

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA UTILIZACIÓN DE MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN DE ALTA RESOLUCIÓN EN MODELACIÓN HIDROLÓGICA/HIDRODINÁMICA DE GRAN ESCALA

Benito Pereira¹; Walter Collischonn²

RESUMEN – Los grandes avances que se dieron en los últimos tiempos en el área de topografía dirigida a Recursos Hídricos, hacen posible la obtención de Modelos Digitales de Elevación de muy alta resolución de forma cada vez más barata y precisa. La facilidad en el acceso a este tipo de datos seguirá evolucionando, hasta el punto en que cada país podrá tener su propia base de datos de Modelos Digitales de Terreno de muy alta resolución. Este avance en la obtención de información de alta resolución, debe ir acompañado de avances en las técnicas de aprovechamiento de las mismas, tanto a pequeña como a gran escala. Generalmente, esta información es utilizada a pequeña escala, como, por ejemplo, estudios de drenaje urbano, o en modelación hidrodinámica 2D de un pequeño tramo de río. Este trabajo muestra que es posible aprovechar la información de un Modelo Digital de Terreno de muy alta resolución (1 x 1 m) en una Modelación Hidrológica/Hidrodinámica de una cuenca de gran porte, obteniendo mejoras en relación al mismo modelo que utiliza un Modelo Digital de Elevación convencional SRTM (Farr, et al., 2007) de resolución relativamente baja (90 x 90 m).

ABSTRACT– The great advances that have taken place in recent years in the area of topography directed to Water Resources, make it possible to obtain Digital Models of Elevation of very high resolution in an increasingly cheaper and more accurate way. The ease of access to this type of data will continue to evolve, to the point where each country can have its own database of very high-resolution Digital Terrain Models. This advance in obtaining high resolution information should be accompanied by advances in the techniques of using them, both small and large scale. Generally, this information is used on a small scale, such as, for example, urban drainage studies, or in 2D hydrodynamic modeling of a small stretch of river. This work shows that it is possible to take advantage of the information of a very high-resolution Digital Terrain Model (1 x 1 m) in a Hydrological / Hydrodynamic Modeling of a large basin, obtaining improvements in relation to the same model that uses a conventional Digital Elevation Model SRTM (Farr, et al., 2007) of relatively low resolution (90 x 90 m).

Palabras-Clave – MDE, Alta Resolución, Modelación, Hidrología, Hidrodinámica.

1) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Asunción, Avda. Mcal. López 3492 c/ 26 de Febrero, +595 21 585-581/4, San Lorenzo, Paraguay, bpereirapy@gmail.com

2) Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidad Federal de Río Grande del Sur, Avda. Bento Gonçalves, 9500 CEP 91501-970, Porto Alegre RS, Brasil, collischonn@iph.ufrgs.br

INTRODUCCIÓN

El progresivo avance de los Sistemas de Información Geográfica en las últimas décadas ha permitido la incorporación de nuevos tipos de información para representar la superficie de la tierra de forma digital. Actualmente, estamos viviendo una transición en donde los Modelos Digitales de Elevación de muy alta resolución (1m, 2m, 5m, etc) se incorporan a las fuentes de información disponibles. Esta información puede ser obtenida a través de aerofotogrametría o mediante técnicas de detección y medición a través de la luz (LIDAR), por sus siglas en inglés (Light Detection and Ranging). Esto invierte el problema inicial de falta de información a otro problema, no menos grave, de exceso de información. Este problema radica en que el almacenamiento y geoprocesamiento de estos archivos se torna poco práctico en computadores convencionales, limitando el aprovechamiento de este tipo de información en Modelos Hidrológicos/ Hidrodinámicos de gran escala.

El presente trabajo, propone una metodología para aprovechar informaciones de Modelos Digitales de Elevación de muy alta resolución en Modelación Hidrológica/Hidrodinámica de Gran Escala, y evaluar si estas informaciones de alta resolución podrían mejorar los resultados obtenidos con información convencional. Se toma como caso de estudio la cuenca del Río Itajaí, que se encuentra en el estado de Santa Catarina (Brasil).

