

Uso de radar orbital para a caracterização espaço-temporal do fenômeno de inundação em Villahermosa, México

Isabela Habib Canaan da Silva¹
Carlos Henrique Beisl¹
Fernando Pellon de Miranda²
Luiz Landau³

¹ LabSAR. Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), Centro de Tecnologia, Bloco I 114. Cidade Universitária. Ilha do Fundão. CEP: 2194-900 - Rio de Janeiro – RJ, Brasil
{Isabela, beisl}@labsar.coppe.ufrj.br

² Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da PETROBRAS (CENPES). Avenida Horácio Macedo 950, Cidade Universitária, Ilha do Fundão. CEP: 21941-915 - Rio de Janeiro - RJ, Brasil
fmiranda@petrobras.com.br

³ LAMCE. Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), Centro de Tecnologia, Bloco I 214. Cidade Universitária. Ilha do Fundão. CEP: 2194-900 - Rio de Janeiro - RJ, Brasil
landau@lamce.com.br

Abstract. The aim of this study is to conceive a methodology that characterizes in terms of space and time the flooding phenomenon in tropical coastal regions. This is an innovative approach dealing with the use of spaceborne radar images to study flood-related natural disasters. RADARSAT-1 and 2 images were used in conjunction with altimetric and pluviometric data. The study area, situated in southern Gulf of Mexico, embraces the surroundings of Villahermosa city, Mexico, where a major flood took place in 2008. The USTC algorithm (Unsupervised Semivariogram Textural Classifier) was initially used to identify cover types representative of water, emerged forest and flooded forest/buildings. Areas classified as water using USTC were compared with the water bodies generated by the SRTM mission (SRTM Water Body Dataset - SWBD). Such a procedure permitted to quantify the extension of inundation. The next step consisted in the definition of the area affected by precipitation, which was performed based on the delimitation of the hydrographic basin that includes Villahermosa. Precipitation data from climatological stations were then associated with the evolution in time of the flood area distribution, allowing the identification of the inundation duration. Geomorphological information indicates that future flood-related natural disasters are possible to happen in Villahermosa, which enhances the importance of the proposed methodology.

Palavras-chave: spaceborne radar images, flooding phenomenon, Mexico, imagens orbitais de radar, fenômeno de inundação, México.

1. Introdução

Diversos fenômenos naturais fazem parte da dinâmica terrestre e são responsáveis pela estruturação da paisagem. Quando estes se associam espacialmente a um sistema social, podem constituir perigo potencial a pessoas e bens. Nesta situação, passam a ser considerados desastres (Marcelino, 2008).

De acordo com Zonensein (2007), os impactos sobre a população são mais evidentes em áreas urbanas, onde existe a ocupação irregular de encostas e de áreas naturalmente alagáveis. Assim, é de extrema importância o desenvolvimento de modelos para a formulação de planos de emergência voltados para o risco de inundação. Neste contexto, as geotecnologias, principalmente o sensoriamento remoto, tornam-se importantes ferramentas de suporte ao estudo das inundações, uma vez que permitem o rápido e preciso imageamento de extensas regiões.

Os satélites RADARSAT-1 e 2 permitem o eficiente monitoramento de regiões cobertas por nuvens, uma vez que a aquisição dos dados de radar geralmente independe de condições atmosféricas. Além disso, sob certas condições, o pulso do radar é capaz de penetrar o dossel vegetal e detectar áreas alagadas em terrenos florestados (Paradella *et al.* 2005). Verifica-se, portanto, que é grande o potencial de uso desses sistemas, para os quais a nebulosidade é praticamente transparente, em aplicações relacionadas ao fenômeno de inundação, uma vez que a relação das chuvas com a cobertura de nuvens é direta.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Materiais Utilizados

A área investigada encontra-se freqüentemente coberta por nuvens, o que justificou o uso das imagens de radar de abertura sintética (SAR) na banda C, obtidas pelos satélites RADARSAT-1 e RADARSAT-2, conforme descrito a seguir: RADARSAT-1 Standard 4, adquirida em 30/04/00; RADARSAT- 2 Multi Look Fine 1 N, adquirida em 09/10/08; RADARSAT- 2 Multi Look Fine 5 N, adquirida em 21/10/08; RADARSAT- 2 Multi Look Fine 1 N, adquirida em 02/11/08; RADARSAT- 2 Multi Look Fine 1 N, adquirida em 26/11/08. A imagem RADARSAT-1 corresponde à estação seca, enquanto que as imagens RADARSAT-2 foram adquiridas durante o fenômeno de inundação associado a um período de chuva intensa. A área de estudo foi definida pela interseção dos frames RADARSAT-2 (Figura 1).

