



PREVISÃO DE CURTO PRAZO DE NÍVEIS NO RIO ACRE NO MUNICÍPIO DE RIO BRANCO-AC COM MODELOS HIDROLÓGICOS EMPÍRICOS NA ENCHENTE DE 2015

Franco Turco Buffon^{1}; Francisco de Assis dos Reis Barbosa²;
Hérculyes Pessoa e Castro³; Joana Angélica Cavalcanti Pinheiro⁴;*

Resumo – A previsão hidrológica de curto prazo é uma importante ferramenta na operação de sistemas de alertas e no auxílio à gestão da operação da defesa civil em eventos de enchentes. Este artigo apresenta a descrição da aplicação de modelos hidrológicos empíricos para previsão de níveis do rio Acre no município de Rio Branco, empregados durante a enchente histórica ocorrida em 2015, além de apresentar também a metodologia aplicada e a eficácia da mesma na previsão de níveis.

Palavras-Chave – Previsão de curto-prazo; sistema de alerta; rio Acre.

SHORT-TERM FORECAST OF LEVELS AT ACRE RIVER IN RIO BRANCO-AC WITH EMPIRICAL HYDROLOGICAL MODELS AT 2015 FLOOD

Abstract – The short-term hydrological forecast is an important tool in the alert system operation and aid in the management of civil defense operations in flood events. This paper presents the description of the application of empirical hydrological models for the Acre River levels forecast in Rio Branco, employees during the historic flood that occurred in 2015, in addition to also present the methodology applied and the efficacy of the same in the forecast levels.

Keywords – Shor-term forecast; alert system; Acre river.

¹ Pesquisador em Geociências, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Residência de Porto Velho. franco.buffon@cprm.gov.br.

² Pesquisador em Geociências, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Residência de Porto Velho. francisco.reis@cprm.gov.br.

³ Pesquisador em Geociências, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Residência de Porto Velho. herculys.castro@cprm.gov.br.

⁴ Pesquisador em Geociências, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Residência de Porto Velho. joana.pinheiro@cprm.gov.br.



INTRODUÇÃO

A previsão de níveis subsidia a tomada de decisões no âmbito de defesa civil, pois permite a avaliação das áreas possivelmente impactadas durante eventos extremos e auxilia da gestão das ações de redução de seus impactos. A previsão hidrológica aliada a sistemas de alerta é uma medida não estrutural que é considerada um importante instrumento para mitigar os efeitos decorrentes das enchentes e inundações, reduzindo consideravelmente os prejuízos sociais e econômicos para a população dos municípios abrangidos.

Por meio de diferentes modelos matemáticos e diferentes metodologias de abordagem de acordo com as variáveis hidrológicas a serem utilizadas é possível calcular com determinado tempo de antecedência o nível de um rio. Conforme Paz et al. (2002), além de modelos matemáticos convencionais, empíricos ou conceituais, como modelos lineares, modelos de diferenças e modelos distribuídos não-lineares, algumas técnicas mais recentes, como as redes neurais artificiais, também têm sido empregadas com o objetivo de previsão de vazões em curto prazo. De acordo com a disponibilidade de informações e com a finalidade que se pretende realizar as previsões hidrológicas, um determinado modelo pode ser empregado de forma mais adequada em relação a outros.

Os modelos empíricos de previsão hidrológica são comumente aplicados na realização de previsões de curto-prazo em sistemas de alerta de enchentes e inundações, principalmente por utilizar poucas variáveis hidrológicas que são de fácil obtenção. De acordo com Silva et al. (2007), a vantagem dos modelos empíricos é a rapidez na elaboração e a facilidade na atualização dos parâmetros em tempo real, enquanto que os modelos conceituais têm maior capacidade de extrapolação e tratamento das variantes hidrológicas.

