

RELAÇÕES ENTRE A DINÂMICA AMBIENTAL E A DENGUE NO DISTRITO FEDERAL, BRASIL

RELATIONS BETWEEN ENVIRONMENTAL DYNAMICS AND DENGUE IN THE FEDERAL DISTRICT, BRAZIL

Rogério Vidal de Siqueira

Universidade de Brasília-GEA-LAGAS
rogeriovidals@hotmail.com

Helen da Costa Gurgel

Universidade de Brasília-GEA-LAGAS
helengurgel@unb.br

Bruna Drumond Silveira

Universidade de Brasília-GEA-LAGAS
brumonds@gmail.com

Walter Massa Ramalho

Universidade de Brasília-FCE-NMT
walter.ramalho@gmail.com

RESUMO

A dengue é uma doença viral que é transmitida pelo mosquito *Aedes aegypti*, cuja incidência tem aumentado continuamente no Brasil. Ao investigar a dengue é comum encontrar trabalhos que o relacionem com variáveis climáticas. Entretanto, são poucos os estudos na literatura que tentam relacionar a incidência da dengue com elementos da paisagem, como temperatura da superfície, hipsometria e declividade. Neste contexto, o objetivo desse trabalho é caracterizar a relação espaço-temporal da dengue no Distrito Federal com variáveis ambientais (temperatura, precipitação, temperatura da superfície, hipsometria e declividade) no período de 2007 a 2014. Para a realização deste trabalho foram coletados dados de casos de dengue e de delimitação das áreas de abrangência dos centros de saúde junto a SES-DF, dados demográficos da população junto ao IBGE, limites territoriais do Distrito Federal junto a Codeplan, dados de precipitação e temperatura através de imagens da banda termal do programa LANDSAT e hipsometria e declividade através de imagens do modelo digital do terreno do programa SRTM. Para realizar as análises foram utilizados mapas temáticos de número de casos, taxa de incidência, temperatura da superfície, declividade e hipsometria. Também foram utilizadas técnicas de estatísticas espaciais, Índice Global de Moran e Índice Local de Moran. As partir das análises foi possível identificar que da série temporal estudada somente os anos de 2010, 2013 e 2014 são epidêmicos. Foi possível identificar padrões de temperatura de forma contínua das áreas de maior incidência, e também indicar a influência da temperatura da superfície desenvolvimento da dengue. Com a hipsometria foi possível identificar possíveis barreiras geográficas de contenção da doença.

Palavras chave: Dengue. Variáveis ambientais. Hipsometria. Declividade.

ABSTRACT

Dengue is a viral disease that is transmitted by the *Aedes aegypti* mosquito, whose incidence has increased greatly in Brazil. When investigating dengue, it is common to find studies that relate it to climatic variables. There are few studies in the literature that try to relate the incidence of dengue with landscape elements, such as surface temperature,

Recebido em: 22/09/2017

Aceito para publicação em: 28/11/2017

hypsometry and slope. The objective of this work is to characterize the spatial-temporal relationship of dengue in the Federal District with environmental variables (temperature, precipitation, surface temperature, hypsometry and slope) in the period from 2007 to 2014. For the accomplishment of this work it was necessary to collect case data Of dengue with SES-DF, demographic data of the population with the IBGE, polygons of the territorial limits of the Federal District with Codeplan, precipitation and temperature data, images of the thermal band of the LANDSAT program and images of the digital terrain model of the SRTM program . In order to carry out the analyzes, thematic maps of number of cases, incidence rate, surface temperature, slope and hypsometry were used. We also used spatial statistics techniques, Moran Global Index and Moran Local Index. From the analyzes it was possible to identify that of the studied time series only the years 2010, 2013 and 2014 are epidemic. It was possible to identify temperature patterns continuously from the areas of highest incidence, and also to have an idea if the surface temperature would influence the development of dengue. With hypsometry, it was possible to identify possible geographical barriers to containment of the disease

Key works: Dengue. Environmental variables. Hypsometry Declivity.

INTRODUÇÃO

A utilização do espaço como categoria de análise para a compreensão da ocorrência e da distribuição das doenças nas coletividades sempre foi objeto de estudo para as ciências da saúde, até mesmo antes do surgimento da Epidemiologia² (JESUS, 2011). Já a relação entre o espaço, a saúde e os elementos da natureza como clima, água e solo, sempre estiveram contidos nas investigações de caráter geográficas, sobretudo no âmbito da geografia da saúde.

A dengue é uma doença viral que é transmitida pelo mosquito *Aedes aegypti*, cujo aumento da cobertura geográfica tem aumentado bastante no Brasil, chegando a um aumento de 30 vezes nos últimos 50 anos (GALLI e CHIARAVALLI NETO, 2008). Segundo Fernandes et al. (2012), há muitos fatores que contribuem na expansão de áreas de ocorrência da dengue no Brasil, dentre eles o processo de urbanização, falta de saneamento básico e variações climáticas.

É comum encontrar estudos que investigam a dengue e a sua associação com variáveis climáticas, como precipitação atmosférica e temperatura do ar (FORATTINI, 2002; SOUSA et al., GONÇALVES NETO e ROBÉLO, 2004; 2007; OLIVEIRA et al., 2007). Porém, são poucos os estudos que tentam relacionar a incidência da dengue com elementos da paisagem³, como temperatura da superfície, hipsometria e declividade.

Dessa forma, o objetivo desse trabalho visa caracterizar a distribuição espaço-temporal da dengue no Distrito Federal (DF) com variáveis ambientais (temperatura do ar, precipitação, temperatura da superfície, hipsometria e declividade) no período de 2007 a 2014. Dentre os objetivos específicos, estão as análises da taxa de incidência e número de caso da dengue para o período estudado. Apontar a influência da precipitação, temperatura do ar e temperatura da superfície na taxa de incidência da dengue e identificar a possível relação entre a taxa de incidência da dengue e as variáveis topográficas como hipsometria, relevo sombreado e declividade no DF.

Para tal, foi necessário coletar diversos tipos de dados como o banco de dados de casos de dengue e de delimitação das áreas de abrangência dos postos de saúde da Secretaria de Estado de Saúde do Distrito Federal (SES – DF), dados demográficos da população através do Censo Demográfico de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), poligonais dos limites territoriais do Distrito Federal pela Companhia de Planejamento do Distrito Federal (Codeplan), banco de dados de precipitação e temperatura máxima, mínima e média do ar da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) situada em Brasília, imagens referente à banda do termal do satélite LANDSAT e imagens do modelo digital do terreno (MDT) do programa SRTM.

² Jesus (2011, p. 216) define epidemiologia como “a ciência que estuda os padrões de ocorrência de doenças em populações humanas e fatores determinantes destes padrões”.

Para a análise dos dados foram criados diversos mapas temáticos de número de casos, taxa de incidência, temperatura da superfície, declividade e hipsometria. Também foram calculadas as estatísticas espaciais exploratórias, Índice Global de Moran e Índice Local de Moran (LISA).

Este trabalho é parte integrante dos projetos “Clima urbano e dengue nas cidades brasileiras: riscos e cenários em face das mudanças climáticas globais” (CNPq) e “Gestão, Indicador e Território em Ambiente no Brasil JEAÍ GITES – Brasil” (IRD-UnB). Estes projetos estão orientados a realizar pesquisas, formar estudantes e fazer emergir uma rede científica nacional e internacional, promovendo o intercâmbio entre a França, Brasil e África na temática de ambiente e saúde.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho foi dividido em duas partes: i) Levantamento de dados, com destaque para as imagens de satélite e dados de casos de dengue e; ii) Processamento e análise dos dados.

LEVANTAMENTO DE DADOS

Para a realização da primeira etapa foi necessário obter uma série histórica e multi-temporal de imagens da banda termal do programa LANDSAT. O período adotado para obtenção foi de 2007 a 2014, assim foram adquiridos cenas de diferentes sensores e diferentes satélites: TM/Landsat-5 e TIRS/Landsat 8.

Também foi feita a obtenção de quatro imagens de Modelo Digital de Elevação (MDE) da missão SRTM versão 3.0 (Missão Topográfica Radar Shuttle) com resolução espacial de 1 segundo de arco, ou seja, um pixel de 30 metros ideal para mapeamento na escala de 1:100.000, que na sua junção (mosaico) compreende todo o território do Distrito Federal.

O MDE é usado frequentemente em processamentos digitais onde há necessidade de mapear ou analisar o relevo, gerando assim mapeamentos de variáveis morfométricas tais como: declividade, orientação de vertente, drenagens, divisores de água e curvatura (VALERIANO, 2004).

