

## DESEMPENHO DOS MODELOS DE CLIMA CMIP5 INTEGRADOS NO MODELO HIDROLÓGICO SWAT PARA ESTIMATIVA DE CHUVA E VAZÃO NA BACIA DO RIO NEGRINHO

*Pablo Borges de Amorim*<sup>1\*</sup> & *Tássia Mattos Brighenti*<sup>2</sup> & *Nadia Bernardi Bonumá*<sup>3</sup> & *Pedro Luiz Borges Chaffe*<sup>4</sup>

**Resumo** – Mesmo com uma resolução grosseira, os modelos de clima podem fornecer informações importantes para estudos de impacto hidrológico na escala regional. Poucos trabalhos têm demonstrado de maneira sistemática as aptidões e limitações dos modelos de clima em representar condições de chuva para estudos hidrológicos na escala regional. Este trabalho tem como objetivo avaliar a capacidade do conjunto de 28 modelos de clima do *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5) em simular a chuva regional e a vazão quando integrados ao modelo hidrológico *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT). Os critérios de avaliação de desempenho foram baseados nas recomendações da iniciativa científica *European Union Cooperation in Science and Technology Action ES1102 VALUE*. Os resultados mostram que, embora o conjunto de saídas dos modelos de clima apresente grandes incertezas, a média do mesmo é capaz de representar razoavelmente os aspectos marginais dos dados de referência de chuva e vazão. Quanto ao aspecto temporal (ciclo anual), o conjunto não é capaz de representar satisfatoriamente a sazonalidade da chuva e da vazão. Este fato pode justificar a necessidade do uso de técnicas de correção de viés ou *downscaling* em aplicações dessa natureza.

**Palavras-Chave** – desempenho, CMIP5, SWAT

## PERFORMANCE OF CMIP5 CLIMATE MODELS INTERGRATED INTO THE HYDROLOGICAL MODEL SWAT FOR THE ESTIMATION OF RAINFALL AND STREAMFLOW IN THE RIO NEGRINHO WATERSHEED

**Abstract** – Coarse-resolution climate models can deliver important information for hydrological impact studies at regional scale. Few studies have systematically demonstrated the capabilities and limitations of climate models in representing the rainfall conditions necessary for hydrological studies at regional scale. This study aims to evaluate the capacity of 28 climate models from the *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5) in simulating regional rainfall and, consequently, the streamflow when integrated into the hydrological model *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT). The evaluation criteria are based on the recommendations of the scientific initiative *European Union Cooperation in Science and Technology Action ES1102 VALUE*. The results show that, although the climate model ensemble present considerable uncertainties, the ensemble mean is able to reasonably represent the marginal aspect of the reference data of rainfall and river flow. For the temporal aspect (annual cycle), the ensemble does not proper represent the seasonality of both rainfall and streamflow. This fact can justify the need of bias correction and downscaling techniques for further applications.

**Keywords** – performance, CMIP5, SWAT

<sup>1</sup> Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA). borgesdeamorim.pablo@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA). tassibrighenti@hotmail.com

<sup>3</sup> Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENS). nadia.bonuma@ufsc.br

<sup>4</sup> Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENS). pedro.chaffe@ufsc.br

