

HACIA UN CAMBIO CULTURAL EN LA PREVENCIÓN Y CONTROL DE INUNDACIONES: LAS ENSEÑANZAS DEL ANEGAMIENTO DE RIO GRANDE DO SUL- BRASIL¹

Towards a Cultural Change in Flood Prevention and Control: The Lessons of the Flooding of Rio Grande do Sul-Brazil

DOI: <https://doi.org/10.69633/c21xsa44>

Recibido: 27/11/2024 Aceptado: 01/03/2025

* Cristiano Trindade De Angelis

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8025-7871>

Universidade Federal de Santa Catarina (Brazil)

Universidade do Sul de Santa Catarina

cristianotrindade@protonmail.com

*Doctor en Estrategia y Gestión Pública (Administración de Empresas) SKEMA Business School: Lille, (Francia); ha publicado dos libros "Gestión por Inteligencias" y "Un modelo de gestión del conocimiento e inteligencia organizacional para las administraciones del sector público". Su Tesis Doctoral fue un estudio comparativo entre los gobiernos de Brasil y Alemania en términos de Gestión del Conocimiento e Inteligencia Organizacional, publicada en Academic Conferences & Publishing International y convertida en artículos publicados en International Journal of Public Administration, International Journal of Modelling in Management y Journal of Knowledge Management Practice. Como profesor de pregrado y posgrado, ha enseñado en Unisul y UFSC de Brasil.

RESUMEN

El principal objetivo de este trabajo es comprender la relación entre las inundaciones y las medidas estructurales y no estructurales, para contrarrestarlas a través de mejoras en la administración de estas situaciones.

Mediante revisión de la literatura, se propone modelos hidrodinámicos que pueden usarse para la prevención y control de las inundaciones, en el contexto de una crítica constructiva a las acciones efectuadas ante la mayor inundación de Rio Grande do Sul (Brasil) en mayo de 2024, planteando soluciones alternativas.

El principal argumento esgrimido es que la inteligencia cultural, la gestión del conocimiento y el modelo de participación social ayudan a crear un plan ideal de control de inundaciones, con base en el modelo de pronóstico Hydropol2D.

1 Artículo postulado a esta revista en idioma portugués y posteriormente traducido al idioma español por el propio autor.

Sin embargo, el Hydropol2D es también revaluado, por no considerar el impacto de la agricultura en la hidrología. Para superar sus limitaciones, se acude al modelo de evaluación del agua del suelo complementario (SWAT+) y al Módulo de Agua Verde (GWFlow).

Palabras clave: *cultura, gestión del conocimiento, modelo biodinámico, modelo hidrodinámico, inteligencia organizacional.*

ABSTRACT

The main objective of this work is to understand the relationship between floods and structural and non-structural measures, in order to counteract them through improvements in the management of these situations.

Through a review of the literature, hydrodynamic models that can be used for flood prevention and control are proposed, in the context of a constructive critique of the actions carried out in the face of the largest flood in Rio Grande do Sul (Brazil) in May 2024, proposing alternative solutions.

The main argument put forward is that cultural intelligence, knowledge management and the social participation model help to create an ideal flood control plan, based on the Hydropol2D forecast model.

However, Hydropol2D is also reevaluated, because it does not consider the impact of agriculture on hydrology. To overcome its limitations, the complementary soil water assessment model (SWAT+) and the Green Water Module (GWFlow) are used.

Keywords: *Culture, Knowledge Management, Hydrodynamic Modeling, Agricultural Impact, Flood Management*

INTRODUCCIÓN

Los modelos de pronóstico del cambio climático señalan a Rio Grande do Sul como uno de los estados brasileños que más sufrirá inundaciones importantes en el futuro.

En cuanto a la falla del sistema de protección de Porto Alegre (capital de Rio Grande do Sul), si se hubiera realizado su operación y mantenimiento adecuados, los efectos de la inundación se habrían minimizado. El sistema cuenta con varias bombas y compuertas y la falla de solo una de ellas podría provocar su colapso. En particular, en el evento de mayo de 2024, una de las compuertas falló y el sistema eléctrico de la sala de máquinas no estaba diseñado para funcionar inundado. Para evitar el riesgo de descarga eléctrica, se apagó todo el sistema de bombeo, provocando un efecto cascada.

Además de cumplir en regla la operación y mantenimiento del sistema, contar con un modelo de pronóstico de inundaciones es de gran valor para la gestión de inundaciones. Es posible, con un horizonte de previsión de 1 a 2 días, predecir con cierta precisión el impacto de las inundaciones en las ciudades.

Según Nonnemacher y Fan (2023), por cada real gastado en sistemas de prevención de inundaciones, se pueden ahorrar alrededor de R\$ 40, reduciendo los posibles daños por inundaciones en Rio Grande do Sul. Para una correcta prevención, se precisa un sistema que cuente con nuevas estaciones pluviométricas con densidad adecuada, además de un equipo de seguimiento, de modelado y de generación de resultados.

En el ámbito del pronóstico, es necesario no sólo predecir las precipitaciones, sino también el nivel que vaya alcanzar el agua, según la profundidad de las calles, manzanas y todo el sistema de infraestructura de las ciudades. En las urbes que no cuentan

con sistemas de protección contra inundaciones (diques), la previsión y la alerta, especialmente a la hora de viajar, son esenciales para reducir el impacto de las inundaciones. Para ello se necesitan datos precisos proporcionados por estaciones de seguimiento y el uso de modelos adecuados y rápidos para predecir los efectos del anegamiento. La acción conjunta de unas adecuadas previsiones y un correcto seguimiento de las estructuras de protección es la estrategia ideal para la gestión de inundaciones.

Según la nota técnica “Criterios hidrológicos para la adaptación al cambio climático: Lluvias e inundaciones extremas en la Región Sur de Brasil”, publicada recientemente por Paiva et al. (2024), los proyectos de infraestructura o planificación a gran escala, para los cuales se suele prever tiempos de retorno de 50 años o más, deben poder superar la mayor inundación de la historia, independientemente del tiempo de retorno estimado para este desborde.

Un tiempo de retorno (TR) es un intervalo de tiempo en años en el que una inundación ocurre en promedio al menos una vez. Sin embargo, con el cambio climático y la profunda alteración de la cobertura vegetal de las cuencas urbanas, se tiende a aumentar la intensidad y frecuencia de los eventos de inundación, los cuales son la combinación de factores como (i) la condición inicial de humedad de la cuenca, (ii) la intensidad y duración del evento de lluvia y (iii) la distribución espacial de la precipitación, entre otros. Esta confluencia de efectos altamente no lineales, impredecibles, convierte la precipitación en escorrentía superficial, que se desplaza a lo largo de las superficies hasta encontrarse con los ríos, que eventualmente se desbordan debido al gran y rápido volumen que llega a sus lechos.

