

# ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE DE OCORRÊNCIA DE FEBRE AMARELA EM MINAS GERAIS

Daiane Vieira Vaz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
daiane.vaz@inpe.br

**Resumo.** O mapeamento da susceptibilidade de um ambiente à distribuição de doenças representa um exemplo de possibilidade de aplicação de técnicas de geoprocessamento na área da saúde. Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo analisar a susceptibilidade de ocorrência de Febre Amarela no estado de Minas Gerais, para a situação mais atual possível. Para alcançar este objeto é realizada a análise da distribuição de diferentes variáveis que tornam o ambiente mais ou menos susceptível à ocorrência da doença ao longo de todo o estado.

**Palavras-chave:** febre amarela, Minas Gerais, risco, SIG.

## 1. INTRODUÇÃO

A febre amarela (FA) é uma doença viral cujo principal sintoma é febre intensa e persistente e a transmissão é dependente de um vetor. A doença é conhecida de longa data e vem acompanhada de um histórico de alta taxa de mortalidade. Entre o século XVIII e início do século XX, ocorreram repetidas epidemias, afligindo a América do Sul, África, e chegando a regiões da América do Norte, Caribe e Europa (BRASIL, 2017 b). A taxa de mortalidade da doença chegou a 10% no Sudão em 1940, por exemplo, quando ocorreram mais de 15.000 casos da infecção; e a 30% no início da década de 60 na Etiópia. (BRASIL, 2004).

Na última década as ocorrências de casos de febre amarela se intensificaram no Brasil. Dentre as regiões com ocorrências da doença, recentemente o estado de Minas Gerais tem se destacado pelo aumento significativo de casos confirmados. De acordo com dados disponibilizados pela Secretaria de Saúde de Minas Gerais (2018), referentes ao período de julho de 2016 a junho de 2017, foram confirmados 475 casos no estado.

A doença, adepta a climas tropicais, apresenta dois ciclos epidemiológicos, um urbano, cuja transmissão é feita predominantemente pelo mosquito *Aedes Aegypt*, e outra silvestre. Os casos registrados no Brasil, nas últimas décadas, são atribuídos a forma silvestre da doença, quando os vetores são os mosquitos do tipo *Haemagogus* e *Sabethes*, e a área de contaminação são áreas rurais próximas de matas. A mais de 50 anos não se tem registros da doença em áreas urbanas, porém o crescente aumento de casos em áreas rurais pode levar a transição do ciclo de silvestre para urbano.

A ideia da possível ocorrência de surtos urbanos é muito preocupante, pelo fato da doença não possuir um tratamento de cura, e conseqüentemente atingir altas taxas de mortalidade. Em Minas Gerais, entre 2016 e 2017 (período referido anteriormente), 34% dos casos confirmados evoluíram para óbitos (SES-MG, 2018). Como forma de controle são feitas campanhas de combate ao mosquito *Aedes Aegypt*, mas a principal forma de combater a doença é a vacinação da população.

A vacina contra febre amarela é bastante eficaz, de acordo com Brasil (2017 b), sua imunogenicidade fica entre 90% e 98%. Apesar disto, o autor destaca que a vacina deve ser administrada com cautela para alguns grupos de pessoas, como portadores de HIV, doenças autoimunes ou hematológicas, pessoas gestantes, lactantes, acima de 60 anos, ou em tratamento com imunossuppressores (BRASIL, 2017 b), alérgicas a ovo ou crianças menores de seis meses (COSTA, BENTES & TEIXEIRA, 2017). Isto se deve ao fato da composição da vacina levar o vírus vivo, apenas enfraquecido, podendo causar algumas reações adversas, inclusive a própria contração da doença. Por este motivo, a vacinação é recomendada apenas para áreas de maior risco.

Neste contexto, se destaca a importância de se definir as áreas mais suscetíveis à doença e com maior risco de disseminação da mesma. Assim, são válidos quaisquer esforços para caracterizar a doença, sua evolução, distribuição espacial e risco, informações que dão suporte a escolha de estratégias adequadas a seu controle. Visto isso, este trabalho visa analisar, por meio do uso de técnicas de Geoprocessamento, a susceptibilidade de ocorrência de Febre Amarela no estado de Minas Gerais, para a situação mais atual possível.

A metodologia proposta baseia-se na análise de diferentes variáveis que tornam o ambiente mais ou menos susceptível à ocorrência da doença. Dentre as variáveis mais

importantes, se encontra a ocorrência de óbitos causados pela doença em humanos ou primatas não humanos (hospedeiros da doença) e a taxa de vacinação da doença por município. Em relação às condições ambientais favoráveis à presença de vetores silvestres da doença e de hospedeiros não humanos, será analisado a presença de ambientes florestais fragmentados, unidades de conservação e matas ciliares dos municípios, além da análise de dados de precipitação e temperatura. É importante ressaltar que, cada uma destas variáveis pode favorecer, acelerando ou atrasando (efeito protetivo), o potencial de transmissão da doença, em proporções maiores ou menores. Assim, diferentes pesos serão atribuídos para cada variável. Por fim, será gerado o mapa de susceptibilidade de ocorrência de Febre Amarela no estado de Minas Gerais, com base em dados nos dados de óbitos causados pela doença entre julho de 2017 e junho de 2018.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Febre Amarela**

No Brasil, o primeiro registro da doença data de 1685, em Recife com um ciclo urbano, e desde então ocorreram repetidos surtos similares em todo o território nacional (BRASIL, 2017b), responsáveis por números altos de mortes. Porém, após estudos definirem a associação entre a doença e o *Aedes Aegypti*, em 1891 (BRASIL, 2004), as campanhas contra o mosquito, nos primeiros anos do século XX, controlaram a forma urbana da doença no país de modo que o último caso ocorreu em 1942 (BRASIL, 2017b).

Em 1920 iniciou-se o quadro de febre amarela silvestre, cuja ocorrência era predominante na região amazônica (BRASIL, 2004). Desde meados do século XX, o governo vem desenvolvendo medidas de controle e monitoramento da FA. Apesar disto, entre 2000 e 2003 houve uma mudança de cenário quanto à distribuição da doença com a ocorrência de surtos nas regiões sul e sudeste do país. Estas áreas passaram a ser afetadas e tem aumentado o número de casos com surtos acentuados entre 2008 e 2009, e mais recentemente com um pico de casos em 2017.

O estado de Minas Gerais está entre as áreas mais afetadas nos anos recentes. Desde 2008, todo o estado foi incluído como área de recomendação de vacinação contra

febre amarela (SES - MG, 2018). A vacinação segue esse padrão de prioridade para regiões mais próximas das áreas afetadas (onde há comprovação de circulação do vírus), definidas de acordo com o histórico da doença.

A vacina existe desde a década de 30 (BRASIL, 2017 b), e vem auxiliando no controle da febre amarela. Inicialmente era recomendado um reforço da dose inicial da vacina, porém desde abril de 2017, o Brasil passou a adotar uma dose única como recomenda a Organização Mundial da Saúde (BRASIL, 2017 a). Outra observação é que com os surtos da última década o governo se deparou com a necessidade de um número elevado de doses da vacina, e passou a adotar a vacina fracionada. Esta corresponda a 1/5 da dose integral, porém deve oferecer a mesma proteção contra o vírus, comprovadamente efetiva nos primeiros 8 anos (MS, 2018).

A vacinação é o meio mais efetivo de controle da doença, o qual é dificultado por algumas características da mesma. Cerca de 50% dos casos podem ser assintomáticos, ao contrário, a pessoa infectada pode ter o início dos sintomas até 15 dias após a infecção, porém transmite o vírus até dois dias antes desta data (BRASIL, 2017 b) e durante os outros cinco dias, em média, que a doença continua a agir (COSTA, BENTES & TEIXEIRA, 2017). Dentre os casos sintomáticos, até 60% podem ser graves e destas até 50% podem ser letais (BRASIL, 2017 b).

