-se atribuir a elas conotações funcionais, tais como, o favorecimento de contato entre espécies.

Um índice de contraste deve refletir o grau da diferença entre dois tipos de manchas para os processos ecológicos relacionados ao fenômeno investigado (WIENS et al., 1985; KOTLIAR e WIENS, 1990). Quanto maior o grau de contraste, maior é a diferença entre duas manchas vizinhas. Por exemplo, para uma espécie que tem como habitat o interior de manchas florestais, uma mancha de pastagem vizinha ao fragmento florestal terá um contraste maior do que uma mancha de reflorestamento. Para uma espécie generalista e que vive na borda de fragmentos florestais, essa relação seria inversa. A medida de contraste deve ter como referência a percepção da espécie ou de um grupo de populações, e precisa ser parametrizado em função do objeto investigado.

Furtado (2018), por exemplo, desenvolveu três índices de contraste para uma região do interior do estado de São Paulo considerando o complexo de transmissão da hantavirose. Para o desenvolvimento deste índice, a autora baseou-se em uma tipologia de borda da paisagem que buscou representar as possibilidades de contato entre roedores silvestres e humanos.

De acordo com Lambin et al. (2010) quanto mais complexa e fragmentada é uma paisagem maior quantidade de área de ecótonos (área de transição entre dois ecossistemas distintos e adjacentes) é criada, provendo maior quantidade de áreas de habitat e de recursos para as espécies de borda. Ainda, de acordo com os autores, para o caso da malária, fronteiras constituídas por determinadas classes de uso e cobertura da terra favorecem o contato entre humanos e vetores da malária. Por exemplo, a fronteira Floresta/Área urbana, é mais favorável ao contato entre humanos e vetores da malária do que o interior das classes em questão.

Neste sentido, considerando que fronteiras constituídas por determinadas classes de uso e cobertura da terra favorecem o contato entre humanos e vetores da malária (LAMBIN et al., 2010; DESPOMMIERS et al., 2006; STEFANI et al., 2013), este estudo elaborou um índice de contraste específico para quantificar as fronteiras relevantes que favorecem o contato entre humanos e vetores da malária.

Neste trabalho, a métrica selecionada para quantificar o contraste da paisagem, que expressa o potencial contato entre humanos e os vetores, é a soma dos comprimentos das linhas de contato entre específicas classes de uso e cobertura da terra. O desenvolvimento da métrica encontra-se na Seção 5.4.

5.2. Projeto TerraClass: dados de monitoramento do uso e cobertura da terra

O desenvolvimento das métricas de composição e configuração da paisagem, conforme descrito nas seções anteriores, baseiam-se nos dados de uso e cobertura da terra produzidos pelo Projeto TerraClass.

O Projeto TerraClass é resultado de uma parceria entre o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais / Centro Regional da Amazônia (INPE/CRCRA), Embrapa Amazônia Oriental (CPATU), e a Embrapa Informática Agropecuária (CNPTIA). O projeto tem como objetivo produzir mapas sistêmicos de uso e cobertura da terra que qualificam as áreas desflorestadas da Amazônia Legal Brasileira a cada dois anos (ALMEIDA et al., 2016). Atualmente há dados disponíveis para os anos de 2004, 2008, 2010, 2012 e 2014. A Tabela 5.1 descreve as 16 categorias temáticas de uso e cobertura da terra mapeadas pelo Projeto TerraClass.

Tabela 5.1: Classes temáticas dos dados TerraClass.

| Classes | Aspecto | Descrição |
|--------------------------|---|--|
| 1. Hidrografia |  | Área que reúne distintos tipos de corpos d'água. |
| 2. Floresta |  | Área de vegetação nativa (floresta primária). |
| 3. Vegetação secundária |  | Área que, após a supressão total da vegetação florestal, encontra-se em processo avançado de regeneração, ou ainda, área utilizada para a prática de agricultura permanente ou silvicultura. |
| 4. Desflorestamento |  | Área que recentemente sofreu supressão total da vegetação nativa. |
| 5. Regeneração com pasto |  | Área que se encontra em processo de regeneração da vegetação nativa, onde a cobertura é predominantemente arbustiva e arbórea. |

continua.

Tabela 5.1: Continuação.

| Classes | Aspecto | Descrição |
|---------------------------|---|---|
| 6. Pasto sujo |  | Área de pastagem com o predomínio de gramíneas e a presença de vegetação arbustiva esparsa e indivíduos arbóreos. |
| 7. Pasto limpo |  | Área de pastagem como predomínio de vegetação herbácea e gramínea. |
| 8. Pasto com solo exposto |  | Área com baixa cobertura vegetal e solo exposto. |
| 9. Reflorestamento |  | Área de plantio de espécies arbóreas com finalidade comercial. |
| 10. Agricultura anual |  | Área de uso agrícola, predomínio de culturas anuais de larga escala. |
| 11. Mineração |  | Área com atividades de extração mineral associada ao surgimento de clareiras e solo exposto. |
| 12. Área urbana |  | Área de concentração populacional, com a presença de construções tais como casas e arruamentos. |

continua.

Tabela 5.1: Conclusão.

| Classes | Aspecto | Descrição |
|--------------------------|--|--|
| 13. Mosaico de ocupações |  | Área que, devido à resolução espacial das imagens de satélites, não foi possível ser apropriadamente interpretada. Possivelmente inclui atividades de agricultura familiar e pecuária tradicional. |
| 14. Não-floresta |  | Área de fisionomia não florestal, cujo uso e cobertura da terra não são monitorados pelo Projeto. |
| 15. Outros |  | Área não abrangida pelas outras categorias, tais como afloramentos rochosos e bancos de areia. |
| 16. Área não observada |  | Área que, devido à presença de nuvens e/ou sombras, não foi possível de ser interpretada. |

Fonte: Adaptado de Almeida et al. (2016), Dal'Asta (2016) e Souza, (2016).

5.3. Tipos de uso e cobertura da terra de relevância para a transmissão da malária

Caracterizada como uma doença de distribuição heterogênea, a transmissão da malária não ocorre em igual intensidade em todas as áreas endêmicas (BARATA, 1995), cada tipo de uso e cobertura da terra apresenta especificidades que influenciam a transmissão local da doença (BARBIERI, 2005; CASTRO et al., 2006; VITTOR et al., 2009; OLSON et al., 2010; SILVA-NUNES, 2010; STEFANI et al., 2013).

Seguindo este contexto, esta seção apresenta uma revisão bibliográfica sobre os tipos de uso e cobertura de terra e sua relação com a transmissão da malária. A revisão manteve o foco nos padrões de transmissão da malária para a Região Amazônica, buscando descrever informações referentes ao

desenvolvimento de larvas e pupas, a ecologia das formas adultas do vetor, e ao contato entre humanos e vetores.

De modo a fundamentar as métricas de composição e configuração da paisagem (Seção 5.4), a revisão mantém uma correspondência com dados de uso e cobertura da terra produzidos pelo Projeto TerraClass. A revisão está dividida em nove partes: corpos d'água, floresta primária, desflorestamento, vegetação secundária, área urbana, agricultura, pastagens, mineração, e área de colonização e assentamento rural.

Corpos d'água

As larvas do mosquito *Anopheles darlingi*, principal mosquito vetor da malária na Amazônia, distribuem-se preferencialmente às margens dos corpos hídricos de profundidade próxima à 40cm, limpos, pouco turvos e parcialmente sombreados (CONSOLI e OLIVEIRA,1994; TADEI et al., 1998). Corpos d'água profundos de água não estagnada, ou superfícies sujeitas a vento e ondas, não permitem a formação de criadouros de mosquitos *An. darlingi* (ZEILHOFER et al., 2007; GIROD et al., 2011; STEFANI et al, 2013). No TerraClass, os tipos de corpos d'água mapeados são geralmente profundos e não estagnados.

Floresta primária

Coletas realizadas em florestas primárias da Amazônia mostraram que o *An. darlingi* é raramente encontrado no ambiente florestal (LUZ e OLIVEIRA, 1996). O desenvolvimento de larvas e pupas do *An. darlingi*, assim como a eclosão dos mosquitos adultos, necessita de luz e calor do sol, o que torna as florestas primárias áreas de baixa densidade vetorial (TADEI et al., 1998; NORRIS, 2004). Por outro lado, a baixa luminosidade e o teor de umidade fazem das florestas locais propícios ao repouso de *An. darlingi* adultos (FORATTINI, 1962). Sendo assim, quando as florestas estão próximas a fontes hematofágicas, como moradias ou atividade humanas, as florestas primárias constituem ambientes nos quais *An. darlingi* repousam após atividade hematofágica e durante horários não propícios a atividade hematofágica,

servindo também como ambiente para a cópula (FORATTINI, 1962; MORENO et al., 2007; STEFANI et al., 2013).

Desflorestamento

Na Amazônia, o desflorestamento (corte raso) é definido como a mudança completa da cobertura da florestal em um curto período de tempo, resultando em uma abertura abrupta na floresta densa (INPE, 2008). Esta perturbação abrupta implica em alterações na distribuição e densidade do *An. darlingi*. A perda das copas e o revolver do solo propiciam a formação de pequenas coleções de água que recebem luz e calor do sol, o que favorece o desenvolvimento de larvas e pupas do *An. darlingi* (TADEI et al., 1998; NORRIS, 2004). Apesar disso, associações entre desflorestamento e transmissão da malária devem ser qualificadas. Desflorestamentos relacionados a atividades tais como agricultura, pastagem, mineração e expansão urbana, mostram associação positiva com a transmissão da malária após o corte da floresta (BARBIERI, 2005; CASTRO et al., 2006; VITTOR et al., 2009; OLSON et al., 2010). Entretanto, mudanças (não abruptas) da cobertura florestal relacionadas à exploração madeireira, não mostram associação significativa com a transmissão após o corte da floresta, principalmente quando, após o corte, a área é abandonada e nenhum outro uso se estabelece (HAHN et al., 2014). O risco de transmissão da malária associado ao desflorestamento pode ser transitório, a persistência do risco irá depender do uso da terra após o corte da floresta (STEFANI et al., 2013). No mapeamento do TerraClass, não estão incluídas categorias associadas a exploração madeireira ou a degradação florestal. O TerraClass mapeia apenas os desmatamentos por corte raso. Desta forma, todas as áreas mapeadas como desflorestamento irão apresentar relevância para a transmissão da malária, ainda que esta relevância seja transitória, como no caso de áreas de abandono.

Vegetação secundária

Áreas de vegetação secundária apresentam maior densidade de *An. darlingi* que ambientes de floresta primária (OLSON et al., 2010). A vegetação secundária apresenta ambientes propícios ao repouso de *An. darlingi* adultos (FORATTINI, 1962). Quando próximas à fontes hematofágicas, as áreas de vegetação secundária são ambientes nos quais os mosquitos *An. darlingi* repousam após atividade hematofágica e, durante horários não propícios a atividade hematofágica, servindo também como ambiente para a cópula (FORATTINI, 1962; MORENO et al., 2007; STEFANI et al., 2013). No TerraClass a classe vegetação secundária inclui atividades humanas tais como agricultura (permanente) e silvicultura, o que favorece o contato entre humanos e vetores.

Área urbana

A realização de obras de infraestrutura coletiva tais como, abastecimento de água, coleta de esgoto, pavimentação de ruas, drenagem pluvial, dragagem e retificação de igarapés, faz dos centros urbanos um ambiente pouco propício à proliferação de vetores da malária (SIMÃO, 2006; MARTINS, 2010). Por outro lado, em áreas periféricas e em pequenos núcleos urbanos, a falta de infraestrutura coletiva propicia a formação de criadouros permanentes de *An. darlingi* (GIL et al., 2007). Mas, indiferente a esta conjectura, seja em áreas urbanas com ou sem infraestrutura coletiva, a proximidade com a floresta ou com fragmentos florestais, favorece o contato entre humanos e vetores da malária (LAMBIN et al., 2010; STEFANI et al., 2013). No TerraClass, não só as sedes dos municípios são mapeadas como áreas urbanas, pequenos núcleos urbanos tais como distritos e comunidades também são mapeados.

Agricultura

Na Amazônia, áreas agrícolas são ambientes propícios ao repouso de *An. darlingi* adultos (NORRIS, 2004). Apesar disto, a agricultura de larga escala não apresenta associação significativa com a transmissão da malária,

provavelmente devido baixa exposição humana (BARATA, 1995; VITTOR et al., 2009; STEFANI et al., 2013). De outro lado, a agricultura familiar, normalmente relacionada com a colonização e o estabelecimento de assentamentos rurais, apresenta associação positiva com a transmissão da malária (BARATA, 1995; BARBIERI, 2005; CASTRO et al., 2006; VITTOR et al., 2009; OLSON et al., 2010; STEFANI et al., 2013). No TerraClass a classe agricultura anual, representa a agricultura de larga escala, com uso de maquinário e pouca mão de obra, sendo de menor relevância para a malária. A agricultura de pequena escala, que apresenta maior importância para a transmissão da malária, não é representada por essa classe.

Pastagem

Áreas de pastagem apresentam associação positiva com a transmissão da malária (BARATA, 1995; VITTOR et al., 2009; STEFANI et al., 2013). A densidade do *An. darlingi* em áreas de pastagem é baixa, mas atividades humanas associadas à pastagem favorecem a exposição humana ao vetor (VITTOR et al., 2009; LAMBIN et al., 2010). No TerraClass essa categoria está associadas a classe pasto limpo.

Mineração

Áreas de mineração a céu aberto apresentam ambientes propícios ao desenvolvimento de larvas e pupas do *An. darlingi* (NORRIS, 2004; BARBIERI, 2005). As minerações realizadas por grandes companhias industriais são geralmente livres de transmissão da malária devido à execução permanente de intervenções por parte dos empreendedores. Do outro lado, áreas de mineração artesanal tais como garimpos clandestinos, constantemente apresentam alta incidência de malária (BARBIERI, 2005; STEFANI et al., 2013). No TerraClass as diferentes formas de mineração são representadas conjuntamente pela mesma classe, entretanto, na região de estudo, a mineração industrial está pouco presente ou até mesmo ausente.

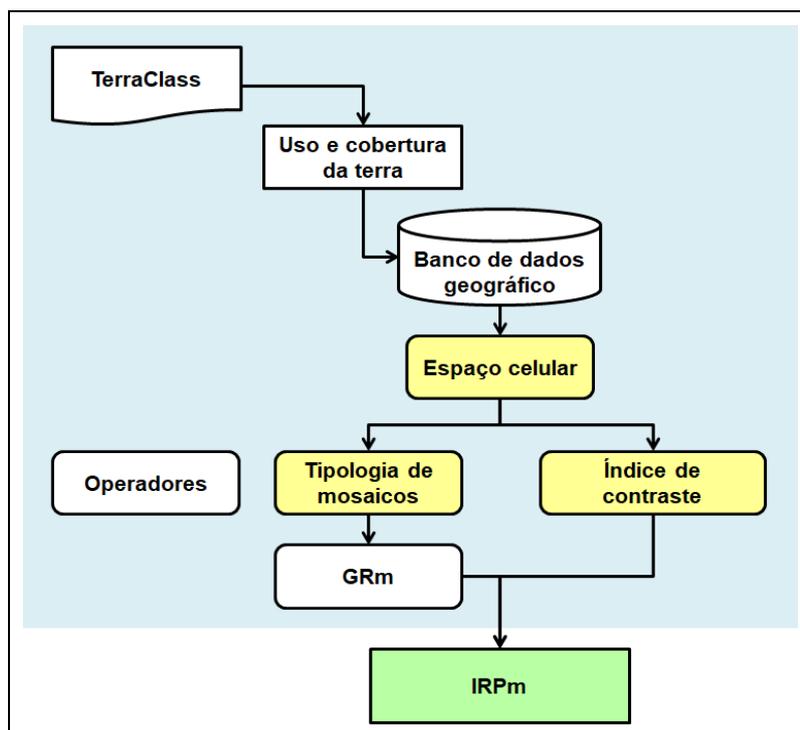
Área de colonização e assentamento rural

Na Amazônia, áreas de colonização e assentamento rural são geralmente constituídas por aglomerados de pequenas propriedades nas quais são comumente realizadas atividades de agricultura familiar e pecuária tradicional (CASTRO et al., 2006; SILVA-NUNES, 2010). As atividades relacionadas às áreas de colonização e assentamentos rurais favorecem a exposição humana aos vetores da malária (BARATA, 1995; BARBIERI, 2005; CASTRO et al., 2006; VITTOR et al., 2009; LAMBIN et al., 2010; OLSON et al., 2010; STEFANI et al., 2013), assim como a proximidade com a floresta favorece a presença de vetores (LAMBIN et al., 2010; STEFANI et al., 2013). No TerraClass esse tipo de categoria é representada pela classe mosaico de ocupação.