Todas as imagens utilizadas neste trabalho foram obtidas no formato GEOTIFF, que é uma imagem onde cada pixel possui uma latitude e longitude, sendo assim uma imagem georreferenciada. Tanto as imagens do programa LANDSAT, quanto as da missão SRTM estão disponíveis de forma gratuita pelo site Earth Explorer⁴ do Serviço Geológico Americano (USGS). O Earth Explorer consiste em um site de pesquisa com um catálogo vasto de imagens de satélite.

Em relação aos dados de casos de Dengue, foi obtido um banco de dados para o período de 2007 a 2014 de casos não-nominais, junto à Secretaria de Estado de Saúde do Distrito Federal – SES-DF, contemplando o período estudado.

O banco de dados disponibilizados contém todas as notificações registradas ao Sistema, dessa forma foi necessário fazer uma limpeza para que pudesse ser usado. Foram retirados os casos descartados por exame laboratorial e deixado os dados confirmados e notificados. Também foram retirados os casos de residentes em outras unidades federadas, os casos sem o preenchimento do campo “NM_BAIRRO” e os casos importados. Para efetuar essa limpeza foi utilizado o *software* EXCEL 2007, conforme a tabela abaixo.

PROCESSAMENTO NOS CASOS DE DENGUE

Houve uma necessidade de espacializar os casos de dengue obtidos, porém o DF não possui um padrão de endereçamento, diferenciando de acordo com a Região Administrativa (RA). Podem ser encontrados endereços como Super Quadra, Quadras, Ruas, Conjuntos, Lotes, Bairros, Casas. Esse tipo de endereçamento dificulta o georreferenciamento automático dos casos da dengue por endereço. Dessa forma, partiu-se para atribuir os casos a menor unidade territorial disponível de trabalho, que foram as áreas de abrangência dos postos de saúde criadas pela Secretária de Estado de Saúde do Distrito Federal.

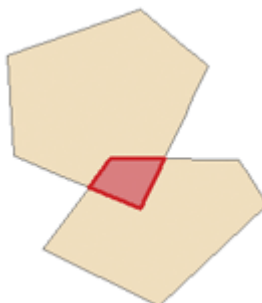
⁴ <http://earthexplorer.usgs.gov/>

A criação das áreas de abrangências pela SES-DF fundamenta-se na tentativa de territorialização dos limites de cada unidade de saúde ao invés de trabalhar com bairros, pois o bairro não faz parte da estrutura geopolítica do Distrito Federal como um todo.

Assim, foi necessário criar polígonos a partir de uma tabela disponibilizada pela SES-DF, que continha todos os limites de abrangência das unidades de saúde pública do DF. Em seguida foi utilizando duas bases de imagens para a vetorização das áreas. Imagens do *Google Map* e *Open Street Map* disponíveis no plugin *Open Layers Plugin 1.4.1* do software *QGIS Desktop 2.14.0*.

Após a criação de todos os polígonos, foi necessário utilizar a regra topológica *polygons must not overlap* (polígonos não devem sobrepor) (Figura 1) de contida no SIG *ArcMap 10.2.2*. É importante frisar que após a edição vetorial é necessário utilizar regras topológicas, para validar a geometria e evitar erros após a edição.

Figura 1- Exemplo de polígonos com sobreposição



Fonte: ESRI, 2009

Por fim, foi criado um polígono topologicamente consistente para cada área de abrangência, promovendo junção entre as tabelas a partir do campo "SINAN" de cada ano com as áreas de abrangência (Figura 2). Essa espacialização de áreas de abrangência dos postos de saúde foi realizada pela equipe do LAGAS-UnB⁵.

Para analisar espacialmente os casos de dengue, foram utilizados procedimentos metodológicos distintos, mas, sobretudo complementares. Para a análise descritiva foram elaborados mapas temáticos com o número de casos de dengue e taxa de incidência para todos os anos estudados. Possibilitando assim, fazer uma análise visual da dinâmica espaço-temporal dos casos de dengue e a sua relação com as variáveis ambientais.

Para fazer o cálculo da taxa de incidência foi necessário, primeiramente, calcular a população para cada área de abrangência. Para isso, foram somadas as populações dos setores censitários que estavam contidos em cada uma das áreas, utilizando os polígonos dos setores censitários do censo demográfico de 2010 disponíveis no sítio do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.

Para realizar essa tarefa foi necessário transformar os polígonos dos setores censitários em pontos, por meio da ferramenta *feature to point* no software *ArcMap 10.2.2*. Os pontos criados correspondem aos centroides de cada polígono. Em seguida foi realizada uma seleção espacial para obter a soma dos valores de população dos setores censitários cujos centroides estavam contidos nas áreas de abrangência. A taxa de incidência foi, então, calculada para cada uma das áreas de abrangência pela seguinte fórmula: (número de casos / população) * 100.000 (OPAS, 2008).

⁵ LAGAS - Laboratório de Geografia, Ambiente e Saúde (LAGAS) da Universidade de Brasília (UnB) – Mais informações em www.lagas.unb.br

PROCESSAMENTOS DAS IMAGENS LANDSAT TM E TIRS

Após a aquisição das imagens de satélite, foi necessário fazer uma seleção de imagens, optando por aquelas que detinham a menor quantidade de nuvens, para não prejudicar nas análises futuras.

Após completar essa etapa, foi necessário usar equações específicas para cada sensor. As equações apresentam um objetivo comum, que é transformar o nível de cinza (NC) das imagens em graus celsius (°C), para que assim possa ser analisada a temperatura da superfície. Porém, para isso, é necessário seguir os seguintes passos:

NC → Radiância → Kelvins → Célsius

Para a conversão de NC para radiância nas imagens do sensor TM/Landsat-5, foi utilizado a metodologia de Chander et al. (2009) expressa nas Equações 1 e 2, processadas no *software* ENVI 4.7.

$$L \lambda = ((I_{\max} \lambda - \lambda L_{\min}) / (QCALMAX - QCALMIN)) * (QCAL - QCALMIN) + \lambda L_{\min} \quad (1)$$

Figura 2 - Áreas de abrangência urbanas e rurais e o número do SINAN de todas as unidades de saúde pública

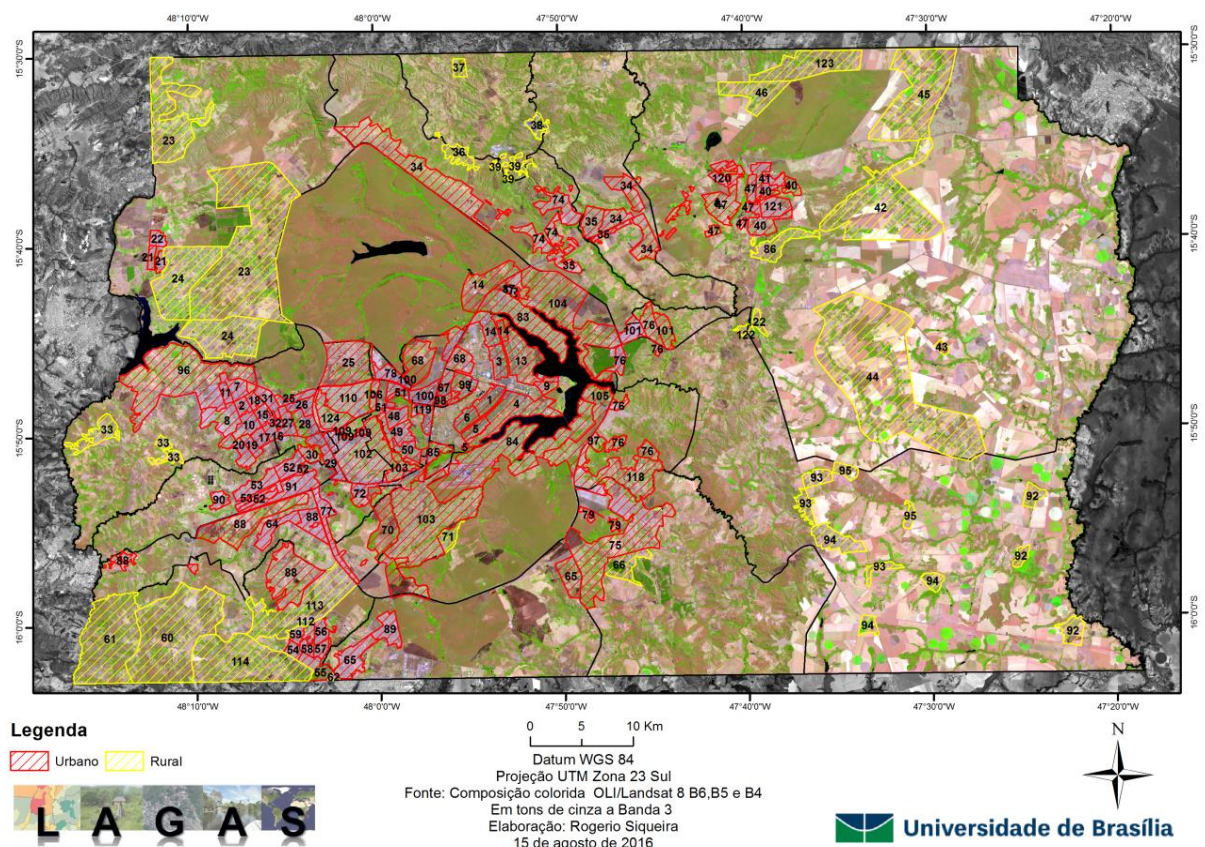


Tabela 1 - Explicação das variáveis da Equação 1

Variável	Explicação
L_{λ}	Radiância Espectral em sensor de abertura em Watts
QCAL	Valor quantizado calibrado pelo pixel em DN.
$L_{min \lambda}$	Radiância espectral, que é dimensionado para QCALMIN em Watts = 0.000.
$L_{Max \lambda}$	Radiância espectral, que é dimensionado para QCALMAX = 17.040.
QCALMIN	O mínimo valor quantizado calibrado pixel (correspondente a $L_{min \lambda}$), em DN = 1
QCALMAX	Máximo valor quantizado calibrado pixel (correspondente a $L_{Max \lambda}$) no DN = 255.

