

# Un análisis de modelos hidrodinámicos y una propuesta de cambio cultural basada en predicciones: el caso de la inundación del Rio Grande do Sul, Brasil

*An analysis of hydrodynamic models and a proposal for cultural change based on predictions: the case of the flooding of Rio Grande do Sul, Brazil*

**Cristiano De Angelis**

[cristiano.deangelis@skema.edu](mailto:cristiano.deangelis@skema.edu)

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

**Skema Business School Santa Catarina,  
Brasil**

Recibido el 01 de febrero de 2025 / Arbitrado el 15 de agosto de 2025 / Aceptado el 05 de noviembre de 2025 / Publicado el 25 de enero de 2026

## RESUMEN

Después de las fuertes inundaciones que azotaron Rio Grande do Sul, la pregunta es cuáles son las necesidades de investigación e infraestructura en un contexto de planificación urbana desordenada. Con el cambio climático y los intensos cambios en la cubierta vegetal de las cuencas urbanas, existe una tendencia a que aumente la intensidad y frecuencia de las inundaciones. Al utilizar una metodología de revisión de la literatura, este trabajo presenta soluciones de modelos matemáticos que pueden ser utilizados para la prevención y control de inundaciones, haciendo una crítica constructiva de las soluciones presentadas en la mayor inundación de Rio Grande do Sul, proponiendo soluciones alternativas. Los modelos hidrodinámicos requieren condiciones de entrada que dependen de datos de estaciones hidrométricas, que son escasas y han comprometido la precisión en eventos extremos. Con el enfoque de relacionar medidas estructurales (por ejemplo, aumentar la infiltración y recarga de aguas subterráneas que ayuden a controlar y dirigir adecuadamente la escorrentía de agua de lluvia) con medidas no estructurales (por ejemplo, políticas para reducir la generación de escorrentía superficial) y desarrollar un plan de emergencia. Esta pregunta de investigación conduce a la propuesta de un modelo de Inteligencia Cultural, Gestión del Conocimiento y Participación Social con el fin de crear un plan ideal de control de inundaciones. El principal resultado es la selección del modelo cGAN-Flood como el más adecuado para predecir inundaciones en Rio Grande do Sul.

**Palabras Claves:** Cultura; Gestión del Conocimiento; Modelo Biodinámico; Modelo Hidrodinámico; Inteligencia Organizacional.

## ABSTRACT

After the severe floods that struck Rio Grande do Sul, the question arises as to what research and infrastructure needs exist within a context of disorganized urban planning. With climate change and the intense changes in vegetation cover of urban watersheds, there is a trend toward increased intensity and frequency of floods. Using a literature review methodology, this work presents mathematical model solutions that can be used for flood prevention and control, offering constructive criticism of the solutions presented in response to the largest flood in Rio Grande do Sul, and proposing alternative solutions. Hydrodynamic models require input conditions that depend on data from hydrometric stations, which are scarce and have compromised accuracy in extreme events. The approach involves relating structural measures (e.g., increasing infiltration and groundwater recharge to help control and properly direct rainwater runoff) with non-structural measures (e.g., policies to reduce surface runoff generation) to develop an emergency plan. This research question leads to the proposal of a model of Cultural Intelligence, Knowledge Management, and Social Participation to create an ideal flood control plan. The main result is the selection of the cGAN-Flood model as the most suitable for predicting floods in Rio Grande do Sul.

**Keywords:** Culture; Knowledge Management; Biodynamic Model; Hydrodynamic Model; Organizational Intelligence.

## INTRODUCCIÓN

El principal objetivo de este trabajo es estudiar la relación entre la lucha contra las inundaciones y las medidas estructurales y no estructurales.

Este trabajo estudia lo siguiente Pregunta de investigación: ¿Cuál es el impacto de la cultura en la gestión del conocimiento de las inundaciones (por ejemplo, modelos hidrodinámicos) y las inundaciones (por ejemplo, drenaje)?

Rio Grande do Sul, como todo Brasil, sufre mucho por inundaciones. En particular, 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, si se hubiera realizado la operación y mantenimiento, 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 el colapso del sistema. 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. En este caso, para evitar el riesgo de descarga eléctrica, se apagó todo el sistema de bombeo, provocando un efecto cascada.

Además de los procesos de operación y mantenimiento del sistema, un modelo de pronóstico de inundaciones es de gran valor para la gestión de inundaciones. Es posible, con un horizonte de previsión de 1-2 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\$ 40,00 reduciendo los posibles daños por inundaciones en Rio Grande do Sul. Para una correcta prevención, un sistema que cuente con nuevas estaciones pluviométricas con densidad adecuada, un equipo de seguimiento, modelado y generación de resultados.

A nivel de pronóstico, es necesario no sólo pronosticar las precipitaciones, sino también el nivel del agua, la profundidad de las calles, manzanas y todo el sistema de infraestructura de las ciudades. En las ciudades que no cuentan con sistemas de protección contra inundaciones (es decir, diques), la previsión y la alerta, especialmente a la hora de viajar, son esenciales para reducir los impactos de las inundaciones. Para ello se necesitan datos precisos de estaciones de seguimiento y modelos adecuados y rápidos para predecir los efectos de la inundación. 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 una nota técnica titulada “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 suelen adoptar tiempos de retorno de 50 años o más, deben poder superar la mayor inundación de la historia, independientemente del tiempo de retorno estimado para esta inundación.