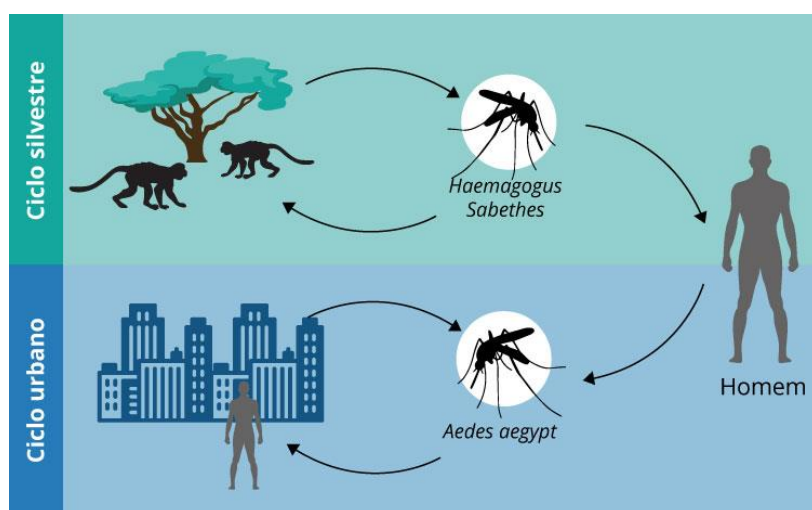
Além da grande mortalidade em humanos, a febre amarela também aflige os macacos, primatas não humanos (PNH) hospedeiros da doença. De acordo com RENCTAS (2010), este vírus é uma das maiores ameaças deste grupo de primatas e atinge tanto animais livres como em cativeiro. O autor ainda destaca que entre 2008 e 2009, as regiões sul e sudeste do país apresentaram a maior epizootia (morte de PNH) por febre amarela no mundo. Este é outro motivo pelo qual a necessidade de iniciativas de monitoramento e controle da doença é extremamente necessária, fazendo-se indispensável à busca por informações que possam favorecer a tomada de decisão baseada na compreensão do fenômeno e sua dinâmica.

## 2.2 Transmissão da doença

A febre amarela possui um ciclo de transmissão que envolve: hospedeiros e vetores do vírus. A compreensão deste ciclo é essencial para definição de fatores que influenciam na ocorrência da doença e de estratégias de análise.

O vírus da FA apresenta a dependência de um vetor transmissor. Assim, os surtos da doença estão relacionados à existência de condições favoráveis para a proliferação dos vetores transmissores e o contato destes com o vírus. No Brasil, os mosquitos *Haemagogus* (*H. janthinomys* e *H. albomaculatus*) e *Sabethes* (*S. chloropterus*) são vetores silvestres, e o *Aedes Aegypt* é considerado o vetor urbano. Das condições que favorecem o aumento dos vetores, pode-se citar: temperaturas elevadas, pluviosidade e alta densidade de vetores. A pluviosidade fornece ao mosquito as condições necessárias a sua proliferação, feita em reservatórios de água parada e explica a sazonalidade da doença; que de acordo com Brasil (2017 b), se dá entre os meses de dezembro e maio.

Os hospedeiros, como macacos e o homem, também tem papel fundamental no ciclo da doença. Vetores são contaminados com o vírus ao picar um hospedeiro infectado, e passam a transmitir a doença à medida que picam outros hospedeiros (Figura 1). O contato entre o homem e o mosquito silvestre, geralmente se dá quando o são desenvolvidas atividades próximas (cultivos agrícolas) ou dentro das matas, turismo por exemplo.



**Figura 1** – Ciclo de Transmissão da Febre Amarela.

**Fonte** – MS (2018).

Dentre os PNH transmissores da doença estão macacos, guariba (*Allouata*), prego (*Cebus*) e aranha (*Atelles*), e os Saguís (*Callithrix*). A existência destes animais depende das áreas de mata que comportem esse tipo de população, sendo mais comuns em unidades de conservação e regiões de matas próximas a cursos hídricos. A morte destes animais é usada como sinal de alerta para a doença.

O equilíbrio do ecossistema onde vivem estes animais também é um fator importante. A população de macacos suscetíveis à doença é o principal responsável por manter o vírus vivo (BRASIL, 2017 b), e o aumento da mesma influenciará na disseminação do vírus. Desequilíbrios ambientais destes habitats também tem a capacidade de interferir na proliferação dos mosquitos, também contribuindo na dinâmica influenciadora da doença.

### **2.3 Geoprocessamento em estudos epidemiológicos**

O Geoprocessamento pode ser visto como um conjunto de métodos, técnicas e metodologias usadas na obtenção de representações do espaço e seus fenômenos. Em 1854, se tem o primeiro registro deste tipo de técnicas no auxílio a compreensão de epidemias, quando John Snow associou a cólera á poços d'água contaminados em Londres. Desde então ficou evidente o potencial destes tipos de análises espaciais no auxílio a área médica.

Com a introdução das ferramentas computacionais, se tornaram possíveis estudos de maiores dimensões espaciais e temporais e que considerassem uma gama maior de variáveis. A evolução constante dos computadores quanto à velocidade e capacidade de armazenamento, em quantidade e na representação de uma maior variedade de dados, teve papel fundamental diversificação das aplicações.

Em especial, os SIGs (Sistemas de Informação Geográfica) capazes de armazenar, processar, e permitir a visualização de dados, são muito empregados na obtenção de informações que dão suporte ao planejamento e tomada de decisão de entidades governamentais. Junto a estas ferramentas também estão associadas análises estatísticas que auxiliam a descrever a distribuição espacial e o comportamento de fenômenos, e a fazer previsões para diferentes cenários.

Essas tecnologias computacionais auxiliam a interpretação da relação existente entre as diversas variáveis que influenciam a dinâmica de um ambiente. Desta forma, podem ser empregadas a vários tipos de análises, na área médica. Por exemplo, podem auxiliar na identificação de áreas contaminadas por agentes químicos, da distribuição de doenças, na susceptibilidade de populações a algum tipo de vírus ou bactéria, no controle das zoonoses, dentre tantas outras aplicações.

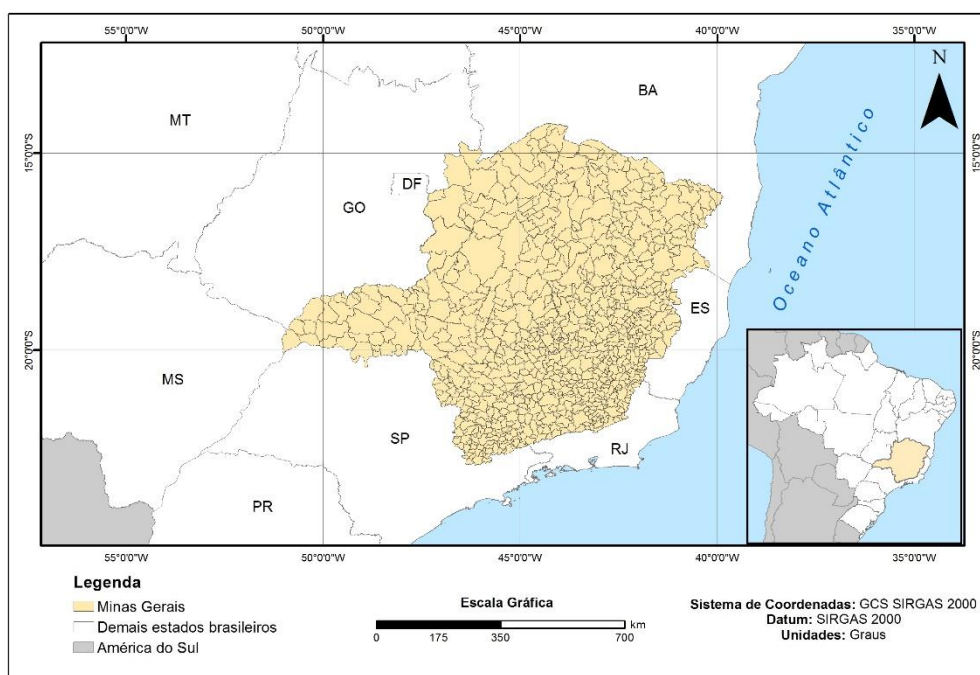
Contudo, neste trabalho o geoprocessamento será usado em virtude de relacionar diversas variáveis ambientais que possivelmente contribuem para o estabelecimento da febre amarela em Minas Gerais. Com bases nestas variáveis trabalhou-se na tentativa de identificar graus de susceptibilidade da doença por municípios. Dentre as técnicas de geoprocessamento aplicadas neste trabalho destaca-se a AHP (Processo Analítico Hierárquico), usada na atribuição de pesos para geração de uma expressão final relacionando o conjunto de dados utilizados.