## 1. INTRODUÇÃO

A integração das saídas dos modelos de clima com os modelos hidrológicos na escala regional é uma tarefa ainda bastante desafiadora. Existem diversas técnicas para a ajustar a discrepância entre a resolução grosseira dos modelos de clima e a escala espacial de bacia necessária. No entanto, técnicas como correção de viés e *downscaling*, ou regionalização, baseiam-se em suposições inerentes a incertezas. O valor agregado da aplicação destas técnicas é muitas vezes questionável. Mesmo com uma resolução grosseira, os modelos de clima podem fornecer informações importantes para estudos de impacto hidrológico na escala regional (Hewitson *et al.* 2014). Poucos estudos (e.g., Chen *et al.* 2017) têm demonstrado sistematicamente a capacidade e limitação dos modelos de clima em representar condições de chuva para estudos hidrológicos na escala de regional. Uma avaliação coerente e robusta deve levar em conta a finalidade do estudo de impacto (Maraun *et al.* 2015). Levantamentos de disponibilidade hídrica em reservatórios necessitam de estimativas sobre a variabilidade média anual, ao passo que estudos de risco de enchentes demandam informações espaço-temporais mais precisas sobre chuvas (Bloschl e Sivapalan 1995). A iniciativa científica *European Union Cooperation in Science and Technology (EU COST) Action ES1102 VALUE* ([www.value-cost.eu](http://www.value-cost.eu)) visa desenvolver normas comuns para avaliar o desempenho de modelos. Maraun *et al.* (2015) recomendam uma série de índices divididos em quatro aspectos (marginal, temporal, espacial e multivariado) os quais devem ser selecionados conforme a demanda do usuário final. O objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade e as limitações dos modelos de clima em simular a chuva regional e, conseqüentemente, a vazão quando integrados ao modelo hidrológico *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT). Os critérios de avaliação foram elaborados com base nas recomendações da iniciativa *EU COST Action ES1102 VALUE* (Maraun *et al.* 2015). A avaliação considera uma abordagem sistemática que analisa dois aspectos distintos (marginal e temporal), índices relevantes para estudos hidrológicos e medidas estatísticas robustas. Este estudo é uma seqüência do trabalho de Brighenti *et al.* (2016), o qual utilizou o modelo SWAT para estimativa de vazão na bacia hidrográfica do Rio Negrinho localizada no norte do estado de Santa Catarina.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Dados

Utilizou-se os dados de chuva diária de quatro estações de monitoramento representativas à bacia do Rio Negrinho. O período considerado é de 01/01/1995 a 31/12/2012. Os dados foram obtidos da HIDROWEB (três estações, <http://hidroweb.ana.gov.br/>) e da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI). Os dados diários de vazão no exutório da bacia também foram obtidos da HIDROWEB, porém o período disponível é de 20/08/2002 a 31/12/2012. Mais detalhes sobre os dados, teste de qualidade e a área de estudo em Brighenti *et al.* (2016). Os dados de modelagem de clima foram obtidos de 28 modelos (i.e., ACCESS1.0; ACCESS1.3; BCC-CSM1.1; BCC-CSM1.1m; BNU-ESM; CanESM2; CCSM4; CMCC-CESM; CMCC-CM; CMCC-CMS; CNRM-CM5; CSIRO-Mk3.6.0; FGOALS-g2; GFDL-CM3; GFDL-ESM2G; GFDL-ESM2M; GISS-E2-H; GISS-E2-R; INM-CM4; MIROC4H; MIROC5; MIROC-ESM; MIROC-ESM-CHEM; MPI-ESM-LR; MPI-ESM-MR; MRI-CGCM3; MRI-ESM1; NorESM1-M). As saídas dos modelos são referentes à rodada histórica (*historical run*) e os dados são disponibilizados pelo *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5) através do *Earth System Grid Federation* (ESGF; <http://esgf.llnl.gov>). Alguns modelos disponibilizam saídas com mais de uma condição inicial (e.g., r1i1p1, r2i1p1 e r3i1p1). Desta forma o conjunto total abrange 39 saídas de modelos de clima do CMIP5. Mais informações sobre as saídas dos modelos utilizadas em Borges *et al.* (2017). Os dados são de fluxo de precipitação ( $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) na escala diária os quais foram convertidos para chuva diária ( $\text{mm dia}^{-1}$ ). Afim de evitar o *drizzle effect* considerou-se um limite de 1 mm para a determinação de

dias úmidos, como recomendado por Maraun (2013). Os dados dos modelos de clima foram interpolados para as coordenadas geográficas referentes aos mencionados pontos de monitoramento. A técnica utilizada é a interpolação bi-linear, como aplicado por Borges *et al.* (2017).