O MDE adotado foi a versão 4 do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), baixado gratuitamente do website <http://srtm.csi.cgiar.org/srtmdataprocessingmethodology.asp>, no formato HGT compactado e com resolução espacial de 90 m. Tal produto pode ser visto na Figura 2 A, onde foi efetuado um recorte para a bacia hidrográfica de Villahermosa, com o intuito de evidenciar a amplitude de seus valores altimétricos.

Um dos produtos SRTM utilizados na presente pesquisa é denominado SWBD (*Shuttle Water Body Dataset*), que determina as regiões ocupadas por oceanos, lagos e limites fluviais, cujo acesso se dá através do endereço eletrônico <http://edc.usgs.gov/products/elevation/swbd.html>. Na Figura 2 B, podem ser observados os corpos d'água presentes na área de estudo.



Figura 1. Localização da área de estudo.

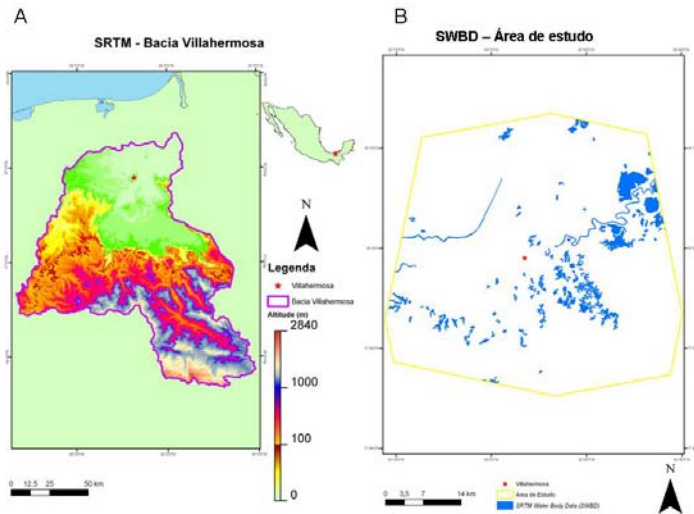


Figura 2. A) Recorte SRTM na bacia hidrográfica onde se insere a cidade de Villahermosa. B) Recorte do produto derivado SWBD (*Shuttle Water Body Dataset*).

Os dados de precipitação utilizados nesta pesquisa foram fornecidos pela UNAM (Universidade Nacional Autônoma do México). A instituição disponibilizou leituras diárias de 13 estações climatológicas para todo o ano de 2008 (Figura 3).

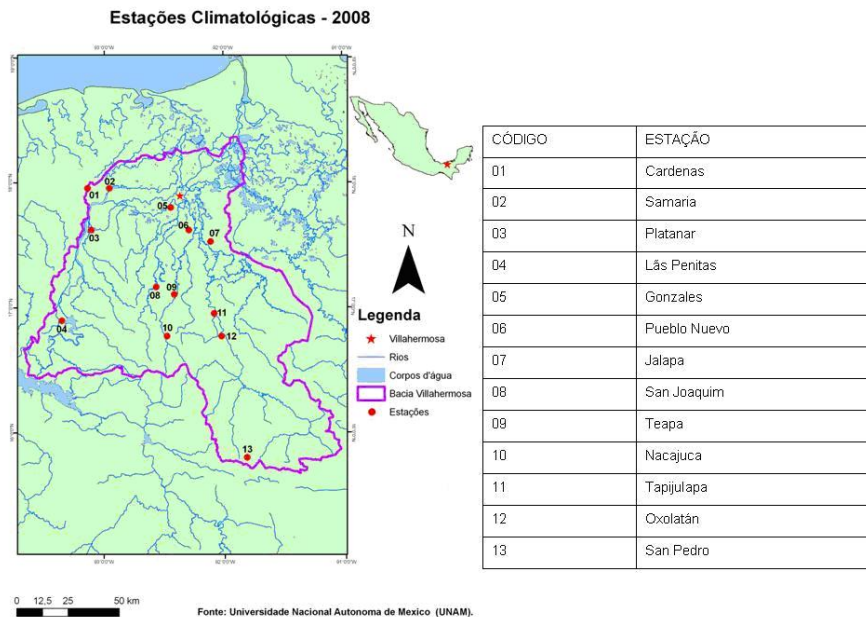


Figura 3 – Estações climatológicas cujos dados diários obtidos em 2008 foram disponibilizados pela UNAM (Universidade Nacional Autônoma do México).