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del área de estudio

Se define como área de estudio a la Cuenca del Río Itajaí, que se encuentra en el Estado de Santa Catarina, al sur del Brasil. Esta cuenca tiene una superficie aproximada de 15.000 km², tal como se muestra en la Figura 1.

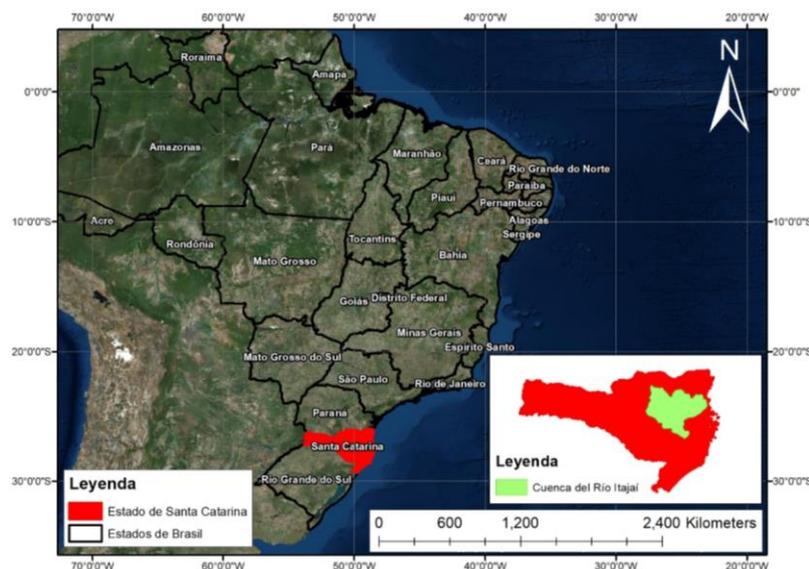


Figura 1 – Cuenca del Río Itajaí. Estado de Santa Catarina, Brasil.

La elección de esta cuenca como objeto de estudio se da por diversas razones. Por un lado, se trata de una cuenca con extensas planicies de inundación, en donde, por lo general, se han desarrollado ciudades, las cuales se encuentran constantemente afectadas por inundaciones. La presencia de amplias planicies de inundación, hace que la Cuenca del Río Itajaí sea un candidato interesante para la implementación del Modelo Hidrológico/Hidrodinámico MGB-IPH (Inercial).

Por otro lado, esta cuenca se encuentra en su totalidad dentro del Estado de Santa Catarina, cuya gobernación, a través de la Secretaría de Estado de Desarrollo Económico Sustentable, realizó un levantamiento aerofotogramétrico para todo el Estado en el año 2010, generando Modelos Digitales de Superficie y Modelos Digitales de Terreno de muy alta resolución (1m).

Herramientas y Datos Utilizados

Para la elaboración de este trabajo de investigación se utilizó el MGB – IPH (Collischonn, W. 2001; Collischonn et al., 2007), el cual fue integrado al Sistema de Información Geográfica Map Windows (Fan & Collischonn, 2014). Además de estos programas, se utilizó el ArcGIS y el Matlab para el procesamiento de los Modelos Digitales de Elevación.

Los Modelos Digitales de Elevación utilizados para el presente trabajo fueron, por un lado, el SRTM (Resolución 90 x 90 m), el cual fue descargado de la página web del Consortium for Spatial Information (CSI). Por otro lado, se utilizó el Modelo Digital de Terreno (MDT) generado por el Gobierno del Estado de Santa Catarina, por medio de la Secretaría de Estado del Desarrollo Económico Sostenible (SDS), la cual realizó un levantamiento aerofotogramétrico para la generación de esta información destinada a la gestión territorial y ambiental. El MDT cuenta con una resolución de 1 metro y es provisto en tiles de aproximadamente 25 km, tal como se muestra en la Figura 2.

