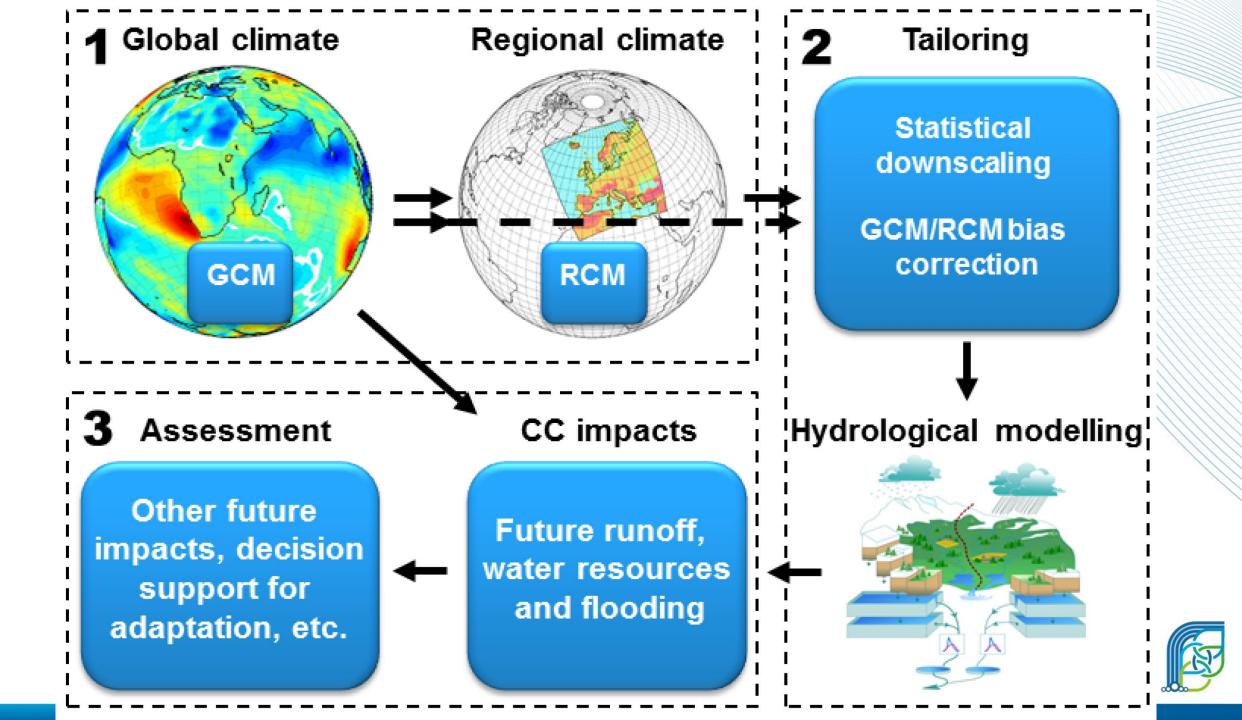
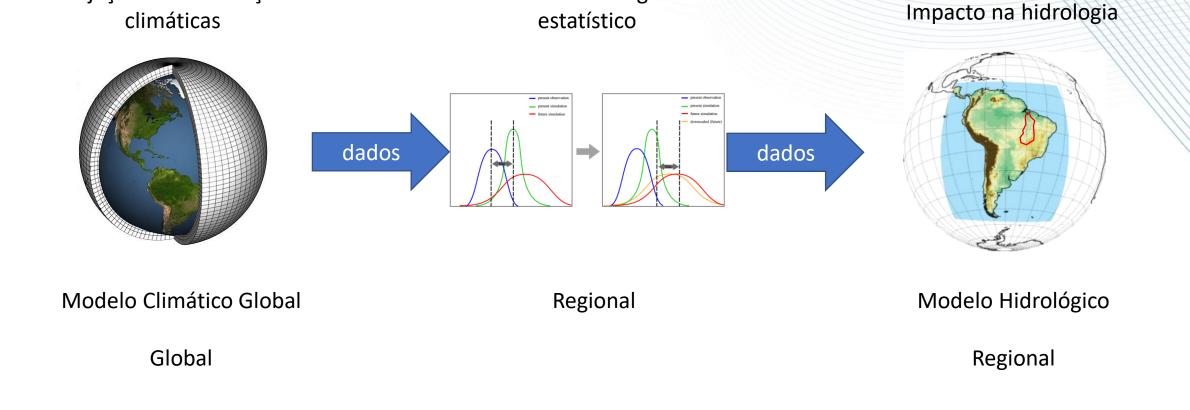


Impacto das mudanças climáticas na hidrologia da América do Sul

Walter Collischonn
Instituto de Pesquisas Hidráulicas
Universidade Federal do Rio Grande do Sul