2.2 Processamento digital das imagens RADARSAT -1 e 2

A pesquisa se iniciou com o processamento digital dos produtos RADARSAT e do MDE. As imagens orbitais classificadas possibilitaram a delimitação dos corpos d'água. A partir do MDE, foram extraídas as curvas de nível e a rede de drenagem, elementos essenciais para a

delimitação da bacia hidrográfica. Este resultado, juntamente com os dados de precipitação, permitiu a identificação e quantificação do fenômeno de inundação.

As imagens RADARSAT-1 e 2 foram submetidas à classificação textural por semivariogramas (USTC – *Unsupervised Semivariogram Textural Classifier*), que considera informações texturais e radiométricas. O algoritmo emprega a função semivariograma como um descritor de textura, considerando o valor do pixel no contexto de seus vizinhos (Miranda *et al.* 1997).

A partir da classificação USTC, foram individualizadas três classes de cobertura, considerando o tipo de espalhamento (*scattering*) predominante na interação alvo-pulso do radar, como segue: corpos d'água (reflexão especular), floresta emersa (espalhamento difuso), vegetação inundada e edificações (reflexão de canto).

A classe 1 (corpos d'água) está associada a superfícies lisas para o radar, ou seja, que refletem o pulso transmitido pelo radar em sentido oposto ao da antena, não retornando praticamente nenhuma energia ao sistema sensor. Nas imagens em questão, esta classe corresponde às regiões completamente inundadas.

A classe 2 (floresta emersa) está associada a superfícies rugosas ao radar, ou seja, que espalham a energia transmitida pelo radar de forma difusa, em todas as direções, inclusive na direção da antena. Na área de estudo, esta classe corresponde às florestas situadas em áreas emersas.

A classe 3 (vegetação inundada e edificações) está associada a superfícies que provocam a reflexão de canto, com forte sinal de retorno para o sistema sensor, o que gera ambigüidades, pois podem corresponder tanto a alvos antrópicos (áreas urbanas) como naturais (vegetação inundada).

Após a classificação das imagens, foi realizada a comparação do SWBD com os corpos d'água na estação seca, assim como com a área alagada pelas chuvas em 2008. Na Figura 2 B, estão demarcados os corpos d'água definidos no SWDB, os quais abrangem 107,8 km² ou, aproximadamente, 4,6% da área de estudo.

2.3 Tratamento dos dados de precipitação

Para o ano de 2008, foram disponibilizados os dados diários das 13 estações climatológicas da Figura 3. Para tornar mais prático seu processamento, esses dados diários foram totalizados como médias mensais, conforme discutido em Silva (2010).

2.4 Caracterização espaço-temporal do fenômeno de inundação

Após a análise dos dados de precipitação, os mesmos foram integrados à informação de área inundada, com o objetivo de proceder à caracterização espaço-temporal do fenômeno de inundação.

Na interseção dos *frames* correspondentes às imagens RADARSAT 2, foi determinada para trabalho uma área de 2.332,78 km² (Figura 1). Para cada imagem, foi calculada a área inundada, a saber: um valor para o mês de abril (110,16 km²); dois valores para o mês de outubro (347,85 km² no dia 09 e 272,84 km² no dia 21); dois valores para o mês de novembro (265,01 km² no dia 02 e 148,36 km² no dia 26).

Como a referência de observação aqui adotada é mensal, foi necessário calcular a média para os dois valores dos meses de outubro e novembro, respectivamente, de modo a caracterizar o valor correspondente a cada mês. Assim, em outubro obteve-se 310,34 km², enquanto que, para novembro, o valor foi 206,68 km². Tendo três valores, o de abril para o nível de referência da água, o de outubro correspondendo à máxima inundação e o de novembro referente à vazante nas áreas alagadas, os valores dos outros meses do ano foram interpolados com o software SPSS.