Durante a enchente histórica do rio Acre, ocorrida em 2015, o Sistema de Alerta de Eventos Críticos da Bacia do Rio Acre operado pela CPRM utilizou alguns modelos empíricos baseados no método das diferenças para auxiliar a Defesa Civil na mitigação dos impactos da enchente no município de Rio Branco, capital do Acre. Neste trabalho estão apresentados os modelos utilizados e os resultados obtidos na aplicação para previsão de níveis com 24 horas e 12 horas de antecedência. A seguir está apresentada uma breve descrição das características gerais da bacia do rio Acre e dos fatores que levaram a definição de quais modelos foram adotados.

CARACTERÍSTICAS DA BACIA DO RIO ACRE

O rio Acre tem sua nascente no Peru e no Brasil, desembocando no rio Purus (Amazonas) e possui cerca de 79% de sua área no Estado do Acre, 8% no Estado do Amazonas, aproximadamente 7% no Perú e o restante na Bolívia. Além de possuir uma área de drenagem relativamente pequena (35000km² até a foz) quando comparada aos demais grandes rios amazônicos, a bacia do rio Acre também está caracterizada por possuir solos de baixa capacidade de infiltração e grandes áreas de desmatamento ocupadas pela agropecuária (Figura 1).

Como consequência entre a combinação entre solos (baixa infiltração), usos dos solos (desmatamento/pecuária), pequena área de drenagem e regime pluviométrico (chuvas muito intensas) típicos desta bacia hidrográfica, o rio Acre possui uma característica de ser rápido e responder com significativa elevação de níveis logo após as chuvas intensas. Devido a estas características, para que um sistema de alerta seja de fato eficiente é necessário uma rede hidrométrica densa e bem localizada. No caso da bacia do rio Acre, a rede hidrometeorológica nacional conta com dez pontos de monitoramento até o município de Rio Branco.

