

4.1.3 Extração dos parâmetros das calhas dos rios

Para definição das larguras dos rios em cada minibacia utilizou-se uma máscara de água da bacia feita a partir de imagens do satélite Landsat 8, Figura 25, cruzada com o shapefile de minibacias gerado anteriormente. A partir da área superficial de água em cada minibacia dividiu-se cada valor pelo comprimento de rio dentro de cada minibacia de forma a retornar o valor aproximado de largura em cada trecho conforme mostra a Figura 26. De posse das larguras utilizou-se a relação ajustada $H = 0.8863L^{0.3959}$ para definir as profundidades(H) de cada trecho segmentado em função das larguras(L) obtidas. Estes resultados são apresentados na Figura 27.

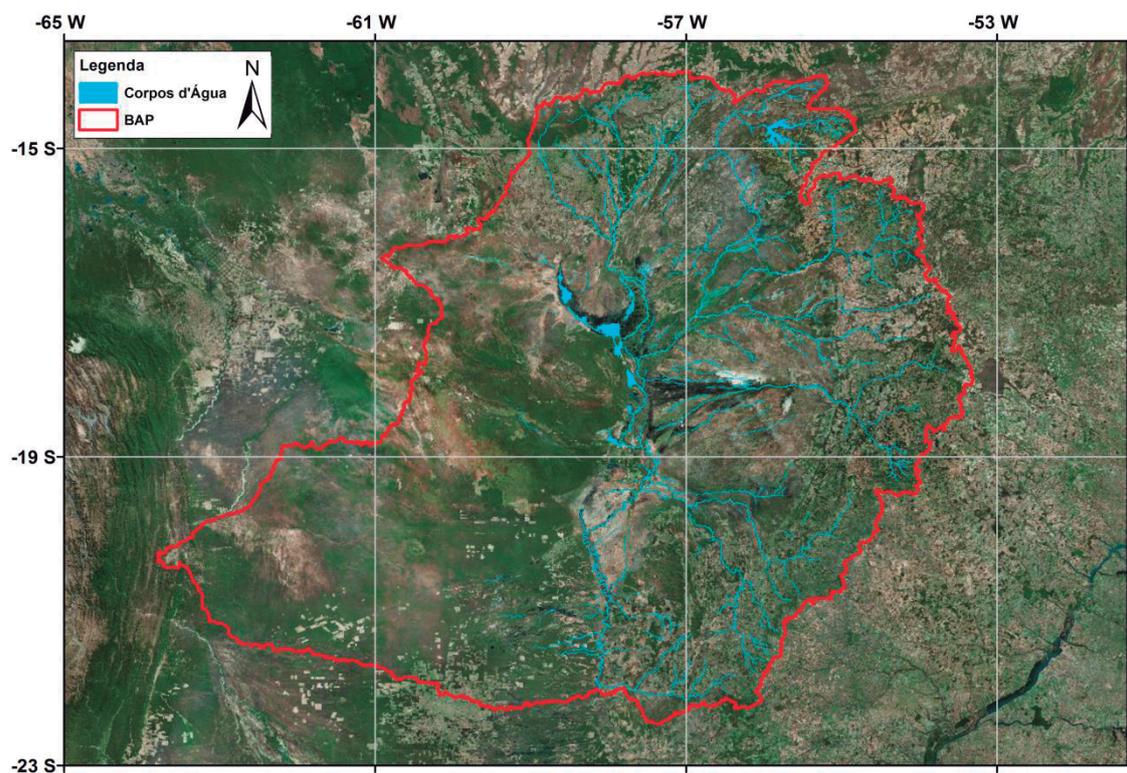


Figura 25. Máscara de água gerado na bacia a partir de imagens do Landsat 8.

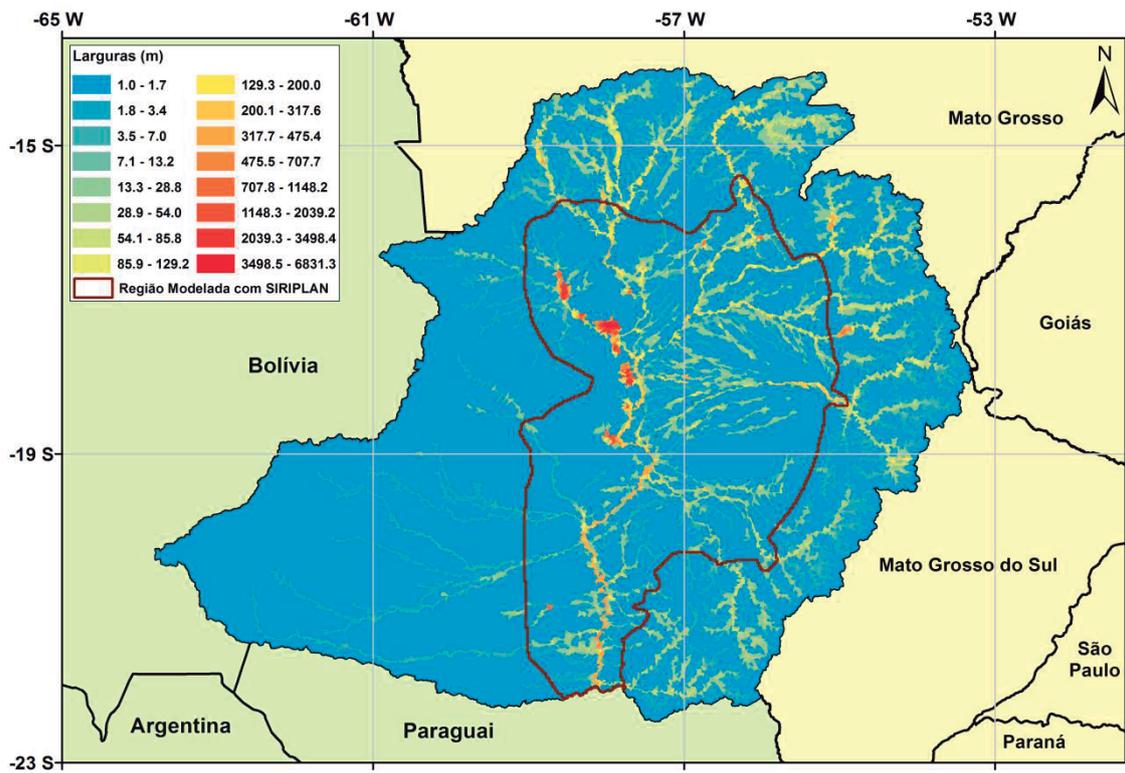


Figura 26. Mapa de larguras obtidas a partir da máscara de água.

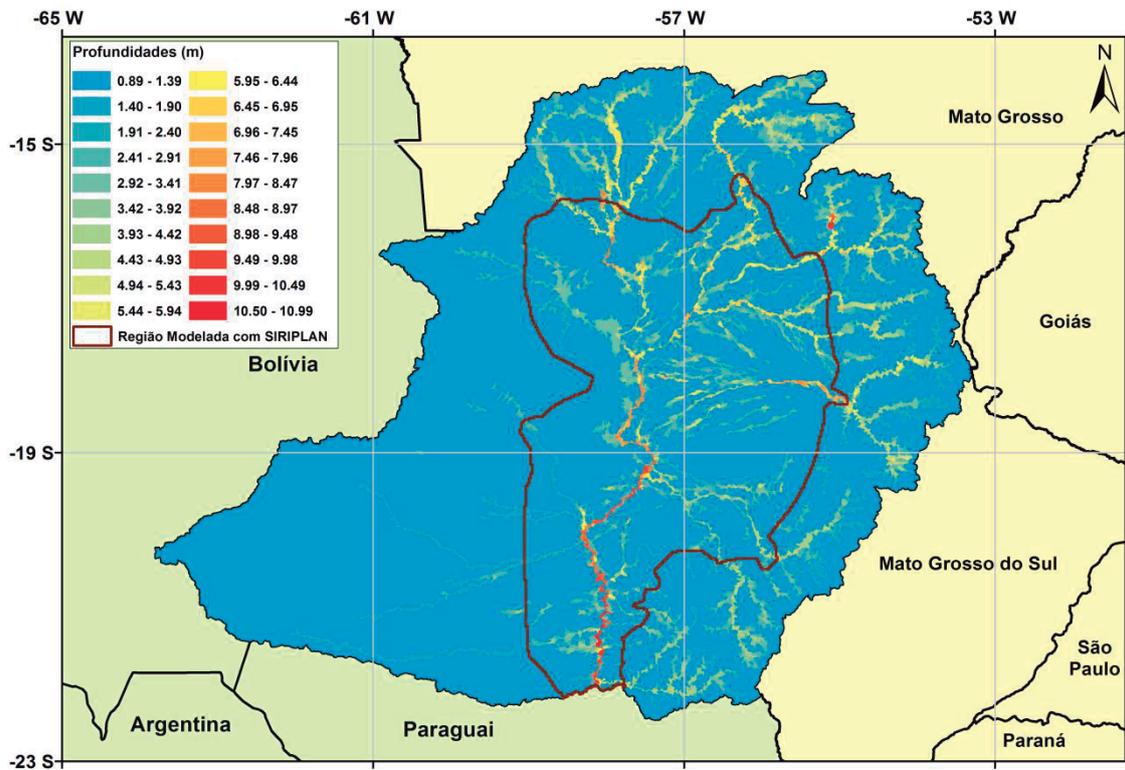


Figura 27. Mapa de profundidades obtidas a partir das larguras adotadas.

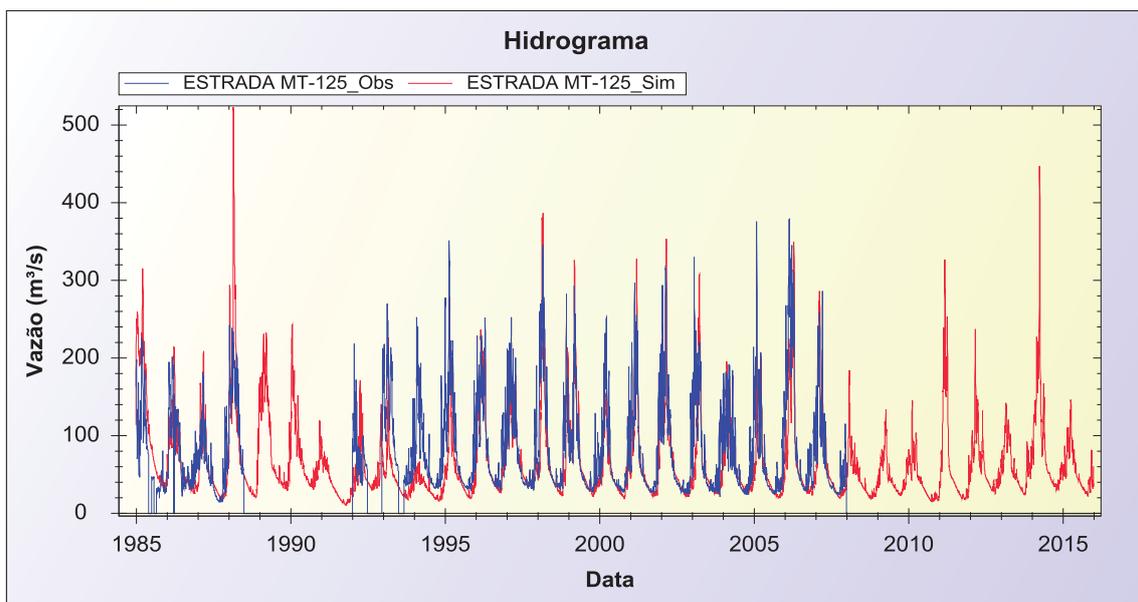
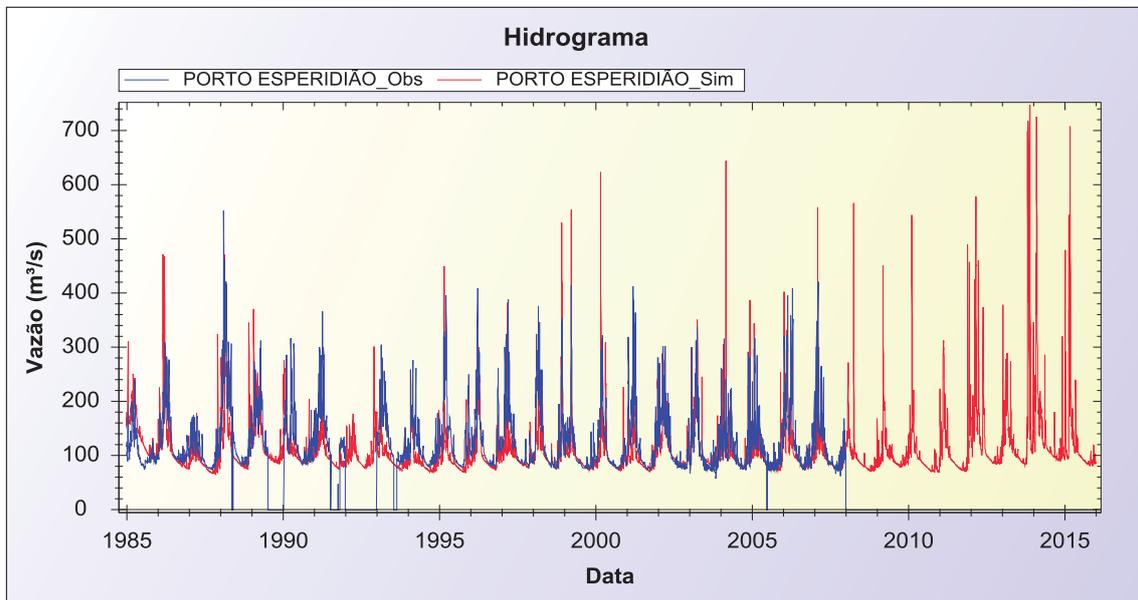
4.1.4 Calibração do modelo MGB-IPH no planalto

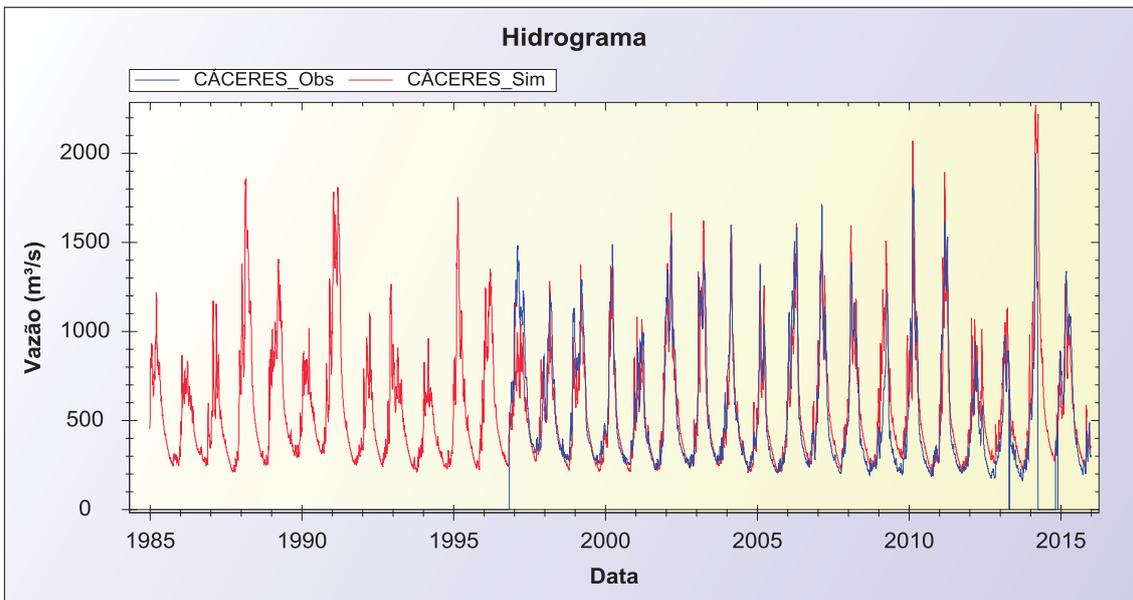
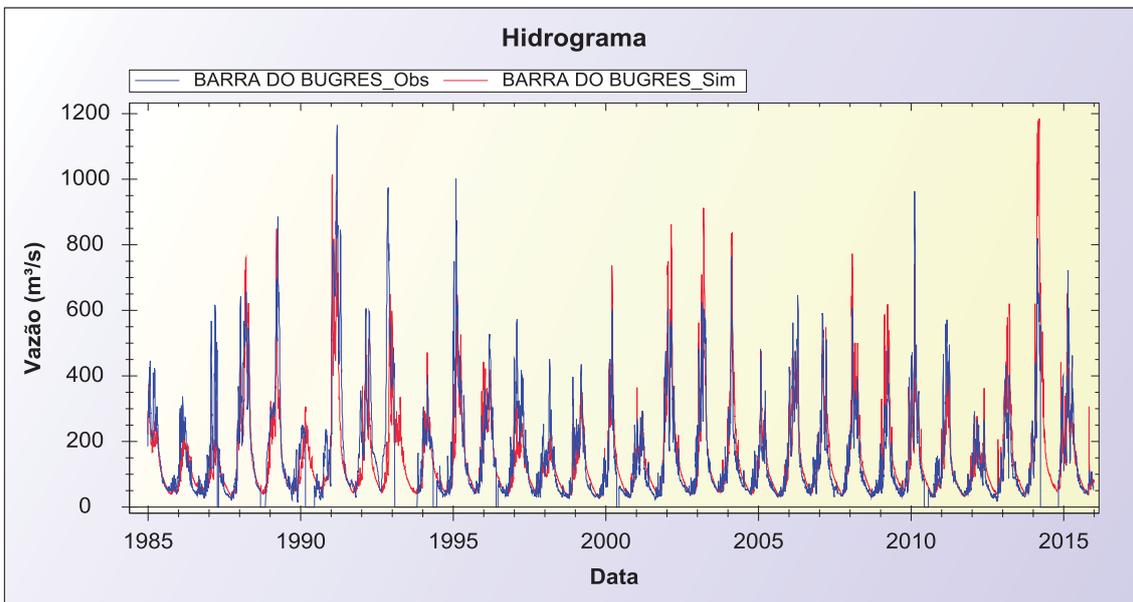
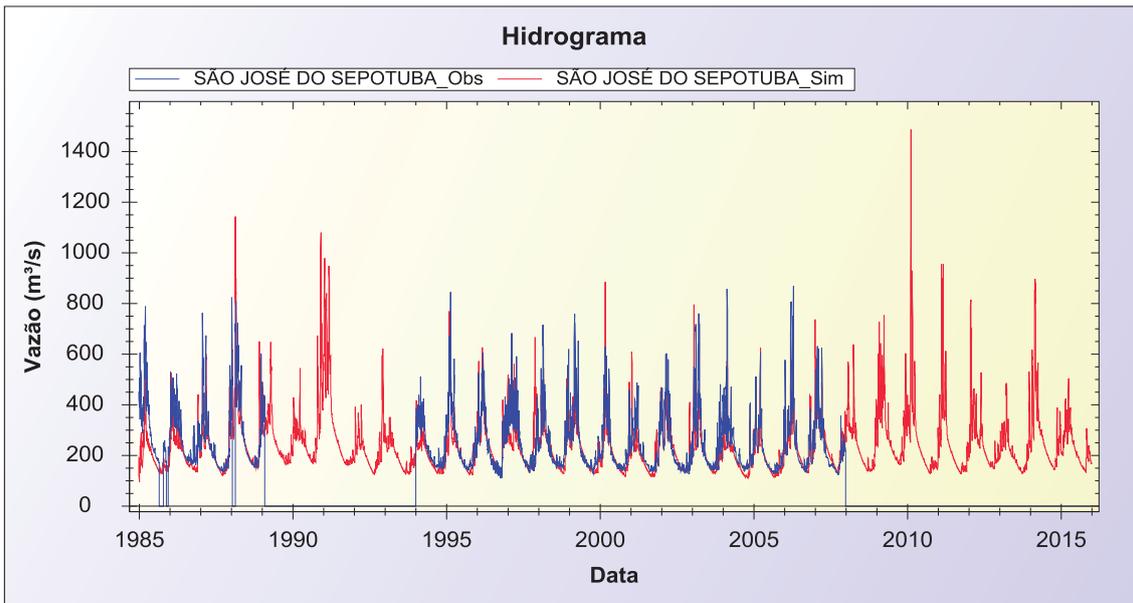
Método de calibração

