

Sensoriamento Remoto: Uma Análise do Potencial de Contribuição dos Sistemas Geo-Espaciais no mapeamento de Inundações na Amazônia

Thanan Walesza Pequeno Rodrigues¹
Claudio Fabian Szlafsztein¹

¹ Universidade Federal do Pará - UFPA/NUMA
Caixa Postal 66075-900 - Belém - PA, Brasil
twalesza@gmail.com, iosele@ufpa.br

Abstract. The world witnesses natural disasters with catastrophic consequences for humanity. In the Amazon the events are associated with the weather conditions leading to increased volume of river water and hence the flooding of cities whose location is given inappropriately in flood plains. Thus, it is important to have a system to operate in various phases of the disaster, so that subsidize the responsible Government organizations for protecting the population. This is a way to manage the environment so that resources are maintained. Thus, this study aimed to analyze the potential of remote sensing in monitoring flooding in the Amazon and create a decision flow, which could help in choosing a particular sensor to the conditions of the Amazon. The results have been suggested sensors that best fit the characteristics of the region as the optical sensors and high temporal resolution with a large spatial extent, like the microwave sensors which have, in general, independently of weather conditions.

Palavras-chave: remote sensing, flood mapping, sensoriamento remoto, mapeamento de inundações.

1. Introdução

O mundo presencia desastres naturais com consequências catastróficas para a humanidade. Na Amazônia os desastres estão associados à dinâmica externa da Terra, de natureza atmosférica e hidrológica. As inundações das planícies, muitas delas ocupadas desordenadamente pelo Homem e suas cidades, são as mais evidentes (KOBAYAMA et al., 2006).

A utilização de instrumentos de gestão ambiental, planejamento territorial e educação ambiental, podem se mostrar eficientes no gerenciamento de inundações na Amazônia. Neste contexto, as ferramentas e produtos de sensoriamento remoto surgem como alternativas para a obtenção de bons resultados, já que permitem a aquisição de dados de forma rápida e com alta resolução espacial, além de promover a quantificação de fenômenos físicos geográficos associados a movimentos da superfície terrestre (terremotos e movimento de massas), água (tsunamis e inundações), e incêndios. Desde a década de 2000, satélites têm sido lançados com o intuito de prover dados sobre a superfície da Terra e auxiliar na avaliação e predição de riscos naturais (GILLESPIE et al., 2007).

Com isso, este trabalho objetiva analisar produtos e usos de sensoriamento remoto visando o gerenciamento de inundações na Amazônia.

1.1 Localização e caracterização da Área de Estudo

As cidades amazônicas do Brasil e suas peculiaridades em comum são as áreas de estudo. A Amazônia é uma região de grande extensão geográfica e hidrográfica. A bacia do rio Amazonas ocupa uma área aproximada de 7 milhões de km², abrangendo sete países sul-americanos: Brasil, Colômbia, Bolívia, Equador, Guiana, Peru e Venezuela. No Brasil, a Amazônia é integrada pelos estados do Pará, Amazonas, Acre, Amapá, Rondônia, Roraima, e parte do Maranhão, Mato Grosso e Tocantins (figura 1).