No sensor TIRS do Landsat 8 a conversão de NC para Radiância foi feita pela equação 2 que é disponível no sítio do Serviço Geológico Americano⁶, diferente dos sensores TM e ETM+.

$$L_{\lambda} = M_L * Q_{cal} + A_L \quad (2)$$

Onde:

L_{λ} = Radiância Espectral

M_L = Fator multiplicativo de redimensionamento da banda 10

A_L = Fator multiplicativo aditivo específico da banda 10

Q_{cal} = Imagem em níveis de cinza (Banda 10)

Após a aplicação da primeira equação que promove a conversão de ND para radiância, aplicou-se a Equação 3 no intuito de converter radiância em temperatura medida em Kelvin, porém alguns valores são diferentes entre o sensor TM, ETM+ e TIRS, ilustrados na tabela a baixo.

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{CV_{R2}} + 1\right)} \quad (3)$$

Onde:

T= Temperatura em Kelvin

K_2 = Constante de Calibração = 1260.56

K_1 = Constata de Calibração = 607.76

CV_{R2} = Valor de correção atmosférica (Banda em Radiância)

⁶ http://landsat.usgs.gov/l8handbook_section5.php

Tabela 2 - Constantes de Calibração dos três sensores usados

	TM/Landsat	TIRS/Landsat
K1	607.76	774.89
K2	1260.56	1321.08

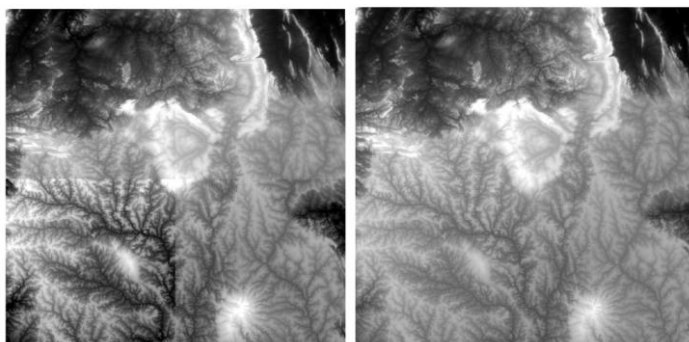
Por fim, o último processamento é a conversão de Kelvins para Celsius, no qual é feita uma subtração do valor gerado pela Equação 5 pelo seu valor absoluto (273,15).

Para analisar as imagens de temperatura da superfície foram elaborados mapas temáticos com todas as imagens termais e a taxa de incidência da dengue referente aos meses das imagens, com o objetivo de facilitar a análise descritiva da temperatura da superfície e a sua provável relação com a taxa de incidência de dengue.

PROCESSAMENTO DAS IMAGENS SRTM

Após a aquisição das quatro imagens foi necessário fazer um mosaico utilizando a ferramenta *Mosaic To New Raster* do software ArcMap 10.2.2, com objetivo de estabelecer somente uma matriz altimétrica, pois cada imagem possui um valor mínimo e máximo de altimetria, figura 3.

Figura 3 - A esquerda é a imagem adquirida em quatro cenas e a direita é a imagem em mosaico



Em seguida, foi necessário fazer o recorte da imagem usando os limites do Distrito Federal utilizando a ferramenta *Extract by Mask*. Nesse recorte foi usado o arquivo vetorial das Regiões Administrativas, confeccionado pela Companhia de Planejamento do Distrito Federal (Codeplan).

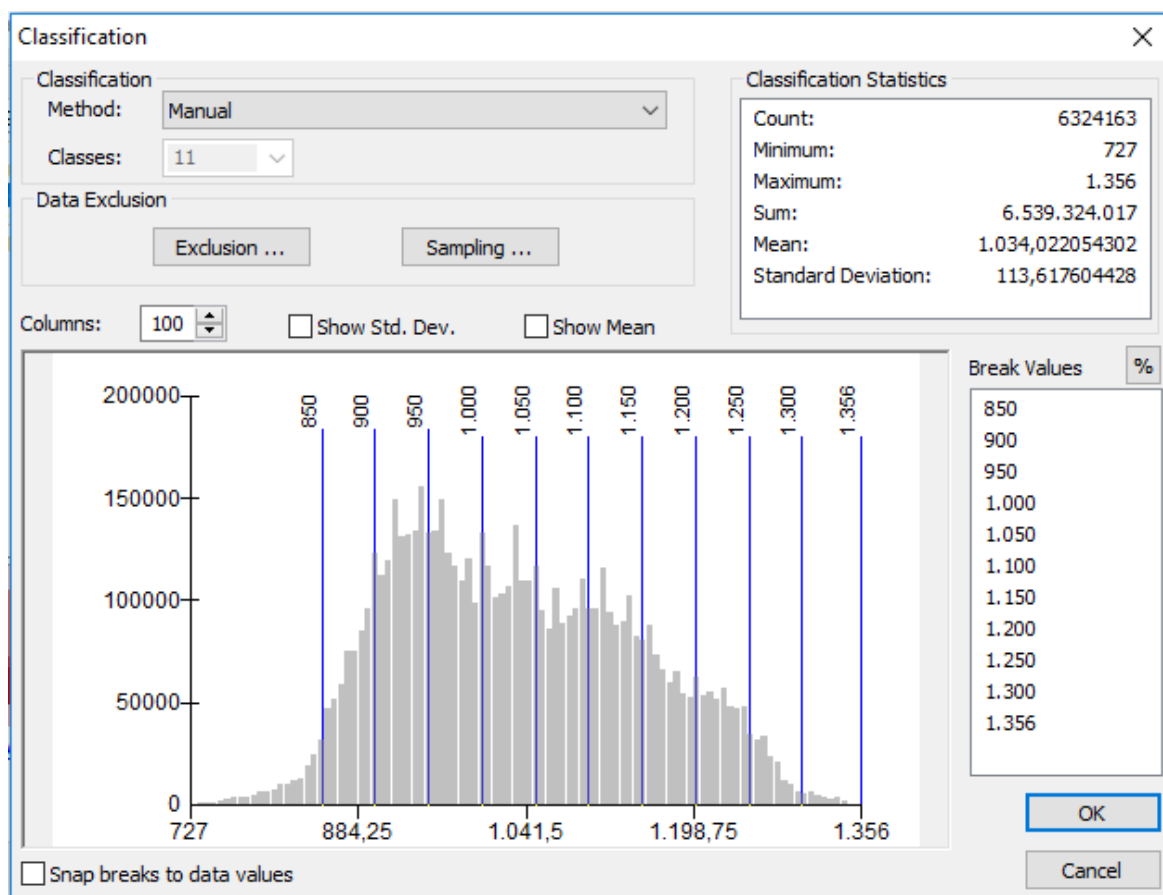
Com a imagem SRTM recortada foi feito uma série de processamentos para a geração de planos de informação temáticos: hipsométrico, declividade e relevo sombreado. Através da declividade foi possível estabelecer classes para o relevo, conforme é proposto da Embrapa (1979), tabela 3.

Tabela 3 - Tabela de Classes Propostas pela Embrapa

Classes de Declividade (%)	Classes de Relevo
0 - 3	Plano
3 - 8	Suave Ondulado
8 - 20	Ondulado
20 - 45	Forte Ondulado
45 - 75	Montanhoso
> 75	Escarpado

Primeiro processamento na imagem SRTM recortada foi a reprojeção da imagem que estava com sistema de referência WGS 84 para o Fuso 23 Sul e o sistema de referência SIRGAS 2000, que é o novo datum oficial do Brasil, utilizando a ferramenta *Project Raster*. Posteriormente foi feito o fatiamento do histograma (figura 4) do relevo em classes altimétricas variando de 50 a 50 metros para a geração do plano de informação hipsométrico.