## 2.2. Modelagem Hidrológica (SWAT)

O SWAT é um modelo de bases físicas, contínuo no tempo e semi-distribuído. Foi desenvolvido para avaliar o impacto das práticas de manejo do solo, em grandes bacias agrícolas não monitoradas. O mesmo tem sido amplamente utilizado para estudar os impactos das alterações climáticas (e.g., Dams *et al.* 2015, Meaurio *et al.* 2017, Zhang *et al.* 2014). A calibração foi realizada para o período de 2003 a 2012, além dos quatro anos de aquecimento do modelo (1999 a 2002). Mais detalhes sobre o processo de calibração estão descritos em Brighenti *et al.* (2016)

## 2.3. Método de avaliação

Os critérios de avaliação foram elaborados com base nas recomendações da iniciativa *EU COST Action ES1102 VALUE* (Maraun *et al.* 2015). Os aspectos considerados são o marginal e o temporal. O primeiro leva em conta as características da distribuição de dados (histograma) enquanto o segundo avalia semelhanças temporais, no caso o ciclo anual. A Tabela 1 descreve os índices e as medidas estatísticas utilizadas. A análise marginal da chuva considera a plotagem de quantil-quantil (Q-Q *plot*) e o histograma. Para vazão utiliza-se o Q-Q plot e a curva de permanência (CP). Na análise temporal para chuva, utilizou-se os seguintes índices: chuva total acumulada, desvio padrão e o pico acima de 20 mm (PAD20). Para vazão, utilizou-se a vazão média, desvio padrão e a Q95. Afim de mensurar estatisticamente a paridade das simulações com as observações, são aplicados o viés (BIAS), o erro percentual médio (EPM), a raiz do erro quadrático médio (REQM) e o coeficiente de correlação de Pearson (CORR). Na análise marginal, considerou-se o BIAS da média, o EPM da variância e o BIAS do *skewness* da distribuição. Para o aspecto temporal, utilizou-se o BIAS, o REQM e a CORR. Mais detalhes sobre o cálculo das medidas estatísticas em Wilks (2011).

Tabela 1 - Índices e medidas para a avaliação de aspectos marginais e temporais de chuva e vazão.

Aspecto	Chuva	Vazão	Medidas
Marginal	Q-Q plot	Q-Q plot	BIAS da média; EPM da variância; BIAS do <i>skewness</i>
	Histograma	CP	
Temporal (Ciclo Anual)	Total	Média	BIAS; REQM; CORR
	Desvio padrão	Desvio padrão	
	PAD20	Q95	

## 2.3. Considerações sobre o período de avaliação adotado

Os dados dos modelos de clima da rodada histórica vão até 2005, enquanto as medições de vazão iniciaram-se apenas na metade de 2002. O período de interseção entre os dados do CMIP5 e a vazão observada (i.e., 2002-2005) é bastante curto podendo comprometer a robustez da avaliação. Embora este ainda seja um tema aberto para discussão, em estudos de projeções de impacto das mudanças climáticas é recomendável pelo menos uma década de observações (WMO 2008). Por outro lado, os dados observados de chuva estão disponíveis desde 1995. Como alternativa à limitada disponibilidade de dados, adotou-se a estratégia ilustrada na Figura 1. Primeiramente, buscou-se avaliar a representatividade da distribuição temporal de chuva do período de 1995-2005 em relação a 2003-2012. Uma vez que o SWAT (utilizando chuva observada) está validado para o período de 2003-2012, assume-se que o mesmo é capaz de reproduzir a vazão quando utilizando dados de chuva do passado (*hindcast simulation*), por exemplo 1995-2005. Assume-se então que o padrão de

variabilidade de vazão do período de 1995-2005 é equivalente ao de 2003-2012. Uma vez admitida esta condição de estacionariedade, pode-se utilizar as saídas do SWAT forçadas com chuva observada ( $Q_{OBS-SWAT}$ ) como referência para as comparações das vazões simuladas com as saídas dos modelos de clima ( $Q_{CMIP5-SWAT}$ ). Sendo assim, a segunda avaliação compara a chuva observada com a chuva dos modelos do CMIP5 ( $P_{OBS}$  vs.  $P_{CMIP5}$ ) e, conseqüentemente, a resposta hidrológica ( $Q_{OBS-SWAT}$  vs.  $Q_{CMIP5-SWAT}$ ), ambas para o período de 1995-2005.

