

EPIDEMIOLOGIA E SAÚDE PÚBLICA

Marcelo de Paula Corrêa

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

24.1 Introdução

O potencial de aplicação das técnicas de sensoriamento remoto para estudos epidemiológicos tem sido destacado desde o princípio dos anos 1970 (Cline, 1970). No entanto, apesar de quase meio século do uso de satélites meteorológicos para os mais diversos fins, a utilização efetiva destas ferramentas para inferência de parâmetros ambientais relevantes para a saúde pública é relativamente recente. Mesmo assim, a importância dos satélites para melhoria da descrição e previsão, temporal e espacial, de endemias e epidemias já é assunto amplamente difundido na literatura (Hay, 1997, 2000; Hay et al., 1997; Beck et al., 2000; Goetz et al., 2000). Estes e outros trabalhos destacam aplicações de produtos de satélites para estudo de doenças como, por exemplo: malária, dengue, febre amarela, leishmaniose, encefalite, esquistossomose, dentre outras. Estas aplicações geralmente estão voltadas ao mapeamento dos vetores e da propagação da doença em relação às variáveis ambientais como, por exemplo, o índice de vegetação, a precipitação, a umidade do ar e a temperatura.

A fim de justificar o uso dos satélites ambientais como importante ferramenta na compreensão da evolução e ocorrência de determinadas doenças, o capítulo se inicia com um resumo sobre o impacto econômico e social das mesmas. Nas seções subseqüentes são mostrados, de maneira resumida, exemplos de algumas das aplicações de produtos de satélites e as possíveis contribuições das imagens do sensor MODIS. Devido à grande abrangência do tema, torna-se difícil explorá-lo com a devida profundidade. Deste modo, o leitor dispõe de um significativo levantamento bibliográfico que possibilita a consulta de informações mais detalhadas sobre a aplicação de produtos de satélites ambientais na área de epidemiologia e saúde pública.

24.2 Satélites ambientais para estudos relacionados à saúde das populações: impacto social e econômico das epidemias

A ocorrência de uma epidemia exerce um impacto marcante sobre a economia e a saúde das populações, principalmente em países que não contam com a infraestrutura adequada para o seu combate. Um exemplo expressivo pode ser dado com a malária que ocorre principalmente em países pobres da África e do sudeste Asiático (**Figura 24.1**). Antes de uma discussão sobre as implicações econômicas, é importante destacar o impacto social gerado pela doença. Cerca de 300 a 500 milhões de casos clínicos de malária são diagnosticados todo ano, resultando na morte de um a três milhões de pessoas, principalmente crianças. Isto significa que a cada 40 segundos uma criança morre de complicações decorrentes desta doença, provocando uma perda diária de mais de 2.000 vidas. Com base nestes números, economistas chegaram à conclusão de que a malária é a responsável direta por uma substancial diminuição, de até 1,3%, no crescimento econômico de alguns países africanos (Sachs e Malaney, 2002). Os custos do tratamento da malária, assim como de qualquer outra epidemia, incluem a combinação de uma série de despesas pessoais e públicas. Entre as despesas pessoais podem ser incluídas, além dos custos de tratamento e medicamentos, aquelas relativas ao combate direto ao mosquito, como a compra de inseticidas, repelentes e telas de proteção. No caso das despesas públicas, os gastos englobam a infra-estrutura de hospitais, a distribuição de medicamentos e a organização e realização de campanhas de conscientização e prevenção. Deve ser lembrado que ainda existem os gastos indiretos, como aqueles associados às baixas de produtividade relacionadas ao afastamento ou morte de trabalhadores doentes, além de impactos sobre o turismo e os investimentos nas áreas afetadas. Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), em alguns países que apresentam grandes epidemias de malária, os gastos com o combate à doença chegam a consumir até 40% do total destinado às despesas com saúde pública.