Figura 4 - Histograma do SRTM do DF



Em seguida foi feita uma imagem sombreada a partir do SRTM, utilizando a ferramenta *Hillshade*, com o azimute de 315 (Noroeste - NO) e o norte de 45° de altitude, favorecendo uma visualização do relevo em um plano bidimensional, de superfícies rebaixadas e elevadas (DUARTE e SABADIA, 2011).

Por fim, foi feita a extração da declividade em porcentagem utilizando a ferramenta *Slope* e depois a reclassificação com a ferramenta *Reclassity* para corresponder às classes propostas pela Embrapa.

Para analisar espacialmente tanto a hipsometria, quando a declividade, foram elaborados dois mapas temáticos, um para cada variável. Porém foram destacadas sete áreas de abrangência que tiveram ao longo da série temporal as maiores taxas de incidência. O relevo sombreado foi utilizado junto aos mapas temáticos como auxílio na visualização das feições geomorfológicas.

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E ANÁLISE EXPLORATÓRIA DA DENGUE NO DISTRITO FEDERAL

No Distrito Federal, a distribuição espacial foi feita a partir da elaboração de dois mapas temáticos multi-temporais, um de número absoluto de casos e outro de taxas de incidência (casos por 100.000 habitantes) onde proporcionou a configuração expressa na figura 5 e 6.

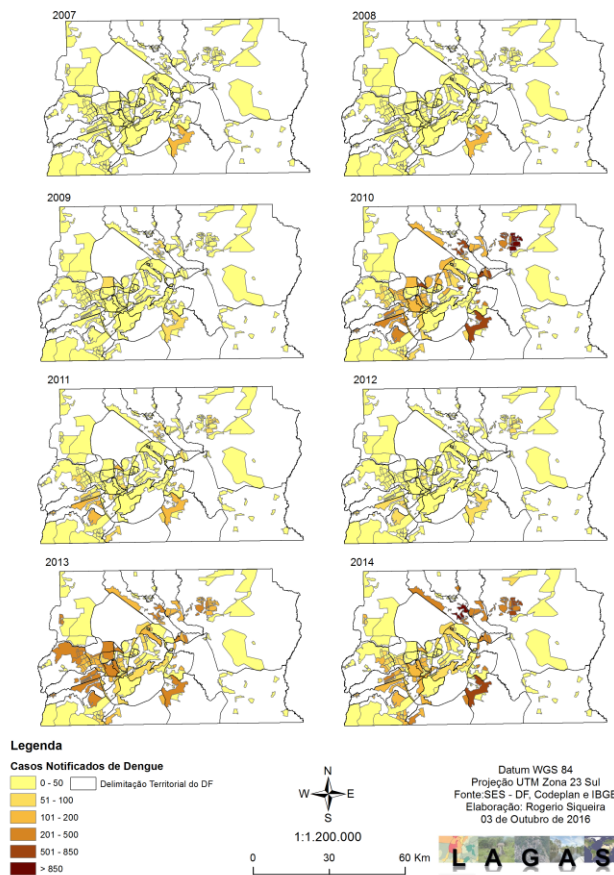


Figura 5 - Mapa da Distribuição da Dengue a partir dos Casos Notificados

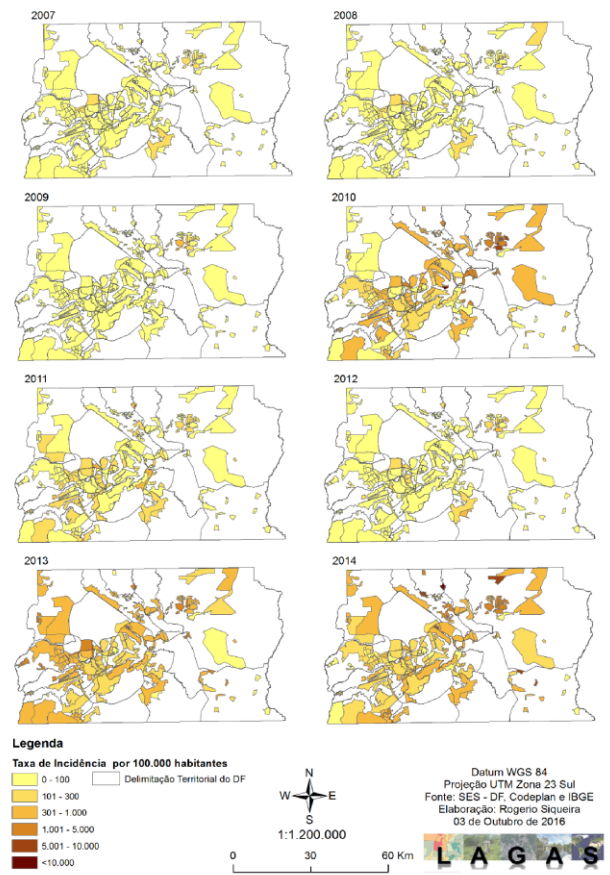


Figura 6 - Mapa da Distribuição da Dengue a partir da Taxa de Incidência

Na figura 5, é possível identificar a partir das áreas de abrangência dos postos de saúde que nos anos de 2010, 2013 e 2014 apresentaram um elevado grau de casos na maioria da extensão territorial do DF. Nos anos de 2007 a 2009 poucas áreas de abrangência apresentaram casos, porém a área de abrangência referente ao Centro de Saúde São Sebastião 01 (CSSSb 01) localizada na RA de São Sebastião, em 2007, contabilizou o maior número de casos, totalizando 153 casos confirmados.

Nos anos de 2012 e 2013 a área CSSSb 01 apresentou novamente a maior porção de casos, com 100 casos em 2012 e 420 em 2013. Mas as áreas de abrangências da RA de Planaltina também apresentaram um elevado número de casos, principalmente a áreas do Centro de Saúde de Planaltina 01 (CSP 01) com 68 casos notificados em 2012 e Centro de Saúde de Planaltina 03 (CSP 03) com 237 casos em 2013.

É possível identificar que na RA de Planaltina apresenta certa dinâmica em relação aos casos notificados, pois não são todas as áreas de abrangência que apresentam números significantes de casos notificados, possibilitando assim verificar em um estudo futuro, se há uma direção preferencial da doença na cidade.

Ao analisar o mapa temático referente à taxa de incidência, figura 6, foi possível identificar um comportamento espacial diferenciado da doença, onde a gravidade do problema está em termos de risco de adoecer, uma vez que considera os tamanhos das populações sob risco (SOUZA et al, 2007).

Em termos de distribuição espacial, os anos de 2010, 2013 e 2014 mantiveram um padrão de distribuição territorial da doença semelhante em relação ao mapa de casos notificados. Entretanto, o destaque está em áreas de abrangência onde em termos populacionais é menos denso, como por

exemplo, as áreas situadas nas zonas rurais Posto de Saúde Rural 01 Cariru (PSR 01 Cariru) em Planaltina, Posto de Saúde Rural 03 Queima Lençol (PSR 03 Queima Lençol) na Fercal, Posto de Saúde Rural 07 São José (PSR 07 São José) em Planaltina e Posto de Saúde Rural 01 Catingueiro na Fercal.

Seguindo o mesmo padrão das áreas rurais o Centro de Saúde de Brasília Nº 15 (CSB 15) na Vila Planalto apresentou uma taxa de 11.115,86 casos para 100 mil habitantes, indo contrario a ideia de que somente locais de baixo grau socioeconômico são mais vulneráveis em comparação as demais áreas de maior grau socioeconômico. Isso mostra que a doença está presente em diferentes locais, provavelmente relacionado à capacidade do vetor da doença de se adaptar em diversos ambientes (CATÃO et al, 2009).

Observando a série temporal de 2007 a 2014, foi possível identificar que as áreas de abrangência situadas em Taguatinga, São Sebastião, Fercal e Planaltina (CST 01, CSSSb01, CSP 01, CSP 02, CSP 03, CSP 04, CSP 05 e PSR 03 Queima Lençol) apresentaram quase todos os anos uma taxa elevada.

A partir de 2010 a taxa de incidência se mostrou elevada na grande maioria das áreas de abrangência, dando destaque no Centro de Saúde de Brasília 15 localizada na Vila Planalto com uma taxa de 11.115 casos por 100 mil habitantes. Em seguida a Centro de Saúde de Brasília 01 com 8.022 casos por 100 mil habitantes e Centro de Saúde de Brasília 05 com 4.589 casos por 100 mil habitantes.

