



**XXIV SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GOP/03

22 a 25 de outubro de 2017  
Curitiba - PR

**GRUPO- IX**

**GRUPO DE ESTUDO DE ESTUDO DE OPERAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS- GOP**

**DETERMINAÇÃO DE PROCEDIMENTO PARA AVALIAR A INCERTEZA NA PREVISÃO DE PRECIPITAÇÃO E VAZÃO AFLUENTE POR SISTEMAS HIDRO-METEOROLÓGICOS PARA AUXÍLIO NA OPERAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS E PLANEJAMENTO HIDRO-ENERGÉTICO**

**Reinaldo B. da Silveira(\*)  
SIMEPAR  
Camila Freitas  
COPEL G&T  
Rafael Toshio Inouye  
SIMEPAR**

**Anderson Nascimento de Araujo  
COPEL G&T  
Rafael Schinoff Mércio Pereira  
COPEL G&T  
Réverton Luis Antunes Neundorf  
SIMEPAR**

**Ângelo Breda  
SIMEPAR  
Leonardo Calvetti  
UFPEL  
José Eduardo Gonçalves  
SIMEPAR**

**RESUMO**

Metodologia para determinar curva operacional de avaliação das simulações hidro-meteorológicas, com base em previsão de chuva, dados de vazões ocorridas e previstas. O procedimento é aplicado à bacia do Rio Iguaçu, no estado do Paraná e os dados de observação correspondem às estações hidro-meteorológicas do Simepar e hidrológicas da COPEL. As previsões de chuva são fornecidas pelo modelo numérico de previsão do tempo COSMO (Alemanha), com espaçamento horizontal de grade de 7km e 2.8km, para o período de 5 dias. Já a previsão de vazão é fornecida pelo Sistema de Previsão Hidrológica do Simepar, SISPSHI.

**PALAVRAS-CHAVE**

Previsão-de-chuva, Vazão-afluente, COSMO, Verificação, ROC

**1.0 - INTRODUÇÃO**

A operação hidráulica de reservatórios depende da informação de previsão da vazão afluente, que por sua vez depende do acumulado de precipitação a montante dos reservatórios. A expectativa por um dado valor de vazão acarreta várias decisões no planejamento hidro-energético, tanto na geração de energia como no controle de cheias. Em geral, esta expectativa é fornecida por um modelo hidrológico de simulação da vazão afluente, cujas entradas são as precipitações observadas da rede telemétrica, ou previstas com modelos numéricos de previsão do tempo. Embora, na situação mais segura, o resultado do modelo numérico de tempo sofra verificação diária, contra os valores observados nas estações hidro-meteorológicas, este processo requer uma medida objetiva para determinar o nível de confiança no valor daquela informação para o planejamento hidro-energético. Neste contexto, o trabalho, realizado conjuntamente pelo SIMEPAR e COPEL-GeT, através do PD ANEEL 6491-0333-2013, apresenta uma metodologia para determinar uma curva operacional de avaliação das simulações hidro-meteorológicas, com base em dados históricos de vazões ocorridas e previstas, bem como observações e previsões de acumulados de precipitação. O objetivo é auxiliar o planejamento e operação hidráulica na escolha por um cenário de previsão mais adequado nas situações de acumulados de chuva e, conseqüentemente vazões, significativos. A metodologia foi testada em vários eventos de cheia na bacia do Alto Iguaçu, no Paraná, ocorridos entre 2013 a 2016. Em particular, serão apresentados resultados para o episódio de cheia em União da Vitória, no período de 6 a 8 de junho de 2014, durante o qual houve excesso de chuva e a vazão em União da Vitória atingiu valores muito acima da média histórica (1).

(\*) Endereço Autor Responsável, Sistema Meteorológico do Paraná, SIMEPAR, Centro Politécnico da UFPR S/N, Jardim das Américas, CEP 81530-980, Curitiba, PR, Brasil  
Tel: (+55 41) 3320-2013 – Email: reinaldo.silveira@simepar.br

## 2.0 - MÉTODOS E DADOS

### 2.1 Previsão Hidrológica

O Sistema de Previsão e Simulação Hidrológica, SISPSHI, do Simepar, compreende um processo semi-distribuído, tendo por base o modelo Sacramento (2) e adaptações locais, realizadas para resolver a propagação da água através de canais de grandes bacias. Este tipo de abordagem é conhecida por 3R, sigla para a expressão em inglês **R**ainfall **R**unoff e **R**outing (3). No SIMEPAR, o processo compreende as seguintes tarefas (4):

- a) coleta e controle de qualidade dos dados de chuva;
- b) composição de séries temporais de chuva e cálculo da chuva média nas bacias;
- c) acoplamento com o modelo numérico de previsão do tempo;
- d) cálculo da chuva prevista na bacia e
- e) Realiza a simulação hidrológica e a previsão de vazão afluente nos reservatórios.