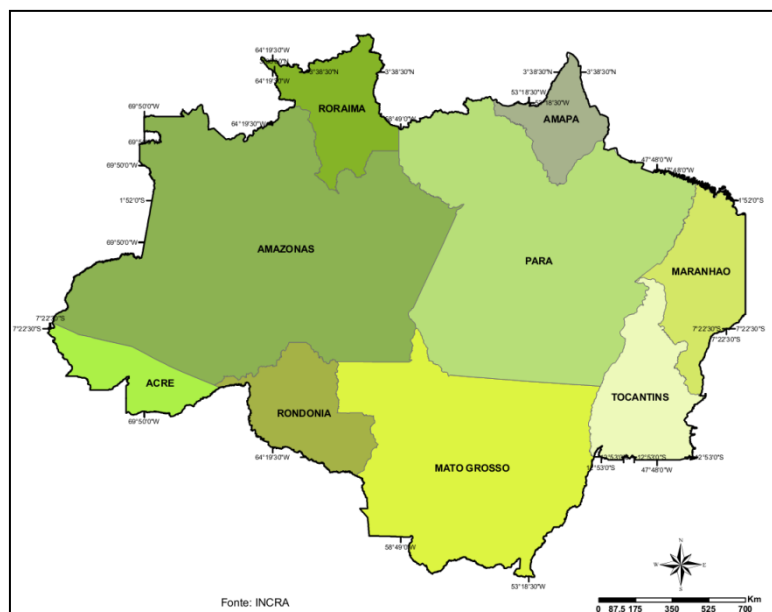


Figura 1. Amazônia Legal.

A bacia amazônica apresenta grandes rios e uma densa rede de drenagem que concentra cerca de 15% das águas doces superficiais em forma líquida do planeta. Seus principais rios, Amazonas, Madeira, Purus, Tapajós e Xingu, ficam as margens de grandes cidades e povoados levando fartura e um meio de subsistência às pessoas que residem e dependem dos rios para viver. O regime fluvial depende dos períodos de seca e enchente, algumas regiões ficam permanentemente inundadas (com exceção dos anos de seca intensa), outras só o são anualmente, enquanto que as regiões de terra firme apenas quando a cheia é excessiva. Essas regiões de terra firme são chamadas de várzeas que diferem das terras firmes, as quais nunca são alagadas (MEIRELLES FILHO, 2006).

M As principais cidades amazônicas foram construídas as margens dos rios visando os benefícios que os rios possibilitam as pessoas ali residentes. No entanto, a falta de um ordenamento territorial e a desordenada urbanização têm gerado a ocupação inadequada dos espaços urbanos (figura 2) em áreas de influencia natural de inundações. Essa ocupação altera a superfície e a canalização do escoamento, impermeabiliza o solo e suprime a vegetação nativa.

Na Amazônia estão os maiores índices de chuvas do continente americano. No Brasil, as taxas mais elevadas estão localizadas no noroeste do Amazonas (3600 mm/ano) e na costa do Amapá (3200 mm/ano). Em relação às estações, a região é marcada apenas pelos períodos chuvosos, que ocorrem entre outubro e março, e seco, que constitui o verão amazônico, abrangendo os meses de abril a setembro. Já em relação à temperatura, a média anual se encontra no intervalo de 26 °C na estação chuvosa e 27,5 °C na estação seca, com variação anual inferior a 2 °C (MEIRELLES FILHO, 2006).

No que tange os aspectos de urbanização, a Amazônia tem evoluído com o aparecimento de cidades de porte intermediário e com a expansão de cidades de pequeno porte, que se localizam nas proximidades das rodovias e dos rios da região.



Figura 2. Cidades amazônicas e sua proximidade com os rios. Fonte: Google Earth.

2. Metodologia de Trabalho

As etapas desta pesquisa (figura 3) foram definidas conforme os tópicos abaixo.

- Pesquisa bibliográfica de trabalhos que utilizaram dados de sensoriamento remoto para atuar no mapeamento de inundações em vários países do mundo.
- Construção de tabela com os principais sensores utilizados para cada momento da gestão de um evento natural.
- Elaboração de um processo de fluxo de tomada de decisão para auxiliar na escolha de um determinado sensor a partir das características supracitadas.

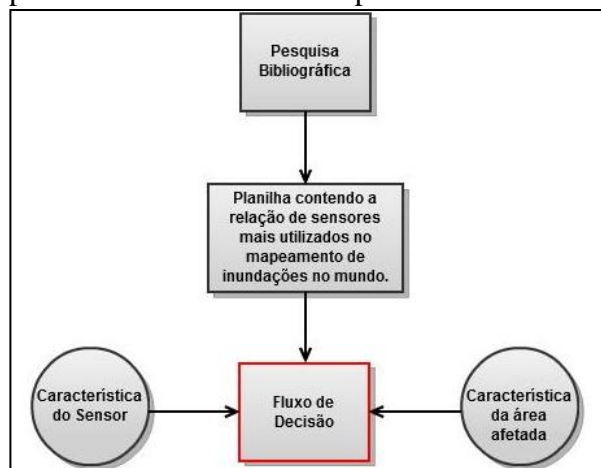


Figura 3. Fluxograma da metodologia aplicada.