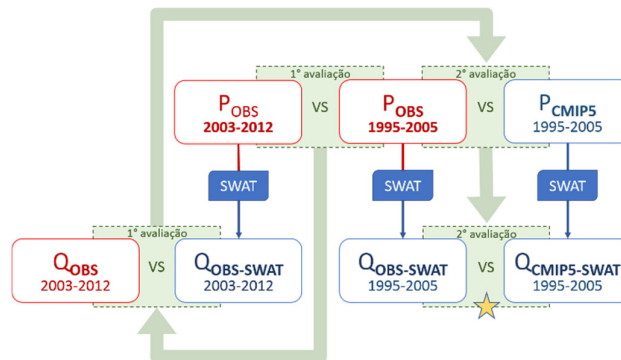


Figura 1 – Fluxograma das avaliações executadas utilizando os dados de chuva observados e do CMIP5.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Período de avaliação

A Figura 2.a mostra similaridade entre o ciclo anual dos períodos considerados (1995-2005 e 2003-2012). O BIAS é  $0,1 \text{ mm d}^{-1}$ , o MPE é  $2,5\%$  e o REQM é  $0,65 \text{ mm d}^{-1}$ . A correlação é  $0,78$ . As maiores diferenças foram identificadas nos meses de fevereiro, março, junho, julho e novembro, no entanto a magnitude não ultrapassa  $1,2 \text{ mm d}^{-1}$ . A Figura 2.b mostra a capacidade do modelo hidrológico SWAT em simular o ciclo anual de vazão para o período de 2003-2012. Embora apresente uma correlação alta ( $0,93$ ), o modelo SWAT subestima a vazão observada em praticamente todos os meses. O BIAS é de  $0,7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , o MPE é de  $13,9\%$  e o REQM é  $0,91 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . De forma geral, a resposta hidrológica à chuva observada é satisfatoriamente representada pelo SWAT. Assume-se assim que a variabilidade da chuva no período de 1995-2005 não afeta substancialmente as simulações de vazão do SWAT. Desta forma, a saída do SWAT utilizando chuva observada ( $Q_{OBS-SWAT}$ ) é utilizada como referência para comparações com o SWAT forçado pelos CMIP5 ( $Q_{CMIP5-SWAT}$ ).

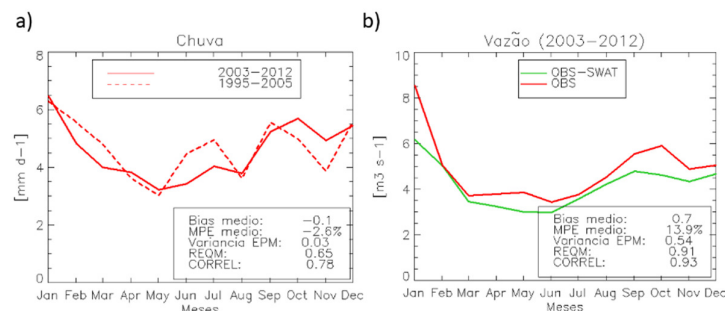


Figura 2 – O ciclo anual da: a) chuva diária observada no período de 1995-2005 (linha vermelha tracejada) comparado ao período de 2003-2012 (linha vermelha sólida), e b) vazão observada (linha vermelha) comparada à vazão simulada pelo SWAT (linha verde) para o período de 2003-2012. A legenda no canto inferior direito mostra os valores das medidas estatísticas comparativas.

## 4.2. Chuva simulada

Esta avaliação considera a chuva agregada no espaço. Ou seja, os valores diários, tanto das saídas dos modelos quanto observado, são a média aritmética dos quatro pontos de monitoramento. O Q-Q plot (Figura 3.a) mostra como a incerteza do conjunto de simulações, ou *multi-model ensemble* (MME, Tebaldi e Knutti 2007), aumenta diretamente com a magnitude da chuva. É notável que a maioria dos modelos superestima as observações. A ordem de grandeza chega a quase 20 mm para o percentil 99th. Por outro lado, a média dos quantis do MME (ilustrado em azul escuro) mostra proximidade com a observação. O histograma (Figura 3.b) exhibe a distribuição de dados por outra perspectiva. É possível notar que diversas simulações subestimam a média da distribuição dos dados observados (linhas verticais). Por outro lado, a cauda da distribuição é frequentemente superestimada, fato consistente com o Q-Q plot. De forma geral, o conjunto apresenta grandes incertezas conforme a magnitude da chuva aumenta. Porém, a média do MME é bastante similar às condições observadas.