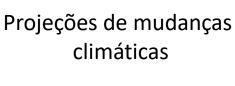


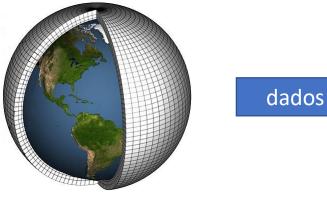


Downscaling

Projeções de mudanças



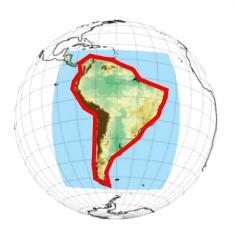




Modelo Climático Global

Global

Downscaling dinâmico

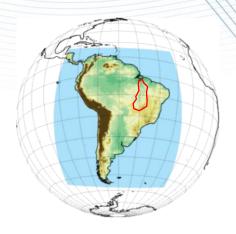


dados

Modelo Regional

Continental

Impacto na hidrologia



Modelo Hidrológico

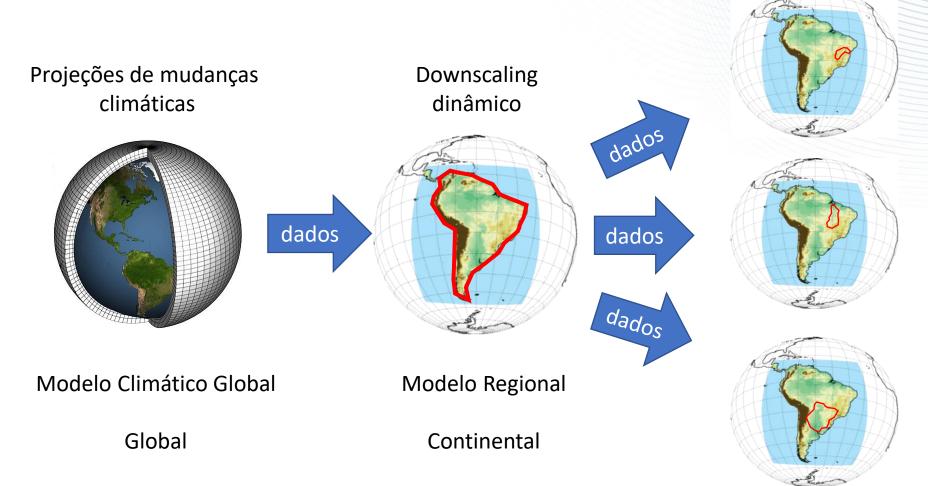
Regional





Publicações sobre o tema na RBRH

- FERNANDES, R. O.; SILVEIRA, C. S.; STUDART, T. M. C.; SOUZA FILHO, F. A. Reservoir yield intercomparison of large dams in Jaguaribe Basin-CE in climate change scenarios. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 22, n. 11, 2017.
- MEDEIROS, Y. D. P. Análise dos impactos das mudanças climáticas em região semi-árida. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 8, n. 2, p. 127-136, 2003.
- Valério, E. D. L. S., & FRAGOSO JUNIOR, C. R. (2015). Avaliação dos efeitos de mudanças climáticas no regime hidrológico da bacia do rio Paraguaçu, BA. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 20(4), 872-887.
- SILVEIRA, C. S.; FILHO, F.; LOPES, J.; BARBOSA, P.; TIEZZI, R. Análise das projeções de vazões nas bacias do setor elétrico brasileiro usando dados do IPCC-AR4 para o século XXI. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 19, n. 4, p. 59-71, 2014.
- Adam KN, Fan FM, Pontes PR, Bravo JM, Collischonn W (2015) Mudanças climáticas e vazões extremas na Bacia do Rio Paraná. Rev Bras Recur Hídr 20:999–1007.
- Arroio Junior P, Mauad F (2015) Simulação dos Impactos das Mudanças Climáticas na Vazão da Bacia do Ribeirão do Feijão - SP. Rev Bras Recur Hídr 20:741–751.
- Schuster, R. C.; Fan, F. M.; Collischonn, W. 2020 Scenarios of climate change effects in water availability within the Patos Lagoon basin. Ver Bras Recur Hidr.
- ADAM, K. N.; COLLISCHONN, W. Análise dos impactos de mudanças climáticas nos regimes de precipitação e vazão na bacia hidrográfica do rio Ibicuí. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 18, n. 3, p. 69-79, 2013.



Modelos hidrológicos diferentes são aplicados em diferentes bacias

Será que os resultados são comparáveis?

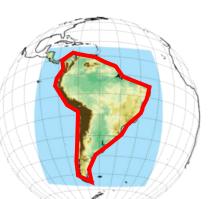


Projeções de mudanças climáticas



dados

Downscaling dinâmico

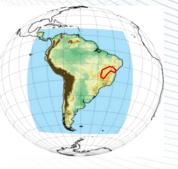


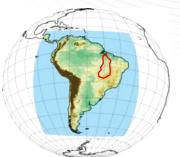
dados



Modelo Regional

Continental









Pablo B. Amorim

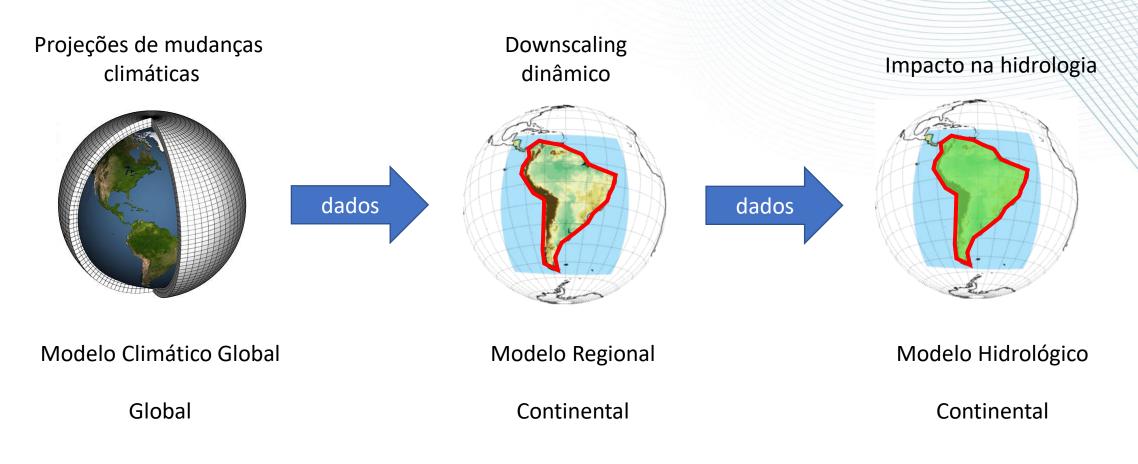
logo mais



Global

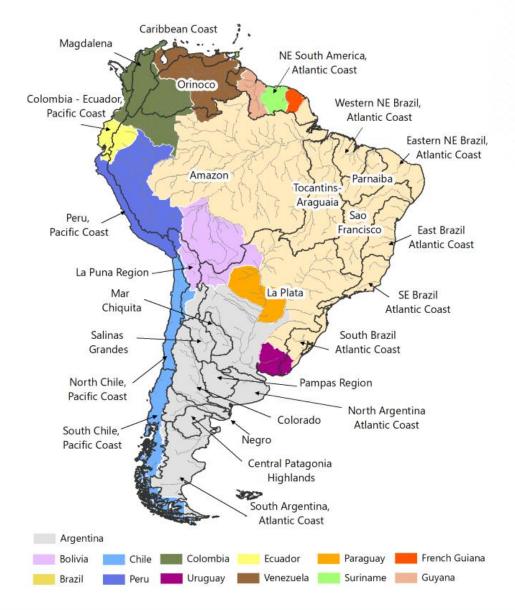
Modelo Climático Global

Modelagem Hidrológica Continental





Escala continental



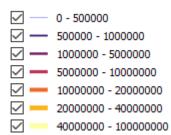
Por que Hidrologia Continental?

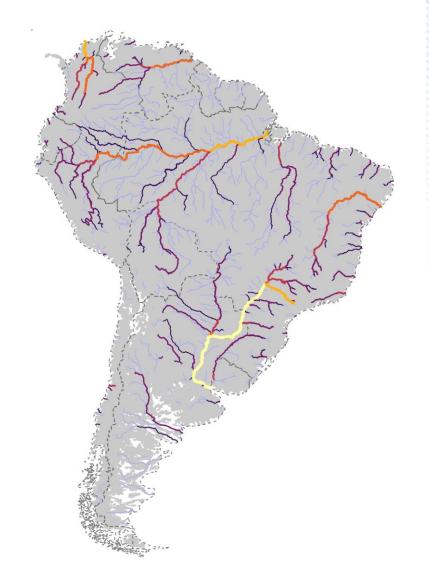
- Temos muitas **bacias compartilhadas** entre dois ou mais países
- Possivelmente teremos maior **integração econômica** com outros países.
- Integração de fontes de energia, entre as quais a hidroelétrica.
- Desastres hidrometeorológicos (cheias/secas) não respeitam fronteiras ou limites da bacia
- •A escala continental é mais compatível com a escala na qual são feitas as projeções de mudança do clima.