A técnica AHP foi desenvolvida por Saaty (1978) e baseia-se numa matriz quadrada na qual os diferentes fatores que influenciam a tomada de decisão são comparados dois a dois, e um critério de importância relativa é atribuído ao relacionamento entre estes fatores, conforme uma escala pré-definida. Devido a sua importância o método vem sendo implantado em softwares de sistemas de informações geográficas como o QGIS.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Área de estudo**

Minas Gerais é o segundo maior estado do país e com uma população de quase 22 milhões de pessoas, de acordo com o IBGE (2017), e se localiza na porção sudeste (Figura 2). O estado foi escolhido como área de estudo por ter apresentado o maior número de óbitos de febre amarela silvestre no ano de 2017, apesar de não se encontrar nas áreas comumente afetadas pela doença.



**Figura 2 - Mapa de localização.**

### 3.2 Material

A metodologia proposta se baseia na análise integrada de uma série de variáveis que podem indicar a susceptibilidade do estado à disseminação da febre amarela. Para tanto, foram usados dados da porcentagem de população vacinada por município, provenientes de uma planilha disponibilizada pelo Ministério da Saúde; casos de febre amarela confirmados em humanos e em PNH informados no boletim epidemiológico mais atual da Secretária da Saúde de Minas Gerais; dados de precipitação e temperatura são provenientes das estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET; e, dados de uso e cobertura da terra, disponibilizados pelo MAPBIOMAS, referente à 2016, Unidades de Conservação são do Instituto Nacional de Florestas (INF) e dados viários do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT). Uma breve descrição dos dados utilizados é apresentada na Tabela 1.

Para visualização, processamento e análise do conjunto de dados foram utilizadas técnicas de geoprocessamento a partir de ambiente SIG, utilizando-se o software QGIS. Neste ambiente, os dados de entrada foram usados para criar mapas de classes contendo o grau de risco a ocorrência de febre amarela, os quais foram utilizados para obtenção do



mapa de susceptibilidade a febre amarela. O software Excel também foi utilizado para a manipulação das tabelas.

**Tabela 1** – Fontes dos dados utilizados.

<b>Dados</b>	<b>Fonte</b>	<b>Descrição</b>	<b>Formato</b>
Municípios	IBGE	Base vetorial representando os municípios de MG	Geobjeto (polígono)
Ocorrências de FA	SES-MG	Boletim epidemiológico de FA (2018)	Planilha
Vacinação	MS-MG	Planilha de cobertura vacinal (atualização 15/03/2018)	Planilha
Rodovias Federais	DNIT	Base vetorial de malha viária de 2015	Geobjeto (linha)
Precipitação	INMET	Dados de estações meteorológicas, outubro a março de 2018	Geobjeto (Ponto)
Temperatura	INMET	Dados das estações meteorológicas, outubro a março de 2018	Geobjeto (Ponto)
Unidades de Conservação	IEF	Base vetorial das unidades de conservação	Geobjeto (polígono)
Uso e Cobertura da Terra	MAPBIOMAS (2016, versão 2.0)	Base vetorial para bioma Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica	Geobjeto (polígono)

### 3.3 Métodos

A metodologia empregada buscou associar fatores necessários à proliferação dos vetores, a presença de PNH (hospedeiros do vírus), a susceptibilidade da população humana a doença e a presença confirmada do vírus na área do município ou arredores. Para se estabelecer este método foi considerada a metodologia proposta por Moreno (2011), a qual é direcionada a identificação de áreas de prioridade para a vacinação contra febre amarela, de forma que a mesma foi adaptada para os propósitos e a área de estudo deste trabalho. Os dados considerados na análise foram utilizados para obtenção de mapas intermediários, que por sua vez serviram de base para geração do produto final, o mapa de susceptibilidade dos municípios de Minas Gerais a FA.

A confirmação de incidência de casos em humanos ou em PNH é um quesito que estabelece estado de alerta para os órgãos da saúde do município. Esta confirmação se traduz em um risco eminente do estabelecimento da doença como surto, e é feita por meio de exames laboratoriais. Desta forma, a comprovação da ocorrência da doença marca o início de um protocolo de execução de medidas de combate, como as campanhas de vacinação casa a casa nas zonas rurais. Portanto, os dados que descrevem a existência de casos confirmados são de grande importância neste estudo avaliando.

Neste contexto, para o primeiro produto intermediário, foram usados dados contendo o número de casos confirmados de febre amarela em humanos e a quantidade de meses onde se comprovou a existência de morte de PNH, provocadas pela doença. Estes dados foram extraídos do Boletim epidemiológico de 05/06/2018, disponibilizado pela Secretaria de Estado da Saúde de Minas Gerais e são referentes ao período entre julho de 2017 e junho de 2018.

Esta fase do estudo contou com várias etapas, em virtude de definir classes de maior e menor risco da FA. A partir dos dados, os municípios foram classificados como municípios com e sem comprovação de circulação do vírus de febre amarela, usando-se da lógica booleana. Estes serviram de base para outra análise, quanto à distância dos municípios adjacentes a aqueles com circulação do vírus da doença.

Nesta etapa foram criados centroides para cada município com comprovação da FA, a partir dos quais foram gerados *buffers* de 30 km e de 100 km. Todos os municípios que intersectaram o *buffer* de 30km foram atribuídos a um classe de “Alto Risco”, os demais, que intersectassem ou estivessem contidos no *buffer* de 100 km receberam a atribuição de “Médio Risco”. A classe contendo os municípios com comprovação foi associado a classe “Risco Muito Alto” e os municípios que não entraram nestas classes associados a “Baixo Risco”.

Neste trabalho, os pesos atribuídos aos produtos intermediários foram padronizados em uma escala de 0 a 1 representando respectivamente o menor e maior risco de ocorrência de febre amarela. Neste produto especificamente, às classes de alto, médio e baixo risco foram atribuídos os pesos proporcionais aos de Moreno (2011), porém escalonados para o intervalo padrão (0 a 1) definido, sendo 1 correspondente a

municípios com comprovação da doença (Tabela 2). A definição dos limites de 30 e 100 km também são recomendações da metodologia proposta pelo autor.

**Tabela 2** – Classes consideradas para a classificação do uso e cobertura da terra.

<b>Risco</b>	<b>Distância para município de circulação comprovada do vírus</b>	<b>Peso(0 a 1)</b>
Muito Alto	Municípios com circulação comprovada	1
Alto	< 30 km	0.8
Médio	30 a 100 km	0.5
Baixo	> 100 km	0.2

Para avaliar a susceptibilidade da população humana do município a contrair a doença foram utilizados os dados de vacinação, neste caso, especificamente a porcentagem de população vacinada contra febre amarela no município, disponibilizados pelo Ministério da Saúde. Foi utilizada a última atualização disponível para estes dados, com data de 15 de maio de 2018.

A Secretaria de Saúde de Minas Gerais tem como meta a vacinação de mais de 95% da população e geralmente trabalha dividindo a porcentagem de população imunizada em três categorias: menor que 80%, entre 80 e 94,99% e > 95%, para avaliar a necessidade de campanhas intensivas de vacinação. Estes foram os intervalos de classes usados para analisar a vacinação neste trabalho, com a adição uma classe extra com valores menores que 60%, na busca por discriminar municípios com taxas de vacinação extremamente baixas.

Dentre todas as variáveis analisadas neste trabalho a taxa de vacinados por município é a única que interfere inibindo a propagação da doença. Assim, os pesos foram atribuídos de forma que quanto maior a taxa de vacinação menor o valor atribuído como peso, fixados em 0.2 (> 95%), 0.5 (80 a 94,99%), 0.8 (80 a 60%) e 0.9 (< 60%). Gerando um mapa do risco a ocorrência de febre amarela no município em relação à susceptibilidade de humanos a contraírem a doença.