O sistema de previsão hidrológica é alimentado com dados da rede de estações hidrológicas e meteorológicas localizadas dentro ou próximas à bacia do rio Iguaçu. No total são 27 estações hidrológicas na bacia do Iguaçu, as quais provêm dados de cota fluviométrica e de chuva, e outras 19 estações meteorológicas que complementam a rede pluviométrica da região. Para a área de estudo, que compreende a porção da bacia do rio Iguaçu que contribui para o reservatório da UHE Foz do Areia, são empregados 26 postos para monitoramento pluviométrico, 15 para monitoramento limnimétrico sendo 13 de cota de seções de rios e 2 para o nível do reservatório. Os dados de observação correspondem ao período de 2013 a 2016 e foram coletados nos pontos indicados na Figura 1, na qual indica-se as localizações das estações meteorológicas do Simepar e hidrológicas da COPEL.

As vazões são obtidas através da transformação dos dados de cota empregando curvas-chaves nos postos hidrológicos. Especialmente para os postos União da Vitória e Santa Cruz do Timbó é preciso computar o efeito de remanso nestas transformadas. Para o cálculo da chuva média em cada sub-bacia, todos os pluviômetros em um raio de até 50 km dos limites da sub-bacia são utilizados na contabilidade. Os dados, coletados a cada 15 minutos, são acumulados em volumes horários e a ponderação entre estes registros é feito pelo quadrado da distância entre os postos e o ponto central da sub-bacia.

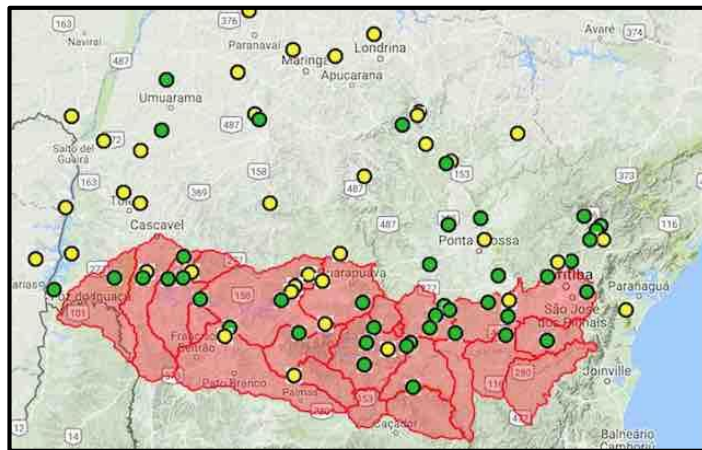


FIGURA 1 – Bacia do rio Iguaçu e localização dos postos de monitoramento automático, incluindo estações meteorológicas automáticas do Simepar e estações hidrológicas da COPEL.

### 2.2 Previsão Numérica do Tempo

Neste trabalho, o modelo atmosférico não hidrostático COSMO (5), resultado de um consórcio europeu para modelagem numérica da atmosfera, foi calibrado para simulações com alta resolução espacial em regiões com as sub-bacias em foco. Este modelo permite a simulação de processos atmosféricos com escala temporal de algumas horas a dias e abrangência espacial de metros a centenas de quilômetros, além de ser aplicado tanto para previsão numérica do tempo como simulações climáticas. Em particular, o COSMO foi utilizado com uma grade com espaçamento horizontal 7km sobre o Centro-Sul do Brasil e 2.8km sobre a região Sul do Brasil. Por outro lado, como o COSMO é um modelo de área limitada (regional), necessita de dados nas fronteiras laterais, provenientes de um modelo atmosférico de escala global. Foram então utilizadas fronteiras de dois modelos globais, fornecidos pelo Serviço Meteorológico Alemão (DWD): GME e ICON. O primeiro é um modelo global hidrostático, com espaçamento horizontal de grade médio de 20km e 90 níveis na escala vertical. Embora seja um modelo de grade, o GME foi planejado de modo a resolver o problema de singularidade nos polos, comum em modelos de grade regular latitude-longitude. No GME, as variáveis atmosféricas são resolvidas nos vértices de uma grade icosaédrica-hexagonal, conforme descrito por (6). Por outro lado, no modelo global ICON, sigla para a expressão em inglês **I**cosahedrical **N**on-hydrostatic model, a grade é similar à do GME, mas o modelo é não hidrostático. Assim, ao resolver a equação do movimento da atmosfera não hidrostática, a circulação pode ser simulada com maior resolução do que no caso do GME, com a possibilidade de simular por exemplo, forte fluxo vertical dos ventos em nuvens convectivas (7).