Escala continental

População acumulada na América do Sul

população





Neste mapa as cores dos rios Representam o número de Habitantes que vivem a montante



Hidrologia continental

Agenda de pesquisa SAMEWATER Reanálise Hidrológica **Modelos** Produtos: Água, Clima e Previsão de hidrológicos Meio Ambiente cheias Ciência Bases de dados Métodos Sistemas Monitoramento local e por Gestão integrada de água sensoriamento Monitoramento Processos remoto e previsão de hidrológicos secas Usos da água

Passado

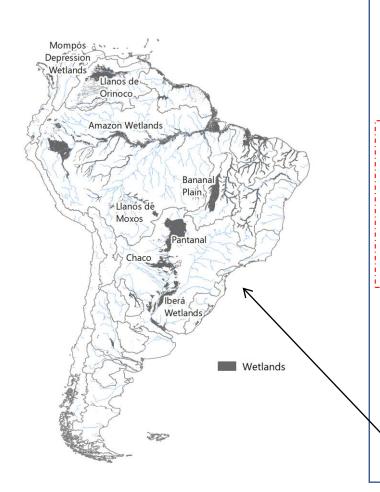
Presente

- Condições atuais
- Condições típicas

Futuro

- Previsão: hora, dia, mês
- Planejamento: décadas





Opções para modelagem continental

Ou **estender** um modelo de **menor escala** (mais difícil); Ou **aplicar** modelo **global** para a região de interesse (mais fácil)

Modelo de superfície (LSM)

Modelo Hidrológico Global (GHM)

- •Interações entre solo e atmosfera
- •Foco: fluxos verticais

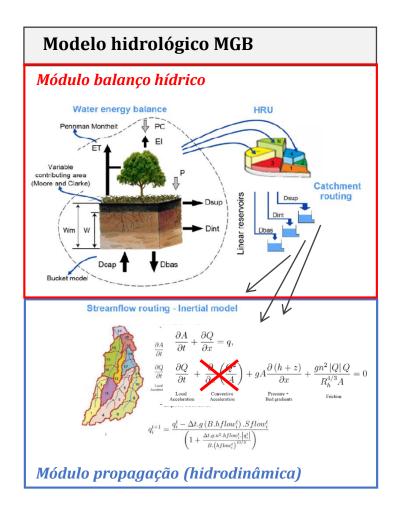
- •Uso intensivo de água;
- •Impacto de barragens.
- •Foco: fluxos horizontais

Utilizados p/ estimar variáveis hidrológicas!

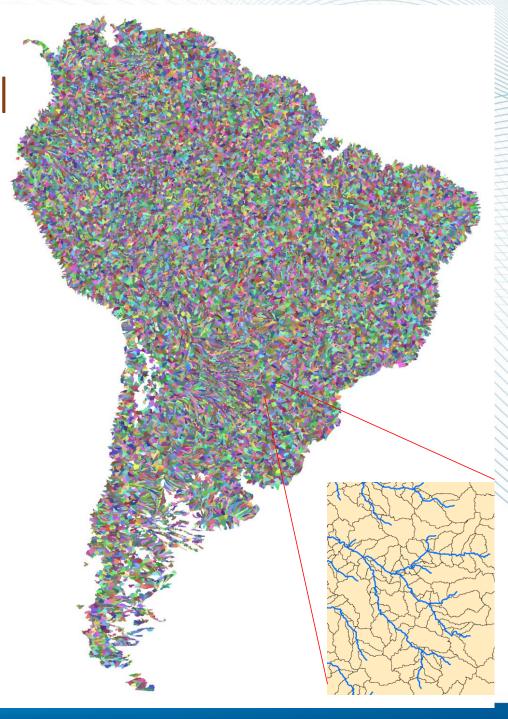


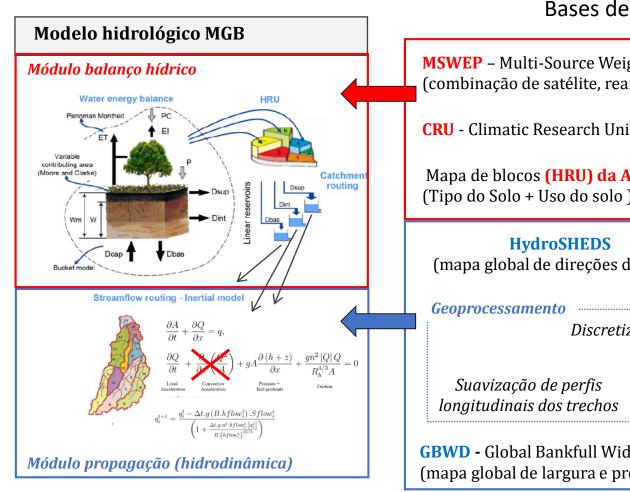
- Geralmente **não** são calibrados;
- Simplificações no transporte de água dos canais (propagação);
- Limitações em regiões muito planas!





- •nº de elementos de cálculo (minibacias): 33749, trechos de rio definidos em L = 15 km.
- •Área coberta pelo modelo: ~16,5 milhões de km²
- •Tempo de processamento: 3 min/ano simulação com propagação hidrodinâmica.
- Código em FORTRAN com processamento paralelo (4 cores) em um simples desktop PC





Bases de dados utilizadas

MSWEP - Multi-Source Weighted Ensemble Precipitation (combinação de satélite, reanálise e observações; global, ~25km)

CRU - Climatic Research Unit (médias mensais climatológicas; global)

Mapa de blocos (HRU) da América do Sul (Fan et al., 2015) (Tipo do Solo + Uso do solo)

(mapa global de direções de fluxo)

Bare-Earth SRTM

(MDE c/ vegetação removida)

Discretização dos trechos de rio $\Delta x = 15 \text{ km}$

> Perfis de inundação da planície (baseado no método HAND)

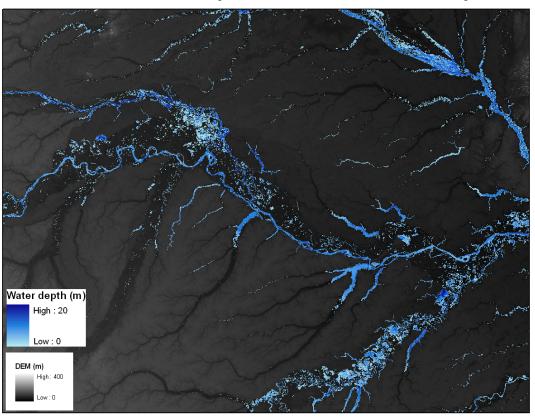
GBWD - Global Bankfull Widths and Depths (mapa global de largura e profundidade)