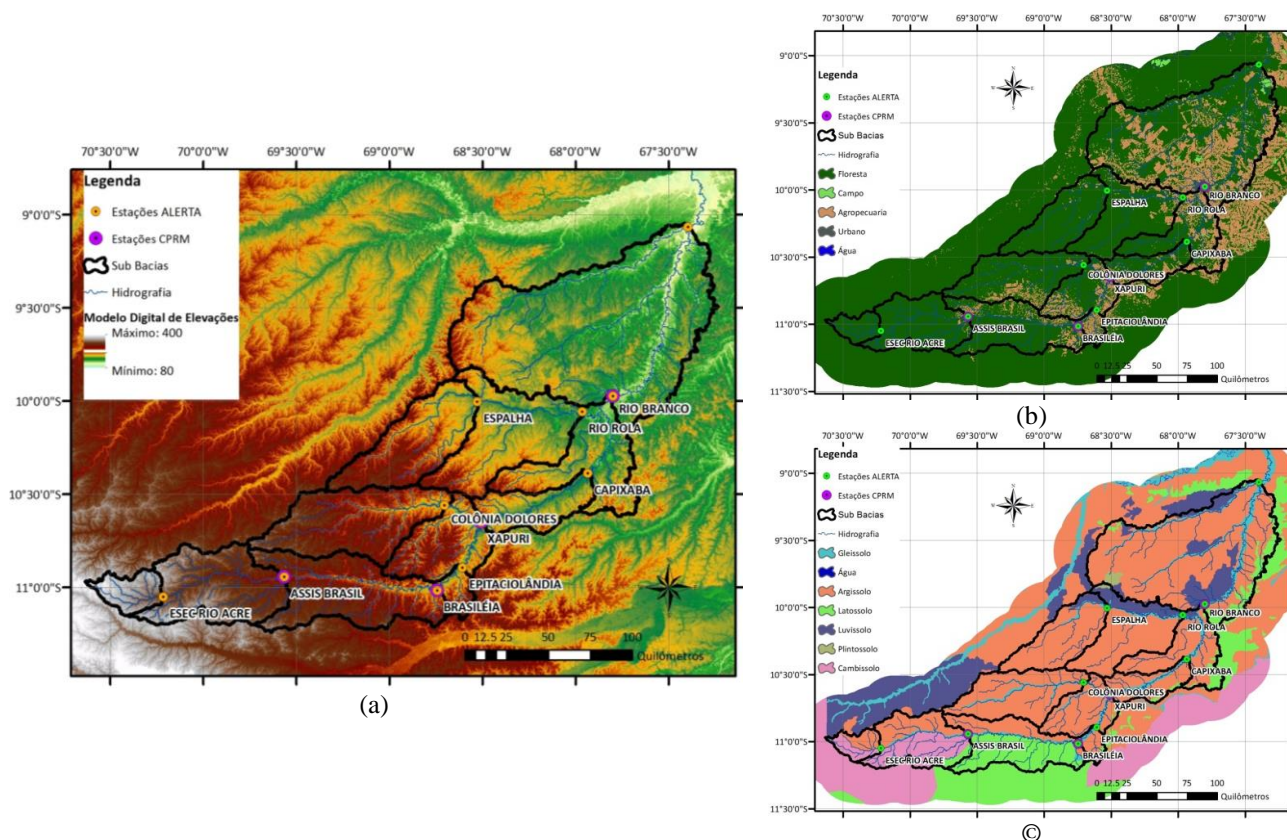


Figura 1 – Mapas de (a) modelo digital de elevações; (b) usos dos solos; e (c) mapa de solos

O Sistema de Alerta de Eventos Críticos da Bacia do Rio Acre, operado pela CPRM desde dezembro de 2014, mantém ao longo do rio principal quatro estações telemétricas para o monitoramento das condições hidrológicas, nos principais municípios da região. Além destas, existem mais dez estações telemétricas espalhadas ao longo da bacia hidrográfica até Rio Branco, sendo quatro delas em redundância nos locais onde a CPRM mantém suas estações. De forma esquemática e bastante simplificada, a bacia do rio Acre pode ser representada por meio de um diagrama unifilar, conforme apresentado a seguir na Figura 2.

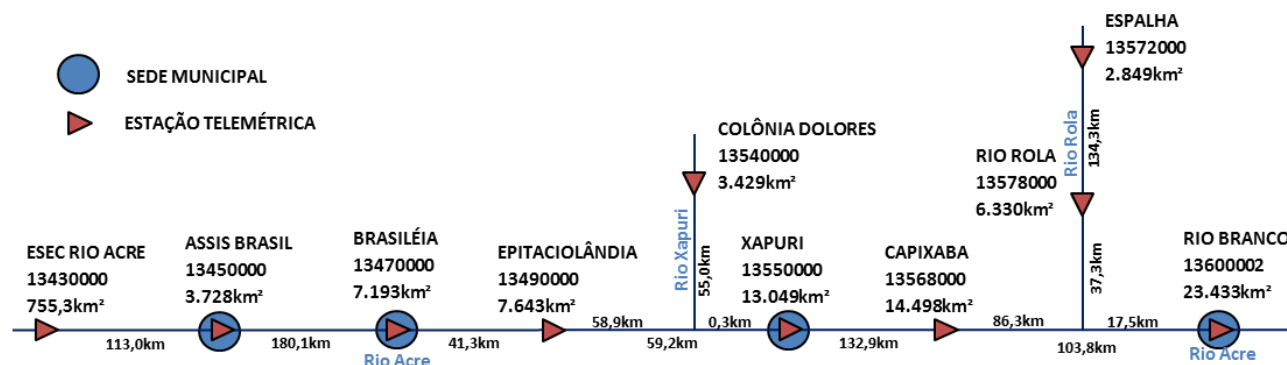


Figura 2 – Diagrama unifilar da bacia hidrográfica do rio Acre até Rio Branco

Os quatro círculos azuis destacados na figura cima representam cinco municípios cuja população total está estimada próxima a 427.650 habitantes, são eles: Assis Brasil, Brasiléia/Epitaciolândia, Xapuri e Rio Branco. São nestes pontos que a CPRM mantém suas estações de monitoramento, não apenas por serem as sedes municipais, mas também por possuírem



as maiores séries históricas de níveis e por serem as únicas que possuem registros de medição de vazão e curvas-chave já ajustadas.