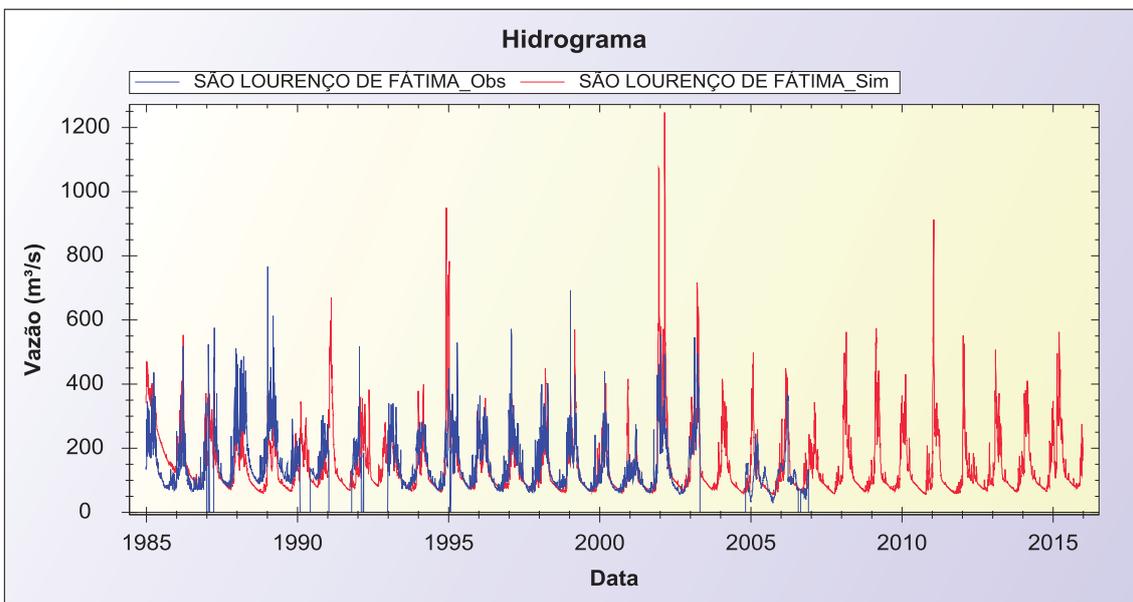
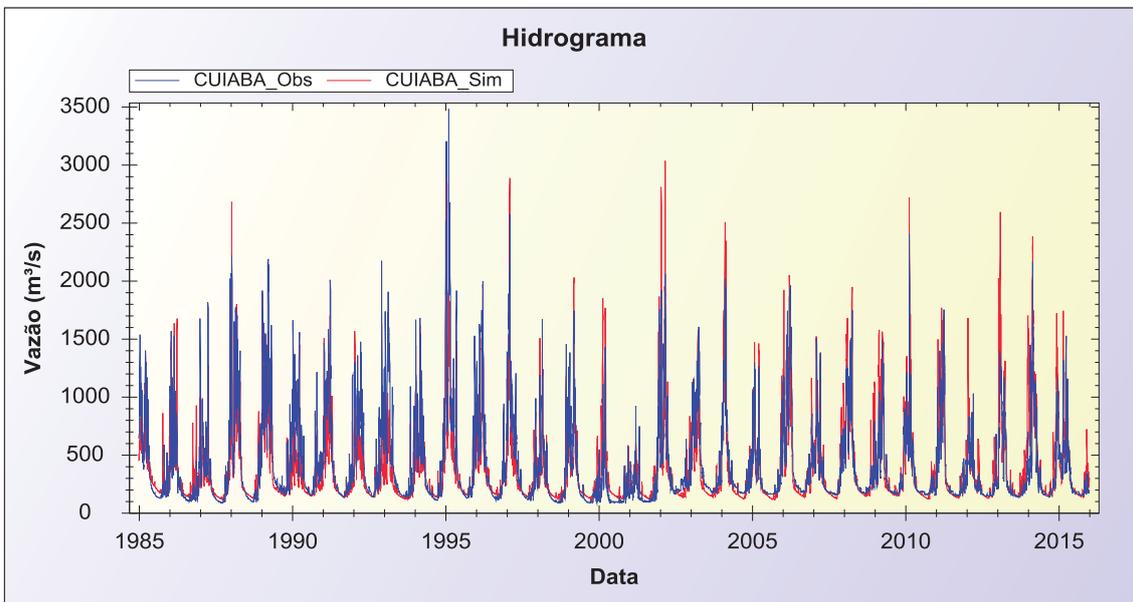
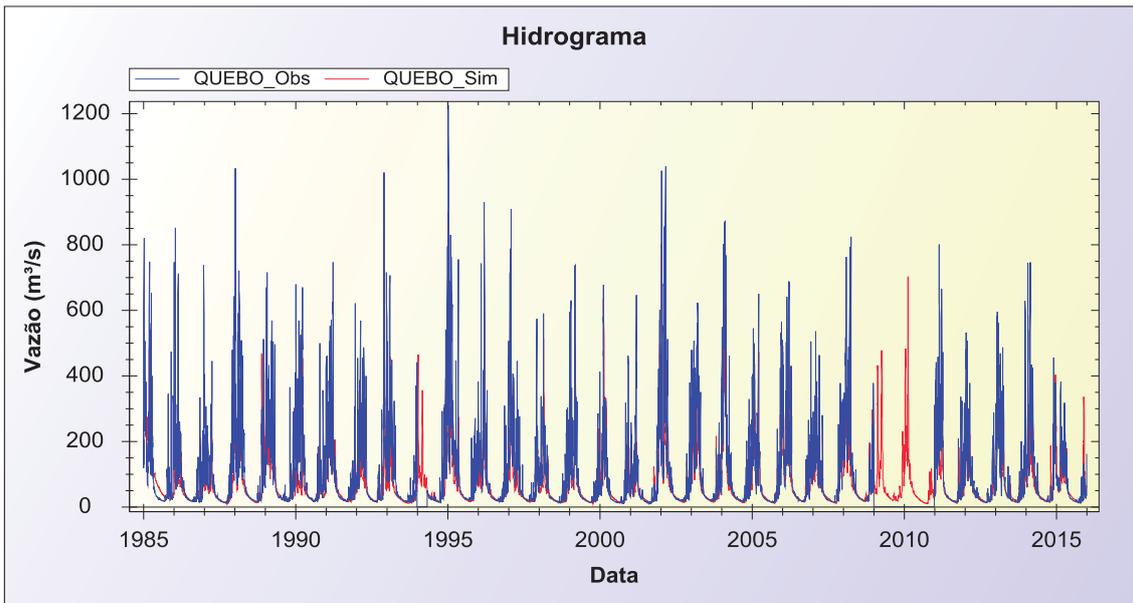
A calibração do modelo MGB-IPH foi feita de maneira manual, através da variação dos parâmetros calibráveis do modelo, com enfoque nas 33 sub-bacias que compunham a porção do planalto e que, por sua vez, alimentaram o modelo SIRIPLAN para modelagem da planície. Para a calibração foram observadas as métricas de desempenho Nash, Nash-log e erro volumétrico em relação aos dados fluviométricos observados. Os resultados da calibração são apresentados a seguir.

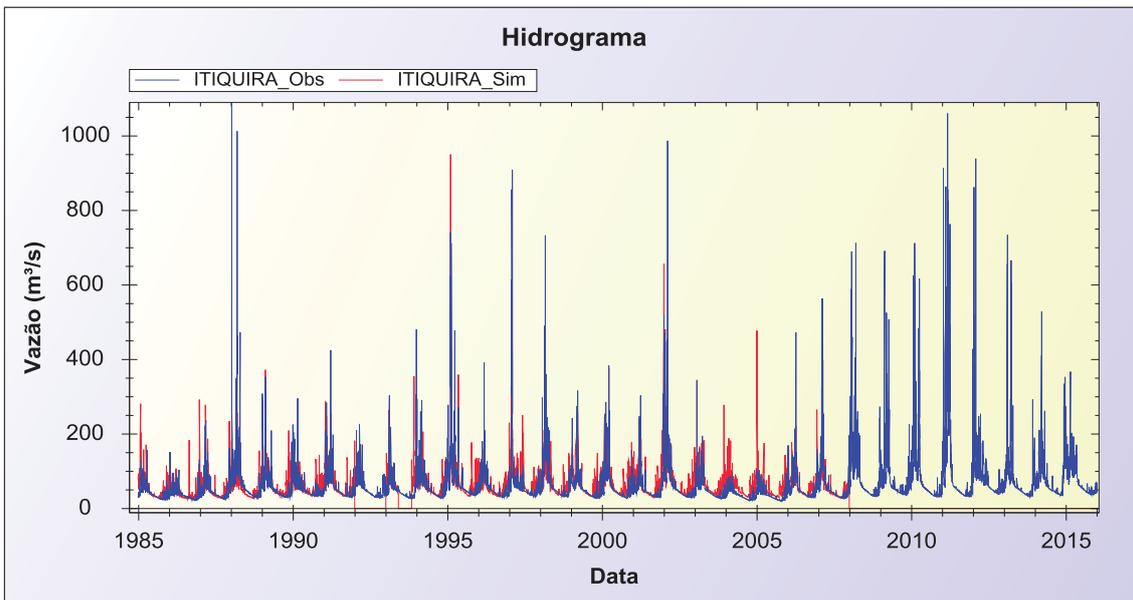
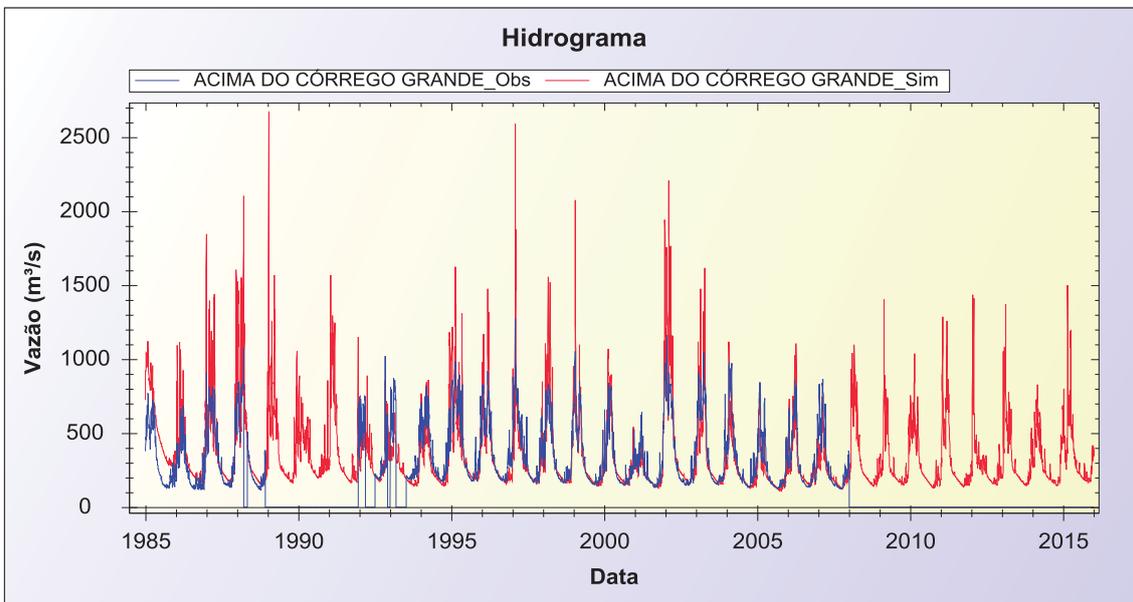
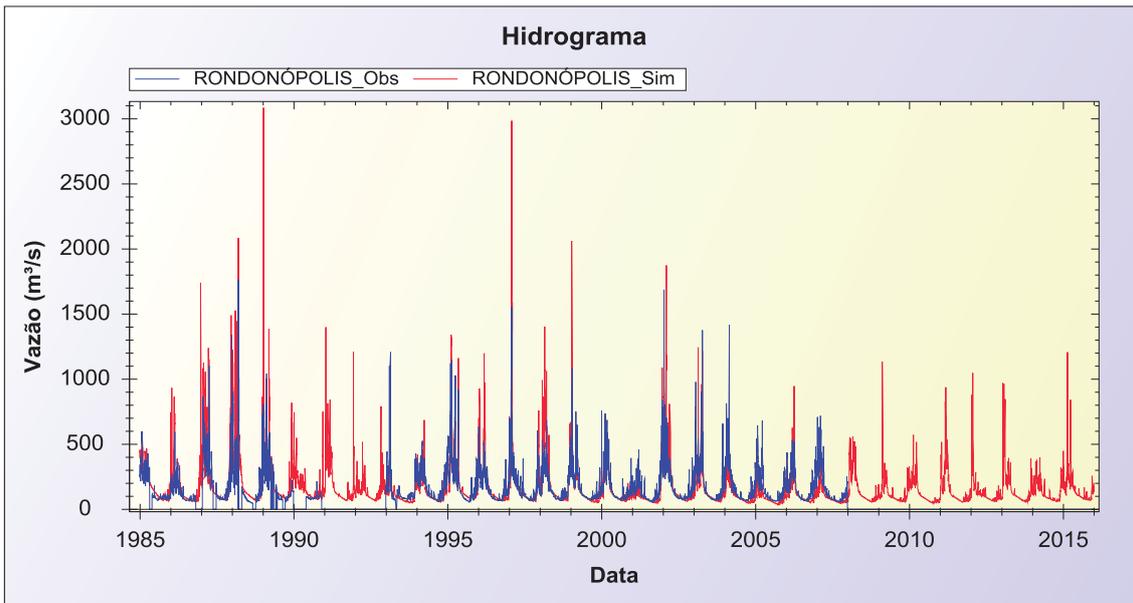
Resultados da calibração do modelo do planalto