Geometria **Estudos regionais**



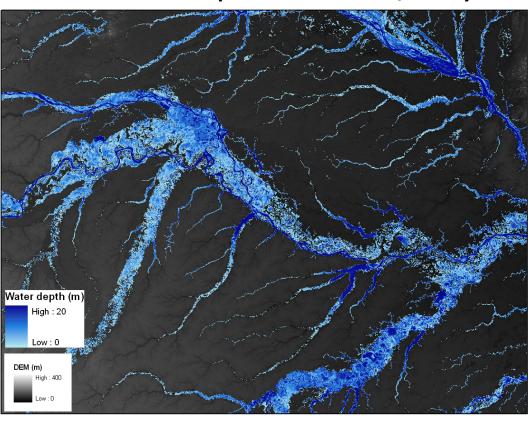
Central Amazon

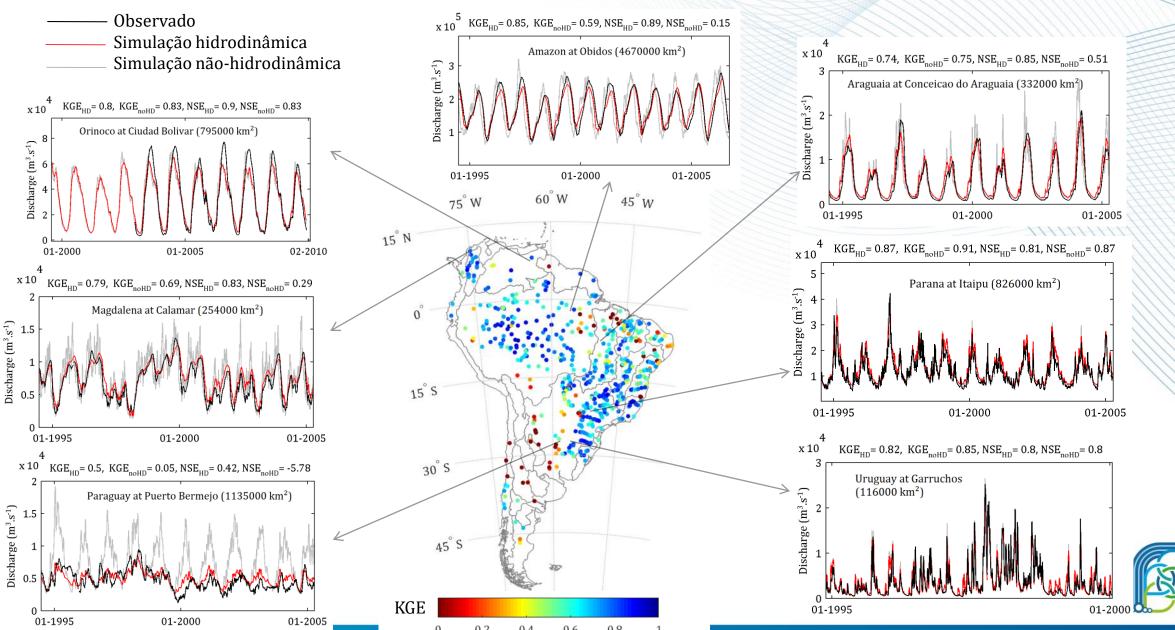
Minimum water depth from the 2001/2002 year



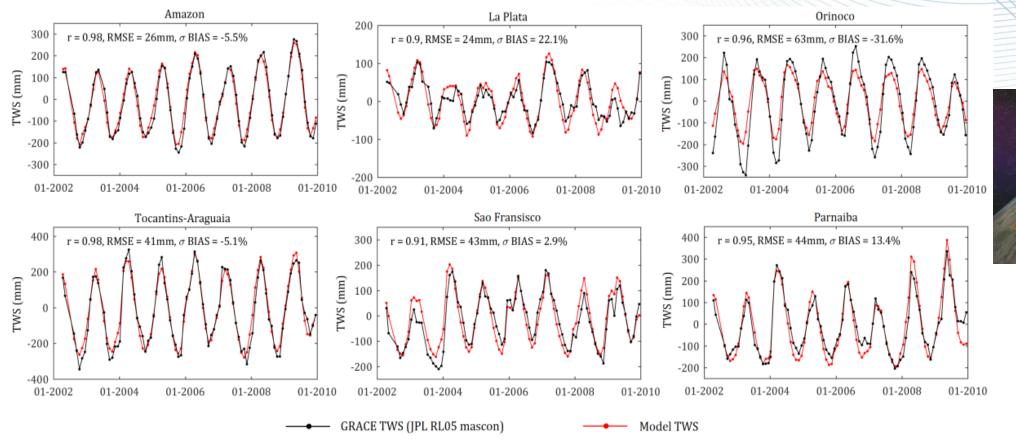
Central Amazon

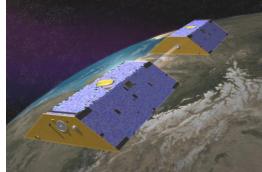
Maximum water depth from the 2001/2002 year





Armazenamento terrestre de água (TWS) - MGB x GRACE







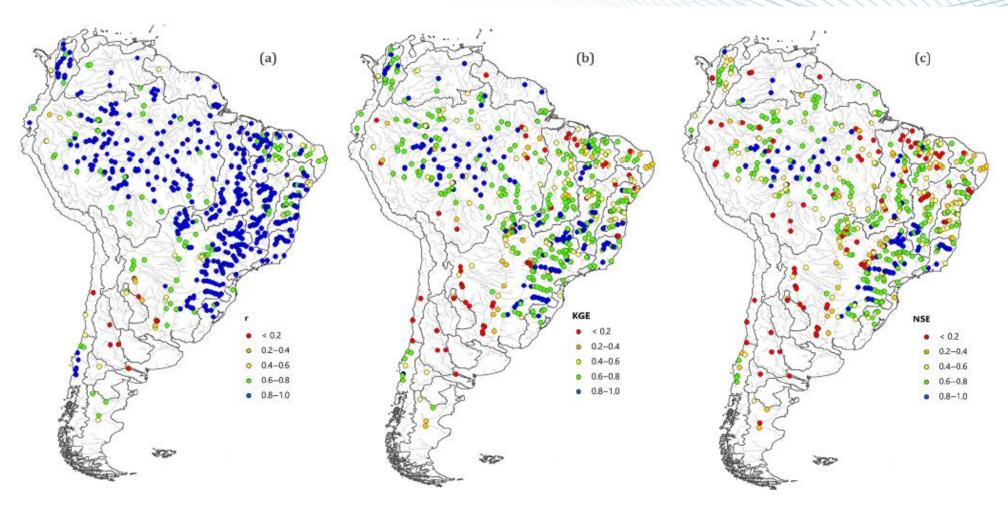
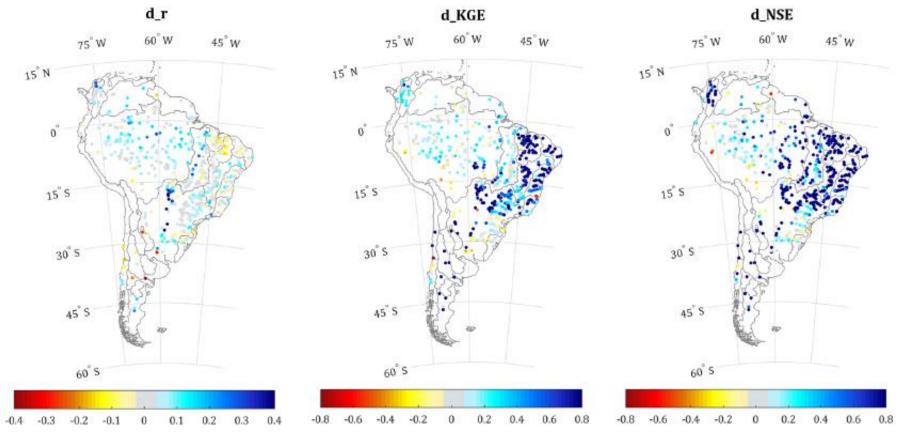


Figure 2. Discharge performance over South America in terms of (a) correlation (r), (b) Kling–Gupta efficiency (KGE) and (c) Nash–Sutcliffe (NSE).



V. A. Siqueira et al.: Toward continental hydrologic-hydrodynamic modeling in South America

Comparação com modelos hidrológicos globais



Pontos azuis:

Modelo continental é melhor Do que modelos globais

HTESSEL + CaMa-Flood (Balsamo et al., 2009; Yamazaki et al., 2011), LISFLOOD (van der Knijf et al., 2010) WaterGAP3 (Döll et al., 2009)



Mais detalhes sobre o modelo da América do Sul

Hydrol. Earth Syst. Sci., 22, 4815–4842, 2018 https://doi.org/10.5194/hess-22-4815-2018 © Author(s) 2018. This work is distributed under the Creative Commons Attribution 4.0 License.