Na Tabela 1 estão resumidas algumas das características fisiográficas das sub-bacias das estações de monitoramento que compõem o SACE-ACRE da CPRM. O tempo de concentração apresentado na tabela foi calculado pela equação de Kirpich, já o tempo de deslocamento foi simplificado considerando uma velocidade da ordem de 2,5 m/s e a distância entre o ponto de monitoramento a montante e a jusante.

Tabela 1 – Características fisiográficas da bacia do rio Acre nos pontos de monitoramento

| Código | Nome | Bacia Hidrográfica | | Curso d'água Principal | | Tempo de Concentração (h) | Tempo de Deslocamento (h) |
|----------|-----------------|--------------------|-----------|------------------------|-------------|------------------------------|------------------------------|
| | | Área | Perímetro | Extensão | Declividade | | |
| | | (km ²) | (km) | (km) | (m/km) | | |
| 13430000 | ESEC RIO ACRE | 755,3 | 565,1 | 53,2 | 1,590 | 16,94 | - |
| 13450000 | ASSIS BRASIL | 3.728,2 | 224,9 | 166,2 | 0,877 | 51,24 | 12,56 |
| 13470000 | BRASILÉIA | 7.193,1 | 907,1 | 346,3 | 0,548 | 108,06 | 20,01 |
| 13490000 | EPITACIOLÂNDIA | 7.643,0 | 995,8 | 387,6 | 0,499 | 122,14 | 4,59 |
| 13540000 | COLÔNIA DOLORES | 3.429,0 | 517,3 | 174,5 | 0,836 | 122,15 | - |
| 13550000 | XAPURI | 13.049,4 | 1.090,8 | 446,8 | 0,481 | 138,26 | 6,58 |
| 13568000 | CAPIXABA | 14.498,5 | 1.328,4 | 579,7 | 0,401 | 181,30 | 14,77 |
| 13600002 | RIO BRANCO | 23.433,1 | 1.612,9 | 683,5 | 0,359 | 214,75 | 11,53 |
| 13572000 | ESPALHA | 2.849,2 | 441,6 | 108,0 | 0,605 | 42,41 | - |
| 13578000 | RIO ROLA | 6.330,0 | 713,4 | 242,3 | 0,384 | 94,09 | 14,92 |

De acordo com as características da bacia hidrográfica do rio Acre, o tempo de percurso da onda cheia entre Xapuri e Rio Branco é de aproximadamente 24 horas. Este fato contribuiu na definição do modelo de previsão de níveis, onde há um curto prazo para emissão de alerta no caso do deslocamento de uma enchente entre ambos os municípios.

Cabe ressaltar ainda que a cota de transbordamento do rio Acre no município de Rio Branco é de 14,00 metros, correspondendo a um tempo de recorrência inferior a 2 anos. Na enchente de 2015 o rio Acre atingiu a cota de 18,41 metros, mais de 4 metros acima da cota de transbordamento, provocando a inundação de diversos bairros e desabrigando milhares de pessoas.

Os fatos apresentados acima reforçam a necessidade de um sistema de alerta para o município de Rio Branco com capacidade de previsão de níveis de curto-prazo para a mitigação dos impactos decorrentes das frequentes inundações.

MODELOS UTILIZADOS

Ao longo da operação do SACE-ACRE foram utilizados diversos modelos, todos empíricos e baseados no método das diferenças. Esta metodologia foi escolhida pela simplicidade de aplicação e devido a experiência CRPM em aplicá-la em sistemas de alerta de outros rio brasileiros, como no caso descrito por Castilho e Davis (2003) na bacia do rio Doce nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo.

O método das diferenças realiza a previsão de níveis (ou vazões) para um determinado tempo no futuro, baseado em uma regressão linear múltipla da diferença das variáveis envolvidas (níveis ou vazões) no instante de previsão e em determinado tempo no passado. Essas variáveis podem ser tanto na seção onde se deseja realizar a previsão quanto nas seções localizadas a montante da mesma.