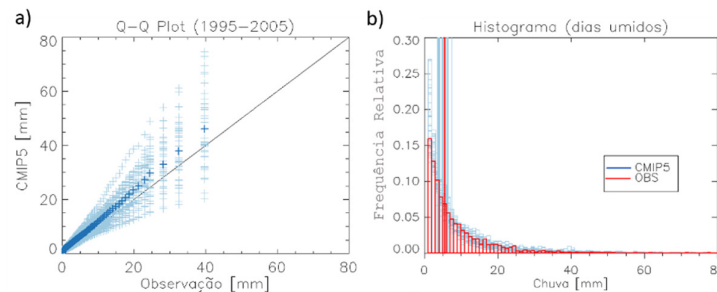


Figura 3 – Avaliação marginal da chuva simulada pelos modelos do clima CMIP5 para o período de 1995-2005 através de: a) plotagem quantil-quantil (Q-Q plot) onde os pontos mais escuros são a média dos quantis do MME. e b) Histograma, onde a linha azul representa o MME do CMIP5 enquanto a linha vermelha condiz a observação. As linhas verticais são referentes às médias da distribuição de dados.

A Figura 4 ilustra os resultados referentes aos três índices do aspecto temporal da chuva. Existe uma alta amplitude na incerteza do MME. Para a chuva total (Figura 4.a), os meses de janeiro a abril e outubro a dezembro foram bem simulados pela média do MME. Para o desvio padrão, os meses de maior concordância foram janeiro a maio e setembro a dezembro. Para PAD20, os meses melhores representados também foram de janeiro a abril e dezembro. Embora alguns meses apresentem bons resultados, a sazonalidade da chuva não é bem representada pelo MME. A média do MME mostra um ciclo anual de chuva com estações úmida e seca bem definidas, enquanto o clima da região é temperado constantemente úmido (Cfb segundo a classificação de Köppen) sem uma estação seca.

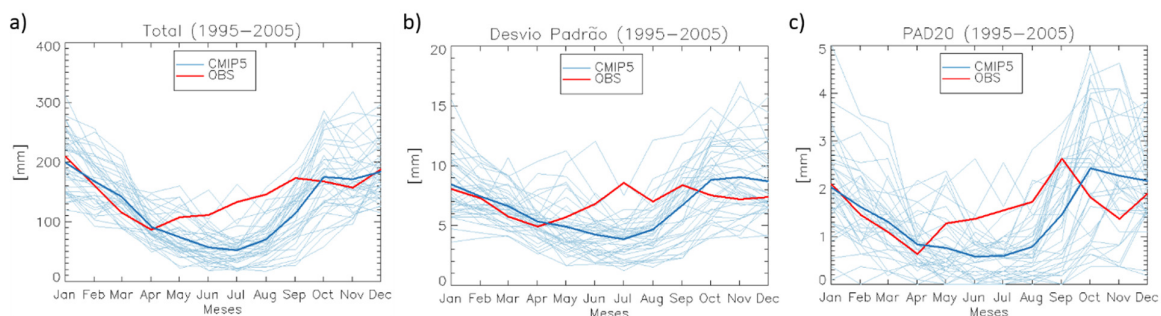


Figura 4 – Avaliação temporal (ciclo anual) da chuva simulada pelos modelos do clima CMIP5 para o período de 1995-2005 através de: a) chuva total, b) desvio padrão e c) PAD20. A linha azul representa o MME provenientes do CMIP5 enquanto a linha vermelha condiz a chuva observada. Os dados são a média aritmética das quatro estações de monitoramento de chuva.