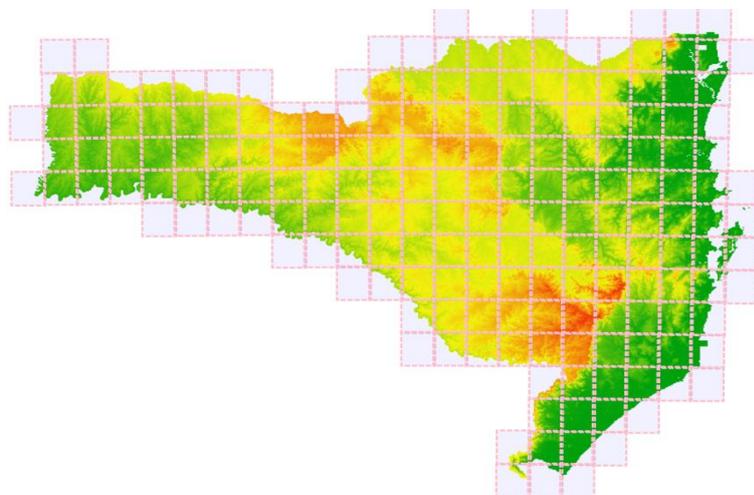


Figura 2 – Cuenca del Río Itajaí. Estado de Santa Catarina, Brasil.

Considerando que el presente trabajo involucra una Modelación Hidrológica/Hidrodinámica en la Cuenca del Río Itajaí, se requieren informaciones del tipo y uso de suelo, precipitación, caudales observados, clima, entre otros. Esta información se obtuvo del IBGE y del ANA.

Procedimiento Metodológico

Inicialmente, en el MGB – IPH, la propagación de caudales en los trechos de río era realizada solamente por el método de Muskingum Cunge, cuyo proceso de cálculo se describe con suficiente detalle en (Collischonn, et al. 2007). Además de este método, también existe una versión del modelo MGB – IPH con propagación hidrodinámica de caudales (Paiva, 2009).

Por cuestiones de simplicidad, se considera que las secciones transversales son rectangulares, y que la longitud y la profundidad pueden ser estimadas por curvas empíricas que relacionan estas variables con el área de drenaje (Mejia, Reed, 2011; Paiva, Collischonn, Tucci, 2011a). El procedimiento para la obtención de estas curvas, o relaciones geomorfológicas, consiste en utilizar datos medidos de ancho y profundidad de río en distintos puntos con diferentes valores de área de drenaje A , tal como se muestra en las Ec. 1 y 2.

$$H_{rio_i} = a \cdot A_i^b \quad (1)$$

$$W_{rio_i} = c \cdot A_i^d \quad (2)$$

donde:

H_{rio_i} = Profundidad del cauce en la minicuenca i [m],

W_{rio_i} = Ancho del cauce en la minicuenca i [m],

A_i = Área de drenaje acumulada hasta la minicuenca i [m^2].

a , b , c , d son los parámetros de ajuste de las ecuaciones del tipo potencial que relacionan la profundidad y el ancho del cauce con el área de drenaje. En la Figura 3 se observa la simplificación de cauce asumida.

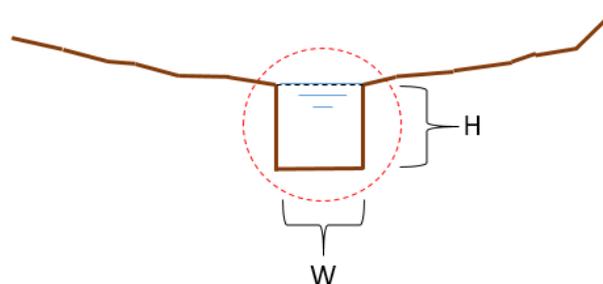


Figura 3 – Representación del cauce en el MGB - IPH

Con respecto a las Planicies de Inundación, el MGB – IPH representa la geomorfología de estas con una Curva COTA/ÁREA, la cual es obtenida del Modelo Digital de Elevación. Es precisamente en esta fase del procedimiento de modelación hidrológica/hidrodinámica donde una mejor resolución del MDE podría significar mejoras en la representación del caudal observado.

