

XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

AVALIAÇÃO DE PREVISÕES QUANTITATIVAS DE PRECIPITAÇÃO EM PRAZO SUB SAZONAL PARA USINAS DO SIN

Erik Quedi^{1,2}; Fernando Mainardi Fan¹; Walter Collischonn¹; Vinícius Alencar Siqueira¹; Cassia Aver³; Camila Freitas³; Reinaldo Silveira⁴;

RESUMO

Previsões de chuva e/ou vazão em localidades de interesse podem apoiar a operação de sistemas que utilizam recursos hídricos, no gerenciamento e mitigação de impactos associados, bem como permitem a antecipação de períodos de seca e eventos de cheias. A estimativa futura realizada até 7 semanas a frente é classificada como previsão sub sazonal, em que esforços recentes da comunidade de previsão motivam aplicações científicas e operacionais. No contexto brasileiro, a geração de energia hidroelétrica corresponde a mais de 50% da produção total de energia e beneficia-se de previsões hidrológicas em sua operação em múltiplas escalas temporais. Neste sentido, este estudo apresenta resultados parciais de avaliação de previsões quantitativas de precipitação, obtidos no contexto do projeto “PD-06491-0503/2018 - Título: Previsão Hidroclimática com Abrangência no Sistema Interligado Nacional de Energia Elétrica”, para avaliação e utilização de previsões quantitativa de precipitação na estimativa de aflúências em usinas do Sistema Interligado Nacional (SIN).

Palavras-Chave – previsão sub sazonal; previsão de precipitação; SIN

INTRODUÇÃO

A previsão hidroclimática consiste na estimativa futura de variáveis, como chuva e vazão, em um determinado local com uma antecedência temporal definida. Estas previsões, quando aplicadas operacionalmente em sistemas potencializam o gerenciamento de recursos e auxiliam na mitigação de impactos associados, a partir da antecipação de eventos hidrológicos – como períodos de secas e cheias.

Sob a ótica de geração de energia, o setor hidroelétrico possui grande dependência de previsões — em múltiplas escalas temporais — para planejar e coordenar a operação de reservatórios, especialmente aqueles vinculados às usinas do Sistema Interligado Nacional (SIN). No Brasil, a

¹ Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, 90050-260, RS, Brazil.

² RHAMA Consultoria, Pesquisa e Treinamento, Av. Cristovão Colombo, 3084, Porto Alegre, 90560-002, RS, Brazil.

³ Companhia Paranaense de Energia – COPEL, Rua Coronel Dulcídio, 800, Curitiba, 80420-170, PR, Brazil.

⁴ Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná – SIMEPAR, Centro Politécnico da UFPR, 19100, Curitiba, 81531-980, PR, Brazil.

parcela de representação na geração de energia elétrica, proveniente de empreendimentos desta natureza representa de 60% a 70% (EPE, 2019).

As previsões podem ser classificadas de acordo com a antecedência temporal máxima (ou horizonte) para a qual são realizadas, e discrimina-se de curto à médio prazo (poucas horas até duas semanas), sub sazonal (até 7 semanas) e sazonais (até 7–9 meses).

Ao longo da última década muitos esforços vêm sendo realizados para viabilizar e potencializar a utilização das previsões com horizonte sub sazonal que são geradas por modelos atmosféricos (dinâmicos) (Vitart et al., 2018). A previsão meteorológica (e consequentemente a hidrológica) neste prazo de antecedência é especialmente desafiadora e no passado já foi considerada impraticável – uma vez que a antecedência se situa entre a previsão do tempo (curto à médio prazo) e do clima (sazonal) (White et al., 2017).

Neste contexto, o projeto “PD-06491-0503/2018 - Título: Previsão Hidroclimática com Abrangência no Sistema Interligado Nacional de Energia Elétrica” vem sendo desenvolvido em colaboração com as instituições Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR) e consultoria RHAMA para COPEL Geração e Transmissão S.A. (COPEL GeT), e apoio do IPH/UFRGS. O objetivo central é investigar o uso de previsões de precipitação em múltiplos horizontes de previsão para geração de aflúências futuras em reservatórios do SIN, a partir de um modelo hidrológico-hidrodinâmico em escala continental. Neste estudo, apresentamos resultados de pesquisas em andamento que incluem análises e avaliações de previsão de precipitação oriunda do European Centre for Medium Range Forecast (ECMWF) em horizonte sub sazonal em localidades selecionadas.