Toward continental hydrologic-hydrodynamic modeling in South America

Vinícius A. Siqueira¹, Rodrigo C. D. Paiva¹, Ayan S. Fleischmann¹, Fernando M. Fan¹, Anderson L. Ruhoff¹, Paulo R. M. Pontes², Adrien Paris^{3,4,a}, Stéphane Calmant³, and Walter Collischonn¹



¹Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 91501-970, Brazil

²Instituto Tecnológico Vale (ITV), Belém, 66055-090, Brazil

³LEGOS, Université de Toulouse, CNRS, CNES, IRD, UPS, Toulouse, France

⁴GET, Université de Toulouse, UPS, CNRS, IRD, Toulouse, France

anow at: Collecte Localisation Satellite (CLS), Ramonville-Saint-Agne, 31520, France

Simulações continentais dos impactos das mudanças climáticas Baseado em: Breda et al. 2020 Climate Change impacts on South American Water Balance from a continental-scale hydrological model driven by CMIP5 projections. Climatic Change (no prelo)

25 modelos globais

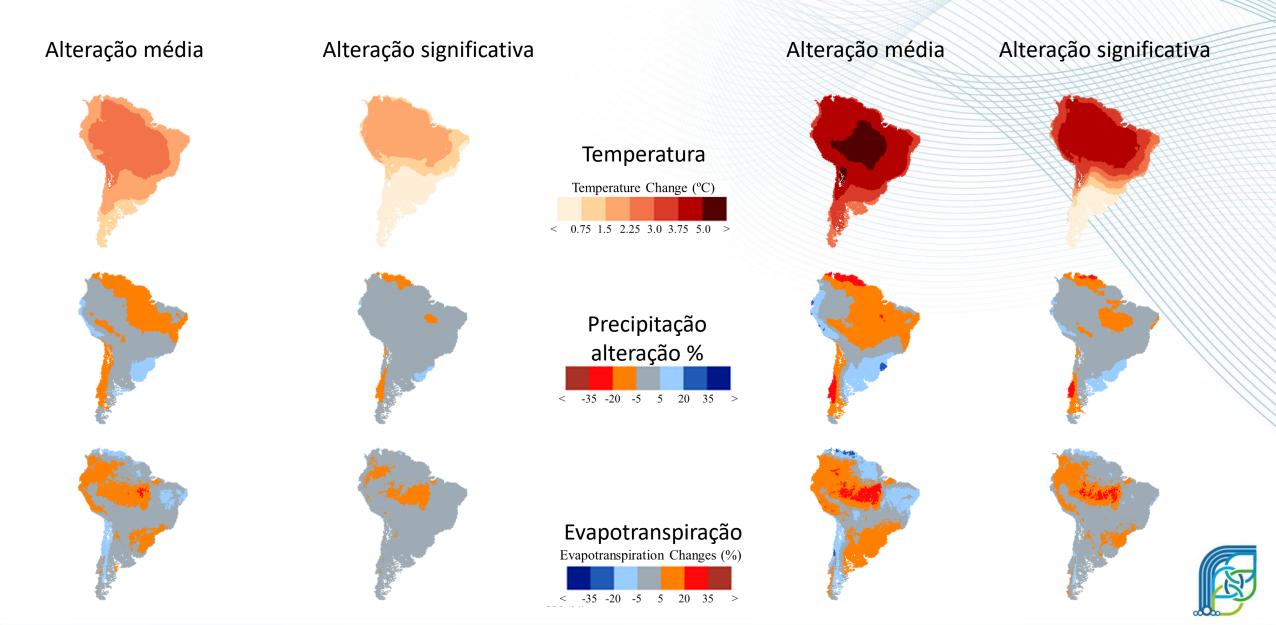
Cenários

- RCP (Representative Concentration Pathway
- Radiative Forcings W/m²
- 2.6, **4.5**, 6.0, **8.5**
- Entrada MGB
 - Velocidade do vento
 - Radiação solar de onda curta
 - Umidade relativa do ar
 - Pressão atmosférica
 - Temperatura
 - PRECIPITAÇÃO
- Dados para cada mês de 1850 a 2100

		The state of the s			
	Model	Institution	Country	Resolution ⁴	
ay)				Longitude	Latitude
	ACCESS1.0	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation/Bureau	Australia	1.25	1.875
	ACCESS1.3	of Meteorology (CSIRO-BOM)		1.25	1.875
	BCC-CSM1.1	Beijing Climate Center (BCC)	China	2.7906	2.8125
	BCC-CSM1.1 (m)	Doyling children (2004)		1.1215	1.125
	BNU-ESM	Beijing Normal University (BNU)		2.7906	2.8125
	CanESM2	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis (CCCma)	Canada	2.7906	2.8125
	CNRM-CM5	Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM-CERFACS)	France	1.4008	1.40625
	CSIRO-Mk3-6-0	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO)	Australia	1.8653	1.875
	GFDL-CM3		USA	2	2.5
	GFDL-ESM2G	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL)		2.0225	2.5
	GFDL-ESM2M			2.0225	2.5
	GISS-E2-H	NASA Goddard Institute for Space Studies (NASA-GISS)		2	2.5
	GISS-E2-R	NASA Goddard Histitute for Space Studies (NASA-0133)		2	2.5
	HadGEM2-CC	Met Office Hadley Centre (MOHC)	United	1.25	1.875
	HadGEM2-ES	wet office hadiey certifie (Monc)	Kingdom	1.25	1.875
	HadGEM2-AO	MOHC + National Institute of Meteorological Research, Korea	UK + South	1.25	1.875
		Meteorological Administration (NIMR-KMA)	Korea		
	INM-CM4	Russian Academy of Sciences, Institute of Numerical Mathematics (INM)	Russia	1.5	2
	IPSL-CM5A-LR		France	1.8947	3.75
	IPSL-CM5A-MR	Institut Pierre Simon Laplace (IPSL)		1.2676	2.5
	IPSL-CM5B-LR			1.8947	3.75
	MIROC-ESM-CHEM	Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo),		2.7906	2.8125
	MIROC-ESM	National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for		2.7906	2.8125
	MIROC5	Marine-Earth Science and Technology (MIROC)	Japan	1.4008	1.40625
	MRI-CGCM3	Meteorological Research Institute (MRI)		1.12148	1.125
	NorESM1-M	Bjerknes Centre for Climate Research, Norwegian Meteorological	Norway 1.8947		2.5
		Institute (NCC)		1.8947	

Cenário RCP 4.5 (menos aquecimento)

Cenário RCP 8.5 (mais aquecimento)



Projeção de alteração de escoamento

Cenário RCP 4.5 (menos aquecimento)

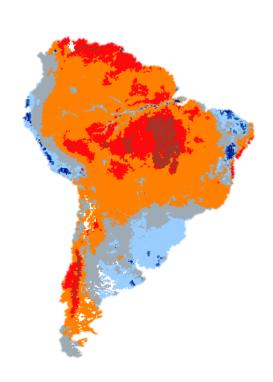
Alteração média

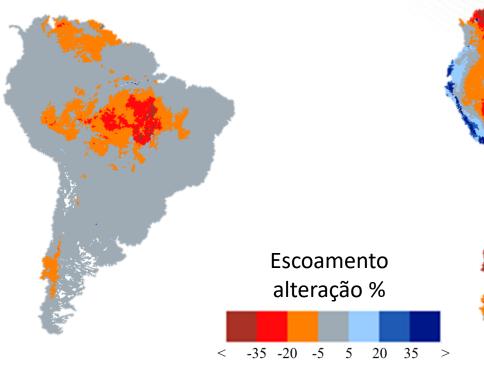
Alteração significativa

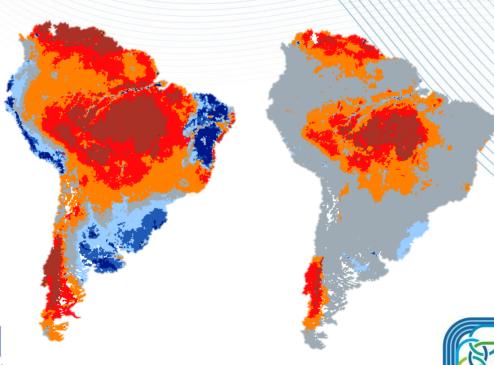
Cenário RCP 8.5 (mais aquecimento)