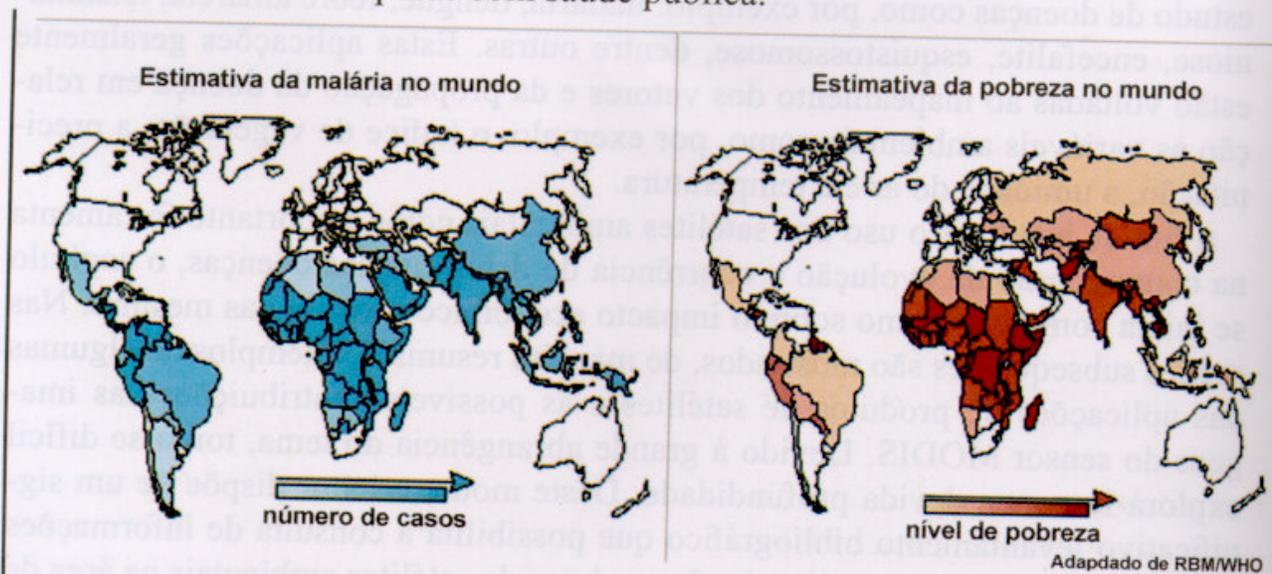


Figura 24.1 - Relação entre malária e pobreza no mundo (Fonte: adaptado de WHO, 2005).

No Brasil, os casos de malária têm sido notificados somente na região da Amazônia Legal. As ações de controle da malária no país têm alcançado resultados positivos, com atenuação significativa dos danos produzidos pela doença. Entre 1999 e 2004 houve diminuição do número de casos, internações e de óbitos por malária, além da redução do número de municípios considerados de alto risco, ou seja, aqueles que apresentam IPA (Incidência Parasitária Anual) acima de 49,9 casos/1.000 habitantes. De qualquer forma, a incidência da doença na Amazônia continua elevada com um IPA de 19,9/1.000 em 2004, prejudicando o nível de saúde da população e o desenvolvimento socioeconômico da região (Ministério da Saúde, 2005).

É impossível se falar de epidemias no Brasil sem citar a dengue, um dos principais problemas de saúde pública no mundo. A OMS estima que, com exceção da Europa, entre 50 a 100 milhões de pessoas se infectem anualmente em mais de 100 países de todos os continentes. Dentre os enfermos, cerca de 550 mil doentes necessitam de hospitalização e 20 mil morrem em consequência da dengue. No Brasil, a epidemia atingiu seu pico em 2002, com o diagnóstico de quase 800 mil casos e a morte de 150 pessoas devido à sua forma hemorrágica (**Figura 24.2**). Apesar da diminuição observada nestes últimos anos, é importante que análises dos fatores ambientais e geográficos sejam realizadas para que sejam avaliadas as possibilidades de ocorrências de novas epidemias. Neste tipo de estudo as imagens de satélites têm um papel fundamental, principalmente em países que não contam com infra-estrutura necessária para observações desta natureza.