METODOLOGIA

A análise estatística das previsões sub sazonais de precipitação possui como premissa a utilização futura em um modelo hidrológico-hidrodinâmico, constituindo um sistema de previsão hidrológico (H-EPS; Cloke e Pappenberger, 2009), e, portanto, se realizou um fluxo de processamento objetivando esta aplicação. A sequência de atividades, detalhadas a seguir, contempla a interpolação da chuva observada e prevista (modelo meteorológico), correção de viés das previsões de precipitação e cálculo de métricas estatísticas.

O modelo a ser utilizado será o MGB em sua versão discretizada para América do Sul (MGB-AS; Siqueira et al. 2018). O modelo é do tipo conceitual semi distribuído, no qual a área da região de simulação é discretizada em unidades menores, denominadas minibacias, que são delimitadas de acordo com a topografia e conectadas entre si por canais de drenagem. Nesta versão do modelo o domínio de simulação (i.e. Continente Sul-Americano) foi segmentado em 33.479 minibacias e trechos de rio com comprimento fixo de 15 km. Esta versão do modelo foi calibrada com dados de precipitação do *Multi-Source Weighted Ensemble Precipitation* (MSWEP) v.1.1 (Beck et al., 2017).

A etapa de interpolação da precipitação tanto observada quanto prevista é executada na grade original da base de chuva para os centroides das minibacias do modelo hidrológico usando uma abordagem do inverso da distância.

O conjunto de dados utilizados como precipitação observada é um produto combinado, que consiste na integração de i) dados diários da base global– MSWEP v.1.1 até o ano de 2014, e ii) dados diários da missão Global Precipitation Measurement – GPM (Skofronick-Jackson et al., 2017) a partir de 2015 até os dias atuais. Sobre os dados do GPM foi aplicado uma correção de viés em relação aos dados do MSWEP através de um método do tipo quantil-quantil (Fan et al. 2014) paramétrico, utilizando uma distribuição gama, com período de ajuste comum entre as bases (2000–2014). Assim,

foi obtido um novo conjunto de dados (GPM corrigido com MSWEP) que possui propriedades estatísticas (vieses) ajustados à primeira base de dados ao longo de todo o período.

A base de dados de previsões meteorológicas foi obtida da base subseasonal – to – seasonal (S2S) disponibilizados em <https://apps.ecmwf.int/datasets/>. Desde 2015 o projeto Subseasonal-to-Seasonal (S2S), iniciativa das entidades WWRP/THORPEX-WCRP, mantém uma base de dados de previsões meteorológicas, feitas em escala sub sazonal, que fomenta pesquisas e aplicações neste horizonte (Vitart et al., 2018). Este projeto chegou ao fim da fase I em 2018 e apresentou nova agenda de pesquisa para os próximos cinco anos, dando início a fase II em novembro de 2018 até dezembro de 2023 (WMO, 2018).

Estão sendo usadas as previsões do modelo oriundo do European Centre for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF), reconhecidamente produtora de previsões de alta qualidade. As previsões meteorológicas deste centro são frequentemente exploradas em estudos no contexto de grandes bacias brasileiras. No estudo de Fan et al. (2015), por exemplo, foram utilizadas previsões do ECMWF de curto-médio prazo (15 dias), as quais demonstraram bom desempenho como forçante do modelo hidrológico MGB-IPH para as bacias do Tocantins, Doce e São Francisco. Também Quedi e Fan (2020), demonstraram a qualidade das previsões sub sazonais do ECMWF na bacia do Paraná, considerando os diferentes regimes hidrológicos que ocorrem nesta região.

O modelo meteorológico ECMWF, em sua última versão, é um Modelo Acoplado de Circulação Geral, que integra 51 membros no conjunto, sendo um a partir de condições iniciais não perturbadas (membro de controle ou referência determinística). São emitidas previsões em tempo real duas vezes por semana (segundas e quintas, UTC 00), com prazo de antecedência máximo de 46 dias. Além disso, este modelo produz um conjunto de 11 membros de previsão histórica (re-forecast ou hindcast), com mesmo horizonte de previsão mas cobrindo os últimos 20 anos para o mesmo dia e mês do calendário da previsão emitida em tempo real ('on the fly', por exemplo, um conjunto re-forecast consiste em 20 anos e 11 membros, resultando em um conjunto de 220 cenários climáticos), as quais são utilizadas para calibrar as previsões em tempo atual, ou seja, correção de erros sistemáticos (ECMWF, 2017).