É importante ressaltar que antes da aplicação dos modelos apresentados a seguir, utilizou-se outro com estrutura semelhante baseado nos dados da estação Xapuri, pois esta possui dados de



medições de vazão e curva-chave estabelecida. No entanto, a medida que a enchente atingiu o município de Xapuri foi necessário remover os equipamentos telemétricos, forçando a alteração do modelo para utilização de outras estações. Logo após a desativação de Xapuri, foram adotadas as estações de Capixaba e Riozinho do Rôla para realizar a previsão, mas novamente a enchente provocou a retirada do equipamento instalado em Capixaba, forçando nova alteração no modelo para a utilização apenas da estação de Rio Branco.

Assim, com base nas informações acima e citadas anteriormente, foram adotados dois modelos de previsão ao longo da operação do SACE-ACRE: um com previsões de 24 horas de antecedência; e um com 12 horas de antecedência.

A seguir estão apresentadas as equações dos modelos de 24 horas e de 12 horas de antecedência do seguinte modo: equação principal (1); equação do modelo baseado em dados de 2 estações à montante (2), equação do modelo baseado apenas na estação de Rio Branco (3) e as equações auxiliares.

Equação Principal

$$C_{RBR}(t+\Delta t) = C_{RBR}(t) + \Delta C_{RBR}(t+\Delta t) \quad (1)$$

Equação baseada em Capixaba e Riozinho do Rôla

$$\Delta C_{RBR}(t+\Delta t) = a_1 * \Delta C_{RBR}(t) + a_2 * \Delta C_{CAP}(t) + a_3 * \Delta C_{ROL}(t) \quad (2)$$

Equação baseada apenas em Rio Branco

$$\Delta C_{RBR}(t+\Delta t) = a_1 * \Delta C_{RBR}(t) \quad (3)$$

Equações auxiliares

$$\Delta C_{RBR}(t) = C_{RBR}(t) - C_{RBR}(t-\Delta t) \quad (4)$$

$$\Delta C_{CAP}(t) = C_{CAP}(t) - C_{CAP}(t-\Delta t) \quad (5)$$

$$\Delta C_{ROL}(t) = C_{ROL}(t) - C_{ROL}(t-\Delta t) \quad (6)$$

Onde C_{RBR} é a cota de Rio branco; ΔC_{RBR} é a diferença d cotas em Rio Branco; C_{CAP} é a cota de Capixaba; ΔC_{CAP} é a diferença de cotas em Capixaba; C_{ROL} é a cota de Riozinho do Rôla; ΔC_{ROL} é a diferença de cotas em Riozinho do Rôla; t é o tempo no instante da aplicação do modelo; Δt é o intervalo de tempo (12 ou 24 horas); a_1 , a_2 e a_3 são os coeficientes calibráveis do modelo.

RESULTADOS DA APLICAÇÃO

A seguir estão apresentados os resultados da aplicação dos modelos acima descritos para os 2 intervalos de tempo considerados: 24 e 12 horas de antecedência.

Modelo de 24 horas de antecedência

Nas Figura 3 e Figura 4 a seguir estão apresentados os resultados da aplicação do modelo de 24 horas baseado nas estações de Capixaba e Riozinho do Rôla e baseado apenas em Rio Branco, respectivamente. Na Tabela 2 estão apresentados alguns dos parâmetros de controle da qualidade da aplicação do modelo, como o coeficiente de Nash, o desvio padrão médio absoluto, o máximo desvio padrão médio absoluto e o coeficiente de correlação entre os dados previstos e os observados.