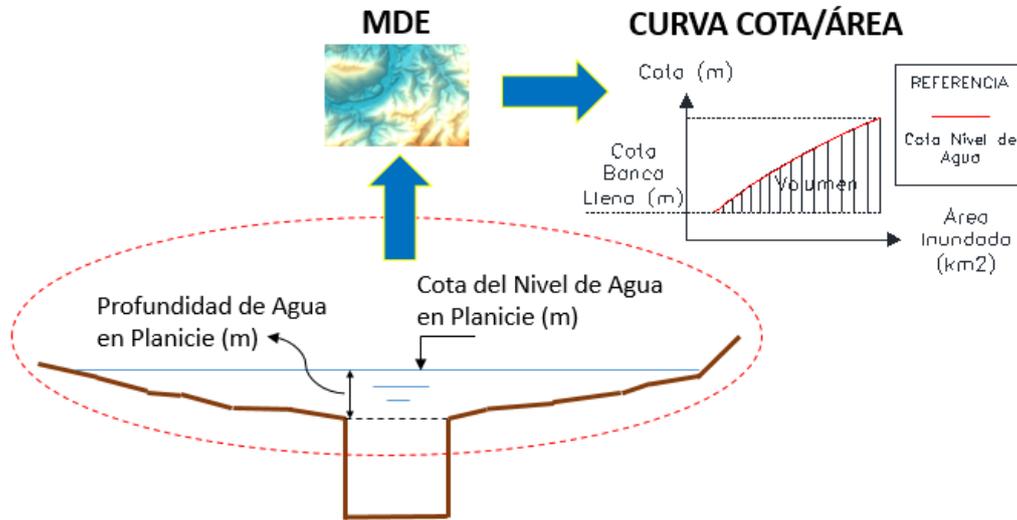


Figura 4 – Representación de la geomorfología de las planicies de inundación en el MGB - IPH

En la Figura 5 se observa la diferencia de una curva Cota/Área de una minicuenca obtenida a partir del MDE SRTM (90 x 90 m), que para los efectos del presente trabajo lo llamamos de baja resolución, y un MDE de muy alta resolución, para este caso el MDT de Santa Catarina con resolución de 1m.

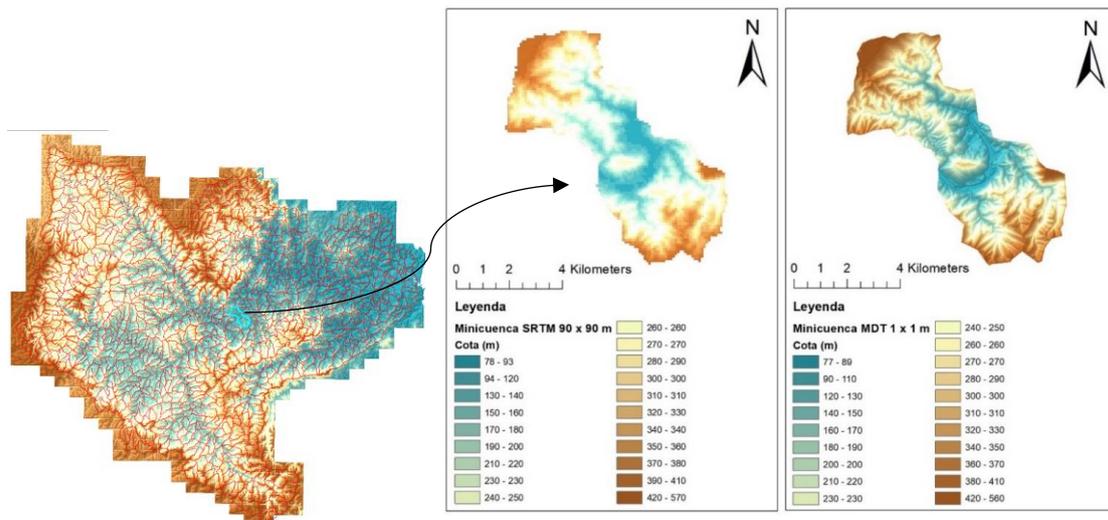


Figura 5 – Minicuenca del Río Itajaí con Información convencional SRTM 90 m (Izq.) e Información de Alta Resolución MDT Santa Catarina 1 m (Der.)