Outra análise realizada foi quanto à presença de rodovias federais a disposição do município, a qual representa uma maior chance de um fluxo alto de pessoas na região. Se

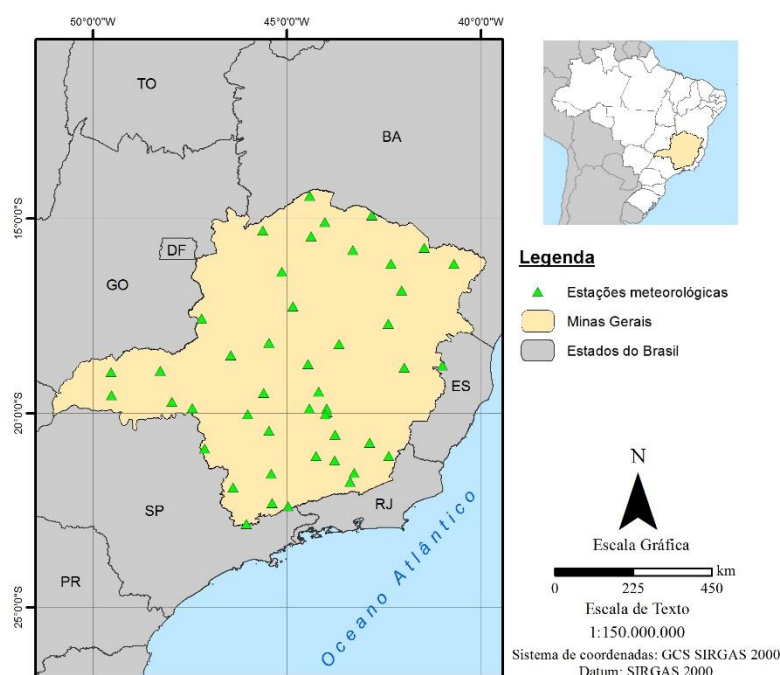
tratando de epidemias, quanto maior o fluxo de pessoas em áreas contaminadas geralmente maior será a chance de que a doença se espalhe para outras regiões.

Para a geração deste produto foram realizadas as mesmas etapas descritas anteriormente, as quais foram: obtenção dos centroides, criação dos *buffers* de distância e geração das interseções. Os municípios foram classificados em quatro categorias de acordo com a distância destes as rodovias federais. Aqueles que são cortados pela rodovia representaram alto risco e tiveram peso 0.8; os que estão a até 30 km destas vias receberam médio risco com peso de 0.5; e os que estão em áreas mais afastadas que 30 km tiveram peso de 0.2. Estas classes foram adaptadas da metodologia de Moreno (2011), o qual recomenda divide as classes em: distâncias inferiores a 30 km, de 30 a 100 km, e superiores a 100 km. Esta metodologia foi utilizada uma vez que o estado de Minas Gerais possui grande quantidade de rodovias federais e as classes recomendadas pelo autor agrupariam basicamente todas as regiões do estado em uma só classe.

Quanto à proliferação dos vetores foram usados dados de precipitação e de temperatura para cada estação meteorológica de Minas Gerais, no período entre outubro de 2017 e março de 2018. A metodologia de Moreno (2011) sugere um intervalo de novembro a maio, porém foram usados os dados de outubro a março, pois neste ano a distribuição das chuvas para o estado de MG se concentrou neste período.

Geraram-se os dados de precipitação acumulada mensal e temperatura média mensal para cada estação meteorológica a partir de valores de temperatura máxima e mínima. Observa-se que algumas estações apresentavam dados faltosos dentro do intervalo de tempo utilizado, e por este motivo foram descartadas, sendo assim considerados dados de 46 estações. Estas estações são ilustradas na Figura 3.

Na busca por valores ao longo de todo o território do estado, de forma contínua, foi aplicado o interpolador IDW (*Inverse Distance Weighted* – Inverso do quadrado da distância) nos dados para cada estação, referentes ao intervalo de tempo definido. Posteriormente, foi calculada a temperatura e precipitação média para cada município, considerando seus limites. Assim foram obtidos valores únicos para representar a precipitação e temperatura do município. Estes valores foram usados para classificar os municípios entre alto, médio e baixo risco quanto a esse aspecto ambiental, para possibilitar a definição de pesos.



**Figura 3** – Estações meteorológicas.

Neste caso, as classes usadas seguiram os mesmos intervalos definidos por Moreno (2011) para estas variáveis. Para cada classe foi atribuído um peso, como mostra a Tabela 3. Os dois mapas (Precipitação e Temperatura), foram convergidos em um dado único que representa a questão climática associada a FA. Observa-se que esses pesos atribuídos se distribuíram de 0 a 0.5, pois foram combinados em uma soma resultando em valores dentro da escala padrão do trabalho de 0 a 1.

**Tabela 3** – Classes consideradas para a atribuição de pesos quanto a aspectos ambientais que influenciam na proliferação de vetores.

Risco	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)	Pesos
Alto	> 150	> 26	0,5
Médio	51-150	23,1-26	0,3
Baixo	< 50	< 23	0,1

Na tentativa de representar questões relacionadas à presença de populações de PNH dentro e próximo aos municípios, foram feitas análises com base na condição da presença de vegetação. Nestas análises consideraram-se dados de Unidades de

Conservação, provenientes do Instituto Nacional de Florestas (atualizados em 23 de março de 2018) e dados de uso e cobertura da terra do MAPBIOMAS de 2016, versão 2.0. Estes últimos dados foram obtidos para os três biomas que nos quais o estado de Minas Gerais está contido (Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica). Em seguida, foi gerado um mosaico dos dados respeitando o limite do estado. Nesta etapa foram consideradas apenas feições de cobertura da terra referentes à formações florestais.

Em relação aos dados de unidades de conservação, a classificação foi realizada considerando a metodologia de Moreno (2011), adaptada a mais classes para melhor se adequar aos dados. As classes atribuídas e pesos são, respectivamente, distâncias inferiores a 30 km (0.1), de 30 a 60 km (0.3), de 60 a 100 km (0.5) e acima de 100 km (0.8). As distâncias usadas na classificação foram determinadas com o uso de *buffers* baseados no centroide das unidades de conservação e da seleção dos municípios que intersectaram essas feições.

Já os dados de uso e cobertura foram usados para identificar as áreas de floresta presentes dentro dos limites do estado. Para as análises foram gerados índices com a porcentagem do município recoberta por florestas. Para tanto, foi feita uma interseção entre os municípios e as áreas de floresta. No mais, dados de identificação dos municípios foram atribuídos aos fragmentos de floresta dentro de cada limite municipal, por meio de um “*spatial join*”. Com os fragmentos de florestas divididos e identificados para cada município, foram calculadas as áreas totais de cada município e áreas totais de fragmentos de florestas contido em cada município. A partir destes dados foi calculado a porcentagem de área florestal.

Na busca por representar as diferentes relações entre as variáveis envolvidas neste trabalho e incorporar todas estas análises em um único produto final foram novamente utilizados pesos. A definição destes pesos foi feita usando-se o método de suporte à decisão AHP, conforme a Tabela 4. Este procedimento foi realizado a partir do software QGIS (versão 2.18), utilizando a extensão EasyAHP. Os critérios atribuídos para o método AHP são apresentados na Tabela 5. A partir destes critérios foram obtidos pesos para cada uma das variáveis, bem como a razão de consistência da análise AHP, a qual deve ser inferior a 0,10.

**Tabela 4** – Escala de valores para a AHP na comparação pareada.

<b>Intensidade de importância</b>	<b>Definição e explicação</b>
<b>1</b>	<b>Importância igual</b> – os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo.
<b>3</b>	<b>Importância moderada</b> – um fator é ligeiramente mais importante que o outro.
<b>5</b>	<b>Importância essencial</b> – um fator é claramente mais importante que o outro.
<b>7</b>	<b>Importância demonstrada</b> – um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática.
<b>9</b>	<b>Importância extrema</b> – a evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível.
<b>2, 4, 6, 8</b>	<b>Valores intermediários entre julgamentos</b> – possibilidade de compromissos adicionais.