5.4. Metodologia

A metodologia proposta para o desenvolvimento do Índice de Relevância da Paisagem para a transmissão da malária (IRPm) envolve: (1) a criação de uma grade celular, (2) o desenvolvimento de uma tipologia de mosaicos, caracterizando diferentes composições de paisagens, ordenados na forma de um Gradiente de Relevância para a transmissão da malária (GRm), e (3) o desenvolvimento de um Índice de Contraste. Através do GRm e do IC é obtido o IRPm. A Figura 5.2 apresenta um diagrama simplificado do processo.

Figura 5.2: Diagrama simplificado do processo de desenvolvimento do IRPm.



Fonte: Produção do autor.

5.4.1. Espaço celular

Para que as métricas de composição (desenvolvimento de uma tipologia de mosaicos ordenados na forma de um Gradiente de Relevância para a transmissão da malária) e de configuração (desenvolvimento de um Índice de Contraste) da paisagem sejam operacionalizadas, é necessário que unidades espaciais de análise sejam geograficamente delimitadas (McGARIGAL e MARKS, 1995; BIGELL e CHANG, 2014).

Neste sentido, foi criada uma grade composta por células regulares [4x4km] sobre a RMM. Cada célula da grade atua como uma unidade espacial de análise para quais são operacionalizadas as métricas de composição e configuração da paisagem.

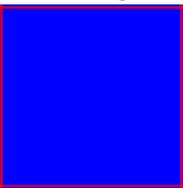
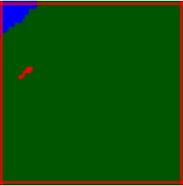
A grade celular criada para a RMM está apresentada no Capítulo 4 (Figura 4.4). Trata-se da mesma grade celular utilizada para o mapeamento de fontes e sumidouros de casos importados de malária na RMM (Capítulo 4).

5.4.2. Tipologia de mosaicos

A tipologia de mosaicos tem por objetivo sistematizar e caracterizar diferentes composições de paisagens, ordenando estas composições em um Gradiente de Relevância para a transmissão da malária (GRm). O desenvolvimento da tipologia fundamenta-se nos dados de uso e cobertura da terra produzidos pelo Projeto do TerraClass (Seção 5.2), e na revisão bibliográfica sobre os tipos de uso e cobertura da terra e sua relação com a transmissão da malária (Seção 5.3).

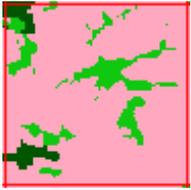
A Tabela 5.2 apresenta a tipologia de mosaicos, e a Tabela 5.3 apresenta os operadores desenvolvidos para sistematizar e caracterizar as diferentes composições de paisagem (mosaicos).

Tabela 5.2: Tipologia de mosaicos.

| Mosaico e amostra de dados TerraClass | Descrição (presença*) | Relevância para a transmissão malária | GRm |
|--|--|--|-------------|
| <p>M1. Não observado</p>  | <p>Célula com Não-floresta e/ou Outros e/ou Área não observada, podendo ocorrer hidrografia.</p> | <p>Área não monitorada pelo Projeto TerraClass (Não-floresta) e/ou de interpretação não possível (Área não observada) e/ou provavelmente inapta ao desenvolvimento de larvas e pupas dos vetores (Outros).</p> | <p>NA**</p> |
| <p>M2. Hidrografia</p>  | <p>Célula com cobertura 100% Hidrografia.</p> | <p>Cobertura inapta ao desenvolvimento de larvas e pupas dos vetores, e a ocupação humana.</p> | <p>NA**</p> |
| <p>M3. Floresta primária</p>  | <p>Célula com Floresta, podendo ocorrer Desflorestamento.</p> | <p>Mosaico apto à proliferação de vetores, provavelmente em baixa densidade. Pouco provável de ocupação humana. Possíveis atividades de desflorestamentos podem aumentar a densidade de vetores.</p> | <p>1</p> |

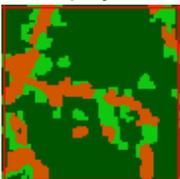
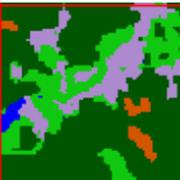
continua.

Tabela 5.2: Continuação.

| Mosaico e amostra de dados TerraClass | Descrição (presença*) | Relevância para a transmissão malária | GRm |
|---|---|---|-----|
| <p>M4. Vegetação secundária</p>  | <p>Célula com Vegetação secundária e/ou Regeneração, podendo ocorrer Desflorestamento.</p> | <p>Mosaico apto à proliferação de vetores. Baixa ocupação humana. Possíveis atividades de desflorestamentos podem aumentar a densidade de vetores.</p> | 2 |
| <p>M5. Agricultura anual</p>  | <p>Célula com Agricultura anual e/ou Reflorestamento, podendo ocorrer Floresta e/ou Vegetação secundária e/ou Desflorestamento.</p> | <p>Mosaico apto à proliferação de vetores, principalmente na área cultivada. Devido ao fato da agricultura anual estar associada à cultivos de larga escala, provavelmente ocorre baixa exposição humana. Possíveis atividades de desflorestamentos podem aumentar a densidade de vetores.</p> | 3 |
| <p>M6. Área urbana</p>  | <p>Célula com Área urbana, podendo ocorrer Floresta primária e/ou Vegetação secundária.</p> | <p>Mosaico associado à alta densidade populacional. Eventual presença de Floresta e/ou Vegetação secundária podem favorecer o contato entre humanos e vetores.</p> | 4 |
| <p>M7. Pastagem</p>  | <p>Célula com Pasto limpo e/ou Pasto com solo exposto, podendo ocorrer Agricultura anual e/ou Floresta e/ou Vegetação secundária e/ou Desflorestamento.</p> | <p>Mosaico apto à proliferação de vetores, provavelmente em baixa densidade. Atividades associadas à pastagem favorecem a exposição humana. Eventual presença de Floresta e/ou Vegetação secundária pode favorecer ainda mais o contato entre humanos e vetores. Possíveis atividades de desflorestamentos podem aumentar a densidade de vetores.</p> | 5 |

continua.

Tabela 5.2: Continuação.

| Mosaico e amostra de dados TerraClass | Descrição (presença*) | Relevância para a transmissão malária | GRm |
|--|--|--|----------|
| <p>M8. Mosaico de ocupações</p>  | <p>Célula com Mosaico de ocupações e/ou pasto sujo, podendo ocorrer Floresta primária e/ou Vegetação secundária e/ou Desflorestamento.</p> | <p>Mosaico apto à proliferação de vetores em alta densidade. Atividades associadas aos Mosaicos de ocupação favorecem a exposição humana. Eventual a presença de Floresta e/ou Vegetação secundária podem favorecer ainda mais o contato entre humanos e vetores. Possíveis atividades de desflorestamentos podem aumentar a densidade de vetores.</p> | <p>6</p> |
| <p>M9. Mineração</p>  | <p>Célula com Mineração, podendo ocorrer Agricultura Anual e/ou pasto limpo e/ou Mosaico de ocupações e/ou Floresta e/ou Vegetação secundária e/ou Desflorestamento.</p> | <p>Mosaico apto à proliferação de vetores em alta densidade. Atividades associadas à Mineração favorecem a formação de criadouros de vetores e a exposição humana. Eventual presença de Floresta e/ou Vegetação secundária pode favorecer ainda mais o contato entre humanos e vetores. Possíveis atividades de desflorestamentos podem aumentar a densidade de vetores.</p> | <p>7</p> |
| <p>M10. Mosaico de ocupações e outras classes de uso e cobertura de relevância, exceto mineração</p>  | <p>Célula com Mosaico de ocupações e/ou pasto sujo e/ou Agricultura Anual e/ou pasto limpo, podendo ocorrer Floresta primária e/ou Vegetação secundária e/ou Desflorestamento.</p> | <p>Intricado mosaico de elementos, apto à proliferação de vetores em alta densidade. Atividades associadas aos Mosaicos de ocupação e ao Pasto limpo favorecem a exposição humana. Eventual presença de Floresta e/ou Vegetação secundária pode favorecer ainda mais o contato entre humanos e vetores. Possíveis atividades de desflorestamentos podem aumentar a densidade de vetores.</p> | <p>8</p> |

continua.

Tabela 5.2: Conclusão.

| Mosaico e amostra de dados TerraClass | Descrição (presença*) | Relevância para a transmissão malária | GRm | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|---|-----|--|--|---|---|---|---|---|---|--|--|---|--|--|--|---|--|
| <p>M11. Área urbana e outras classes de uso e cobertura de relevância</p>  | <p>Célula com Área urbana e/ou Agricultura Anual e/ou pasto limpo e/ou Mineração e/ou Mosaico de ocupações, podendo ocorrer Floresta primária e/ou Vegetação secundária e/ou Desflorestamento.</p> | <p>Intricado mosaico de elementos, apto à proliferação de vetores em alta densidade e a formação de criadouros permanentes. Atividades associadas aos Mosaicos de ocupação e ao Pasto limpo favorecem a exposição humana, e Áreas urbanas concentram alta densidade populacional. Eventual presença de Floresta e/ou Vegetação secundária pode favorecer ainda mais o contato entre humanos e vetores. Possíveis atividades de desflorestamentos podem aumentar a densidade de vetores.</p> | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Legenda TerraClass:</p> <table border="0"> <tr> <td> 1. Hidrografia</td> <td> 9. Reflorestamento</td> </tr> <tr> <td> 2. Floresta</td> <td> 10. Agricultura anual</td> </tr> <tr> <td> 3. Vegetação secundária</td> <td> 11. Mineração</td> </tr> <tr> <td> 4. Desflorestamento</td> <td> 12. Área urbana</td> </tr> <tr> <td> 5. Regeneração com pasto</td> <td> 13. Mosaico de ocupações</td> </tr> <tr> <td> 6. Pasto sujo</td> <td> 14. Não-floresta</td> </tr> <tr> <td> 7. Pasto limpo</td> <td> 15. Outros</td> </tr> <tr> <td> 8. Pasto com solo exposto</td> <td> 16. Área não observada</td> </tr> </table> | | | |  1. Hidrografia |  9. Reflorestamento |  2. Floresta |  10. Agricultura anual |  3. Vegetação secundária |  11. Mineração |  4. Desflorestamento |  12. Área urbana |  5. Regeneração com pasto |  13. Mosaico de ocupações |  6. Pasto sujo |  14. Não-floresta |  7. Pasto limpo |  15. Outros |  8. Pasto com solo exposto |  16. Área não observada |
|  1. Hidrografia |  9. Reflorestamento | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  2. Floresta |  10. Agricultura anual | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  3. Vegetação secundária |  11. Mineração | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  4. Desflorestamento |  12. Área urbana | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  5. Regeneração com pasto |  13. Mosaico de ocupações | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  6. Pasto sujo |  14. Não-floresta | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  7. Pasto limpo |  15. Outros | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  8. Pasto com solo exposto |  16. Área não observada | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>* Descrição parcial da lógica de presença e ausência. A logica completa é apresentada na Tabela 5.3.</p> <p>** Não aplicado (NA).</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Fonte: Produção do autor.

A tipologia de mosaicos apresenta um total de 11 composições de paisagem. Nove composições foram ordenadas em um gradiente que variou de 1 a 9, formando o GRm. Duas composições não foram associados ao GRm: M1 (Não observado) e M2 (Hidrografia).

Tabela 5.3: Operadores de presença e ausência.

| | | Classes TerraClass | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|----|--------------------|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|
| Mosaico | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | |
| M1 | NA | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | P' | P' | P' |
| M2 | P | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A |
| M3 | NA | P | A | NA | A | A | A | A | A | A | A | A | A | NA | NA | NA | NA |
| M4 | NA | NA | P' | NA | P' | A | A | A | A | A | A | A | A | NA | NA | NA | NA |
| M5 | NA | NA | NA | NA | NA | A | A | A | P' | P' | A | A | A | NA | NA | NA | NA |
| M6 | NA | NA | NA | A | NA | A | A | A | A | A | A | P | A | NA | NA | NA | NA |
| M7 | NA | NA | NA | NA | NA | A | P' | P' | NA | NA | A | A | A | NA | NA | NA | NA |
| M8 | NA | NA | NA | NA | NA | P' | A | A | A | A | A | A | P' | NA | NA | NA | NA |
| M9 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | P | A | NA | NA | NA | NA | NA |
| M10 | NA | NA | NA | NA | NA | P' | P'' | P'' | P'' | P'' | A | A | P' | NA | NA | NA | NA |
| M11 | NA | NA | NA | P' | NA | P' | P' | P' | P' | P' | P' | P | P' | NA | NA | NA | NA |

P - Presença obrigatória da classe de uso e cobertura da terra.
 P' - Presença obrigatória de pelo menos uma das classes de uso e cobertura da terra assinaladas como P'.
 P'' - Presença obrigatória de pelo menos uma das classes de uso e cobertura da terra assinaladas como P''.
 A - Ausência obrigatória da classe de uso e cobertura da terra.
 NA - Não aplicado. Pode haver presença ou ausência.

Classes TerraClass:
 1 - Hidrografia
 2 - Floresta
 3 - Vegetação secundária
 4 - Desflorestamento
 5 - Regeneração com pasto
 6 - Pasto sujo
 7 - Pasto limpo
 8 - Pasto com solo exposto
 9 - Reflorestamento
 10 - Agricultura anual
 11 - Mineração
 12 - Área urbana
 13 - Mosaico de ocupações
 14 - Não-floresta
 15 - Outros
 16 - Área não observada

Fonte: Produção do autor.

Os operadores apresentados na Tabela 5.3 baseiam-se em lógicas de presença e ausência de classes de uso e cobertura da terra referentes a dados produzidos pelo Projeto TerraClass. Cada linha da Tabela 5.3 apresenta o conjunto de lógicas que envolvem uma das composições de paisagem (mosaico) descritos na Tabela 5.2.