Os dados são disponibilizados em formato escala global, com tamanho de grade variável (originalmente armazenadas com 1.5 x 1.5 graus decimais e interpolada), no formato NetCDF (Common Data Form). Neste estudo serão utilizadas as previsões dos totais diários e adquiridos com reamostragem para uma grade de 0.5°.

Para a análise da qualidade e valor das previsões hidrológicas serão utilizadas as previsões disponíveis desde 14-05-2015 até 01-02-2020. Para a remoção de viés foi utilizado o conjunto re-forecast associado a cada previsão, que cobre o mesmo período (dia e mês) da previsão em análise, para 20 anos ao passado e conjunto de 11 membros, totalizando um conjunto de 220 cenários climáticos. Para tanto, foi aplicado o método quantil-quantil paramétrico com distribuição gama anteriormente utilizado para corrigir os dados do GPM.

Para fins de análise de resultados de chuva, estes foram gerados para as bacias hidrográficas de 15 bacias (UHÉs) representativas, mostrados na Figura 1. Os pontos de escolhidos foram as Usinas Hidrolétricas de Itá, Segredo, Capivara, Promissão, Furnas, Itumbiara, Funil, Três Marias, Serra da Mesa, Boa Esperança, Colíder, Balbina, Manso, Incremental Itaipu e Incremental Sobradinho. A área incremental de Itaipu considerada foi a região situada entre esta última usina e a área a jusante dos

reservatórios de Capivara, Promissão, Furnas e Itumbiara. No caso da incremental de Sobradinho, considerou-se a região entre esta última usina e a área a jusante do reservatório de Três Marias.



Figura 1. Localidades escolhidas para análise estatística.

Os indicadores de análise de desempenho da previsão de chuva foram a correlação, o erro médio (em mm) e o erro médio percentual absoluto. Na análise das previsões foi calculada uma média da precipitação dos membros do conjunto em cada minibacia do modelo hidrológico (MGB-AS) e uma média para a área de drenagem a montante de cada usina hidrelétrica do SIN, consistindo de uma ponderação do volume de chuva por área individual das minibacias utilizadas no cálculo. Este cálculo foi realizado para cada uma das antecedências ao longo do horizonte de previsão de prazo sub sazonal. O mesmo procedimento de média por área foi aplicado para a precipitação observada, para compatibilização das informações.

Tanto as previsões quanto as observações foram acumuladas de 7 em 7 dias ao longo do horizonte de previsão, até a antecedência de 42 dias (5 semanas). Assim, as antecedências foram categorizadas em 5 intervalos de análise (1-7, 8-14, 9-21, 22-28, 29-35 e 36-42).

A verificação dos resultados em função da sazonalidade, se realizou gráficos por estação do ano, sendo os meses de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) o Verão, março, abril e maio (MAM) o

Outono, junho, julho e agosto (JJA) o Inverno, e setembro, outubro e novembro (SON) a Primavera. Os resultados apresentados referem-se à média dos membros do conjunto.

Para fins de demonstração, serão dispostos apenas os resultados de viés das previsões brutas nas 15 localidades e a análise de precipitação sem correção e corrigidas, acumulada nos intervalos de análise, para uma localidade (Incremental Itaipu).

RESULTADOS

A Figura 2 apresenta o erro médio entre as previsões sub sazonais do ECMWF e a chuva estimada pelo GPM/MSWEP para as usinas selecionadas do SIN. Este erro médio é calculado referente ao acumulo de precipitação a cada período de análise (7 dias). Em geral, não foi possível observar um padrão claro do viés ao longo das antecedências, todavia, pode-se considerar o comportamento do erro em relação ao longo das estações do ano, conforme seguem as análises.

Na análise dos totais anuais (ANO) se observa os erros médios mais intermediários em todas as localidades e antecedência. Isto se deve ao fato de que nos meses onde houve superestimativas de chuva (viés positivo) podem ter compensado as subestimativas (viés negativo).