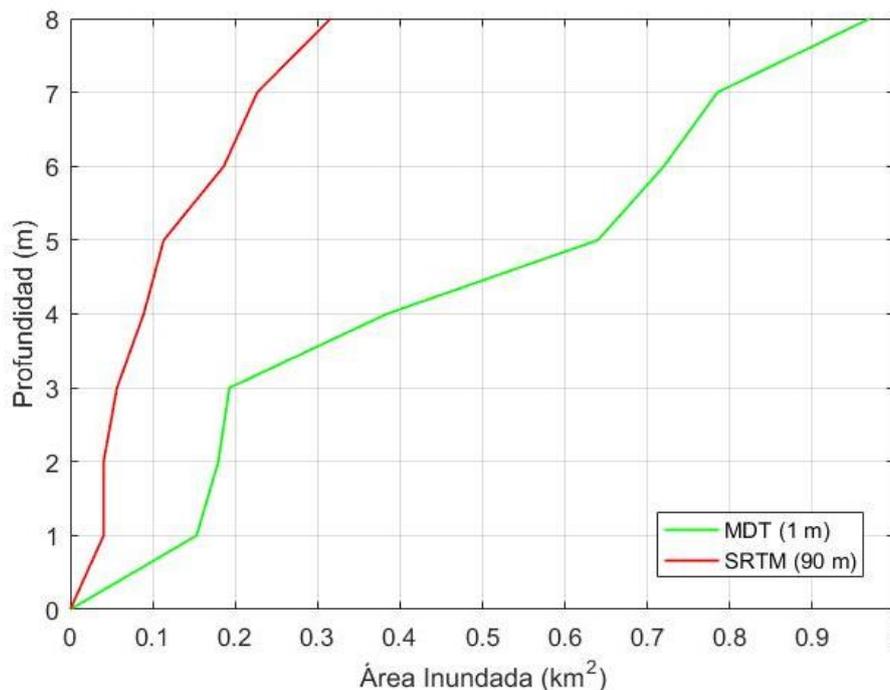


Figura 6 – Curvas Profundidade/Área de uma mesma minicuenca com distintas fontes de informação de elevação

Para a propagação hidrodinâmica inercial do MGB-IPH, se utilizam aproximações numéricas a las ecuaciones de Saint-Venant, realizando ciertas asunciones y modificaciones, las cuales se encuentran suficientemente detalladas en Pontes, et al. (2015).

Básicamente, al utilizar un MDE de elevación distinto para la Modelación Hidrológica/Hidrodinámica de la cuenca de estudio, se alteran las curvas Cota/Área de cada minicuenca (tal como se mostró en la Figura 6), por lo tanto, la planicie de inundación en cada una de ellas, se representa en forma distinta.

Con el objetivo de aprovechar la resolución de datos del MDT de alta resolución en la totalidad de la superficie de la cuenca de estudio, se estableció un procedimiento que permite generar la curva hipsométrica de cada minicuenca y obtener la relación Cota/Área en el formato que solicita el MGB – IPH Inercial. Básicamente, dicho procedimiento se resume en los siguientes pasos:

- *Creación de un Dataset Mosaico de la Cuenca (software ArcGIS):* La utilización de una base de datos mosaico, permite visualizar cómo quedarían los raster si fuesen fusionados en un solo (entre otras cosas). Esto permite detectar errores a priori, además de identificar cuál es el algoritmo que más convendría utilizar en las zonas de solapes para garantizar continuidad en todo el MDT.