As lógicas de presença e ausência foram desenvolvidas de modo a ordenar os mosaicos em um Gradiente de Relevância para a transmissão da malária (GRm). Sete classes de uso e cobertura da terra (dados TerraClass) fundamentaram a construção do GRm, são elas (ordenadamente): (1) Floresta, (2) Vegetação secundária, (3) Agricultura anual, (4) Área urbana, (5) Pasto limpo, (6) Mosaico de ocupações, e (7) Mineração. A ordenação estipula que a

classe Mineração apresenta maior relevância para a transmissão da malária do que a classe Mosaico de Ocupações, e que a classe Mosaico de Ocupações apresenta maior relevância do que a classe Pasto Limpo, e assim sucessivamente, sistematizando o GRm da seguinte forma:

1. os mosaicos M1 (Não observado) e M2 (Hidrografia) caracterizam-se pela ausência das sete classes que sistematizam o GRm (Floresta, Vegetação secundária, Agricultura anual, Área urbana, Pasto limpo, Mosaico de ocupações e Mineração), portanto estes mosaicos não tiveram valores de relevância para a transmissão da malária atribuídos.
2. o mosaico M3 (Floresta primária) caracteriza-se pela presença da classe Floresta e pela ausência das classes Vegetação secundária, Agricultura anual, Área urbana, Pasto limpo, Mosaico de ocupações e Mineração, o que confere a esse mosaico o grau de relevância 1, referente a classe Floresta;
3. o mosaico M4 (Vegetação secundária) caracteriza-se pela presença da classe Vegetação secundária e pela ausência das classes Agricultura anual, Área urbana, Pasto limpo, Mosaico de ocupações e Mineração, o que confere a esse mosaico o grau de relevância 2;
4. o mosaico M5 (Agricultura Anual) caracteriza-se pela presença da classe Agricultura Anual e pela ausência das classes Área urbana, Pasto limpo, Mosaico de ocupações e Mineração, o que confere a esse mosaico o grau de relevância 3;
5. o mosaico M6 (Área urbana) caracteriza-se pela presença da classe Área urbana e pela ausência das classes Agricultura anual, Pasto limpo, Mosaico de ocupações e Mineração, o que confere a esse mosaico o grau de relevância 4;
6. o mosaico M7 (Pastagem) caracteriza-se pela presença da classe Pasto limpo e pela ausência das classes Área urbana, Pasto limpo, Mosaico de ocupações e Mineração, o que confere a esse mosaico o grau de relevância 5;
7. o mosaico M8 (Mosaico de ocupações) caracteriza-se pela presença da classe Mosaico de ocupações e pela ausência das classes

- Agricultura anual, Área urbana, Pasto limpo e Mineração, o que confere a esse mosaico o grau de relevância 6;
8. o mosaico M9 (Mineração) caracteriza-se pela presença da classe Mineração e pela ausência da classe Área urbana, o que confere a esse mosaico o grau de relevância 7;
 9. o mosaico M10 (Mosaico de ocupações e outras classes de uso e cobertura de relevância, exceto mineração) caracteriza-se pela presença obrigatória de duas das sete classes sistematizam o GRm, a classe Mosaico de Ocupações e a classe Agricultura Anual ou Pasto Limpo, o que confere a esse mosaico o grau de relevância 8; e
 10. o mosaico M11 (Área urbana e outras classes de uso e cobertura de relevância) caracteriza-se pela presença obrigatória de duas das sete classes sistematizam o GRm, a classe Área urbana e a classe Agricultura Anual ou Pasto Limpo ou Mosaico de Ocupações ou Mineração, o que o confere a este mosaico grau de relevância 9.

Devido à semelhança da relevância para a transmissão da malária entre algumas classes de uso e cobertura da terra (dados TerraClass), os operadores de presença e ausência (Tabela 5.3) consideram:

1. a classe Regeneração com pasto equivalente a classe Vegetação secundária;
2. a classe Reflorestamento com pasto equivalente a classe Agricultura anual;
3. a classe Pasto com solo exposto equivalente a classe Pasto limpo; e
4. a classe Pasto sujo equivalente a classe Mosaico de ocupações.

Para cada célula da grade regular [4x4km], previamente criada (Seção 5.4.1), foi atribuída a informação de presença e ausência referente a cada uma das classes de uso e cobertura de terra (dados TerraClass). Cada célula da grade representa um mosaico que, através dos operadores de presença e ausência, foi caracterizado em uma das 11 composições da paisagem apresentadas na Tabela 5.2.

5.4.3. Índice de Contraste

O Índice de Contraste tem por objetivo quantificar as fronteiras favoráveis ao contato entre humanos e vetores da malária. A métrica de contraste utilizada para tanto é o comprimento total das linhas de Contato (C) entre manchas adjacentes e de diferentes classes de uso e cobertura da terra (dados TerraClass).

Oito classes de uso e cobertura da terra (dados TerraClass) foram selecionadas para o cálculo do C. Cinco associadas a ocupação/atividade humana: Agricultura anual, Pasto limpo, Mineração, Mosaico de ocupações e Área urbana. Três associadas ao repouso de formas adultas do *An. darlingi*: Floresta, Vegetação secundária e Agricultura anual. Uma associada à alta densidade vetorial: Desflorestamento. A tabela 5.4 apresenta as fronteiras qualificadas ao cálculo do C.

Tabela 5.4: Fronteiras qualificadas ao cálculo do C.

| Fronteira | Contato entre humanos e vetores |
|---|--|
| Floresta - Pasto limpo | Favorece o contato entre humanos e vetores devido a fronteira entre habitat favoráveis ao repouso de <i>An. darlingi</i> adultos e áreas de ocupação/atividade humana. |
| Floresta - Mineração | |
| Floresta - Mosaico de ocupações | |
| Floresta - Área urbana | |
| Vegetação secundária - Pasto limpo | |
| Vegetação secundária - Mineração | |
| Vegetação secundária - Mosaico de ocupações | |
| Vegetação secundária - Área urbana | |
| Desflorestamento - Vegetação secundária | Favorece o contato entre humanos e vetores devido a fronteira entre habitat que apresentam alta densidade vetorial e áreas de ocupação/atividade humana. |
| Desflorestamento - Agricultura anual | |
| Desflorestamento - Pasto limpo | |
| Desflorestamento - Mineração | |
| Desflorestamento - Mosaico de ocupações | |
| Desflorestamento - Área urbana | |

Fonte: Produção do autor.

É importante observar que a classe Agricultura anual esta associada tanto ocupação/atividade humana quanto ao repouso de formas adultas do *An. darlingi*, o que desqualifica uma possível análise de sua fronteira com Floresta ou Vegetação secundária.

Para todas as linhas de contato referentes às fronteiras apresentadas na Tabela 5.4 é atribuído peso 1 (um) às linhas de contato. Para todas as linhas de contato referente às demais fronteiras possível de serem formadas a partir das classes de uso e cobertura da terra (dados TerraClass) é atribuído peso 0 (zero). Portanto, somente as linhas de contatos referentes às fronteiras apresentadas na Tabela 5.3 são computadas no cálculo do C (equação 1).

$$C = \sum_{k=1}^n e_{ik} * d_{ik} \quad (1)$$

Onde:

C = Comprimento total das linhas de contato;

n = número de tipos de linhas de contato;

k = linha de contato entre as classes i e k ;

e_{ik} = comprimento da linha de contato entre os elementos i e k ;

d_{ik} = peso das fronteiras entre as classes i e k .

Semelhante a tipologia de mosaicos (Seção 5.4.2), o C foi calculado para cada uma das células da grade regular [4x4]km previamente criada (Seção 5.4.1).

5.4.4. Índice de Relevância da Paisagem (IRPm)

O Índice de Relevância da Paisagem para a transmissão da malária (IRPm), tem por objetivo quantificar a relevância do uso e cobertura da terra na transmissão da malária sobre um espaço delimitado.

O IRPm é obtido pela soma GRm com o C, ambos previamente normalizados. O GRm e o C, após normalizados, resultam em valores que variam de 0 a 1. Deste modo, o resultado final do IRPm é um gradiente de valores que variam de 0 (baixa relevância) a 2 (alta relevância). As equações 2 e 3 apresentam os cálculos de normalização do GRm e do C, e a equação 4 apresenta o cálculo do IRPm.

$$NGRm = \frac{GRm_i - GRm_{min}}{GRm_{max} - GRm_{min}} \quad (2)$$

Onde:

$NGRm$ = Gradiente de Relevância (GRm) normalizado;

GRm_i = Gradiente de Relevância (GRm) i ;

GRm_{min} = Valor mínimo do GRm;

GRm_{max} = Valor máximo do GRm.

$$NC = \frac{C_i - C_{min}}{C_{max} - C_{min}} \quad (3)$$

Onde:

NC = soma do comprimento das linhas de contato (C) normalizado;

C_i = soma do comprimento das linhas de contato (C) i ;

C_{min} = Valor mínimo do C;

C_{max} = Valor máximo do C.

$$IRPm = NGRm + NC \quad (4)$$

Onde:

$IRPm$ = Índice de Relevância da Paisagem;

$NGRm$ = Gradiente de Relevância (GRm) normalizado;

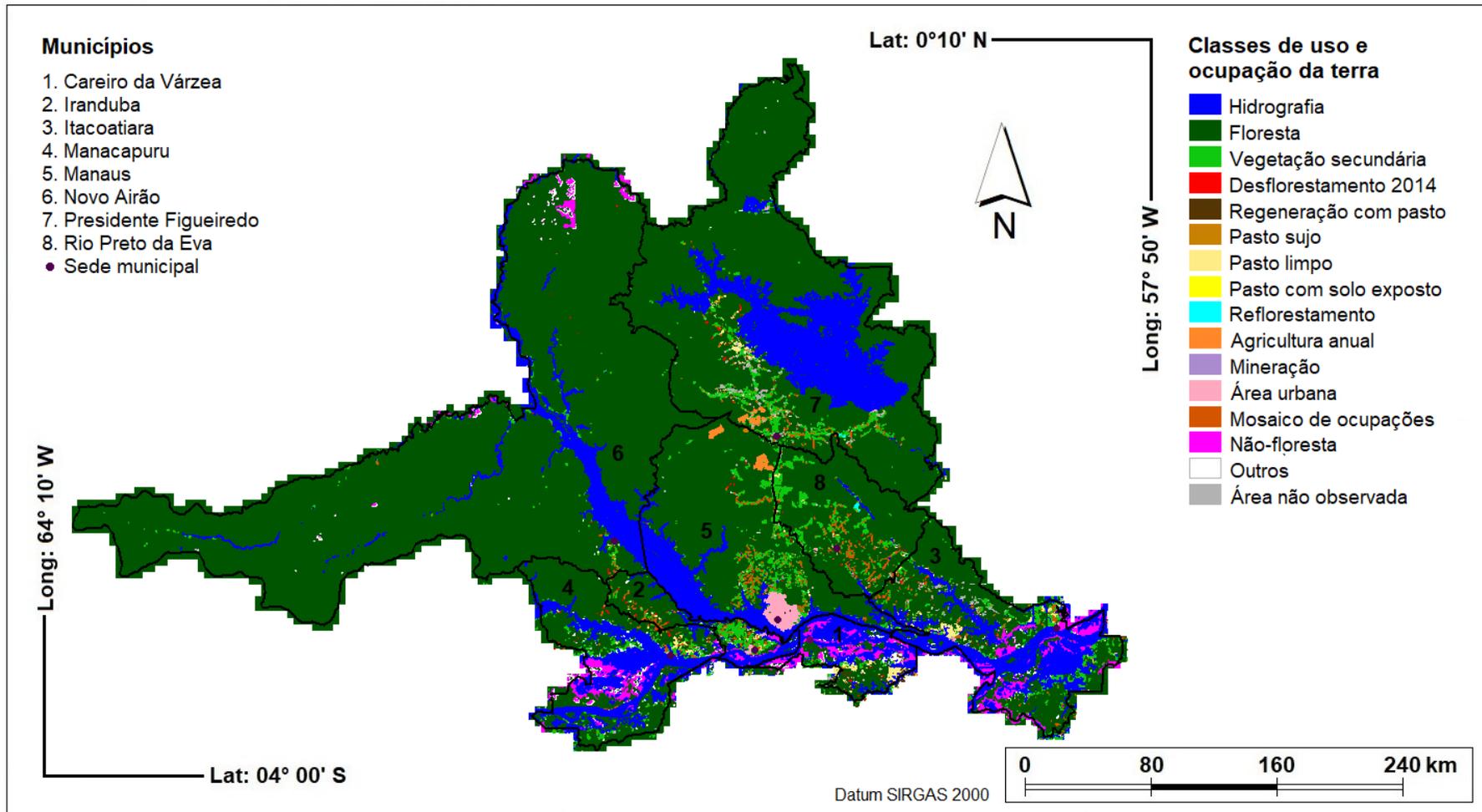
NC = soma do comprimento das linhas de contato (C) normalizado.

O GRm quantifica a relevância do uso e cobertura da terra para a transmissão da malária somente no que se refere à composição da paisagem. O C quantifica a relevância do uso e cobertura da terra para a transmissão da malária somente no que se refere à configuração da paisagem. O IRPm, ao somar o GRm com o C, quantifica a relevância do uso e cobertura da terra para a transmissão da malária no que se referente à composição e à configuração da paisagem, gerando resultados mais robustos que os obtidos individualmente pelo GRm e C.

5.5. Resultados

Os últimos dados de uso e cobertura da terra para a Amazônia Legal produzido pelo Projeto TerraClass é referente ao ano de 2014. A Figura 5.3 espacializa estes dados para a RMM.

Figura 5.3: Uso e cobertura da terra na RMM em 2014.

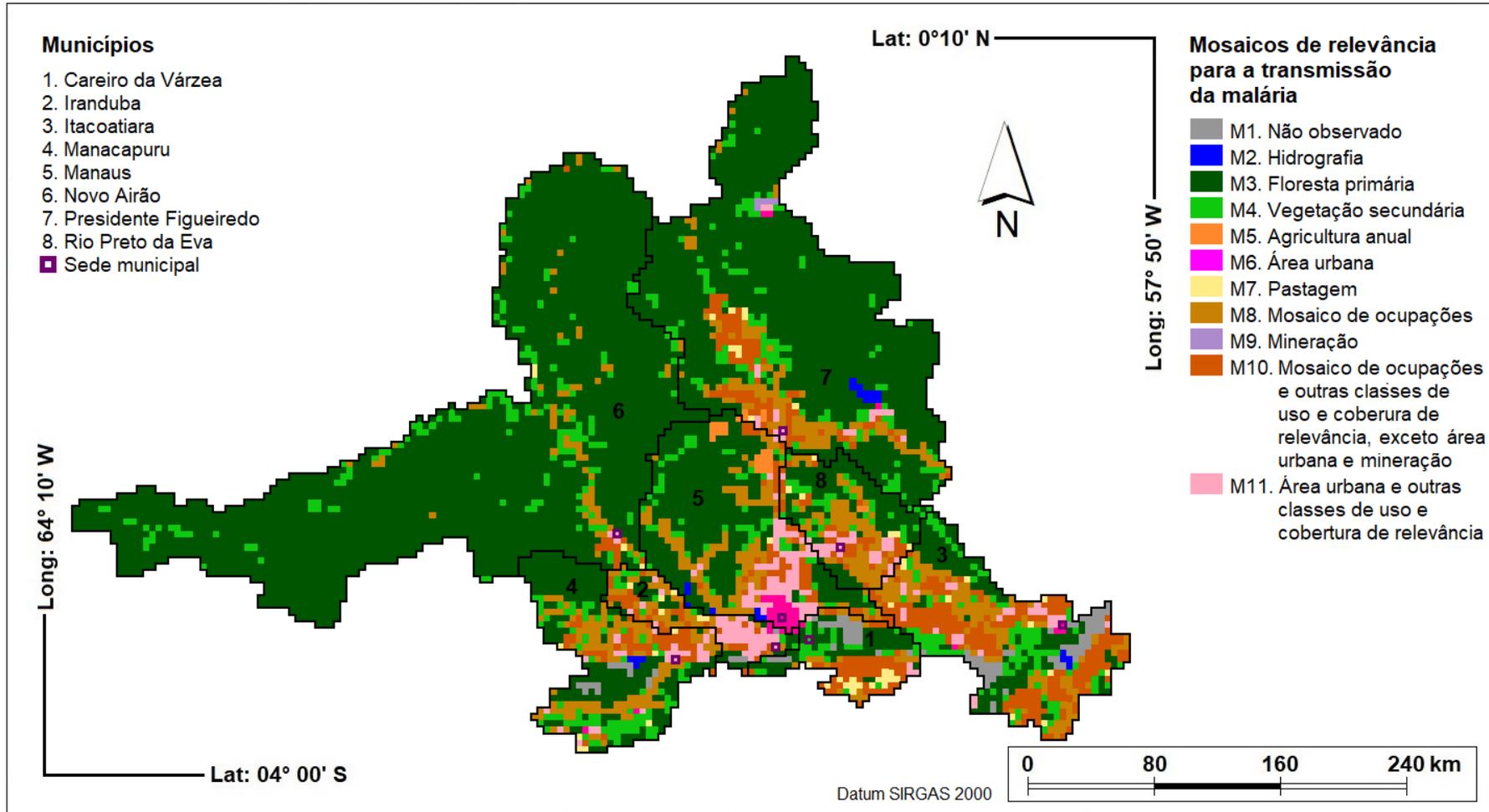


Fonte: INPE (2017).