3. Resultados

Conforme a sequência metodológica foi considerada características importantes para a geração do fluxograma de decisão, entre elas: atributos dos sensores e do ambiente, que já foram levantadas na descrição da área de estudo, assim como variáveis que contribuem para a vulnerabilidade da região diante de eventos como as inundações.

3.1 Atributos dos Sensores

Existem vários tipos de sensores que variam em função de seus atributos espaciais, radiométricos, temporais e espectrais, assim para cada situação existe uma opção mais adequada para utilizá-los. Desta forma, serão identificados os atributos que auxiliam na escolha dos sensores e suas principais utilidades dentro do contexto das inundações.

Em relação ao *comportamento espectral*, a água apresenta um desempenho peculiar, devido sua interação com a radiação eletromagnética ser limitada a poucos comprimentos de onda. Essa interação vai apresentar dependência com os constituintes biológicos, físicos e químicos da água, como sedimentos em suspensão, pigmentos fotossintetizantes e matéria orgânica dissolvida (BARBOSA et al., 2003). A maior interação com a radiação eletromagnética ocorre na região do visível, no entanto, imagens adquiridas no comprimento de onda do infravermelho e micro-ondas garantem a identificação dos corpos hídricos. Abaixo é possível observar algumas aplicações de sensores em função do comprimento de onda (tabela 1).

Tabela 1. Aplicação das diferentes bandas em função da utilidade.

BANDAS			
Nome	Comprimento de Onda	Utilidade	Sensores
Infravermelho Próximo	0.7-1 μm	Mapeamento de inundações	MODIS
Infravermelho de ondas curtas	0.7-3 μm	Vapor d'água	AIRS
Microondas (radar)	0.1-100 cm	Chuvas	Meteosat, Imageador de microondas (a bordo TRMM)
		Vazão e volume de um rio	AMSR-E
		Mapeamento de inundações e previsão	AMSR-E
		Ventos superficiais	QuickScat radar
		Estrutura de tempestade 3D	Radar para precipitação (a bordo TRMM)

O *tempo de revisita* de um sensor também influencia no monitoramento do evento. Conforme Bakichandra (2006), para determinar a extensão máxima de inundação é importante adquirir dados de satélite correspondentes à data exata do evento no momento em que ocorreu.

A *dimensão da área imageada* determina a viabilidade de sua utilização. Em áreas extensas como a Amazônia é importante considerar a cobertura já que se relaciona com o volume de dados necessários. A tabela 2 verifica que a área imageada apresenta estreita relação com o tamanho do pixel, ou seja, grandes áreas correlacionam-se com pixels maiores, como pode ser observado no caso do sensor MODIS que apresenta resolução, em duas bandas, de 250m. Vale lembrar que essa relação também deve analisar a altitude do satélite, ou seja, quanto maior a altitude do satélite, maior o tamanho do pixel e quanto mais próximo da superfície estiver à plataforma, maior o detalhamento da área.

As imagens de satélite podem ser adquiridas gratuita ou comercialmente. Existem algumas instituições nacionais e internacionais que detêm um acervo de imagens que podem ser obtidas sem nenhum custo. Em contrapartida, as imagens de maior resolução espacial são geralmente pagas, assim como aquelas geradas pelos sensores de radar. No entanto, existem

instituições públicas que firmam parcerias com as instituições de pesquisa e acabam fornecendo esses produtos para fins acadêmicos de forma gratuita.