La planificación de las ciudades generalmente establece riesgos tolerables asociados a estas estructuras, de manera que los sistemas de microdrenaje (galerías y drenajes pluviales) se diseñan para tiempos de retorno del orden de 10 a 25 años, mientras que las obras de macrodrenaje, como ríos y canales, suelen estar proyectados para tiempos de retorno de entre 50 y 100 años. Sin embargo, ahora, con el cambio climático se debe revisar el concepto de riesgo tolerable para los proyectos de drenaje, debido a la no estacionariedad de las precipitaciones. Es decir, es necesario un gran Proyecto de Macrodrenaje Urbano para hacer frente a incidentes de inundación.

En el caso de Rio Grande do Sul, es claro que es necesario disminuir el caudal de los cuatro ríos que fluyen sobre el lago Guaíba y luego sobre las seis EBAB (cinco en Guaíba y una en Jacuí), y también sobre las seis represas (tres en Bento Gonçalves). Para lograr esto, es necesario elaborar detallados estudios sobre el comportamiento hidrológico-hidráulico de las cuencas de cada uno de los ríos, que sirvan de base para un enfoque integrado de la planificación de las cuencas hidrológicas, en particular de las aguas superficiales y subterráneas.

Hay dieciocho represas en Rio Grande do Sul; en mayo de 2024, seis se encontraban en situación de emergencia, con riesgo inminente de falla; una incluso se rompió parcialmente. Debido a la gran pendiente de la cuenca del río Taquari-Antas, un gran volumen de escorrentía llega rápidamente al complejo de presas, especialmente cuando las lluvias ocurren con mayor intensidad en la cabecera de la cuenca, como pasó en mayo de 2024. Según una nota publicada por el Instituto de Investigaciones Hidráulicas (IPH), algunas estaciones pluviómetro registraron acumulaciones de lluvia superiores a los 1.000 mm en dos semanas. En varias ocasiones, el volumen

de precipitación en este corto período de tiempo fue superior en 40% al volumen esperado para todo el año.

Algunas descargas de inundación pueden gestionarse en pequeños embalses a lo largo del río. Estos embalses no sólo atenúan los volúmenes de escorrentía, sino que también reducen la alta concentración de contaminantes transportados por el agua y, por tanto, aminoran su impacto en la operación de las plantas potabilizadoras. Sin embargo, en el caso de una gran inundación, como la ocurrida en mayo de 2024, la solución de medidas estructurales, como el uso de embalses, es prácticamente inviable dado el gran volumen que sería necesario almacenar para tener mínimos efectos de mitigación. Las medidas no estructurales pueden ser el camino más coherente para el futuro. Para las medidas estructurales, además, se deben hacer detallados estudios para evitar posibles daños e impactos ambientales.

Análisis Comparativo de Modelos Hidrodinámicos

Según Rennó y Suares (2022), un modelo hidrológico puede definirse como una representación matemática del flujo de agua y sus constituyentes sobre alguna parte de la superficie y/o subsuelo de la tierra. Con esto, los modelos matemáticos hidrodinámicos, formulados para resolver ecuaciones fundamentales de flujo, se pueden utilizar para predecir el comportamiento de las inundaciones.

Existe una estrecha relación entre las modelizaciones hidrológica, biológica y ecológica, ya que el transporte de materiales a través del agua está influenciado por actividad biológica, la cual puede aumentar o disminuir la cantidad de dicho material en el agua; así, el régimen de flujo del agua puede afectar diferentes hábitats.

Los modelos hidrodinámicos se construyen no solo para discutir qué sucede cuando los fluidos discurren de forma “laminar” (plana), sino buscando los líquidos que fluyen de forma “turbulenta”, como es el caso de las grandes inundaciones.

Los modelos hidrodinámicos ambientales son herramientas esenciales para la planificación y gestión de acciones en cuerpos de agua naturales, pues permiten analizar procesos relacionados con tres fenómenos de interés (Rossman, 2001):

- (i) Circulación Hidrodinámica: evalúa cambios en las Cantidades de Movimiento (masa \times velocidad) que generan variaciones en los niveles y corrientes de agua;
- (ii) Calidad del Agua: estima el transporte de sustancias que generan cambios en los constituyentes del agua y su calidad;
- (iii) Procesos Sedimentológicos: examina los ciclos de erosión, transporte y deposición de sedimentos que generan la evolución de la morfología o morfodinámica.

El objetivo de los modelos es computar movimientos, transportes, caudales y flujos de agua, además de sus constituyentes, como gases, salinidad, nutrientes, calor, sedimentos, etc.

Según Stokes Oceanografía (2023), el proceso de modelación se divide en diez pasos: 1. Armar un modelo conceptual del fenómeno de interés; 2. Buscar datos de entrada; 3. Definir los límites del dominio numérico; 4. Digitalizar el litoral o, en el caso de cuencas fluviales, utilizar modelos de elevación del terreno; 5. Construir la grilla numérica que discretiza el espacio en intervalos finitos, donde se resuelven las ecuaciones fundamentales de conservación de masa y energía; 6. Generar la batimetría de ríos, canales y embalses; 7. Definir los escenarios de simulación y las condiciones de contorno del modelo; 8.

Montar y configurar las rondas; 9. Analizar los resultados; y, 10. Repetir el proceso hasta que los resultados simulados se acerquen a los observados y Presentar los resultados.

En Brasil, la fuente de datos más utilizada en estudios hidrológico-hidrodinámicos es el portal HidroWeb, una herramienta que pone a disposición de los usuarios toda la información recopilada por la Red Hidrometeorológica Nacional (RHN), la cual es coordinada por la Agencia Nacional del Agua (ANA). Datos, como series históricas de caudales observados en ríos o batimetrías (estudios de profundidades de cuerpos de agua), entre otros, son de libre disposición. Con todo, estas observaciones de flujo no son los únicos datos de entrada que necesitan los modelos hidrológico-hidrodinámicos. Se precisan modelos más completos, que incluyan el comportamiento de las cuencas fluviales, las condiciones de humedad del suelo, las propiedades topográficas y el uso y cobertura de la tierra, y datos sobre la distribución temporal y espacial de las precipitaciones, lo que hace que el proceso de modelización sea aún más complejo. En países como Estados Unidos, series completas y mapas, en alta resolución, están disponibles gratuitamente en todo el país, lo que facilita la construcción de modelos de predicción de inundaciones.

Ahora, las series medidas para el río y período deseado no siempre están disponibles. Los ríos muy pequeños no están incluidos en la red de monitoreo de ANA. Aunque a menudo es posible obtener esos datos indirectamente, mediante cálculos de proporcionalidad de área de cuencas fluviales cercanas, o a partir de curvas de lluvia y escorrentía. Estas “regionalizaciones” en cierta medida sirven para determinar los caudales más recurrentes en los ríos; sin embargo, en eventos extremos este tipo de análisis no es aplicable.

Getirana et al. (2012) explican que las superficies de aguas abiertas dependen estrechamente de la geometría y topografía de los ríos. La geometría define si puede ocurrir un desbordamiento del río, y la topografía, que prescribe el perfil de la superficie de la llanura aluvial, determina el área inundada, dado el volumen de agua desbordado. Pero ambas perspectivas tienen limitaciones debido a problemas con los datos de entrada. Los errores en los Modelos Digitales de Elevación (MDE) siguen siendo una de las principales fuentes de incertidumbre al modelar la interacción entre ríos y llanuras aluviales. Los DEM actuales, basados en satélites, no son adecuados para proporcionar perfiles precisos de elevación de llanuras aluviales. En particular, el enfoque de “quema de llanuras aluviales”, que tiene en cuenta mapas de ríos y llanuras aluviales, puede ser una forma eficaz de cambiar gradualmente la elevación de los píxeles de alta resolución en zonas inundadas (Getirana et al., 2012).