### 2.3 Processo de verificação e determinação da curva de avaliação da chuva prevista com modelo numérico

A verificação dos prognósticos de chuva e vazão foi realizada através do cálculo de índices de verificação, conforme descritos em (8). Estes índices incluem o erro absoluto (EABS); viés (V); raiz do erro quadrático médio (RMSE); análise não paramétrica das distribuições previstas, comparadas às distribuições observadas; proporção de eventos classificados corretamente (PC); taxa de acerto (HR) e taxa de falso alarme (FAR).

O EABS é a medida pontual do erro na comparação da previsão de chuva ( $p$ ) do modelo numérico e o valor observado ( $o$ ) na estação telemétrica, tal que

$$EABS = (p_i - o_i) \quad [\text{mm/h}] \quad (1)$$

O viés  $V$  contabiliza a correspondência entre a previsão ( $p$ ) e observação ( $o$ ), tal que

$$V = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (p_i - o_i) \quad [\text{mm/h}] \quad (2)$$

RMSE representa o desvio padrão amostral das diferenças entre o valores previstos e observados, sendo computado por

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2} \quad [\text{mm/h}] \quad (3)$$

#### 2.3.1 Curva de característica de operação (ROC)

Em adição aos índices estatísticos anteriormente mencionados, uma medida de destreza dos modelos numéricos quanto à previsão do acumulado horário de chuva foi obtida com a determinação da *Curva de Característica de Operação*, termo para a sigla em inglês ROC, de *Relative operating Characteristics*. Conforme descrito por (8), a curva ROC é uma medida conjunta da **sensibilidade**(S), quando o modelo previu corretamente um acumulado de chuva observado, produzindo uma *verdade positiva* (VP), e da **especificidade**(E), quando o modelo não previu chuva e de fato não ocorreu, produzindo uma *verdade negativa* (VN), conforme ilustrado na Tabela 1, de contingência dos possíveis resultados para o evento chuva/não chuva.

Tabela 1 – tabela de contingência com os possíveis resultados para um evento chuva/não chuva

PREVISTO	OBSERVADO		TOTAL
	SIM	NAO	
SIM	a (VP)	b (FP)	(a + b)
NAO	c (FN)	d (VN)	(c + d)
TOTAL	(a + c)	(b + d)	(a + b + c + d) = n

As células na Tabela 1, referem-se à avaliação de cada par (previsão, observação), onde SIM e NÃO referem-se a limiares de acumulados de chuva, por exemplo acumulado diário de chuva acima de 60 mm. Além de VP e VN, já mencionados, existem as possibilidades do *falso positivo* (FP), quando o modelo previu chuva e o evento não foi observado e o *falso negativo* (FN), quando o modelo não previu chuva e o evento foi observado. Procedem-se então com a determinação da destreza do modelo numérico em prever chuva, computando-se as quantidades a,b,c,d e n da Tabela 1 e, consequentemente, S e E. Vale observar que as medidas S e E são independentes entre si, dado que não são calculadas sobre os mesmos eventos, de maneira que

$$S = \frac{VP}{(VP+VN)} = \frac{a}{(a+c)} \quad (4)$$

$$E = \frac{VN}{(FP+VN)} = \frac{d}{(b+d)} \quad (5)$$

Uma medida utilizada para sintetizar a acurácia da previsão, dadas as quantidades descritas nas equações (4) e (5) e na Tabela 1, é a *taxa de classificação errônea* (CE), que é a proporção de todos os eventos classificados erroneamente dada por