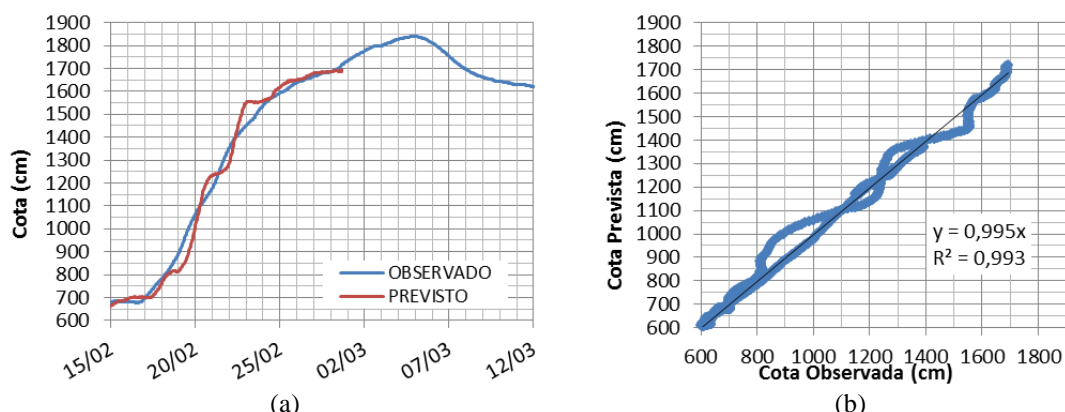


Figura 3 – Modelo de 24h de antecedência baseado em Capixaba e Riozinho do Rôla, (a) série temporal; (b) correlação

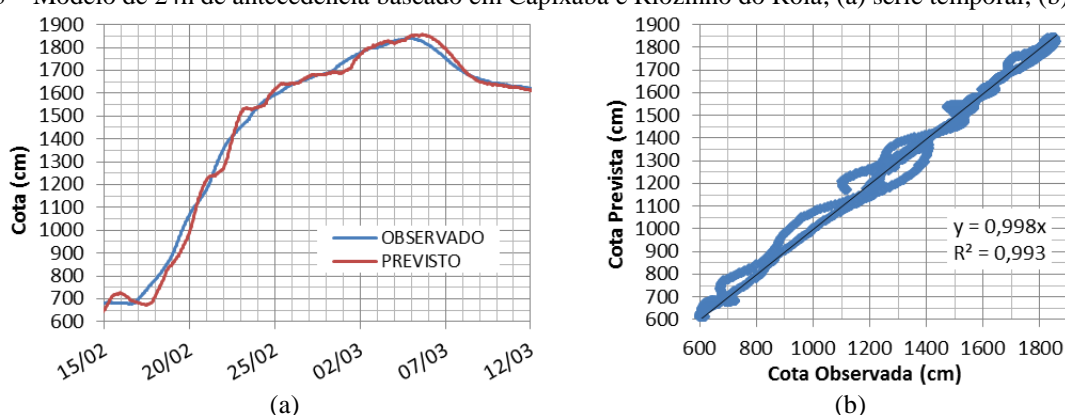


Figura 4 – Modelo de 24h de antecedência baseado apenas em Rio Branco, (a) série temporal; (b) correlação

Tabela 2 – Parâmetros de avaliação dos modelos de 24 horas de antecedência

| PARÂMETROS | Modelo baseado em Capixaba e Riozinho do Rôla | Modelo baseado Apenas em Rio Branco |
|--|---|-------------------------------------|
| Desvio Padrão Médio Absoluto | 2,1% | 2,1% |
| Máximo Desvio Padrão Médio Absoluto | 12,9% | 12,5% |
| Desvio Padrão Médio Absoluto (cm) | 21,24 | 23,37 |
| Correlação (R²) | 0,997 | 0,996 |
| Coefficiente de NASH | 0,995 | 0,882 |
| a ₁ | 0,202 | 0,848 |
| a ₂ | 0,246 | - |
| a ₃ | 0,534 | - |

É possível observar na figura e na tabela acima que há uma baixa dispersão entre os resultados dos modelos de previsão e os dados observados. No entanto, o desvio padrão médio ficou acima de 20cm, atingindo valores ainda maiores em alguns pontos, principalmente próximo as inflexões e mudanças de declividade da série temporal. Ainda assim, o modelo baseado em 2 estações de montante (Capixaba e Riozinho do Rôla) apresentou estatísticas mais favoráveis, como em relação ao coeficiente de Nash.