Por definición, 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 intensa 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 varios factores como (i) la condición inicial de humedad de la cuenca, (ii) intensidad y duración del evento de lluvia, (iii) distribución espacial de la precipitación, entre otros. Esta combinación de efectos altamente no lineales 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 urbana de las ciudades generalmente establece riesgos tolerables asociados a estos sistemas, de manera que los sistemas de microdrenaje (es decir, galerías pluviales, drenajes pluviales) se diseñan para tiempos de retorno del orden de 10 a 25 años, mientras que las obras de macrodrenaje, es decir, las asociadas Los ríos y canales con mayor magnitud suelen estar diseñados para tiempos de retorno del orden de 50 a 100 años. 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 inundaciones.

Conceptualmente, 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 Goncalves). Para ello es necesario elaborar estudios detallados 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 18 represas en Rio Grande do Sul, y en mayo de 2024 seis se encuentran en situación de emergencia, con riesgo inminente de falla, una de las cuales ya se ha roto 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 se distribuyen con mayor intensidad en la cabecera de la cuenca, como ocurrió con este evento en mayo de 2024. Según la nota Según una técnica publicada recientemente por el Instituto de Investigaciones Hidráulicas (IPH), algunas estaciones pluviómetros registraron acumulaciones de lluvia superiores a los 1000 mm en dos semanas. En varias temporadas, el volumen de precipitación en este corto período de tiempo fue superior al 40% del volumen esperado para todo el año.

Algunos procesos de descarga de inundaciones 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 la escorrentía y, por tanto, sus impactos en las operaciones 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 y, en el caso particular de las medidas estructurales, se deben realizar estudios detallados para evitar posibles daños e impactos ambientales.

Este trabajo se divide en cinco secciones. La primera sección habla de la metodología. La sección dos proporciona un análisis comparativo de modelos hidrodinámicos. La sección 3 revisa la literatura sobre modelos hidrodinámicos. La sección 4 aborda la importancia de los planes de emergencia estándar para la gestión de riesgos y la participación social basados en las prácticas de GC e IO. La sección 5 finalmente presenta los modelos Cultura – Conocimiento – Inteligencia (CCI) con base en lo expuesto en las secciones anteriores.

## METODOLOGÍA

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

Las revisiones de la literatura tradicional 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 ocurre no sólo en la revisión bibliográfica en sí, en la que la intersección entre estos conceptos se demuestra a través de diferentes fuentes, sino también a través del modelo de investigación en el que todos los constructos están presentes.

Además de la revisión de la literatura, este trabajo utiliza la metodología de investigación acción. La investigación acción es un método de investigación que tiene como objetivo investigar y resolver simultáneamente un problema. En otras palabras, como sugiere el nombre, la investigación-acción realiza investigaciones y actúa al mismo tiempo. La investigación-acción es simplemente una forma de investigación 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.

**Revisión de literatura;** se establecieron los siguientes indicadores:

**1. Un análisis comparativo de modelos hidrodinámicos:** Según Rennó y Soares (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. Por lo tanto, los modelos matemáticos hidrodinámicos que resuelven ecuaciones fundamentales de flujo se pueden utilizar para predecir el comportamiento de las inundaciones.

Existe una estrecha relación entre la modelización hidrológica, biológica y ecológica, ya que el transporte de materiales a través del agua está influenciado por actividades biológicas que pueden aumentar o disminuir la cantidad de estos materiales en el agua, y el régimen de flujo del agua puede afectar diferentes hábitats.

Los modelos hidrodinámicos se construyen para discutir qué sucede cuando los fluidos fluyen, sin restringirlos a fluidos que fluyen de forma “laminar”, sino buscando aquellos que fluyen de forma “turbulenta”, como es el caso de las grandes inundaciones.

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

- **Circulación Hidrodinámica:** evalúa cambios en las Cantidades de Movimiento (masa  $\times$  velocidad), que generan variaciones en los niveles y corrientes del agua;
- **Calidad del Agua:** evalúa el transporte de sustancias que generan cambios en los constituyentes del agua y su calidad;
- **Procesos Sedimentológicos:** evalúa 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 y sus constituyentes, como gases, salinidad, nutrientes, calor, sedimentos, etc. Según Stokes Oceanografía (2023), el proceso de Modelación se divide en 10 pasos: Armar un modelo conceptual del fenómeno de interés; Buscar datos de entrada; Definir los límites del dominio numérico; Digitalizar el litoral o, en el caso de cuencas fluviales, utilizar modelos de elevación del terreno; Construir la grilla numérica que discretiza el espacio en intervalos finitos donde se resuelven las ecuaciones fundamentales de conservación de masa y energía; Generar la batimetría de ríos, canales y embalses; Definir los escenarios de simulación y las condiciones de contorno del modelo; Montar y configurar las rondas; Analizar los resultados; 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 HydroWeb, que es una herramienta que pone a disposición toda la información recopilada por la Red Hidrometeorológica Nacional (RHN), toda coordinada por la Agencia Nacional del Agua (ANA). Datos como series históricas de caudales observados en ríos, batimetría, entre otros, son de libre disposición. Sin embargo, estas observaciones de flujo no son los únicos datos de entrada que necesitan los modelos hidrológico-hidrodinámicos. Se necesitan especialmente modelos más completos que incluyan el comportamiento de las cuencas fluviales, las condiciones sobre el contenido 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.

Además, las series medidas para el río y período deseado no siempre estarán disponibles. Los ríos muy pequeños no están incluidos en la red de monitoreo de ANA. Pero 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” sirven en cierta medida para determinar 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 dentro del dominio de alcance, determina el área inundada dado un volumen de agua desbordado. Pero ambos tienen limitaciones debido a problemas con los datos de entrada necesarios. Los errores en los modelos digitales de elevación (MDE) siguen siendo una de las principales fuentes de incertidumbre al modelar las interacciones entre ríos y llanuras aluviales, comúnmente conocidas como llanuras aluviales. Los MDE 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 las elevaciones de los píxeles de alta resolución en zonas inundadas.

