XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS
24 A 28 DE NOVEMBRO DE 2019
FOZ DO IGUAÇU - PR

ABRHidro
Associação Brasileira de Recursos Hídricos

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

# FERRAMENTA PARA VISUALIZAÇÃO DE SÍNTESE DE ESTUDOS DOS IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NOS RECURSOS HÍDRICOS DO BRASIL

*Pablo Borges de Amorim [1]*; Kleber Isaac Silva De Souza [2]; Pedro Luiz Borges Chaffe[3]*

**RESUMO** – Estudos científicos apoiam decisões sobre adaptação a mudança do clima. No entanto, a obtenção de uma imagem abrangente, e de simples interpretação, dos possíveis impactos da mudança climática ainda é um desafio. Com base nas orientações do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), propomos um método para sintetizar uma coleção de 42 artigos revisados por pares que investigam os impactos da mudança climática nos recursos hídricos no Brasil. O método foi convertido em uma ferramenta digital no formato *Keyhole Markup Language* (KML) a qual pode ser exibida no programa *Google Earth Pro*. O protótipo foi inspirado em sistema de suporte a decisão que fez uso de um processo de co-desenho envolvendo várias partes interessadas. A ferramenta permite aos usuários o acesso ao banco de dados da revisão bibliográfica. Ao mesmo tempo, mapas de calor ilustram a direção da mudança de acordo com os resultados da coleção de estudos. O protótipo permite uma navegabilidade dinâmica além do rápido acesso ao banco de dados e resultados dos possíveis impactos da mudança do clima nos recursos hídricos no Brasil. Algumas lacunas já foram identificadas e o próximo passo é testar o protótipo com potenciais usuários, entre eles tomadores de decisão e pesquisadores.

**ABSTRACT**– Scientific studies support decisions about adaptation to climate change. However, obtaining a comprehensive, and yet easy to interpret, overview of the potential impacts of climate change is still challenging. Based on the guidelines of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), we propose a method to synthesize a collection of 42 peer-reviewed papers that investigate the impacts of climate change on water resources in Brazil. The method was converted into a digital tool in the Keyhole Markup Language (KML) format which can be displayed in the Google Earth Pro software. The prototype was inspired by a decision support system that made use of a co-design process involving multiple stakeholders. The tool allows users to access the literature review database. At the same time, heat-maps illustrate the direction of change according to the results of the collection of studies. The prototype allows a dynamic navigability, as well as quick access to the database and the results of the possible impacts of climate change on water resources in Brazil. Some gaps were identified and the next step is to test the prototype with potential users, including decision makers and researchers.

**Palavras-Chave** – impacto; clima; ferramenta

[1] Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA), Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. *e-mail:* borgesdeamorim.pablo@gmail.com
[2] Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA); Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA), Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. *e-mail:* kleber_i @yahoo.com
[3] Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENS) , Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. *e-mail:* pedro.chaffe@ufsc.br

## 1. INTRODUÇÃO

A síntese científica é uma prática que deve ser adotada para que o atual estado do conhecimento sobre um determinado desafio seja efetivado em políticas públicas (TOPP et al., 2018). O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) tem como principal objetivo prover o atual estado do conhecimento a respeito de mudanças climáticas tomando como base os estudos científicos disponíveis. No entanto, a incerteza é inevitável na ciência do clima e expressar as conclusões cuidadosamente é essencial (YOHE; OPPENHEIMER, 2011). Desde o Primeiro Relatório de Avaliação, o IPCC tem desenvolvido guias para comunicar as incertezas. Esses guias disponibilizam orientação às equipes de autores para resumir as principais conclusões das coleções de estudos e os respectivos níveis de incertezas. Mesmo assim, a comunidade externa pode encontrar dificuldades em reproduzir o procedimento adotado pelo IPCC (MACH et al., 2017) – quando realiza avaliações semelhantes, por exemplo, em nível nacional.