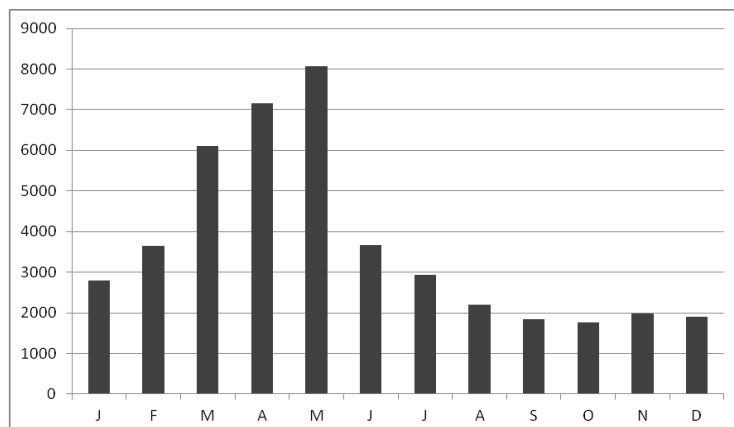
Em 2011 houve uma queda nas áreas de abrangência epidêmicas, porém quatro áreas firmam acima do limite de 300 casos por 100 mil habitantes. O Centro de Saúde 03 de São Sebastião apresentou uma taxa de 637 casos por 100 mil habitantes, seguida pela PSR 03 Queima Lençol com 400 casos por 100 mil habitantes, Centro de Saúde 01 do Lago Sul com 381 caso e o Centro de Saúde da Estrutural com 372 casos por 100 mil habitantes. No ano de 2012 somente duas áreas de abrangência ultrapassaram o limiar de 300 casos por 100 mil habitantes, que foram Posto de Saúde Rural 01 Nova Betânia e Centro de Saúde 01 de Planaltina com 551 e 319 casos por 100 mil habitantes.

SAZONALIDADE DA DENGUE NO DISTRITO FEDERAL

Habitualmente em estudos que buscam compreender a dinâmica temporal e espacial da Dengue é comum apontar a sazonalidade do surto, cuja maior virulência está presente no verão, em regiões de terra baixa e centros mais populosos (Donalísio, 1999).

Observando a sazonalidade da doença a partir do número acumulado de casos (Figura 7), foi identificado que nos meses de março, abril e maio agrupam 48% dos casos. Cabe ressaltar que os meses de janeiro, fevereiro e junho também apresentam um número significativo de casos, variando entre 2.795 a 3.673.

Figura 7 - Acumulado de casos por mês, Distrito Federal - 2007 a 2014



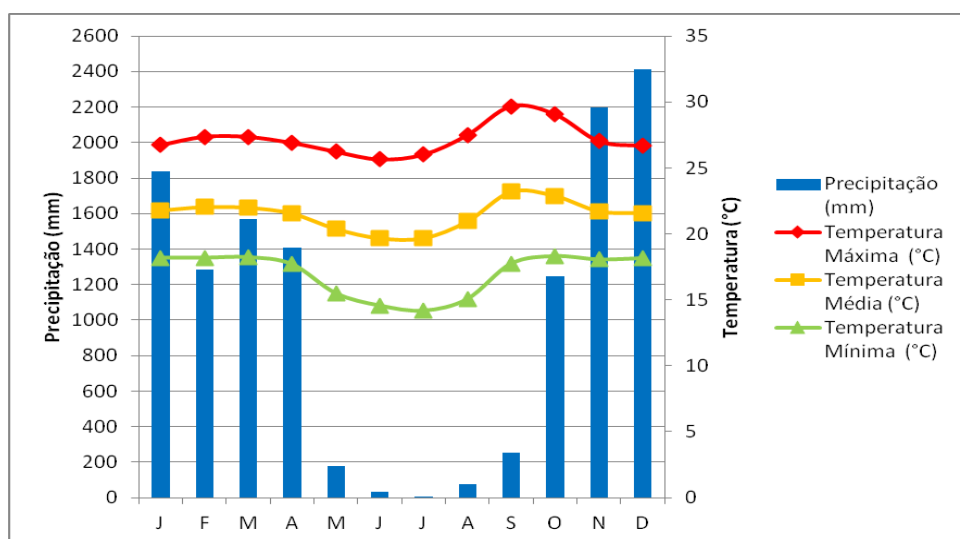
Também foi possível identificar que a partir de junho há uma queda significativa de casos, pois no mês anterior há um total de 8.072 casos, enquanto junho há um total de 3.673 casos. Essa queda continua até o mês de outubro, apresentando a menor baixa, totalizando 1.767 casos.

Ao comparar o gráfico de casos acumulados por mês com climograma⁷ do mesmo período (2007 – 2014) é possível identificar certa dinâmica entre precipitação e número de casos.

Tal dinâmica pode ser vista, por exemplo, no ultimo trimestre do ano, período que apresenta as maiores precipitações e temperaturas, e em contra partida é o período em que ocorre a menor frequência de casos, totalizando somente 13% dos casos. Pode-se inferir que com o aumento acentuado da precipitação, mesmo havendo certa estabilidade nas temperaturas (variando de 21,72 °C a 21,58 °C na temperatura média de novembro a dezembro) pode ter ocorrido um processo limitante no desenvolvimento do mosquito, como por exemplo, a lavagem dos seus possíveis criadores, e assim diminuindo os casos.

Durante o período de janeiro a abril, considerado meses chuvosos, é possível perceber uma estabilidade, tanto de precipitação quanto de temperatura, podendo assim condicionar um ambiente propício para o desenvolvimento do mosquito, quando relacionado com o gráfico de casos acumulados, figura 8.

Figura 8 - Climograma da precipitação, temperatura máxima, média e mínima do Distrito Federal, 2007 - 2014



Cabe destacar que o mês de maio apresenta o maior pico de casos em relação aos outros meses, correspondendo a 18% dos casos. Ao relaciona-lo com o climograma é possível identificar que o mês de maio apresenta a quarta menor taxa de precipitação do período, possuindo um total de 179,5 mm.

Assim, também é possível contrapor a afirmativa que a sazonalidade das epidemias se concentram em meses mais chuvosos e quentes, devido à criação de condições ideais para a criação e desenvolvimento do vetor e o aumento da densidade e probabilidade infecção (CATÃO, 2009).

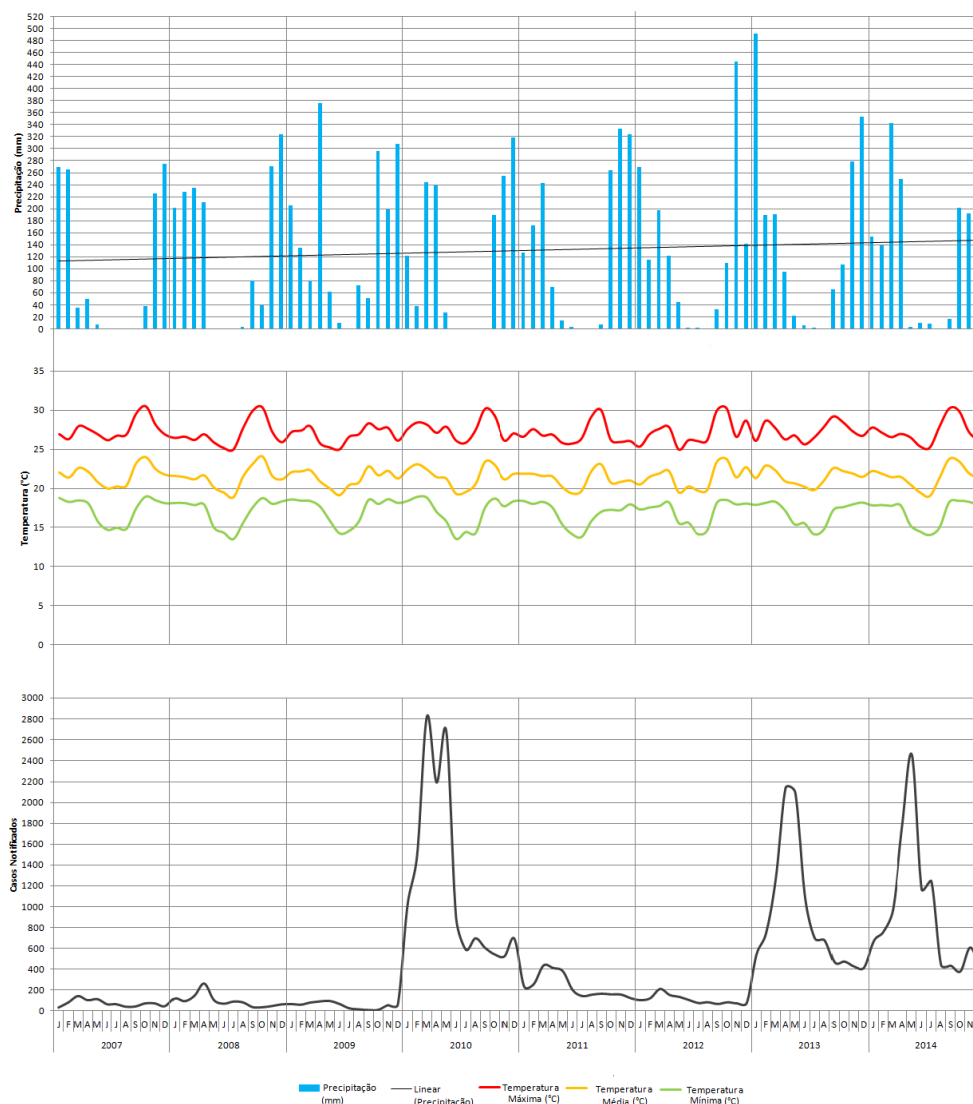
Ao comparar a sazonalidade da dengue a partir da distribuição dos casos por mês, figura 7, foi possível identificar que o comportamento dos anos de 2010, 2013 e 2014 é totalmente atípico em relação aos outros anos. Conforme é apresentado na tabela 2, esses anos são considerados como epidêmicos, pois apresentam uma taxa de incidência acima de 300 casos por 100 mil habitantes.