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 y cuencas urbanas, el modelo 2D 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 del agua. Estos autores demostraron que el modelo de análisis rápido de inundaciones WCA2D podría usarse 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 Jamali et al. (2018), para producir un modelo de drenaje urbano rápido y simplificado para 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.

Un enfoque reciente de los juegos serios es el desarrollado en Gomes Jr. (2024). Los autores crearon un juego que simula el colapso de una presa y permite a los usuarios comprender la fuerza del agua que llegaría a la ciudad, su altura y velocidad. El juego se aplicó a 21 represas, incluidas Brumadinho y la represa 14 de Julho. Gomes Junior et al. (2023) también destaca el modelo HydroPol2D que contribuye al campo de los modelos hidrológicos e hidrodinámicos, permitiendo el modelado 2D de inundaciones y 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 y la simulación del transporte y destino de los contaminantes. . Estos enfoques permiten un análisis más integrado del comportamiento hidrológico de las cuencas fluviales que contribuyen a la escorrentía de los ríos.

El software HEC-RAS, desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América, permite la representación de flujos bidimensionales a partir de la solución numérica de ecuaciones de aguas someras. Representa los términos de inercia, gradiente de presión y efectos gravitacionales, fricción, turbulencia y efectos Coriolis (curva que tienen las corrientes de agua y aire en diferentes hemisferios). La gran dificultad del modelo HEC-RAS es su alto coste 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). 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 una resolución espacial de 30 m (disponible en [data.mendeley.com/datasets/vn599y9szb/1](https://data.mendeley.com/datasets/vn599y9szb/1)). Este mapeo se creó al digitalizar 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).

Lago et al. (2024) evaluaron el desempeño del modelo propuesto en relación con un modelo 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 indican 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 donde 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 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 para comprender la dinámica de los complejos sistemas hidrológicos de la Amazonía y las inundaciones de comunidades ribereñas, el modelo HEC-RAS utiliza una malla computacional no estructurada en la que la orientación y el tamaño de las celdas pueden variar según la topografía, de modo que se puedan incluir saltos para definir la orientación de las caras de las celdas computacionales. Los investigadores añaden pausas considerando una digitalización manual de los contornos topográficos de las riberas de los ríos. 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 de los límites 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 durante 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.

Largo y col. (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 a 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 aproximadamente la producción de agua en el área restante con escasos datos utilizando el método de regionalización, pero los resultados no fueron validados.

En el río Amazonas y en las zonas de aguas abiertas de la llanura aluvial, la topografía estimada por el investigador de Río Grande do Sul Fassoni-Andrade et al. (2020) se utilizó una resolución espacial de 30 m (disponible en [data.mendeley.com/datasets/vn599y9szb/1](https://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 del agua 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 los 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, que es el caso.

Dada la amplia disponibilidad de modelos y soluciones numéricas, los modelos que sean capaces de abordar la falta de datos, a menudo recurrente, 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 inundaciones que contienen profundidades de agua en calles, manzanas, barrios, canales y, en consecuencia, en toda la cuenca hidrográfica. Además, investigaciones recientes utilizan el modelo HydroPol2D para evaluar el riesgo de que las personas sean arrastradas, generando mapas de riesgo cada 15 minutos que pueden utilizarse para ayudar en la toma de decisiones. Sin embargo, la calidad de los resultados del modelo se puede mejorar si hay más datos disponibles. Actualmente, RS cuenta con 1.700 estaciones pluviométricas (miden la lluvia que cae en la cuenca de los ríos), estaciones fluviométricas (miden el nivel y caudal de los ríos) y sólo el 25% transmite datos en tiempo real. Sólo así se pueden alimentar los modelos hidrodinámicos, si no se basan en datos proporcionados por la propia población enviados a través de videos y fotografías (De Angelis y Gomes Júnior, 2024).

**2. El modelo Cultura–Conocimiento–Inteligencia(CCI):** Roland (2000) compartió algunas explicaciones prácticas sobre la formación de culturas y la relación del Estado con el conocimiento y la inteligencia.

Fincher et al. (2008) y Murray y Schaller (2010) encontraron que los países donde había una fuerte presencia de patógenos antes del siglo XX desarrollaron culturas más colectivistas.

Nuevamente, la idea es que en áreas con alta presencia de patógenos, aquellas comunidades que desarrollan normas más colectivistas, restringiendo el comportamiento individual y mostrando una actitud menos abierta hacia los forasteros tienden a tener mayores posibilidades de sobrevivir. Otras explicaciones del origen del individualismo frente al colectivismo implican la mayor frecuencia de cultivos de arroz sobre otros cultivos de trigo, ya que el arroz requiere más mano de obra y requiere una mejor coordinación (Talhelm et al., 2014) o una mayor presencia de Riego (Buggle, 2015), en el espíritu de Wittfogel (1957). Por otro lado, Knudsen (2017) encontró que una fuerte dependencia de la pesca para su sustento a lo largo de la historia está más asociada con el individualismo (Roland, 2000).

Roland (2000) explicó que la geografía puede haber jugado un papel importante a la hora de determinar si las sociedades antiguas se convertirían a sistemas estatistas o de mercado. Este autor demostró que los países que hoy sólo pueden ser gobernados por sistemas estadísticos tienen una cultura más colectivista, mientras que los países donde se desarrollaron sistemas de mercado en el pasado tienen una cultura más individualista. Estas sociedades sudamericanas tienen sistemas legales que se centran más en los conflictos entre ciudadanos, como los conflictos de propiedad.