No período DJF foi onde grande parte das localidades apresentaram os maiores vieses positivos desde o primeiro período de análise: Itá (10 mm); Segredo (10 mm); Capivara (15 mm); Promissão (20 mm); Furnas (10 mm); Itumbiara (8 mm); Incremental Itaipu (10 mm); Funil (15 mm); Três Marias (10 mm); Incremental Sobradinho (4 mm); Serra da Mesa (15 mm); Boa Esperança (4 mm) e Manso (10 mm). Exceto as usinas de Colíder, em que apresentou viés negativo neste período de análise (-6 mm) e Balbina, onde após a terceira semana, o período DJF apresentou a maior magnitude de viés (10 mm).

No trimestre MAM, em geral, mostrou viés intermediário ou o menor viés e com tendência a diminuição deste (menor quantidade de chuva na previsão), em quase todas as localidades e antecedências. Com exceção a Colíder onde mostrou uma ligeira tendência ao acréscimo de viés ao longo do horizonte de previsão; e em Balbina, onde até o terceiro período de análise se obteve o maior viés positivo.

Nos meses de inverno (JJA), a análise é similar ao trimestre MAM, na qual se obteve erros médios intermediários ou os menores em magnitude, de acordo com a localidade e período de análise. Todavia, destaca-se uma ligeira tendência ao acréscimo do viés (excesso de chuva na previsão) ao longo do horizonte, em todas as localidades. Também se destaca a localidade de Colíder, em que neste período obteve o maior viés (negativo e próximo de zero), desde o primeiro dia de antecedência.

Para os meses do período SON a análise dos gráficos mostra que este período obteve vieses intermediários, com comportamento similar aos meses DJF nos horizontes finais da previsão, em

praticamente todas as localidades e antecedências (exceto em Boa Esperança, onde obteve os vieses mais negativos até o quarto período de análise).