Gomes Júnior et al. (2023) explican que los modelos hidrológicos, hidrodinámicos y de transporte de contaminantes son herramientas fundamentales para la toma de decisiones sobre mitigación de inundaciones y mala calidad del agua (Fan y Collischonn, 2014). En la literatura existen varios modelos que ayudan a cuantificar procesos hidrodinámicos a diferentes escalas temporales y espaciales.

A la escala de eventos de respuesta rápida en cuencas urbanas, el modelo 2D (bidimensional) de Autómatas Celulares Ponderados (WCA2D) (Guidolin et al., 2016) utiliza el enfoque de autómatas celulares para distribuir la escorrentía y estimar mapas de inundación de la superficie. Guidolin et al. (2016) demostraron que el modelo de análisis rápido de inundaciones WCA2D se podría usar para realizar simulaciones de inundaciones 2D a gran escala, debido a su

alto rendimiento computacional y bajo requisito de memoria, con un compromiso mínimo en precisión y una cantidad significativamente grande de simulaciones (por ejemplo, para análisis de riesgos). Este modelo 2D para el modelado de inundaciones terrestres está integrado con el modelo 1D CADDIES para el modelado de redes de alcantarillado desarrollado por Austin et al. (2014), para producir un modelo de drenaje urbano rápido y simplificado en el modelado de inundaciones urbanas. Sin embargo, en grandes inundaciones, el efecto del microdrenaje se reduce en relación con los grandes volúmenes de precipitación y escorrentía generados.

Otro enfoque es el de los Juegos serios, desarrollado por Gomes Junior et al. (2024). Los autores crearon un juego que simula el colapso de una presa y permite a los usuarios comprender la fuerza del agua con que llegaría a la ciudad, su altura y velocidad. El juego se aplicó a 21 represas, incluidas Brumadinho y 14 de Julho. Gomes Junior et al. (2023) también destacan el modelo HydroPol2D, que permite el modelado 2D de inundaciones y de la calidad del agua, con la simulación de la transferencia de impulso de las llanuras de inundación, el cálculo de la infiltración y la evapotranspiración distribuida espacialmente, además de la simulación del transporte y destino de los contaminantes. Estos enfoques permiten un análisis más integrado del comportamiento hidrológico en las cuencas fluviales que contribuyen a la escorrentía de los ríos.

El software HEC-RAS, desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos, permite la representación de flujos bidimensionales a partir de la solución numérica de ecuaciones de aguas someras. Simboliza los términos de inercia, gradiente de presión y efectos gravitacionales, fricción, turbulencia y efectos Coriolis (curvas que tienen las corrientes de agua y aire en diferentes hemisferios). La gran dificultad

del modelo HEC-RAS es su alto costo computacional para simular inundaciones en alta resolución. Los detalles de las formulaciones y esquemas numéricos utilizados en el modelo (versión 6.1.0) se pueden encontrar en Brunner (2016). Con todo, se produjo un mapa topográfico compuesto, fusionando múltiples bases de datos. En el río Amazonas y áreas de aguas abiertas de la llanura aluvial, la topografía estimada por Fassoni-Andrade et al. (2020a) se utilizó a una resolución espacial de 30 m (disponible en data.mendeley.com/datasets/vn599y9szb/1). Este mapeo fue creado digitalizando cartas náuticas de ríos y utilizando el método Flood2Topo (Fassoni-Andrade et al., 2020) a través de datos ópticos satelitales (Gomes Júnior et al., 2023).

Do Lago et al. (2024) evaluaron el desempeño del modelo propuesto en relación con otro del Sistema de Análisis de Ríos (RAS) del Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC), con una resolución de 3 m —modelo HEC-RAS— en siete cuencas fluviales de las ciudades de San Antonio y São Paulo. Los resultados indicaron que el MAP junto con cGAN-Inundação mejoró la precisión del mapa de inundaciones, identificando primero las células húmedas y luego estimando las profundidades del agua, a través de la distribución de un volumen de inundación, subestimando a veces el volumen total a distribuir (vt). Otra desventaja es que cGAN-Flood no puede predecir velocidades, un parámetro crítico para crear mapas de riesgo. Además, cGAN-Flood solo fue entrenado en expansión de inundaciones. Desafortunadamente, esto restringe su aplicación en situaciones en que la resolución de los datos varía o en escenarios que requieren pronósticos de inundaciones más detallados.

Aun así, cGAN-Flood fue 50 y 250 veces más rápido que WCA2D y HEC-RAS, respectivamente. Sin embargo, cGAN-

Flood tiene limitaciones y se necesitan investigaciones futuras para mejorar su aplicabilidad. El uso de herramientas de inteligencia artificial, que normalmente no cuentan con un aprendizaje profundo sobre el comportamiento hidrológico de las cuencas fluviales, debe hacerse con cautela, dada la escasez de un gran volumen de datos observados. La aplicación a gran escala de estas técnicas requiere de un escenario de amplios datos de monitoreo de inundaciones, donde sería posible entrenar modelos de aprendizaje automático con observaciones confiables del comportamiento de las cuencas.

Según Fassoni-Andrade et al. (2023), en un estudio sobre la dinámica de los sistemas hidrológicos de la Amazonía y la inundación de comunidades ribereñas, el modelo HEC-RAS utilizó una malla computacional no estructurada en la que la orientación y el tamaño de las celdas podían variar según la topografía, de modo que se pudieron incluir saltos para definir la orientación de las caras de las celdas computacionales. Los investigadores añadieron pausas, considerando una digitalización manual de los contornos topográficos de las riberas de los ríos. Todo esto, en las zonas de llanura aluvial, las isolíneas formadas por los umbrales de frecuencia de inundaciones del 90% y 60% del mapa de frecuencia de inundaciones preparado por Fassoni-Andrade et al. (2020).

Los errores en la cartografía topográfica, las condiciones limitadas aguas abajo y la falta de representación de los procesos hidrológicos en la llanura aluvial, como la infiltración local, la precipitación, la evaporación y el flujo de aguas subterráneas, pueden ser fuentes de incertidumbre en la cartografía hidrodinámica de la extensión de las inundaciones, especialmente en los períodos de escasez de agua (Fassoni-Andrade et al., 2023)

Según Long et al. (2023), su estudio mejoró la simulación de flujo al combinar modelos hidrológicos e hidrodinámicos. Construyeron un modelo hidrológico a partir de la herramienta de evaluación del agua de la cuenca del lago Dongting (SWAT), para simular el flujo actual en áreas con pocos datos, que además se combinó con el sistema hidrodinámico MIKE21, un modelo con condiciones de contorno adicionales, que observa las escalas características de los datos de entrada.