Borges e Chaffe (2019) propuseram um método para ilustrar as evidências e incertezas dos resultados de estudos que aplicam modelagem de impacto da mudança do clima nos recursos hídricos. O método é aplicado para sintetizar uma coleção de 42 artigos revisados por pares. O estudo revelou aspectos importantes sobre as evidências dos potenciais impactos das mudanças climáticas nos recursos hídricos brasileiros, como mudanças em direção a um regime hidrológico mais seco. Além disso, os autores identificaram áreas onde o conhecimento científico atual é limitado e as incertezas são particularmente grandes. O método proposto permite uma comunicação consistente do grau de evidência de forma transparente, rastreável e abrangente. No entanto, para alcançar os tomadores de decisão nós propomos a implementação do mencionado método em forma de uma ferramenta digital. Nosso objetivo é permitir o acesso ao banco de dados bibliográficos e aos resultados de Borges e Chaffe (2019) de maneira simples, intuitiva e informativa. A ferramenta pode ser interpretada como um sistema de suporte a decisão, o qual permite uma comunicação dos possíveis impactos das mudanças climáticas de forma mais útil para os tomadores de decisões.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Busca por artigos

Borges e Chaffe (2019) realizaram uma extensa pesquisa bibliográfica de estudos que integram modelos climáticos na modelagem hidrológica. A busca dos artigos foi realizada entre maio de 2017 e janeiro de 2019. Para encontrar documentos elegíveis, funções Booleanas foram aplicadas para combinar as seguintes palavras-chave no título, resumo ou palavras-chave: ['modelo climático' OR gcm OU aogcm OU oagcm OU 'mudança climática'] E [hidrológico OU hidrologia OU hidrológico

OU hidráulico OR 'chuva-vazão' OU água OU 'recursos hídricos'] E [Brasil]. Inicialmente, a pesquisa identificou centenas de documentos, mas 42 foram considerados relevantes para o propósito do estudo. Mais detalhes sobre a busca por artigos em Borges e Chaffe (2019).

### 2.2. Atribuindo evidência

Segundo Mastrandrea et al. (2011), as evidências são baseadas no *tipo*, *quantidade*, *qualidade* e *consistência*. O método proposto por Borges e Chaffe (2019) quantifica a *qualidade*, bem como a *quantidade* e a *consistência* de um *tipo* específico de evidência: resultados de modelagem. O método baseia-se no pressuposto de que quanto mais abrangente for a consideração das incertezas, maior é a *qualidade* do estudo. Da mesma forma, a *quantidade* de estudos e a *consistência* entre as conclusões são atribuídas de maneira sistemática. Mais detalhes sobre o método em Borges e Chaffe (2019).

### 2.3. Implementação da ferramenta digital

O principal objetivo da implementação da ferramenta digital é permitir o acesso ao banco de dados e aos resultados de Borges e Chaffe (2019) de maneira simples, intuitiva e informativa. Partimos do pressuposto que uma ferramenta digital permite maior acessibilidade e usabilidade da informação por tomadores de decisão do que por exemplo, um artigo científico. Além disso, uma ferramenta dinâmica permite atualizar o banco de dados bibliográficos e os resultados conforme novos artigos vão sendo publicados.

O desenvolvimento de ferramentas digitais é um processo técnico e social, o qual necessita o envolvimento daqueles que farão uso das mesmas (KORFMACHER, 2001). O envolvimento do usuário no desenvolvimento do sistema melhora a qualidade do sistema, o seu uso e a satisfação com os resultados, além de aumentar a legitimidade da ferramenta (BAROUDI; OLSON; IVES, 1986).

Sandink et al., (2016) recomenda um processo de desenvolvimento de ferramentas digitais com base nas necessidades dos usuários. A primeira etapa é a definição do problema e avaliação da necessidade. O segundo passo é a geração de ideias. O terceiro passo é a implementação, quando as ideias são transformadas em algo concreto. No centro do processo de implementação está a prototipagem. O protótipo ajuda a coletar feedback e melhorar o produto.

Neste caso, propôs-se um protótipo baseado no sistema de suporte a decisão *Intensity-Duration-Frequency under Climate Change* (IDFCC, http://www.idf-cc-uwo.ca/, SIMONOVIC et al., 2016). A escolha do IDFCC foi devido a similaridades na área temática abordada por Borges e Chaffe (2019). O IDFCC permite aos usuários realizarem análises estatísticas (Intensidade-Duração-Frequência – IDF) de dados históricos e de cenários futuros de chuva no âmbito das mudanças climáticas. O layout do IDFCC foi concebido e testado por uma gama de tomadores de decisão

(SANDINK et al., 2016). O envolvimento das partes interessadas é fundamental para aumentar a qualidade dos sistemas de apoio à decisão e garantir a legitimidade do sistema (OLIVER et al., 2012). Sendo assim, usamos o layout e conceito do IDFCC como ponto de partida para o desenvolvimento do primeiro protótipo do sistema de Borges e Chaffe (2019).