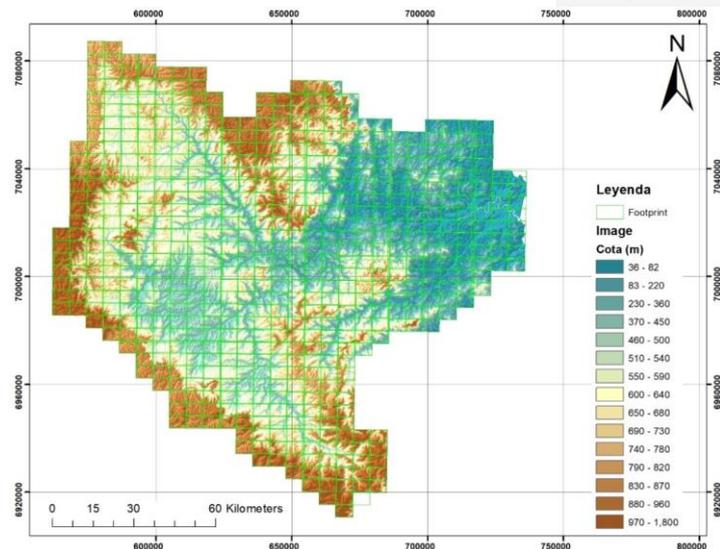


Figura 7 – Dataset Mosaico de la Cuenca del Río Itajaí

- *Generación de un Histograma de Zona (software ArcGIS):* Considerando que los datos de elevación del MDT de Santa Catarina son de tipo flotante (varios decimales), es imprescindible agrupar valores que permitan reducir la extensión del histograma. Para el efecto, se realizó un redondeo para arriba, que permitió agrupar valores decimales al entero próximo para arriba. Una vez obtenido el MDT entero con redondeo hacia arriba, es posible investigar la distribución de frecuencia de los valores de elevación para cada minicuenca.
- *Generación de Tabla Cota – Área en formato MGB – IPH (software MATLAB):* La tabla generada en el paso anterior debe ser procesada para obtener una tabla Cota/Área en el formato solicitado por el MGB – IPH. Para el efecto, se elaboró un script en Matlab que permite, a partir del Histograma de Zona generado en ArcGIS, generar una Tabla Cota/Área formateada para su uso en el MGB – IPH Inercial.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de resultados, básicamente consiste en comparar los hidrogramas simulados (con ambas fuentes de información) en periodos de grandes crecidas con los hidrogramas observados. Con el objetivo de evaluar el desempeño en la estimación de caudales tanto en la cuenca baja como en las cabeceras, se analizaron principalmente los resultados obtenidos en las estaciones Benedito, Taió y Warnow, que tienen un área de aporte de 717, 1570 y 9790 km², y cuya ubicación se muestra en la Figura 8. En la Figura 9 se muestran los resultados de las principales funciones objetivo utilizadas para evaluar el desempeño del modelo. Además, a fin de mostrar con mayor detalle los resultados obtenidos, se aisló un hidrograma observado en la estación Warnow y se contrastó con las simulaciones realizadas a partir de distintas fuentes de información de elevación (Figura 10).

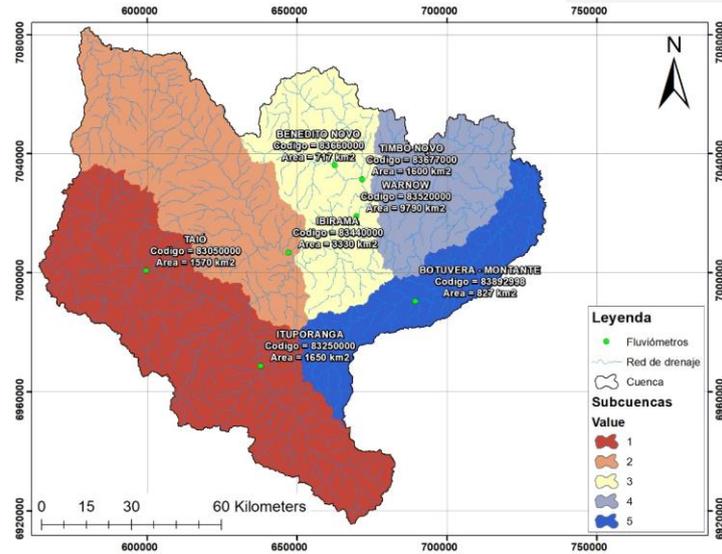


Figura 8 – Subcuencas con parámetros hidrológicos semejantes y ubicación de estaciones pluviométricas de calibración