Gomes Junior et al. (2023) encontraron que un enfoque ampliamente utilizado es la regionalización (Arsenault et al., 2019), que es un proceso de transferencia de información hidrológica desde el área de medición hacia áreas con escasez de datos (Bao et al., 2012; Yang et al., 2020). Jillo et al. (2017) aplicaron un modelo de lluvia-escorrentía al área de observación de la escorrentía y estimaron la producción de agua en el área restante, con escasos datos, utilizando el método de regionalización, aunque los resultados no fueron validados.

En el río Amazonas y en las zonas de aguas abiertas de la llanura aluvial, en la topografía de Rio Grande do Sul estimada por los investigadores Fassoni-Andrade et al. (2020), se utilizó una resolución espacial de 30 m (disponible en data.mendeley.com/datasets/vn599y9szb/1). Este mapeo se creó digitalizando cartas náuticas de ríos y utilizando el método Flood2Topo (Fassoni-Andrade et al., 2020). El investigador chino Yuannan Long y sus colegas combinaron modelos hidrológicos e hidrodinámicos. El modelo hidrológico se elaboró utilizando la herramienta de evaluación de la cuenca del lago Dongting (SWAT), para simular el flujo actual en áreas con pocos datos y además se combinó con el sistema hidrodinámico MIKE21, un modelo con condiciones de

contorno adicionales, que observa las escalas características de datos de entrada. Sugiere revisar decisiones operativas, como la construcción de presas en el sitio de captación y nuevas ETA, cuando las existentes operan por encima de su capacidad.

Dada la amplia disponibilidad de modelos y soluciones numéricas, aquellos que sean capaces de abordar la recurrente falta de datos en grandes cuencas pueden ser una solución rápida para la predicción de inundaciones.

En este sentido, De Angelis y Gomes Júnior (2024) encontraron que el modelo HydroPol2D puede ser una solución de bajo costo para predecir el comportamiento hidrológico-hidráulico de las cuencas fluviales, en particular estimando mapas de inundación que contienen profundidades de agua por calles, manzanas, barrios y canales; en consecuencia, mapas de toda la cuenca hidrográfica. Además, investigaciones recientes utilizan el modelo HydroPol2D para evaluar el riesgo de personas arrastradas por el agua, generando mapas de riesgo cada 15 minutos, que pueden ayudar mucho en la toma de decisiones. Asimismo, la calidad de los resultados del modelo puede mejorar si hay más datos disponibles. Actualmente, Rio Grande do Sul cuenta con 1.700 estaciones pluviométricas (que miden la lluvia que cae en la cuenca de los ríos) y estaciones fluviométricas (que miden el nivel y caudal de los ríos), y solo 25% transmite datos en tiempo real. Solo con datos actuales se pueden alimentar los modelos hidrodinámicos, hay veces en que se debe recurrir a datos proporcionados por la propia población, enviados a través de videos y fotografías (De Angelis y Gomes Júnior, 2024).

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología elegida es una revisión de la literatura y un análisis exploratorio de la mayor inundación de Rio Grande do Sul, ocurrida en mayo de 2024.

Snyder (2019) destaca que la revisión de la literatura como método de investigación hoy es más relevante que nunca. Las revisiones tradicionales a menudo carecen de exhaustividad y rigor, y se llevan a cabo ad hoc, en lugar de seguir una metodología específica.

Este trabajo realiza una revisión integradora de la literatura.

La integración consiste no sólo en la revisión bibliográfica, cuando la intersección entre conceptos surge a través del cruce de diferentes fuentes, sino también ocurre mediante el modelo de investigación en el que todos los constructos están presentes.

Además de revisar la literatura, este trabajo utilizó la metodología de investigación-acción. La investigación-acción es un método de estudio que busca simultáneamente investigar y resolver un problema. En otras palabras, como indica su nombre, la investigación-acción desarrolla investigaciones y actúa al mismo tiempo.

La investigación-acción es una forma de indagación autorreflexiva, llevada a cabo por participantes en situaciones sociales, con el fin de mejorar la racionalidad y la justicia de sus propias prácticas, su comprensión de esas prácticas y las situaciones en las que se llevan a cabo (Carr y Kemmis, 1986).

RESULTADOS Y ANÁLISIS

El modelo Cultura–Conocimiento–Inteligencia (CCI)

Roland (2000) proporcionó explicaciones prácticas sobre la formación cultural y la relación entre el Estado, el conocimiento y la inteligencia. Fincher et al. (2008) y Murray y Schaller (2010) encontraron que los países con una alta presencia de agentes patógenos antes del siglo XX tendieron a desarrollar culturas más colectivistas. La idea central es que en regiones con alta prevalencia de enfermedades, las comunidades que adoptaron normas colectivistas, restringiendo el comportamiento individual y mostrando una actitud menos abierta hacia los forasteros, tenían mayores probabilidades de supervivencia.

Otras teorías sobre el origen del colectivismo e individualismo incluyen, por ejemplo, la mayor dependencia de la sociedad del cultivo de arroz en comparación con el del trigo, ya que el arroz requiere de más mano de obra y de mejor coordinación (Talhelm et al., 2014), así como la presencia de sistemas de riego extensivos (Bugge, 2015), en línea con la teoría de Wittfogel (1957). Por el contrario, Knudsen (2017) identificó que sociedades con una fuerte dependencia de la pesca a lo largo de su historia tienden a desarrollar una cultura más individualista (Roland, 2000).

Roland (2000) también destacó el papel de la geografía en la evolución de las estructuras sociales y económicas. Según su análisis, los países que históricamente han dependido de sistemas estatistas tienden a tener culturas más colectivistas, mientras que aquellos que desarrollaron economías de mercado han fomentado una mayor orientación individualista. En el caso de América del Sur, muchas sociedades han desarrollado sistemas legales enfocados en la resolución de conflictos entre ciudadanos, como disputas de propiedad.

Desde un enfoque antropológico, Edward Tylor definió la cultura en *Primitive Culture* (1871) como un fenómeno natural sujeto a estudio sistemático, con causas y regularidades que permiten su análisis y la formulación de leyes sobre su evolución. Kroeber concibió la cultura como un proceso acumulativo derivado de la experiencia histórica de generaciones pasadas, el cual puede estimular o limitar la creatividad individual. Félix Keesing y Alfred Kroeber coincidieron en que la cultura no está determinada genéticamente, ya que cualquier persona, sin importar su origen, asimila la cultura del lugar donde crece. Kroeber enfatizó que la cultura es lo que distingue al ser humano de los animales, ya que le permite trascender sus limitaciones biológicas a través del aprendizaje acumulativo.

Principales conceptos sobre cultura:

1. La cultura, además de la genética, moldea el comportamiento humano y sus logros.
2. El hombre actúa según normas culturales, ya que sus instintos han sido modificados por la evolución.
3. El aprendizaje cultural es más determinante que los instintos en la conducta humana.
4. La socialización y la educación influyen en el desarrollo profesional y artístico.
5. La cultura es un proceso acumulativo basado en la experiencia histórica.