Em relação à escala, pode ser definida através da relação entre a resolução da imagem e a acuidade visual (a capacidade de discriminação de formas através do olho humano), numericamente estabelecida numa unidade mínima de 0,2 mm. A resolução espacial é responsável pela qualidade de visualização das feições na imagem e à medida que a escala é aumentada, essa qualidade pode ser comprometida. Dessa maneira, devem-se respeitar as limitações do sensor para que não haja perda de informação. Assim, conforme Ajmar et al. (2010), os sensores são agrupados em função da escala de trabalho (tabela 2), e são escolhidos a partir do tipo de desastre e extensão aproximada da área afetada. As escalas pequenas representam áreas territoriais referentes a países e continentes, ou seja, o nível de detalhamento é limitado às generalidades do ambiente em sua forma predominante. As escalas médias são consideradas de semi-detulhe, pois já conseguem representar características de uma determinada região, como manchas urbanas por exemplo. Enquanto que as grandes escalas apresentam um alto grau de detalhamento, podendo ser aplicada nas questões urbanas.

Tabela 2. Relação dos sensores em função do tipo de escala.

ESCALA	SATÉLITE/SENSOR
Pequena/Média resolução (imagens ópticas multiespectrais)	MODIS, ALOS VNIR, DMC, Landsat 5/TM
Alta resolução (dado óptico)	Spot-5, Formosat, Ikonos, WorldView-1 e 2, Quickbird, GeoEye-1
Média Resolução (dados de radar)	Envisat, Radarsat, ALOS Palsar
Alta resolução (dado de radar)	Cosmo-Skymed, TerraSAR-X, SAR-SIPAM

Fonte: Modificado de AJMAR et al. (2010).

Em relação à *seleção de imagens*, na região amazônica um dos principais entraves está vinculado à cobertura de nuvens, muito presente particularmente no período chuvoso (dezembro a maio). Dessa forma, através da figura 12 pode-se observar que durante os meses referentes ao período chuvoso (janeiro, fevereiro, março e maio), o número de imagens disponíveis é bem reduzido, enquanto que no período seco (julho e agosto) é notório o aumento na disponibilidade de imagens com baixa ou sem cobertura de nuvens. Este critério é relevante quando se pretende utilizar sensores ópticos.

4. Discussão

A Amazônia é uma região carente de informações relacionadas ao gerenciamento e mapeamento de desastres naturais utilizando dados de sensoriamento remoto, contendo esforços de algumas instituições com trabalhos pontuais, porém a aplicação maior está concentrada na área de geoprocessamento e modelagem hidrológica.

Tomando como parâmetro algumas iniciativas desenvolvidas em outros países foi possível relacionar alguns sensores que apresentaram características potenciais para o monitoramento e gerenciamento de inundações na Amazônia. Para isto, foi criado um fluxograma de decisão com a finalidade de escolher o tipo de sensor em função das condições climatológicas, fisiográficas e comportamentais da região que se pretende estudar. Desta forma foram apontados alguns elementos que atuam na escolha do sensor (figura 4). Essas informações quando relacionadas favorecem a determinação do produto mais adaptado a uma dada circunstância.



Figura 4. Diagrama evidenciando os atributos para a determinação do sensor mais indicado para o monitoramento de inundações.

Primeiramente deve-se identificar a magnitude e intensidade do evento, estreitamente relacionado com uma determinada ação (figura 5).

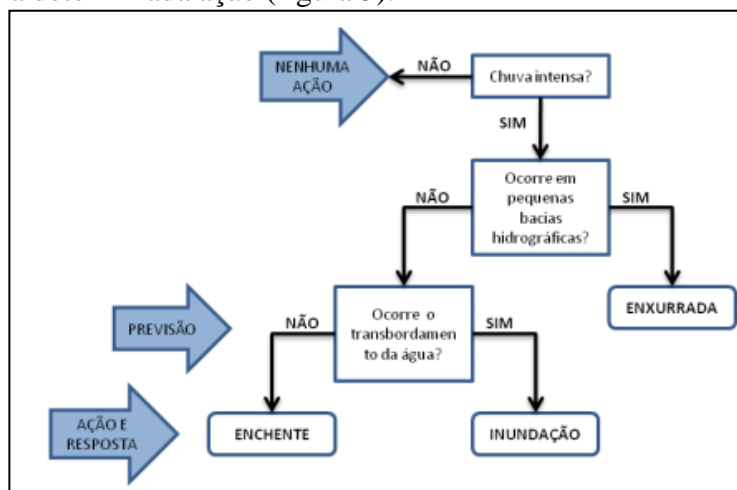


Figura 5. Diagrama contendo os momentos do desastre e os sensores aplicados a cada um.