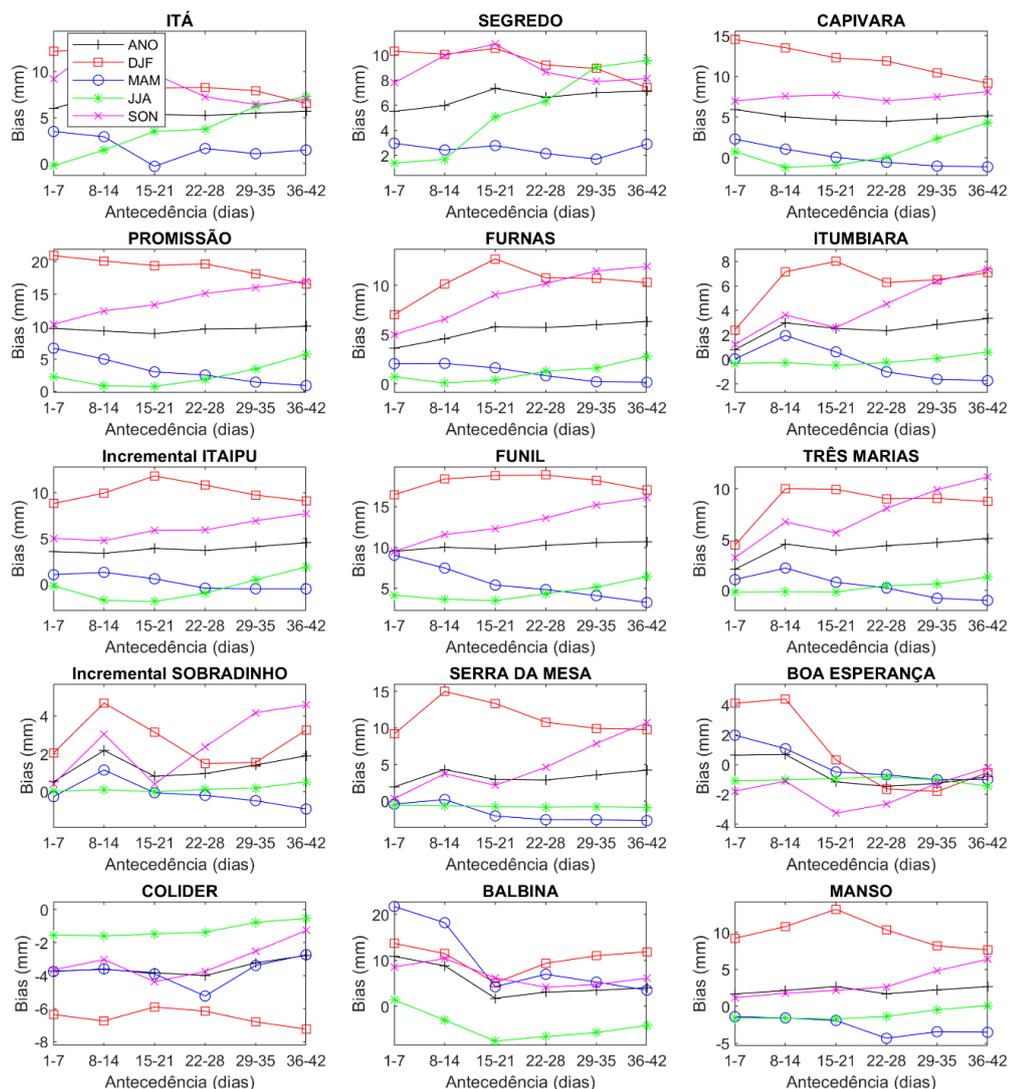


Figura 2. Erro médio entre a previsão bruta do ECMWF e GPM/MSWEP, considerando chuva acumulada de 7 dias.

A próxima análise apresenta as séries de precipitação observada, prevista bruta e prevista corrigida, para as sete antecedências. Nas figuras a linha preta representa o dado observado (GPM/MSWEP), a linha vermelha a chuva do modelo de previsão bruta (sem correção), e a linha verde a chuva do modelo de previsão com remoção de viés (corrigida).

A comparação da chuva prevista bruta (vermelha) com a chuva prevista corrigida (verde) permite verificar o impacto da correção de viés nos resultados. Já a comparação da chuva observada (GPM/MSWEP – linha preta) com as chuvas previstas permite visualizar os erros das chuvas previstas.

Analisando os gráficos visualmente pode-se dizer que, de maneira geral, a previsão de chuva apresenta maior semelhança com a precipitação observada no período de análise. As demais

antecedências apresentam comportamento semelhante, e de habilidade de previsão inferior à primeira antecedência.

Na análise demonstrada na Figura 3, que exemplifica para uma localidade (Incremental Itaipu), observa-se que em geral, a previsão de chuva tende a superestimar a precipitação em períodos chuvosos e subestimar em períodos de estiagem. Dessa forma, a correção de viés agiu no sentido de diminuir os valores previstos de precipitação na época chuvosa e aumentar o valor da chuva na época de estiagem. Ainda, nas séries também se nota que as precipitações apresentam sazonalidade expressiva na maioria das regiões analisadas, alternando estações chuvosas e de estiagem, com exceção da UHEs localizadas na região Sul, onde as precipitações são mais bem distribuídas ao longo do ano.