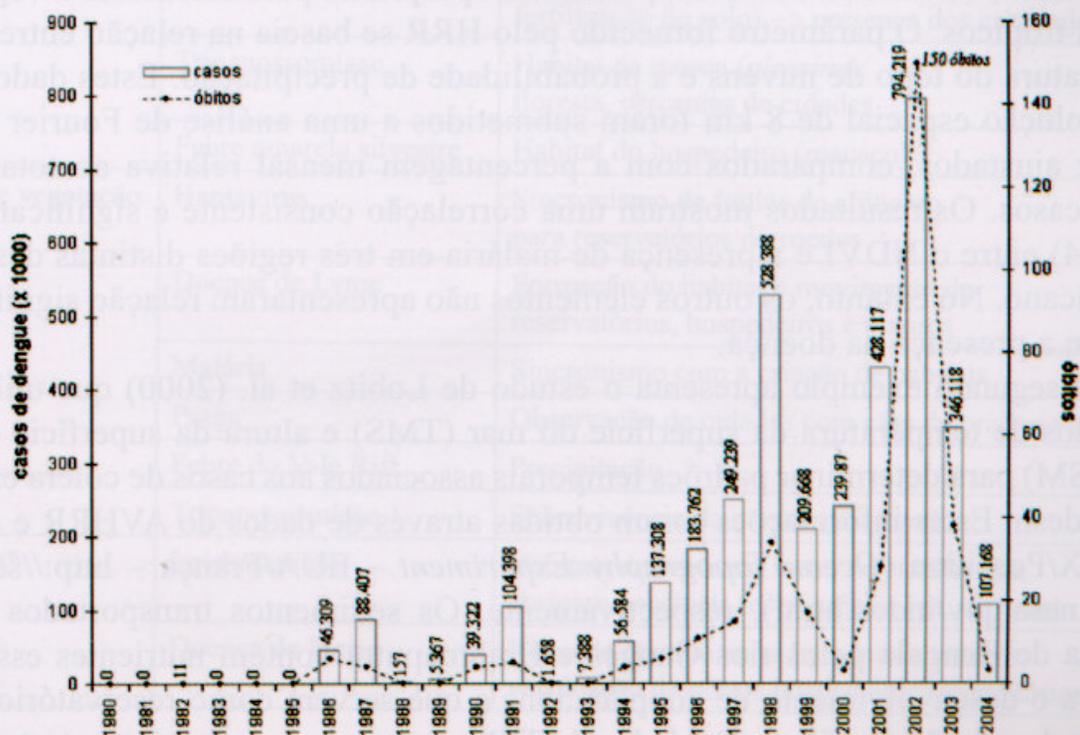


Figura 24.2 - Casos e óbitos decorrentes da dengue no Brasil (1980-2004).

Diante dos exemplos apresentados, torna-se evidente a necessidade de estudos que objetivem o combate maciço às epidemias, beneficiando diversos setores da sociedade, da saúde pública e da economia.

24.3 Exemplos de aplicações dos satélites ambientais para estudos epidemiológicos

Os dados de satélites ambientais podem ser utilizados em aplicações de estudos epidemiológicos, pois cobrem áreas remotas sobre os oceanos e continentes. Deste modo, contribuem para uma melhor compreensão e para a quantificação de fenômenos e parâmetros relevantes para a avaliação do desenvolvimento e deslocamento de doenças transmissíveis. Na **Tabela 24.1** são apresentados exemplos da relação entre fatores passíveis de observação por satélites de sensoriamento remoto e suas relações com uma série de doenças epidemiológicas.