Considerando o cenário comum a algumas cidades amazônicas e identificando o evento como inundações, presença de pessoas residindo nas proximidades dos rios e relevo geralmente plano, o fluxograma abaixo (figura 6) sugere as possibilidades de se utilizar imagens de satélite para as cidades amazônicas.

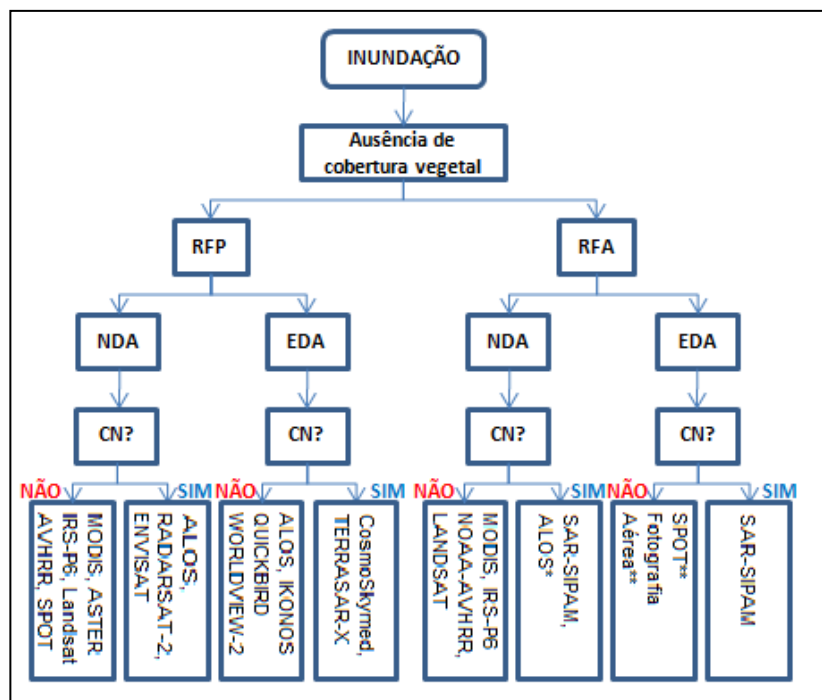


Figura 6. Fluxograma para escolha do sensor mais adaptado para uma dada situação. RFP: Recurso Financeiro Presente; RFA: Recurso Financeiro Ausente; NDA: Não Exige Detalhamento da Área; EDA: Exige Detalhamento da Área; CN: Cobertura de Nuvens. * Imagem ALOS PalSAR deixou de operar em 2011. ** Imagens não atualizadas e disponíveis em bancos de dados institucionais,

O fluxograma apresentado sugere alguns sensores para aplicação na área de inundações, no entanto, não são consideradas algumas situações, como presença de cobertura vegetal. Esse e outros critérios, apesar de existirem, não apresentam soluções viáveis, dessa forma, podem ser generalizados ao fluxograma acima.

No critério “Cobertura Vegetal”, os sensores ópticos não apresentam boa penetração em dossel, já que atuam no comprimento de onda do visível, e dessa forma, correspondem a pequenos comprimentos em comparação a outros como os de micro-ondas. Essa característica acaba limitando o uso de sensores ópticos, porém, vale salientar que dependendo da aplicação e do produto que se deseja obter do dado de sensoriamento remoto, é importante considerar as imagens de sensores ópticos. Uma aplicação seria a geração de mapas de uso e cobertura da terra.