**Fonte-** Saaty (1980).

**Tabela 5** – Pesos atribuídos as classes na AHP.

	<b>Clima</b>	<b>Febre Amarela</b>	<b>Vacina</b>	<b>Distância U.C.</b>	<b>Proporção de Floresta</b>
Clima	1				
Febre Amarela	5	1			
Vacina	5	1	1		
Distância Rodovia	2	1	1		
Distância U.C.	3	2	2	1	
Proporção de Floresta	3	2	2	1	1

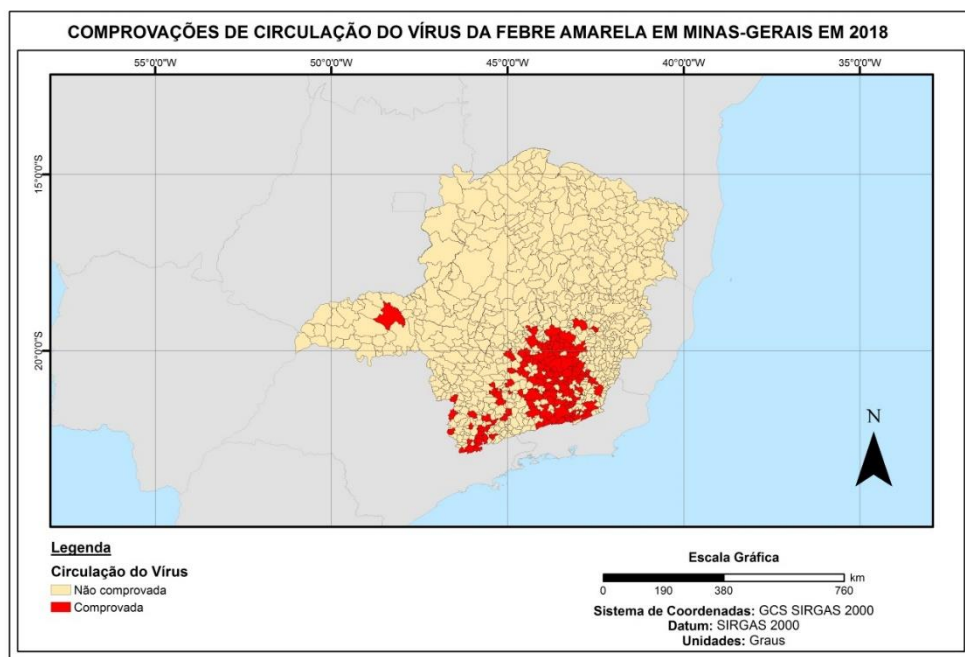
Em seguida, foi gerado o mapa de susceptibilidade a febre amarela para o estado de Minas Gerais, por meio de uma soma ponderada das classes de risco referentes à

combinação entre precipitação e temperatura, vacinação, ocorrência de casos da doença, uso e cobertura da terra, unidades de conservação e presença de rodovias, considerando os pesos definidos a partir da análise AHP. Por fim, foi realizado o fatiamento deste mapa, considerando as classes apresentadas na Tabela 5.

#### 4. ANÁLISE E RESULTADOS

Por meio da aplicação de técnicas de geoprocessamento e de inferência geográfica para análise dos diversos dados relacionados à criação de condições necessárias ao desenvolvimento de vetores e hospedeiro da febre amarela, bem como de disseminação da doença, obtiveram-se vários mapas com dados intermediários cujo agrupamento levou ao mapa de susceptibilidade objetivo deste trabalho.

O primeiro resultado obtido foi à identificação de municípios que apresentaram comprovação da circulação do vírus de febre amarela no estado (Figura 4). Esta classificação permite observar as áreas já afetadas pelo vírus em Minas Gerais. Para esta diferenciação foram considerados todos os casos confirmados pela SES - MG da doença em relação à PNH ou a pessoas, durante o período de estudo.



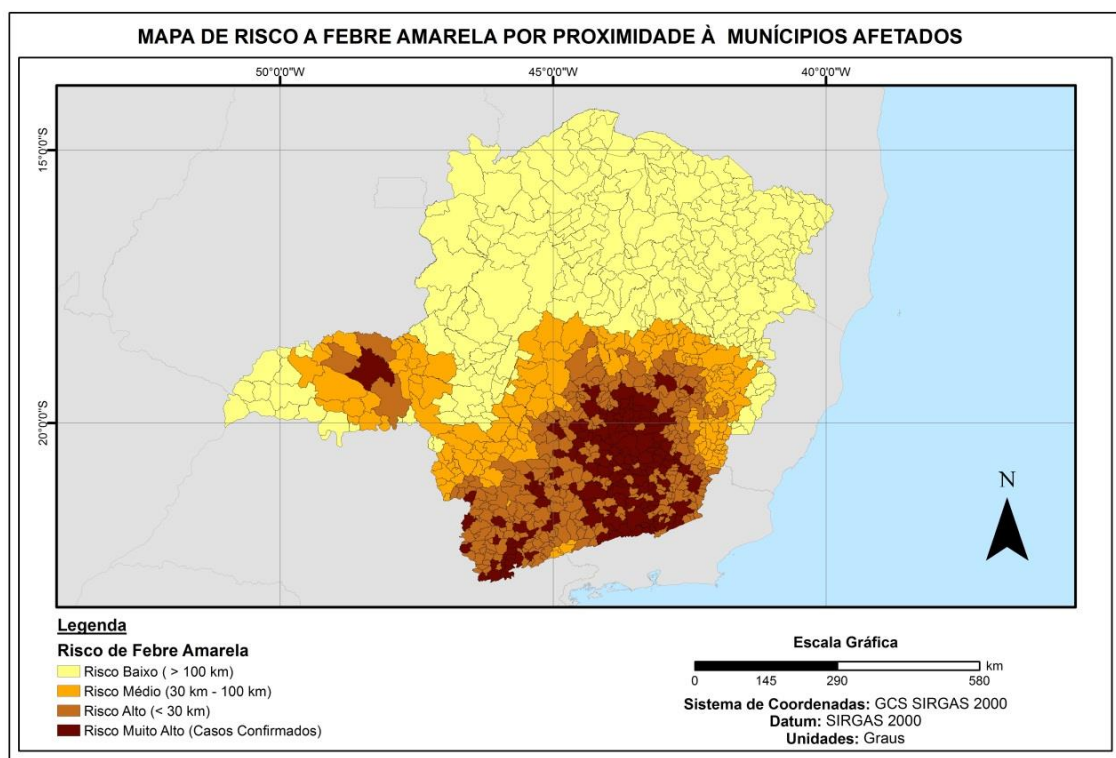
**Figura 4** - Áreas com comprovação da circulação do vírus de FA em MG.



Este resultado já mostra uma concentração dos casos de FA na Zona da Mata, Sul de Minas e Central. Houve também a ocorrência de um caso isolado de manifestação do vírus, no município de Uberlândia, no Triângulo Mineiro, referente à morte de primatas.

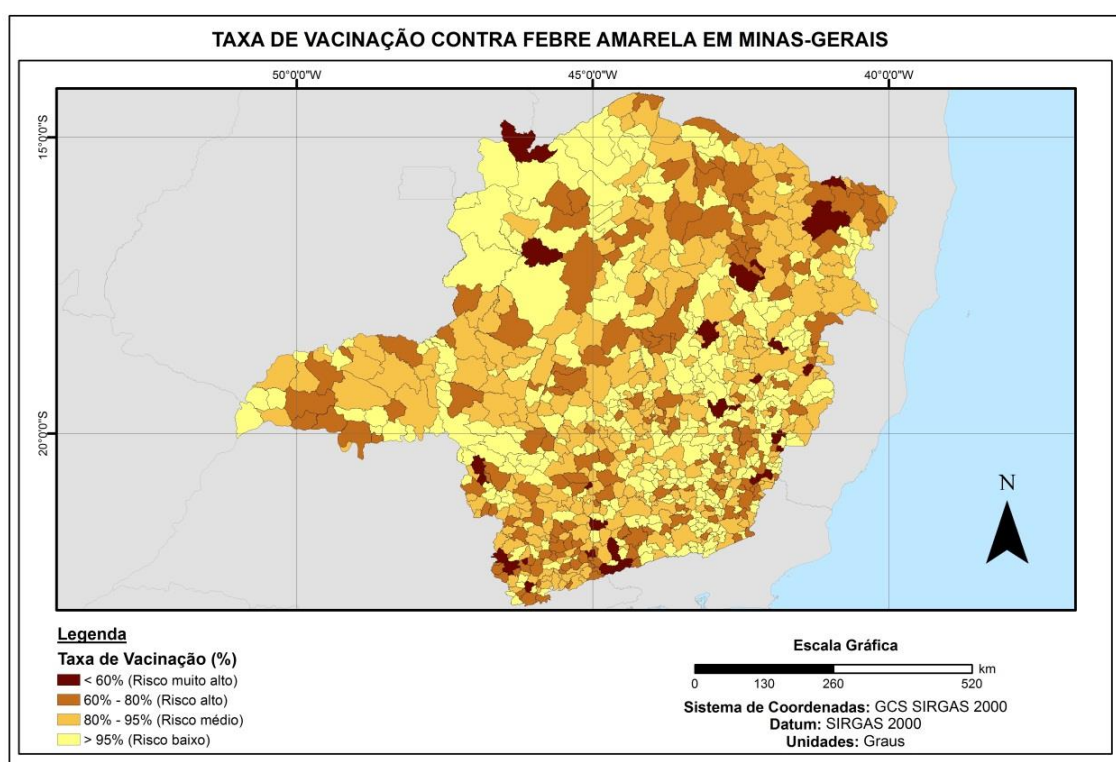
Em seguida, com base nos municípios que apresentaram ocorrências de febre amarela confirmada e análises de distância para os municípios vizinhos, foi gerado o segundo mapa (Figura 5). As distâncias foram baseadas no centroide do município afetado. Os municípios afetados receberam risco muito alto, aqueles até 30 km destes foram classificados como alto risco e os estão até 100 km foram classificados com risco médio e os demais com baixo risco.