Alteração média

Alteração significativa







Projeção de alteração de índice de aridez

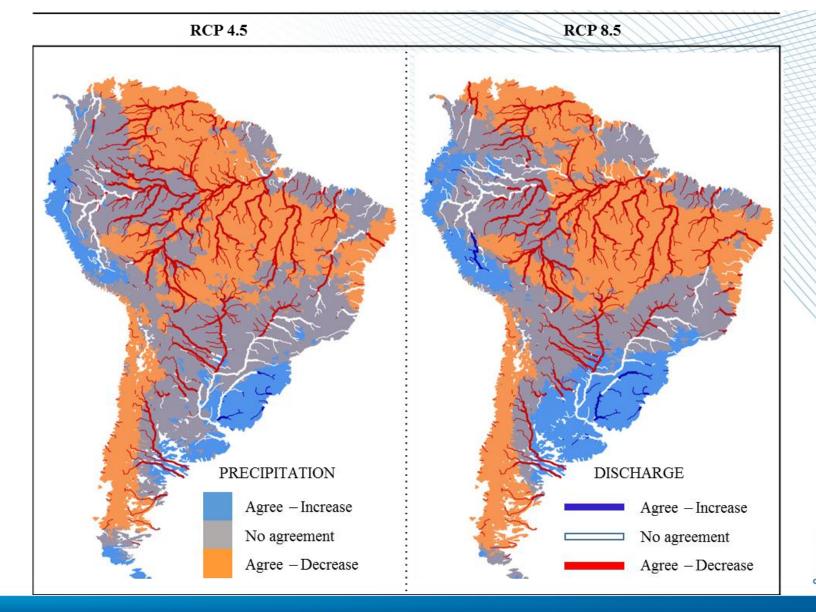
Índice de aridez é a razão entre a Evapotranspiração potencial e a precipitação

Cenário RCP 4.5 (menos aquecimento) Cenário RCP 8.5 (mais aquecimento) Alteração média Alteração significativa Alteração média Alteração significativa Aridity Index (10^{-2}) Menos seco Mais seco 5 20 50 >