A partir dos dados de uso e cobertura da terra apresentados na Figura 5.3, através de procedimentos operacionalizados por Sistemas de Informação geográfica (SIG), utilizando como unidade de espacial de análise as grade celular previamente criada (Seção 5.4.1), foram realizados: (1) a caracterização e espacialização da composição da paisagem (mosaicos); (2) a determinação e espacialização do GRm, (3) a determinação e espacialização do índice de contraste; e (4) a determinação e espacialização do IRPm. A Figura 5.4 espacializa os mosaicos de relevância para a transmissão da malária.

A Tabela 5.5 apresenta o número de células segundo mosaicos (2014) e municípios da RMM. O mosaico M3 (Floresta primária) predominou sobre a RMM. No total são 4.539 mosaicos M3, que correspondem à 66,69% das células da grade regular criada para a RMM. O mosaico M8 (Mosaico de ocupações) apresenta o segundo maior número de células, 688 (9,81%), seguido do mosaico M4 (Vegetação secundária) com 607 células (8,91%), M10 (Mosaico de ocupações e outras classes de uso e cobertura de relevância, exceto mineração) com 514 (7,54%) e M11 (Área urbana e outras classes de uso e cobertura de relevância) com 212 (3,11%).

Figura 5.4: Mapa da composição da paisagem (mosaic) para a RMM em 2014.



Fonte: Produção do autor.

Tabela 5.5: Número de células segundo mosaicos (2014) e municípios da RMM.

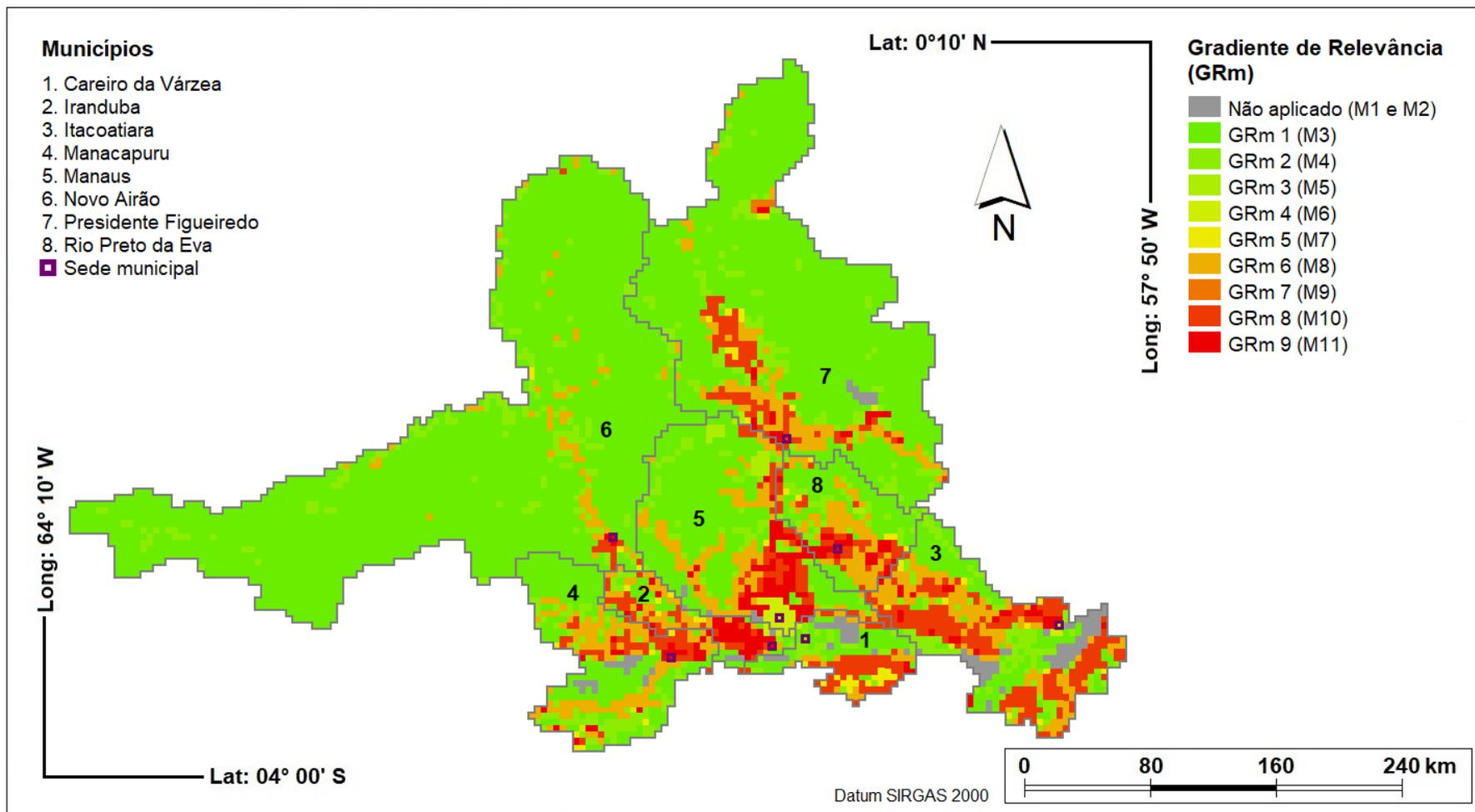
| Municípios | Mosaicos (GRm) | | | | | | | | | | | Total |
|---------------|----------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|-------|
| | M1 - | M2 - | M3 (1) | M4 (2) | M5 (3) | M6 (4) | M7 (5) | M8 (6) | M9 (7) | M10 (8) | M11 (9) | |
| C. da Várzea | 23 | 0 | 61 | 29 | 0 | 1 | 16 | 22 | 0 | 56 | 4 | 212 |
| Irlanduba | 4 | 0 | 35 | 11 | 0 | 4 | 6 | 43 | 0 | 34 | 38 | 175 |
| Itacoatiara | 54 | 4 | 132 | 98 | 0 | 4 | 11 | 124 | 0 | 189 | 27 | 643 |
| Manacapuru | 14 | 4 | 222 | 80 | 0 | 2 | 7 | 117 | 0 | 43 | 35 | 514 |
| Manaus | 0 | 7 | 379 | 58 | 19 | 22 | 1 | 118 | 0 | 53 | 69 | 726 |
| Novo Airão | 0 | 0 | 2283 | 167 | 0 | 0 | 4 | 70 | 0 | 12 | 3 | 2539 |
| P. Figueiredo | 0 | 10 | 1300 | 127 | 4 | 3 | 9 | 117 | 5 | 89 | 19 | 1683 |
| R. P. da Eva | 0 | 0 | 127 | 37 | 2 | 0 | 6 | 77 | 0 | 38 | 27 | 314 |
| Total | 95 | 25 | 4539 | 607 | 25 | 36 | 60 | 688 | 5 | 514 | 212 | 6806 |

Fonte: Produção do autor.

A Figura 5.5 espacializa o GRm para a RMM em 2014. Cada classe GRm apresenta na Figura 5.5 corresponde a uma classe específica da da Figura 5.4. A Classe M3 (Floresta primária) na Figura 5.4, por exemplo, é expressa na Figura 5.5 pelo classe GRm 1. O mesmo acontece com os demais mosaicos.

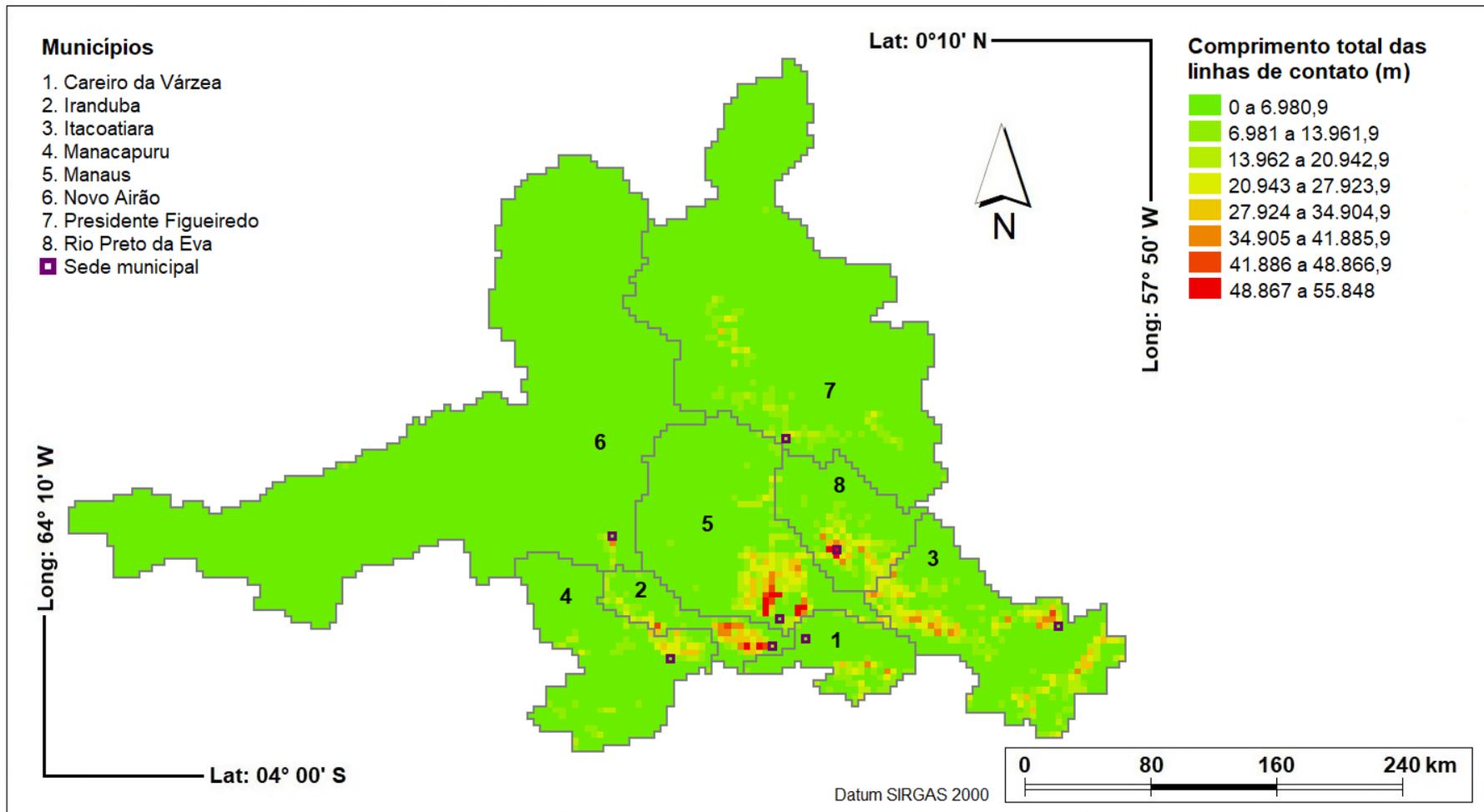
Complementando a análise dos mosaicos, a Figura 5.6 espacializa o Índice de Contraste, ou seja, o comprimento total das linhas de contato (C) de cada mosaico (célula) para a RMM em 2014. O C máximo medido foi 55.848 m e o mínimo 0 (zero).

Figura 5.5: Mapa do Gradiente de Relevância para a transmissão da malária (GRm) para a RMM em 2014.



Fonte: Produção do autor.

Figura 5.6: Mapa do Índice de Contraste para a RMM em 2014.



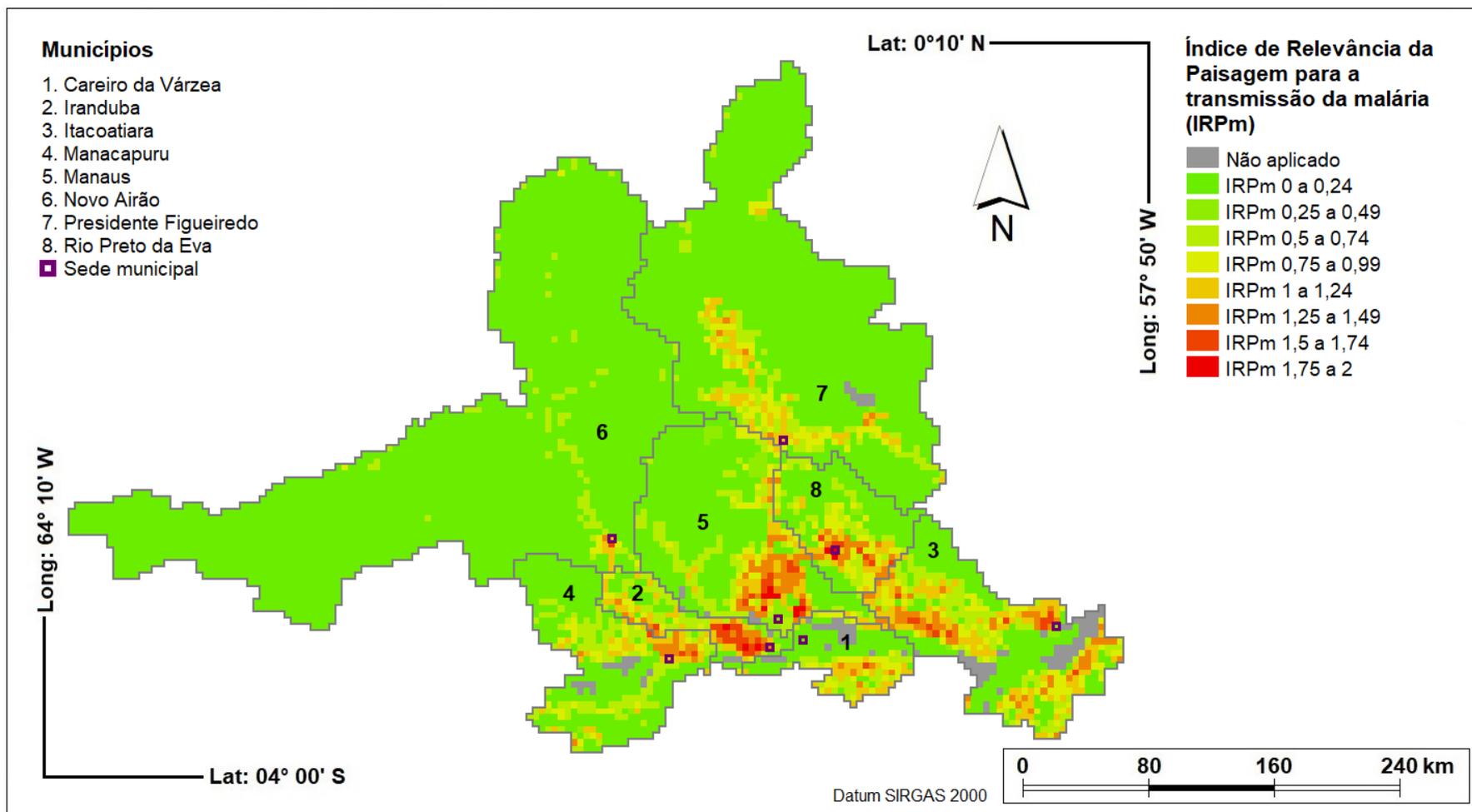
Fonte: Produção do autor.

Os valores referentes ao GRm e C, espacializados nas Figuras 5.4 e 5.5, foram normalizados conforme equação 3 e 4 (Seção 5.4.4) e, a partir da soma dos valores normalizados NGRm e NC, obteve-se o IRPm. A Figura 5.7 apresenta o IRPm para a RMM em 2014.