A base de dados de Borges e Chaffe (2019) é organizada em regiões hidrográficas. No âmbito dos recursos hídricos, a bacia hidrográfica é a unidade de gestão territorial. Na escala nacional, a unidade é a região hidrográfica (ANA, 2017). A ferramenta possui uma base de dados com característica territorial, o que nos levou a utilização do *Keyhole Markup Language* (KML). KML é uma linguagem para expressar anotação geográfica e visualização dentro de mapas bidimensionais baseados na Internet e navegadores tridimensionais da Terra (KEYHOLE, INC.; GOOGLE, 2019). Neste caso, optou-se pelo programa *Google Earth Pro* para visualização das informações.

## 3. RESULTADOS

A figura 1 mostra a interface gráfica da ferramenta digital no *Google Earth Pro*. Ao abrir o arquivo KML, a primeira tela mostra a mapa do Brasil e suas regiões hidrográficas.

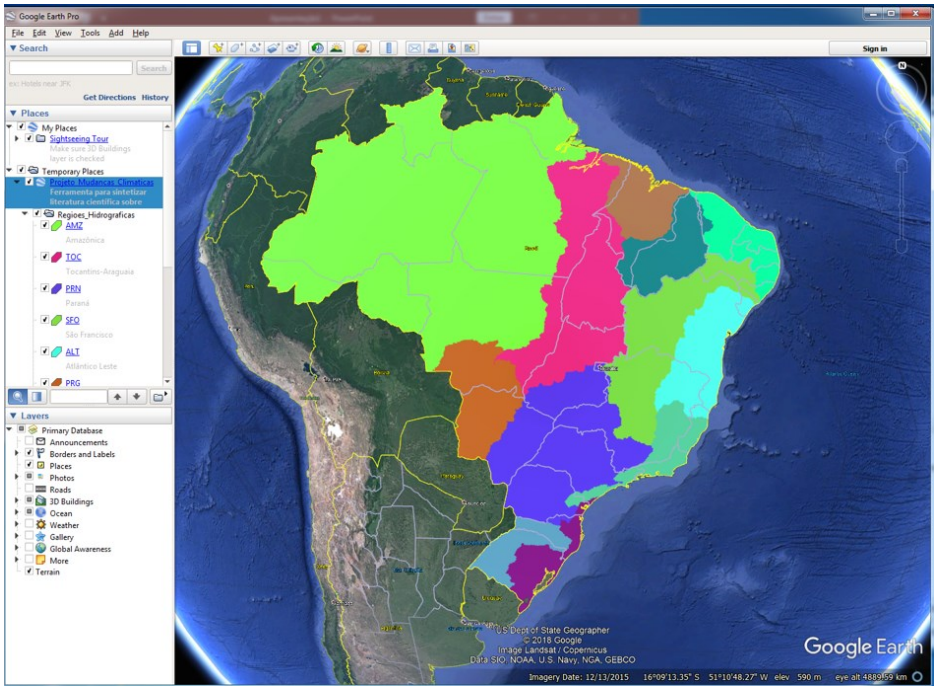



Figura 1 – Interface gráfica da ferramenta digital ilustrando as regiões hidrográficas do Brasil

É possível acessar as informações contidas em cada uma das regiões hidrográficas. A figura 2 mostra a primeira janela de informações quando selecionamos uma região hidrográfica. Nesse exemplo, podemos visualizar as informações gerais sobre a região hidrográfica do Paraná. A primeira linha indica o nome da região hidrográfica. A segunda linha é a área total da região. Logo em seguida

vem as informações a respeito da base de dados disponível dividida por índice de vazão. No caso do Paraná, existem 8 estudos que consideraram alterações na vazão mínima, 19 estudos que abordaram vazão média e 7 estudos considerando vazão máxima.