### 4.3. Vazão simulada

Nesta avaliação, analisou-se a resposta hidrológica do SWAT quando forçado com dados de chuva dos modelos de clima do CMIP5. Como explicado anteriormente (item 2.3), o dado de referência é a vazão simulada pelo SWAT quando utilizando dados observados de chuva ( $Q_{OBS-SWAT}$ ). A análise do aspecto marginal mostra que, assim como para chuva, quanto maior a magnitude da vazão, maior é a incerteza no MME (Figura 5). Mesmo assim, a média do MME das vazões se aproxima bastante dos dados de referência, principalmente no Q-Q plot (Figura 5.a). A curva de permanência mostra que há significativas incertezas nas vazões mínimas do MME. Da mesma forma, a média do MME subestima a vazão de referência. A discrepância para 95% de permanência é de  $-0,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , valor significativo para uma bacia com vazão média de  $5,7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

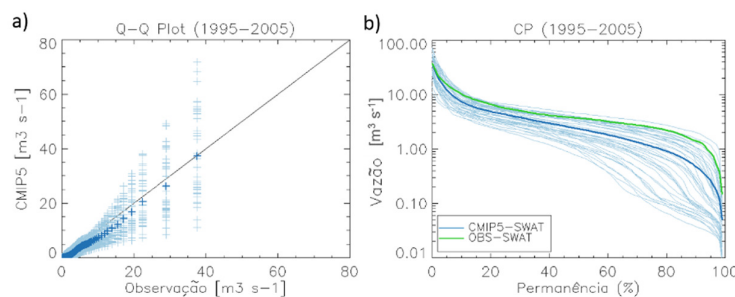


Figura 5 – Avaliação marginal da vazão simulada pelo SWAT para o período de 1995-2005 através de: a) plotagem quantil-quantil (Q-Q plot), e b) Curva de permanência (CP). Na CP, a linha azul representa o MME do SWAT quando forçado pelos modelos de clima (CMIP5-SWAT) enquanto a linha verde ilustra a simulação do SWAT quando forçado com os dados observados de chuva (OBS-SWAT). Os pontos e linha mais escuros são a média dos quantis do MME.

As incertezas quanto ao ciclo anual da vazão (Figura 6) são análogas as da chuva (Figura 4). Para vazão diária média (Figura 6.a), os meses melhor representados são de janeiro a maio e novembro a dezembro. A variabilidade temporal, aqui representada pelo desvio padrão, é bem simulada pela média do MME nos meses de janeiro a abril e setembro a dezembro (Figura 6.b). Algumas simulações apresentam uma magnitude muito superior ao desvio padrão observado, podendo chegar a mais de duas vezes o valor de referência. Diferenças no desvio padrão da vazão simulada e observada são superiores aquelas identificadas na análise da chuva. A variabilidade temporal da vazão parece não possuir uma relação linear com variabilidade temporal de chuva. Embora também apresente grandes incertezas, a Q95 é bem simulada pela média do MME nos meses de janeiro a maio, novembro e dezembro (Figura 6.c). No entanto, assim como para a chuva, a sazonalidade da vazão não é bem representada pelo MME.

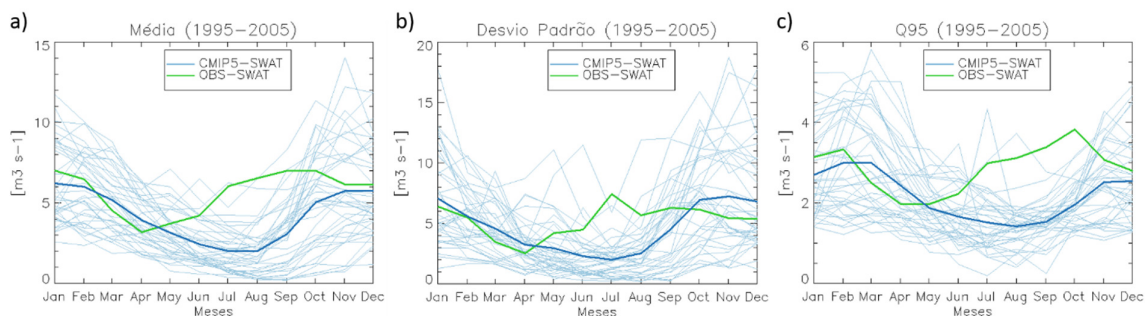


Figura 6 – Avaliação temporal (ciclo anual) da vazão simulada pelo SWAT para o período de 1995-2005 através de: a) vazão média, b) desvio padrão e c) Q95. A linha azul representa o MME do SWAT quando forçado pelos modelos de

clima (CMIP5-SWAT) enquanto a linha verde ilustra a simulação do SWAT quando forçado com os dados observados de chuva (OBS-SWAT). A linha mais escura é a média do MME.