3. Resultados e Discussões

3.1 Classificação das imagens RADARSAT-1 e 2

As Figuras 4 e 5 mostram as imagens RADARSAT originais e sua correspondente classificação USTC. A classe azul corresponde aos corpos d'água; a amarela às áreas urbanas e vegetação inundada; a verde às florestas emersas.

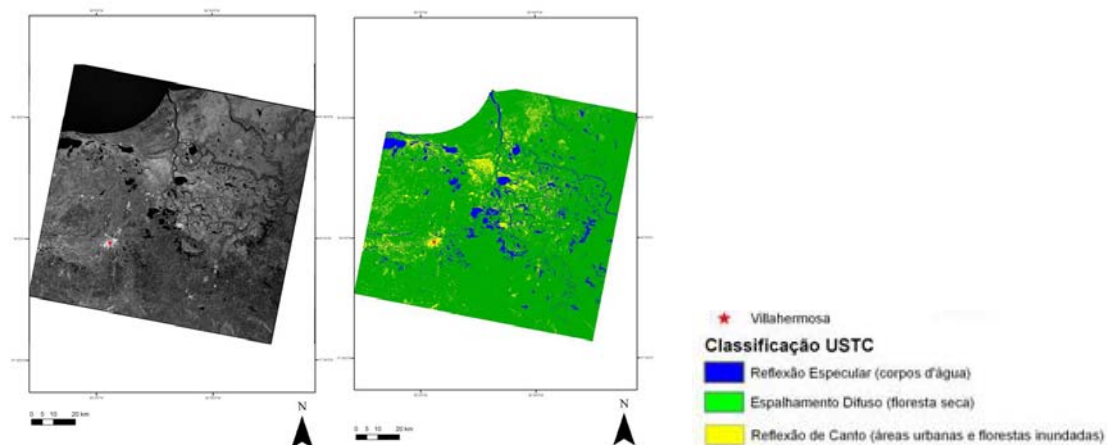


Figura 4. - Classificação USTC da imagem RADARSAT-1 S4 (30/04/2000).