La primera definición de cultura que se formuló desde un punto de vista antropológico pertenece a Edward Tylor, en el primer párrafo de su libro *Primitive Culture* (1871). Tylor también buscó demostrar que la cultura puede ser objeto de un estudio sistemático, por ser un fenómeno natural que tiene causas y regularidades, permitiendo su estudio y análisis con el objetivo de proporcionar la formulación de leyes sobre el proceso y la evolución cultural.

Para Kroeber, la cultura es un proceso acumulativo, resultante de toda la experiencia histórica de las generaciones anteriores. Este proceso limita o estimula la acción creativa del individuo.

Félix Keesing y Alfred Kroeber coinciden en que no existe correlación entre genética y cultura, por ejemplo, cualquier persona nacida, sin importar dónde nació, absorbió la cultura del lugar donde creció. Kroeber va más allá y afirma que el hombre sólo se diferencia de los animales gracias a la cultura. Porque el hombre es un ser que está por encima de sus limitaciones orgánicas, la cultura es un proceso acumulativo, se dice, el hombre acumula experiencias y, por tanto, cultura.

a. La cultura, además de la herencia genética, determina el comportamiento del hombre y justifica sus logros.

2. El hombre actúa según normas culturales. Sus instintos quedaron parcialmente anulados por el largo proceso evolutivo de lo sucedido.

c. Al adquirir la cultura, el hombre pasó a depender mucho más del aprendizaje que de la actuación a través de actitudes determinadas genéticamente.

d. Como sabe la humanidad desde la Ilustración, es este proceso de aprendizaje (socialización o endocultura, no importa cuál sea el término) el que determina tu comportamiento y tu capacidad artística o profesional.

e. La cultura es un proceso acumulativo, resultante de toda la experiencia histórica de las generaciones anteriores. Este proceso limita o estimula la acción creativa del individuo.

En general, los académicos sugieren que los gobiernos deben garantizar que la ciencia esté a la vanguardia de la estrategia para la recuperación económica y el crecimiento económico. Para ellos, la ciencia produce conocimiento y, por tanto, produce innovación, lo que mejora la calidad de vida, la democracia, el crecimiento económico y la capacidad de resolver problemas mayores. Sin embargo, Rothberg y Erickson (2004) afirman que el conocimiento es estático y, en última instancia, sólo tiene valor si la gente lo utiliza.

En 1989, Richard Ackoff estableció una taxonomía simple de estímulos ambientales que fue ampliamente adoptada con respecto a la Gestión del Conocimiento - KM, sosteniendo que existen cuatro clases de entradas a cualquier sistema: datos, información, conocimiento e inteligencia (Ackoff, 1989).

Davenport y Pruzak (1998) realizaron un importante estudio sobre las diferencias entre datos, información y conocimiento.

Los datos son un conjunto de temas discretos y objetivos sobre eventos. En un contexto organizacional, los datos se describen más útilmente como registros estructurados de transacciones.

Como muchos investigadores que han estudiado la información, la describiremos como un mensaje, generalmente en forma de documento o comunicación audible o visible. Como todo mensaje, tienes un remitente y un destinatario de la información.

La mayoría de las personas tienen una sensación intuitiva de que el conocimiento es más amplio, más profundo y más rico que los datos o la información.

El conocimiento es una mezcla fluida de experiencia marcada, valores, información

contextual y conocimiento especializado que proporciona un marco para evaluar e incorporar nuevas experiencias e información. Se origina y se aplica en la mente de quienes saben. Lo que esta definición deja inmediatamente claro es que el conocimiento no es claro ni simple. Es una mezcla de varios elementos; es fluido y formalmente estructurado; es intuitivo y, por lo tanto, difícil captar palabras o comprender completamente términos lógicos (Davenport et al., 1998).

La transformación del conocimiento en inteligencia es una operación que realiza la capacidad humana de interpretar, analizar, integrar, predecir y actuar.

La información se analiza en el contexto de los estándares, criterios y expectativas personales de quien toma las decisiones para adquirir conocimientos. Finalmente, quien toma las decisiones aplica el conocimiento de una situación específica para crear inteligencia.

Rothberg y Erickson (2004) afirman que el conocimiento se construye socialmente a través de actividades colaborativas, pero el acceso a este conocimiento no tiene éxito en la toma de decisiones, ya que el conocimiento sin aplicación es inofensivo. En resumen, el conocimiento es la base de la inteligencia y la inteligencia es el conocimiento en acción para resolver problemas.

Rothberg y Erickson (2004) sostienen que el conocimiento es estático y, en última instancia, sólo tiene valor si la gente lo utiliza.

Choo (2002) define la Inteligencia como un ciclo continuo de actividades que incluye sentir el entorno, desarrollar conocimiento y crear significado a través de la interpretación, utilizando la memoria de experiencias pasadas para actuar sobre las interpretaciones desarrolladas.