Devido à incerteza provocada pelo alto desvio padrão estes modelos foram utilizados na operação do SACE-ACRE somente como indicadores de tendência de elevação e redução dos níveis. Para atingir a precisão necessária para auxiliar de modo mais efetivo a defesa civil do município, foi necessário reduzir o tempo de antecedência para 12 horas. Os resultados da aplicação do modelo com 12 horas de antecedência estão apresentados a seguir.

Modelo de 12 horas de antecedência

Nas Figura 5 e Figura 6 a seguir estão apresentados os resultados da aplicação do modelo de 12 horas de antecedência. Na Tabela 3 estão apresentados os mesmos parâmetros de controle da qualidade da aplicação do modelo considerados anteriormente na aplicação do modelo de 24 horas de antecedência.

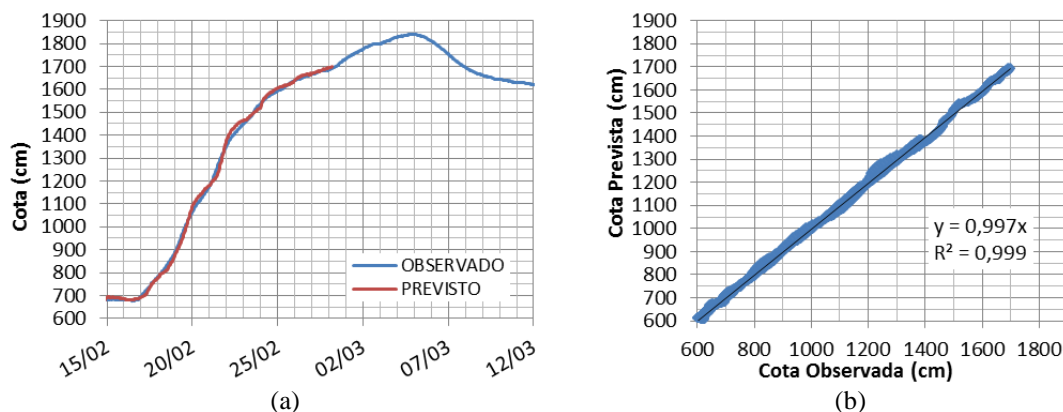


Figura 5 – Modelo de 12h de antecedência baseado em Capixaba e Riozinho do Rôla, (a) série temporal; (b) correlação

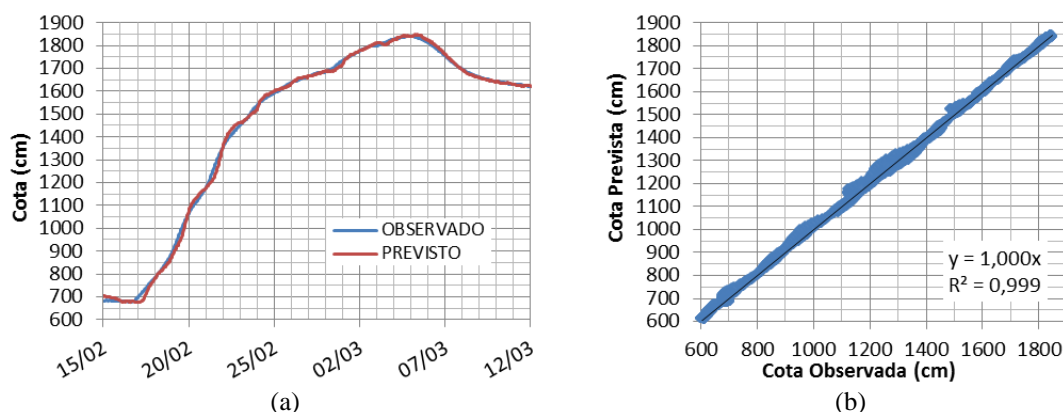


Figura 6 – Modelo de 12h de antecedência baseado apenas em Rio Branco, (a) série temporal; (b) correlação