$$CE = \frac{(FP+FN)}{(VP+FN+FP+VN)} \quad (6)$$

Por outro lado, a quantidade (1-CE) é chamada *proporção de corretos* (PC), ou *acurácia*. Então

$$PC = \left(1 - \frac{FP+FN}{VP+FN+FP+VN}\right) \quad (7)$$

ou

$$PC = \frac{VP+VN}{VP+FN+FP+VN} = \frac{(a+d)}{n} \quad (8)$$

O uso das quantidades CE e PC pode induzir erros na interpretação dos resultados, dada a contabilização do total em ambas as medidas. Assim, para manter a independência entre eventos verdadeiros e falsos, utilizamos as seguintes taxas

$$\text{Taxa de acerto, HR} = \frac{VP}{(VP+FN)} = \frac{a}{(a+c)}, [0,1] \quad (9)$$

e

$$\text{Taxa de alarme falso, FAR} = \frac{FP}{(FP+VN)} = \frac{b}{(b+d)}, [0,1] \quad (10)$$

As quantidades HR e FAR são então duas medidas independentes e formam a base para a determinação da curva ROC, resultante do gráfico dos pares (FAR,HR), cujos pontos representam, no presente experimento, limiares de acumulados diários de chuva. A Figura 2 é uma ilustração da interpretação da curva ROC. Um sistema conservador de alta segurança, opera com baixa taxa de alarme falso, embora o acerto seja pouco acima da média. Por outro lado, o desafio por uma taxa de acerto maior, pode levar a um aumento da taxa de alarme falso, mas se permanecer ainda aceitável o sistema é considerado estar em uma condição ideal, ou região de conforto. Entre as duas condições, o sistema encontra-se em balanço, ainda que com menor acerto. Um sistema sem destreza permanecerá sobre a diagonal, indentificada por uma linha tracejada na Figura 2. Sistemas com baixa performance ou com performance indesejável manter-se-ão próximo ou abaixo da diagonal.

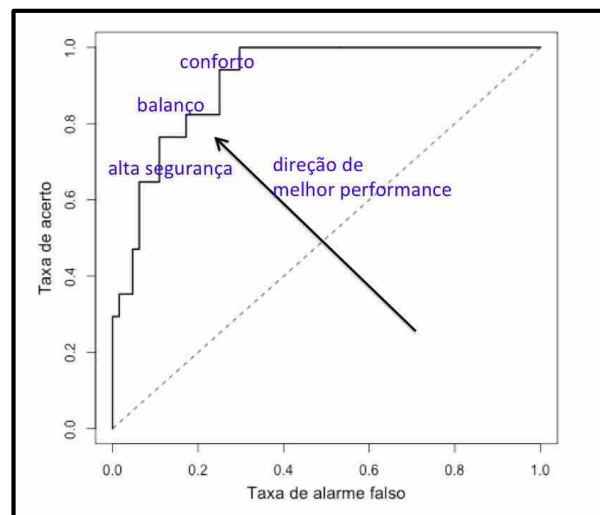


FIGURA 2: interpretação da curva característica de operação, ROC, obtida a partir do gráfico do par (FAR, HR). A reta diagonal tracejada indica um sistema sem

No trabalho, a curva ROC foi obtida para avaliar a precisão e acurácia do modelo COSMO, para eventos com acumulados diários de chuva: (i) até 40mm (L1); até 60mm (L2) e acima de 80mm (L3), considerando-se a ocorrência nas estações telemétricas com as observações de chuva.

Em adição, valores de V e RMSE foram calculados para avaliar a previsão vazão afluente aos reservatórios da COPEL no rio Iguaçu, tendo como entrada a chuva prevista com os modelos numéricos. A referência é a vazão afluente calculada com séries temporais dos dados de chuva observados nos postos de coleta, para o período da previsão de chuva.

### 3.0 - RESULTADOS

Os resultados restringem-se à verificação da chuva prevista com o modelo numérico COSMO e sua utilização no sistema de previsão de vazão afluente, SISPSHI. O período de avaliação compreende os anos de 2014 e 2015,

durante os quais vários eventos de chuva muito forte ocorreram na região Sul do Brasil. Em particular, no período de 6 a 8 de junho de 2014, registrou-se uma cheia expressiva no rio Iguaçu, causando vários prejuízos materiais e inundações no município de União da Vitória.