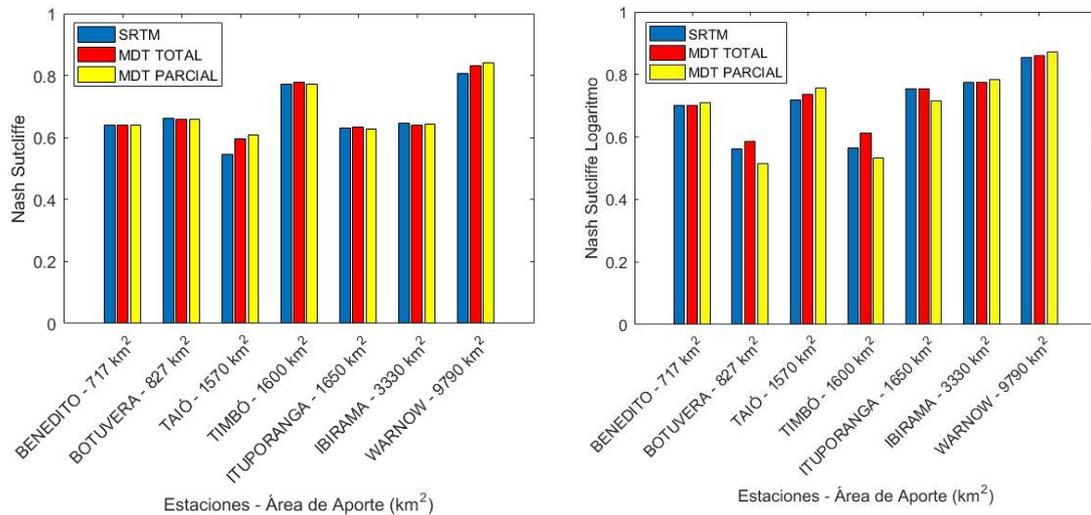


Figura 9 – Comparación de Funciones Objetivo Nash-Sutcliffe (1970) y Nash-Sutcliffe Logaritmo para las simulaciones con SRTM, MDT de alta resolución y el MDE Híbrido (combinación de ambos)

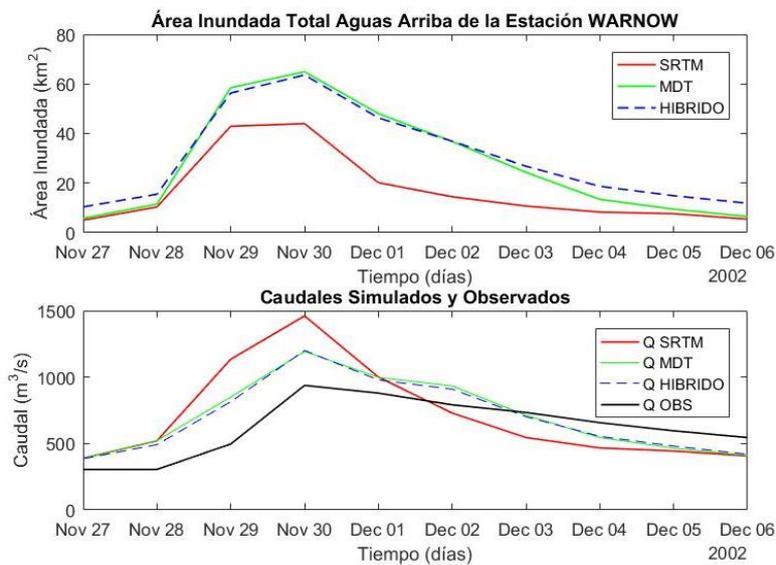


Figura 10 – Área inundada aguas arriba y caudales simulados vs observados (Estación Warnow). Periodo aislado para mejor visualización de efectos