Este mapa, bem como os demais resultados intermediários e o produto final, tratam de classificações com níveis de risco para a ocorrência de febre amarela de acordo com os dados utilizados. Estes níveis variaram entre muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto. Observando o mapa é inferir que as áreas de maior risco são bem mais amplas do que as afetadas até o momento, e que possivelmente a doença tende a se propagar entre a região da zona da Mata e Triângulo Mineiro, atingindo o Centro-oeste do estado.



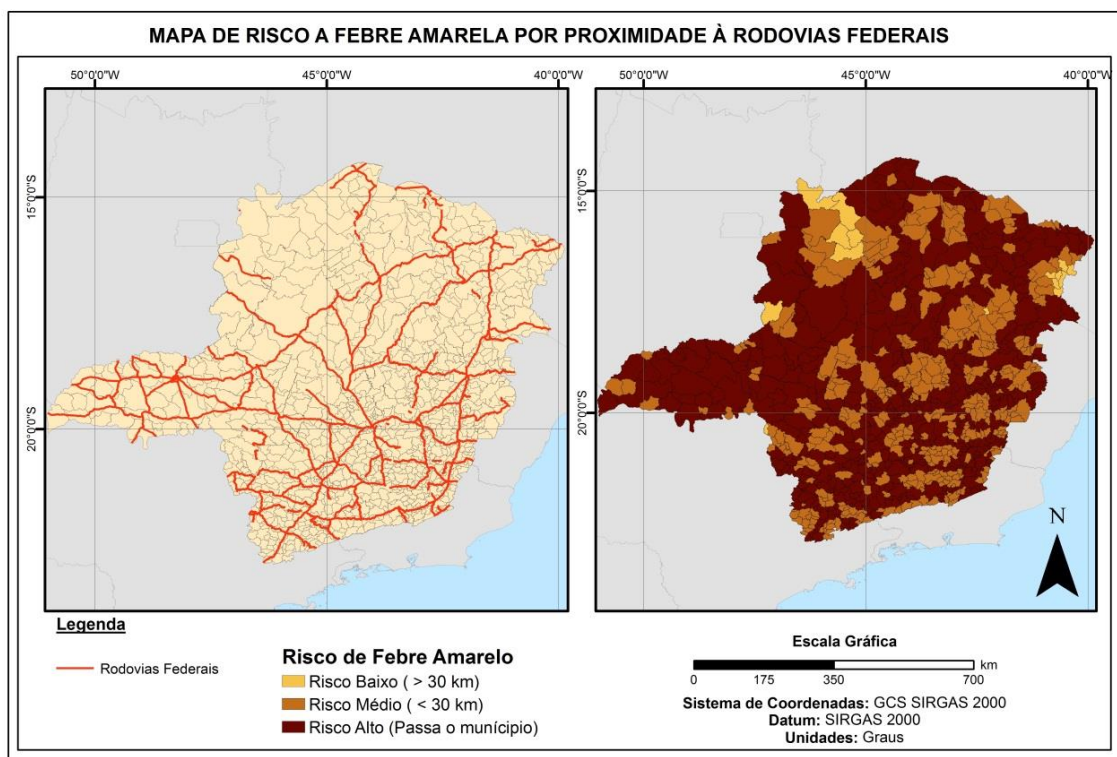
**Figura 5** - Classificação do grau de risco a FA pela distância a municípios afetados.

Outro resultado intermediário foi o mapa com a classificação dos municípios do estado com relação à taxa de vacinação, apresentado na Figura 6. Este resultado mostra que a distribuição da taxa de vacinação no estado não é uniforme e que apenas uma pequena parcela de MG está acima da cobertura vacinal estabelecida como meta no Programa Nacional de Imunização, de 95%. Neste caso todas as demais classes representam risco considerável, porém se dá destaque para mais de 20 municípios que apresentaram taxas de vacinação inferiores a 60%, o que pode estar associado a ineficiência do sistema de saúde nestas municipalidades.



**Figura 6** - Classificação dos municípios quanto à taxa de vacinação contra FA.

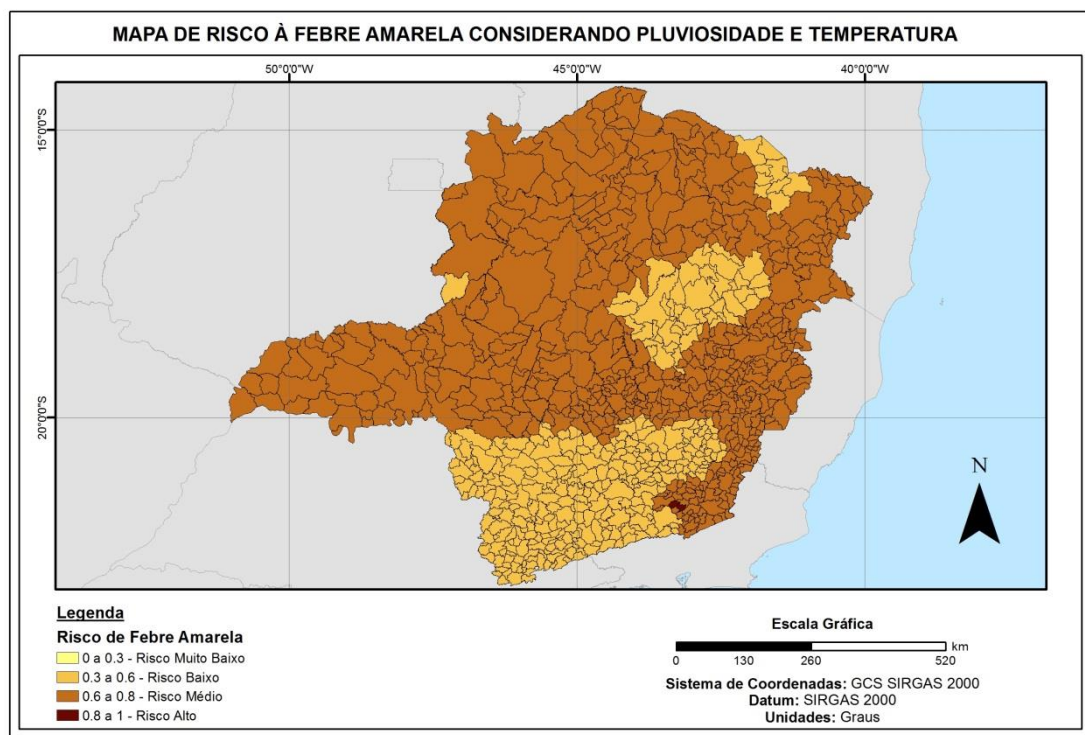
Para avaliar o fluxo de pessoas foram analisadas as distâncias dos municípios a rodovias federais, que ligam grandes regiões do país. Municípios cortados por rodovias federais foram classificados com risco alto, para os demais, se usou o limiar de 30 km, municípios até esta distância de rodovias receberam risco médio e acima, risco baixo. Esta classificação é mostrada na Figura 7.



**Figura 7** - Classificação dos municípios quanto à proximidade a rodovias federais.

O Mapa de Risco a Febre Amarela por Proximidade a Rodovias Federais mostra a esquerda as rodovias federais consideradas no trabalho, à direita a classificação dos municípios. Observa-se que a malha rodoviária no estado é bastante densa de forma que a maioria dos municípios tem pelo menos um trecho de rodovia federal o atravessando ou está situado a pelo menos 30 km de uma rodovia federal.