Tais eventos de chuvas intensas, nos anos de 2014 e 2015, estão associados às condições anômalas do evento de El Niño, com expressiva manifestação sobre o Pacífico e indiretamente sobre as regiões Sul e Sudeste do Brasil. O fenômeno atingiu o ápice em 2015, sendo registrado como o mais intenso desde 1997.

Enquanto uma seca expressiva ocorreu nas regiões Nordeste e Sudeste do Brasil, nos anos 2014 e 2015, a região Sul sofreu com vários eventos de chuvas intensas e inundações associadas a cheias de rio. Entre os dias 6 e 8 de junho de 2014, choveu um total de 550 mm, em União da Vitória e Foz do Areia, na bacia do rio Iguaçu, o que levou à cheia na região, sendo considerada a terceira maior cheia do histórico, com valores de vazão da ordem de 3500m<sup>3</sup>/s (2000m<sup>3</sup>/s acima da cota de desapropriação do reservatório), tendo a altura do rio na régua em União da Vitória, atingido 8,01m (5,37m acima do valor médio histórico).

### 3.1 Verificação do desempenho do modelo COSMO para previsão de chuva e vazão afluente

O modelo numérico COSMO foi utilizado para previsão da chuva, com duas versões de fronteiras laterais (GME e ICON) e para os domínios anteriormente mencionados, com malha de 7km (Centro Sul do Brasil) e 2.8km (Paraná), respectivamente, 60 níveis na escala vertical e passo de tempo de 60s. Infelizmente, não foi possível obter os dados de fronteira para os dois períodos utilizados neste trabalho, dado que o GME foi descontinuado em 2015 e o ICON ainda não era operacional em 2014. Assim, no ano de 2014 utilizou-se a fronteira do modelo global GME, hidrostático com espaçamento horizontal médio de 20km e no ano de 2015, utilizou-se a fronteira do modelo global ICON, não hidrostático, com espaçamento horizontal de grade médio de 13km. Por outro lado o sistema SISPSHI foi utilizado para previsão de vazão afluente a dois reservatórios da COPEL: (i) na usina hidrelétrica Governador Bento Munhoz da Rocha (Foz do Areia) e (ii) na cidade de União da Vitória, como ilustradas na Figura 3.



FIGURA 3 – UHE Governador Bento Munhoz da Rocha (Foz do Areia) e reservatório em União da Vitória, na bacia do rio Iguaçu, nos quais foram a previsão de chuva e vazão foram verificadas. Fonte: copel.com

O SISPSHI foi executado de maneira a produzir a vazão para o período de 120 horas e a previsão foi então verificada contra vazão observada, calculada por um modelo de referência com base nas séries temporais de observação dos acumulados de chuva. Os gráficos na Figura 4 referem-se à comparação por quantil das distribuições não paramétricas das vazões prevista e observada, para o reservatório em União da Vitória (à esquerda) e na UHE Foz do Areia (à direita), na bacia do Iguaçu. Cada gráfico contém quatro curvas, relativas ao período de 2014 (cheia contínua e grossa), 2015 (cheia contínua e fina), respectivamente e suas respectivas referências (linha tracejada grossa para 2014 e fina para 2015).

Observa-se do resultado para União da Vitória que a destreza do SISPSHI diminuiu com o aumento da vazão. Em particular, a concordância com a referência diminuiu a partir de 2000 m<sup>3</sup>/s. Observa-se ainda um desempenho melhor do sistema para o ano de 2015, quando comparado a 2014. Embora avaliar as causas para tal melhoria não seja objeto deste estudo, especula-se que uma possível causa está relacionada a alteração na previsão de chuva, devido à substituição da fronteira do modelo GME por um modelo mais sofisticado, de maior resolução e não hidrostático, o ICON. Os resultados para Foz do Areia, seguem padrão similar, com a ressalva de um desempenho inferior para o SISPSHI nesta sub-bacia, principalmente devido às características do reservatório, cuja investigação, no momento, também está fora do escopo deste trabalho.