A combinação dos fatores mostrados na **Tabela 24.1** fornece elementos importantes para a avaliação e a previsão de epidemias. Através dos exemplos a seguir, pode-se ter um breve panorama deste tipo de aplicações. Hay et al. (1998), apresentam um estudo com dados dos sensores AVHRR do satélite NOAA e do HRR (*High Resolution Radiometer*) do satélite Meteosat (*European Meteorological Satellite*) para previsão de temporadas de ocorrência de malária no Quênia. Foram realizadas tentativas para correlacionar o número de casos mensais de malária com dados do AVHRR (valores de NDVI, temperatura da superfície e radiância na banda do IVM) e da banda 2 do HRR (duração de ocorrência de nuvens frias). O NDVI e a temperatura da superfície, geralmente, tem boa correlação com o desenvolvimento do vetor e a disseminação da doença. A banda do IVM sofre menor atenuação atmosférica em relação bandas VIS e IVP e, portanto, é utilizada como um parâmetro apropriado para monitorar a vegetação nos trópicos. O parâmetro fornecido pelo HRR se baseia na relação entre a temperatura do topo de nuvens e a probabilidade de precipitação. Estes dados, com resolução espacial de 8 km foram submetidos a uma análise de Fourier e, uma vez ajustados, comparados com a percentagem mensal relativa ao total anual de casos. Os resultados mostram uma correlação consistente e significativa ($r = 0,84$) entre o NDVI e a presença de malária em três regiões distintas deste país africano. No entanto, os outros elementos não apresentaram relação significativa com a presença da doença.

O segundo exemplo apresenta o estudo de Lobitz et al. (2000) que utilizaram dados de temperatura da superfície do mar (TMS) e altura da superfície do mar (ASM) para determinar padrões temporais associados aos casos de cólera em Bangladesh. Estas informações foram obtidas através de dados do AVHRR e do TOPEX/Poseidon (*Ocean Topography Experiment* – EUA/França – <http://sealevel.jpl.nasa.gov/index.html>), respectivamente. Os sedimentos transportados para a baía de Bengala pelos rios Ganges e Brahmaputra contêm nutrientes essenciais para o desenvolvimento de zooplânctons e que servem como reservatórios naturais do vibrião da cólera. Os dados de TSM estão relacionados à concentração de fitoplâncton, cuja fonte de alimentação é o zôoplancton e, portanto, altamente

correlacionada com a presença destes. Os dados de ASM podem ser relacionados à maior possibilidade de contato entre seres humanos e o plâncton. Os resultados deste estudo apontaram para uma forte correlação entre as epidemias de cólera, anomalias positivas de TSM e baixos níveis de ASM. O trabalho propõe também o uso de imagens do sensor SeaWifs para avaliação dos conteúdos de clorofila na região.

Tabela 24.1 - Relações potenciais entre doenças e fatores passíveis de observação por satélites de sensoriamento remoto. (Fonte: adaptado de Beck et al., 2000)

Fator	Doença	Oportunidade para verificação/ observação de:
Vegetação / Tipo de cultura	Doença de Chagas	Floresta seca e degradada, habitat para barbeiros
	Hantavírus	Fonte de alimentação para hospedeiros/reservatórios
	Leishmaniose	Florestas densas é o habitat para vetores e reservatórios
	Doença de Lyme	Fontes de alimentação e habitat para hospedeiros/reservatórios
	Malária	Habitat de reprodução, descanso e alimentação; uso de pesticidas → resistência para o vetor
	Praga	Presença de cães da pradaria e outros reservatórios
	Esquistossomose	Áreas agrícolas (uso de fezes para fertilização do solo) → presença dos caramujos
	Tripanossomíase	Habitat da mosca (<i>glossina</i>): floresta, cercanias de cidades
	Febre amarela silvestre	Habitat do hospedeiro (macaco)
Índice de vegetação	Hantavírus	Sincronismo de fontes de alimento para reservatórios do roedor
	Doença de Lyme	Formação do habitat e movimento de reservatórios, hospedeiros e vetores
	Malária	Sincronismo com a criação de habitats
	Praga	Observação de cidades com cães da pradaria
	Febre do Vale Rift	Precipitação
	Tripanossomíase	Sobrevivência da mosca (<i>glossina</i>)
Ecotones*	Leishmaniose	Habitats dentro e em torno de cidades que abrigam possíveis reservatórios (ex. raposas)
	Doença de Lyme	Risco de contato entre humanos e vetores; verificação de outros hospedeiros/reservatórios

**Ecotone* é a interface (zona de transição) entre dois ecossistemas distintos. Por exemplo, floresta e pasto.

anlncanãas eáia eronããmianã

Tabela 24.1 - Relações potenciais entre doenças e fatores passíveis de observação por satélites de sensoriamento remoto. (Fonte: adaptado de Beck et al., 2000) (continuação)