#### 4.4. Avaliação dos CMIP5

A desempenho individual de cada modelo CMIP5 também foi avaliado. Para cada aspecto e medidas selecionou-se os cinco melhores resultados (não demonstrado). Alguns modelos aparecem diversas vezes, tanto na análise de chuva quanto na de vazão. Isto mostra uma consistência física entre a capacidade do modelo em representar chuva e conseqüentemente a vazão. Os modelos CMIP5-SWAT que simulam bem a vazão, mas não simulam bem a chuva, são inconsistentes com a realidade. É o conhecido “alcançando bons resultados pelas razões equivocadas”. O CMCC-CMS r1i1p1 aparece cinco vezes na análise de chuva e oito vezes na de vazão. O MPI-ESM-MR r3i1p1 está entre os melhores sete vezes na avaliação de chuva e cinco na de vazão. Outra saída razoavelmente satisfatória é a da rodada r1i1p1 do MPI-ESM-MR, a qual aparece cinco vezes em ambas as análises. Embora alguns modelos CMIP5 se destaquem, não é recomendável a utilização de apenas um pequeno conjunto. Porém, este é o primeiro passo para dar peso aos modelos que melhor representam as condições de interesse, porém os critérios para tal abordagem devem ser claros e consistentes (Tebaldi and Knutti 2007, Chen *et al.* 2017). Os resultados mostram que a média do MME representa relativamente bem o aspecto marginal da chuva e da vazão, bem como alguns meses do ciclo anual, dependendo do índice. Um fato identificado nos resultados foi a alta divergência entre simulação e referência para o ciclo anual do desvio padrão. Este fato pode estar atrelado à baixa capacidade dos modelos de clima em representar a variabilidade espacial na escala menor que a resolução dos CMIP5. Em caso de evento de chuva com significativa variabilidade espacial na bacia, as saídas dos modelos de clima irão gerar uma superestimação da chuva na entrada de dados do modelo hidrológico. Devido a resolução grosseira dos CMIP5, não há diferenças no número de dias úmidos entre diferentes pontos na bacia. A chuva de saída dos CMIP5 sempre ocorrerá simultaneamente nos quatro pontos, fato que nem sempre é consistente com a realidade observada.

#### 5. CONCLUSÃO

O presente estudo sugere uma metodologia robusta para a avaliação de desempenho de modelos de clima quando aplicados à estudos hidrológicos. No caso considerou-se os modelos de clima CMIP5 sem qualquer correção de viés ou técnica de *downscaling*. Embora estas últimas sejam recomendadas em estudos de bacia na escala regional, poucos trabalhos demonstram quais aspectos os modelos de clima são capazes, ou não, de representar. Os aspectos marginal e temporal considerados, e respectivos índices, demonstram sistematicamente a capacidade e limitações dos modelos CMIP5. Os resultados mostram que os aspectos marginais de chuva, e conseqüentemente de vazão quando integrado ao SWAT, podem ser bem representados por certos modelos CMIP5. A média do MME apresenta resultados consistentes com os dados de referência. Para a análise temporal (ciclo anual) as incertezas do conjunto são maiores. Embora apresente resultados satisfatórios para alguns meses, a média do MME não representa satisfatoriamente a sazonalidade da chuva e da vazão na bacia. O conjunto mostra características similares ao clima de savana tropical (Aw) com estação úmida e seca bem definidas, enquanto o clima da região é temperado constantemente úmido (Cfb) sem uma estação seca. Diferenças entre a capacidade dos modelos CMIP5 em simular a chuva e a vazão mostram que alguns modelos exibem bons resultados por razões equivocadas. Outros modelos mostraram bons resultados e consistência entre as simulações de chuva e vazão, fato que pode contribuir para determinar fatores de ponderação em caso de uso de projeções futuras. Recomenda-se analisar a dependência entre os pontos de monitoramento quanto a variabilidade temporal de chuva (i.e., aspecto espacial) bem como incluir índices de sazonalidade na avaliação (e.g., Markham). Além da baixa