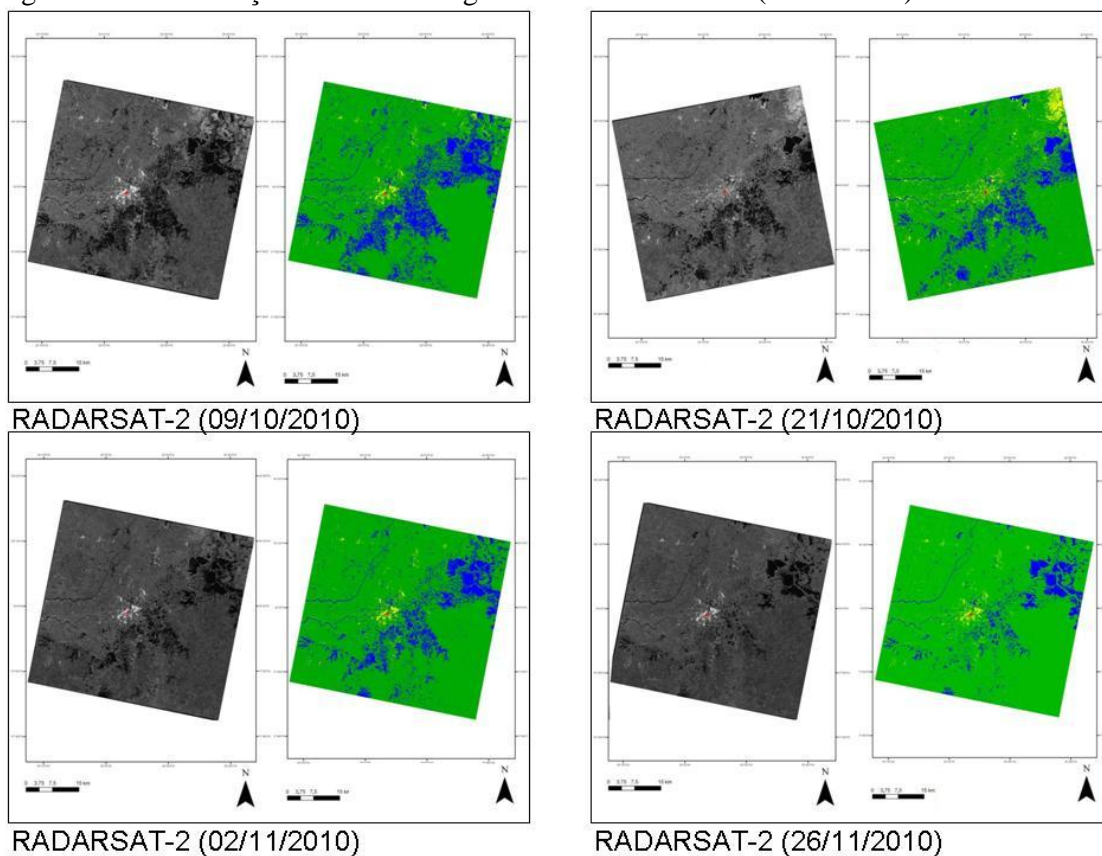


Figura 5. - Classificação USTC das imagens RADARSAT-2 (MLF 1N em 09/10/2008, MLF 5N em 21/10/2008, MLF 1N em 02/11/2008 e MLF 1N em 26/11/2008). Ver legenda na figura 4.

Na Figura 6 A, encontram-se, na cor azul, os corpos d'água extraídos da classificação da imagem RADARSAT-1 S4 de 30 de abril de 2000, assim como os corpos d'água extraídos do SWBD, na cor vermelha. Pode-se constatar a conformidade da delimitação dos corpos d'água utilizando a imagem RADARSAT-1 com aquela do SWBD. No entanto, é possível notar uma pequena diferença entre a extensão dos corpos d'água mapeados por radar e seus limites de acordo com SWBD, para o nível correspondente à época seca. Tal diferença pode ser explicada pela maior continuidade espacial dos rios no produto oriundo da classificação USTC, notadamente aqueles de maior influência na zona metropolitana de Villahermosa (La Sierra e Carrizal).

A Figura 6 B mostra a distribuição cumulativa das mudanças identificadas nas imagens RADARSAT-2 adquiridas em 2008. Em vermelho, está representada a ocorrência de corpos d'água em apenas uma imagem; em amarelo, a presença em duas imagens; em verde, em três; em azul, nas quatro imagens. Além disso, o vetor em preto delimita os corpos d'água segundo o SWBD.

O gráfico da Figura 7 mostra o decréscimo de área inundada no período de 09 de outubro até 26 de novembro de 2008. Este decréscimo é mais evidente nos períodos de 09 a 21 de outubro e de 02 a 26 de novembro. O patamar correspondente ao período de 21 de outubro a 02 de novembro sugere que, possivelmente, fatores externos à Bacia Villahermosa, localizados a jusante do exutório, promoveram o barramento do fluxo da água para fora dos limites da bacia.