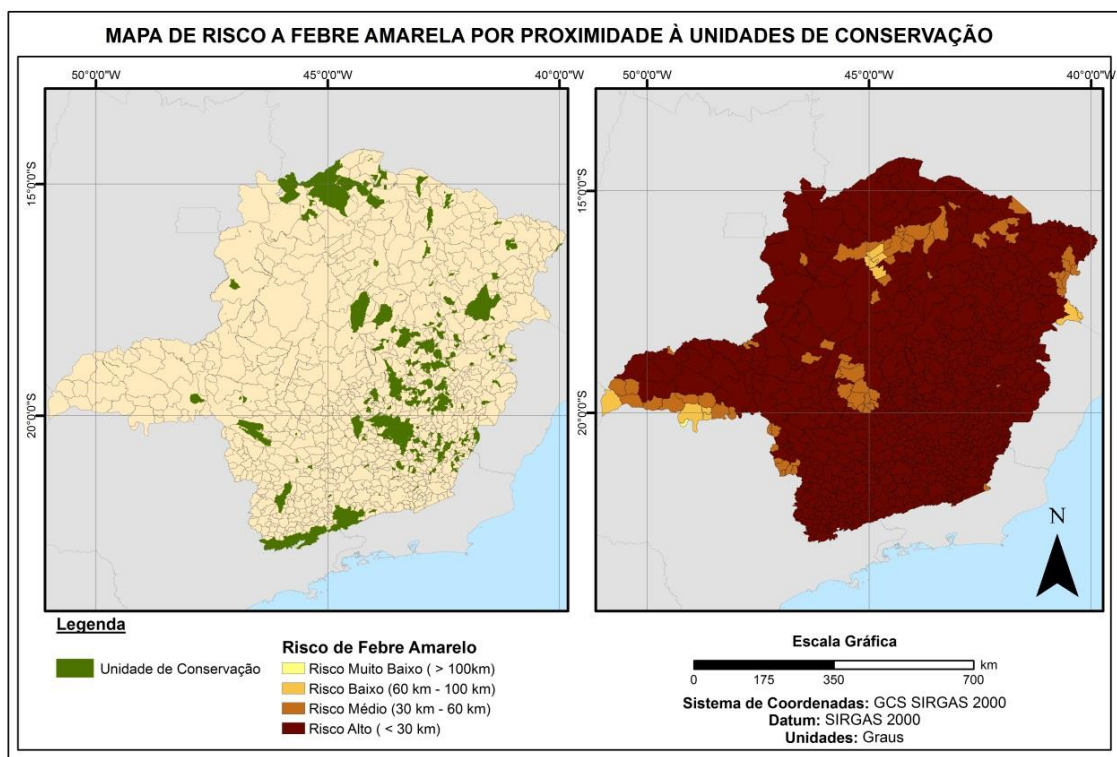
Quanto a variáveis ambientais foram consideradas temperatura e precipitação, onde usou-se uma combinação destes no propósito de uma mapa que avalia-se as condições climáticas de ocorrência da febre amarela (Figura 8). Para tanto, foram feitas interpolações dos valores médios das estações para ambas as variáveis, entre outubro e março. As interpolações foram classificadas com 0.1, 0.3 e 0.5, e combinadas em uma soma de pesos que representam a condição climática e estão distribuídos entre 0 e 1.



**Figura 8** - Classificação dos municípios quanto aos dados de precipitação e temperatura.

Em relação ao aspecto clima, o mapa mostra que não ocorrem grandes discrepâncias entre os municípios. Este resultado já era esperado, pois dentro do estado de MG não ocorrem variações acentuadas de precipitação acumulada ou de temperatura média para o período chuvoso. Assim, a classificação dos municípios se concentrou em duas classes, de alto e médio risco. Apenas dois municípios (Piau e Goianá) se enquadraram em alto risco, o que pode ocorrer devido à presença de mais estações próximas a este. O uso de valores médios favorece a homogeneização dos dados, levemente minimizando os valores, a ocorrência de duas estações próximas pode ter deixado os valores mais fieis a realidade, identificando melhor a diferença.

Buscando análises quanto aos aspectos ambientais necessários à presença de PNH na região foi feita outra análise de distância, com relação às Unidades de Conservação no estado. A Figura 9 apresenta no mapa à esquerda as Unidades de conservação e à direita as classes com base nesta análise.

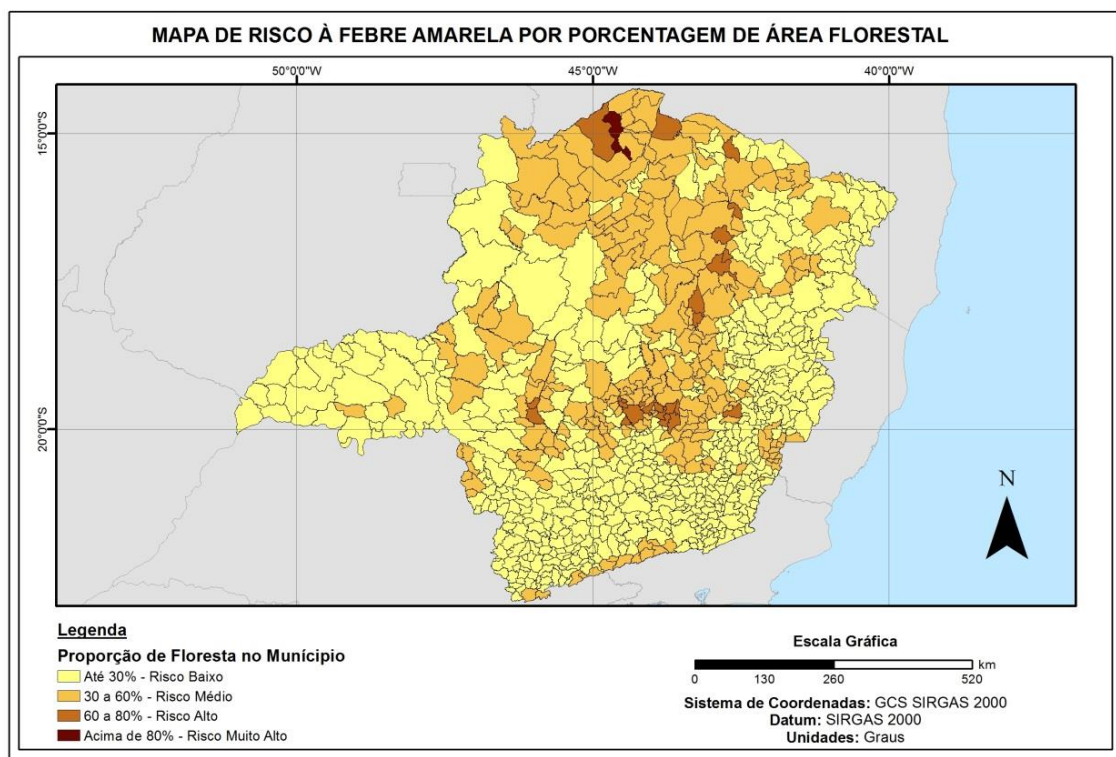


**Figura 9** - Classificação dos municípios quanto à proximidade a Unidades de Conservação.

Como foram consideradas todas as unidades de conservação no estado, e análise foi feita com base no centroide destas áreas, a maior parte do estado está enquadrado como de alto risco. Observa-se que existem áreas de conservação distribuídas em todo o estado, apesar da escala utilizada não permitir esta análise no mapa.

Outro mapa foi feito classificando-se os municípios de acordo com sua porcentagem de cobertura florestal (Figura 10). Observa-se que de acordo com as classes definidas a grande maioria do estado é classificada com um baixo risco, ao contrário do que ocorre em relação à presença de unidades de conservação, onde a grande maioria do estado é classificado como de médio risco.