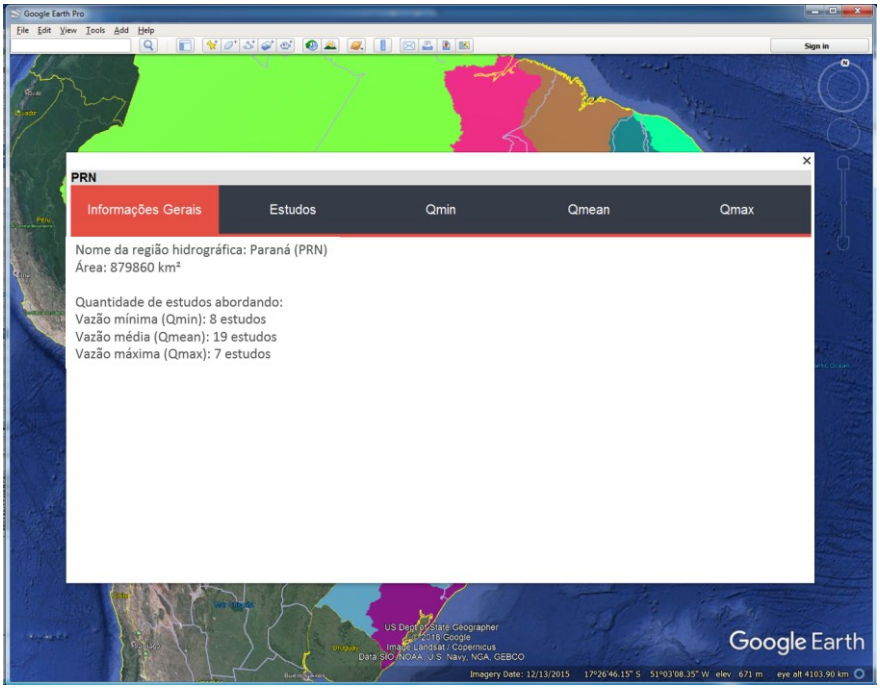
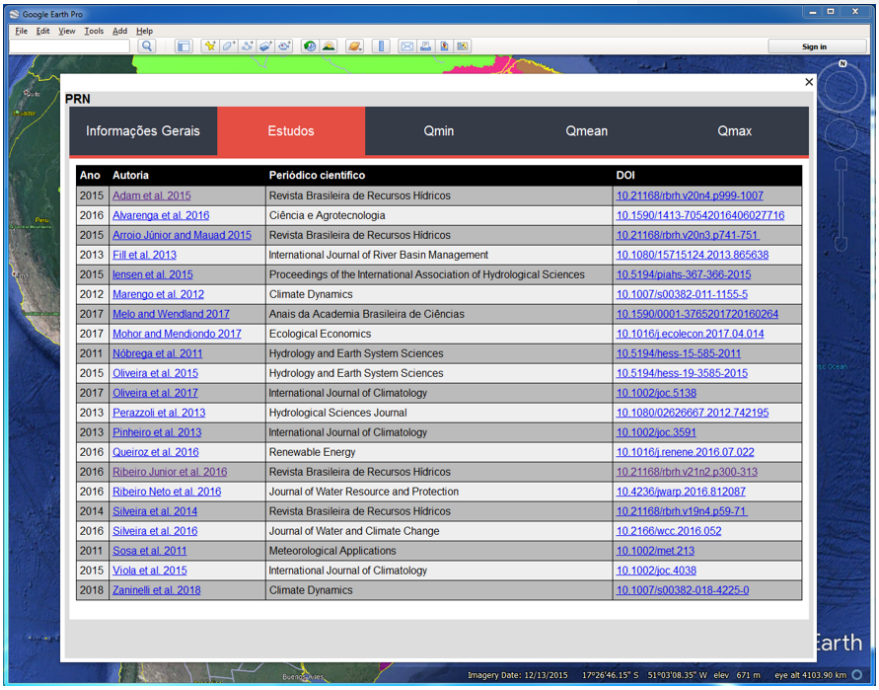



Figura 2 – Interface gráfica da ferramenta digital mostrando a janela de Informações Gerais

A figura 3 ilustra a segunda janela de informações da ferramenta digital a qual contem a listagem de todos os estudos disponíveis na região hidrográfica. A lista possui dados dos artigos quanto ao ano de publicação, à autoria, ao periódico científico e ao *Digital Object Identifier* (DOI) do artigo.

É possível verificar aspectos metodológicos de cada artigo. Borges e Chaffe (2019) qualificaram os artigos com base na metodologia adotada. A premissa para determinação da qualidade de um estudo de impacto da mudança do clima é que quanto mais abrangente a consideração das incertezas na cadeia de modelagem, maior é a sua *qualidade*. A cadeia de modelagem de impacto conta com cinco níveis: cenários de emissão, modelagem climática, *downscaling*, correção de viés e modelagem hidrológica. Dependendo por exemplo da versão dos cenários, quantidade de modelos de clima, validação do método de *downscaling*, tipo de correção de viés e avaliação do modelo hidrológico, o estudo ganha uma pontuação. Essa pontuação é traduzida em *qualidade*, a qual representa o peso da conclusão do artigo. Estudos com *qualidade* maior, possuem conclusões mais robustas.