⁷ Climograma pode ser entendido como uma representação gráfica de dois ou mais elementos do clima de uma determinada área ou região.

Também foi identificada que os picos de casos vão de março a maio para os anos não epidêmicos, tabela 4. Já nos anos epidêmicos essa dinâmica é estendida ou ocorre em outro período do ano, como em 2010 em que os picos vão de março a maio e voltam a ocorrer em agosto a dezembro. Já nos anos de 2013 e 2014, os picos vão de março a julho, mesmo sendo o momento de estiagem.

Ao analisar o gráfico de sazonalidade anual, figura 9, foi possível identificar um padrão nos casos de dengue, onde em quase todos os anos no inverno, período de estiagem, há uma queda abrupta no número de casos notificados. Somente em 2010 e 2013, anos epidêmicos, esse padrão é alterado, onde a queda do número de casos ocorre em novembro, mês onde a precipitação é mais elevada e seguida juntamente por altas temperaturas.

Figura 91 - Gráfico para análise de sazonalidade anual, Distrito Federal 2007 – 2014



Nos anos de 2007, 2008 e 2009 são apresentadas dinâmicas comparáveis, pois quando há uma diminuição da precipitação em fevereiro e março, há um aumento no número de casos no mês de abril e maio. Porém, em 2009 houve um novo aumento de casos em novembro, que pode ter uma relação com o pico de precipitação e temperatura ocorrido no mês anterior, outubro.

Em 2010 houve um veranico no mês de fevereiro, que pode ter promovido o impulso repentino no número de caso, pois em março houve um aumento na precipitação e já no mês seguinte é apresentada uma queda nos casos notificados.

Tabela 4 - Taxa de Incidência anual da dengue (Número de casos para cada 100 mil habitantes)

Ano	Taxa de Incidência
2007	34,71
2008	45,41
2009	25,41
2010	575,06
2011	110,50
2012	50,70
2013	430,75
2014	442,31

Fonte: SES-DF, IBGE, 2010.

Os anos de 2011 e 2012 seguem o mesmo padrão dos anos não epidêmicos, apresentando um aumento de casos no primeiro e segundo trimestre do ano e uma queda no inverno seco. Já em 2013 e 2014, há novamente um aumento no número de casos no primeiro trimestre chuvoso do ano, porém em 2014 há um pico em novembro, mês que teve um aumento na temperatura em relação a dezembro e outubro.

É importante destacar que nos anos epidêmicos de 2013 e 2014 a queda brusca no período do inverno, não é tão acentuada quanto aos demais anos até mesmo o ano epidêmico de 2010.

Também é relevante frisar que no último trimestre chuvoso do ano, ou seja, outubro, novembro e dezembro, há certa estabilidade no número de casos em relação aos meses secos.

ANÁLISE COMPARATIVA DA TAXA DE INCIDÊNCIA E TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO DISTRITO FEDERAL

É importante destacar que a temperatura extraída a partir de imagens de satélite, retrata um recorte tempo-espacial da temperatura radiométrica ou temperatura aparente, ou seja, é a concentração do fluxo radiante que sai de um objeto. Esses valores podem apresentar similaridade ou não com os valores da temperatura do ar, ou seja, a temperatura cinética, porém a temperatura da superfície é sensível ao albedo do material que recebe a radiação eletromagnética e sua posição geográfica.

Por exemplo, a umidade presente em um solo molhado reduz o albedo em comparação ao solo seco, assim a sua capacidade de absorver energia e de remissão posterior de calor sensível é maior. Se essa superfície possuir uma rugosidade maior, a temperatura tende a ser menor, pois maiores são as áreas de sombra (BAPTISTA, 2012).

Dessa forma, a temperatura da superfície pode representar uma variável importante no entendimento da dengue, sobretudo no seu desenvolvimento ao longo do tempo e sua dispersão no espaço. Para tal, foram utilizadas imagens de dois meses de cada ano da série temporal, devido à cobertura de nuvens limitando assim a utilização de imagens para uma análise anual. Em seguida foi especializada a taxa de incidência referente ao mês da imagem e em seguida a comparação da temperatura da superfície das áreas que apresentaram uma taxa de incidência igual ou maior a 300 casos por 100.000 habitantes.

Ao analisar a temperatura da superfície e a taxa de incidência dos meses referentes às imagens usadas, figura 10 e 11, foi identificado um padrão na temperatura da superfície das áreas que apresentaram uma maior taxa de incidência, sobretudo nos anos epidêmicos de 2010, 2013 e 2014.

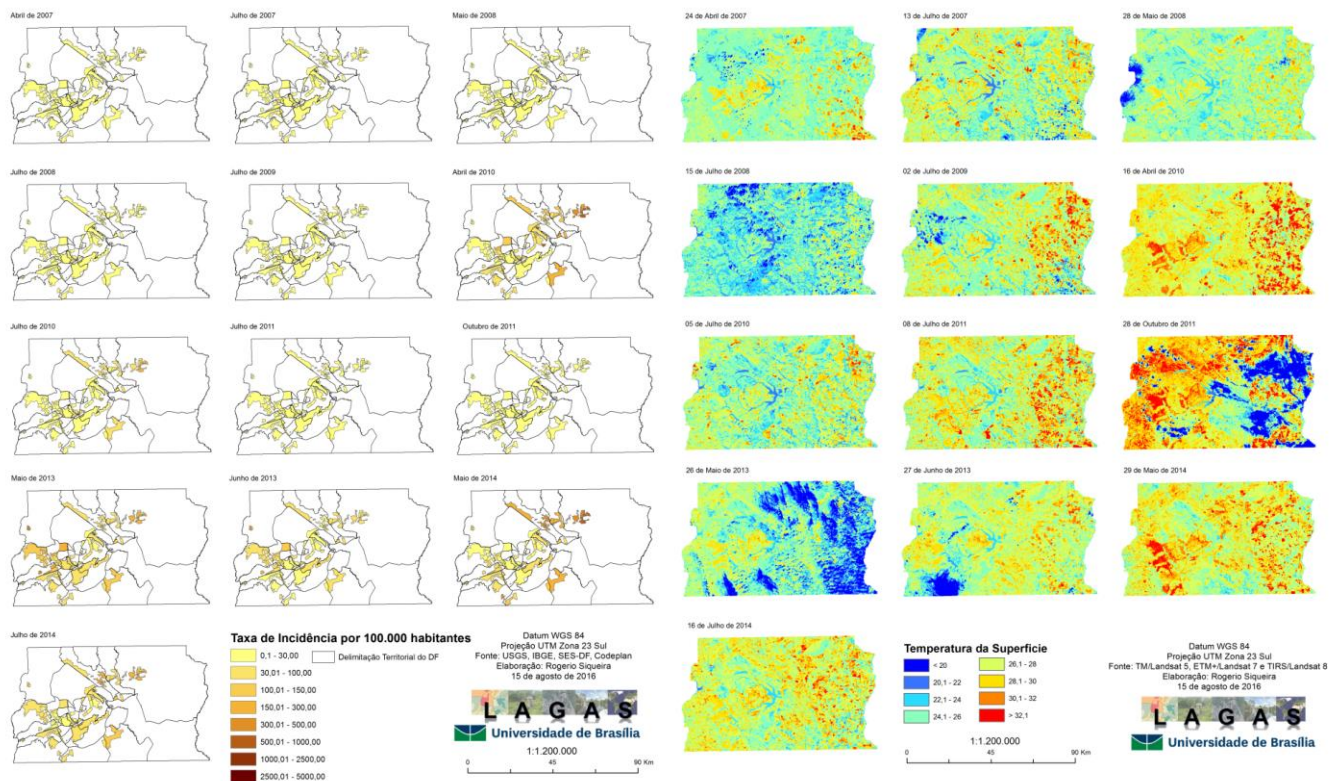


Figura 10 - Taxa de incidência dos meses referentes às imagens de temperatura da superfície

Figura 11 - Temperatura da Superfície de 2007 a 2014

No mês de abril de 2010 foram notificados 2.195 casos, ao espacializá-los a partir da taxa de incidência, foi possível identificar que as áreas de abrangência Centro de Saúde 15, situada na Vila Planalto, a Centro de Saúde 01 de Planaltina e o Posto de Saúde Rural Rajadinha em Planaltina, apresentaram as maiores taxas. Essas áreas apresentaram uma temperatura superficial média entre 30 a 34 °C, exceto a área rural PSR Rajadinha, que apresentou uma temperatura mais amena de 26 a 32°C, devido à quantidade de vegetação presente na área rural.