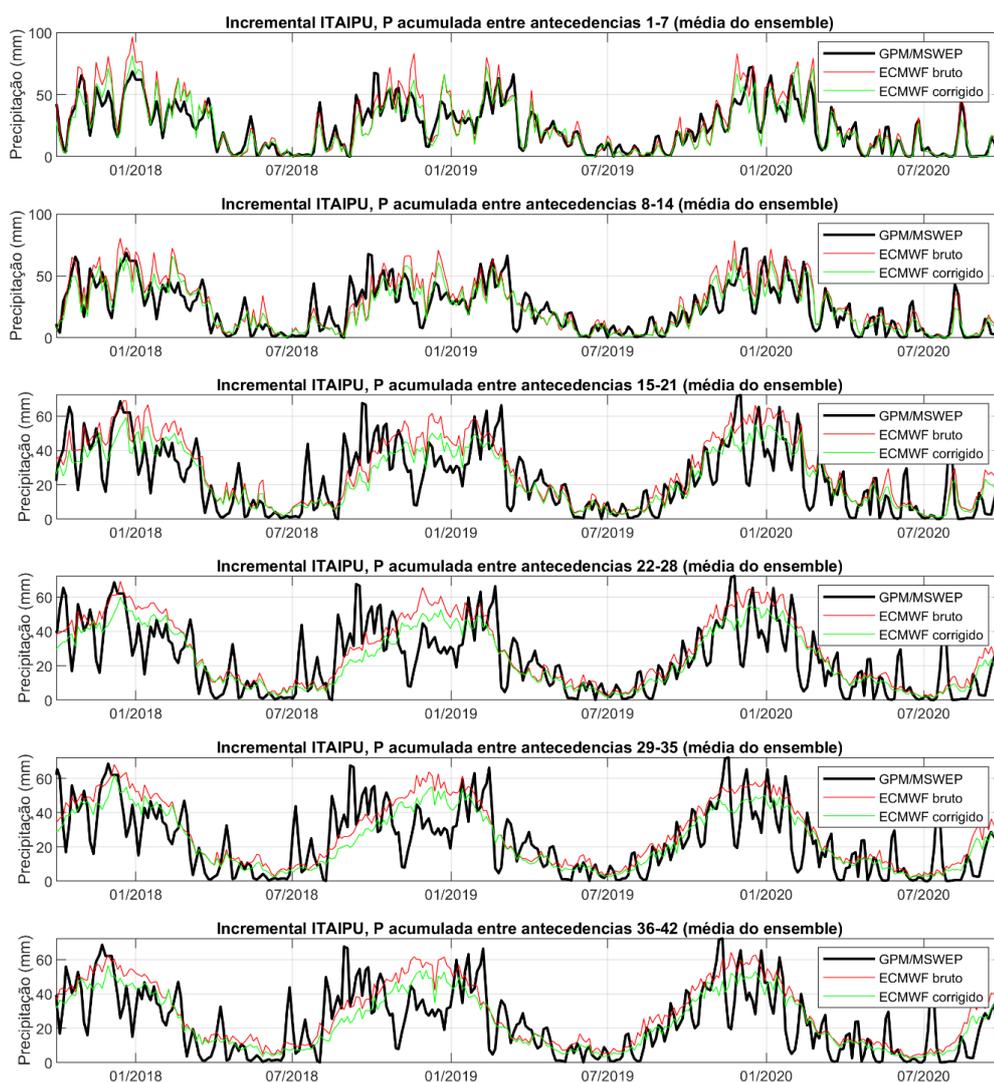


Figura 3. Séries temporais de chuva prevista e observada (GPM/MSWEP) acumulada de 7 dias, para área de montante do reservatório Incremental Itaipu, no Rio Paraná. A área incremental é compreendida entre os reservatórios de Itaipu (a jusante) e de Capivara, Promissão, Furnas e Itumbiara (a montante). Os gráficos representam a média do conjunto para o ECMWF bruto e corrigido, nas antecedências de 1-7, 8-14, 15-21, 22-28, 29-35 e 36-42 dias à frente.

Por meio dos experimentos realizados e apresentados neste estudo, pode-se avaliar a utilização de previsões sub sazonais quantitativas de precipitação, sem correção de viés e corrigidas, em diferentes localidades de interesse ao SIN e ao longo das estações do ano.

Neste trabalho foi utilizada uma agregação espacial (por bacia) para as estimativas de viés. Embora atualmente esta prática não seja aplicada nos procedimentos do ONS e setor elétrico, esta metodologia permite a estimativa de valores espaciais representativos das grandes bacias de contribuição às localidades, em oposição a valores pontuais tipicamente aplicados.

As previsões sub sazonais do ECMWF apresentaram viés úmido (positivo) em quase todas as localidades ao longo das estações do ano. Este erro sistemático é mais expressivo nos meses de verão (DJF).

Na análise de séries temporais as previsões mostraram boa concordância com a precipitação observada no primeiro período de análise (1ª semana), onde capturou relativamente bem a ocorrência e não ocorrência de eventos de chuva na escala das bacias analisadas. A partir do segundo período, nota-se um decréscimo na capacidade de concordância entre as precipitações, e uma tendência da previsão bruta a superestimativa da precipitação observada.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho apresenta parte dos resultados obtidos durante a execução do projeto de pesquisa e desenvolvimento PD-06491-0503/2018 - Título: Previsão Hidroclimática com Abrangência no Sistema Interligado Nacional de Energia Elétrica” executado pelo Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR) em conjunto com a Consultoria RHAMA para COPEL Geração e Transmissão S.A. (COPEL GeT) no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor Elétrico regulamentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). O Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) contribui para uma parte do projeto por meio de convênio com a empresa RHAMA (IAP-001313).