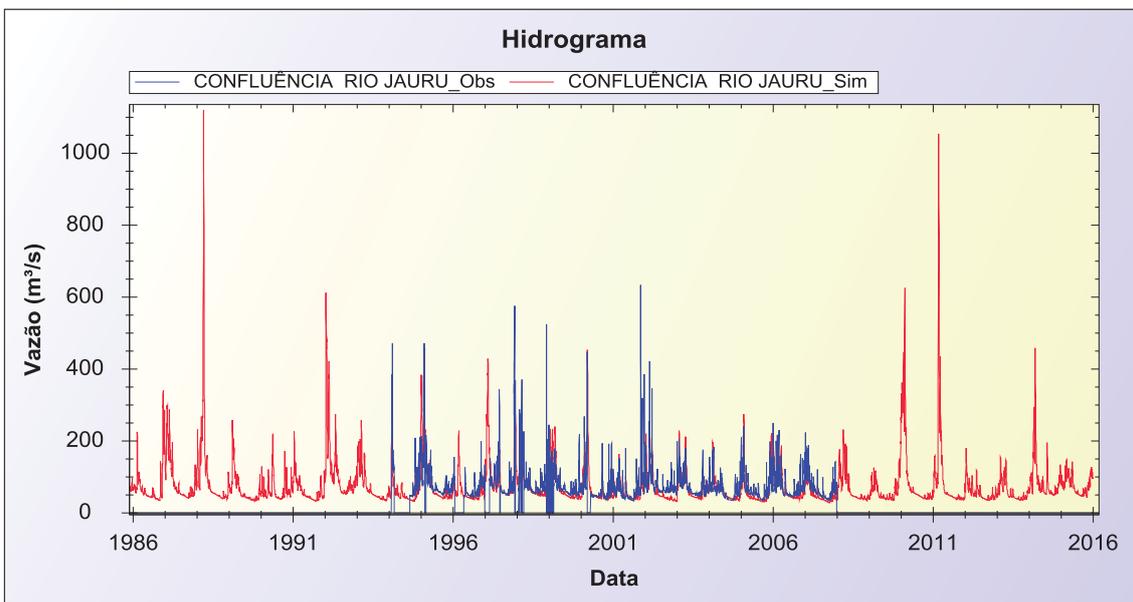
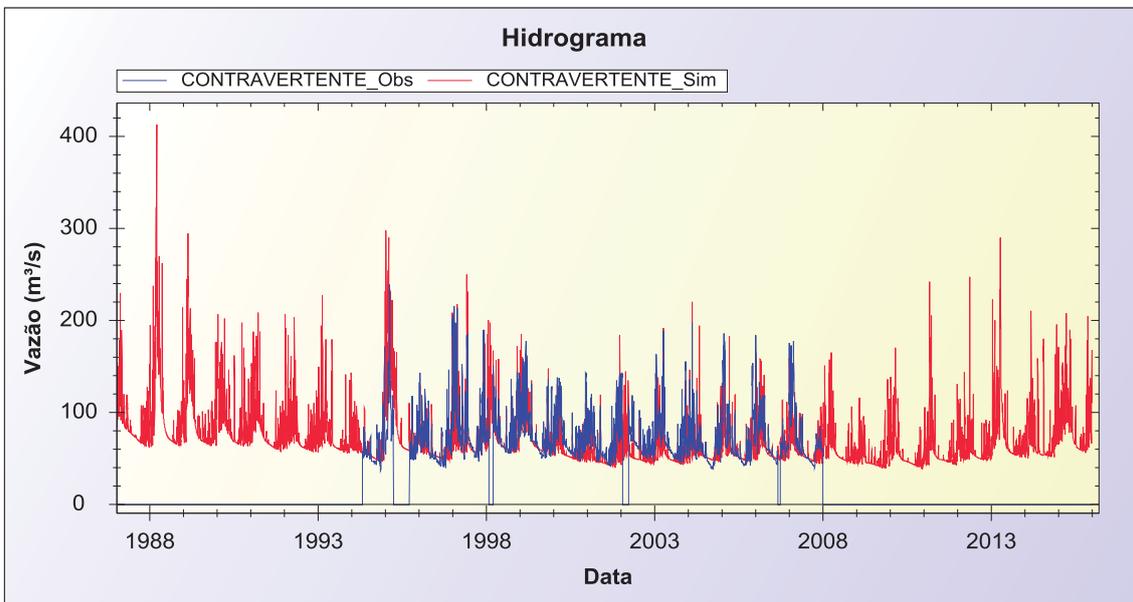
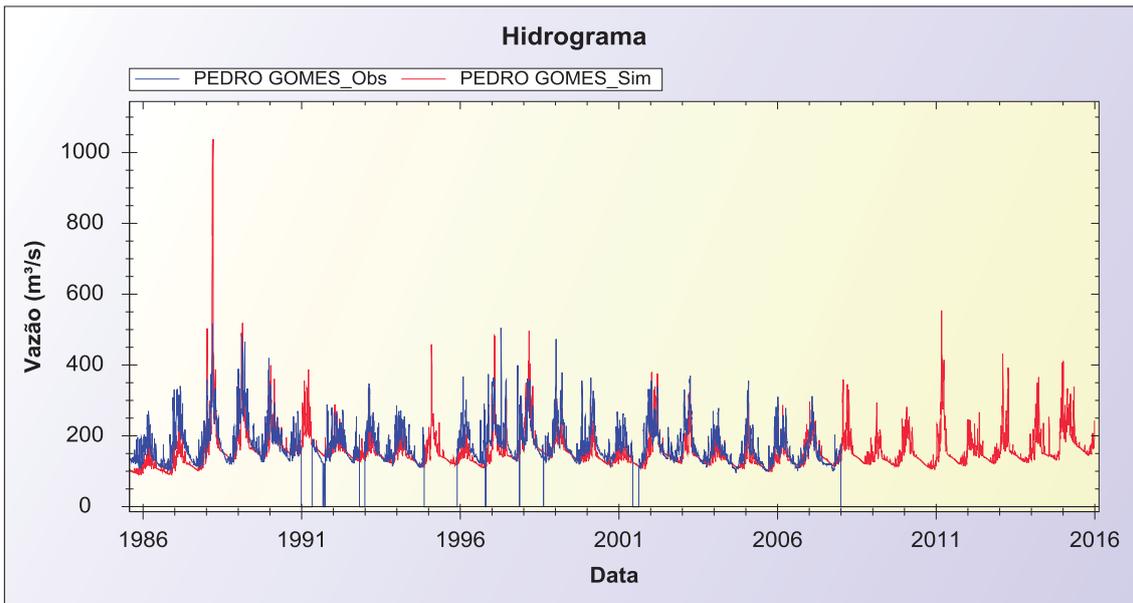
A seguir são mostrados os hidrogramas observados e simulados para as estações localizadas nos pontos mais a jusante das sub-bacias delimitadas. As medidas de desempenho para todos os postos fluviométricos são apresentadas na Tabela 6.

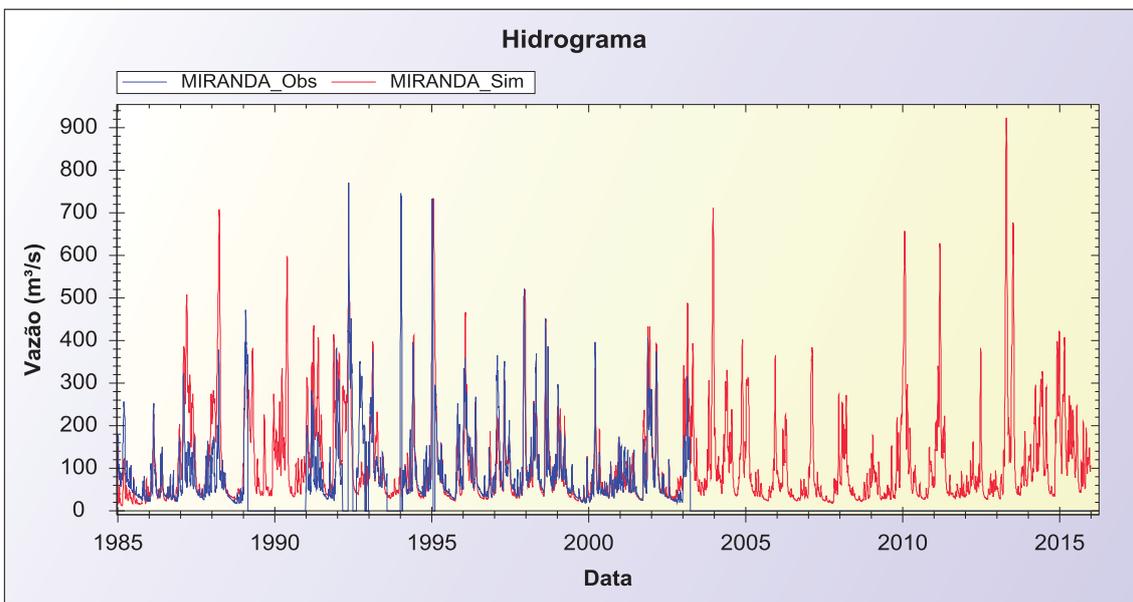
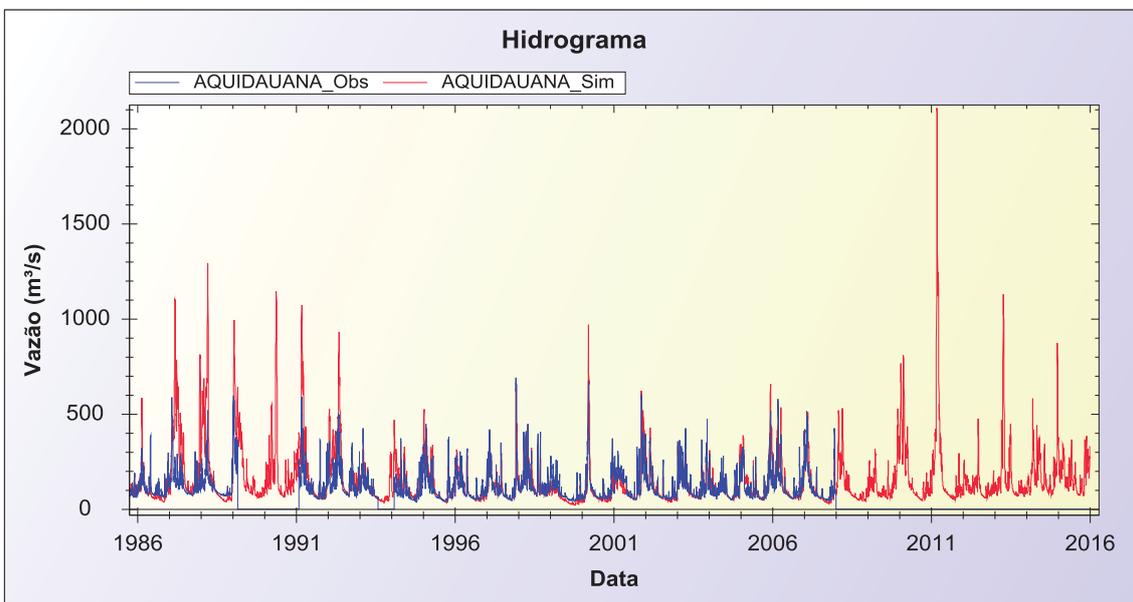
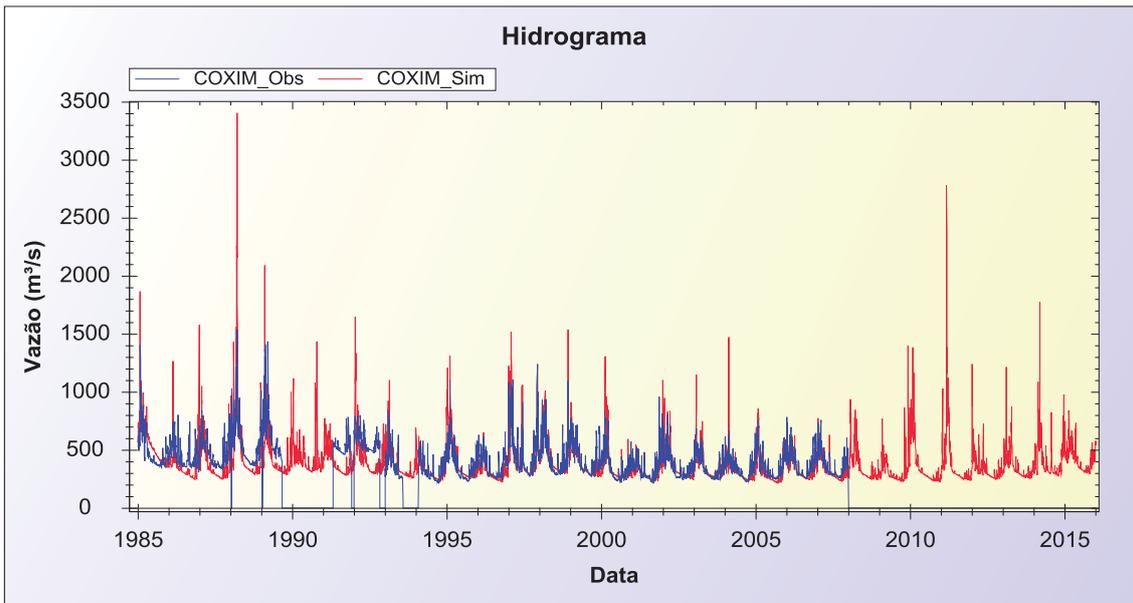












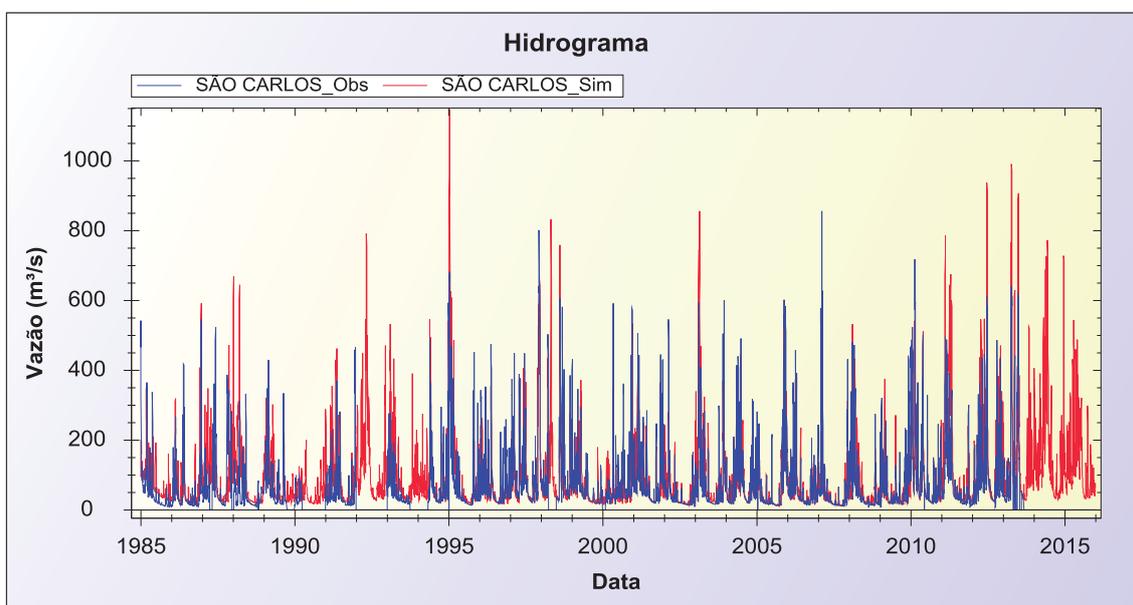
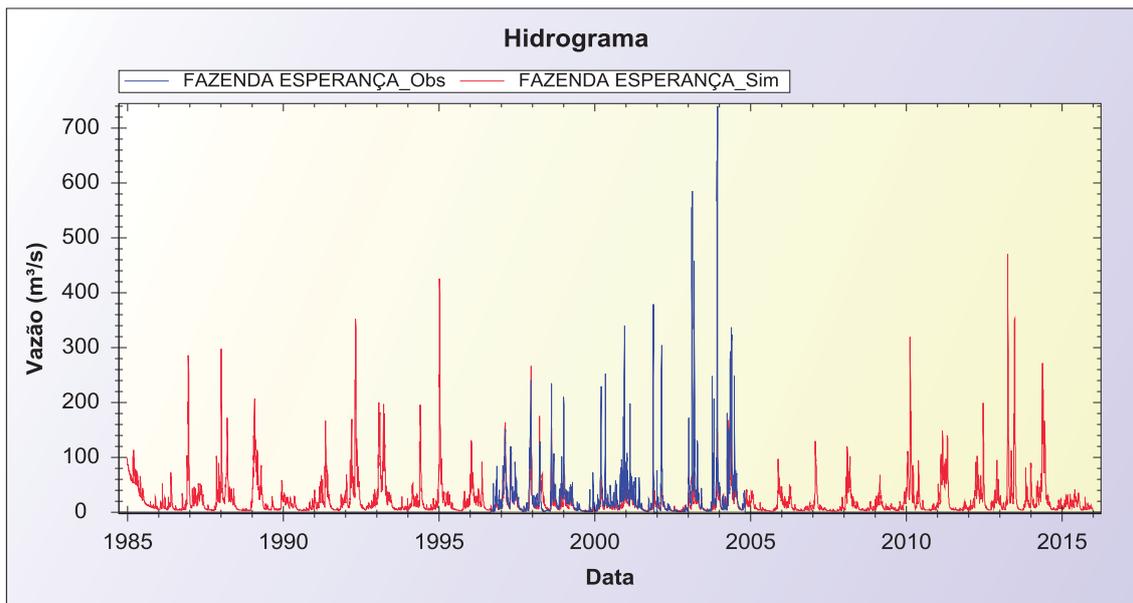


Tabela 6. Medidas de desempenho das simulações realizadas.