En términos de políticas públicas, diversos académicos sugieren que los gobiernos deben priorizar la ciencia en sus estrategias de recuperación y crecimiento económico. La ciencia genera conocimiento, fomenta la innovación y mejora la calidad de vida, la democracia y la capacidad de resolución de problemas. Sin embargo, Rothberg y Erickson (2004) argumentan que el conocimiento en sí mismo es estático y solo adquiere valor cuando se aplica.

Richard Ackoff (1989) propuso una taxonomía ampliamente utilizada en la Gestión del Conocimiento (KM), identificando cuatro niveles de procesamiento de la información: datos, información, conocimiento e inteligencia. En un estudio clave, Davenport y Pruzak (1998) diferenciaron estos conceptos:

- Datos: registros objetivos sobre eventos.
- Información: mensajes estructurados con un emisor y un receptor.
- Conocimiento: una combinación fluida de experiencia, valores, información contextual y especialización que permite interpretar nuevos datos y situaciones.

El conocimiento, por tanto, no es estático ni fácilmente cuantificable, ya que combina elementos estructurados e intuitivos (Davenport et al., 1998). La transformación del conocimiento en inteligencia implica su interpretación, análisis, integración y aplicación para la toma de decisiones. Rothberg y Erickson (2004) sostienen que el conocimiento socialmente es construido a través de actividades colaborativas, y que carece de valor si no se aplica en la resolución de problemas. En conclusión, el conocimiento constituye la base de la inteligencia, mientras que la inteligencia representa el conocimiento en acción.

Choo (2002) define la inteligencia como un ciclo continuo de actividades que involucra la percepción del entorno, el desarrollo de conocimiento y la creación de significado a través de la interpretación. Este proceso se apoya en la memoria de experiencias previas, para orientar la acción basada en las interpretaciones generadas

A partir de estos fundamentos teóricos, se construye el modelo Cultura-Conocimiento-Inteligencia (CCI), representado en la Figura 1.

Premisas del modelo CCI:

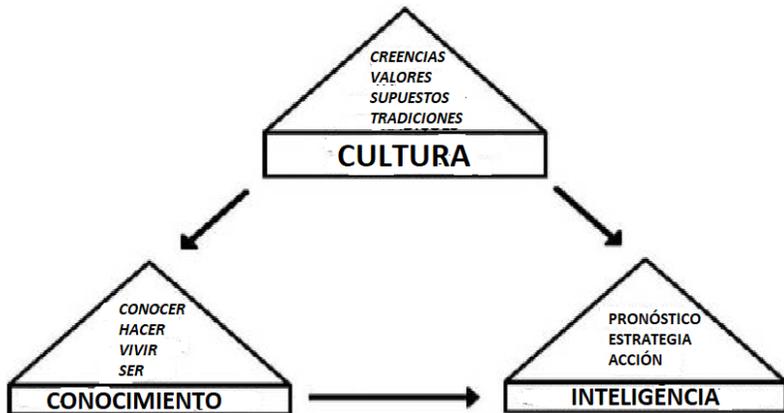
La cultura está compuesta por creencias, valores, supuestos y tradiciones de una sociedad (Schein, 1985).

Para que la educación sea efectiva, el currículo debe reformularse en torno a los cuatro pilares del aprendizaje: aprender a conocer, aprender a hacer, aprender a vivir juntos y aprender a ser (Nan-Zhao, 2000).

La inteligencia se sustenta en tres pilares fundamentales: predicción, estrategia y acción (Rothberg y Erickson, 2004).

Figura 1

Modelo Cultura-Conocimiento-Inteligencia (adaptado de Choo, 1998).



Nota. Elaboración propia

El modelo CCI se estructura a partir de tres hipótesis clave (ver Tabla 1).

Tabla 1.

Hipótesis del modelo CCI

Hipótesis	Fuentes	Resultados
La cultura tiene un impacto positivo en el conocimiento	El éxito de la implementación de un sistema de gestión del conocimiento depende estrechamente del análisis crítico de la cultura organizacional existente (de Ré et al., 2017).	SOPORTADO
El cambio cultural tiene un impacto positivo en la inteligencia	La cultura afecta los comportamientos organizacionales y sociales (cómo actuarán las personas en una situación determinada), como el pensamiento y la toma de decisiones (Schein, 1985).	SOPORTADO
El conocimiento (KM) tiene un impacto positivo en la inteligencia	Rothberg y Erickson (2004) aclaran que el conocimiento sin aplicación es inofensivo. En resumen, el conocimiento es la base de la inteligencia, ya que la inteligencia es el conocimiento en acción para resolver problemas.	SOPORTADO

Nota. Elaboración propia

El modelo CCI evidenció la interconexión entre cultura, conocimiento e inteligencia. En el caso de la inundación en Rio Grande do Sul, quedó patente cómo la cultura de inmediatez y la falta de inversión en medidas preventivas —especialmente aquellas que no generan impacto electoral inmediato— afectaron negativamente la gestión del conocimiento, en particular el conocimiento tácito. Este tipo de conocimiento, basado en la experiencia práctica, es difícil de articular y compartir, ya que depende en gran medida de la confianza, el compromiso y la identidad social. Como consecuencia, los medios para mitigar los daños provocados por las inundaciones no fueron eficaces.

Además, la cultura influyó en la inteligencia, dificultando la transformación del conocimiento de técnicos y académicos en acciones concretas, antes y después del desastre. Esto fue evidente en la crisis generada por la inundación de las salas de máquinas y el desbordamiento del agua en las presas.

Gestión del Conocimiento y Comunidades de Práctica

La Gestión del Conocimiento es un esfuerzo organizacional para capturar, codificar, organizar y redistribuir el conocimiento tácito, haciéndolo explícito (Rothberg y Erickson, 2004). Para abordar la interdisciplinariedad de la temática relacionada con las inundaciones, es fundamental crear espacios públicos de colaboración entre investigadores, formuladores de políticas y comunidades. Asimismo, es necesario fortalecer la conciencia social sobre el cambio climático y sus consecuencias. La participación ciudadana resulta clave para garantizar que las soluciones implementadas sean adecuadas y aceptadas por la comunidad.

El Índice de vulnerabilidad social de Cutter (Cutter et al., 2012) sirve como un indicador útil para prever daños ambientales, comprender el impacto de los desastres en comunidades y ecosistemas, evaluar necesidades de recuperación o desplazamiento y desarrollar sistemas de alerta temprana eficaces.

Con base en los citados hallazgos, este estudio propone la implementación de Comunidades de Práctica (CoP) o Foros Comunitarios como una estrategia clave de gestión del conocimiento. Morgado da Silva y Araújo (2019) destacan que los Foros Comunitarios son espacios democráticos y participativos en los que se revelan, analizan y debaten los conflictos éticos y sociales de la comunidad, con el objetivo de transformar la realidad. Estas iniciativas se basan en la

gestión del conocimiento a través de las CoP. No obstante, el debate debe ser mediado por expertos, para evitar la difusión de información incompleta o errónea.