Os valores do IRPm variam de 0 (baixa relevância) a 2 (alta relevância), e estão apresentados em uma legenda de oito classes com amplitude próxima à 0,25. Deste modo, ao observar uma célula cujo IRPm seja 0 a 0,249, fica entendido que esta célula remete ao GRm 1 (cujo NGRm possui amplitude 0) ou GRm 2 (cujo NGRm possui amplitude 0,125), não podendo ser um GRm 3 ou superior, pois NGRm 3 possui amplitude de 0,25, o qual ultrapassa a amplitude IRPm da célula em questão (0 a 0,249).

De modo semelhante, pode-se inferir o C da célula. Considerando que os valores C variam de 0 a 55.848 m, para cada classe do IRPm o C apresenta uma amplitude de 6.981m (55.848/8), que normalizado (NC) equivale a amplitude de 0,125 (1/8), a mesma do GRm. Sendo assim, uma célula IRPm de amplitude 0 a 0.249, se for GRm 1 (NGRm=0), poderá ter C de até 1.3961,9m (NC= 0,249, quase duas vezes 6.981), se for GRm 2 (NGRm=0.125) poderá ter C de até 6.980,9 (NC=0,124). A mesma lógica pode ser aplicada às demais classes IRPm. A Tabela 5.6 estrutura esta lógica e apresenta todos os valores possíveis de GRm e C para as classes IRPm descritas na Figura 5.7. A Tabela 3.7 apresenta o número de células segundo IRPm (2014) e municípios da RMM.

Figura 5.7: Mapa do Índice de Relevância da Paisagem para a transmissão da malária (IRPm) para a RMM em 2014.



Fonte: Produção do autor.

Tabela 5.6: Legendas do IRPm segundo GRm e C.

| C (m) | GRm | | | | | | | | |
|-------------------|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 0 a 6.980,9 | | | | | | | | | |
| 6.981 a 13.961,9 | | | | | | | | | |
| 13.962 a 20.942,9 | | | | | | | | | |
| 20.943 a 27.923,9 | | | | | | | | | |
| 27.924 a 34.904,9 | | | | | | | | | |
| 34.905 a 41.885,9 | | | | | | | | | |
| 41.886 a 48.866,9 | | | | | | | | | |
| 48.867 a 55.848 | | | | | | | | | |

| Legenda IRPm: | | | |
|---|-------------|---|-------------|
|  | 0 a 0.24 |  | 0.5 a 0.74 |
|  | 0.25 a 0.49 |  | 0.75 a 0.99 |
|  | 1 a 1.24 |  | 1.25 a 1.49 |
|  | 1.5 a 1.74 |  | 1,75 a 2 |

Fonte: Produção do autor.

Tabela 5.7: Número de células segundo IRPm (2014) e municípios da RMM.

| Municípios | IRPm | | | | | | | | | Total |
|---------------|----------|-------------|------------|-------------|----------|-------------|------------|----------|-----|-------|
| | 0 a 0,24 | 0,25 a 0,49 | 0,5 a 0,74 | 0,75 a 0,99 | 1 a 1,24 | 1,25 a 1,49 | 1,5 a 1,74 | 1,75 a 2 | NA | |
| C. da Várzea | 90 | 0 | 32 | 30 | 31 | 5 | 1 | 0 | 23 | 212 |
| Irlanduba | 46 | 4 | 40 | 14 | 30 | 16 | 18 | 3 | 4 | 175 |
| Itacoatiara | 230 | 4 | 98 | 77 | 105 | 59 | 12 | 0 | 58 | 643 |
| Manacapuru | 302 | 2 | 106 | 33 | 35 | 15 | 3 | 0 | 18 | 514 |
| Manaus | 437 | 30 | 94 | 41 | 48 | 50 | 11 | 8 | 7 | 726 |
| Novo Airão | 2450 | 0 | 72 | 8 | 7 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2539 |
| P. Figueiredo | 1427 | 7 | 95 | 71 | 67 | 6 | 0 | 0 | 10 | 1683 |
| R. P. da Eva | 164 | 2 | 47 | 44 | 25 | 22 | 7 | 3 | 0 | 314 |
| Total | 5146 | 49 | 584 | 318 | 348 | 174 | 53 | 14 | 120 | 6806 |

Fonte: Produção do autor.

Conforme dados da Tabela 5.7, se considerarmos como de moderada a alta relevância o $IRPm \Rightarrow 1$, esse índice aponta para Itacoatiara, com 176 células (2,58% das células da grade regular criada para a RMM) e Manaus, com 117 células (1,71%), como os municípios que apresentaram maiores quantidades de paisagens relevantes para a transmissão da malária, seguidos de Presidente Figueiredo com 73 células (1,07%).

5.5.1. Discussões

O IRPm é o resultado da soma de duas métricas, uma de composição e outra de configuração da paisagem. A primeira métrica analisa a presença e ausência de classes de uso e cobertura da terra em um definido espaço, caracterizando diferentes mosaicos ordenados em um Gradiente de Relevância

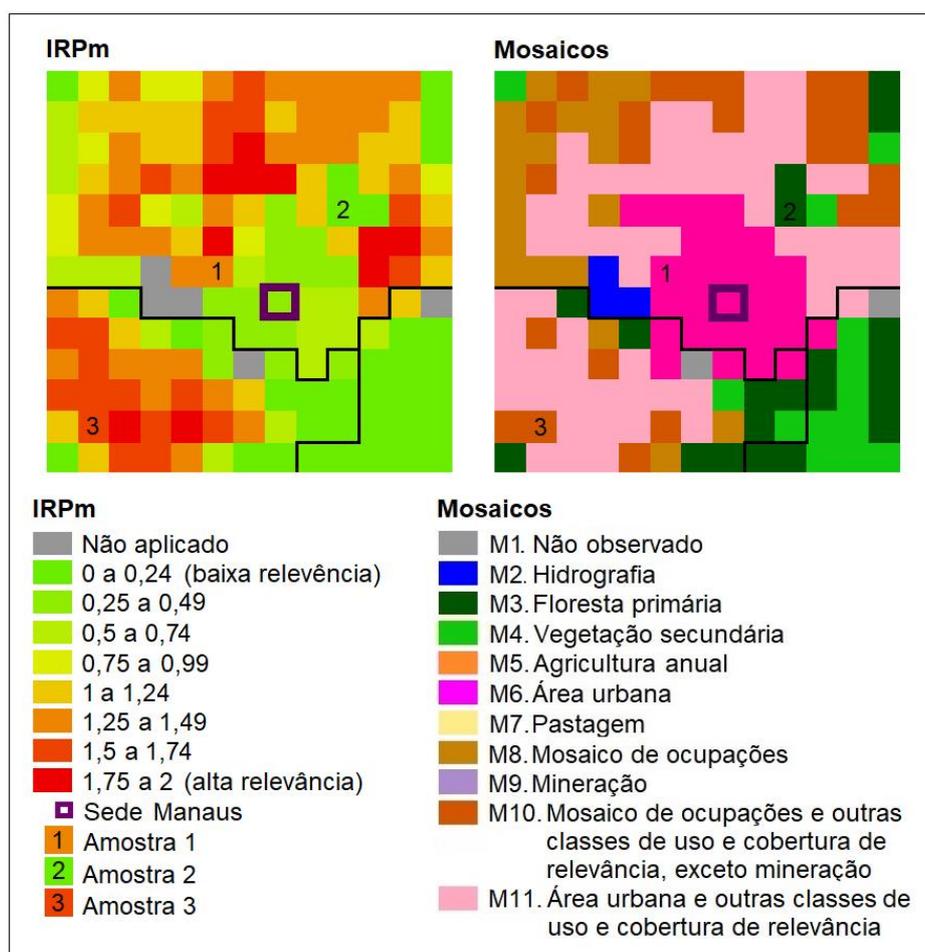
para a transmissão da malária (GRm). A segunda métrica quantifica as fronteiras favoráveis ao contato entre humanos e vetores da malária através de um índice de contraste que mede o comprimento total das linhas de contato (C) entre diferentes classes de uso e cobertura da terra.

O GRm quantifica a relevância da composição da paisagem (mosaico) para a transmissão da malária, agregando valores numéricos aos mosaicos e, assim, possibilitando a soma do GRm com o C.

Paisagens de composição semelhantes podem ter configurações distintas, e vice-versa. O IRPm, ao realizar a soma do GRm (composição da paisagem) com o C (configuração da paisagem), obtém resultados mais robustos que os obtidos individualmente pelo GRm e C. O mapa do GRm (Figura 5.5), por exemplo, indica um número maior de áreas (células) de alta relevância para a transmissão da malária que o mapa do IRPm (Figura 5.7), portanto, a observação individual do mapa GRm pode ser desvantajoso ao planejamento das intervenções de controle e/ou eliminação da malária, pois dispersa recursos humanos, materiais e financeiros.

Para exemplificar e melhor discutir os resultados obtidos neste capítulo, a Figura 5.8 apresenta um recorte do mapa do IRPm (Figura 5.7) e do mapa dos mosaicos (Figura 5.4). O recorte abrange a sede de Manaus e entorno. Cada recorte apresenta 169 células (13x13), das quais três células (amostras) foram escolhidas para discussão dos resultados.

Figura 5.8: Recorte dos mapas IRPm e mosaicos.



Fonte: Produção do autor.

A amostra 1 apresentou o valor de IRPm 1,25 a 1,49, correspondendo ao mosaico M6. Sendo assim, o comprimento total da linha de Contato (C), referente a amostra 1, varia de 34.905 a 48.866,9m (Tabela 5.5). A amostra 2 possui IRPm 0 a 0,24, mosaico M3 e C de 0 a 13.961,9m. A amostra 3 possui IRPm 1,5 a 1,74, mosaico M10 e C de 34.905 a 48.866,9m, a mesma faixa da amostra 1.

O mosaico M6 refere-se à Área urbana. Pelo comprimento da linha de contato, há no mosaico significativa quantidade de zonas de fronteiras entre a classe Área urbana e as classes Floresta e/ou Vegetação secundária (TerraClass), favorecendo o contato entre humanos e vetores da malária e, conseqüentemente, a transmissão da doença. Intervenções tais como borrifação intradomiciliar e instalação de mosquiteiros impregnados têm baixa

efetividade em áreas urbanas, pois, dificilmente a cobertura necessária à efetividade de tais intervenções são alcançadas em áreas de alta densidade populacional. Em áreas urbanas, as intervenções mais indicadas são o controle de criadouros através do manejo ambiental e o uso de biolarvicidas (BRASIL, 2009), assim como o acesso ao diagnóstico oportuno através da adequação da cobertura dos serviços de saúde (BRASIL, 2008).

O mosaico M3 refere-se à Floresta primária. Embora a amplitude do IRPm (0 a 0,24) admita a possibilidade da existência de linhas de contato de até 13.961,9m, a composição do mosaico Floresta não admite a presença das classes Vegetação secundária, Agricultura anual, Área urbana, Pasto limpo, Mosaico de ocupações e Mineração (TerraClass), portanto, nos mosaicos de M3 não há zona de fronteira que favoreça o contato entre humanos e vetores.

O mosaico M10 refere-se à Mosaicos de ocupações e outras classes de uso e cobertura de relevância, exceto mineração. Pelo comprimento da linha de contato há no mosaico significativa quantidade de zonas de fronteiras entre a classe Mosaico de ocupações e as classes Floresta e/ou Vegetação secundária e/ou Desflorestamento, ou ainda, entre as classes Agricultura anual e Desflorestamento, ou ainda, entre as classes Pasto limpo e Floresta e/ou Vegetação secundária e/ou Desflorestamento, ou ainda, entre as classes Vegetação secundária e Desflorestamento (TerraClass), favorecendo o contato entre humanos e vetores da malária e, conseqüentemente, a transmissão da doença. Intervenções tais como borrifação intradomiciliar e instalação de mosquiteiros impregnados são as mais indicadas (BRASIL, 2009), assim como o acesso ao diagnóstico oportuno através da adequação da cobertura dos serviços de saúde e ações de busca ativa (BRASIL, 2008).

5.5.2. Avaliação do IRPm

O desenvolvimento do IRPm fundamenta-se exclusivamente nos dados de uso e cobertura da terra produzidos pelo Projeto do TerraClass (Seção 5.2), e na revisão bibliográfica sobre os tipos de uso e cobertura da terra e sua relação com a transmissão da malária (Seção 5.3). Sendo assim, os resultados do

IRPm quanto à relevância da paisagem para a transmissão da malária, se referem aos resultados de modelo centrado em uma tipologia de base teórica-conceitual fundamentada na literatura.

Sendo o resultado de um modelo, para avaliar o IRPm para a RMM, a Tabela 5.8 apresenta os número de células com infecções adquiridas (2015), o número de infecções adquiridas (2015) e o número de casos importados (2015) segundo IRPm (2014) e mosaicos (2014) na RMM, e a Tabela 5.9 apresenta o número de células com infecções adquiridas (2015), o número de infecções adquiridas (2015) e o número de casos importados (2015) segundo IRPm (2014) e C (2014) na RMM.

Conforme descrito no Capítulo 4, a grade celular criada para a RMM apresenta 709 células com uma ou mais Localidades espacialmente contidas. Para 2015, das 709 células, 339 apresentaram zero notificação de caso, fosse este exportado, importado ou autóctone, 350 células apresentaram a notificação de pelo menos uma infecção adquirida, seja esta referente a um caso exportado ou autóctone, e 20 apresentaram somente a notificação de casos importados.

As Tabelas 5.8 e 5.9 analisam as 350 células que apresentaram casos exportados e/ou autóctones, ou seja, as células onde houveram infecções adquiridas em 2015, sendo que nestas células também houveram casos importados. No total, nas 350 células houveram 10.412 infecções adquiridas (casos exportados e autóctones) e 4.941 casos importados para 2015.

Tabela 5.8: Números de células com infecções adquiridas, de infecções adquiridas e de casos importados (2015) segundo IRPm e mosaicos (2014) na RMM.

| Mosaicos (GRm) | IRPm | | | | | | | | | Total |
|----------------------------------|----------|-------------|------------|-------------|----------|-------------|------------|----------|----|-------|
| | 0 a 0,24 | 0,25 a 0,49 | 0,5 a 0,74 | 0,75 a 0,99 | 1 a 1,24 | 1,25 a 1,49 | 1,5 a 1,74 | 1,75 a 2 | NA | |
| Células com infecções adquiridas | | | | | | | | | | |
| M1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 5 |
| M2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M3 (GRm1) | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13 |
| M4 (GRm2) | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 |
| M5 (GRm3) | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| M6 (GRm4) | 0 | 17 | 7 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 28 |
| M7 (GRm5) | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| M8 (GRm6) | 0 | 0 | 46 | 21 | 9 | 1 | 0 | 0 | 0 | 77 |
| M9 (GRm7) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M10 (GRm8) | 0 | 0 | 0 | 17 | 48 | 23 | 8 | 0 | 0 | 96 |
| M11 (GRm9) | 0 | 0 | 0 | 0 | 26 | 46 | 30 | 12 | 0 | 114 |
| Total | 25 | 18 | 57 | 39 | 84 | 72 | 38 | 12 | 5 | 350 |
| Infecções adquiridas | | | | | | | | | | |
| M1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 10 |
| M2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M3 (GRm1) | 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 32 |
| M4 (GRm2) | 21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 21 |
| M5 (GRm3) | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| M6 (GRm4) | 0 | 774 | 135 | 40 | 150 | 546 | 0 | 0 | 0 | 1645 |
| M7 (GRm5) | 0 | 0 | 125 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 125 |
| M8 (GRm6) | 0 | 0 | 202 | 75 | 70 | 1 | 0 | 0 | 0 | 348 |
| M9 (GRm7) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M10 (GRm8) | 0 | 0 | 0 | 224 | 845 | 431 | 421 | 0 | 0 | 1921 |
| M11 (GRm9) | 0 | 0 | 0 | 0 | 546 | 1876 | 1396 | 2491 | 0 | 6309 |
| Total | 53 | 775 | 462 | 339 | 1611 | 2854 | 1817 | 2491 | 10 | 10412 |
| Casos importados | | | | | | | | | | |
| M1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| M2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M3 (GRm1) | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| M4 (GRm2) | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| M5 (GRm3) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M6 (GRm4) | 0 | 2956 | 676 | 67 | 87 | 53 | 0 | 0 | 0 | 3839 |
| M7 (GRm5) | 0 | 0 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 |
| M8 (GRm6) | 0 | 0 | 17 | 12 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 35 |
| M9 (GRm7) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M10 (GRm8) | 0 | 0 | 0 | 29 | 42 | 20 | 17 | 0 | 0 | 108 |
| M11 (GRm9) | 0 | 0 | 0 | 0 | 574 | 167 | 95 | 90 | 0 | 926 |
| Total | 15 | 2956 | 708 | 108 | 709 | 240 | 112 | 90 | 3 | 4941 |

Fonte: Produção do autor.