CONCLUSIONES

El aprovechamiento de Modelos Digitales de Elevación de Alta Resolución en Modelación Hidrológica/Hidrodinámica de Gran Escala utilizando la herramienta MGB – IPH es viable. Esto se logró calibrando y validando los parámetros en la Cuenca del Río Itajaí con información de elevación convencional SRTM 90 x 90 m, y, posteriormente, cambiando la curva Cota/Área convencional por otra obtenida a partir de un Modelo Digital de Terreno con resolución de 1 metro. Este procedimiento, básicamente, permite representar con mayor precisión el comportamiento de las planicies de inundación en el modelo de propagación inercial de caudales.

Las simulaciones para caudales medios y bajos se mantienen constantes en las situaciones analizadas. Esto se debe a que el agua no desborda a las planicies de inundación en periodos de estiaje, por lo tanto, la curva Cota/Área no es utilizada en estos casos y los resultados son prácticamente los mismos.

En periodos muy húmedos, para cuencas de aporte superiores a 1000 km², el modelo con información de alta resolución representa mejor los picos y la recesión de hidrogramas (ver Figura 10), mientras que para cuencas inferiores o de cabecera no se presentan diferencias. Estos hidrogramas simulados se contrastaron con el área total inundada aguas arriba de cada estación analizada, identificando claramente que el modelo con información de alta resolución inunda mayor cantidad de superficie, lo cual repercute directamente en los caudales picos y en la recesión de los hidrogramas.

Los resultados analizados en la Estación Benedito (área de aporte de 716 km²) mostraron que el MDE SRTM genera mayor área inundada que la simulación realizada con la curva Cota/Área del MDT de alta resolución, sin embargo, esta área inundada es insignificante y no afecta a los resultados de caudales simulados. Para áreas de aporte superiores, la incidencia del modelo que aprovecha la información de alta resolución es más notable, generando mayor área inundada aguas arriba, como es el caso de los resultados en las estaciones Taió y Warnow. A raíz de esta diferencia de resultados entre una cuenca de cabecera y una cuenca media, se realizó una prueba de simulación con una curva Cota/Área Híbrida, utilizando información del SRTM en las cabeceras y del MDT en minicuenas principales. Este análisis confirmó que efectivamente no sería necesario el aprovechamiento de la información de alta resolución en la totalidad de la superficie de la cuenca, y que bastaría con un MDT mixto, utilizando la información de alta resolución solamente en la zona de los cauces más importantes que presenten planicies de inundación en sus márgenes.

REFERÊNCIAS

- COLLISCHONN, W. (2001). Simulação Hidrológica de Grandes Bacias. Tese de doutorado. *Tese de Doutorado*.
- FAN, F. M., & COLLISCHONN, W. (2014). Integração do Modelo MGB-IPH com Sistema de Informação Geográfica. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 243-254.
- FAN, F., PONTES, P., PAIVA, R., & COLLISCHONN, W. (2014). Avaliação de um método de propagação de cheias em rios com aproximação inercial. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 137-147.
- FARR, T., ROSEN, P., CARO, E., CRIPPEN, R., DUREN, R., HENSLEY, S., . . . ALSDORF, D. (2007). The Shuttle Radar Topography Mission. *Rev. Geophys.*
- MEJIA, A., & REED, S. (2011). Evaluating the effects of simplified routing and parameterized cross section shapes with a coupled distributed hydrologic and hydraulic model. *Journal of Hydrology*, 409.
- NASH, & SUTCLIFFE. (1970). River Flow Forecasting Through Conceptual Models. *Journal of Hydrology*, 282-290.
- PAIVA, R. (2009). *Modelagem hidrológica e hidrodinâmica de grandes bacias. Estudo de Caso: bacia do rio Solimões*. Porto Alegre: UFRGS.
- PONTES, P. R., COLLISCHONN, W., FAN, F. M., PAIVA, R. C., & BUARQUE, D. C. (2015). Modelagem hidrológica e hidráulica de grande escala com propagação inercial de vazões. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 888-904.