Posto	Código	Rio	Nash	Nash-Log	BIAS
ÁGUA SUJA	66071400	RIO JAURU	-0.368	-0.355	-18.781
FAZENDA SALU	66071300	RIO JAURU	-5.590	-6.842	-27.765
BAIA GRANDE	66076000	RIO JAURU	-6.852	-1.193	48.570
PORTO ESPERIDIÃO	66072000	RIO JAURU	0.402	0.502	-13.569
ESTRADA MT-125	66065000	RIO CABAÇAL	0.502	0.540	-17.283
CACHOEIRA	66040000	RIO SEPOTUBA	-2.839	-0.654	29.551
SÃO JOSÉ DO SEPOTUBA	66055000	RIO SEPOTUBA	0.628	0.701	-7.349
NORTELÂNDIA	66006000	RIO SANTANA	-0.253	0.309	-18.858
JAUQUARA	66008000	RIO JAUQUARA	0.217	0.527	-37.292
BARRA DO BUGRES	66010000	RIO PARAGUAI	0.675	0.806	-5.774
CÁCERES (DNPVN)	66070004	RIO PARAGUAI	0.816	0.851	2.028
PORTO ESTRELA	66015000	RIO PARAGUAI	0.743	0.829	-6.254
MONTANTE DA BARRA	66200000	RIO DA CASCA	0.226	0.433	3.273
MARZAGÃO	66140000	RIO CUIABÁ	0.401	0.692	-41.700

QUEBÓ	66160000	RIO CUIABÁ	0.599	0.789	-25.052
ACORIZAL	66255000	RIO CUIABÁ	0.758	0.825	-3.814
CUIABÁ	66260001	RIO CUIABÁ	0.748	0.821	-5.508
ROSÁRIO OESTE	66250001	RIO CUIABÁ	0.709	0.784	-6.497
SÃO LOURENÇO DE FÁTIMA	66400000	RIO SÃO LOURENÇO	0.218	0.537	-2.998
SÃO PEDRO DA CIPA	66380000	RIO SÃO LOURENÇO	0.195	0.561	0.497
JARUDORE	66430000	RIO VERMELHO	-0.193	-0.024	-18.304
PEDRA PRETA	66440000	RIO JORIGUE	0.117	0.247	13.179
RONDONÓPOLIS	66450001	RIO VERMELHO	0.250	0.615	-0.919
PONTE DE PEDRA	66455000	RIO PONTE DE PEDRA	0.374	0.575	-5.208
ACIMA DO CÓRREGO GRANDE	66460000	RIO SÃO LOURENÇO	0.588	0.823	-1.028
ITUIQUIRA	66520000	RIO ITUIQUIRA	-0.085	0.260	-11.629
ESTRADA BR-163	66490000	RIO CORRENTES	0.133	0.080	2.040
ESTRADA BR-163	66480000	RIO PIQUIRI	0.325	0.178	0.598
PEDRO GOMES	66845000	RIO TAQUARI	0.382	0.491	-10.056
CONTRAVENTENTE	66850000	RIO JAURU	0.272	0.384	-8.913
SÃO GABRIEL DO OESTE	66860000	RIO COXIM	-3.680	-3.559	3.252
CONFLUÊNCIA RIO JAURU	66849000	RIO COXIM	0.372	0.379	-11.368
COXIM	66870000	RIO TAQUARI	0.326	0.531	-7.282
PRÓXIMO RIO VERDE	66865000	RIO TAQUARIZINHO	-0.363	-0.752	33.864
PERTO DA BOCAINA	66886000	RIO NEGRO	-1.034	-0.124	32.922
PRÓXIMO PERDIGÃO	66888200	RIO NEGRINHO	-0.618	-0.085	-12.844
AQUIDAUANA	66945000	RIO AQUIDAUANA	-0.403	0.491	19.416
PALMEIRAS (JANGO)	66941000	RIO AQUIDAUANA	0.141	0.351	0.263
MIRANDA	66910000	RIO MIRANDA	0.273	0.579	15.671
BAIA GRANDE	67175000	RIO PERDIDO	-0.362	0.358	-11.364
FAZENDA ESPERANÇA	67176000	RIO PERDIDO	0.352	0.660	-42.518
SÃO CARLOS	67170000	RIO APA	0.484	0.620	11.039

4.2 Aplicação do modelo SIRIPLAN à planície

4.2.1 Abrangência, discretização espacial e condições de contorno

A abrangência espacial da simulação da planície é a descrita no relatório do produto 4, compreendendo 219.514 km² (Figura 28), discretizada em células de dimensões 0,02 x 0,02° (aproximadamente 2 x 2 km; total de 46741 elementos).

Como condições de contorno, são consideradas as vazões afluentes à planície ao longo dos rios principais, tendo como seções de referência os postos fluviométricos Cuiabá (Rio Cuiabá), Acima do Córrego Grande (rio São Lourenço), São Jerônimo (Rio Piquiri), Porto Espiridião (Rio Juru), Cáceres (rio Paraguai), Coxim (Rio Taquari), Perto da Bocaina (Rio Negro), Aquidauana (Rio Aquidauana) e Miranda (Rio Miranda) (Tabela 7). Todas essas séries de vazões foram geradas para o período inteiro da simulação a nível diário com a simulação do modelo hidrológico MGB-IPH aplicado a cada uma das sub-bacias a montante desses postos fluviométricos (tal qual descrito anteriormente neste relatório).

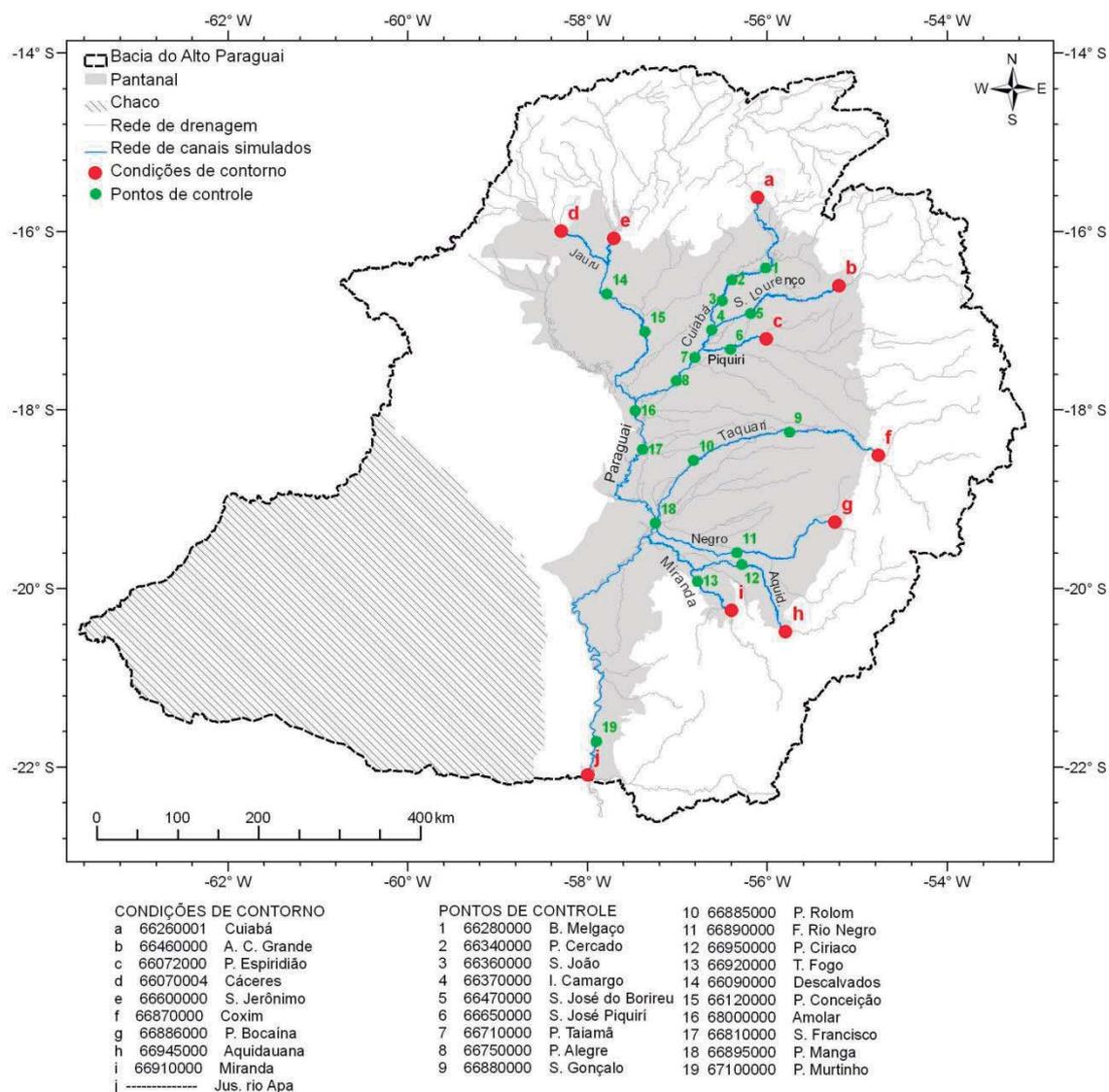


Figura 28. Rede de drenagem representada no modelo 1D com indicação das condições de contorno, pontos de controle e bacias contribuintes do Planalto.

Tabela 7 - Listagem dos postos fluviométricos e sub-bacias contribuintes do Planalto considerados como condições de contorno para simulação da planície com o modelo SIRIPLAN.

Posto fluviométrico que define a condição de contorno		Rio	Área de drenagem (km ²)	Tipo de condição de contorno
Código	Nome			
66260001	Cuiabá	Cuiabá	24.668	
66460000	Acima do Córrego Grande	São Lourenço	23.327	Vazões diárias calculadas com o modelo hidrológico MGB-IPH
66600000	São Jerônimo	Piquiri	9.215	
66072000	Porto Espiridião	Jauru	6.221	

66070004	Cáceres	Paraguai	32.574
66870000	Coxim	Taquari	28.688
66886000	Perto da Bocaína	Negro	2.807
66945000	Aquidauana	Aquidauana	15.350
66910000	Miranda	Miranda	15.502
total			158.302

4.2.2 Dados utilizados

Dados pluviométricos

Para a simulação hidrológica da planície com o SIRIPLAN, foram utilizados dados de precipitação de 105 postos pluviométricos distribuídos espacialmente sobre a BAP (Figura 29). Todos os dados de precipitação foram coletados do Sistema de Informações Hidrológicas HydroWeb da ANA. A relação dos postos pluviométricos e a indicação da disponibilidade de dados em cada um deles são apresentadas nos Anexos A e B.

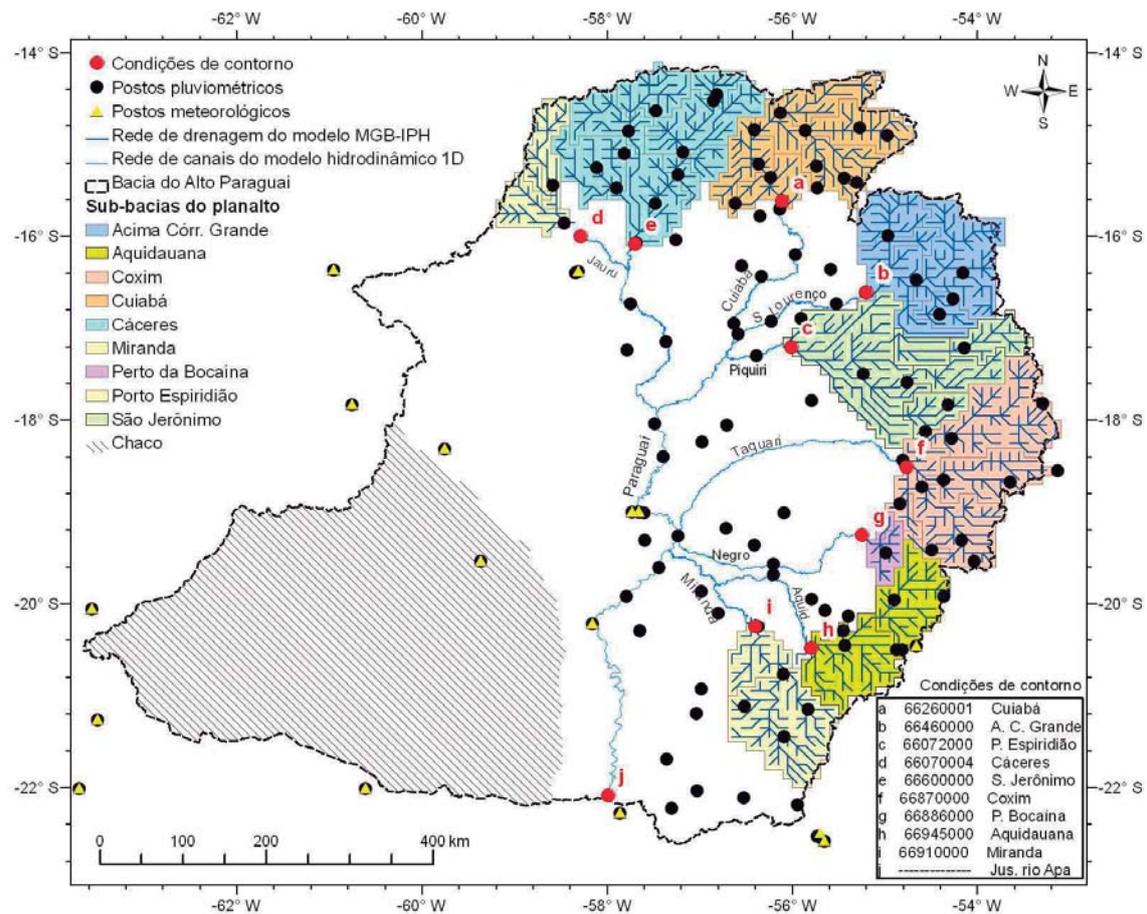


Figura 29. Sub-bacias do Planalto simuladas com o modelo hidrológico MGB-IPH e consideradas como condições de contorno do modelo hidrodinâmico 1D.

Dados fluviométricos

Dados fluviométricos foram utilizados como condição de contorno ou para ajuste do modelo da planície. Como condição de contorno do modelo hidrodinâmico 1D integrante do SIRIPLAN, foram utilizados dados de vazão diária observadas, complementados quando faltosos por dados de vazão calculadas com o modelo hidrológico aplicado às bacias contribuintes do Planalto (Figura 29 e Figura 30). Um resumo da ocorrência de falhas nas séries históricas diárias dos postos selecionados como condição de contorno é apresentado na Figura 31, mas o detalhamento da disponibilidade de dados consta no Anexo C.

Na ocorrência de falhas nos dados observados nas condições de contorno, foi feita a substituição das falhas por dados calculados com a abordagem desenvolvida em Tucci et al. (2005), estendendo o período das simulações até 2006. Nesse estudo, toda a região da BAP foi simulada com a combinação de um modelo hidrológico distribuído (modelo MGB-IPH) com um modelo hidrodinâmico 1D (modelo HEC-RAS) e células de armazenamento na planície. A região do Planalto foi simulada em Tucci et al. (2005) com o modelo MGB-IPH, considerando o módulo original de propagação de vazões do tipo Muskingum-Cunge.