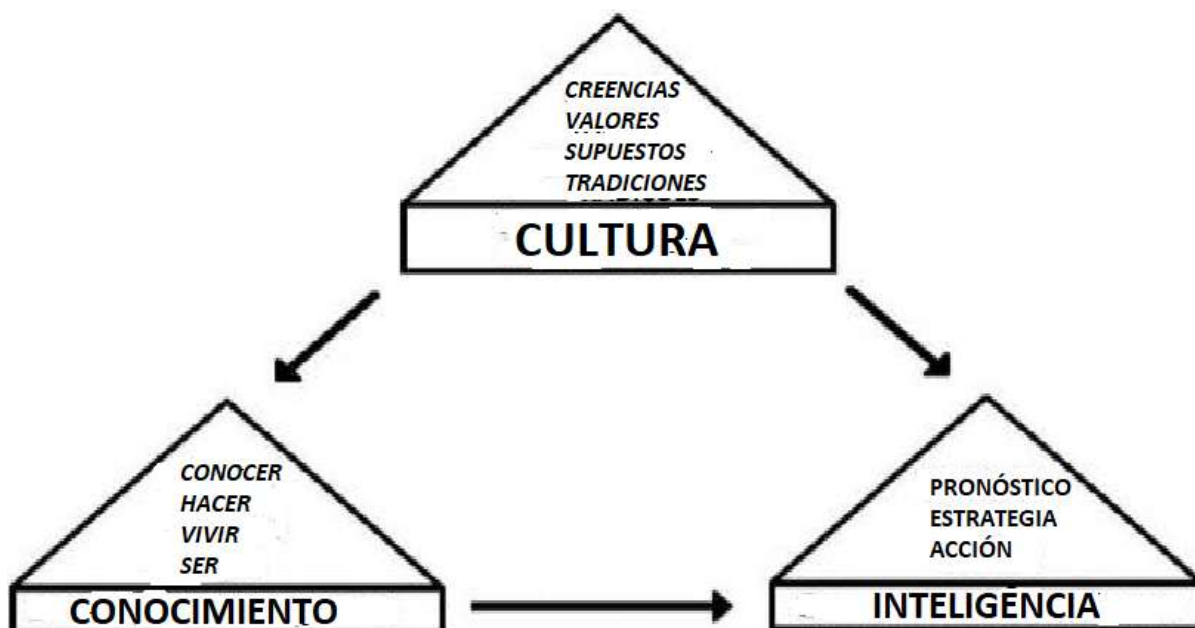
Con base en los fundamentos teóricos anteriores se construye el modelo Cultura-Conocimiento-Inteligencia (CCI), el cual se muestra en la Figura 1.

Las premisas del modelo CCI son:

- La cultura está formada por creencias, valores, supuestos y tradiciones de una sociedad (Shein, 1985).
- El argumento central es que, para que la educación tenga éxito en sus tareas, el currículo como su núcleo debe ser reestructurado o reformulado 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).
- Los tres pilares de la inteligencia son: predicción, estrategia y acción (Rothberg y Erickson, 2004).

El modelo CCI se basa en tres hipótesis (Tabla 1):

**Figura 1.** El modelo cultura-conocimiento-inteligencia (adaptado de Choo, 1998)



**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 de 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

El modelo CCI mostró la relación entre cultura, conocimiento e inteligencia. En el caso de la inundación de Río Grande do Sul, quedó muy claro que la cultura de falta de planificación (inmediatez) y de falta de inversión en mejoras que no atraen votos de la población tuvo un fuerte impacto en el conocimiento, en particular el conocimiento tácito. (la experiencia práctica es difícil de articular y luego compartir y, por lo tanto, depende en gran medida de la confianza, el compromiso y la identidad social), de los medios para reducir los daños causados por las inundaciones. La inteligencia también se vio impactada por la cultura, pues hubo gran dificultad para transformar la

experiencia de algunos técnicos y profesores-investigadores en resultados concretos antes y después del momento de mayor necesidad: la inundación de las salas de máquinas y el paso del agua sobre las presas.

**3. Gestión del Conocimiento y Comunidades de Práctica:** La Gestión del Conocimiento es un intento de las organizaciones de capturar, codificar, organizar y redistribuir las formas tácitas de conocimiento de la organización y hacerlas explícitas (Rothberg y Erickson, 2004).

Para abordar la interdisciplinariedad que existe entre los temas relacionados con las inundaciones, es necesario crear espacios públicos de calidad para la colaboración entre investigadores, formuladores de políticas y comunidades y la conciencia social sobre el cambio climático y sus consecuencias. La participación ciudadana es crucial para garantizar que las soluciones implementadas sean apropiadas y aceptadas por la comunidad. De hecho, las hipótesis sobre el comportamiento humano y las decisiones basadas en predicciones cualitativas comprobables dependen del fortalecimiento de la colaboración interdisciplinaria entre diferentes áreas del conocimiento.

Es importante señalar que el índice de vulnerabilidad social de CUTTER sirve como indicador para prevenir daños ambientales (Cutter et al., 2012) y ayuda a comprender los impactos de los desastres en las comunidades y ecosistemas, evaluar las necesidades de recuperación o desplazamiento y el desarrollo de comunidades tempranas. sistemas de alerta.

Por estas razones y hallazgos, la práctica de gestión del conocimiento aplicada en este trabajo son Comunidades de Práctica o Foros Comunitarios.

Morgado da Silva y Araújo (2019) señala que los Foros Comunitarios son una propuesta capaz de contribuir en gran medida a la construcción y ejercicio de la ciudadanía. Primero, porque debe ser un ambiente democrático y participativo donde se revelen, analicen y debatan los conflictos éticos y sociales de la comunidad con el objetivo de transformar la realidad. Este entorno se crea a partir de la práctica de gestión del conocimiento conocida como “Comunidades de Práctica – CoPs. Sin embargo, el debate debe estar mediado por expertos para evitar provocar una comprensión incompleta o una avalancha de información.