Tabela 5.9: Números de células com infecções adquiridas, de infecções adquiridas e de casos importados (2015) segundo IRPm e C (2014) na RMM.

| C (m) | IRPm | | | | | | | | | Total |
|----------------------------------|-------------|----------------|---------------|----------------|-------------|----------------|---------------|-------------|----|-------|
| | 0 a 0,24 | 0,25 a 0,49 | 0,5 a 0,74 | 0,75 a 0,99 | 1 a 1,24 | 1,25 a 1,49 | 1,5 a 1,74 | 1,75 a 2 | NA | |
| Células com infecções adquiridas | | | | | | | | | | |
| 0~6980,9 | 25 | 18 | 48 | 17 | 10 | 0 | 0 | 0 | 5 | 123 |
| 6981~13961,9 | 0 | 0 | 4 | 15 | 39 | 0 | 0 | 0 | 0 | 58 |
| 13962~20942,9 | 0 | 0 | 5 | 6 | 25 | 18 | 0 | 0 | 0 | 54 |
| 20943~27923,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 46 | 0 | 0 | 0 | 51 |
| 27924~34904,9 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 | 5 | 20 | 0 | 0 | 30 |
| 34905~41885,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 17 | 0 | 0 | 18 |
| 41886~48866,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 2 | 0 | 4 |
| 48867~55848 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 10 | 0 | 12 |
| Total | 25 | 18 | 57 | 39 | 84 | 72 | 38 | 12 | 5 | 350 |
| Infecções adquiridas | | | | | | | | | | |
| 0~6980,9 | 53 | 775 | 287 | 224 | 386 | 0 | 0 | 0 | 10 | 1735 |
| 6981~13961,9 | 0 | 0 | 56 | 57 | 571 | 0 | 0 | 0 | 0 | 684 |
| 13962~20942,9 | 0 | 0 | 119 | 18 | 434 | 513 | 0 | 0 | 0 | 1084 |
| 20943~27923,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 | 1708 | 0 | 0 | 0 | 1738 |
| 27924~34904,9 | 0 | 0 | 0 | 40 | 40 | 86 | 680 | 0 | 0 | 846 |
| 34905~41885,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1136 | 0 | 0 | 1137 |
| 41886~48866,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 150 | 0 | 1 | 284 | 0 | 435 |
| 48867~55848 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 546 | 0 | 2207 | 0 | 2753 |
| Total | 53 | 775 | 462 | 339 | 1611 | 2854 | 1817 | 2491 | 10 | 10412 |
| Casos importados | | | | | | | | | | |
| 0~6980,9 | 15 | 2956 | 22 | 29 | 533 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3558 |
| 6981~13961,9 | 0 | 0 | 11 | 10 | 66 | 0 | 0 | 0 | 0 | 87 |
| 13962~20942,9 | 0 | 0 | 675 | 2 | 17 | 56 | 0 | 0 | 0 | 750 |
| 20943~27923,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 125 | 0 | 0 | 0 | 127 |
| 27924~34904,9 | 0 | 0 | 0 | 67 | 4 | 6 | 43 | 0 | 0 | 120 |
| 34905~41885,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 69 | 0 | 0 | 69 |
| 41886~48866,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 87 | 0 | 0 | 14 | 0 | 101 |
| 48867~55848 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 53 | 0 | 76 | 0 | 129 |
| Total | 15 | 2956 | 708 | 108 | 709 | 240 | 112 | 90 | 3 | 4941 |

Fonte: Produção do autor.

Quanto ao IRPm, as Tabelas 5.8 e 5.9 apresentam o mesmo valor total para os números de células, infecções adquiridas e casos importados. O maior número de células com infecções adquiridas pertence ao IRPm 1 a 1,24 (84 células), seguido do IRPm 1,25 a 1,49 (72 células) e do IRPm 0,5 a 0,74 (54 células). O maior número de infecções adquiridas pertence ao IRPm 1,25 a 1,49 (2.854 casos), seguido do IRPm 1,75 a 2 (2.491 casos), do IRPm 1,5 a 1,74 (1.817 casos) e do IRPm 1 a 1,24 (1.611 casos). O maior número de casos

importados pertence ao IRPm 0,25 a 0,49 (2.956 casos), seguido do IRPm 1 a 1,24 (709 casos).

De um modo geral, ao observar os valores brutos de número de células, infecções adquiridas e casos importados (Tabelas 5.8 e 5.9), não se constata um consenso, ou padrão, dos dados quanto ao IRPm. Destaca-se, sobre tudo, o alto número de casos importados em células de IRPm 0,25 a 0,49, foram 2.956 casos importados, o que corresponde a 59,82% dos casos importados analisados.

Por definição conceitual, o IRPm deve ser avaliado quanto as infecções adquiridas, mas os casos importados de malária contribuem para a persistência da transmissão local da doença, principalmente quando a chegada de humanos infectados ocorre de modo frequente (LINARD et al., 2009; TATEM e SMITH, 2010; PROSPER et al., 2012; WESOLOWSKI et al., 2012; ANGELO et al, 2017). Neste sentido, a Tabela 5.10 apresenta a média de infecções adquiridas (2015) e a média de casos importados (2015), por célula, segundo IRPm (2014) na RMM.

Tabela 5.10: Médias de infecções adquiridas e de casos importados (2015) por célula, segundo IRPm (2014) na RMM.

| | IRPm | | | | | | | | |
|--|----------|-------------|------------|-------------|----------|-------------|------------|----------|-----|
| | 0 a 0,24 | 0,25 a 0,49 | 0,5 a 0,74 | 0,75 a 0,99 | 1 a 1,24 | 1,25 a 1,49 | 1,5 a 1,74 | 1,75 a 2 | NA |
| Células com infecções adquiridas | 25 | 18 | 57 | 39 | 84 | 72 | 38 | 12 | 5 |
| Número de infecções adquiridas | 53 | 775 | 462 | 339 | 1611 | 2854 | 1817 | 2491 | 10 |
| Número de casos importados | 15 | 2956 | 708 | 108 | 709 | 240 | 112 | 90 | 3 |
| Média de infecções adquiridas por célula | 2,12 | 43,06 | 8,11 | 8,69 | 19,18 | 39,64 | 47,82 | 207,58 | 2 |
| Média de casos importados por célula | 0,60 | 164,22 | 12,42 | 2,77 | 8,44 | 3,33 | 2,95 | 7,50 | 0,6 |

Fonte: Produção do autor.

Os valores referentes à média do número de infecções adquiridas por célula (Tabela 5.10) denotam um padrão crescente de valores, que variam do 2,12 infecções/célula (IRPm 0,25 a 0,49) até 207,58 infecção/célula (IRPm 1,75 a 2).

A exceção ocorre no IRPm 0,25 a 0,49, que apresenta um valor médio de infecções/célula (43,06) maior que o do IRPm seguinte (8,11 infecções/célula). Por outro lado, ao observar a média de casos importados por células, denota-se que o IRPm 0,25 a 0,49 apresenta um valor de casos importados/célula expressivamente maior que os demais IRPm.

A Tabela 5.8 mostra que o IRPm 0,25 a 0,49 possui 18 células com infecções adquiridas: 17 células M6 (Área urbana) e uma M5 (Agricultura anual). As 17 células M6 apresentam 774 infecções adquiridas e 2.956 casos importados. A única célula M5 apresenta uma infecção adquirida e zero caso importado.

A Tabela 5.9 mostra que as 18 células IRPm 0,25 a 0,49 apresentam comprimento total da linha de Contato (C), referente a zonas de fronteiras favoráveis ao contato entre humanos e vetores, de 0 a 6.980,9m, ou seja, menor faixa de valores da legenda C.

Os mosaicos M6 representam, em princípio, centros urbanos com a presença de infraestrutura coletiva, tais como, abastecimento de água, coleta de esgoto, pavimentação de ruas, drenagem pluvial, dragagem e retificação de igarapés, uma paisagem pouco propícia à proliferação de vetores. Mas a expressiva chegada de humanos infectados (2.956), quase quatro vezes o número de infecções adquiridas (774), contribui para o fomento da transmissão local da malária, sobrestimando a relevância da paisagem para a transmissão da malária.

Deste modo, somente a análise dos dados de uso e cobertura da terra é insuficiente para o planejamento de intervenções de controle e/ou eliminação da malária, podendo induzir a erros. Neste sentido, o Capítulo 6 descreve a interação dos dados de fontes e sumidouros de casos importados de malária (movimento de humanos infectados) com os apresentados neste capítulo, enriquecendo e concluindo este estudo.

6. MALÁRIA, MOBILIDADE HUMANA E HETEROGENEIDADE ESPACIAL: OBSERVANDO FONTES, SUMIDOUROS E A PAISAGEM

Este capítulo analisa as informações referentes à identificação de fontes e sumidouros de casos importados de malária, em conjunto com as informações de caracterização da paisagem.

A identificação das fontes e sumidouros de casos importados, desenvolvida no Capítulo 4, possibilita reconhecer áreas onde humanos susceptíveis adquiriram a infecção e de lá partiram sem serem tratados (fontes), e áreas onde humanos infectados chegaram (sumidouros). Um estudo de caso foi realizado para a RMM utilizando dados de notificação de casos positivos de malária, referentes ao ano de 2015, disponibilizados pelo SIVEP-malária.

A caracterização da paisagem, desenvolvida no Capítulo 5, permite identificar diferentes mosaicos de uso e cobertura da terra e qualificar a relevância destes para a transmissão da malária. Um estudo de caso foi realizado para a RMM utilizando dados de uso e cobertura da terra, referentes ao ano de 2014, produzidos pelo Projeto TerraClass.

Neste sentido, buscando traçar um perfil entre fontes, sumidouros e paisagem, a Tabela 6.1 apresenta os números de casos exportados, importados e autóctones (2015), segundo categorias de fontes e sumidouros de casos importados (2015) e mosaicos (2014), e a Tabela 6.2 apresenta os números de casos exportados, importados e autóctones (2015) segundo categorias de fontes e sumidouros (2015), e IRPm (2014).

Tabela 6.1: Números de casos exportados, importados e autóctones (2015) segundo categoria de fontes e sumidouros de casos importados (2015) e mosaicos (2014) na RMM.

| Mosaicos (GRm) | Categorias | | | | | | | | Total |
|------------------|------------|------|----|------|-----|------|----|----|-------|
| | F1 | F2 | FS | S2 | S1a | S1na | A1 | L1 | |
| Casos exportados | | | | | | | | | |
| M1 | 3 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | - | 6 |
| M2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 |
| M3 (1) | 12 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 19 |
| M4 (2) | 14 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | - | 15 |
| M5 (3) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 |
| M6 (4) | 8 | 272 | 0 | 245 | 0 | 0 | 0 | - | 525 |
| M7 (5) | 1 | 21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 22 |
| M8 (6) | 120 | 43 | 5 | 7 | 0 | 0 | 0 | - | 175 |
| M9 (7) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 |
| M10 (8) | 181 | 662 | 3 | 9 | 0 | 0 | 0 | - | 855 |
| M11 (9) | 243 | 2263 | 4 | 174 | 0 | 0 | 0 | - | 2684 |
| Total | 582 | 3270 | 12 | 437 | 0 | 0 | 0 | - | 4301 |
| Casos importados | | | | | | | | | |
| M1 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | - | 6 |
| M2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 |
| M3 (1) | 0 | 1 | 0 | 0 | 4 | 1 | 0 | - | 6 |
| M4 (2) | 0 | 0 | 0 | 9 | 1 | 2 | 0 | - | 12 |
| M5 (3) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 |
| M6 (4) | 0 | 118 | 0 | 3692 | 29 | 0 | 0 | - | 3839 |
| M7 (5) | 0 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 15 |
| M8 (6) | 0 | 11 | 5 | 19 | 0 | 10 | 0 | - | 45 |
| M9 (7) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 |
| M10 (8) | 0 | 80 | 3 | 25 | 0 | 5 | 0 | - | 113 |
| M11 (9) | 0 | 259 | 4 | 660 | 3 | 44 | 0 | - | 970 |
| Total | 0 | 485 | 12 | 4407 | 37 | 65 | 0 | - | 5006 |
| Casos autóctones | | | | | | | | | |
| M1 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | - | 4 |
| M2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 |
| M3 (1) | 6 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 1 | - | 13 |
| M4 (2) | 5 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | - | 6 |
| M5 (3) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | - | 1 |
| M6 (4) | 0 | 424 | 0 | 695 | 1 | 0 | 0 | - | 1120 |
| M7 (5) | 3 | 98 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | - | 103 |
| M8 (6) | 105 | 29 | 0 | 18 | 0 | 0 | 21 | - | 173 |
| M9 (7) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 |
| M10 (8) | 122 | 911 | 2 | 13 | 0 | 0 | 18 | - | 1066 |
| M11 (9) | 286 | 3025 | 0 | 299 | 5 | 0 | 10 | - | 3625 |
| Total | 527 | 4489 | 2 | 1027 | 13 | 0 | 53 | - | 6111 |

Fonte: Produção do autor.