REFERÊNCIAS

BECK, H.E., VERGOPOLAN, N., PAN, M., LEVIZZANI, V., VAN DIJK, A.I.J.M., WEEDON, G.P., BROCCA, L., PAPPENBERGER, F., HUFFMAN, G.J., WOOD, E.F., (2017). “*Global-scale evaluation of 22 precipitation datasets using gauge observations and hydrological modeling*”. Hydrol. Earth Syst. Sci. 21, 6201–6217. <https://doi.org/10.5194/hess-21-6201-2017>

ECMWF, (2017). IFS DOCUMENTATION - Cy43r3. PART V: ENSEMBLE PREDICTION SYSTEM.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA., (2013). “*Balanço energético nacional 2013*”, ano base 2018. 31 pg. Disponível em:

https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2019_Web.pdf. Último acesso em 15 de Junho de 2019.

FAN, F.M., SCHWANENBERG, D., COLLISCHONN, W., WEERTS, A., (2015). “*Verification of inflow into hydropower reservoirs using ensemble forecasts of the TIGGE database for large scale basins in Brazil*”. J. Hydrol. Reg. Stud. 4, 196–227. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.05.012>.

FAN, FERNANDO MAINARDI; COLLISCHONN, WALTER; MELLER, ADALBERTO; BOTELHO, LUIZ CÉSAR MENDES, (2014). “*Ensemble streamflow forecasting experiments in a tropical basin: The São Francisco river case study*”. Journal of Hydrology (Amsterdam), v. 519, p. 2906-2919, 2014.

QUEDI, ERIK; MAINARDI FAN, FERNANDO, (2020). “*Sub Seasonal Streamflow Forecast Assessment at Large-Scale Basins*”. JOURNAL OF HYDROLOGY, v. 1, p. 124635, 2020.

SENE, K. (2009). “*Flood Warning, Forecasting and Emergency Response*”. Publisher: Springer, 1 edition (December 17, 2009), 316 pp.

SIQUEIRA, V.A., PAIVA, R.C.D., FLEISCHMANN, A.S., FAN, F.M., RUHOFF, A.L., PONTES, P.R.M., PARIS, A., CALMANT, S., COLLISCHONN, W., (2018). “*Toward continental hydrologic-hydrodynamic modeling in South America*”. Hydrol. Earth Syst. Sci. 22, 4815–4842. <https://doi.org/10.5194/hess-22-4815-2018>.

TUCCI, C. E. M.; COLLISCHONN, W. (2003). “*Previsão de vazão*”. In: Carlos Eduardo Morelli Tucci; Benedito Braga. (Org.). *Clima e recursos hídricos no Brasil*. Porto Alegre: ABRH.

VITART, F., ROBERTSON, A.W., (2018). “*The sub-seasonal to seasonal prediction project (S2S) and the prediction of extreme events*”. npj. Clim. Atmos. Sci. 1, 3. <https://doi.org/10.1038/s41612-018-0013-0>

WHITE, C.J., CARLSEN, H., ROBERTSON, A.W., KLEIN, R.J.T., LAZO, J.K., KUMAR, A., VITART, F., COUGHLAN DE PEREZ, E., RAY, A.J., MURRAY, V., BHARWANI, S., MACLEOD, D., JAMES, R., FLEMING, L., MORSE, A.P., EGGEN, B., GRAHAM, R., KJELLSTRÖM, E., BECKER, E., PEGION, K.V., HOLBROOK, N.J., MCEVOY, D., DEPLEDGE, M., PERKINS-KIRKPATRICK, S., BROWN, T.J., STREET, R., JONES, L., REMENYI, T.A., HODGSON-JOHNSTON, I., BUONTEMPO, C., LAMB, R., MEINKE, H., ARHEIMER, B., ZEBIAK, S.E., (2017). “*Potential applications of subseasonal-to-seasonal (S2S) predictions*”. Meteorol. Appl. 24, 315–325. <https://doi.org/10.1002/met.1654>

WMO, (2011). “*Manual on Flood Forecasting and Warning (WMO-No. 1072)*”. World Meteorological Organization. 142pp.