| Ano | Autoria | Periódico científico | DOI |
|---|---|---|---|
| 2015 | Adam et al. 2015 | Revista Brasileira de Recursos Hídricos | 10.21168/rbrh.v20n4.p999-1007 |
| 2016 | Alvarenga et al. 2016 | Ciência e Agrotecnologia | 10.1590/1413-70542016406027716 |
| 2015 | Arroio Júnior and Mauad 2015 | Revista Brasileira de Recursos Hídricos | 10.21168/rbrh.v20n3.p741-751 |
| 2013 | Fill et al. 2013 | International Journal of River Basin Management | 10.1080/15715124.2013.865638 |
| 2015 | Iensen et al. 2015 | Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences | 10.5194/piahs-367-366-2015 |
| 2012 | Marengo et al. 2012 | Climate Dynamics | 10.1007/s00382-011-1155-5 |
| 2017 | Melo and Wendland 2017 | Anais da Academia Brasileira de Ciências | 10.1590/0001-3765201720160264 |
| 2017 | Mohor and Mendiondo 2017 | Ecological Economics | 10.1016/j.ecolecon.2017.04.014 |
| 2011 | Nóbrega et al. 2011 | Hydrology and Earth System Sciences | 10.5194/hess-15-585-2011 |
| 2015 | Oliveira et al. 2015 | Hydrology and Earth System Sciences | 10.5194/hess-19-3585-2015 |
| 2017 | Oliveira et al. 2017 | International Journal of Climatology | 10.1002/joc.5138 |
| 2013 | Perazzoli et al. 2013 | Hydrological Sciences Journal | 10.1080/02626667.2012.742195 |
| 2013 | Pinheiro et al. 2013 | International Journal of Climatology | 10.1002/joc.3591 |
| 2016 | Queiroz et al. 2016 | Renewable Energy | 10.1016/j.renene.2016.07.022 |
| 2016 | Ribeiro Junior et al. 2016 | Revista Brasileira de Recursos Hídricos | 10.21168/rbrh.v21n2.p300-313 |
| 2016 | Ribeiro Neto et al. 2016 | Journal of Water Resource and Protection | 10.4236/jwarp.2016.812087 |
| 2014 | Silveira et al. 2014 | Revista Brasileira de Recursos Hídricos | 10.21168/rbrh.v19n4.p59-71 |
| 2016 | Silveira et al. 2016 | Journal of Water and Climate Change | 10.2166/wcc.2016.052 |
| 2011 | Sosa et al. 2011 | Meteorological Applications | 10.1002/met.213 |
| 2015 | Viola et al. 2015 | International Journal of Climatology | 10.1002/joc.4038 |
| 2018 | Zaninelli et al. 2018 | Climate Dynamics | 10.1007/s00382-018-4225-0 |

Figura 3 – Interface gráfica da ferramenta digital mostrando a janela com a lista de estudos

A figura 4a mostra um exemplo da discretização da metodologia, nesse caso, a adotada no estudo de Ribeiro Júnior, Zuffo e Silva (2016). O primeiro bloco é sobre informações gerais do artigo, por exemplo: nome da bacia hidrográfica, tamanho da bacia e setor de interesse. O segundo bloco mostra aspectos relacionados aos cenários de emissão: versão dos cenários, quantidade de cenários e nome dos cenários. O terceiro bloco trata da modelagem de clima, depois *downscaling*, correção de viés e modelagem hidrológica respectivamente. Para mais informações em relação aos aspectos analisados, ver Borges e Chaffe (2019). O link no campo DOI permite o redirecionamento para o site do artigo no periódico de origem (figura 4b).