Outro critério levado em consideração se refere ao recurso financeiro. Dependendo do usuário é importante ponderar o uso dos dados de sensoriamento remoto, já que muitas imagens são adquiridas a partir de sua compra. Ao analisar o fluxo, percebe-se que as opções reduzem-se quando se pretende utilizar imagens de radar gratuitamente, assim como imagens de sensor óptico de alta resolução. No entanto, algumas prefeituras e departamentos estaduais possuem imagens de média e alta resolução em seus bancos, com finalidades diversas e, a partir de parcerias ou ofícios, essas imagens podem ser repassadas com a intenção de subsidiar outros propósitos. Além das imagens existem as fotografias aéreas, que no caso de Belém, estão disponíveis para o ano de 1998 na Companhia de Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém (CODEM) com o intuito de apoiar trabalhos de cadastro Técnico Multifinalitário da cidade.

De acordo com o momento do desastre esses produtos de média e alta resolução, assim como imagens de radar podem não ser aplicados durante e depois da inundações, inviabilizando seu uso.

Quando se fala em mapeamento da Amazônia, surgem como soluções as imagens de radar. Todavia, não basta apenas considerar as vantagens dessas imagens em relação aos

fatores atmosféricos, deve-se observar o comprimento de onda no espectro das micro-ondas e sua relação com a vegetação, caso esteja presente. Além disso, o tamanho da imagem, custo, *software*, polarizações, tipo de passagem, dentre outros critérios, são altamente relevantes.

Em relação à cobertura de nuvens poucos sensores apresentam atributos suficientes para operar diante de condições atmosféricas adversas. No entanto, existem projetos que utilizam ferramentas úteis para mapear e monitorar de forma operacional os ecossistemas amazônicos, como é o caso do projeto DETER – Sistema de Detecção do Desmatamento em Tempo Real na Amazônia, e o PRODES – Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite, ambos desenvolvidos e operacionalizados no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, através da aplicação de sensores ópticos. Porém, existem regiões amazônicas que não apresentam dados o ano inteiro devido a grande cobertura de nuvens, como é o caso do Estado do Amapá.

5. Conclusão

Este trabalho apontou algumas características inerentes aos mais variados produtos de sensoriamento remoto e constatou que para a Amazônia os satélites ópticos apresentam restrições para algumas cidades, no entanto, devido a alta resolução temporal de sensores como o MODIS o mapeamento pode ser uma opção, além disso, os dados são disponibilizados gratuitamente. Outros produtos que independem das condições meteorológicas e que são de extrema aplicação são os sensores de micro-ondas que na maioria das vezes a aquisição ocorre através de sua compra ou parcerias governamentais.

6. Referências

Ajmar, A., Boccardo, P., Disabato, F., Giulio Tonolo, F. Flood mapping in support of humanitarian organizations. In: Altan, O., Backhaus, R., Boccardo, P., Zlatanova, S. (Eds) **Geoinformation for Disaster and Risk Management. Examples and best practices**. 7- 12p, 2010.

Bakimchandra, O. **Reconstruction of the 2003 Daya River Flood, Using Multi-resolution and Multi-temporal Satellite Imagery**. 2006. Master thesis in Geo-Information Science at the International Institute for Geoinformation Science and Earth-Observation, Enschede, the Netherlands. 2006.

Barbosa, C.; Novo, E.; Carvalho, J.; Pereira Filho, W.; Mantovani, J. Caracterização espectral das massas d'água amazônicas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR) 11, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. Artigos, p. 2419 - 2425.

Gillespie, T.; Chu, J.; Frankenberg, E.; Thomas, D. Assessment and Prediction of Natural Hazards from Satellite Imagery. **Progress in Physical Geography**, v. 31; n. 5, p. 459-470, 2007.

Glickman, T.; Golding, D.; Silverman, E. **Acts of God and Acts of Man - Recent Trends in Natural Disasters and Major Industrial Accidents**. Washington: Resources for the Future. 1992. 65p

Kobiyama, M.; Mendonça, M.; Moreno, D.; Marcelino, I.; Marcelino, E.; Gonçalves, F.; Brazetti, L.; Goerl, R.; Moller, G.; Rudorff, F. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Florianópolis: Ed. Organic Trading, 2006. 109p.

Meirelles Filho, J. **O livro de ouro da Amazônia**. 5ª ed. Rio de Janeiro (RJ): Ediouro, 2006.