Tabela 6.2: Números de casos exportados, importados e autóctones (2015) segundo categoria de fontes e sumidouros de casos importados (2015) e IRPm (2014) na RMM.

| IRPm | Categorias | | | | | | | | Total |
|------------------|------------|------|----|------|-----|------|----|----|-------|
| | F1 | F2 | FS | S2 | S1a | S1na | A1 | L1 | |
| Casos exportados | | | | | | | | | |
| 0 a 0,24 | 26 | 7 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | - | 34 |
| 0,25 a 0,49 | 5 | 0 | 0 | 201 | 0 | 0 | 0 | - | 206 |
| 0,5 a 0,74 | 78 | 45 | 2 | 32 | 0 | 0 | 0 | - | 157 |
| 0,75 a 0,99 | 49 | 95 | 3 | 16 | 0 | 0 | 0 | - | 163 |
| 1 a 1,24 | 114 | 459 | 3 | 131 | 0 | 0 | 0 | - | 707 |
| 1,25 a 1,49 | 142 | 1063 | 2 | 20 | 0 | 0 | 0 | - | 1227 |
| 1,5 a 1,74 | 154 | 603 | 2 | 13 | 0 | 0 | 0 | - | 772 |
| 1,75 a 2 | 11 | 996 | 0 | 22 | 0 | 0 | 0 | - | 1029 |
| NA | 3 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | - | 6 |
| Total | 582 | 3270 | 12 | 437 | 0 | 0 | 0 | - | 4301 |
| Casos importados | | | | | | | | | |
| 0 a 0,24 | 0 | 1 | 0 | 9 | 5 | 3 | 0 | - | 18 |
| 0,25 a 0,49 | 0 | 0 | 0 | 2927 | 29 | 0 | 0 | - | 2956 |
| 0,5 a 0,74 | 0 | 20 | 2 | 686 | 0 | 8 | 0 | - | 716 |
| 0,75 a 0,99 | 0 | 13 | 3 | 92 | 0 | 2 | 0 | - | 110 |
| 1 a 1,24 | 0 | 141 | 3 | 565 | 0 | 18 | 0 | - | 727 |
| 1,25 a 1,49 | 0 | 166 | 2 | 71 | 1 | 26 | 0 | - | 266 |
| 1,5 a 1,74 | 0 | 81 | 2 | 27 | 2 | 1 | 0 | - | 113 |
| 1,75 a 2 | 0 | 62 | 0 | 28 | 0 | 4 | 0 | - | 94 |
| NA | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | - | 6 |
| Total | 0 | 485 | 12 | 4407 | 37 | 65 | 0 | - | 5006 |
| Casos autóctones | | | | | | | | | |
| 0 a 0,24 | 11 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 1 | - | 19 |
| 0,25 a 0,49 | 0 | 0 | 0 | 567 | 1 | 0 | 1 | - | 569 |
| 0,5 a 0,74 | 64 | 111 | 0 | 107 | 0 | 0 | 23 | - | 305 |
| 0,75 a 0,99 | 34 | 100 | 2 | 38 | 0 | 0 | 2 | - | 176 |
| 1 a 1,24 | 92 | 571 | 0 | 230 | 0 | 0 | 11 | - | 904 |
| 1,25 a 1,49 | 160 | 1398 | 0 | 53 | 2 | 0 | 14 | - | 1627 |
| 1,5 a 1,74 | 155 | 872 | 0 | 14 | 3 | 0 | 1 | - | 1045 |
| 1,75 a 2 | 11 | 1435 | 0 | 16 | 0 | 0 | 0 | - | 1462 |
| NA | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | - | 4 |
| Total | 527 | 4489 | 2 | 1027 | 13 | 0 | 53 | - | 6111 |

Fonte: Produção do autor.

Como descrito no Capítulo 4, as células F2 (majoritariamente fonte) foram as que apresentaram o maior número de casos exportados, 3.270 casos, o que corresponde a 76,03% dos casos exportados pelas células da RMM. Do outro lado, as células S2 (majoritariamente sumidouros) apresentaram o maior número de casos importados, 4.407 casos, ou seja, 88,03% dos casos importados pelas células da RMM. Sendo assim, a maioria do movimento de

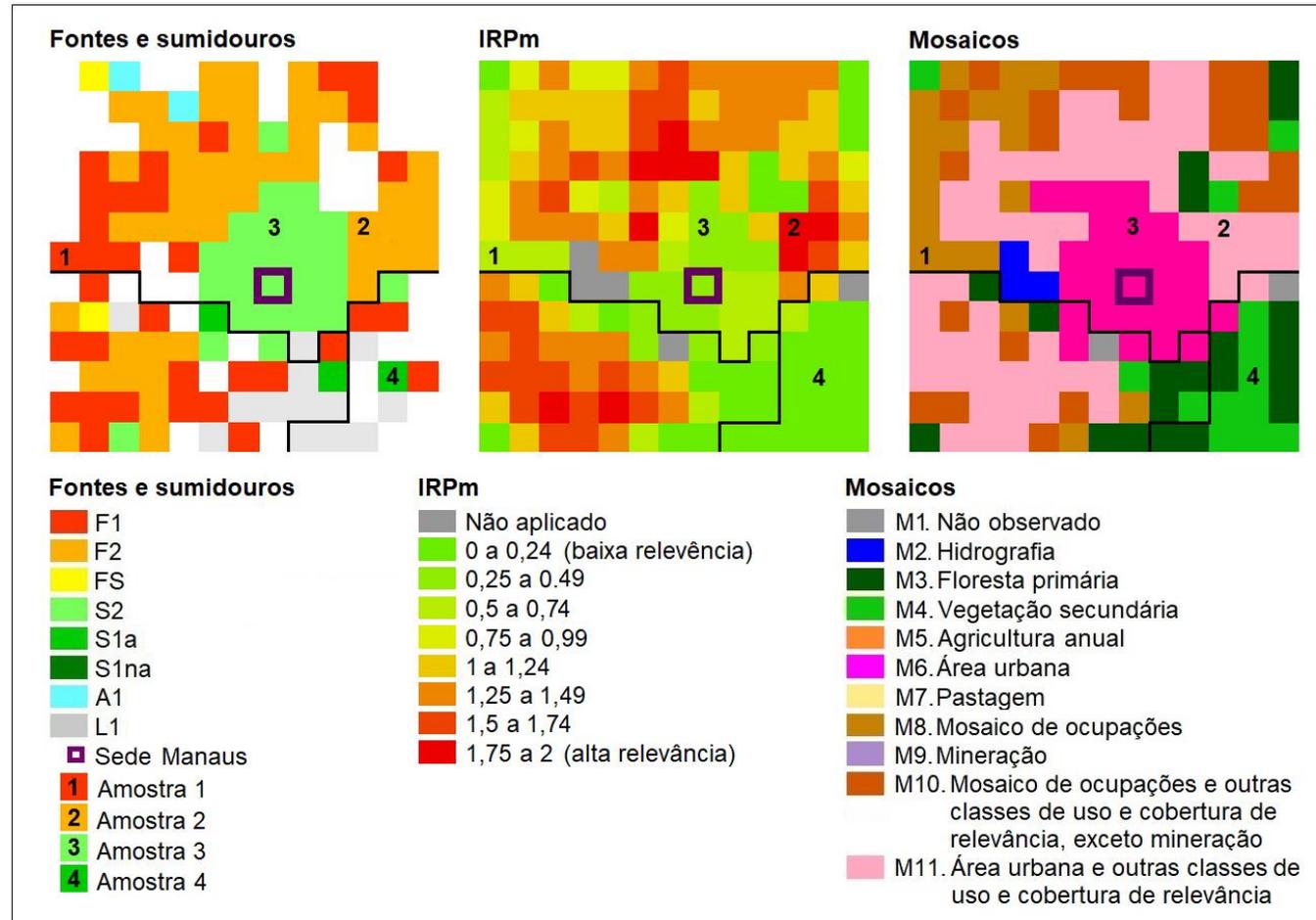
humanos infectados na RMM em 2015 ocorreu no sentido das células F2 para S2.

Das células F2, os mosaicos M11 (Área urbana e outras classes de uso e cobertura de relevância), definidos como de maior relevância para malária (GRm 9), foram os que apresentaram maior número de casos exportados, 2.263 casos (51,35% dos casos exportados pelas células da RMM). Das células S2, os mosaicos M6 (Área urbana) foram os que apresentaram maior número de casos importados, 3.692 casos (73,75% dos casos importados pelas células da RMM).

Quanto ao IRPm, considerando as células F2, a classe 1,25 a 1,49 foi a que apresentou o maior número de casos exportados, 1.063 casos (24,71% dos casos exportados pelas células da RMM), seguido da classe 1,75 a 2 com 996 casos exportados (23,15%). Das células S2, a classe 0,25 a 0,49 apresentou o maior número de casos importados, 2.927 casos (58,57% dos casos importados pelas células da RMM). Neste contexto, a maioria do movimento de humanos infectados na RMM em 2015 ocorreu no sentido dos mosaicos M11 (IRPm 1,25 a 1,49 e IRPm 1,75 a 2) de categorias F2, para mosaicos M6 (IRPm 0,25 a 0,49) de categorias S2.

Para exemplificar e melhor discutir os resultados obtidos neste capítulo, a Figura 6.1 apresenta um recorte do mapa de fontes e sumidouros de casos importados (Figura 4.8), mapa do IRPm (Figura 5.7) e do mapa dos mosaicos (Figura 5.4). O recorte abrange a sede de Manaus e entorno. Cada recorte apresenta 169 células (13x13), das quais quatro células (amostras) foram escolhidas para discussão dos resultados.

Figura 6.1: Recorte dos mapas fontes e sumidouros, IRPm e mosaicos.



Fonte: Produção do autor.

A amostra 1 apresenta categoria F1 (unicamente fonte), possui IRPm 0,5 a 0,74 e é um mosaico M8 (Mosaico de ocupações). A amostra 2 apresenta categoria F2 (majoritariamente fonte), possui IRPm 1,75 a 2 e é um mosaico M11 (Área urbana e outras classes de uso e cobertura de relevância). A amostra 3 apresenta categoria S2 (majoritariamente sumidouros), possui IRPm 0,25 a 0,49 e é um mosaico M6 (Área urbana). A amostra 4 apresenta categoria S1a (unicamente sumidouro com casos autóctones), possui IRPm 0 a 0,24 e é um mosaico M4 (Vegetação secundária).

As células de categoria F1 (amostra 1) são áreas para quais não se registrou casos importados, portanto são áreas onde não ocorreu a chegada de humanos infectados, o que simplifica o planejamento das intervenções de controle e/ou eliminação da malária. Intervenções de diagnóstico e tratamento orientadas a busca de indivíduos infectados é a mais indicada para casos como o da amostra 1 (BRASIL, 2008). Quando devidamente executadas, as ações de busca ativa interrompem a cadeia de transmissão local. As ações de busca ativa não são indicadas para áreas de alta densidade populacional, o que é pouco provável no caso de um mosaico M8 (Mosaicos de ocupações). Intervenções tais como, borrifação intradomiciliar e instalação de mosquiteiros impregnados podem complementar as ações de busca ativa (BRASIL, 2009).

As células de categoria F2 (amostra 2) são áreas para quais se registrou casos exportados e importados, sendo, o número de casos exportados maior que o de importados. Portanto, células F2 são áreas onde ocorreu tanto a partida de humanos infectados quanto a chegada, mas a partida ocorreu em maior quantidade. A chegada de humanos infectados, dependendo da quantidade, torna contra indicada intervenções de busca ativa. Além disto, por ser um mosaico M11 (Área urbana e outras classes de uso e cobertura de relevância), provavelmente a amostra 2 apresenta alta densidade populacional e, portanto, ações de busca ativa dificilmente alcançariam a cobertura necessária para surtir efetividade. Intervenções orientadas ao diagnóstico oportuno através da adequação da cobertura dos serviços de saúde são as mais indicadas (BRASIL, 2008). Nos núcleos urbanos, presentes em mosaicos M11, o controle

de criadouros através do manejo ambiental e do uso de biolarvicidas também é indicado. Em caso de surto epidemiológico, intervenções de termonebulização devem ser realizadas (BRASIL, 2009).

As células de categoria S2 (amostra 3) são áreas para quais se registrou casos exportados e importados, sendo, o número de casos importados maior que o de exportados. Portanto, células S2 são áreas onde ocorreu tanto a partida de humanos infectados quanto a chegada, mas a chegada ocorreu em maior quantidade. De modo semelhante às células F2, a chegada de humanos infectados, dependendo da quantidade, torna contra indicada intervenções de busca ativa. Além disto, por ser um mosaico M6 (Área urbana), certamente a amostra 3 apresenta alta densidade populacional e, portanto, ações de busca ativa dificilmente alcançariam a cobertura necessária para surtir efetividade. Intervenções orientadas ao diagnóstico oportuno através da adequação da cobertura dos serviços de saúde são as mais indicadas (BRASIL, 2008). O controle de criadouros através do manejo ambiental e do uso de biolarvicidas também é indicado. Em caso de surto epidemiológico, intervenções de termonebulização devem ser realizadas (BRASIL, 2009).

As células de categoria S1a (amostra 4) são áreas para quais não se registrou casos exportados, mas se registrou casos importados e infecções locais, portanto, são áreas de transmissão ativa onde ocorreu a chegada de humanos infectados. A princípio, a chegada de humanos infectados torna contra indicada intervenções de busca ativa. Mas, no caso da amostra 4, por ser um mosaico M4 (vegetação secundária), provavelmente de baixa ocupação/atividade humana, ações de busca ativa são indicadas por poderem facilmente alcançar a cobertura necessária para surtir efetividade (BRASIL, 2008). Intervenções tais como borrifação intradomiciliar e instalação de mosquiteiros impregnados podem complementar as ações de busca ativa (BRASIL, 2009).

Aqui foram descritos quatro exemplos de como a observação conjunta de informações referentes à (1) identificação de fontes e sumidouros de casos importados de malária, e à (2) caracterização da paisagem, contribuem para o planejamento das intervenções de controle e/ou eliminação da malária. Essas

informações orientam o planejamento de intervenções específicas à situação epidemiológica de cada área analisada.

Além disto as áreas de intervenção podem ser priorizadas através do IRPm. Sendo assim, no caso das amostras apresentadas, a amostra 2 (IRPm 1,75 a 2) deveria ser considerada como área prioritária para a execução das intervenções de controle e/ou eliminação da malária, seguida das amostras 1 (IRPm 0,5 a 0,74), amostra 3 (IRPm 0,25 a 0,49) e amostra 4 (IRPm 0 a 0,24).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mapa de fontes e sumidouros de casos importados de malária para a RMM em 2015, não fez distinção de Plasmódios. Mas a metodologia desenvolvida possibilita que tal distinção seja realizada. Segundo dados do SIVEP-malária, no que se refere ao ano de 2015, somente infecções por *Plasmodium vivax* e *falciparum* foram notificadas para a RMM, tanto por Local de provável infecção quanto por Local de residência, sendo que, mais de 99% das infecções notificadas foram por *P. vivax* (SIVEP-malária, 2016).

Ainda sobre o mapa de fontes e sumidouros, foi analisado o período de tempo de um ano (2015). Períodos de tempo menores ou maiores também podem ser analisados e mapeados. Normalmente as gerências de vigilância em malária realizam o monitoramento de casos de malária semanalmente, analisando um período de tempo equivalente a 30 dias. A unidade espacial de análise, que neste estudo foram células [4x4]km, também pode ter sua dimensão modificada, de modo a melhor adaptar-se as necessidades ou especificidades da região a ser monitorada. Quanto à caracterização dos mosaicos e mapeamento do IRPm, novas métricas podem ser desenvolvidas ou acrescentadas, sendo este, um campo a ser explorado.

A continuidade da disponibilização e da produção dos dados pelo SIVEP-malária e pelo Projeto TerraClass, abre perspectiva para a operacionalização e replicação da metodologia desenvolvida nesta Tese.

Esta Tese apresentou um estudo de caso aplicado a RMM. Mas a metodologia proposta (Capítulos 4 e 5) é passível de ser replicada a qualquer região da Amazônia Legal, utilizando as mesmas fontes de dados (SIVEP-malária e Projeto TerraClass), podendo ser facilmente adaptada a diferentes escalas de tempo e espaço.

7.1. Contribuições

As informações derivadas do setor saúde (SIVEP-malária), exploradas em conjunto com informações produzidas para fins de monitoramento ambiental

(Projeto TerraClass), apontaram novas possibilidades para pensar e planejar intervenções de controle e/ou eliminação da malária.

Neste contexto, esta Tese se coloca como uma contribuição metodológica ao planejamento das estratégias de controle e/ou eliminação da malária no Brasil. O estudo de caso, aplicado para uma região metropolitana complexa como a RMM, trabalhando exclusivamente com informações presentes no atual sistema de informação para a malária (SIVEP-malária) e no vigente sistema de monitoramento ambiental para a Amazônia Legal (Projeto TerraClass), demonstrou a viabilidade operacional das propostas metodológicas desenvolvidas, e a possibilidades de integração, das propostas, aos serviços de vigilância em malária.