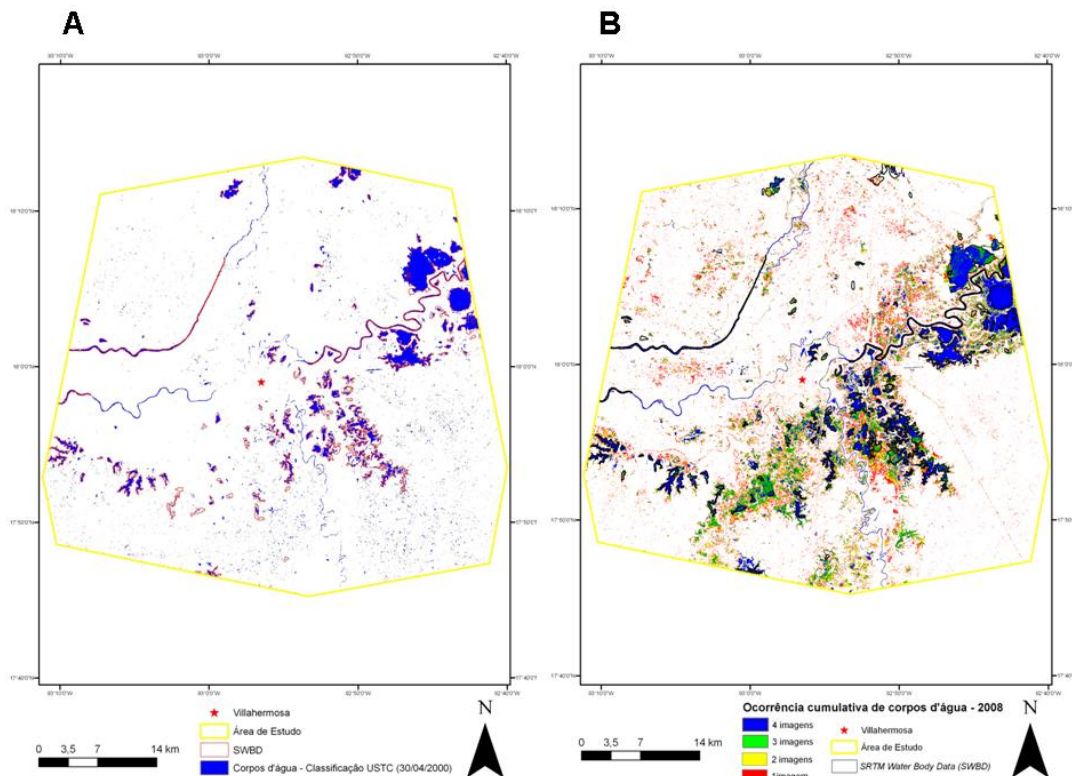


Figura 6. A) Corpos d'água RADARSAT-1, em azul, e SWBD, em vermelho. B) Mapa cumulativo dos corpos d'água extraídos da imagem RADARSAT-2 adquiridas em 2008 e contorno SWBD (vetor em preto).

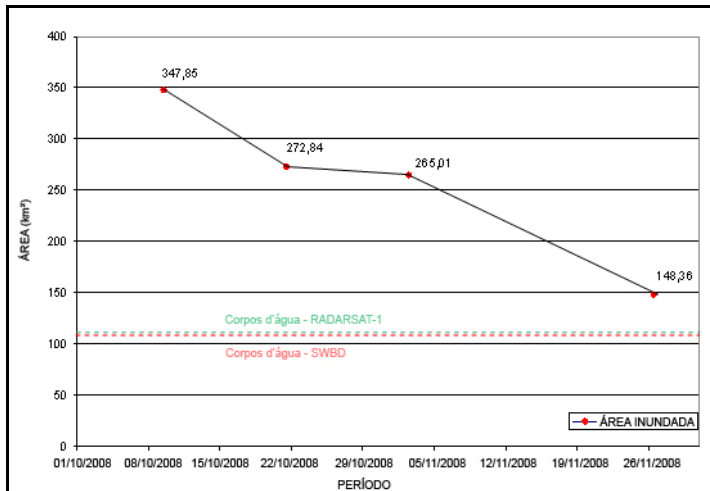


Figura 7. Variação das áreas inundadas no período de 01 de outubro até 26 de novembro de 2008.

3.2 Análise da precipitação e da caracterização espaço-temporal do fenômeno de inundação

Os dados de precipitação foram analisados em comparação com as imagens RADARSAT-2 que registraram o fenômeno de inundação. O resultado de tal procedimento pode ser visualizado na Figura 8. Nota-se que a precipitação fica abaixo de 4.000 mm durante quase todo ano de 2008, com exceção notável no mês de setembro, que apresenta um pico pronunciado com precipitação maior que 9.000 mm. A média mensal para a área inundada apresenta-se em torno de 120 km² durante todo o ano, com exceção dos meses de outubro (310,34 km²) e novembro (206,68 km²).

Em suma, o pico de precipitação ocorreu no mês de setembro e a inundação máxima no mês de outubro. Logo, o tempo de resposta à precipitação como inundação na bacia hidrográfica investigada é de cerca de um mês. Assim, os dados considerados mensalmente das treze estações climatológicas da Figura 3 permitiram estabelecer uma relação de causa-efeito entre precipitação e distribuição da área inundada. Tal relacionamento é fundamental para a concepção de metodologias para alarme contra inundações na cidade de Villahermosa, como proposto por Silva (2010).

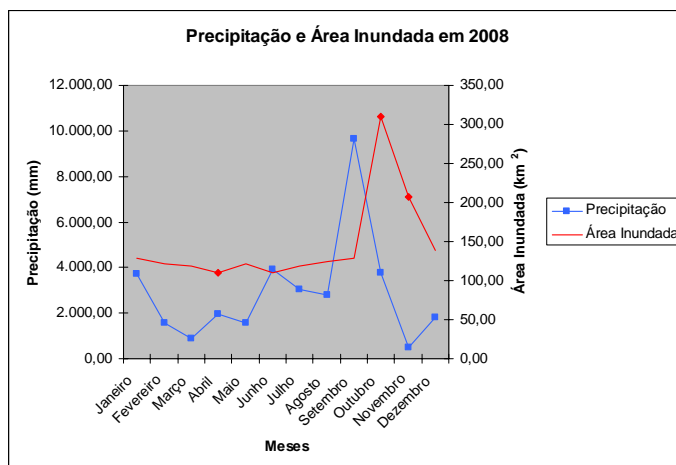


Figura 8. Gráfico de variação no tempo da precipitação e da área inundada em 2008.