Fator	Doença	Oportunidade para verificação/ observação de:
Desflorestamento	Doença de Chagas	Avanço da urbanização em áreas endêmicas
	Malária	Criação de habitats (vetores que requerem luz solar)
		Destruição de habitats (vetores que requerem locais sombreados)
	Febre amarela silvestre	Migração de trabalhadores infectados para florestas habitadas por vetores
Migração de reservatórios da doença (macacos) a procura de novos habitats		
Restos de floresta	Doença de Lyme	Condições para habitat de cervos e outros hospedeiros/reservatórios
	Febre amarela silvestre	Habitat de reservatório (macaco), rotas de migração
Florestas inundadas	Malária	Habitat do mosquito
Alagamentos	Malária	Habitat do mosquito
	Febre do vale Rift	Alagamento de bambuzais, formação de habitats para vetores (mosquitos)
	Esquistossomose	Formação de habitats para caramujos
	Encefalite de St. Louis	Formação de habitats para mosquitos
Águas permanentes	Filariose	Vibrião do cólera associado a regiões não litorâneas
	Malária	Habitat do mosquito
	Oncocercose	Habitat do mosquito
	Esquistossomose	Habitat do caramujo
Áreas pantanosas	Filariose	Habitat de crescimento dos mosquitos
	Malária	Habitat de crescimento dos mosquitos
	Oncocercose	Habitat para larvas do mosquito
	Esquistossomose	Habitat do caramujo
Umidade do solo	Helminíase	Habitat da minhoca
	Doença de Lyme	Habitat do carrapato
	Malária	Habitat de crescimento dos mosquitos
	Esquistossomose	Habitat do caramujo

Tabela 24.1 - Relações potenciais entre doenças e fatores passíveis de observação por satélites de sensoriamento remoto (Fonte: adaptado de Beck et al., 2000). (continuação)

Fator	Doença	Oportunidade para verificação/ observação de:
Bandas	Malária	Habitat de crescimento dos mosquitos na estação seca; lagoa; águas paradas
	Oncocercose	Habitat para larvas do mosquito
	Esquistossomose	Habitat do caramujo
Presença humana	Diversas doenças	Fonte de pessoas infectadas; populações em risco de transmissão
Padrões urbanos	Doença de Chagas	Moradias que servem como habitat do barbeiro
	Dengue	Habitat do mosquito urbano
	Filariose	Habitat do mosquito urbano
	Leishmaniose	Condições das moradias
Cor do oceano (marés vermelhas)	Cólera	Florescer do fitoplâncton; nutrientes, sedimentos
Temperatura da superfície do mar	Cólera	Florescer do plâncton (água fria ascendente no ambiente marinho)
Altura da superfície do mar		Movimento de águas contaminadas terra adentro pelas marés

O último exemplo mostra o uso de imagens do ASTER e do Ikonos com resoluções espaciais de 15 m e 1 m, respectivamente, para previsão de surtos de esquistossomose. Apesar do caramujo transmissor da doença ser pequeno demais para detecção, mesmo em imagens de alta resolução espacial do Ikonos, o tamanho da população do caramujo pode ser estimado indiretamente através das características de seu habitat. No estudo de Xu et al. (2004) são exploradas as relações entre a cobertura vegetal, o uso da terra e a abundância de caramujos numa região montanhosa de Sichuan na China. Devido à alta densidade populacional e à complexidade geográfica desta região, foram utilizadas imagens do satélite Ikonos para identificação do uso e cobertura do solo, e imagens do sensor ASTER para informações sobre a elevação do terreno. A quantidade de caramujos em grades de 30 m de resolução foi avaliada a partir dos dados tabulados de cobertura e uso do solo. A partir disso, um mapa de densidade de caramujos foi gerado usando um território pré-determinado para cada 200 grupos residenciais. Desta forma, coeficientes de correlação foram obtidos entre a densidade média prevista e aquela observada nos grupos. Através de um modelo estatístico, pôde-se extrapolar a abundância de caramujos em determinados setores da área estudada. A auto-correlação espacial da distribuição dos caramujos foi considerada como um dos fatores possíveis para a calibração do modelo.