Para incentivar la formación de Comunidades de Práctica, Oliveira y Villardi (2014) señalan que es esencial considerar la influencia de las emociones y deseos de las personas en sus interacciones sociales y en la percepción de los grupos de trabajo (Gherardi, 2003). Moura (2009), por su parte, advierte que las CoP han sido escasamente analizadas desde una perspectiva crítica. Lave y Wenger (1991) reconocen la dimensión de poder inherente a estas comunidades, mientras que Wenger (2000) advierte sobre el riesgo de idealizarlas en exceso, señalando que pueden ser tanto espacios de creatividad y aprendizaje como entornos restrictivos.

Elementos esenciales de una Comunidad de Práctica

Según Wenger (2006), tres elementos fundamentales caracterizan a una CoP:

1. Dominio: La CoP tiene una identidad basada en un conjunto compartido de intereses. Sus miembros están comprometidos con el aprendizaje mutuo y son valorados por su experiencia colectiva.
2. Comunidad: Los participantes colaboran en actividades conjuntas, se apoyan y comparten información. Para mantener esta cohesión, las CoP fomentan relaciones que faciliten el aprendizaje, incluso cuando sus miembros no trabajan juntos diariamente.
3. Práctica: Los miembros son practicantes activos que comparten experiencias, herramientas y estrategias para resolver problemas, construyendo así un acervo de conocimiento compartido.

La integración a una CoP ocurre progresivamente mediante la “participación periférica legítima” (PPL), un proceso a través del cual los nuevos miembros aprenden y se socializan hasta ser reconocidos dentro de la comunidad (Gherardi et al., 1998). La interacción social en estos entornos informales resulta clave para construir, transmitir conocimientos y fomentar el aprendizaje colectivo basado en la práctica.

Se propone la creación de una Comunidad de Práctica para el análisis y discusión de mejores estrategias en la contención de inundaciones, con la designación de expertos en cada área temática. Estos especialistas tendrán el rol de analizar la información, facilitar el debate, motivar la participación y presentar propuestas concretas para la toma de decisiones. Uno de los principales resultados esperados de estas Comunidades de Práctica es el cambio cultural en la gestión del riesgo. En este sentido, De Angelis (2023) identifica tres grandes desafíos: Fomentar una cultura de intercambio de conocimientos dentro y fuera de la administración pública, promoviendo la co-creación e implementación de políticas, programas y proyectos. Facilitar la expresión concisa y organizada en debates en línea, utilizando herramientas inteligentes especializadas para transformar información en conocimiento (contextualización) y sabiduría (aplicación).

Reconocer la importancia de la participación activa de ciudadanos, sector privado y funcionarios públicos en la generación de nuevo conocimiento, apoyándose en sistemas expertos para guiar y analizar esta colaboración.

El cambio cultural es un elemento clave para fortalecer los planes de emergencia basados en Gestión del Conocimiento (a través de Comunidades de Práctica) e Inteligencia Organizacional (mediante el análisis de expertos en cada grupo temático).

Estrategias para Planes de Emergencia

De Angelis (2024) enfatiza que los planes de emergencia deben centrarse en medidas proactivas, tanto estructurales (por ejemplo, obras de ingeniería hidráulica) como no estructurales (como políticas públicas para la transferencia de conocimiento a la sociedad), con el fin de reducir la pérdida de vidas y los impactos económicos.

Además, De Angelis y Gomes Júnior (2024) destacan la importancia del software HAZUS, desarrollado por la FEMA en Estados Unidos, para mapear riesgos de inundación y fallas de presas. Esta herramienta permite a los planificadores evaluar daños potenciales y realizar análisis costo-beneficio en áreas vulnerables, facilitando el desarrollo de infraestructuras y estrategias de rezonificación.

Araújo (2024) advierte que, según la FEMA, 40% de las empresas no reabren después de un desastre y otro 25% cierra en el plazo de un año. Asimismo, resalta la necesidad urgente de desenlazar la cuenca de Taquari, un tema en debate desde hace más de cuatro décadas.

Innovaciones Tecnológicas para la Sostenibilidad

El estudio de Wendland et al. (2023) demuestra que los materiales sintéticos avanzados pueden mejorar la eficiencia y sostenibilidad en la producción, almacenamiento y uso de energía. Aplicaciones como células solares avanzadas, baterías y catalizadores eficientes pueden reducir la dependencia de los combustibles fósiles y mitigar el cambio climático.

En el sector del transporte, responsable de una alta emisión de CO₂, el hidrógeno verde (renovable) se perfila como una alternativa clave. Sin embargo, su costo de producción sigue siendo superior al del hidrógeno obtenido de fuentes fósiles, que generan gases de efecto invernadero. No obstante, estudios

recientes sugieren que esta brecha de costos se reducirá en el corto plazo.

El hidrógeno verde se produce mediante electrólisis, utilizando electricidad de fuentes renovables como solar, eólica, hidráulica, geotérmica y mareomotriz. También puede generarse a partir de biogás o biomasa, siempre que cumpla con criterios de sostenibilidad. A pesar de los desafíos económicos actuales, su desarrollo es clave para una transición energética limpia y sostenible.

El Modelo Biodinámico – Hidrodinámico

La agricultura biodinámica, que utiliza polvo de roca para reducir la fuerte necesidad de fertilizantes químicos, tiene el potencial de mejorar los indicadores climáticos e hídricos.

Como hemos visto, los fertilizantes químicos, además de contaminar el agua, aumentan el secuestro de carbono en el suelo, lo que ayuda a aumentar las temperaturas y por tanto las precipitaciones.

Los modelos hidrodinámicos se utilizan en casos de inundación para predecir la densidad del agua cerca del aliviadero y crear un plan de descarga de inundaciones ideal.

Como encontró Angelis (2014), un plan de emergencia depende de la variabilidad de las propiedades hidráulicas e hidrológicas, ya que los indicadores hidráulicos se ven impactados por el uso de la tierra y, luego, por el cambio climático.

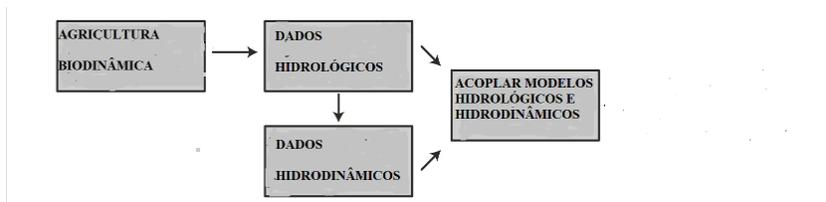
Este trabajo sugiere las siguientes Comunidades de Práctica para compartir conocimientos y experiencias, a fin de mejorar el proceso de toma de decisiones:

- 1- Agricultura y cambio climático
- 2- Modelos hidrodinámicos y datos necesarios
- 3- Mejora de la previsión en casos de inundaciones
- 4- Planes de emergencia y relación con la población
- 5- Estructuras eléctricas de salas de máquinas

Con base en la revisión de la literatura, se construye la forma de relación entre el modelo de Agricultura Biodinámica y el Modelo Hidrodinámico.

Figura 2

Relación entre el modelo de Agricultura Biodinámica y el Modelo Hidrodinámico.