capacidade em representar a sazonalidade, o aspecto espacial pode ser crucial para justificar, e definir a estratégia para, a aplicação de técnicas de correção de viés e *downscaling*.

## REFERÊNCIAS

CHEN J.; BRISSETTE F.P.; LUCAS-PICHER, P.; CAYA D. (2017). Impacts of weighting climate models for hydro-meteorological climate change studies. *Journal of Hydrology* 549, pp. 534–546.

BLÖSCHL, G.; SIVAPALAN, M. (1995). Scale issues in hydrological modelling: A review. *Hydrological Processes* 9, pp. 251–290.

BORGES, P.D.A.; BARFUS, K.; WEISS, H.; BERNHOFER, C. (2017). Extended predictor screening, application and added value of statistical downscaling of a CMIP5 ensemble for single-site projections in Distrito Federal, Brazil. *International Journal of Climatology* 37, pp. 46–65.

BRIGHENTI, T.M.; BONUMA, N.B.; CHAFFE, P.L.B. (2016). Calibração hierárquica do modelo swat em uma bacia hidrográfica Catarinense. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 21(1), pp. 53–64.

DAMS, J.; NOSSENT, J.; SENBETA, T. B.; WILLEMS, P.; BATELAAN, O. (2015). Multi-model approach to assess the impact of climate change on runoff. *Journal of Hydrology* 529, pp. 1601–1616.

HEWITSON, B.; JANETOS, A.C.; CARTER, T.R.; GIORGI, F.; JONES, R.G.; KWON, W.-T.; MEARNS, L.O.; SCHIPPER, E.L.F.; VAN AALST, M. (2014). Regional context. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects*. Org. por Barros, V.R.; Field, C.B.; Dokken, D.J.; Mastrandrea, M.D.; Mach, K.J.; Bilir, T.E.; Chatterjee, M.; Ebi, K.L.; Estrada, Y.O.; Genova, R.C.; Girma, B.; Kissel, E.S.; Levy, A.N.; MacCracken, S.; Mastrandrea, P.R.; White, L.L., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, pp. 1133–1197.

MARAUN, D. (2013). Bias Correction, Quantile Mapping, and Downscaling: Revisiting the Inflation Issue. *Journal of Climate* 26, pp. 2137–2143.

MARAUN, D.; WIDMANN, M.; GUTIÉRREZ, J.M.; KOTLARSKI, S.; CHANDLER, R.E.; HERTIG, E.; WIBIG, J.; HUTH, R.; WILCKE, R.A.I. (2015). *VALUE*: A framework to validate downscaling approaches for climate change studies. *Earth's Future* 3, pp. 1–14.

MEAURIO, M.; ZABAleta, A.; BOITHIAS, L.; EPELDE, A. M.; SAUVAGE, S.; SÁNCHEZ-PÉREZ, J.-M.; SRINIVASAN, R. (2017). Assessing the hydrological response from an ensemble of CMIP5 climate projections in the transition zone of the Atlantic region (Bay of Biscay). *Journal of Hydrology* 548, pp. 46–62.

TEBALDI C.; KNUTTI R. (2007). The use of the multi-model ensemble in probabilistic climate projections. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 365(1857), pp. 2053–2075

WILKS, D.S. (2011). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Elsevier/Academic Press, Amsterdam and Boston, MA. 704 p.

WMO (2008). *Guide to Hydrological Practices*. World Meteorological Organization (WMO), Geneva, Switzerland. 117 pp.

ZHANG, X.; XU, Y. P.; FU, G. (2014). Uncertainties in SWAT extreme flow simulation under climate change. *Journal of Hydrology* 515, pp. 205–222