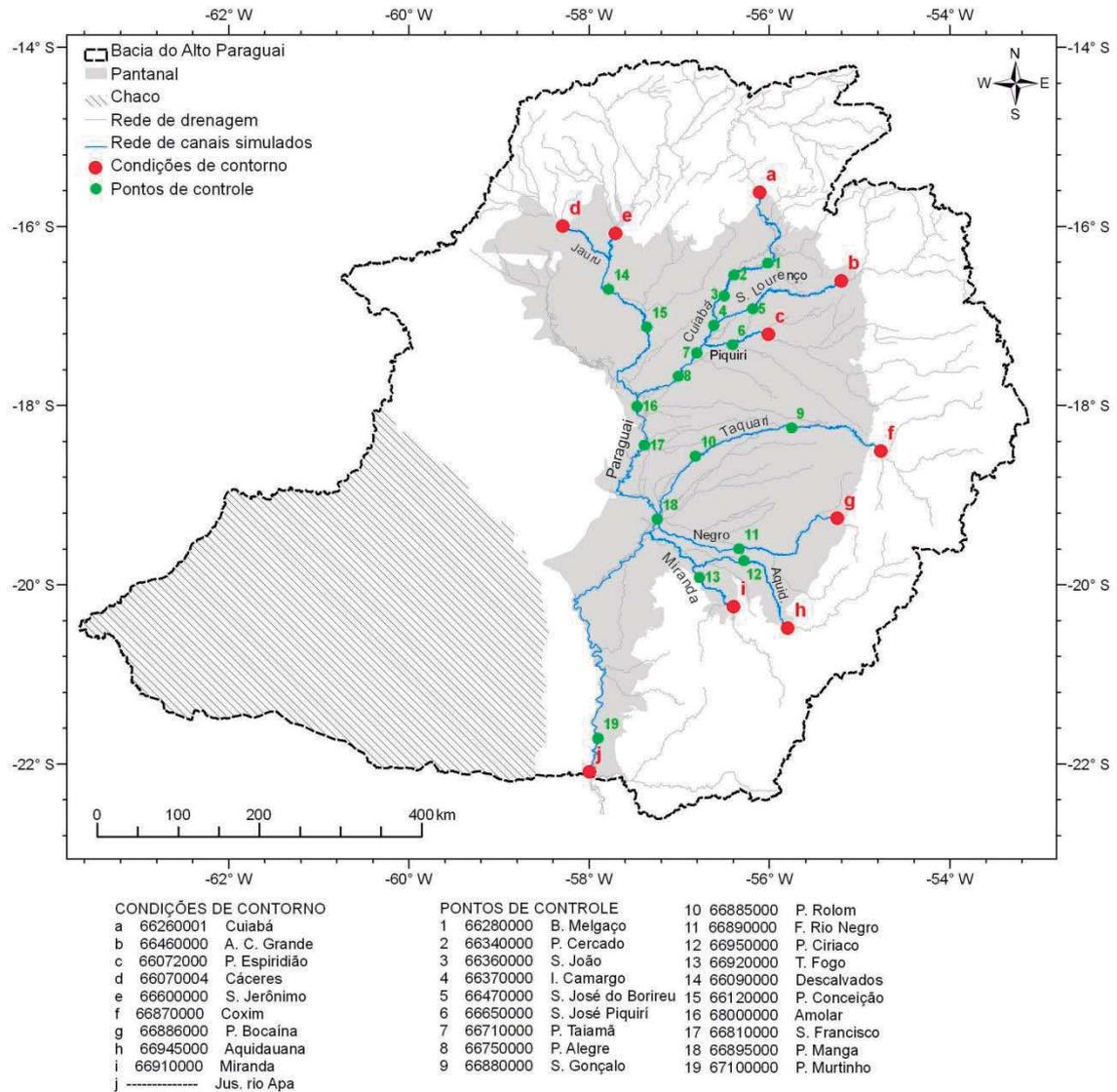


Figura 30. Rede de drenagem representada no modelo 1D com indicação das condições de contorno, pontos de controle e bacias contribuintes do Planalto.

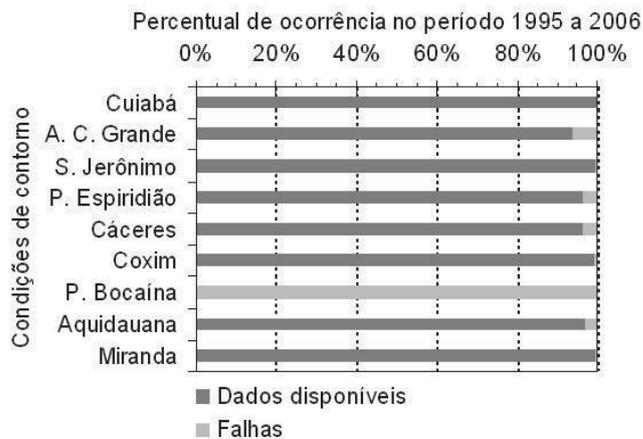


Figura 31. Disponibilidade de dados e ocorrência de falhas nos postos fluviométricos considerados condições de contorno do modelo 1D aplicado à BAP.

Foram definidos como pontos de controle 19 postos fluviométricos localizados ao longo dos trechos de rio representados no modelo hidrodinâmico 1D (Tabela 8). Trata-se de pontos utilizados para verificar os hidrogramas calculados nas simulações e para analisar as trocas laterais entre rio-planície.

Tabela 8 - Postos fluviométricos utilizados como pontos de controle na modelagem dos canais principais do Rio Paraguai e afluentes.

Referência	Código	Nome	Rio
1	66280000	B. Melgaço	Cuiabá
2	66340000	P. Cercado	Cuiabá
3	66360000	S. João	Cuiabá
4	66370000	I. Camargo	Cuiabá
5	66470000	S. J. Borireu	S. Lourenço
6	66650000	S. J. Piquiri	Piquiri
7	66710000	P. Taiamã	Cuiabá
8	66750000	P. Alegre	Cuiabá
9	66880000	S. Gonçalo	Taquari
10	66885000	P. Rolom	Taquari
11	66890000	F. R. Negro	Negro
12	66950000	P. Ciríaco	Aquidauana
13	66920000	T. Fogo	Miranda
14	66090000	Descalvados	Paraguai
15	66120000	P. Conceição	Paraguai
16	66800000	Amolar	Paraguai
17	66810000	S. Francisco	Paraguai
18	66895000	P. Manga	Paraguai
19	67100000	P. Murtinho	Paraguai

À exceção de quatro dos pontos de controle, a comparação entre vazões calculadas e observadas foi utilizada como critério para o ajuste do modelo 1D. Nos postos fluviométricos São Gonçalo, Porto Rolom, Fazenda Rio Negro e Tição de Fogo tal comparação não foi realizada por indisponibilidade de dados observados. Um resumo da disponibilidade de dados e ocorrência de falhas nos dados diários dos postos selecionados como pontos de controle é apresentado na Figura 32, enquanto o detalhamento de tal análise consta no Anexo D.

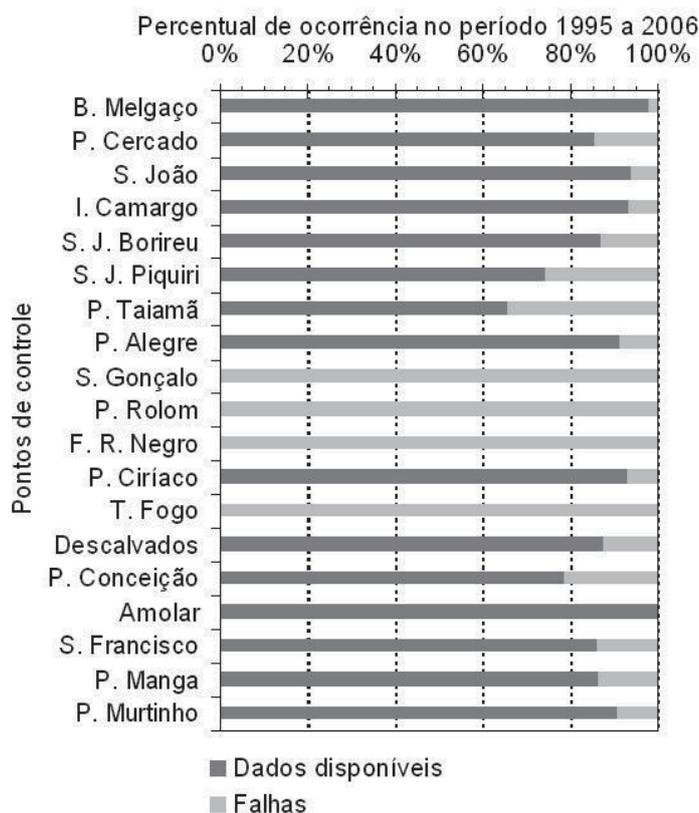


Figura 32. Disponibilidade de dados e ocorrência de falhas nos postos fluiométricos tomados como pontos de controle do modelo 1D aplicado à BAP.

Estimativas de evapotranspiração potencial

Como dados de evapotranspiração potencial (ETpot) requeridos como entrada para a simulação hidrológica com o SIRIPLAN, foram consideradas as estimativas diárias geradas pelo modelo hidrológico MGB-IPH ajustado à Bacia do Alto Paraguai por Tucci et al. (2005). Trata-se do mesmo modelo aplicado às sub-bacias do Planalto, já descrito, mas tomando como domínio modelado toda a BAP.

Para cada célula do modelo hidrológico MGB-IPH aplicado à BAP, foram tomadas as estimativas diárias de ETpot para a unidade de resposta hidrológica água, que representa a condição de evaporação potencial da lâmina de água no modelo de inundação. Tais dados de ETpot gerados para a grade de 0,1º x 0,1º foram interpolados para a grade do modelo de inundação da planície de 0,02º x 0,02º, pelo método do inverso do quadrado da distância.

Modelo digital de elevação

O valor da elevação do terreno em cada elemento da planície foi definido por reamostragem do MDE proveniente do SRTM da resolução original de 90 m (0,008333º) para a resolução de 0,02º (Figura 33). A extensão da planície de inundação representada no modelo de inundação foi definida com base na delimitação das bacias contribuintes do Planalto, na topografia do MDE do SRTM e na localização dos postos fluiométricos tomados como condição de contorno

do modelo 1D. Ao total, foi estabelecida uma área de planície de 219.514 km² para a simulação com o modelo SIRIPLAN.

A discretização da planície no SIRIPLAN foi considerada em termos de uma grade regular com elementos de dimensões 0,02^o x 0,02^o, totalizando 46.741 elementos. Em unidades planas, a discretização equivale a células de dimensões em torno de 2 km, com área superficial variando de 4,58 a 4,78 km² conforme a posição geográfica.

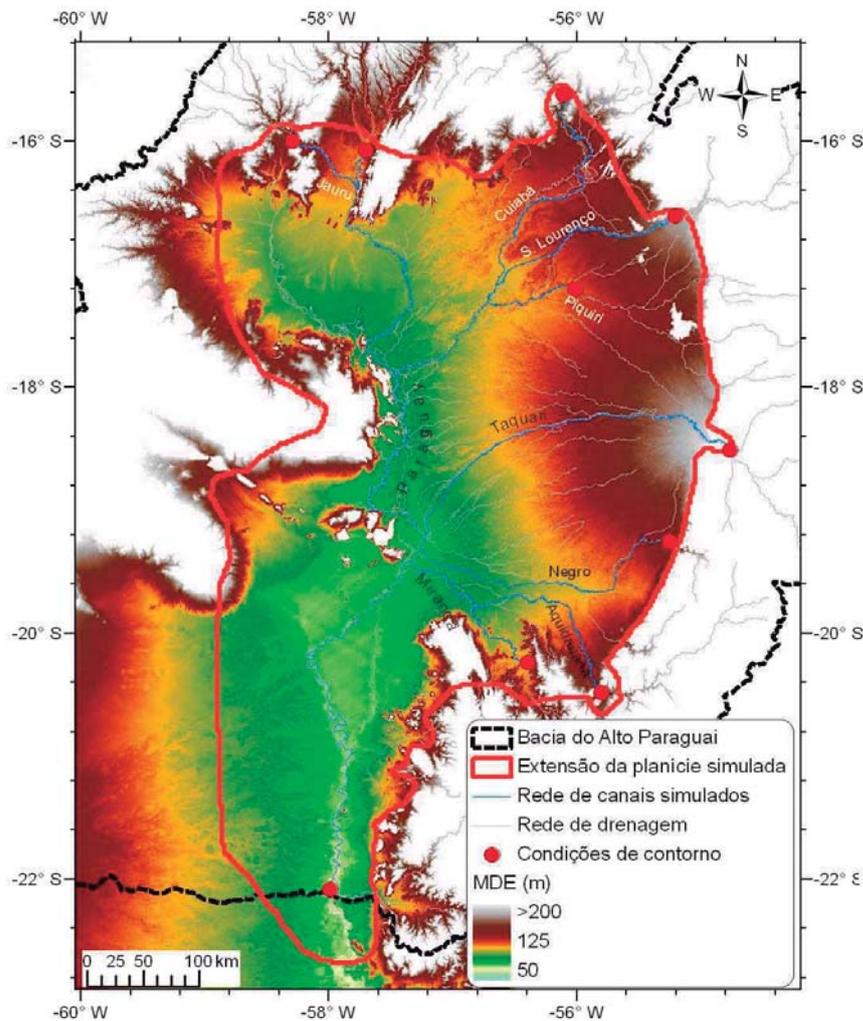


Figura 33. Modelo digital de elevação da Bacia do Alto Paraguai derivado dos dados do SRTM com delimitação da área da planície representada no modelo de inundação.

Hidrografia

A rede de drenagem representada no modelo 1D integrante do SIRIPLAN compreende simplificada apenas o rio Paraguai e seus principais afluentes: rio Juru na margem direita do rio Paraguai e rios Cuiabá, São Lourenço, Piquiri, Taquari, Negro, Aquidauana e Miranda na margem esquerda do rio Paraguai (Figura 30). Tanto para o rio Paraguai quanto para os tributários, a extensão representada no modelo 1D exclui os trechos no Planalto e abrange apenas os trechos dentro do Pantanal, que é onde ocorrem as inundações da planície devido ao extravasamento dos canais principais.

O traçado dos canais foi obtido por digitalização manual sobre imagens Landsat7 ETM+, sendo que a extremidade a montante (condição de contorno) de cada rio foi definida segundo a delimitação das regiões Planalto e Pantanal e a disponibilidade de postos fluviométricos com dados observados. Ao total, são 3965 km de rios simulados no modelo 1D, sendo 1250 km do Rio Paraguai e 2715 km dos tributários (Tabela 9).

Tabela 9 - Descrição dos trechos de rio representados na modelagem 1D da BAP, com comprimentos estimados a partir de digitalização sobre imagens de satélite.

Rio	Ponto a montante (condição de contorno)	Ponto a jusante	Comprimento (km)	Seções transversais disponíveis
Cuiabá	Cuiabá (66260001)	Confl. com r. Paraguai	591,3	7
S. Lourenço	A. C. Grande (66460000)	Confl. com r. Cuiabá	336,3	2
Piquiri	S. Jerônimo (66460000)	Confl. com r. Cuiabá	144,3	2
Jauru	P. Esperidião (66072000)	Confl. com r. Paraguai	143,1	1
Taquari	Coxim (66870000)	Confl. com r. Paraguai	451,9	1
Negro	P. Bocaína (66886000)	Confl. com r. Paraguai	389,8	2
Aquidauana	Aquidauana (66945000)	Confl. com r. Miranda	337,6	2
Miranda	Miranda (66910000)	Confl. com r. Paraguai	320,5	2
Paraguai	Cáceres (66070004)	Foz do rio Apa	1250,0	310

A disponibilidade de dados de seções transversais é bastante limitada para os tributários do rio Paraguai. Dados de apenas 19 perfis transversais estavam disponíveis para o conjunto de 2715 km dos trechos dos afluentes simulados (Tabela 9), os quais são provenientes da HidroWEB/ANA. Além disso, para a maioria dos perfis disponíveis há incerteza quanto à informação do zero da régua e dos dados em si.

Entre as seções disponíveis nos trechos dos afluentes, foram geradas seções intermediárias por interpolação linear, procurando manter o espaçamento entre duas seções consecutivas quaisquer em torno de 5 km. A quantidade final de seções geradas por interpolação e o valor dos espaçamentos resultantes foram posteriormente atualizados ao estabelecer a conexão entre canais e elementos da discretização da planície no modelo de inundação.

Devido à incerteza no zero da régua, o posicionamento vertical das seções dos afluentes foi orientado pelos valores de elevação do terreno referentes ao MDE da planície, derivado dos dados do SRTM, e também procurando obter declividades dos canais de drenagem coerentes com valores descritos em outros estudos (por exemplo: DNOS, 1974; Tucci et al., 2005; Paz et al., 2010).

Para o rio Paraguai há a disponibilidade de 310 perfis transversais, espaçados entre si de 600 a 8200 m. Trata-se de um conjunto de informações suficiente para a caracterização da calha do

rio Paraguai no trecho em estudo, não sendo necessária a interpolação para geração de seções adicionais. Do total de perfis disponíveis, 275 foram efetivamente selecionados e utilizados para alimentar o modelo 1D. Os demais perfis foram excluídos por terem espaçamento em relação às seções a montante e a jusante insuficiente para estabelecer a conexão com elementos distintos da planície – cada seção do canal deve estar, obrigatoriamente, conectada a um elemento exclusivo da planície.

Os dados de elevação do terreno das seções transversais do rio Paraguai estão referidos ao elipsóide WGS-84 (World Geographic System 1984) como datum vertical. Tais dados foram convertidos para ter como datum vertical o geóide EGM-96 (Earth Gravitational Model 1996), que é a referência dos dados do MDE do SRTM, utilizado para representar a topografia da planície na modelagem.

4.2.3 Calibração do modelo de simulação hidrológica da planície

Metodologia de calibração do modelo de simulação hidrológica da planície

Como o SIRIPLAN é composto por um modelo hidrodinâmico 1D aplicado aos canais principais e por um modelo 2D de inundação aplicado à planície propriamente dita, ambos modelos foram ajustados de forma conjunta. Os hidrogramas ao longo da rede de drenagem principal e o padrão de inundação na planície foram basicamente os elementos utilizados para a definição do ajuste dos parâmetros de ambos os modelos.

A calibração conjunta dos dois modelos foi realizada em três grandes etapas, como descrito em Paz (2010): 1) Ajuste dos parâmetros do modelo 2D com valores iniciais arbitrados para o modelo 1D; 2) Ajuste dos parâmetros do modelo 1D considerando os valores ajustados para o modelo 2D na etapa anterior; 3) Análise de sensibilidade do modelo 2D à variação dos parâmetros calibráveis considerando os valores ajustados para o modelo 1D.

Na primeira etapa, foi adotado um valor único do coeficiente de Manning para todos os trechos de rio simulados no modelo 1D. Tal valor foi escolhido como 0,035, conforme recomendação para rios naturais com seções irregulares e rugosas (Chow, 1959, 1964).