Nota. Elaboración propia.

En este modelo, es importante tener en cuenta que el avance en los datos agrícolas ha mejorado los datos hidrológicos y hidrodinámicos, dada la relación con el intercambio climático y el respeto por el medio ambiente.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El principal resultado de la revisión de la literatura fue identificar el modelo HydroPol2d como una solución de bajo costo para la predicción del comportamiento hidrológico de las cuencas de Río Grande do Sul, especialmente estimando mapas de inundación, según la profundidad de las aguas en calles, vecindarios, canales y, en consecuencia, en toda la cuenca.

Y no solo eso. Como hemos visto, el modelo HydroPol2D se puede utilizar para evaluar el riesgo de arrastre de personas por las riadas, generando mapas de riesgo cada 15 minutos, sumamente útiles para la toma de decisiones.

Sin embargo, este trabajo llama la atención sobre la necesidad de contar con datos prontos y certeros de las lluvias, lo cual es posible lograr solo con estaciones fluviométricas eficientes. Se sugiere una mejor estructura de estas estaciones, así como a la construcción de nuevas por el poder público.

Es importante tener en cuenta que el cambio cultural es aún más importante que el modelo HydroPol2D en sí. Tanto en la inundación de 2023 como en la de 2024, las acciones de respuesta al desastre empeoraron la situación, que dejó 151 muertos, más de 100 desaparecidos y más de 600 desplazados.

Las alertas meteorológicas de que iban haber fuertes lluvias se emitieron con cinco días de anticipación.

No hubo mantenimiento de las estructuras existentes contra las inundaciones (diques, compuertas y bombas), al punto de que el sistema colapsó antes de alcanzar el límite de inundación de 6 metros. Como vimos, las bombas, que estaban inundadas, no pudieron expulsar el agua hacia fuera de la ciudad, debido a su imposibilidad de funcionar a causa del exceso de agua.

Con todo, el principal problema no fue el mantenimiento del material existente, sino la calidad de este material (era el más barato se compró, a raíz de la corrupción en el proyecto), además de la falta de conocimiento por parte del equipo técnico. Según la Associação Internacional de Leitura Conselho Brasil Sul, Brasil, es el país que lee menos en América del Sur.

Obviamente, también hubo una falta de trabajo de equipo multidisciplinario para gestionar mejor la urbanización y el

sellado del suelo, particularmente en comunidades que viven cerca de zonas de inundación.

Sin un plan de Gestión del Conocimiento e Inteligencia Organizacional, faltó una buena comunicación por parte de las autoridades públicas para instruir a la población sobre cómo reducir riesgos y cómo actuar en situaciones de emergencia.

Conclusiones

El artículo presenta dos modelos de investigación que se retroalimentan: el modelo Cultura-Conocimiento-Inteligencia (CCI) y el modelo de gestión de riesgos con participación social. El primero muestra la importancia de aprender de otras culturas, la inteligencia cultural, como incluir entre la gente que el tema de las inundaciones es un problema global y, por ende, que hay la necesidad de intercambiar conocimientos y experiencias con otros países, en particular con Argentina.

Los efectos del cambio climático, asociados a la ocupación de zonas inundables, hacen que eventos como el de mayo de 2024 sean cada vez más frecuentes. Sin embargo, la capacidad matemática actual de los modelos de previsión permite, con un intervalo razonable de unos pocos días, predecir el impacto de las inundaciones con cierta precisión y servir de base para planes de actuación de emergencia. Para ello, es necesario recopilar datos de elevación, precipitaciones, batimetría y otros que sirvan como información de entrada para los modelos de pronóstico. Estados como Santa Catarina o Pernambuco cuentan con información de este tipo. Estas y otras medidas fueron sugeridas por investigadores del Instituto de Investigaciones Hidráulicas a fines de 2023, tras las inundaciones de noviembre, pero no fueron seguidas por los organismos públicos responsables.

Los investigadores también cuestionaron la responsabilidad gubernamental en el mantenimiento de las obras de defensa,

comodiques de contención y barreras anti-inundaciones. Los sistemas de protección, especialmente en Porto Alegre, requieren de una intensa movilización de agentes capacitados para el correcto funcionamiento de compuertas y salas de máquinas. Preservar la memoria de las personas sobre los impactos sin precedentes de la inundación de 2024 no solo debe servir como una advertencia para la población, sino también para organizar con la gente acciones adecuadas y frecuentes para la operación y mantenimiento de los sistemas de protección.

Paiva et al. (2024) recomiendan que los proyectos y la planificación de infraestructura sean adaptables y flexibles, y que faciliten o no inviabilicen su ampliación, como en el ancho de puentes, en los tramos de alcantarillas, en la altura de coronación de presas y diques, etc., permitiendo así considerar futuros incrementos en los valores de referencia, dado un cierto riesgo asociado a eventos hidrológicos extremos.

La formación de equipos responsables de gestionar los sistemas de protección con frecuencia y no solo durante las inundaciones debe ser una prioridad. El presente trabajo pretende identificar pautas para una solución, sin necesariamente encontrar culpables. La población afectada es la que más sufre al tener que desplazarse desde zonas previamente estables. Todo esto trae consigo la importancia de la inteligencia y sus tres pilares 1. predicción (responsabilidad del modelo hidrodinámico), 2. Estrategia, y 3. Acción (responsabilidad del plan de emergencia con participación social).

Como se analiza en este estudio, es necesaria una mejor relación entre la Universidad y el Gobierno, con la participación de la población, para que quienes tienen conocimiento y experiencia puedan contar con mejores datos hidrológicos, no solo de precipitaciones, sino también de niveles de agua en toda la infraestructura de las ciudades. Además, se necesita un plan

de emergencia estándar que pueda replicarse en todo Brasil, considerando la educación ciudadana, particularmente de las poblaciones ribereñas.

REFERENCIAS

- Araújo, L. (2024). Emergência climática traz necessidade de mudança em parâmetros de risco de desastres. *Jornal do Comércio*. 2024. Disponível em <https://www.jornaldocomercio.com/cadernos/empresas-e-negocios/2024/05/1155968-emergencia-climatica-traz-necessidade-de-mudanca-em-parametros-de-risco-de-desastres.html>
- Arsenault, R., Breton-Dufour, M., Poulin, A., Dallaire, G., & Romero-Lopez, R. (2019). Streamflow prediction in ungauged basins: analysis of regionalization methods in a hydrologically heterogeneous region of Mexico. *Hydrological Sciences Journal*. 2019. 64(11), 1297–1311.
- Bao, Zhenxin, et al. (2012). “Comparison of regionalization approaches based on regression and similarity for predictions in ungauged catchments under multiple hydro-climatic conditions”. *Journal of Hydrology* 466 (2012): 37-46.
- Brunner, G. W. (2016). *HEC-RAS river analysis system, 2D modeling users’ manual*. U.S. Army Corps of Engineer, Institute for Water Resource, Hydrologic Engineering Center. 2016.
- Choo, C.W. (1998). *The Knowing Organisation*, Oxford University Press, New York, NY. 1998.
- Davenport, T.H. and Prusak, L. (2000). *Working Knowledge*, 2nd ed., Harvard Business School Press, Boston, MA. 2000.
- Cutter, S., B. Boruff y L. Shirley. (2003). Social vulnerability to environmental hazards, *Social Science Quarterly*, 2003. vol. 84, Nº 2
- De Angelis, C. T. (2023). Um plano de educação ambiental baseado na educação infantil, participação social: um estudo de caso na Aldeia Terere em Sidrolândia. *Revista Ambientale. Revista da Universidade Estadual de Alagoas/UNEAL*. 2023. Disponível em <https://periodicosuneal.emnuvens.com.br/ambientale/article/view/535>
- De Angelis, C. T. (2024). Um modelo e Plano de Emergência Padronizado para as inundações. *Jornal do Comércio*. 2024. Disponível em <https://www.jornaldocomercio.com/opinioao/2024/07/1165074-um-modelo-e-plano-de-emergencia-padronizado-para-as-inundacoes.html>