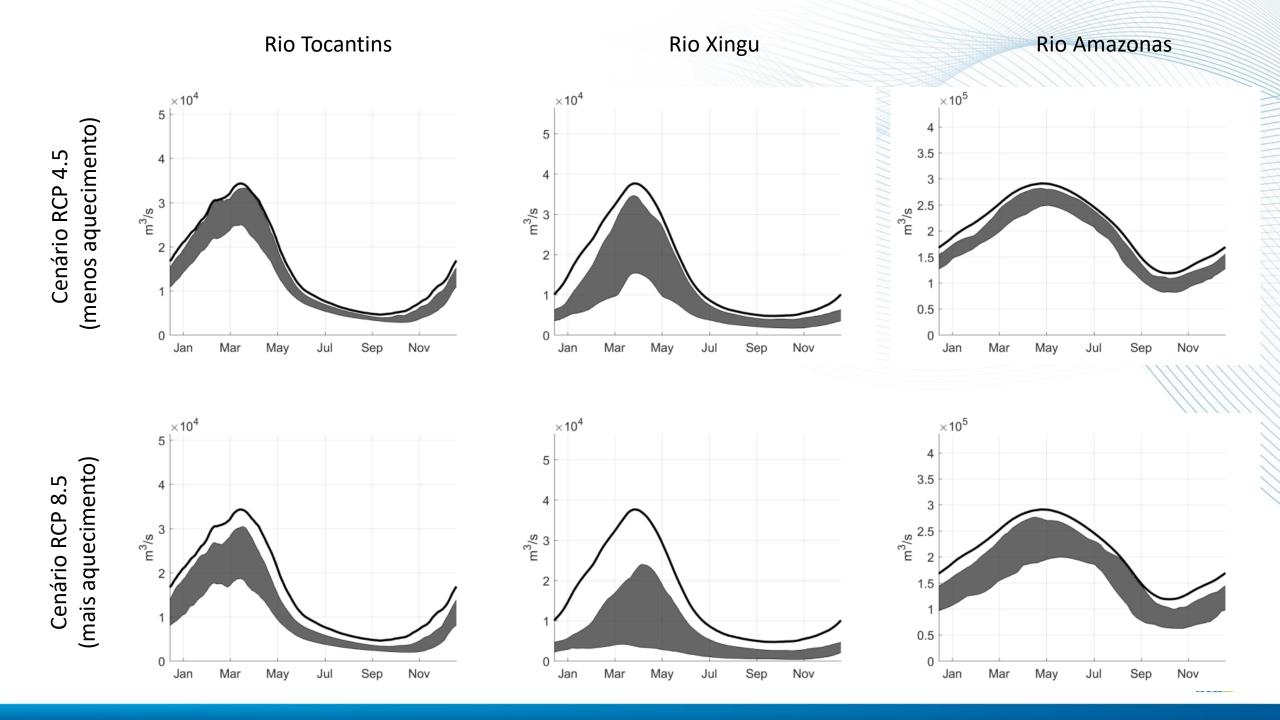
Projeção de alteração da vazão

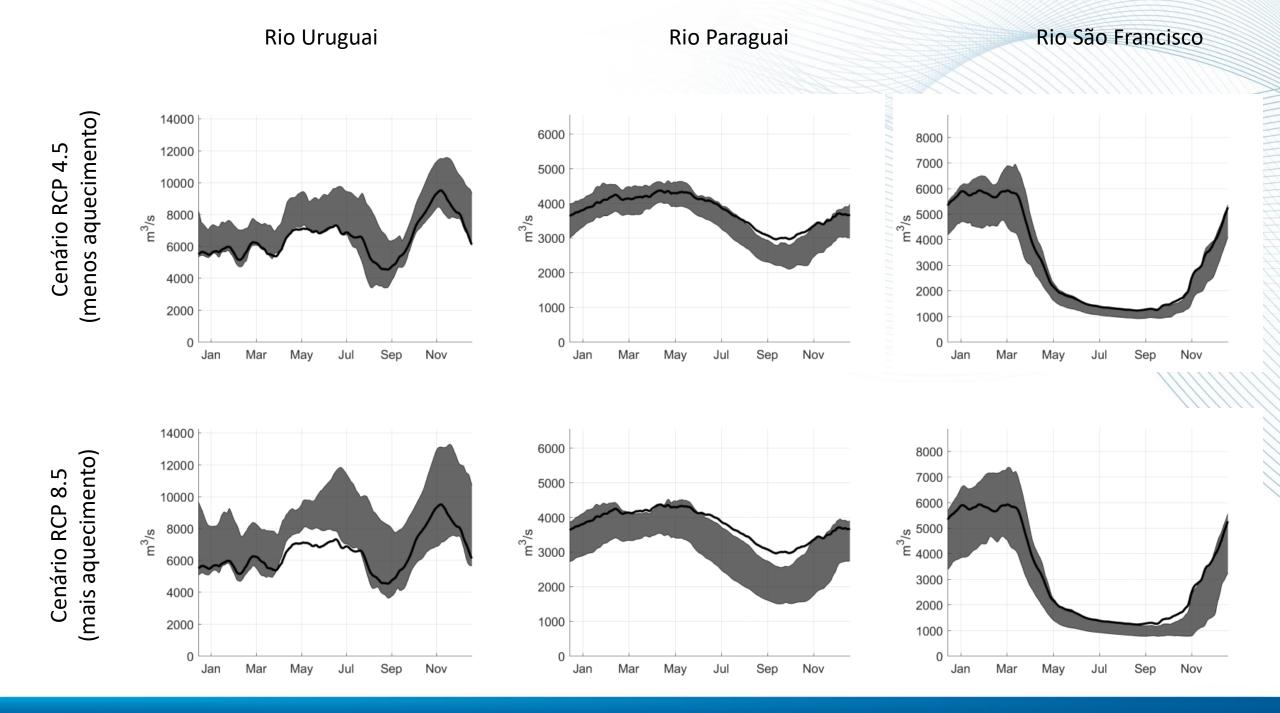
Concordância entre modelos

Se 2/3 da amostra (17 de 25) ou mais modelos globais concordam com o mesmo sinal de mudança

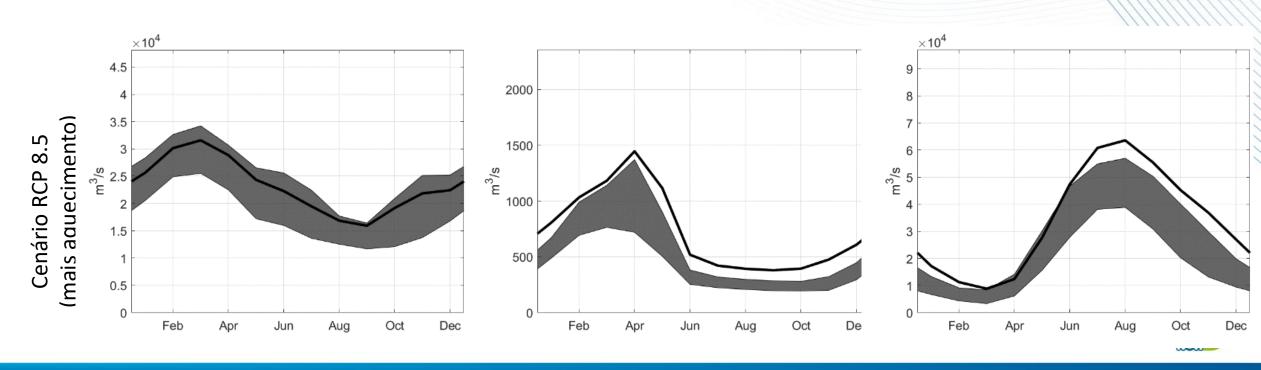




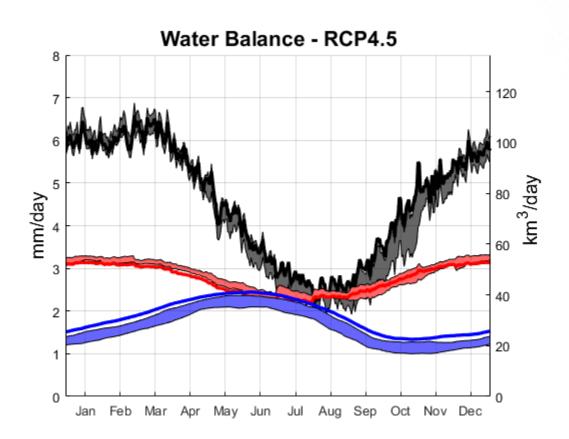


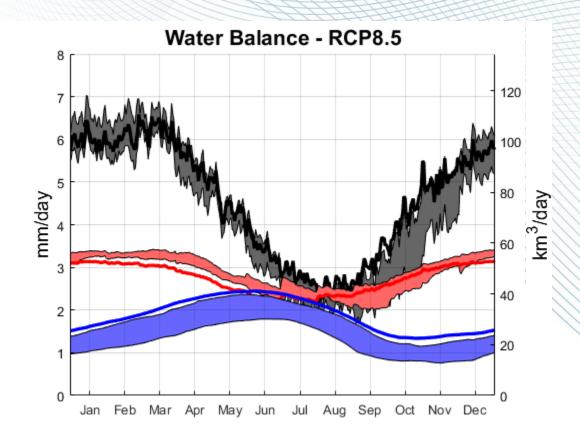


Cenário RCP 4.5 (menos aquecimento)



Projeção de alteração média no continente





Linhas: situação atual

Área sombreada: situação futura

Precipitação média na América do Sul

Evapotranspiração média na América do Sul Vazão média da América do Sul para os oceanos



Disponibilização de resultados



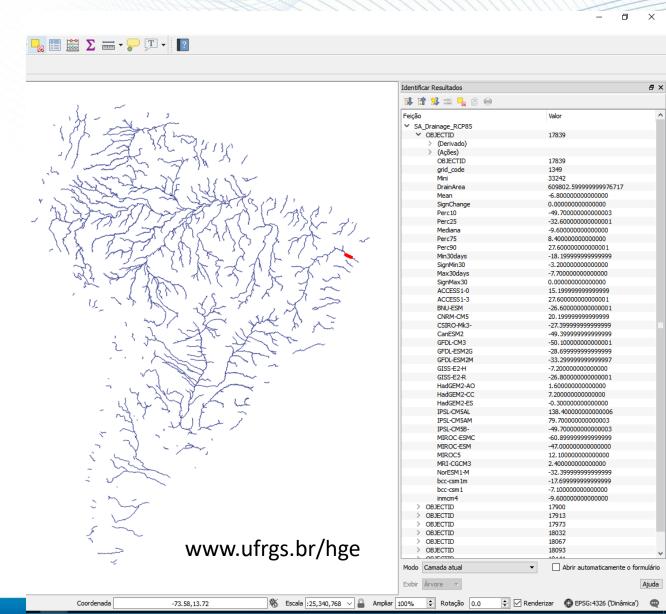


South America Climate Change Impacts water resources dataset

SACCI

Os arquivos em anexo correspondem à rede de drenagem de rios da América do Sul a partir de uma área de drenagem acumulada de 10.000 km². Estão disponibilizados resultados relativos a dois cenários do CMIP5: RCP4.5 e RCP8.5. Os dados consistem em uma comparação de médias de vazão entre o período de referência (1986-2005) e o período futuro (2081-2100) de uma modelagem hidrológica usando o MGB (Modelo Hidrológico de Grandes Bacias) da América do Sul a partir de dados climáticos de modelos globais (acrônimo em inglês - GCM). Embora a relação clima/recursos hídricos não seja linear, espera-se que haja uma mudança gradativa durante esse período. A tabela de atributos consiste em:

Nome	Descrição		
OBJECTID	Relacionado ao vetor (shape)		
ID	Número de Identificação do trecho do rio		
Mini	Minibacia correspondente no modelo hidrológico		
DrainArea(km2)	Área de Drenagem à montante do trecho		
Mean (%)	Mudança esperada na vazão média do período, relacionada à média dos resultados do ensemble de GCM		
SignChange (%)	Mudança mínima esperada com confiança de 95% (teste T de Student)		
Perc10 (%)	Mudança na vazão relativa ao Percentil 10% do ensemble de GCM		
Perc25 (%)	Mudança na vazão relativa ao Percentil 25% do ensemble de GCM		
Median (%)	Mudança na vazão relativa à mediana do ensemble de GCM		
Perc75 (%)	Mudança na vazão relativa ao Percentil 75% do ensemble de GCM		
Perc90 (%)	Mudança na vazão relativa ao Percentil 90% do ensemble de GCM		
Min30days (%)	Mudança na vazão de período seco (média de 30 dias)		
SignMin30 (%)	Mudança significante na vazão de período seco (média de 30 dias)		
Max30days (%)	Mudança na vazão de período úmido (média de 30 dias)		
SignMax30 (%)	Mudança significante na vazão de período úmido (média de 30 dias)		
25 Nomes dos modelos Climatológicos (%)	Respectivos resultados (mudança na vazão média) das simulações usando cada um dos GCM.		