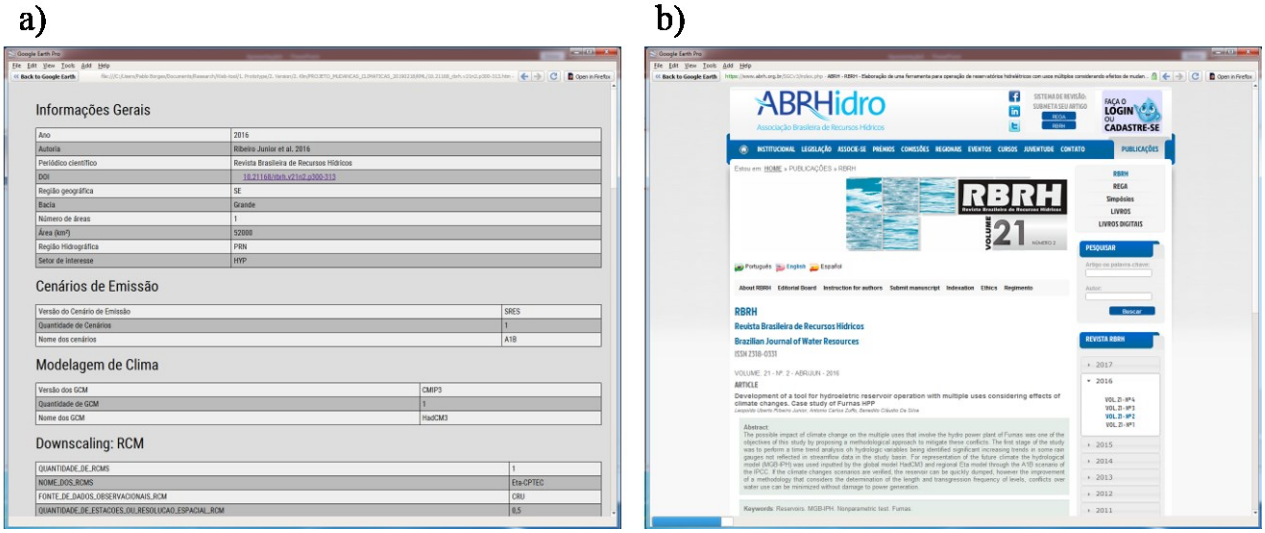



Figura 4 – Interface gráfica da ferramenta digital mostrando: a) a janela com a discretização metodológica de um artigo, e b) o redirecionamento para o site de origem do artigo.

Os resultados da análise de síntese da coleção de artigos são divididos por índices de vazão. A figura 5 mostra a síntese das conclusões dos artigos na região hidrográfica do Paraná que analisaram vazão mínima (Qmin). O gráfico mostra características da evidencia da coleção de estudos através de um mapa de calor, ou *heat-map*. O sombreado mostra onde os estudos estão concentrados. Quanto mais escuro, maior a quantidade de estudos naquele quadrante. O eixo X representa a *consistência* da conclusão do estudo e o sinal de mudança. Em resumo, quanto mais para a esquerda, maior é a *consistência* de que a vazão irá diminuir. Quanto mais para a direita, maior é a *consistência* de aumento na vazão. O eixo Y representa a *qualidade* do estudo. Como mencionado anteriormente, cada estudo possui uma pontuação de *qualidade* que varia de 1 a 5. Quanto maior a pontuação, maior a qualidade do estudo. A figura 5 mostra que todos os 8 estudos concluíram que a vazão mínima deve diminuir. No entanto, nenhum dos estudos possui qualidade maior ou igual a 3, o que requer uma interpretação cautelosa dos resultados. Abaixo do gráfico, uma tabela descreve as informações sobre as conclusões dos estudos: horizonte temporal, pontuação de *qualidade*, *consistência* e a referência no artigo a respeito do sinal de mudança (aumento ou diminuição de vazão mínima). Este último tem o intuito garantir o rastreamento da conclusão.