4. Conclusões

O presente estudo apresentou uma abordagem inovadora no uso de imagens de sensoriamento remoto na faixa de microondas, visando ao desenvolvimento de uma metodologia de caracterização espaço-temporal de dinâmica de inundações em áreas costeiras tropicais.

No ambiente de alta complexidade da região de estudo, o entorno de Villahermosa, na porção sul do Golfo do México, o monitoramento de inundações com os satélites RADARSAT-1 e 2 mostrou-se eficiente para a detecção de mudanças do nível d'água, devido à intensa cobertura de nuvens por ocasião do citado fenômeno.

O algoritmo de classificação textural USTC (*Unsupervised Semivariogram Textural Classifier*) permitiu reconhecer as classes de cobertura representativas de água, floresta emersa e vegetação inundada ou edificações. Esta última classe apresentou ambigüidades, tendo em vista que o mecanismo de reflexão de canto ocorre tanto no dihedro água-tronco como nas áreas construídas. A validação da classificação USTC se deu pela comparação dos corpos d'água individualizados utilizando esse algoritmo com aqueles integrantes do SWBD (*SRTM Water Body Data*). A distribuição em superfície destas feições é muito similar, mas verificou-se que o SWBD não representa adequadamente os rios de maior influência para a zona metropolitana de Villahermosa (La Sierra e Carrizal).

Os dados diários de precipitação de 2008 foram totalizados em médias mensais visando à caracterização do tempo de resposta à precipitação como fenômeno de inundação na bacia hidrográfica estudada. Constatou-se que o intervalo de tempo decorrido entre o pico de precipitação (setembro 2008) e o alagamento máximo (outubro 2008) foi de trinta dias. Além disso, a área inundada, extraída das cinco imagens SAR, foi interpolada para que se obtivesse um valor de superfície alagada para cada mês de 2008. O valor de área inundada no mês de abril de 2000 corresponde ao nível de referência da época seca. Os demais, extraídos das imagens de outubro e novembro, referem-se ao período de inundação. A relação entre precipitação e área inundada seria certamente melhor caracterizada se existissem imagens disponíveis para os períodos entre abril e outubro e entre novembro e abril. Na verdade, o ideal seria a aquisição de, no mínimo, uma imagem para cada mês. Por isso, de modo a aprimorar a metodologia aqui proposta, é fundamental que se obtenham mais imagens na bacia hidrográfica de Villahermosa, com a melhor resolução temporal possível.

Referências Bibliográficas

- Marcelino, E. V. **Desastres naturais e geotecnologias: Conceitos Básicos**. INPE, Santa Maria, 2008.
- Miranda, F.P., Fonseca, L.E.N., Beisl, C.H., Rosenqvist, A., Figueiredo, M.D.M.A.M. Seasonal mapping of flooding extent in the vicinities of the Balbina Dam (Central Amazonia) using RADARSAT-1 and JERS-1 SAR data. *Proceedings of the International Symposium Geomatics in the Era of RADARSAT (GER'97)*, 1997.
- Paradela, W. R.; Santos, A. R.; Veneziani, P.; Cunha, E. R. S. P. Radares imageadores nas geociências: Status e perspectivas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2005, Goiânia, **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 1847-1854. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.18.14.57/doc/1847.pdf>> Acesso em maio de 2008.
- Silva, I. H. C. Caracterização da dinâmica de inundações utilizando sistemas orbitais de radar em Villahermosa, México. 151p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2010.
- Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*. Disponível em: <<http://srtm.usgs.gov/data/obtainingdata.html>> Acesso em março de 2009.
- Shuttle Water Body Dataset (SWBD)*. Disponível em: <<ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov>> Acesso em março de 2009.
- Zonensein, J. Índice de risco de cheia como ferramenta de gestão de enchentes. 105p. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – COPPE/ UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil, 2007.