Ainda no mês de abril todas as áreas de abrangência situadas na zona urbana de Planaltina apresentaram taxa de incidência acima de 300 casos por 100.000 habitantes, indicando que são áreas de risco de contaminação da doença. Enquanto que em julho de 2010 essas áreas não apresentaram uma taxa elevada, pois nenhuma outra área apresentou uma taxa igual ou acima de 300 casos por 100.000 habitantes.

Em 2013, durante o mês de maio, as áreas que apresentaram as maiores taxas estão situadas no oeste do Distrito Federal, Centro de Saúde 01 e Centro de Saúde 02 de Brazlândia, Centro de Saúde 03 de São Sebastião, Posto de Saúde Rural Boa Esperança na Ceilândia e Posto de Saúde Rural de Queima Lençol na Fercal. Em todas as áreas de abrangência a temperatura da superfície manteve um padrão de 26 a 30°C, até mesmo nas áreas rurais, onde a temperatura deveria ser mais amena devido a vegetação presente na área.

Ainda em 2013, porém em junho, a área de abrangência do Centro de Saúde 03 de São Sebastião e do Posto de Saúde Rural Boa Esperança permanecem com um alto índice de incidência da dengue, entretanto, nenhum das áreas ultrapassa a taxa de 300 casos por 100.000. Mantendo assim a baixa de casos, conforme mostrado na sazonalidade da doença.

Já em maio de 2014, mês com o maior número de casos, doze áreas de abrangência apresentaram taxas acima de 300. Porém a PSR Queima Lençol, se destacou perante as demais áreas rurais, pois apresentou uma taxa de 6.675,57 casos por 100.000 habitantes.

Esse número elevado ocorreu devido à área de abrangência estar situa em uma zona rural, onde a densidade populacional é baixa e a área apresentou uma alta de casos nesse mês. Outro fato importante que deve ser levado em consideração é a proximidade entre a área rural e a área urbana, promovendo assim um dinamismo de fluxo de trabalhadores que moram nas áreas rurais e trabalham nas áreas urbanas. Isso mostra que no Distrito Federal a dengue não é um problema exclusivamente urbano, mas também um problema de saúde rural.

Novamente, no mês de julho, as áreas rurais apresentaram as maiores taxas de incidência de casos de dengue, mostrando que houve uma permanência da incidência da doença. Já em relação da temperatura da superfície, mantiveram um padrão de 28 a 32 °C.

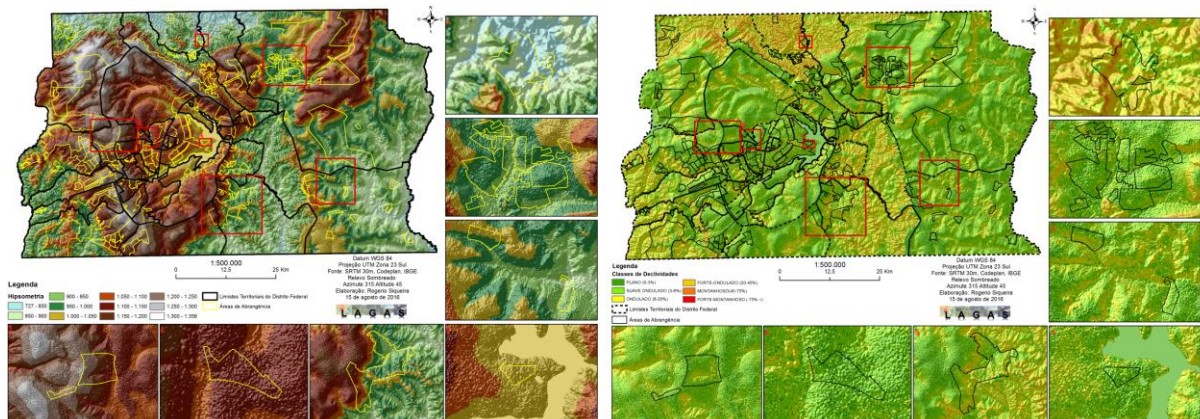
ANÁLISE DO RELEVO DO DISTRITO FEDERAL E SUA RELAÇÃO ENTRE DENGUE

Características presentes no relevo, como altitude e declividade, agem como barreiras que impedem o espalhamento da dengue para outras regiões (CATÃO, 2016). Todavia, essas barreiras podem promover o “isolamento” da doença acentuando a atuação em determinada região.

Esse tipo de barreira é conhecido como estrutural, ou seja, esse tipo de determinante pode demorar períodos geológicos para ser rompido. Por outro lado, também existe a barreira conjuntural, na qual se restringe a uma escala geográfica restrita, como por exemplo, uma escala local (CATÃO, 2016). A barreira conjuntural é mais sensível a alterações que variam em um curto espaço de tempo, como a alteração de precipitação de um mês mais chuvoso para um mês mais seco.

Segundo Catão (2016), há um consenso na literatura em relação à limitação dos vetores acima de mil metros. Entretanto, conforme Braga e Valle (2007) a presença do vetor já foi encontrada em alturas acima de 2000 metros, na Índia e na Colômbia. Assim, de acordo com a figura 12 é possível identificar que há áreas de abrangência que se destacaram com sua elevada taxa de incidência e estão acima de mil metros.

Figura 12 - Mapa hipsométrico e de Declividade do Distrito Federal destacando as sete áreas de abrangência que tiveram a maior taxa de incidência



- 1) PSR Queima Lençol;
- 2) CS 01, 03, 04 e 05 Planaltina;
- 3) PSR Cariru;
- 4) CS 15 Brasília;
- 5) CS 01 São Sebatião;
- 6) CS Estrutural e;
- 7) CS 01 Taguatinga.

Portanto, para poder identificar possíveis barreiras estruturais de isolamento no DF foram escolhidas, a partir da análise temporal da taxa de incidência, áreas de abrangência que sempre se destacaram em relação à taxa de incidência de dengue.

Ao observar o contexto hipsométrico das áreas de abrangência em evidência, é possível distinguir dois padrões distintos. As áreas de abrangência que estão a leste do DF (PSR Queima Lençol, CS 01, 03, 04 e 05 de Planaltina, PSR Cariru, e CS 01 de Brasília) encontram-se em altitude de 850 a

1.000 metros. Já as áreas de abrangência a Oeste (CS 15 de Brasília, CS Estrutural e CS 01 de Taguatinga) estão em regiões altimétricas que variam de 1.000 a 1.300 metros.

As áreas de abrangência a leste estão situadas em áreas onde condicionam o acúmulo de água, principalmente em vales, devido a sua posição geográfica e formato topográfico.

Com isso, a alta taxa de incidência presente nas áreas de abrangência urbanas de Planaltina pode estar relacionada com a sua posição geográfica, pois é uma região de drenagem cercada por duas regiões topográficas elevadas que é Chapada da Contagem e Chapada do Pipiripau (PINTO, 1994). Porém, cabe ressaltar que o relevo por si só não explica o porquê da variação entre taxas de incidência entre áreas de abrangência urbanas em Planaltina.

Diante de todas as áreas a oeste, sobretudo as que estão nos níveis topográficos mais altos, divisores de água, e até mesmo no centro dissecado do domo de Brasília, somente três áreas se destacaram, CS 15 de Brasília, CS da Estrutural e CS 01 de Taguatinga. A razão pela qual a taxa de incidência é elevada pode estar relacionada com a dinâmica da região urbana e o tipo de uso e ocupação do solo da área de abrangência ou da sua vizinhança.

Por exemplo, a área CS 15 de Brasília situada na Vila Planalto é cercada por clubes, propriedades onde há piscinas e o próprio lago Paranoá. Essas áreas podem contribuir para o desenvolvimento do vetor e promover a dispersão da dengue. A incidência na CS Estrutural pode estar relacionada com o saneamento básico da cidade e o lixo próximo à área urbana. Já a da CS 01 de Taguatinga pode estar relacionada com o saneamento básico, estrutura urbana ou a própria dinâmica da cidade, na qual é constante o fluxo de pessoas.