Tabela 3 – Parâmetros de avaliação dos modelos de 12 horas de antecedência

| PARÂMETROS | Modelo baseado em Capixaba e Riozinho do Rôla | Modelo baseado Apenas em Rio Branco |
|-------------------------------------|--|--|
| Desvio Padrão Médio Absoluto | 0,8% | 0,7% |
| Máximo Desvio Padrão Médio Absoluto | 3,2% | 5,4% |
| Desvio Padrão Médio Absoluto (cm) | 7,87 | 8,17 |
| Correlação (R ²) | 1,000 | 1,000 |
| Coefficiente de NASH | 0,999 | 0,883 |
| a ₁ | 0,677 | 0,915 |
| a ₂ | 0,029 | - |
| a ₃ | 0,313 | - |

Na figura e na tabela acima se observa uma dispersão muito pequena entre os resultados dos modelos de previsão e os dados observados. O desvio padrão médio ficou abaixo de 10cm, atingindo valores um pouco maiores em alguns próximo as inflexões e mudanças de declividade da série temporal. Ainda assim, o modelo baseado em 2 estações de montante (Capixaba e Riozinho do Rôla) apresentou estatísticas mais favoráveis, principalmente em relação ao coeficiente de Nash.



Os modelos de 12 horas de antecedência se mostraram adequados para aplicação no SACE-ACRE para auxílio da defesa civil, pois apresentaram baixa dispersão nos resultados e uma precisão adequada para a gestão das áreas atingidas pela inundação.

CONCLUSÃO

Devido a bacia do rio Acre possuir uma rápida resposta aos eventos de precipitação intensa e a localização das estações de monitoramento hidrológico nos rios da bacia, a realização de previsão de níveis do rio Acre em Rio Branco necessita ser de curto prazo para que possa ser eficiente na mitigação de danos causados pelas inundações. Foram testados modelos com 24 e 12 horas de antecedência, sendo que os modelos de 12 horas apresentaram resultados adequados (erros médios inferiores a 10cm) para utilização na operação do Sistema de Alerta de Eventos Críticos da Bacia do Rio Acre (SACE-ACRE) para auxiliar a defesa civil na gestão das áreas atingidas por inundações entre os modelos apresentados. Os modelos de 24 horas de antecedência apresentaram resultados razoáveis para indicação da tendência de aumento e/ou redução dos níveis do rio. Dentre os modelos testados, os que utilizam informações das estações a montante mais próximas a Rio Branco apresentaram resultados ligeiramente melhores quando comparados aos que utilizam somente as informações da própria estação de Rio Branco. Assim, entre todos os modelos testados o que apresentou melhores resultados foi com 12 horas de antecedência baseado nos dados de níveis das estações Capixaba e Riozinho do Rola, passando este a ser adotado como o padrão atual do SACE-ACRE da CPRM.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Secretaria de Estado de Meio Ambiente do Estado Acre e as equipes da Defesa Civil Estadual e do município de Rio Branco pelo apoio oferecido e pelo suporte operacional e logístico durante o período mais crítico da enchente.

REFERÊNCIAS

CASTILHO, A.; DAVIS, E.G.(2003) Previsão hidrológica de vazões para as cidades de Resplendor, Colatina e Linhares utilizando o método das diferenças. In *Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Curitiba, Nov. 2003.

PAZ, A. R. ; BUENO, E. O. ; TUCCI, C. E. M. (2002) Análise de metodologias de previsão de vazões em tempo real. Estudo de casos: bacia do rio Doce (MG) e do rio Uruguai (RS). In: *Anais do II Simpósio de Recursos Hídricos do Centro-Oeste*, Campo Grande.

SILVA, B.C.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M.; CLARKE, R.T.CORBO, M.D. (2007). Previsão Hidroclimática de Vazão de Curto Prazo na Bacia do Rio São Francisco. Volume 12 n. 3, *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, pp. 31 – 41.