- De Angelis, C. T. Gomes Júnior, M. N. (2024). Uma sugestão de modelo hidrodinâmico para prever e gerir inundações. *Jornal do Comércio*. 2024. Disponível em <https://www.jornaldocomercio.com/opiniao/2024/07/1160994-uma-sugestao-de-modelo-hidrodinamico-para-prever-e-gerir-inundacoes.html>
- Do Lago, Cesar & Brasil, José & Nóbrega, Marcus & Mendiondo, Eduardo & Giacomoni, Marcio. (2024). Improving pluvial flood mapping resolution of large coarse models with deep learning. *Hydrological Sciences Journal*, 2024. 69(5), 607–621. <https://doi.org/10.1080/02626667.2024.2329268>
- Fassoni-Andrade, A. C. Paiva, R. C. Rudorff, C. M. Barbosa, C.C. Leão, E. M. (2020). *High-resolution mapping of floodplain topography from space: A case study in the Amazon*, Remote Sensing of Environment, Volume 251, 2020.
- Fassoni-Andrade, A. C. Durand, F. Azevedo, A. Bertin, X. Santos, L.G. Khan, J. U. Testut, Moreira, D. M. (2023). Seasonal to interannual variability of the tide in the Amazon estuary, *Continental Shelf Research*, Volume 255, 2023.
- Getirana, A., Boone, A., Yamazaki, D., Decharme, B., Papa, F., & Mognard, N. (2012). The hydrological modeling and analysis platform (HyMAP): Evaluation in the Amazon basin. *Journal of Hydrometeorology*, 2012. 13, 1641–1665
- Gomes Júnior, M. N. Giacomoni, M. H. Richmond, F. A. Mendiondo, E. M. (2024). Global optimization-based calibration algorithm for a 2D distributed hydrologic-hydrodynamic and water quality model, *Environmental Modelling & Software*, Volume 179, 2024.
- Gomes Júnior, M. N. Lago, C. A. Rápalo, L. M. Oliveira, P. T. Giacomoni, M. H. Mendiondo, E. M. (2023). HydroPol2D — Distributed hydrodynamic and water quality model: Challenges and opportunities in poorly-gauged catchments, *Journal of Hydrology*, Volume 625, Part A, 2023,
- Guidolin, M., Chen, A. S., Ghimire, B., Keedwell, E. C., Djordjevic, S., & Savić, D. A. (2016). “A weighted cellular automata 2D inundation model for rapid flood analysis”. *Environmental Modelling & Software*, 2016. 84, 378-394.
- Hu, D. Chen, Z. Li, Z. Zhu, Y. (2024). An implicit 1D-2D deeply coupled hydrodynamic model for shallow water flows, *Journal of Hydrology*, Volume 631, 2024,
- Jillo, A. Y., Demissie, S. S., Viglione, A., Asfaw, D. H., & Sivapalan, M. (2017). Characterization of regional variability of seasonal water balance within Omo-Ghibe River Basin, Ethiopia. *Hydrological Sciences Journal*, (2017). 62(8), 1200–1215.

- Kroeber, A. L. (1949). The Concept of Culture in Science. *The Journal of General Education*. Vol. 3, No. 3 , pp. 182-196 (15 pages). Published By: Penn State University Press. 1949.
- Li, G. Zhu, H. Jian, H. Zha, W. JWang, J. Shu, Z. Yao, S. Han, H. (2023). A combined hydrodynamic model and deep learning method to predict water level in ungauged rivers, *Journal of Hydrology*, Volume 625, Part A,2023.
- Long, Y. Chen, W. Jiang, C. Huang, Z. Yan, S. Wen, X. (2023). Improving streamflow simulation in Dongting Lake Basin by coupling hydrological and hydrodynamic models and considering water yields in data-scarce areas, *Journal of Hydrology: Regional Studies*, Volume 47, 2023.
- Morgado da Silva, M., Araújo, U. (2019). Aprendizagem-Serviço E Fóruns Comunitários: Articulações Para A Construção Da Cidadania Na Educação Ambiental. *Revista de Educação Ambiental*. Vol. 24, n. 1. 2019. Disponível em <https://periodicos.furg.br/ambeduc/article/view/8157>
- Nonnemacher, Lara & Fan, Fernando. (2023). Análise da viabilidade econômica da previsão de cheias no Rio Grande do Sul. *Revista de Gestão de Água da América Latina*. 2023. 20. 8. 10.21168/reg.a.v20e8.
- Paiva, R. Collischonn, W. Miranda, P. Petry, I. Dornelles, F. Goldenfum, J. Fan, F. Ruhoff, A. e Fagundes, H. (2024). *Crêterios hidrológicos para adaptação à mudança climática: Chuvas e cheias extremas na Região Sul do Brasil*. Relatório IPH-UFRGS. 2024. Disponível em <https://www.ufrgs.br/iph/wpcontent/uploads/2024/05/CriteriosAdaptacaoMudancaClimaticaChuvasCheiasExtremasSul.pdf>
- Rennó, C.D.; Soares, J. V. (2022). *Modelos hidrológicos para gestão ambiental*. Cursos INPE. 2022. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/geopro/modelagem/relatorio_modelos_hidrologicos.pdf>.
- Rosman, P. C.C. (2001). Um Sistema Computacional de Hidrodinâmica Ambiental – Capítulo 1 (pp 1-161) do livro *Métodos Numéricos em Recursos Hídricos*, Vol. 5. Editora ABRH e Fundação COPPETEC. 2001.
- Rothberg, H. N. Erickson, G. S. (2004). *From Knowledge to Intelligence: Creating Competitive Advantage in the Next Economy..* 2004.
- Schein, Edgar H. (1985). *Organizational Culture and Leadership*. San Francisco: Jossey-Bass Publishers. 1985.
- Stokes (20y3). *Oceanografia. Estudos sobre modelos hidrodinâmicos*. 2023. Disponível em <http://stokesoceanografia.com.br/2020/08/07/modelos-hidrodinamicos1/>
- Yang, Linhan, et al. (2022). Effects of the Three Gorges Dam on the downstream streamflow based on a large-scale hydrological and hydrodynamics coupled model. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 40 (2022): 101039.