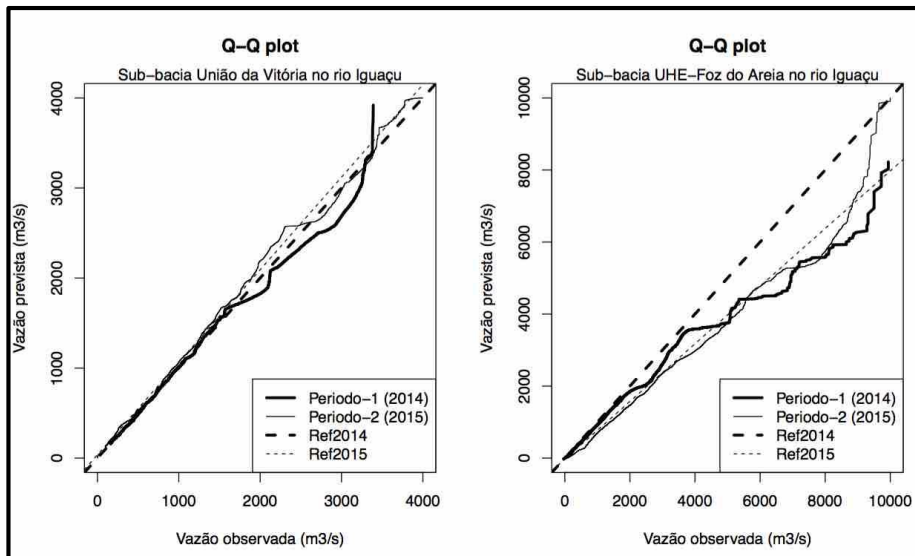


FIGURA 4 – Exame da distribuição dos valores de vazão afluente aos reservatórios em União da Vitória (à esquerda) e Foz do Areia (à direita).

O SISPSHI foi também verificado quanto à previsão da vazão em períodos de 5 dias, para previsões nos anos de 2014 e 2015, tomando-se como entrada as previsões de chuva do modelo COSMO e o modelo de referência com base nas séries de chuva observada. Os gráficos na Figura 5 referem-se ao viés para os dois reservatórios, em União da Vitória e na UHE Foz do Areia. Enquanto não se objetiva comparar os resultados entre os dois reservatórios, devido às suas particularidades, observa-se que o desempenho do sistema diminui a partir do segundo dia de previsão. No entanto, tal como no exame anterior, no ano de 2015 o desempenho foi superior a 2014, para ambas as sub-bacias, efeito possivelmente devido à melhoria da previsão de chuva, em resposta à alteração na fronteira proveniente do modelo atmosférico global. Contudo, é importante mencionar que os modelos numéricos tiveram um desempenho menor em 2014 devido às características das precipitações no período. O ano ficou marcado por diversos períodos com chuva muito forte, como o período de 6 a 8 de junho de 2014, anteriormente mencionado.

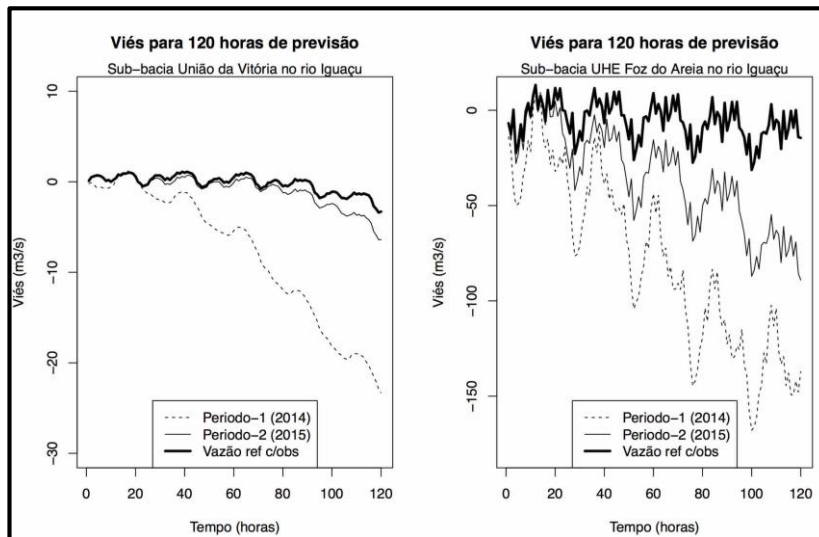


FIGURA 5 – Exame da previsão de vazão para períodos de 120 horas, durante os anos de 2014 e 2015.