Oliveira y Villardi (2014) explican que para incentivar la formación de CoP es necesario considerar, como advierte Gherardi (2003), que las personas, sus emociones y deseos influyen directamente en las interacciones sociales y en la forma en que se perciben a sí mismas y a los grupos de trabajo. para el autor, las personas también están motivadas por la búsqueda de conocimiento como un fin en sí mismo. Sin embargo, Moura (2009) señala que la CoP rara vez ha sido estudiada desde una perspectiva crítica, aunque.

Lave y Wenger (1991) reconocen la dimensión de poder involucrada en las COP, y Wenger (2000) recomienda entender o no las COP con una visión romántica, ya que “Son la cuna del espíritu humano, pero también pueden ser sus prisiones”. (Wenger, 2000, p. 230) Participando en contextos de aprendizaje, dialogando con las personas, negociando significados a partir de sus experiencias profesionales y cotidianas, promoviendo sus procesos de reflexión individuales y contribuyendo a la reflexión de los demás. Así, la reflexividad, el aprendizaje y la competencia social del grupo se expanden colectivamente y se pueden establecer comunidades de práctica (CoP) en las organizaciones (Souza-Silva y Davel, 2007).

Tres elementos deben estar presentes en una CoP: dominio, comunidad y práctica (a) Dominio, una CoP presenta una identidad definida por un conjunto compartido de intereses, miembros comprometidos que comparten habilidades, aprenden unos de otros, se destacan y son valorados por esto. competición colectiva, no sólo un club de amigos; (b) Comunidad, la participación en una COP implica participar y discutir actividades conjuntas, ayudarse mutuamente y compartir información entre los miembros debido a su interés en el dominio. Para mantener esto, los CDP construyen relaciones que les permiten aprender unos de otros, incluso si no trabajan juntos a diario; (c) La práctica es característica de una CoP porque sus miembros son practicantes y comparten experiencias, historias, herramientas, formas de resolver problemas, es decir, llevan a cabo una práctica compartida (Wenger, 2006). en la comunidad se realiza mediante su participación progresiva, participando en prácticas colectivas a través de su "participación periférica legítima" (PPL) que perpetúa una CoP a través de la cual los estudiantes aprenden y socializan hasta que poco a poco son reconocidos como miembros de esa comunidad (Gherardi et al. ., 1998) La adhesión al entorno informal de interacción social y la participación colectiva en la CoP son importantes para construir, transmitir conocimientos y promover el aprendizaje grupal ubicado (anclado) en la práctica (GHERARDI et al., 1998).

Se sugiere la creación de una Comunidad de Prácticas para discutir mejores prácticas y lecciones aprendidas para contener inundaciones y la designación de un experto en cada tema (comunidad) para analizar, facilitar, motivar y entregar propuestas para la toma de decisiones.

Uno de los resultados de estas comunidades de práctica es el cambio cultural.

En este punto, según De Angelis (2023), es importante resaltar tres grandes desafíos: (i) La creación de una cultura de intercambio de conocimientos dentro y fuera de la administración pública para la co-creación e implementación de políticas, programas, proyectos y actividades; (ii) Motivar y facilitar la expresión concisa y organizada en el debate en línea, utilizar herramientas y sistemas inteligentes especializados para transformar la información en conocimiento (contextualización) y sabiduría (aplicación).

Reconocimiento de la importancia de la participación activa de los ciudadanos, el sector privado y los funcionarios públicos para crear nuevo conocimiento, así como de sistemas inteligentes y expertos para facilitar/orientar la colaboración y analizar este nuevo conocimiento generado.

El tema del cambio cultural beneficia fuertemente un plan de Emergencia basado en prácticas de Gestión del Conocimiento (Comunidades de Práctica) e Inteligencia Organizacional (análisis por expertos de cada grupo temático).

De Angelis (2024) señala que los planes de emergencia deben basarse en la selección de medidas proactivas, tanto estructurales (por ejemplo, obras de ingeniería hidráulica) como no estructurales (por ejemplo, políticas públicas de transferencia de conocimiento a la sociedad), que reduzcan la potencial pérdida de pérdidas de vidas y económicas.

De Angelis y Gomes Júnior (2024) destacan que el software HAZUS de Mapeo de riesgo de inundaciones y fallas de presas (FEMA) del gobierno de EE. UU. permite a los planificadores de mitigación utilizar información sobre fallas de presas para estimar daños potenciales y realizar análisis de costo-beneficio para las áreas de población más vulnerables y luego permite el desarrollo de proyectos de infraestructura y esfuerzos de rezonificación.

Araújo (2024) encontró que según FEMA, el 40% de las empresas no reabren después de haber sido golpeadas por una catástrofe; otro 25% acaba cerrando actividades en el plazo de un año. Otro tema planteado es la necesidad de desenlodar la cuenca de Taquari, tema que se viene discutiendo desde hace cuarenta años.

Wendland et al. (2023) descubrieron que los materiales sintéticos pueden diseñarse para aumentar la eficiencia y la sostenibilidad de la producción, el almacenamiento y el uso de energía.

Por ejemplo, las células solares avanzadas, las baterías y los catalizadores eficientes pueden ayudar a reducir la dependencia actual de los combustibles fósiles y mitigar el cambio climático.

En cuanto al transporte, en particular el transporte público, responsable de una gran emisión de CO<sub>2</sub>, los costes de producción del hidrógeno verde (renovable) siguen siendo mucho más elevados que los del hidrógeno obtenido a partir de fuentes fósiles, que emiten gases de efecto invernadero. Sin embargo, según estudios y prácticas en este ámbito, este coste tiende a igualar al de los combustibles fósiles en el corto plazo.