Com essa configuração no modelo 1D, foram realizadas várias simulações variando-se os valores dos parâmetros calibráveis do modelo de inundação 2D. Esse modelo tem dois parâmetros calibráveis: o fator de condutância hidráulica (fch) e a capacidade máxima do reservatório do solo (Hsmax). Tais parâmetros podem variar espacialmente, isto é, cada elemento da discretização do modelo pode assumir valores distintos dos demais. Neste estudo, entretanto, foi adotada por simplificação a homogeneidade espacial desses dois parâmetros.

Os resultados desse primeiro conjunto de rodadas foram analisados quanto à sensibilidade do modelo de planície aos seus parâmetros, considerando tanto os padrões de inundação simulados quanto o efeito deles sobre os hidrogramas calculados na rede de drenagem principal. Essas análises foram realizadas sob uma ótica mais geral, visando selecionar os valores de fch e Hsmax considerados mais razoáveis.

Como resultado desta primeira etapa da calibração do SIRIPLAN, os valores dos parâmetros do modelo 2D foram definidos como sendo $fch = 50$ e $H_{smax} = 1,0$ m. O parâmetro fch é uma combinação dos parâmetros coeficiente de Manning, largura e comprimento dos canais de ligação entre os elementos do modelo 2D. Logo, para cada valor de fch existem infinitas combinações possíveis dos três parâmetros. Por exemplo, ao valor do parâmetro fch ajustado equivale a combinação de um coeficiente de rugosidade de Manning igual a 0,05 e um canal com largura 50 m e comprimento 500 m – valores razoáveis para as condições de inundação nas planícies do Pantanal.

Mantendo os parâmetros da planície com os valores definidos na etapa anterior, procedeu-se à calibração detalhada do modelo hidrodinâmico 1D através da comparação entre hidrogramas observados e calculados ao longo dos canais principais e da análise das trocas de vazão lateral canal-planície. O único parâmetro considerado calibrável no modelo 1D foi o coeficiente de rugosidade de Manning.

O parâmetro b_v , relativo à largura do vertedor das ligações canal-planície, foi mantido com valor fixo igual a 15 m em todas as simulações. Esse parâmetro influi diretamente no ajuste dos coeficientes de Manning e, por simplificação para trabalhar com apenas um parâmetro de ajuste, o valor de b_v foi mantido fixo com um valor considerado razoável do ponto de vista físico.

O procedimento de ajuste dos coeficientes de Manning no modelo 1D foi realizado inicialmente para todos os tributários e em seguida para o rio Paraguai. Em cada rio, o ajuste foi realizado de montante para jusante, tomando um a um cada segmento de rio definido entre dois postos fluviométricos com dados disponíveis (condições de contorno e/ou pontos de controle).

Para cada segmento de rio, a calibração do Manning foi efetuada por um processo manual, variando-se o valor de tal coeficiente e avaliando-se os resultados correspondentes em termos de comparação entre hidrogramas observado e calculado. Em alguns casos, o ajuste foi realizado procurando retratar alguma característica típica no hidrograma, mas sem efetuar a comparação com dados observados por indisponibilidade destes. Em outras situações, também motivado por falta de dados, foi mantido o valor do coeficiente de Manning ajustado em trecho a montante do mesmo rio ou mantido o valor base inicial de 0,035.

O terceiro conjunto de rodadas foi realizado considerando os valores do coeficiente de Manning calibrados no modelo hidrodinâmico (Figura 34) e variando-se os parâmetros do modelo de planície. A motivação dessas rodadas foi avaliar a sensibilidade dos resultados de ambos os modelos aos parâmetros da planície, dado o modelo hidrodinâmico ajustado aos canais principais.

Posteriormente à calibração em si, os resultados também foram avaliados quanto à reprodução de níveis observados na calha principal dos rios e quanto aos padrões de inundação na planície.

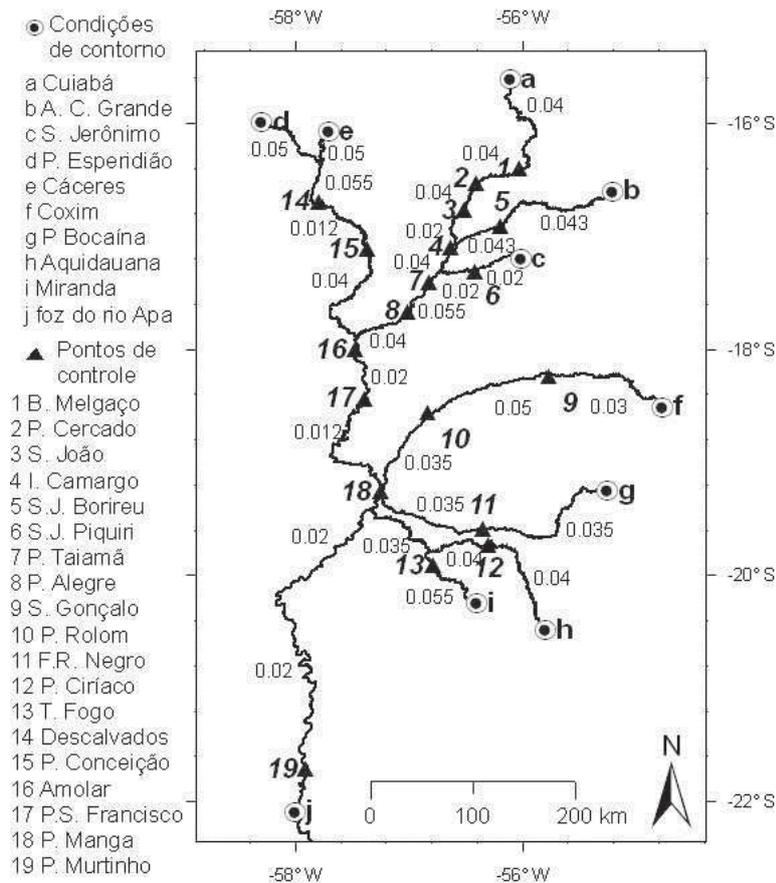


Figura 34 - Valores ajustados dos coeficientes de Manning nos canais principais simulados com o modelo hidrodinâmico 1D do SIRIPLAN.

Medidas de desempenho

Para avaliação dos hidrogramas diários observados e calculados ao longo dos canais principais, foi adotada a comparação visual e o cálculo de cinco medidas de desempenho: o coeficiente de Nash-Sutcliffe aplicado às vazões (NS – eq. 61) e o mesmo coeficiente aplicado ao logaritmo das vazões (NS_{\log} - eq. 62); o erro de volume (EVol – eq. 63), a raiz do erro médio quadrático (REM Q – m^3/s , eq. 64) e o coeficiente de correlação (R).

$$NS = 1 - \frac{\sum (Q'_{obs} - Q'_{calc})^2}{\sum (Q'_{obs} - \overline{Q}_{obs})^2} \quad \text{Equação 61}$$

$$NS_{\log} = 1 - \frac{\sum [\log(Q'_{obs}) - \log(Q'_{calc})]^2}{\sum [\log(Q'_{obs}) - \log(\overline{Q}_{obs})]^2} \quad \text{Equação 62}$$

$$EVol = \frac{\sum Q'_{calc} - \sum Q'_{obs}}{\sum Q'_{obs}} \quad \text{Equação 63}$$

$$REMQ = \frac{1}{N} \left[\sum (Q'_{calc} - Q'_{obs})^2 \right]^{1/2} \quad \text{Equação 64}$$

Sendo Q_{obs}^t e Q_{calc}^t as vazões diárias observadas e calculadas, respectivamente, no instante de tempo t, $\overline{Q_{obs}}$ a vazão observada média, e N o número de observações disponíveis.

A comparação entre níveis de água calculados e observados em seções transversais também foi realizada. Porém, em função da incerteza do referencial (zero da régua limnimétrica) dos dados observados, e considerando como interesse a variabilidade e os valores relativos, e não os valores absolutos de elevação com relação a um referencial, foi aplicada uma transformação nos dados de níveis d'água observados e calculados do tipo (Paiva, 2009):

$$Z_{red}^t = Z^t - \frac{1}{N} \sum Z^t$$

Equação 65

onde Z_{red} é o nível d'água reduzido no instante t em uma determinada seção transversal, Z é o nível d'água observado ou calculado e N a quantidade de dados.

Para a comparação entre níveis d'água reduzidos, foram consideradas as medidas de desempenho NS e R, além da comparação visual dos cotogramas.

Para avaliação dos padrões de inundação simulados nas planícies, foi observado principalmente de forma qualitativa o comportamento das inundações simuladas frente ao conhecimento prévio da região, com base em literatura (e.g. Assine, 2005; Hamilton et al., 1996; Padovani, 2007).

O padrão de áreas inundadas foi comparado às estimativas de Hamilton et al. (1996), que analisaram imagens do sensor SMMR (Scanning Multichannel Microwave Radiometer, satélite Nimbus-7) referentes a um período de 9 anos (1979-1987). Os resultados obtidos por Hamilton et al. (1996) ressaltaram as diferenças na sazonalidade e variabilidade anual da inundação entre as diversas sub-regiões do Pantanal (Figura 35). Entretanto, tais resultados são limitados a descrever o padrão geral da inundação no Pantanal em termos de área inundada, em função da pequena resolução espacial das imagens de satélites utilizadas (27 km), e com intervalo de tempo mensal. Não foram produzidas nesse estudo análises ou resultados acerca do padrão espacial ou manchas de inundação na planície.

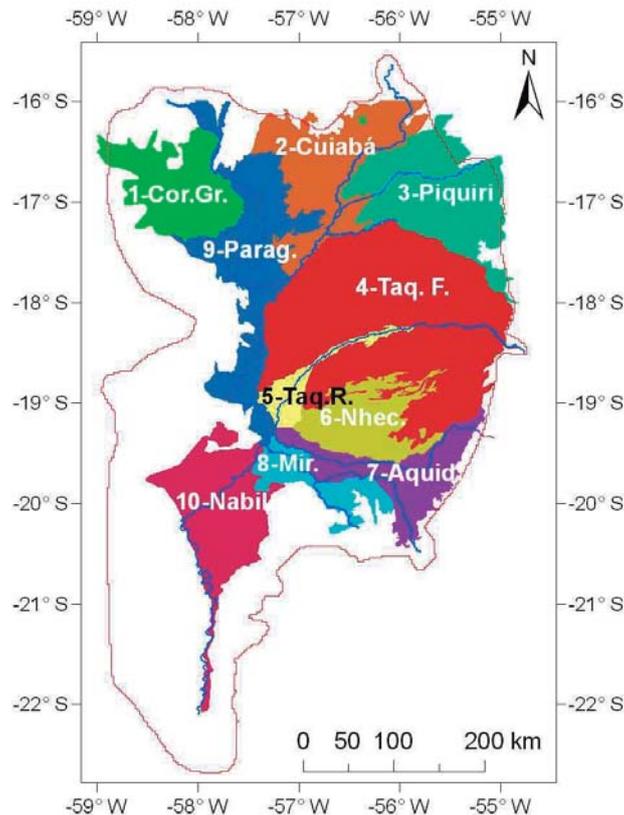


Figura 35. Sub-regiões do Pantanal segundo delimitação feita por Hamilton et al. (1996), sendo o domínio simulado com o SIRIPLAN indicado pelo contorno vermelho.

De forma complementar, foram calculadas medidas de desempenho para quantificar as diferenças entre os mapas de inundação calculados com o SIRIPLAN e os mapas estimados a partir de sensoriamento remoto no trabalho de Padovani (2007).

No estudo realizado por Padovani (2007), foram geradas estimativas de manchas de inundação em todo o Pantanal em duas datas específicas, uma no período de estiagem (06/out/2004) e outra no período de cheias (13/fev/2005). Tais estimativas foram geradas a partir de imagens orbitais do sensor WFI (Wide Field Imager) do satélite CBERS2. A resolução espacial dessas imagens é de 258 m e uma única cena imageada abrange toda a região do Pantanal, não sendo necessária composição de cenas para uma mesma data. Padovani (2007) utilizou o método de fatiamento do histograma e a composição colorida como referência, além de fotografias aéreas georreferenciadas e imagens Landsat como auxiliares, para determinar a distinção entre áreas consideradas inundadas das não inundadas.

Foi feita uma comparação pixel a pixel entre as imagens de inundação derivadas das simulações com o SIRIPLAN e as estimadas por Padovani (2007) para cada data. Foram geradas tabelas de contingência 2x2 do tipo inundado/não inundado e calculados índices de desempenho (Tabela 10; Wilks, 2006; Stephenson, 2000). Essa análise foi restrita aos elementos situados na interseção entre o domínio de simulação e a delimitação do estudo de Padovani (2007).

As estatísticas derivadas das tabelas de contingência também foram calculadas para sub-regiões do Pantanal, utilizando delimitação feita por Hamilton et al. (1996). Nesse caso, para cada sub-região só entraram na análise comparativa os pixels situados na interseção entre o

domínio de simulação, a extensão do estudo com as imagens orbitais e a delimitação da própria sub-região.

Tabela 10 - Relação dos índices de desempenho derivados da tabela de contingência utilizados neste estudo.

Índice	Formulação	Significado	Valor
PC (proporção correta)	$PC = \frac{a+d}{n}$, onde $n = a+b+c+d$	Percentual de acertos geral, sem distinção entre acertos da ocorrência ou não ocorrência de inundação.	Varia de 0 a 1; Quanto maior o valor, melhor o desempenho.
ISC (índice de sucesso crítico)	$ISC = \frac{a}{a+b+c}$	Percentual de acertos nas estimativas, descontando as vezes em que a ocorrência (não inundação) foi corretamente prevista.	Varia de 0 a 1; quanto maior o valor, melhor o desempenho.
POD (probabilidade de detecção)	$POD = \frac{a}{a+c}$	Dado que a inundação ocorreu, percentual de acertos em estimar sua ocorrência.	Varia de 0 a 1; quanto maior o valor, melhor o desempenho.
TAF (taxa de alarme falso)	$TAF = \frac{b}{a+b}$	Dentre as vezes em que foi estimada a ocorrência da inundação, percentual em que a inundação não ocorreu.	Varia de 0 a 1; quanto menor o valor, melhor o desempenho.
BIAS (taxa de tendência)	$BIAS = \frac{a+b}{a+c}$	Relação entre o número de estimativas de ocorrência da inundação e o número de inundações ocorridos.	Assume qualquer valor > 0; Quanto mais próximo de 1 melhor o desempenho; se > 1 indica superestimativa da ocorrência do evento; se <1 indica subestimativa.

Onde a é a quantidade de vezes (pixels) em que a inundação ocorreu e sua ocorrência foi estimada; b é a quantidade de vezes (pixels) em que não ocorreu a inundação mas sua ocorrência foi estimada; c é a quantidade de vezes (pixels) em que ocorreu a inundação mas sua ocorrência não foi estimada; d é a quantidade de vezes (pixels) em que não ocorreu a inundação e sua ocorrência não foi estimada.

Resultados da calibração quanto ao regime de vazões na rede de drenagem principal

Visão geral

De modo geral, a qualidade do ajuste do modelo de simulação hidrológica na planície em termos da reprodução do regime de vazões na rede de drenagem principal é considerada

bastante satisfatória em termos das medidas de desempenho (Tabela 11). Para os tributários do rio Paraguai, foi obtido um coeficiente NS superior a 0,75 e de NSlog superior a 0,80, enquanto o valor absoluto do erro de volume foi inferior a 10%, à exceção do posto Ilha Camargo com um erro de -13,5%. O REMQ variou de menos de 20 m³/s em Porto Ciríaco até próximo de 100 m³/s em Pousada Taiamã. O coeficiente de correlação obtido ficou dentro da faixa de 0,88 a 0,97.

Para o rio Paraguai, os valores de NS e NSlog foram superiores a 0,60 e o valor absoluto de EVol foi inferior à 8% em todos os pontos de controle. O coeficiente de correlação variou de 0,83 a 0,96.

Tabela 11 - Medidas de desempenho do ajuste do modelo de simulação hidrológica da planície quanto à reprodução do regime de vazões diárias observadas na rede de drenagem principal.

Referência	Nome	Rio	Medidas de desempenho*				
			REMQ (m ³ /s)	NS	NSlog	EVol (%)	R
1	B. Melgaço	Cuiabá	70,2	0,94	0,97	-5,8	0,97
2	P. Cercado	Cuiabá	46,1	0,91	0,92	-4,6	0,96
3	S. João	Cuiabá	50,2	0,82	0,84	-8,8	0,93
4	I. Camargo	Cuiabá	85,3	0,78	0,80	-13,5	0,92
5	S. J. Borireu	S. Lour.	26,6	0,92	0,94	4,9	0,97
6	S. J. Piquiri	Piquiri	89,2	0,75	0,82	8,9	0,89
7	P. Taiamã	Cuiabá	98,5	0,90	0,92	-2,1	0,96
8	P. Alegre	Cuiabá	79,8	0,82	0,85	8,3	0,96
9	S. Gonçalves	Taquari	**	**	**	**	**
10	P. Rolom	Taquari	**	**	**	**	**
11	F. R. Negro	Negro	**	**	**	**	**
12	P. Ciríaco	Aquid.	18,0	0,76	0,83	-3,5	0,88
13	T. Fogo	Miranda	**	**	**	**	**
14	Descalvados	Paraguai	79,3	0,91	0,92	-5,0	0,96
15	P. Conceição	Paraguai	80,1	0,63	0,62	7,6	0,83
16	Amolar	Paraguai	180,7	0,67	0,72	6,3	0,88
17	S. Francisco	Paraguai	258,7	0,70	0,73	-2,0	0,86
18	P. Manga	Paraguai	191,3	0,82	0,76	2,5	0,90
19	P. Murtinho	Paraguai	343,5	0,61	0,65	-6,1	0,84

* Estatísticas calculadas considerando o período de 1dez1997 a 31dez2006, à exceção dos postos P. Manga e P. Murtinho, cujo período foi de 1dez2000 a 31dez2006 para retirar influência das condições iniciais.