A melhoria da vigilância de casos importados e do planejamento de intervenções são premissas importantes para o sucesso de uma estratégia de controle e/ou eliminação da malária. Com base nos novos elementos apresentados neste estudo, torna-se possível planejar intervenções de controle e/ou eliminação específicas a um definido espaço (célula) considerando (1) o movimento de humanos infectados e (2) à paisagem de relevância para a transmissão da malária. Com isto, espera-se que esta Tese possa vir a contribuir com o atual debate sobre o Plano (Nacional) de Eliminação da Malária (BRASIL, 2016), somando esforços para que a transmissão da doença seja eliminada no Brasil até 2030.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB`SABER, A .N. **Amazônia**: do discurso a práxis. São Paulo: Edusp, 2004.
- ACEVEDO, M.A. et al. Spatial heterogeneity, host movement and mosquito borne disease transmission. **PLoS ONE**, v.10, n.6, e0127552, 2015.
- ALMEIDA, C. A. et al. High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. **Acta Amazonica**, v.46, n.3, p.291-302, 2016.
- 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, n. 43, 2010.
- ANGELO, J.R.; KATSURAGAWA, T. H.; SABROZA, P.C.; CARVALHO, L. A. S.; SILVA, L. H. P.; NOBRE, C. A. The role of spatial mobility in malaria transmission in the Brazilian Amazon: the case of Porto Velho municipality, Rondonia, Brazil (2010- 2012). **PLoS ONE**, v.12, n.2, e0172330, 2017.
- ÁVILA S. L. M. In: FERREIRA, A. W. **Diagnóstico laboratorial das principais doenças infecciosas e auto-imunes**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996.
- BARATA, R. C. Malária no Brasil: malaria in Brazil: trends in the last ten years. **Cadernos de Saúde Pública**, v.11, n.1, p.128-136, 1995.
- BARBIERI, A. F. Uso do solo e prevalência de malária em uma região da Amazônia brasileira. **Caderno de Geografia**, n.24, p.9-30, 2005.
- BARBIERI, A.F.; MONTE-MÓR, R. L. M.; BILLSBORROW R. E. Towns in the jungle: exploring linkages between rural-urban mobility, urbanization and development in the Amazon. In: RAHMAN, A. A.; BARBIERI, A.; FOTSO, J. C.; ZHU, Y. (Eds). **Urban population-environment dynamics in the developing world: case studies and lessons learned**. Paris: Committee for International Cooperation in National Research in Demography, 2009.
- BECKER, B. **A urbe amazônica**: a floresta e a cidade. Rio de Janeiro: Garamond Universitária, 2013.
- BIGELL, W.; CHANG, C. The meanings of landscape: historical development, cultural frames, linguistic variation, and antonyms. **European Journal of Literature, Culture and Environment**, v.5, n.1, p.84-103, 2014.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Guia para gestão local do controle da malária**: controle vetorial. Brasília: MS, 2009.

- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Plano de eliminação de malária no Brasil: Fase 1 - Malária falciparum: versão preliminar.** Brasília: MS, 2016.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Boletim epidemiológico**, v.46, n.43, 2015.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Guia de vigilância epidemiológica.** Brasília: MS, 2010.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Guia para gestão local do controle da malária: diagnóstico e tratamento.** Brasília: MS, 2008.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Programa Nacional de Prevenção e Controle da Malária - PNCM.** Brasília: MS, 2003.
- 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, n. 15, 2006.
- BUREL, F.; BAUDRY, J. **Ecologia del paisaje: conceptos, métodos y aplicaciones.** Madrid: Mundi-Prensa, 2002.
- CARDOSO, A. C. D.; LIMA, J. J. F. Tipologias e padrões de ocupação urbana na Amazônia Oriental: para que e para quem? In: CARDOSO, A. C. D. (Org.). **O rural e o urbano na Amazônia: diferentes olhares e perspectivas.** Belém: EDUFPA, 2006.
- CARDOSO, A. C. D.; MELO, A. C. C.; GOMES, T. V. O urbano contemporâneo na fronteira de expansão do capital: padrões de transformações espaciais em seis cidades do Pará, Brasil. **Revista de Morfologia Urbana**, v.4, n.1, p.5-28, 2016.
- CASTRO, M. C.; MONTE-MÓR, R. L.; SAWYER, D. O.; SINGER, B. H. Malaria risk on the Amazon frontier. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v.103, n.7, p.2452-2457, 2006.
- CHARLWOOD, J. D.; ALECRIM, W. A. Capture-recapture studies with the South American malária vector *Anopheles darlingi*, Root. **Annals of Tropical Medicine and Parasitology**, v.86, n.6, p.569-576, 1989.
- CONSOLI, A. G. B. R.; OLIVEIRA, R. **Principais mosquitos de importância sanitária no Brasil.** Rio de Janeiro: Fiocruz, 1994.
- DAL'ASTA, A. P. **Representações do fenômeno urbano na amazônia contemporânea: observações no sudoeste paraense.** Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2016.
- DESPOMMIERS, D.; ELLIS, B.R.; WILCOX, B.A. The role of ecotones in emerging infectious diseases. **EcoHealth**, v.3, p.281-289, 2006.

FERREIRA M. S. In: VERONESI, R. FOCACCIA, R. **Tratado de Infectologia**. Rio de Janeiro: Atheneu, 2004.

FERREIRA, U. M.; CASTRO, M. Challenges for malaria elimination in Brazil. **Malaria Journal**, v.15, n.1, p.284, 2016.

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

FORATTINI, O. P. **Entomologia médica**. São Paulo: EDUSP, 1962.

FORMAN, R.T.T.; GODRON, M. **Landscape ecology**. New York: John Wiley, 1986.

FORMAN, T.T. **Land mosaics: the ecology of landscapes and regions**. New York: Cambridge University, 1995.

FURTADO, M. A. **Agendas globais, impactos locais: o complexo da hantavirose em um pólo sucroalcooleiro do Estado de São Paulo investigado pela análise funcional da paisagem**. Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2018.

GIL, L. H. S.; TADA, M. S.; KATSURAGAWA, T. H.; RIBOLLA, P. E. M.; SILVA, L. H. P. Urban and suburban malaria in Rondônia (Brazilian Western Amazon). **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v.102, n.3, p.271-276, 2007.

GIROD, R.; ROUX, E.; BERGER, F.; STEFANI, A.; GABORIT, P.; CARINCI, R.; ISSALY, J.; CARME, B.; DUSFOUR, I. Unravelling the relationships between *Anopheles darlingi* (Diptera: Culicidae) densities, environmental factors and malaria incidence: understanding the variable patterns of malarial transmission in French Guiana (South America). **Annals of Tropical Medicine and Parasitology**, v.105, p.107-122, 2011.

GUSTAFSON, E. J. Quantifying landscape spatial pattern: what is the state of the art? **Ecosystems**, v.1, p.143-156, 1998.

HACKETT, L. H. **Malaria in Europe, an ecological study**. Oxford University Press: London. 1937.

HAHN, M. B.; GANGNON, R. E.; BARCELLOS, C.; ASNER, G.P.; PATZ, J. A. Influence of deforestation, logging, and fire on malaria in the Brazilian Amazon. **PLoS ONE**, v.9, n.1, e0085725, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão**. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 10 abr. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Monitoramento da cobertura florestal da Amazônia por satélites: relatório técnico-científico**.

São José dos Campos: INPE, 2008. Disponível em:
<<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/04.28.13.43>>. Acesso em: 10
abr. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Projeto TerraClass**. Disponível em:
<http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/dados_terraclass.php>. Acesso em:
20 jun. 2017.

KATZ, I.; KOMATSU, R.; LOW-BEER, D.; ATUN, R. Scaling up towards international targets for AIDS, tuberculosis, and malaria: contribution of global fundsupported programs in 2011–2015. **PLoS ONE**, v.6, e17166, 2011.

KIENAST, F. Analysis of historic landscape patterns with a geographical information system: a methodological outline. **Landscape ecology**, v.8, n.2, p.103-118, 1993.

KOTLIAR, N. B.; WIENS, J. A. Multiple scales of patchiness and patch structure: a hierarchical framework for the study of heterogeneity. **Nordic Society Oikos**, v.59, n.2, p.253-260, 1990.

LAMBIN, E. F.; TRAN, A.; VANWAMBEKE, S. O.; LINARD, C. SOTI, V.; Pathogenic landscapes: interactions between land, people, disease vectors, and their animal hosts. **International Journal of Health Geographics**, v.9, n.54, 2010.

LINARD, C.; PONÇON, N.; FONTENILLE, D.; LAMBIN, E. F. A multi-agent simulation to assess the risk of malária re-emergence in southern France. **Ecological modelling**, v.220, p.160-174, 2009.

LOREAU M. et al. Unifying sources and sinks in ecology and Earth sciences. **Biological Reviews**, v.88, n.2, p.265-379, 2012.

LUZ, S.L.B.; OLIVEIRA, R. Forest culicinae mosquitoes in the environs of samuel hydroelectric plant, state of Rondônia, Brazil. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v.91, n.4, p.427-432,1996.

MARTENS, P.; HALL L. Malaria on the move: human population movement and malaria transmission. **Emerging Infectious Diseases**, v.6, n.2, p.103-109, 2000.

MARTINS, R. L. F. P. **Criadouros de Anopheles e a ocorrência da malária, na zona urbana de Porto Velho/RO**. Dissertação (Doutorado em Saúde Pública) - Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ), Rondônia, 2010.

MAZZER, A. M. **Aspectos da ecologia da paisagem da Ilha do Campeche (Florianópolis-SC): uma contribuição ao manejo insular**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2001.

MCGARIGAL, K. **FRAGSTATS help**. Amherst: University of Massachusetts-Departments of Environmental Conservation, 2015.

MCGARIGAL, K.; MARKS, B. J. **FRAGSTATS**: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Washington: U.S. Forest Service General, 1995.

MEYER W. B.; TURNER, B. L. **Changes in land use and land cover**: a global perspective. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

MONTE-MÓR, R. L. M. **Modernities in the Jungle**: extended Urbanization in the Brazilian Amazonia. Thesis (PhD in Urban Planning) - University of California, Los Angeles, 2004.

MONTE-MÓR, R.L.M. What is the urban in the contemporary world? **Cadernos de Saúde Pública**, v.21, n.3, p.942-948, 2005.

MORENO, J. E.; RUBIO-PALIS, Y.; PÁEZ, E.; PÉREZ, E.; SÁNCHEZ, V. Abundance, biting behaviour and parous rate of anopheline mosquito species in relation to malaria incidence in gold-mining areas of southern Venezuela. **Medical and Veterinary Entomology**, v.21, n.4, p.339-349, 2007.

NEWBY, G.; BENNETT, A.; LARSON, E.; COTTER, C.; SHRETTA, R.; PHILLIPS, A. A.; FEACHEM, R. G. A. The path to eradication: a progress report on the malaria-eliminating countries. **The Lancet**, v.387, p.1775-1784, 2016.

NORRIS, D. E. Mosquito-borne diseases as a consequence of land use change. **Ecohealth**, v.1, p.19-24, 2004..

OLIVEIRA-FERREIRA, J.; LACERDA, M. V. G.; BRASIL, P.; LADISLAU, J. L. B.; TAUIL, P. L.; DANIEL-RIBEIRO, C. T. Malaria in Brazil: an overview. **Malaria Journal**, v.9, n.115, 2010.

OLSON, S. H.; GANGNON, R.; SILVEIRA, G.A.; PATZ, J. A. Deforestation and malaria in Mâncio Lima County, Brazil. **Emerging Infectious Diseases**, v.16, n.7, p.1108-1115, 2010.

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. **Actualización epidemiológica**: aumento de malaria en las Américas. Washington, D.C: OPS/OMS, 2018

PINDOLIA, D. K. et al. Human movement data for malaria control and elimination strategic planning. **Malaria Journal**, v.11, n.205, 2012.

PROSPER, O.; RUKTANONCHAI, N.; MARTCHEVA, M. Assessing the role of spatial heterogeneity and human movement in malaria dynamics and control. **Journal of Theoretical Biology**, v.303, p.1-14, 2012.

PROTHERO, R. M. Disease and mobility: a neglected factor in epidemiology. **International Journal of Epidemiology**, v.6. n.3, p.259-267, 1977.

PULLIAM, H. R. Sources, sinks, and population regulation. **American Naturalist**, v.132, p.652-661, 1988.

RUKTANONCHAI, N. W.; SMITH, D.L.; LEENHEER, P. Parasite sources and sinks in a patched Ross-Macdonald malária model with human and mosquito movement: Implications for control. **Mathematical Biosciences**, v.279, p.90-101, 2016.

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

SILVA-NUNES, M. Impacto de alterações ambientais na transmissão da malária e perspectivas para o controle da doença em áreas de assentamento rural da amazônia brasileira. **Oecologia Australis**, v.14, p.603-622, 2010.

SIMÃO, F.B. **A endemia da malária em Porto Velho (RO) e suas condicionantes: Estudo baseado na análise das correspondências múltiplas**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2006.

SINKA, M. E. et al. The dominant Anopheles vectors of human malaria in the Americas: occurrence data, distribution maps and bionomic précis. **Parasit Vectors**, v.3, n.72, 2010.

SISTEMA DE INFORMAÇÃO DE VIGILÂNCIA EPIDEMIOLÓGICA PARA A MALÁRIA. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **SIVEP-malária**. Disponível em: <http://200.214.130.44/sivep_malaria>. Acesso em: 10 maio 2016.

SISTEMA DE INFORMAÇÃO DE VIGILÂNCIA EPIDEMIOLÓGICA PARA A MALÁRIA. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **SIVEP-malária**. Disponível em: <http://200.214.130.44/sivep_malaria>. Acesso em: 12 março 2018.

SOUZA, A. R. **Economia e natureza: padrões de uso e cobertura da terra associados a atividades agropecuárias e extrativistas de comunidades do sudoeste do Pará**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2016.

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

STEFANI, A. et al. Land cover, land use and malaria in the Amazon: a systematic literature review of studies using remotely sensed data. **Malaria Journal**, v.12, n.192, 2013.

STURROCK, H. J. W.; ROBERTS, K. W.; WEGBREIT, J.; OHRT, C.; GOSLING, R. D. Tackling imported malaria: an elimination endgame. **American Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, v.93, n.1, p.139-144, 2015.

TADEI, W. P.; SANTOS, J. M. M.; COSTA, W. L. S.; SCARPASSA, V. M. Biologia de anofelinos amazônicos. XII: ocorrência de espécies de Anopheles, dinâmica de transmissão e controle da malária na zona urbana de Ariquemes (Rondônia). **Revista do Instituto de Medicina Tropical**, v.3, n.30, p.221-251, 1988.

TATEM, A. J. et al. Integrating rapid risk mapping and mobile phone call record data for strategic malaria elimination planning. **Malaria Journal**, v.13, n.52, 2014.

TATEM, A. J.; SMITH, D. L. International population movements and regional Plasmodium falciparum malaria elimination strategies. **Proceedings of the National Academy of Sciences USA.**, v.107, n.27, p.12222-12227, 2010.

VITTOR, A. Y. et al. Linking deforestation to malária in the Amazon: characterization of the breeding habitat of the principal malaria vector, Anopheles darlingi. **American Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, v.81, p.5-12, 2009.

WESOLOWSKI, A. et al. Quantifying the impact of human mobility on Malaria. **Science**, v.338, n.267, p.267-270, 2012.

WIENS, J. A.; CRAWFORD, C. S.; GOSZ, J. R. Boundary dynamics: a conceptual framework for studying landscape ecosystems. **Oikos**, v.45, p.421-427, 1985.

WILSON, M. L. et al. Urban malaria: understanding its epidemiology, ecology, and transmission across seven diverse ICEMR network sites. **American Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, v.93, n.3, p.110-123, 2015.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **2016 World malaria report**. Geneva: WHO, 2017.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Eliminating malaria**. Geneva: WHO, 2016.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Malaria elimination: a field manual for low and moderate endemic countries**. Geneva: WHO, 2007.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Global technical strategy for malaria 2016-2030**. Geneva: WHO, 2015.

ZEILHOFER, P.; SANTOS, E. S.; RIBEIRO, A. L. M.; MIYAZAKI, R. D.; SANTOS, M. A. Habitat suitability mapping of Anopheles darlingi in the surroundings of the Manso hydropower plant reservoir, Mato Grosso. **International Journal of Health Geographics**, v.6, n.7, 2007.