El hidrógeno verde se produce por electrólisis y la electricidad proviene de fuentes de energía renovables, como la solar, eólica, hidráulica, geotérmica, mareomotriz, entre otras. El hidrógeno renovable también se puede producir utilizando biogás (en lugar de gas natural) o conversión bioquímica de biomasa, siempre que cumpla con los requisitos de sostenibilidad.

Los costes, los relacionados con los costes de producción, siguen siendo muy superiores a los del hidrógeno obtenido de fuentes fósiles, que emiten gases de efecto invernadero.

**4. 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 y 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 inundaciones e inundaciones para predecir la densidad del agua cerca del aliviadero y crear un plan de descarga de inundaciones ideal.

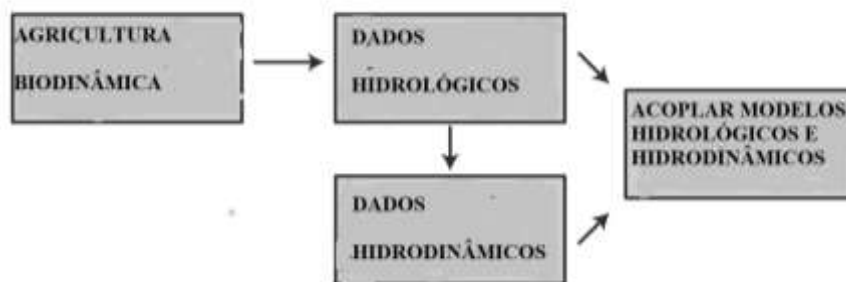
Como encontró Angelis (2014), un plan de emergencia depende de la variabilidad de las propiedades hidráulicas e hidrológicas, ya que los indicadores hidráulicos se ven impactados por el uso de la tierra y luego por el cambio climático.

Este trabajo sugiere las siguientes Comunidades de Práctica para compartir conocimientos y experiencias para 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 esta revisión de la literatura, se construye el modelo de relación entre el modelo de Agricultura Biodinámica y el Modelo Hidrodinámico:

**Figura 2.** *El Modelo Biodinámico – Hidrodinámico*



Es importante destacar en este modelo que las mejoras en los datos agrícolas han mejorado los datos hidrológicos e hidrodinámicos, considerando la relación con el cambio climático e incluso el respeto al medio ambiente.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El principal resultado de esta revisión bibliográfica fue considerar el modelo HydroPol2D como una solución económica para predecir el comportamiento hidrológico-hidráulico de las cuencas hidrográficas de Río Grande do Sul, en particular para estimar mapas de inundaciones que contienen la profundidad del agua en calles, manzanas, barrios, canales y, en consecuencia, en toda la cuenca.

Y no solo eso. Como hemos visto, el modelo HydroPol2D puede utilizarse para evaluar el riesgo de arrastre de personas, generando mapas de riesgo cada 15 minutos que pueden utilizarse para facilitar la toma de decisiones.

Sin embargo, este trabajo destaca la necesidad de datos de estaciones pluviométricas y de aforo fluvial, y sugiere una mejor estructuración de estas estaciones, así como la construcción de nuevas por parte de las autoridades públicas.

Es importante destacar que la cuestión del cambio cultural es aún más importante que el propio modelo HydroPol2D. Esto se debe a que se observó el uso de soluciones paliativas tanto en las inundaciones de 2023 como en las de 2024, lo que agravó la situación y dejó 151 muertos, más de 100 desaparecidos y más de 600 desplazados.

Las alertas meteorológicas de fuertes lluvias se emitieron con unos cinco días de antelación.

No hubo mantenimiento en las estructuras existentes para proteger contra las inundaciones, incluidos diques, compuertas y bombas, hasta el punto de que el sistema colapsó antes de alcanzar el límite de inundación de 6 m. Como vimos, las bombas, que estaban inundadas, no pudieron bombear agua fuera de la ciudad debido a su imposibilidad de funcionar con exceso de agua.

Obviamente también hubo una falta de trabajo en 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 CCI y el modelo de gestión de riesgos con participación social. El primer modelo demuestra la importancia de aprender de otras culturas, la inteligencia cultural, como incluyendo que el tema de las inundaciones es un problema global y por ende la necesidad de intercambiar conocimientos y experiencias con otros países, en particular Argentina.

Los efectos del cambio climático, asociado a la ocupación de zonas inundables, hacen que eventos como el de mayo de 2024 puedan ser cada vez más frecuentes. Sin embargo, la capacidad matemática actual de los modelos de previsión permite, con un intervalo razonable del orden 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 finales de 2023 tras las inundaciones de noviembre, pero no fueron seguidas por los organismos públicos responsables.

Los investigadores también denuncian la cuestión gubernamental del mantenimiento de las obras (diques de contención y barreras antiinundaciones). Los sistemas de protección, especialmente en Porto Alegre, requieren 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 presentarse en acciones adecuadas y frecuentes para la operación y mantenimiento de los sistemas de protección.

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

Como se analiza en este trabajo, 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 tener mejores datos hidrológicos, no solo de precipitaciones, sino también de niveles de agua en toda la infraestructura de las ciudades. sistema para alimentar sus modelos de predicción, estrategia y acción. Además, se necesita un plan de emergencia estándar para todo el Estado que pueda replicarse en todo Brasil, considerando la educación de la población, particularmente de las poblaciones ribereñas y ribereñas.