** Estatísticas não calculadas por indisponibilidade de dados observados.

Tributários do rio Paraguai

A qualidade do ajuste do modelo em reproduzir o regime de vazões observado é atestada pela comparação visual entre os hidrogramas observados e calculados e pela análise das trocas laterais entre canal e planície. Por exemplo, o trecho do rio São Lourenço simulado compreende uma extensão de 336 km, desde o posto fluviométrico Acima do Córrego Grande (condição de contorno) até a confluência com o rio Cuiabá. Nesse trecho, o único ponto de controle considerado foi o posto São José do Borireu, a 250 km a jusante da condição de contorno. O ajuste do modelo em São José do Borireu resultou em $NS = 0,92$, $NSlog = 0,94$, $Evol = 4,9\%$ e $REMQ = 27 \text{ m}^3/\text{s}$. O modelo conseguiu representar a grande perda de água para a planície que ocorre a montante desse posto durante as cheias. Essa perda faz com que exista uma espécie de patamar no hidrograma limitando a vazão máxima em torno de $400 \text{ m}^3/\text{s}$ (Figura 36). Durante o período de estiagens, em torno de junho a dezembro, não houve trocas laterais simuladas entre canal e planície e as vazões calculadas em São José do Borireu também reproduziram o comportamento observado.

Em São José do Piquiri, no rio Piquiri a 80 km da condição de contorno, o ajuste resultou em $NS = 0,75$; $NSlog = 0,82$; $Evol = 8,9\%$ e $REMQ = 89 \text{ m}^3/\text{s}$. O hidrograma observado em São José do Piquiri tem picos de até $1050 \text{ m}^3/\text{s}$ no período de fevereiro a abril, enquanto os picos em São Jerônimo não ultrapassam o valor de $700 \text{ m}^3/\text{s}$ (Figura 36). No trecho de rio em questão, foi simulado um aporte de vazão da planície para a calha principal do rio com pico médio de $220 \text{ m}^3/\text{s}$ a cada ano durante as cheias, alcançando até $400 \text{ m}^3/\text{s}$, ou seja, em São José do Piquiri até pouco mais da metade da vazão de pico pode ser originada de aportes laterais.

A simulação do aporte de vazão lateral da planície para a calha principal, somado à vazão propagada desde montante pela calha principal, tornou possível a reprodução do hidrograma em São José do Piquiri de forma satisfatória. Cabe ressaltar que esse aporte de água pela planície nas simulações é em grande parte resultante do extravasamento do canal do rio São Lourenço, situado cerca de 35 km ao Norte do rio Piquiri. Tal volume de água escoou pela planície e aporta à calha do rio Piquiri.

No rio Aquidauana, foi simulado um trecho de 340 km, desde o posto fluviométrico Aquidauana (condição de contorno) até a confluência com o rio Miranda. O posto Porto Ciríaco, localizado a 230 km a jusante de Aquidauana, foi utilizado como ponto de controle e comparação entre hidrogramas observado e calculado. O ajuste do modelo no posto Porto Ciríaco obteve $NS = 0,76$, $NSlog = 0,83$, $Evol = -3,5\%$ e $REMQ = 18 \text{ m}^3/\text{s}$, sendo o modelo capaz de simular a grande perda de vazão do canal para a planície que ocorre no trecho a montante de Porto Ciríaco (Figura 36). Tal perda atinge picos de até $500 \text{ m}^3/\text{s}$ e faz com que o hidrograma nesse posto apresente um patamar de vazão máxima em torno de $150 \text{ m}^3/\text{s}$, enquanto as vazões máximas em Aquidauana se aproximam de $700 \text{ m}^3/\text{s}$.

Foi simulado também o trecho do rio Miranda desde o posto fluviométrico Miranda, considerado como condição de contorno, até a confluência com o rio Paraguai – um comprimento total de 321 km. A 123 km a jusante de Miranda está localizado o posto Tição de

Fogo, considerado como único ponto de controle, embora não tenha dados disponíveis de vazão observada para o período estudado. Os dados disponíveis para o referido posto são referentes ao período de 1968 a 1988 durante o qual se observam vazões inferiores a um patamar máximo em torno de 130 m³/s. Há, portanto, uma grande redução nas vazões máximas que fluem pela calha principal desde Miranda, onde as vazões de pico oscilam entre 300 e 550 m³/s. Essa característica do hidrograma em Tição de Fogo foi utilizada como base para o ajuste do modelo ao trecho do rio Miranda a montante. Os resultados obtidos em Tição de Fogo foram satisfatórios, já que as vazões máximas simuladas variam de 120 a 190 m³/s e o hidrograma resultante teve características semelhantes ao padrão observado no período com dados disponíveis.

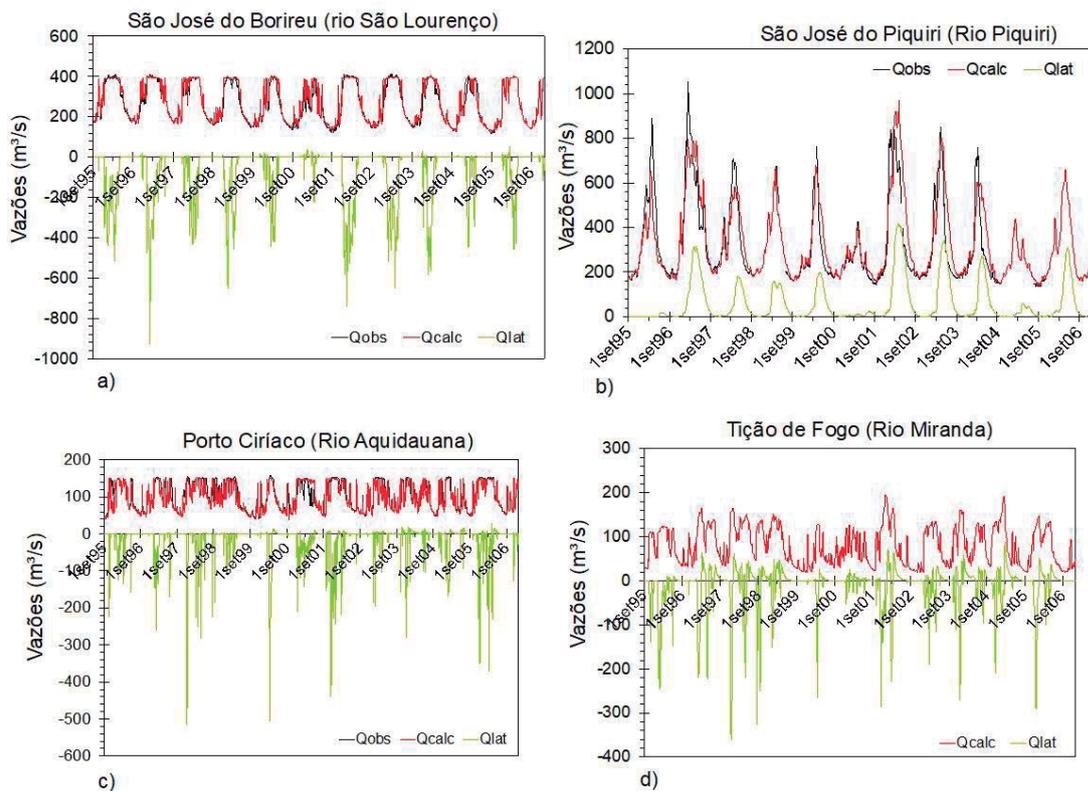


Figura 36. Hidrogramas observados (Qobs) e calculados (Qcalc) em seções dos rios São Lourenço, Piquiri e Aquidauana (Qlat representa a vazão lateral, sendo negativa quando no sentido canal-planície e positiva no sentido oposto).

O rio Cuiabá foi simulado considerando o trecho desde o posto fluviométrico de Cuiabá, tomado como condição de contorno, até a confluência com o rio Paraguai, totalizando uma extensão de quase 592 km. Seis postos fluviométricos com dados disponíveis foram utilizados como pontos de controle para ajuste do modelo e verificação de hidrogramas calculados, sendo quatro deles no trecho a montante da confluência do rio São Lourenço e os outros dois a jusante da confluência com o rio Piquiri.

Nos postos fluviométricos do rio Cuiabá localizados a 130 e 245 km da condição de contorno respectivamente, o ajuste do modelo hidrodinâmico obteve coeficientes NS e NSlog superiores a 0,90, erros de volume inferiores a 6% e REMQ de 70 m³/s em Barão de Melgaço e de 46 m³/s em Porto Cercado. A comparação visual entre hidrogramas observados e calculados corrobora a qualidade do ajuste, que proporcionou uma reprodução dos picos e da recessão, tanto em termos de intensidade quanto de tempo de ocorrência (Figura 37). Em Porto Cercado, houve

uma dificuldade em acertar a intensidade dos picos das cheias sazonais, mas limitada à sub ou superestimativa inferior a 10%.

Nos pontos de controle São João e Ilha Camargo, o ajuste do modelo foi um pouco inferior ao obtido nos pontos a montante do rio Cuiabá, com NS e NSlog em torno de 0,80. A principal deficiência foi a subestimativa dos picos, resultando em erros de volume de -8,8% em São João e de -13,5% em Ilha Camargo.

Da condição de contorno (Cuiabá) até o posto São João, o rio Cuiabá vem perdendo água para a planície em termos absolutos (perdas e ganhos pontuais que resultam em perdas). Os picos de vazão observada em Cuiabá são tipicamente na faixa de 1500 a 2000 m³/s e reduzem para a faixa de 900 a 1300 m³/s em Barão de Melgaço, 450 a 700 m³/s em Porto Cercado e para 400 a 500 m³/s em São João. Entretanto, no posto Ilha Camargo, localizado a apenas 35 km a jusante de São João, ocorre o aumento dos picos para a faixa de 500 a 700 m³/s. Tal comportamento foi simulado satisfatoriamente, sendo o aumento das vazões em Ilha Camargo devido ao aporte de água da planície para o canal no trecho a montante. A vazão lateral da planície para o canal simulada apresentou picos variando entre 40 e 150 m³/s em cada cheia sazonal.

O ajuste do modelo em Pousada Taiamã foi excelente, com coeficientes NS e NSlog superiores a 0,90 e um erro de volume de apenas -2,1%, embora possa ser constatada a subestimativa dos picos na comparação visual entre vazões calculadas e observadas. No trecho de 57 km a jusante de Pousada Taiamã até o posto Porto Alegre, o rio Cuiabá voltou a perder um volume de água considerável para a planície durante as cheias. O ajuste do modelo em Porto Alegre resultou em valores de NS e NSlog acima de 0,82 e um erro de volume de 8,3%, decorrente principalmente da superestimativa nos picos.

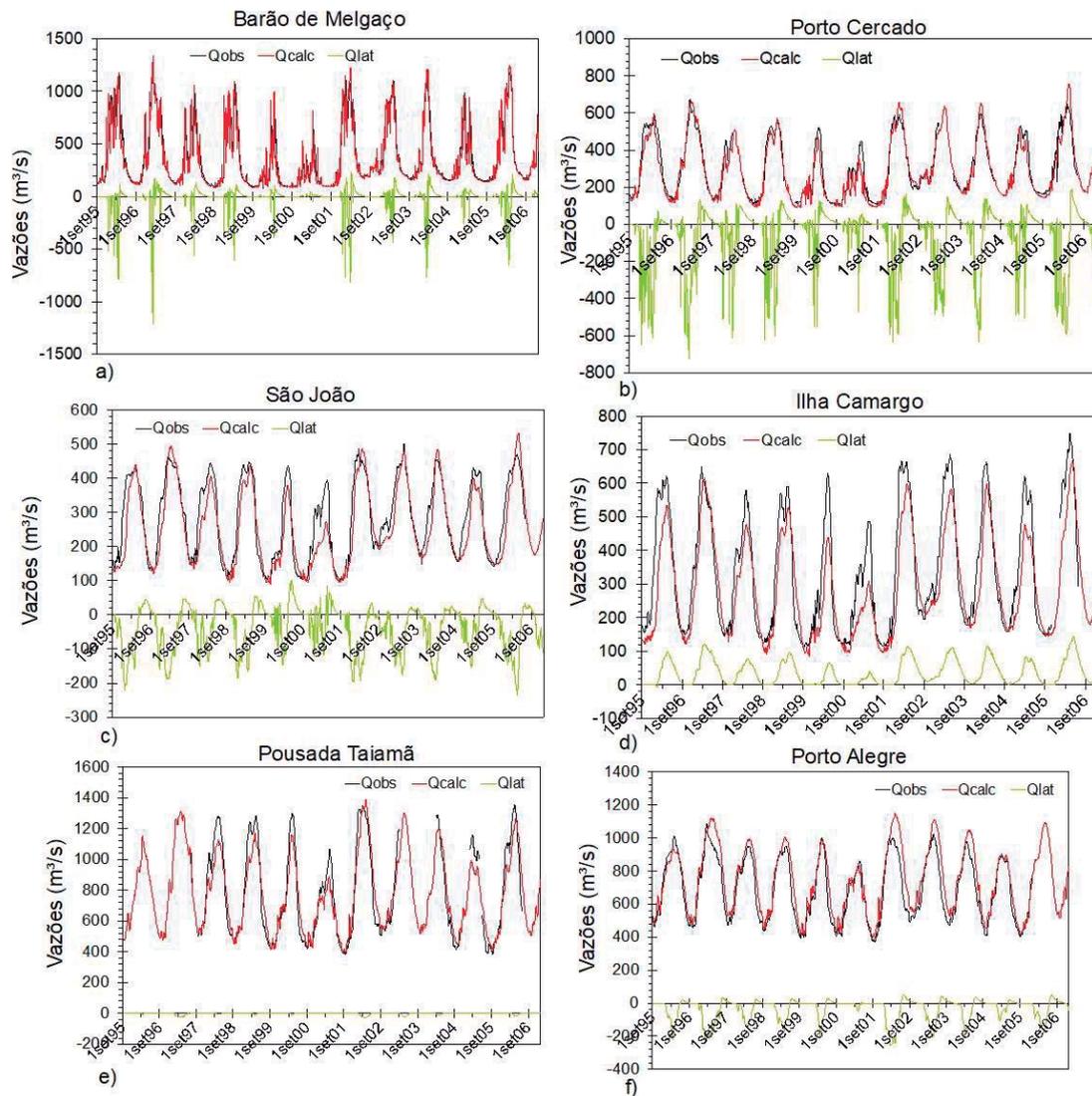


Figura 37. Hidrogramas observados (Qobs) e calculados (Qcalc) em seções do rio Cuiabá (Qlat representa a vazão lateral, sendo negativa quando no sentido canal-planície e positiva no sentido oposto).

Rio Paraguai

O rio Paraguai foi simulado com o SIRIPLAN considerando o trecho desde Cáceres até a foz do rio Apa, que totaliza uma distância de 1250 km. Ao longo desse trajeto, foram tomados 6 postos fluviométricos com dados disponíveis de vazão observada como pontos de controle no ajuste do modelo.

A 55 km a jusante de Cáceres o rio Paraguai recebe a contribuição do rio Jauru e cerca de 71 km a jusante de tal confluência está localizado o primeiro ponto de controle, o posto Descalvados. O ajuste do modelo resultou em coeficientes NS, NSlog e R acima de 0,90. O erro de volume foi de apenas -5% e o REMQ de 80 m³/s. A comparação entre hidrogramas observado e calculado corrobora a qualidade do ajuste obtido (Figura 38). O modelo conseguiu representar satisfatoriamente a redução de vazão durante as cheias e o aumento nas vazões de recessão que ocorre de Cáceres a Descalvados.

A 120 km a jusante de Descalvados está o posto Porto Conceição. Nesse trecho há uma grande redução nas vazões de pico que escoam pela calha principal do rio Paraguai, passando da faixa de 1000 a 1100 m³/s para o intervalo de 550 a 700 m³/s. Durante a estiagem, também ocorrem reduções de até 100 m³/s nas vazões de Descalvados a Porto Conceição. O ajuste do modelo em Porto Conceição foi satisfatório (NS = 0,63, NSlog = 0,62, R = 0,83, EVol = 7,6% e REMQ = 80 m³/s), mas em alguns dos anos simulados ocorreram subestimativas de até 150 m³/s nas vazões de pico e superestimativa nas vazões do período de estiagem de até 90 m³/s. Em termos de erro de volume, os dois tipos de erro se compensaram, mas em termos das estatísticas NS e NSlog tais erros se ressaltaram.