Outros exemplos de aplicações de dados de satélites ambientais na área de epidemiologia são encontrados na literatura utilizando imagens com diferentes resoluções espaciais e espectrais. A seguir são discutidas algumas aplicações potenciais do sensor MODIS em estudos de epidemiologia.

24.4 Aplicações do MODIS em estudos epidemiológicos

Os avanços nas resoluções espacial e espectral decorrentes das substanciais melhorias no número e no posicionamento de bandas, calibração radiométrica, correções atmosférica e geométrica, além da disponibilidade de diversos produtos ambientais, formam um conjunto de fatores que proporcionam um grande avanço do MODIS em relação a outros sensores utilizados no estudo de doenças. Por exemplo, em relação ao AVHRR, o maior número de bandas e a melhor resolução espacial podem proporcionar uma melhora significativa na qualidade da informação gerada. Já com o sensor TM do Landsat-5, que apesar de ter uma resolução espacial bem superior à do MODIS, não é possível observar fenômenos de curta duração com a resolução temporal de 16 dias. Todavia, a disseminação de vetores e epidemias pode ser estudada com as três imagens diárias do MODIS a bordo das plataformas Terra e Aqua. Embora outros sensores de média e alta resolução espacial também tenham sido lançados nestes últimos anos, uma série de vantagens aponta para o uso do MODIS em estudos desta natureza. Dentre estas vantagens podem ser ressaltadas a gratuidade das imagens, o foco dos produtos desenvolvidos, o tempo de vida útil do sensor e, principalmente, a incorporação de características dos sensores AVHRR e TM, com bandas centradas em regiões espectrais semelhantes, de modo a proporcionar a continuidade temporal e validação dos dados existentes.

Uma série extensa de dados sobre uma determinada região pode proporcionar uma melhor compreensão dos efeitos da variabilidade meteorológica e climática sobre os ciclos e a dinâmica de uma série de doenças e de seus vetores. Um exemplo disso são os dados fornecidos por imagens AVHRR que têm sido coletadas desde o princípio da década de 1980 e utilizados em boa parte dos estudos nesta área. Neste sentido, os produtos do MODIS possibilitam não só a continuidade destas atividades, mas fornecem dados de melhor qualidade que podem contribuir para a detecção, ou o conhecimento preciso, das formas de disseminação das doenças, taxas de infecção, habitats potenciais de vetores, dentre outros aspectos relevantes ao tema, restritos a uma escala local e imperceptíveis nas imagens AVHRR. Obviamente uma série de dificuldades, relacionadas às diferenças entre os instrumentos como horários de passagem e calibração radiométrica, são encontradas na relação entre os dados de diferentes sensores e precisam ser considerados nestas análises.

Alguns exemplos do uso dos produtos ambientais e climatológicos fornecidos pelo MODIS, complementares aos já amplamente utilizados com o AVHRR e o TM, servem para ilustrar sua aplicabilidade. Por exemplo, é consenso entre os epidemiologistas as relações entre a variação da cobertura vegetal, expressa em termos dos valores de NDVI, com as populações de vetores. No caso do MODIS, um novo produto denominado EVI pode complementar os estudos que se baseiam nas varia-

Considerações finais

Os exemplos apresentados sobre a disseminação de doenças infecciosas em países pobres justificam a importância dos satélites ambientais no estudo da epidemiologia. O sensor MODIS apresenta inovações em termos das suas características espectrais, temporais e radiométricas. Contudo, a principal inovação está na disponibilização de produtos que ampliam as possibilidades do uso de dados sensores remotos orbitais em estudos de epidemiologia. Além disso, permite dar continuidade a estudos que se beneficiam das séries históricas de mais de 20 anos de dados dos sensores TM e AVHRR e que trouxeram diversas contribuições à epidemiologia. A gratuidade das imagens MODIS é outro fator importante, pois a ocorrência de epidemias é mais freqüente em países menos desenvolvidos e com menos recursos para investir em programas de atividades espaciais.