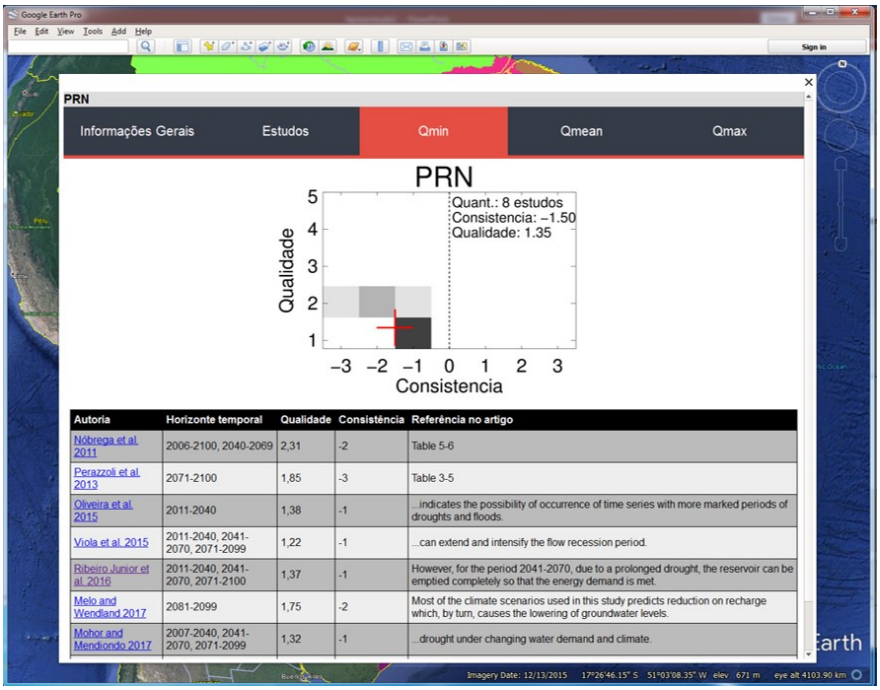



Figura 5 – Interface gráfica da ferramenta digital ilustrando a síntese dos resultados para vazão mínima na região hidrográfica do Paraná.

Os resultados para vazão média (Qmean) e vazão máxima (Qmax) são ilustrados na figura 6. No caso da Qmean, percebe-se uma quantidade maior de artigos (19 estudos). No entanto, não há consenso total no sinal de mudança. Alguns estudos concluíram aumento de vazão média. Para a Qmax, existem 7 estudos. A maioria concluiu aumento na Qmax, no entanto um estudo concluiu o

sinal oposto e outro concluiu nenhuma mudança. Para mais informações a respeito da interpretação dos resultados, ver Borges e Chaffe (2019).

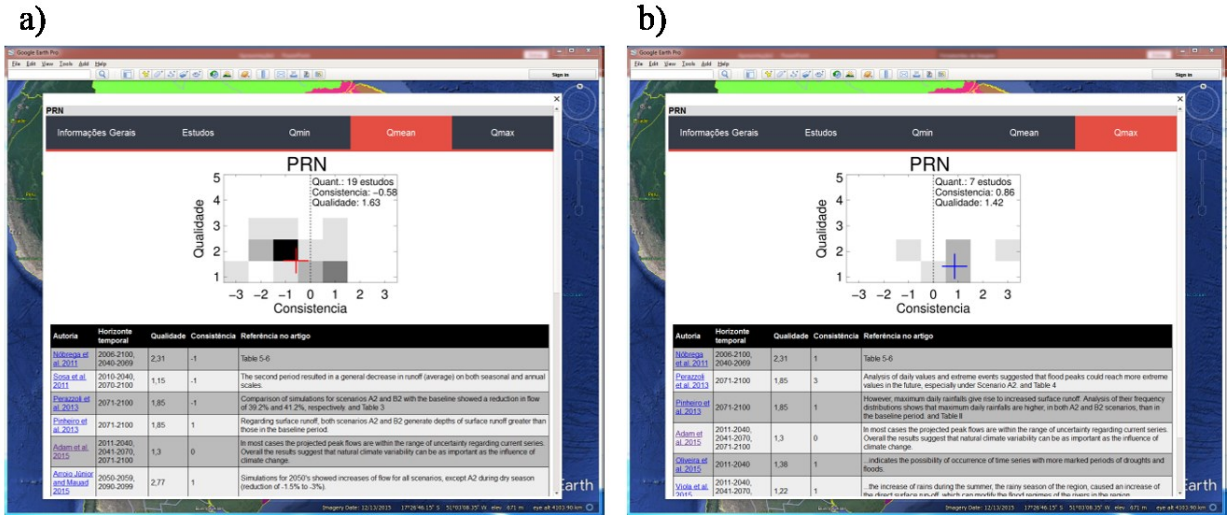



Figura 6 – Interface gráfica da ferramenta digital ilustrando: a) síntese dos resultados para vazão média e b) síntese dos resultados para vazão máxima ambas na região hidrográfica do Paraná

## 4. CONCLUSÕES

O protótipo da ferramenta digital foi implementado com sucesso na linguagem KML e pode ser exibido no programa *Google Earth Pro* (ver demonstração em https://www.youtube.com/watch?v=AWMgFVF0tA4&t=28s). A ferramenta permite uma navegabilidade dinâmica e rápido acesso ao banco de dados e resultados de Borges e Chaffe (2019). Identificamos a necessidade de incluir algumas informações: introdução sobre a ferramenta, recomendações dos artigos, texto com a interpretação dos gráficos, link para baixar as figuras em alta resolução, link para baixar o arquivo do banco de dados, opção para incluir novos artigos, link para o artigo de Borges e Chaffe (2019) e o contato dos desenvolvedores.