### 3.2 Curva operacional do modelo COSMO para previsão de limiares de acumulados de chuva

Curvas ROC foram obtidas para avaliar o desempenho da previsão de chuva realizada com o modelo COSMO, para acumulados diários de chuva acima de 40mm (limiar L1), 60 mm (limiar L2) e 80 mm (limiar L3). Nesta avaliação utilizamos previsões referentes ao domínio maior, com malha da grade com 7km de espaçamento horizontal, o qual cobre as regiões Centro Oeste, Sudeste e Sul do Brasil. Os resultados, apresentados na Figura 6, referem-se aos anos de 2014 e 2015, com uso da fronteira do modelo global GME e ICON, respectivamente. Utilizando como referência a ilustração na Figura 2, nota-se que em 2014 (gráficos à esquerda na Figura 6), o modelo é muito

conservador para previsão de chuvas mais intensas (L3), em especial para a região Sul. No entanto, o modelo aproxima-se da condição de conforto para as três regiões, para acumulados diários de chuva moderados (L1 e L2), exceto para a região Sul, para a qual a previsão para o limiar L1 produziu uma alta taxa de alarme falso. Nos resultados para o ano de 2015, gráficos à direita, as condições são próximas ao ano anterior, mas com substancial melhora para L3, com aumento da taxa de acerto e diminuição da taxa de alarme falso, para as três regiões.

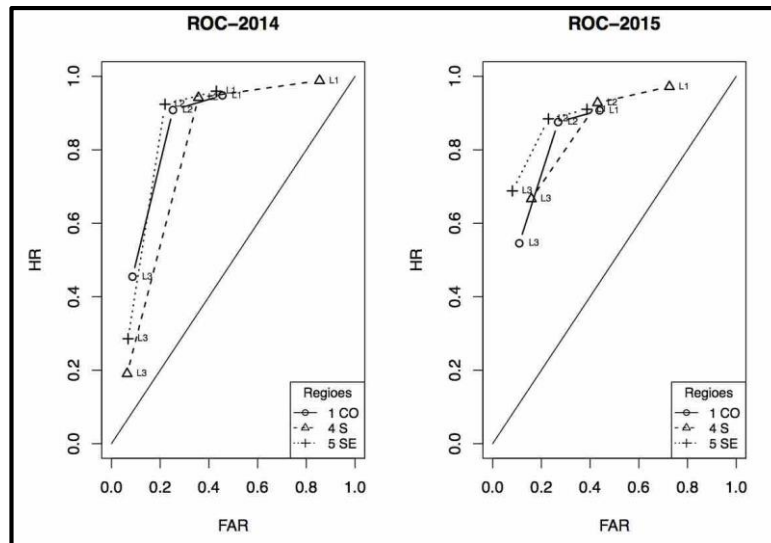


FIGURA 6 – Curvas ROC para três limiares de acumulados diários de chuva,: acima de 40mm (L1); acima de 60mm (L2) acima 80mm (L3), previstos com o modelo COSMO, para as regiões CO, SE e S do Brasil. A reta diagonal ilustra o resultado para um modelo sem destreza.

#### 4.0 - CONCLUSÃO

O modelo COSMO foi avaliado quanto ao uso das previsões de chuva no sistema de previsão hidrológica para a bacia do rio Iguazu SISPSHI do Simepar. Índices estatísticos como erro absoluto; viés; raiz quadrada do erro quadrático médio; comparação das distribuições dos quantis observados e previstos e uma avaliação para limiares de chuva forte foram realizados. Resultados para os anos de 2014 e 2015, anos com forte impacto do fenômeno El Niño na região Sul, foram apresentados. O que se observou destes resultados é que o modelo COSMO e consequentemente o SISPSHI tiveram desempenho pior no ano de 2014 do que no ano seguinte, como indicam os gráficos da comparação entre distribuições da vazão para os reservatórios em União da Vitória e na UHE Foz do Areia, bem como os gráficos para de viés, sendo as diferenças possivelmente associadas a dois fatores - chuvas mais intensas e mais frequentes foram observadas no ano de 2014 e o modelo COSMO teve um aprimoramento no ano de 2015, com alteração nos dados de fronteira do modelo global GME para o modelo ICON. Infelizmente, dada a limitação em obter os dados de ambos modelos globais para os dois períodos, não se pode dissociar tais causas, embora um dos fatores que colaboram para melhoria da previsão regional seja o aprimoramento nas condições de fronteira.