Cerca de 22 km a jusante da afluição do rio Cuiabá está localizado o posto fluviométrico Amolar. Devido à contribuição do rio Cuiabá, as vazões observadas em Amolar alcançam picos de até quase 2000 m³/s. O ajuste do modelo nesse posto foi satisfatório, obtendo-se NS = 0,67, NSlog = 0,72 e R = 0,88. O REMQ foi de 180 m³/s e o erro de volume aproximadamente 6,3%. Houve deficiência no modelo em reproduzir as vazões de pico, ocorrendo superestimativas de até 17% como na cheia de 2006 ou subestimativas de até 9% como na cheia de 2005. Houve uma tendência também de superestimar as vazões de recessão.

No posto Porto São Francisco, localizado 65 km a jusante de Amolar, o modelo também teve dificuldade em reproduzir as vazões de pico, ocorrendo subestimativas variando de 6% (na cheia de 2004) a até 25% (em 2000 e 2003). Em alguns anos houve ainda deficiência em simular as vazões durante o período de recessão. O ajuste do modelo no referido posto de modo geral foi satisfatório, tendo sido capaz de simular o padrão geral do hidrograma observado. Foram obtidos NS e NSlog acima de 0,70, R = 0,86 e um erro de volume de apenas 2%, enquanto REMQ = 259 m³/s.

Em Porto da Manga o ajuste do modelo resultou em NS = 0,82, NSlog = 0,76, R = 0,90, Evol = 2,5% e EMQ = 191 m³/s. Houve a tendência do modelo em subestimar as vazões de pico e superestimar as vazões no período de recessão, mas tais deficiências foram em menor grau do que as verificadas nos postos Amolar e Porto São Francisco.

Localizado a quase 1200 km a jusante de Cáceres e a apenas 60 km da foz do rio Apa, seção considerada como condição de contorno de jusante, o posto fluviométrico Porto Murtinho representa o hidrograma do rio Paraguai após a passagem pelo Pantanal.

Por concentrar toda a resposta da drenagem do Pantanal, a influência das condições iniciais da planície no modelo de inundação sobre esse posto demora muito mais tempo do que sobre os demais postos analisados. Como a planície foi iniciada totalmente seca no modelo de inundação (no instante inicial referente à data 1/set/95), o período de simulação até Nov/2000 foi desconsiderado no cálculo das estatísticas do ajuste do modelo hidrodinâmico em Porto Murtinho. Considerando apenas os resultados no período a partir de dez/2000, o ajuste do modelo foi satisfatório em Porto Murtinho, obtendo-se NS = 0,61, NSlog = 0,65, R = 0,84, Evol = -6,1% e EMQ = 343 m³/s. As principais deficiências do modelo em relação ao hidrograma nesse posto dizem respeito à subestimativa das vazões máximas durante as cheias e à não representação de picos secundários que acontecem fora do período de cheias.

As deficiências apontadas na reprodução do regime de vazões em Porto Murtinho têm como principal causa as simplificações adotadas quanto ao domínio simulado no modelo de inundação e no modelo hidrodinâmico, dentro do SIRIPLAN. No modelo de inundação da planície, não foi representada completamente a área de contribuição na margem direita do rio Paraguai, situada em território Boliviano. Embora a maior parte dessa área compreenda a

região conhecida como Chaco, caracterizada por ser endorréica e apresentar baixos índices pluviométricos, é possível que ocorram contribuições ao rio Paraguai que não foram simuladas. A outra questão é a não consideração do rio Negro Boliviano e outros canais na rede de drenagem simulada no modelo hidrodinâmico, por falta de dados acerca das características hidráulicas e de vazões observadas.

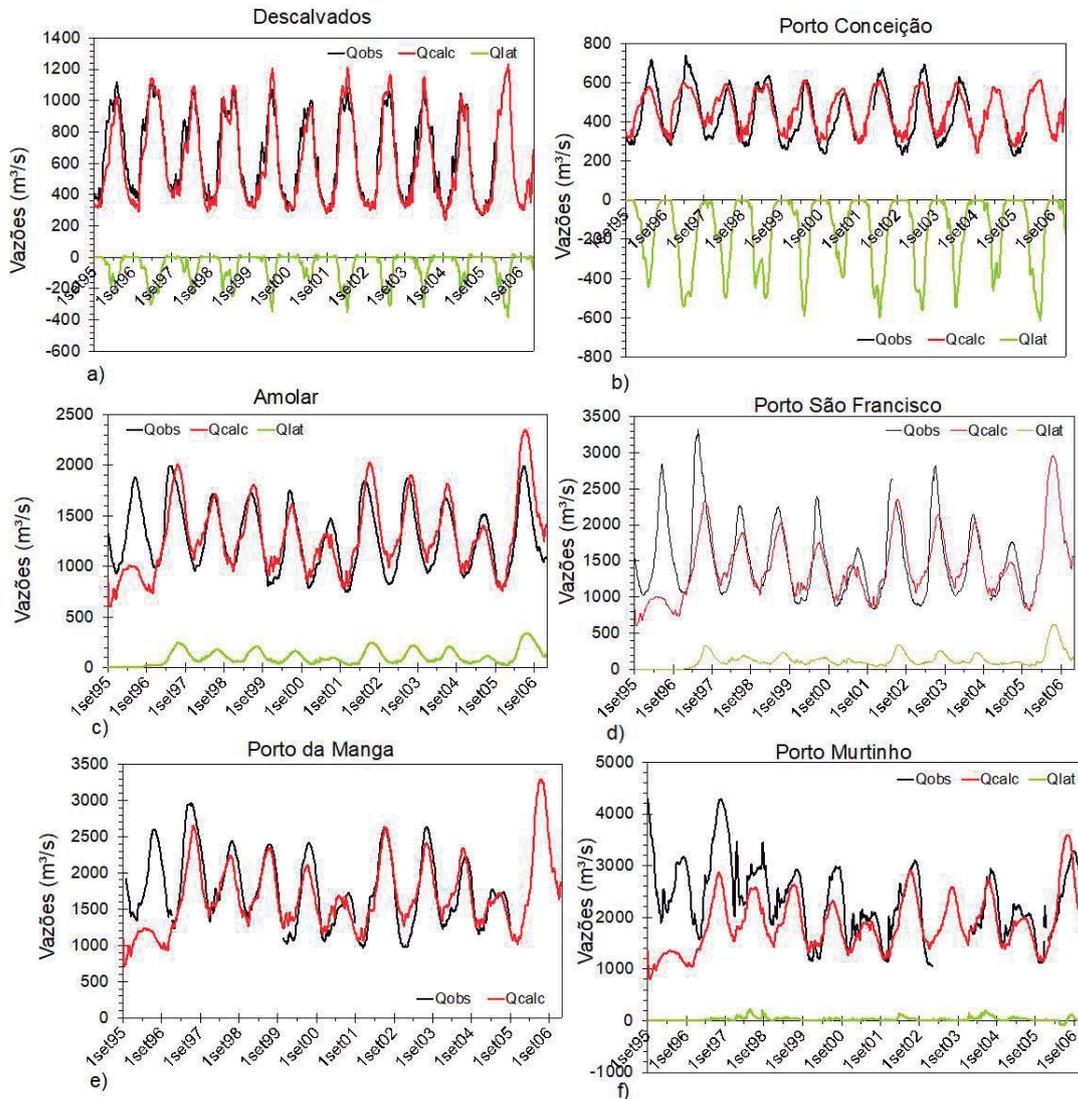


Figura 38. Hidrogramas observados (Qobs) e calculados (Qcalc) em seções do rio Paraguai (Qlat representa a vazão lateral, sendo negativa quando no sentido canal-planície e positiva no sentido oposto).

Resultados da calibração quanto aos níveis d'água na rede de drenagem principal

Este item apresenta uma análise comparativa entre os níveis d'água calculados e os observados em postos fluviométricos. Embora isso não tenha sido considerado como critério no momento do ajuste do modelo, trata-se de uma avaliação importante dos resultados obtidos.

A análise dos níveis d'água foi realizada tomando a variável reduzida Zred, que é resultante da transformação dos dados observados e calculados fazendo a subtração do valor médio de cada série. A variável reduzida é o nível d'água padronizado com média zero.

De modo geral foram obtidos resultados considerados excelentes face às incertezas e escassez nos dados disponíveis. O coeficiente de NS variou de 0,50 a 0,98, enquanto os valores de coeficiente de correlação foram superiores a 0,80 (Tabela 12). São apresentados resultados não só dos postos fluviométricos com dados disponíveis considerados como pontos de controle, mas também nos postos considerados como condição de contorno, desde que com disponibilidade de dados históricos observados de nível d'água.

Tabela 12 - Estatísticas do ajuste do modelo hidrodinâmico 1D aos canais principais do Rio Paraguai e afluentes – comparação entre níveis padronizados observado e calculado.

Referência*	Nome	Rio	Estatísticas**	
			NS	R
a	Cuiabá	Cuiabá	0,76	0,98
b	A. C. Grande	S. Lour.	0,61	0,99
c	S. Jerônimo	Piquiri	0,91	0,96
d	P. Esperidião	Jauru	0,98	1,00
e	Cáceres	Paraguai	0,66	0,99
f	Coxim	Taquari	0,56	0,88
h	Aquidauana	Aquid.	0,86	0,93
i	Miranda	Miranda	0,98	0,99
1	B. Melgaço	Cuiabá	0,68	0,98
2	P. Cercado	Cuiabá	0,89	0,96
3	S. João	Cuiabá	0,84	0,92
4	I. Camargo	Cuiabá	0,88	0,97
5	S. J. Borireu	S. Lour.	0,90	0,97
6	S. J. Piquiri	Piquiri	0,81	0,91
7	P. Taiamã	Cuiabá	0,83	0,96
8	P. Alegre	Cuiabá	0,86	0,95
12	P. Ciríaco	Aquid.	0,81	0,91
14	Descalvados	Paraguai	0,93	0,98
15	P. Conceição	Paraguai	0,81	0,92
16	Amolar	Paraguai	0,68	0,86

17	S. Francisco	Paraguai	0,66	0,84
18	P. Manga	Paraguai	0,68	0,88
19	P. Murtinho	Paraguai	0,50	0,80

* Referências usadas para localizar os postos nos mapas: letras indicam condições de contorno e números representam pontos de controle.

** Estatísticas calculadas considerando o período de 1dez1997 a 31dez2006, à exceção dos postos P. Manga e P. Murtinho, cujo período foi de 1dez2000 a 31dez2005 para retirar influência das condições iniciais

Considerando apenas os 9 pontos de controle localizados nos tributários do rio Paraguai, o posto B. Melgaço no rio Cuiabá foi o único com $NS < 0,80$. Dos 7 postos que representam as condições de contorno dos afluentes, em 3 deles o valor de NS foi inferior a 0,80 (Cuiabá, A. C. Grande e Coxim). O posto Cáceres, que é a condição de contorno do rio Paraguai, também apresentou NS inferior a 0,80.

Nas condições de contorno, portanto, houve dificuldade do modelo em reproduzir a variação de nível d'água. A tendência dos níveis calculados pelo modelo foi de apresentar variação maior do que a dos dados observados nos postos das condições de contorno e nos postos imediatamente a jusante desses (Figura 39, Figura 40 e Figura 41). Isso foi bem evidente nos postos Cuiabá (condição de contorno), B. Melgaço (jusante de Cuiabá), A. C. Grande, Coxim e Cáceres, esses três últimos também condições de contorno, e no posto Descalvados (jusante de Cáceres).

Em Cuiabá, os níveis calculados alcançaram de 1,4 a 1,9 m acima do nível observado durante os picos das cheias e cerca de 0,30 m abaixo do observado nos períodos de recessão. Em B. Melgaço e Cáceres, tais diferenças atingiram os maiores valores, ficando próximo de 2,0 m nas cheias e de 0,80 na recessão.

Nos postos ao longo da rede de drenagem com menor influência das condições de contorno, a tendência foi de que os níveis calculados apresentassem menor amplitude de variação do que os níveis observados. Isso ocorreu principalmente nos postos S. João e P. Cercado no rio Cuiabá e nos postos do rio Paraguai a jusante de Descalvados. Os postos I. Camargo, P. Taiamã e P. Alegre fugiram desse padrão, com níveis d'água calculados com maior amplitude de variação do que os níveis observados.

Nos postos S. J. Borireu e P. Ciríaco, o comportamento dos níveis d'água observados é peculiar, por apresentar um patamar limitando os valores máximos durante as cheias. Isso é decorrente do grande extravasamento de água do canal para a planície, como já comentado no item acerca da análise das vazões. A representação de tal comportamento pelo modelo foi excelente em termos de cotogramas calculados, já que foram simulados os patamares com intensidade e período de ocorrência coerentes com os observados.

A principal deficiência do modelo em termos de reprodução dos cotogramas observados ocorreu no rio Paraguai, no trecho de Amolar para jusante (postos Amolar, P. S. Francisco, P. Manga e P. Murtinho). A amplitude de variação dos níveis d'água calculados foi bem inferior à amplitude dos dados observados, ocorrendo subestimativa dos valores máximos durante as cheias e superestimativa dos valores mínimos durante os períodos de vazões baixas.

Em Amolar, P. S. Francisco e P. Manga, a diferença nos valores máximos calculados em relação aos observados foi de até 0,7 m nos picos das cheias (subestimativa). No período de baixas vazões, essa diferença alcançou até 1,0 m nos dois primeiros postos e até 1,5 m no terceiro posto. Em P. Murтинho, as diferenças entre os extremos máximos calculados e observados foram de até 1,0 m, enquanto a diferença entre os valores mínimos alcançou até 1,5 m.

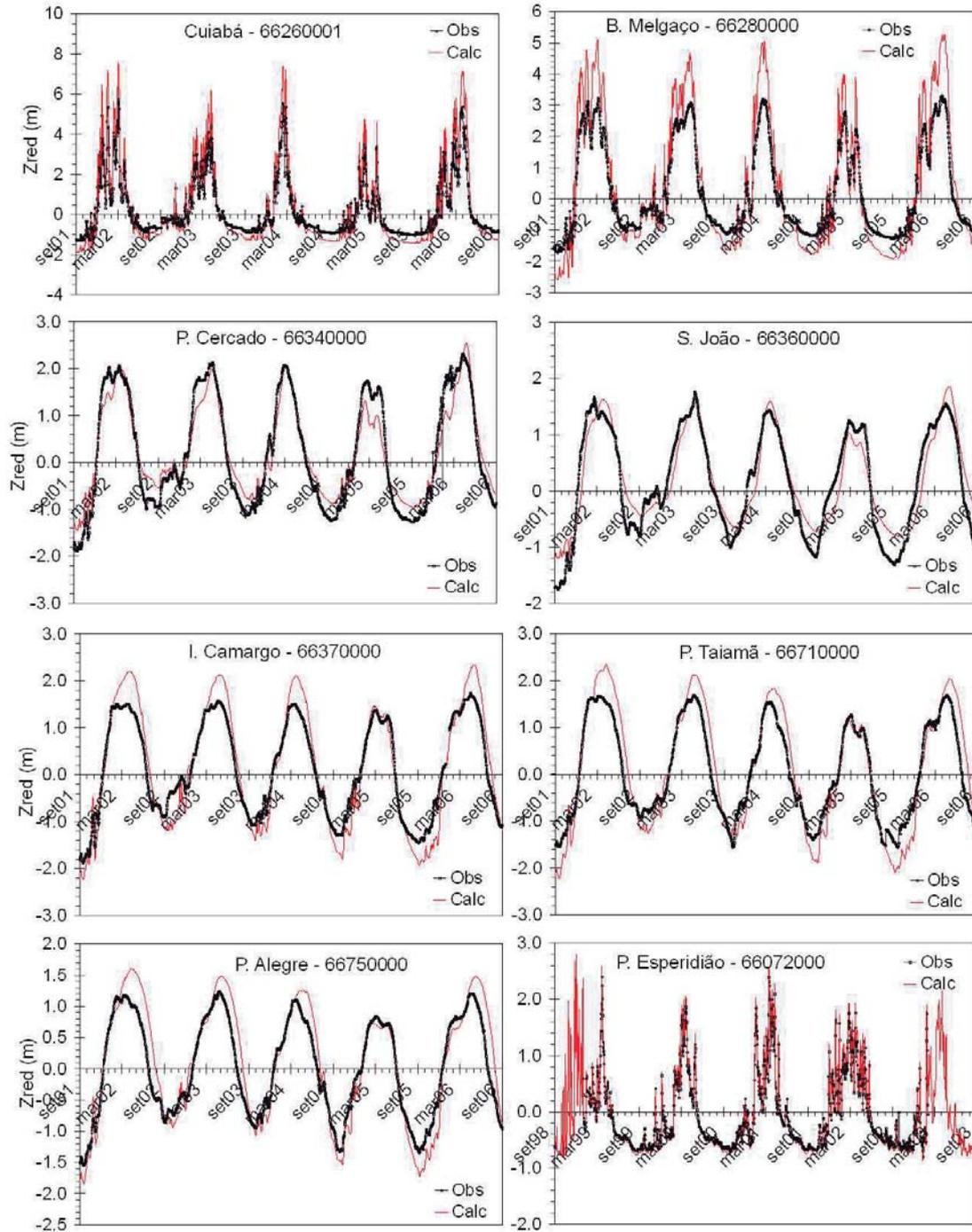


Figura 39. Cotagramas do nível padronizado (Zred) observados e calculados em postos fluviométricos do rio Cuiabá (Cuiabá, B. Melgaço, P. Cercado, S. João, I. Camargo, P. Taiamã e P. Alegre) e no rio Jauru (P. Esperidião).