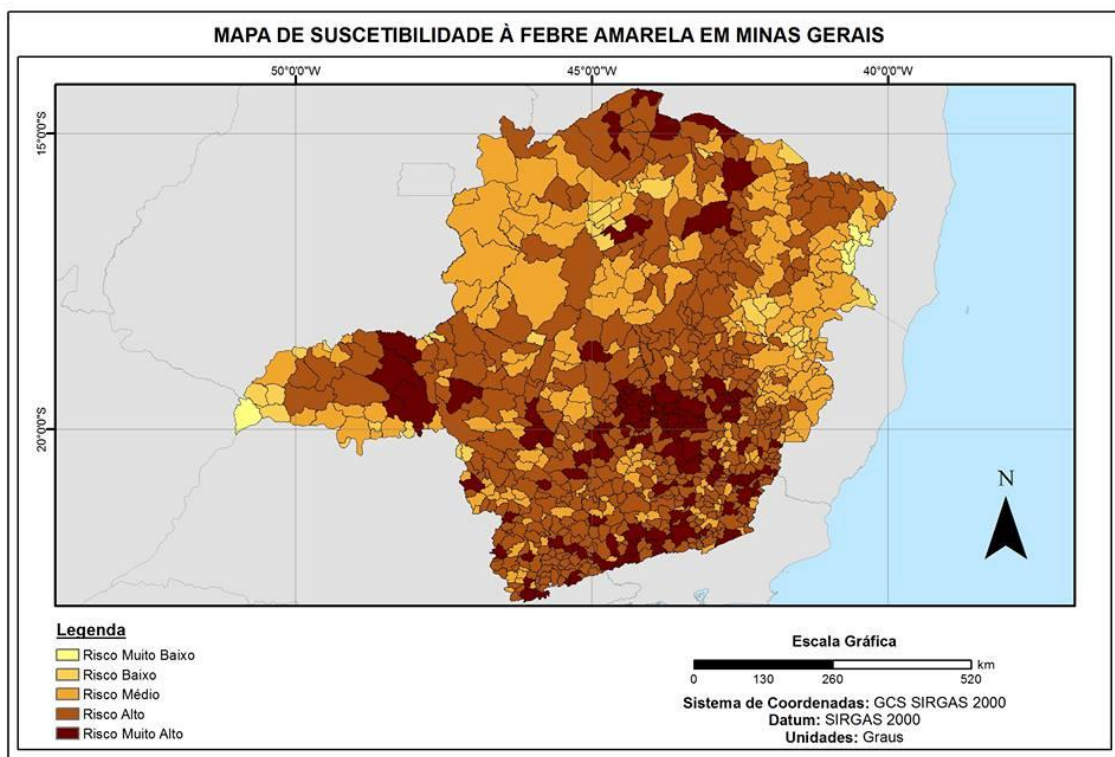


**Figura 10** - Classificação dos municípios quanto à porcentagem de área florestal.

Por fim, os produtos gerados medindo o risco a ocorrência de febre amarela para o estado foram condensados considerando-se os pesos atribuídos pela AHP, observados na Tabela 8. A razão de consistência para o método AHP foi de 0,04, sendo aceitável. Assim, foi gerado o Mapa de Susceptibilidade a febre amarela de MG, apresentado na Figura 11, ilustrada abaixo.

**Tabela 8** – Peso atribuído à cada variável.

Variável	Peso
Dist. Municípios Afetados	0,154
Vacinação (% de cobertura)	0,154
Dist. Rodovias Federais	0,12
Clima	0,058
Dist. Unidades de Conservação	0,247
Cobertura florestal (%)	0,247



**Figura 11** - Mapa de Suscetibilidade a Febre Amarela para MG.

Este resultado obtido mostra a maior susceptibilidade a Febre Amarela em municípios próximos às áreas já afetadas. Porém, teve-se também a inclusão de algumas áreas próximas a Unidades de Conservação ou com maior porcentagem de cobertura florestal.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi realizado o mapeamento de susceptibilidade à Febre Amarela do estado de Minas Gerais. Este tipo de dado pode auxiliar órgãos da área da saúde e vinculados ao serviço de zoonoses para identificar áreas que necessitam de maior atenção quanto ao monitoramento da doença.

A metodologia adotada permitiu a geração de seis outros mapas intermediários que podem ser aplicados a diversas análises. Porém, algumas adequações poderiam ser feitas. As análises de distância realizadas na obtenção de três dos mapas intermediários, seguindo-se a linha proposta por Moreno (2011), não se mostrou completamente

satisfatórias, possivelmente pelo fato de adotar o cálculo com base no centroide do município. Uma das soluções possíveis para futuras análises seria definir a largura do *buffer* usado para atribuir as classes de acordo com o tamanho da área de estudo. Por exemplo, no caso das Unidades de Conservação a distância de 30 km do centroide pode ainda estar dentro da área da unidade. Se a distância fosse ajustada a área seria mais representativa.

Por fim, estudos do tipo podem servir como ferramenta de suporte à decisão, voltada a esta área, como quanto às áreas de prioridade de vacinação e de controle de vetores da doença. Destaca-se ainda o potencial do uso do geoprocessamento aplicado aos estudos epidemiológicos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Ministério da Saúde. **Nota Informativa nº 94/2017 – SVS/ MS**. Orientações e indicação de dose única da vacina febre amarela, Brasil, 2017. Brasília, 10 de abril de 2017 a.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. **Febre amarela : guia para profissionais de saúde**. Ministério da Saúde, Secretaria de Atenção à Saúde. Brasília : Ministério da Saúde, 2017 b. 67: il. ISBN 978-85-334-2480-7.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Manual de vigilância epidemiológica de febre amarela**. Brasília, 2004. Disponível em: <[http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual\\_vigilancia\\_epid\\_febre\\_amarela.pdf](http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_vigilancia_epid_febre_amarela.pdf)> . Acesso em: 03 de jun. 2018.

COSTA, G. A.; BENTES, A. A.; TEIXEIRA, D. C. Febre amarela em Minas Gerais (BR) 2017. **Revista Médica de Minas Gerais 2017**; v. 27 (Supl. 3): S59-S62, p. 60-62, 2017. e-ISSN 2238-3181 DOI: 10.5935/2238-3182.20170031. Disponível em: <[http://www.smp.org.br/arquivos/site/revista-medica/pediatria\\_27\\_s3.pdf](http://www.smp.org.br/arquivos/site/revista-medica/pediatria_27_s3.pdf)>. Acessado em: 03 de jun. 2018.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Trânsito. Disponível em:<<http://www.dnit.gov.br/mapas-multimodais/shapefiles>>. Acessado em: 03 de jun. 2018.

IBGE – **Instituto Nacional de Geografia e Estatísticas**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 01 de maio 2018.



IEF – **Instituto Estadual de Florestas**. Disponível em: <<http://www.ief.mg.gov.br/areas-protegidas/banco-de-dados-de-unidades-de-conservacao-estaduais>>. Acesso em: 03 de maio 2018.

INMET – **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 30 de maio 2018.

PROJETO MAPBIOMAS – Coleção **2.0** da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. Disponível em: < <http://mapbiomas.org/pages/downloads>>. Acesso em: **15** maio 2018.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais. Subsecretaria de Vigilância e Proteção à Saúde. Superintendência de Vigilância Epidemiológica, Ambiental e Saúde do Trabalhador. **Boletim epidemiológico – 05/06/2018**. Febre Amarela Silvestre em Minas Gerais, 2018. Disponível em: < <http://www.saude.mg.gov.br/component/gmg/story/10578-informe-epidemiologico-da-febre-amarela-05-06>>. Acesso em: 06 de jun. 2018.

MORENO, E. S. **Metodologia para definição de áreas prioritárias para vacinação contra Febre Amarela, baseada em parâmetros ambientais e análise por correspondência múltipla**. Dissertação (Mestrado em Saúde Coletiva) - Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo, São Paulo, p. 80 2011.

MS - Ministério da Saúde. **Febre Amarela**. 2013/2018. Disponível em: <<http://portalms.saude.gov.br/saude-de-a-z/febre-amarela-sintomas-transmissao-e-prevencao>>. Acesso em: 05 de jun. 2018.

RENCTAS - Rede Nacional de Combate ao Tráfico de Animais Silvestres 2008. **1º Relatório Nacional sobre o Tráfico de Fauna Silvestre**. Disponível em: <[http://www.rebras.org.br/rebras/userfiles/file/IREL\\_RENCTAS\\_2EDICAO\\_reduzido.pdf](http://www.rebras.org.br/rebras/userfiles/file/IREL_RENCTAS_2EDICAO_reduzido.pdf)>. Acesso em: 02 de maio 2018.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process: planning, priority setting, resource allocation**. New York: Mcgraw-hill, 1980. 287 p.

SES – MG – **Secretaria de Saúde do Estado de Minas Gerais**. Disponível em: <<http://www.saude.mg.gov.br/febreamarela>>. Acesso em: 02 de maio 2018.