E os eventos extremos? Modelo Regional Eta

- A metodologia aplicada até agora não permite avaliar eventos extremos
- Eventos extremos serão avaliados a partir de agora utilizando resultados do downscaling dinâmico do projeto CAPES-ANA
 - Desenvolvimento do Modelo Regional do Sistema Terrestre Eta e Geração de Cenários de Mudanças Climáticas e de Usos da Terra, Visando Estudos de Impactos Sobre os Recursos Hídricos
 - Coordenadora-geral: Chou Sin Chan, INPE
- Alterações na sazonalidade
 - Início de período úmido/seco
 - Duração de período úmido/seco
- Eventos extremos
 - Intensidade e severidade de Secas
 - Frequencia e magnitude chuvas extremas e cheias

Paradoxo das cheias e mudança climática

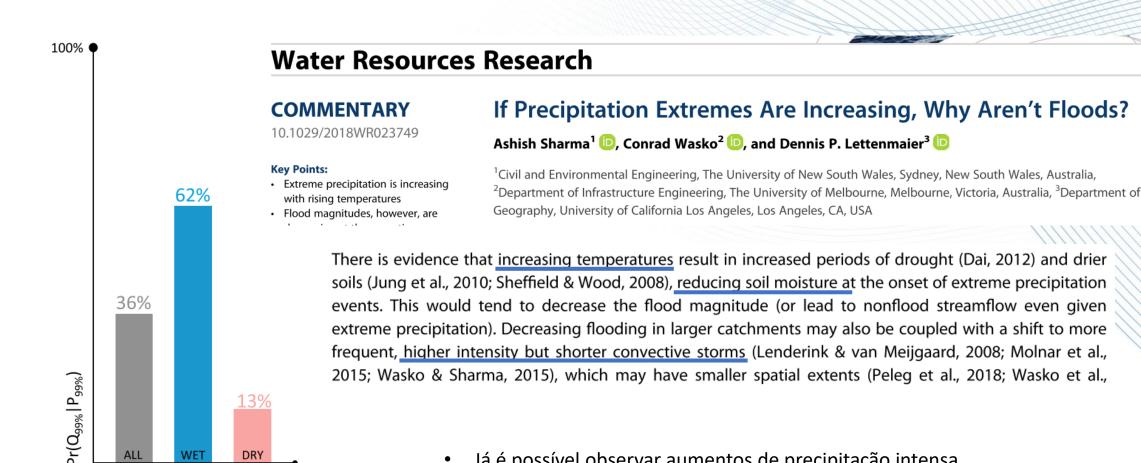


Figure 1. The probability of an upper 99th percentile discharge event $(Q_{99\%})$ being associated with an upper 99th percentile precipitation event (P99%) across the contiguous United States. Wet (antecedence) is defined as a soil moisture wetness above the median, and dry (antecedence) is defined as below the median. Reproduced from Ivancic and Shaw (2015).

DRY

- Já é possível observar aumentos de precipitação intensa
- Porém as alterações na magnitude das cheias não são tão evidentes
- Questão de escala espacial e temporal?



Paradoxo das cheias e mudança climática

- Prejuízos econômicos causados por cheias aumentaram recentemente, porém mais por uma crescente exposição ao perigo do que por aumento do perigo!
- A confiabilidade nos modelos climáticos atuais para projetar alterações na magnitude e ou frequencia de cheias ainda é baixa.
- Não há uma evidência observável em grande escala de alteração da magnitude /frequencia das cheias devido às mudanças climáticas.

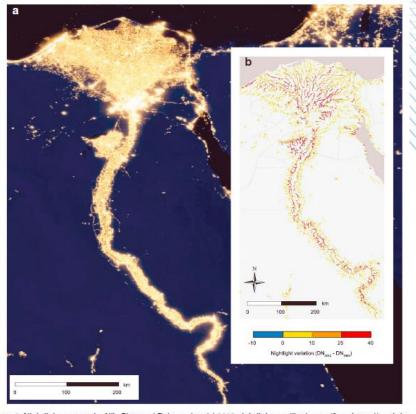
Kundzewicz, et al. (2014). Flood risk and climate change: global and regional perspectives. *Hydrological Sciences Journal*, *59*(1), 1-28.



Geophysical Research Letters

RESEARCH LETTER 10.1002/2014GL061859 Satellite nighttime lights reveal increasing human exposure to floods worldwide

Serena Ceola¹, Francesco Laio², and Alberto Montanari¹



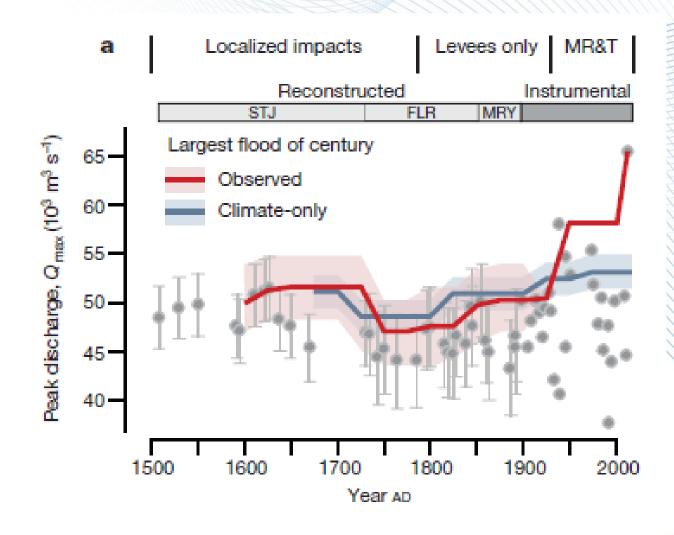


sure 1. Nightlights across the Nile River and Delta region: (a) 2012 nightlight satellite image (from https://earthdat

Paradoxo das cheias e mudança climática

• Na escala de bacia, alterações antrópicas locais são tão importantes ou mais do que alterações climáticas.

 A ampliação da magnitude das cheias do rio Mississippi River observada nos últimos 150 anos é resultado, principalmente, das alterações na bacia (figura).



Munoz, S. E., Giosan, L., Therrell, M. D., Remo, J. W., Shen, Z., Sullivan, R. M., ... & Donnelly, J. P. (2018). Climatic control of Mississippi River flood hazard amplified by river engineering. *Nature*, *556*(7699), 95.



Muito obrigado pela atenção!