Curvas características de operação, curvas ROC, foram apresentadas para as regiões S, SE e CO do Brasil e para três limiares diários de chuva moderada e forte: acima de 40mm, acima de 60mm e acima de 80mm. A curva sintetiza a avaliação global da acurácia e precisão do modelo numérico. Os resultados indicam que a performance do modelo é inferior para região Sul do Brasil, em relação às demais regiões. Contudo, as curvas estão dentro do esperado para este tipo de operação e são úteis para auxiliar em tomadas de decisão operacional, quando a escolha por determinado processo implica em maximar o acerto, sem aumentar excessivamente o alarme falso. Em outros termos, implica ainda em tomar a decisão para a escolha de um sistema conservador, o qual inibe o alarme falso, ou por um sistema mais flexível em que permite-se o alarme falso, mas aumenta o acerto. Os resultados indicam também que aprimoramentos no modelo têm forte impacto na curva operacional do sistema.

#### AGRADECIMENTOS

Este trabalho apresenta parte dos resultados do Projeto P&D 6491-0333-2013, executado pelo Simepar junto à COPEL GeT e dentro do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor Elétrico, regulamentado pela ANEEL. Os autores agradecem também ao Serviço Meteorológico Alemão, DWD, pelo dados dos modelos globais GME e ICON, bem como por cederem o modelo COSMO, nas versões de pesquisa e avaliação.

#### 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) CAMARGO CORREA, C.M., LEVASSEUR, J., MANTOVANI, L. E. Relatório Avaliação das áreas atingidas pelas inundações e alagamentos em União da Vitória/PR, em junho de 2014. CENACID – Centro de Apoio Científico em Desastres da UFPR: União da Vitória/PR. 2014.
- (2) BURNASH, R.J.C. The NWS River Forecast System – Catchment Modeling. EM: Vijay P. Singh (ed.), *Computer models of watershed hydrology*. Highlands Ranch, Colo.: Water Resources Publications de 1995.
- (3) GUETTER, A. K. Sistema de previsão hidrológica para suporte à operação dos reservatórios da bacia do Rio Iguaçu. Em: XV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Foz do Iguaçu-PR, de 1999.
- (4) Breda, A. Avaliação de melhorias para um sistema de previsão hidrológica horária. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambientais) — Universidade Federal do Paraná, Curitiba. Disponível em [http://www.ppperha.ufpr.br/publicacoes/dissertacoes/files/140-Angelo\\_Breda.pdf](http://www.ppperha.ufpr.br/publicacoes/dissertacoes/files/140-Angelo_Breda.pdf), 2008.
- (5) BALDAUF, M., SEIFERT, A., FÖRSTNER, J., MAJEWSKI, D. AND RASCHENDORFER, M. Operational Convective-Scale Numerical Weather Prediction with the COSMO Model: Description and Sensitivities. *Monthly Weather Review*, Vol 139, PP 3887-3905, 2011.
- (6) MAJEWSKI, D. ET AL. The operational global icosahedral-hexagonal gridpoint model GME: description and high-resolution tests. *Monthly Weather Review*, Vol 130, PP 319-338, 2002.
- (7) WAN, H. ET. AL. The ICON-1.2 hydrostatic atmospheric dynamical core on triangular grids – Part 1: formulation and performance of the baseline version. *Geosci. Model Dev.*, 6, 735-763, 2013.
- (8) JOLLIFFE, I. T. AND STEPHENSON, D. B. *Forecast Verification: A Practitioner's Guide in Atmospheric Science*. 254pp, Wiley, 2003.



## 6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Nome: Reinaldo Bomfim da Silveira - SILVEIRA, R.B

Local e ano de nascimento: Curitiba, PR, 1963

Local e ano graduação/pós-graduação: Bal. Meteorologia, USP, 1989. MSc. USP, 1993, PhD. Math Appl. Universidade de ESSEX, Inglaterra, Reino Unido, 1998.

Experiência Profissional: (1) PhD em Matemática Aplicada, Doutor em Meteorologia, Mestre em Ciências Atmosféricas e Bacharel em Meteorologia; (2) cerca de 20 publicações em periódicos e 20 em conferências; (3) áreas de atuação – Meteorologia, Climatologia, Meteorologia Aplicada, Modelagem Numérica da Atmosfera, Radar Meteorológico.