## REFERENCIAS

- Araújo, L. (2024). Emergência climática traz necessidade de mudança em parâmetros de risco de desastres. *Jornal do Comércio*. <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*, 64(11), 1297–1311. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1643617>
- Bao, Z., 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, 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.07.030>
- Brunner, G. W. (2016). HEC-RAS river analysis system: 2D modeling user's manual. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. <https://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/documentation.aspx>
- Choo, C. W. (1998). *The knowing organization: How organizations use information to construct meaning, create knowledge, and make decisions*. Oxford University Press.
- Davenport, T. H., & Prusak, L. (2000). *Working knowledge: How organizations manage what they know* (2nd ed.). Harvard Business School Press.
- Cutter, S. L., Boruff, B. J., & Shirley, W. L. (2003). Social vulnerability to environmental hazards. *Social Science Quarterly*, 84(2), 242–261. <https://doi.org/10.1111/1540-6237.8402002>
- De Angelis, C. T. (2024). Um modelo e plano de emergência padronizado para as inundações. *Jornal do Comércio*. <https://www.jornaldocomercio.com/opiniao/2024/07/1165074-um-modelo-e-plano-de-emergencia-padronizado-para-as-inundacoes.html>
- De Angelis, C. T. (2023). Um plano de educação ambiental baseado na educação infantil e participação social: Um estudo de caso na Aldeia Tereré em Sidrolândia. *Revista Ambientale, Universidade Estadual de Alagoas*. <https://periodicosuneal.emnuvens.com.br/ambientale/article/view/535>
- De Angelis, C. T., & Gomes Júnior, M. N. (2024). Uma sugestão de modelo hidrodinâmico para prever e gerir inundações. *Jornal do Comércio*. <https://www.jornaldocomercio.com/opiniao/2024/07/1160994-uma-sugestao-de-modelo-hidrodinamico-para-prever-e-gerir-inundacoes.html>
- Do Lago, C., Brasil, J., Nóbrega, M., Mendiondo, E., & Giacomoni, M. (2024). Improving pluvial flood mapping resolution of large coarse models with deep learning. *Hydrological Sciences Journal*, 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*, 251, 112056. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112056>
- Fassoni-Andrade, A. C., Durand, F., Azevedo, A., Bertin, X., Santos, L. G., Khan, J. U., Testut, L., & Moreira, D. M. (2023). Seasonal to interannual variability of the tide in the Amazon estuary. *Continental Shelf Research*, 255, 104962. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2023.104962>
- 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*, 13, 1641–1665. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-12-021.1>
- 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*, 179, 106096. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2024.106096>
- 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*, 625(Part A), 129958. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129958>
- Guidolin, M., Chen, A. S., Ghimire, B., Keedwell, E. C., Djordjevic, S., & Savic, D. A. (2016). A weighted cellular automata 2D inundation model for rapid flood analysis. *Environmental Modelling & Software*, 84, 378–394. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.07.008>
- Jamali, B., Löwe, R., Bach, P. M., Urich, C., Arnbjerg-Nielsen, K., & Deletic, A. (2018). A rapid urban flood inundation and damage assessment model. *Journal of Hydrology*, 564, 1085–1098. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.07.064>
- Hu, D., Chen, Z., Li, Z., & Zhu, Y. (2024). An implicit 1D–2D deeply coupled hydrodynamic model for shallow water flows. *Journal of Hydrology*, 631, 130981. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.130981>
- Jillo, A. Y., Demissie, S. S., Viglione, A., Asfaw, D. H., & Sivapalan, M. (2017). Characterization of regional variability of seasonal water balance within Omo-Ghobe River Basin, Ethiopia. *Hydrological Sciences Journal*, 62(8), 1200–1215. <https://doi.org/10.1080/02626667.2017.1310080>
- Kroeber, A. L. (1949). The concept of culture in science. *The Journal of General Education*, 3(3), 182–196.
- Li, G., Zhu, H., Jian, H., Zha, W., Wang, 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*, 625(Part A), 129999. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129999>
- 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*, 47, 101389. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101389>
- 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*, 24(1). <https://periodicos.furg.br/ambeduc/article/view/8157>
- Nonnemacher, L., & Fan, F. (2023). Análise da viabilidade econômica da previsão de cheias no Rio Grande do Sul. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 20, e8. <https://doi.org/10.21168/rega.v20e8>
- Paiva, R., Collischonn, W., Miranda, P., Petry, I., Dornelles, F., Goldenfum, J., Fan, F., Ruhoff, A., & Fagundes, H. (2024). Critérios hidrológicos para adaptação à mudança climática: Chuvas e cheias extremas na Região Sul do Brasil (Relatório IPH-UFRGS). <https://www.ufrgs.br/iph/wp-content/uploads/2024/05/CriteriosAdaptacaoMudancaClimaticaChuvasCheiasExtremasSul.pdf>
- Rennó, C. D., & Soares, J. V. (2022). Modelos hidrológicos para gestão ambiental. INPE. [http://www.dpi.inpe.br/geopro/modelagem/relatorio\\_modelos\\_hidrologicos.pdf](http://www.dpi.inpe.br/geopro/modelagem/relatorio_modelos_hidrologicos.pdf)
- Rosman, P. C. C. (2001). Um sistema computacional de hidrodinâmica ambiental. En *Métodos numéricos em recursos hídricos* (Vol. 5, pp. 1–161). ABRH & Fundação COPPETEC.
- Rothberg, H. N., & Erickson, G. S. (2004). From knowledge to intelligence: Creating competitive advantage in the next economy. Butterworth-Heinemann.
- Schein, E. H. (1985). *Organizational culture and leadership*. Jossey-Bass.
- Stokes Oceanografia. (2023). Estudos sobre modelos hidrodinâmicos. <http://stokesoceanografia.com.br/2020/08/07/modelos-hidrodinamicos1/>

Yang, L., 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, 101039. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101039>