A ferramenta deverá evoluir para uma interface integrada para internet, para que os usuários possam acessar a ferramenta diretamente pelo navegador sem ter que instalar o programa *Google Earth Pro*. A próxima etapa também incluí o teste do protótipo com potenciais usuários. Serão incluídos dois perfis de usuários: tomadores de decisão e pesquisadores da área. O primeiro grupo deve contar com a participação de membros da Agência Nacional de Águas (ANA), Ministério de Ciências, Tecnologia e Comunicação (MCTIC), Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) e Ministério do Meio Ambiente (MMA). No segundo grupo, iremos convidar os autores e coautores dos artigos listados. Ainda, está prevista uma chamada aberta para contribuições externas que será divulgada em plataformas de redes sociais (p. ex., *Twitter*) e comunidades de pesquisadores (p.ex., Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, Rede Clima, *Young Earth System Scientists* –

YESS, *Young Hydrologic Society* - YHS). O processo de co-desenho é fundamental para a alcançar um sistema de suporte a decisão robusto, consistente, usável e legítimo para as partes interessadas. Com isso esperamos fornecer uma ferramenta de suporte a decisão abrangente e ao mesmo tempo de simples interpretação dos possíveis impactos da mudança climática nos recursos hídricos do Brasil.

## REFERÊNCIAS

ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno**. Brasília, DF: Agência Nacional de Águas, 2017. Disponível em: <http://conjuntura.ana.gov.br/static/media/conjuntura_completo.27432e70.pdf>.

BAROUDI, J. J.; OLSON, M. H.; IVES, B. An empirical study of the impact of user involvement on system usage and information satisfaction. **Communications of the ACM**, v. 29, n. 3, p. 232–238, 1 mar. 1986. DOI: 10.1145/5666.5669.

BORGES, P. A.; CHAFFE, P. B. Towards a comprehensive characterization of confidence in synthesis assessments: climate change impacts on the Brazilian water resources. **Climatic Change**, v. Online First, 2019. DOI: 10.1007/s10584-019-02430-9

KEYHOLE, INC.; GOOGLE. **Keyhole Markup Language**. 2019. Disponível em: <http://developers.google.com/kml/documentation/?hl=pt-br>. Acesso em: 10 abr 2019.

KORFMACHER, K. S. The Politics of Participation in Watershed Modeling. **Environmental Management**, v. 27, n. 2, p. 161–176, 1 fev. 2001. DOI: 10.1007/s002670010.

MACH, K. J. et al. Unleashing expert judgment in assessment. **Global Environmental Change**, v. 44, p. 1–14, maio 2017. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2017.02.005.

MASTRANDREA, M. D. et al. The IPCC AR5 guidance note on consistent treatment of uncertainties: a common approach across the working groups. **Climatic Change**, v. 108, n. 4, p. 675–691, out. 2011. DOI: 10.1007/s10584-011-0178-6.

OLIVER, D. M. et al. Valuing local knowledge as a source of expert data: Farmer engagement and the design of decision support systems. **Environmental Modelling & Software**, v. 36, p. 76–85, out. 2012. DOI: 10.1016/j.envsoft.2011.09.013.

RIBEIRO JÚNIOR, L.; ZUFFO, A.; SILVA, B. Development of a tool for hydroeletric reservoir operation with multiple uses considering effects of climate changes. Case study of Furnas HPP. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 2, p. 300–313, 1 abr. 2016. DOI: 10.21168/rbrh.v21n2.p300-313.

SANDINK, D. et al. A decision support system for updating and incorporating climate change impacts into rainfall intensity-duration-frequency curves: Review of the stakeholder involvement process. **Environmental Modelling & Software**, v. 84, p. 193–209, out. 2016. DOI: 10.1016/j.envsoft.2016.06.012.

SIMONOVIC, S. P. et al. A web-based tool for the development of Intensity Duration Frequency curves under changing climate. **Environmental Modelling & Software**, v. 81, p. 136–153, jul. 2016. DOI: 10.1016/j.envsoft.2016.03.016.

TOPP, L. et al. Knowledge management for policy impact: the case of the European Commission's Joint Research Centre. **Palgrave Communications**, v. 4, n. 1, dez. 2018. DOI: 10.1057/s41599-018-0143-3.

YOHE, G.; OPPENHEIMER, M. Evaluation, characterization, and communication of uncertainty by the intergovernmental panel on climate change—an introductory essay. **Climatic Change**, v. 108, n. 4, p. 629–639, out. 2011. DOI: 10.1007/s10584-011-0176-8.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento deste estudo (Processos: 150768/2017-6 e 159528/2018-6)