Ao verificar a descrição do relevo a partir das classes estabelecidas pela EMBRAPA (1979), é possível identificar que de maneira geral as áreas de abrangência estão em regiões que variam de plano (0-3%) a ondulado (8 a 20%). É compreensível que as áreas de abrangência estejam entre essas classes, devido o relevo ser um fator decisivo para o desenvolvimento da mancha urbana.

Contudo, somente a PSR Queima Lençol apresentou declividades acentuadas, variando de 20% a acima de 75%, compondo o relevo de forte-ondulado a forte-montanhoso.

Esse tipo de relevo está relacionado com a caracterização geomorfológica da área, que segundo Pinto (1998) classifica a região como vale dissecado, corroborando a ideia de que o aumento da taxa de incidência da região pode também ter relação com áreas de acúmulo de água.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados mostram que a compreensão da dinâmica da dengue é complexa e que ao confrontá-la com os diversos elementos do espaço geográfico, foi possível identificar diferentes resultados que ora convergem a repostas expostas na literatura e ora divergem de repostas dispostas na literatura.

Foi possível identificar que no DF ao longo da série temporal há áreas de abrangência que frequentemente apresentaram tantos valores elevados referentes a taxas de incidência, quanto a número de casos, dentre elas PSR Queima Lençol na Fercal, o CS 01, 02, 03, 04 e 05 em Planaltina, PSR Cariru em Planaltina, CS 15 na Vila Planalto, CS 01 em São Sebastião, CS Estrutural na Estrutural e CST 01 em Taguatinga.

Também foi possível identificar que há populações situadas em áreas de abrangência em regiões rurais que estão sob risco de contaminação devido a sua taxa de incidência da dengue elevado. Isso contrapõe a ideia de a dengue ser uma doença quase exclusiva das áreas urbanas. Favorecendo assim a futuras pesquisas explorar eixos de mobilidade entre o rural e urbano, pois devido à proximidade dessas áreas no DF é possível que tenha influência no aumento de casos nas áreas rurais.

Os dados de precipitação e temperatura foram fundamentais para entender a sazonalidade da dengue ao longo do tempo, mostrando que a precipitação e temperatura podem ser elementos cruciais e limitantes para o desenvolvimento do mosquito e assim aumentar o número de casos da dengue. Assim, pode-se ver que em determinados anos, como em 2010, a presença de veranicos no mês de fevereiro, pode ter influência positiva no impulso repentino do número de casos e alongando o período de acasos durante o inverno, diferente do que foi identificado nos anos não epidêmicos. Também foi possível constatar que a epidemia continua a ter um elevado número até mesmos no

período seco, indicando a permanência da circulação do vírus mesmo em período pouco propício para o vetor. Esse fato pode estar relacionado com as questões de armazenamento de água pela população.

A utilização da temperatura da superfície a partir de imagens de satélite foi importante para identificar padrões de temperatura de forma contínua das áreas de maior incidência em meses específicos, e também ter uma ideia de que as ilhas de calor urbano podem ter influência no desenvolvimento da dengue, porém para confirmar tal afirmativa é necessário utilizar de técnicas mais sofisticadas, como por exemplo, transecto móveis para a detecção de ilhas de calor urbano e assim relacionar com casos de dengue.

Em relação às imagens de satélite é importante ressaltar que há uma limitação nesse tipo de dado, devido o projeto LANDSAT disponibilizar imagens orbitais de temperatura em uma resolução temporal não satisfatória para esse tipo de estudo.

A partir da hipsometria foi possível identificar que as altas taxas de incidência das áreas de abrangência situadas na área urbana de Planaltina podem estar relacionadas com a sua posição geográfica e sua feição geográfica, pois é uma região de drenagem e cercada por duas regiões topograficamente elevadas. Porém, mais especificamente em Planaltina em determinados anos há áreas de abrangência que apresentam uma baixa taxa de incidência e que estão vizinhas de áreas com uma elevada taxa de incidência.

Isso mostra que para uma melhor compreensão da dinâmica da dengue é necessário uma análise complexa de diversas variáveis, prezando a relação social/econômico e ambiental/paisagem.

Agradecimentos

A Secretária de Saúde do GDF; ao CNPq; ao Laboratório de Geografia, Ambiente e Saúde (LAGAS) do Departamento de Geografia da Universidade de Brasília (UnB); ao JEAI-GITES (Jovem Equipe Associada ao IRD - Gestão, Indicador e Território: Ambiente e Saúde no Brasil) e ao LMI-OSE (Laboratório Misto Internacional de Mudanças Ambientais) financiados pelo IRD (Institut de Recherche et Développement) e a UnB; e ao Núcleo e Medicina Tropical (NMT) da UnB pelo apoio ao desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

BAPTISTA, Gustavo M. de M. 2012. Sensores Imageadores na Faixa do Termal (8 - 14 μ m). In: MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati (Org.). **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília.

BRAGA, Ima Aparecida; VALLE, Denise. *Aedes aegypti*: inseticidas, mecanismos de ação e resistência. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 16, n. 4, p. 179-293, 2007.

CATÃO, Rafael de Castro et al. Análise da distribuição do dengue no Distrito Federal. **Espaço & Geografia**, v. 12, n. 1, p. 81-103, 2009. Disponível em: <<http://www.lsie.unb.br/espacoegeografia/index.php/espacoegeografia/article/view/97/122>>. Acesso em: 30 Mai. 2016

CATÃO, Rafael de Castro. **Expansão e consolidação do complexo patogênico do dengue no estado de São Paulo: difusão espacial e barreiras geográficas**. 2016. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, campus de Presidente Prudente.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro: 1979. 83p. (Embrapa-SNLCS. Micelânea, 1).

FERNANDES, Rosilainy Surubi et al. CLIMA E CASOS DE DENGUE EM TANGARA DA SERRA. **Hygeia: Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, v. 8, n. 15, 2012.

FORATTINI, Oswaldo Paulo. Culicidologia médica: identificação, biologia e epidemiologia: v. 2. In: **Culicidologia médica: identificação, biologia e epidemiologia: v. 2**. EDUSP, 2002.

FUENZALIDA, M.; BUZAI, G. D.; GARCÍA DE LEÓN, A. **Geografía, Geotecnología y Análisis Espacial: Tendencias, métodos y aplicaciones**. 2015.

GALLI, B.; CHIARAVALLI NETO, F. Modelo de risco tempo-espacial para identificação de áreas de risco para ocorrência de dengue. **Revista de Saúde Pública**, v. 42, n.4, p. 656-663, 2008.

GONÇALVES NETO, V. S.; REBÊLO, J. M. M. Aspectos epidemiológicos do dengue no Município de São Luís, Maranhão, Brasil, 1997-2002. **Caderno de Saúde Pública**, v. 20, n. 5, p.1424-1431, 2004.

JESUS, Emanuel Fernando Reis de. Interface entre a Climatologia e a Epidemiologia: uma abordagem geográfica. **GeoTextos**, v. 6, n. 2, 2011.

LENTZ, Jennifer. **Spatial Autocorrelation Statistics**. 2009. Disponível em: <<http://jenniferlentz.info/Teaching/StudyGuides/SpatialAutocorrelation.pdf>>. Acesso em: 29 set. 2016.

OLIVEIRA, C. L.; BIER, V. A.; MAIER, C. R.; RORATO, G. M.; FROST, K. F.; BARBOSA, M. A. Incidência da dengue relacionada às condições climáticas no município de Toledo – PR. **Arquivos de Ciências saúde UNIPAR**, n. 11, v.3, p. 211-216, 2007.

PINTO, M. N. Caracterização geomorfológica do Distrito Federal. In: PINTO, M. N. (Org.). **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. 2. Ed. Rev.ampl. Brasília: UnB: SEMATEC, 1994. Cap.9, p.285 – 344.

SOUSA, N. M. N.; DANTAS, R. T.; LIMEIRA R. C. Influência de variáveis meteorológicas sobre a incidência do dengue, meningite e pneumonia em João Pessoa-PB. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 2, 183-192, 2007.

SOUZA, V. Wayner et al. 2007. **Introdução à estatística espacial para a saúde pública**. Brasília: Ministério da Saúde/Fundação Oswaldo Cruz.

VALERIANO, M. M. 2004. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do sul**. São José dos Campos, INPE, 2004, 72 p. (INPE-10550-RPQ/756). Disponível em:<http://iris.sid.inpe.br:1912/col/sid.inpe.br/sergio/2004/06.30.10.57/doc/publicacao.pdf>