



Nota Técnica nº 029/2014/SPR-ANA
Documento nº 00000.032926/2014

Em 30 de setembro de 2014.

Ao Senhor **Superintendente de Planejamento de Recursos Hídricos**

Assunto: Análises de vazões de referência para fins de definição de disponibilidade hídrica na bacia do rio Grande.

1. APRESENTAÇÃO

1. Esta Nota Técnica apresenta os estudos realizados pelo Núcleo de Estudos Hidrológicos (NHI) da Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos (SPR) na definição da disponibilidade hídrica na bacia do rio Grande, localizada entre os estados de SP e MG. A figura 1 apresenta a localização da bacia e identifica seus principais rios.

2. O presente documento tem por objetivos estimar a disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do rio Grande, atualizar as bases de dados e sistemas da ANA que armazenam e utilizam essas informações e fornecer subsídios aos processos decisórios de gestão de recursos hídricos.

3. Esta Nota está dividida em 8 capítulos: 1) Apresentação, 2) Introdução, 3) Metodologias e Análises, 4) Disponibilidade Hídrica, 5) Conclusões e Recomendações, 6) Colaboradores, 7) Referências Bibliográficas e 8) Anexos.

4. No capítulo 2 são introduzidos no item 2.1, a motivação para o estudo, em 2.2 as informações básicas sobre bacia do rio Grande e no item 2.3 a base cartográfica e descrição da área de estudo.

5. O capítulo 3 apresenta as diversas metodologias e análises essenciais para a determinação da disponibilidade hídrica. O item 3.1 apresenta um resumo dessas análises e em 3.2 são apresentados os dados de entrada (fluviométricos, pluviométricos, entre outros) utilizados e os estudos realizados sobre esses dados. Em seguida, em 2.3 são descritas as análises de consistência. O item 2.4, parte importantíssima desta Nota, apresenta a proposta metodológica de preenchimento

a determinação de valores críticos de retirada, disponibilidade hídrica sazonal, vazões máximas para obras de controle e vazões ecológicas para manutenção de ecossistemas, entre outros.

9. Com o objetivo de garantir suficiente disponibilidade hídrica às populações atuais e futuras, diversas instituições, dentre elas a ANA, desenvolvem estudos para quantificar a quantidade de água nos rios, principalmente através da análise das vazões medidas em cursos de água e das precipitações e taxas de evapotranspiração ocorridas nas bacias hidrográficas. Os resultados desses estudos são utilizados em diversas ações de monitoramento, planejamento e gestão de diferentes sistemas hídricos, como por exemplo, na concessão de outorgas de direito de uso de água, na gestão de conflitos pelo seu uso, na operação de reservatórios, na transposição de bacias, entre outras.

10. Devido à necessidade de se conhecer as vazões em uma quantidade razoável de pontos dentro da bacia, ao longo dos rios principais e de seus afluentes e, por não haver cobertura suficiente de estações hidrometeorológicas que permitam a obtenção dessas informações de campo, surge a necessidade de complementação dos dados a partir de mecanismos de interpolação e extrapolação que permitam um preenchimento tanto espacial como temporal, estimando os valores prováveis de vazões que teriam ocorrido nesses locais sem dados, a partir dos dados observados nas estações existentes.

11. Nesse contexto, o preenchimento, a extensão de séries e a regionalização de vazões apresentam-se como instrumentos de grande utilidade em estudos de planejamento e gestão de recursos hídricos, permitindo a obtenção das vazões máximas, mínimas e médias de longo período, anuais e sazonais de modo homogêneo, tanto temporal quanto espacial, amenizando assim, a carência de informações hidrológicas em locais com disponibilidade escassa.

12. Para isto, são utilizadas as séries de vazões disponibilizadas por diferentes instituições e centralizadas no banco de dados da ANA, o HIDRO. No entanto, vários problemas impossibilitam uma determinação direta da disponibilidade hídrica de uma bacia, como por exemplo, a presença de reservatórios, a existência de inúmeras falhas nas séries históricas, devido à ausência de observadores, falhas nos mecanismos de registro, perda das anotações ou das transcrições dos registros pelos operadores e encerramento das observações bem como por rupturas nas políticas de gestão das redes de monitoramento como consequência de mudanças políticas nas esferas municipais, estaduais ou federais, inconsistência nos dados de cotas, medições de descarga ou no traçado de curvas-chave, dentre outros fatores.

13. Entretanto, como existe, por diversas razões, a necessidade de se trabalhar com séries contínuas, essas falhas necessitam ser preenchidas e, nesse cenário, a aplicação de técnicas estatísticas no preenchimento de falhas pode ser uma ferramenta útil nos estudos de gestão de recursos hídricos, facilitando o conhecimento do comportamento hidrológico e, permitindo, assim, um aproveitamento consciente dos recursos hídricos (Barnetche & Kobiyama, 2006).

14. Já existe uma grande quantidade de estudos hidrológicos na bacia do rio Grande, mas a maioria considera um período menor do histórico das medições e dados hidrológicos disponíveis e abrange parte não muito recente, geralmente atingindo até o início da década de 2000, não alcançando, portanto, os anos recentes da década de 2010. Para citar alguns desses trabalhos:

- ANEEL (2002a) - Regionalização de vazões da bacia do rio Grande;
- Euclides *et al.* (2005) - regionalização parte Mineira da bacia;
- Liazzi *et al.* (1988) - Regionalização da parte parte Paulista da bacia;
- Oliveira, F.A. (2008) - Tese de mestrado sobre aprimoramento da regionalização de vazões na bacia do rio Grande;
- IGAM (2012) – Estudo de regionalização de vazão para o aprimoramento da outorga em MG.

15. Assim, um dos objetivos deste estudo foi o de promover atualização e refinamento das informações sobre disponibilidade hídrica na bacia, agregando dados hidrológicos mais recentes às séries históricas utilizadas, adotando uma abordagem alternativa, buscando o aproveitamento da máxima informação disponível, através da utilização de mecanismos de preenchimento e extensão de séries hidrológicas, embasada por análises de consistência e de estacionariedade.

2.2 Bacia do rio Grande

16. A bacia do Rio Grande se localiza na bacia do Paraná e está situada entre os estados de São Paulo e Minas Gerais, sendo geralmente dividida em três regiões fisiográficas: alto, médio e baixo Rio Grande (Silva *et al.*, 2003) e caracteriza-se por um período chuvoso de seis a sete meses (outubro a março/abril), com uma concentração de mais de 80% das chuvas no verão. Os meses de setembro e maio são considerados de transição (Oliveira, F.A., 2008).

17. A bacia do Rio Grande possui uma quantidade considerável de reservatórios de regularização, responsáveis por mais de 10% da produção nacional de energia elétrica. Além disso, é uma região com industrialização crescente, principalmente do setor agroindustrial, intenso crescimento dos centros urbanos e aumento gradativo do consumo de água, principalmente da irrigação. Na região do alto Rio Grande o relevo é marcado por escarpas e reversos planaltos da Serra da Mantiqueira, com altitudes variando entre 800 e 2700 m. Na região do médio Rio Grande o relevo é constituído por planícies interioranas fluviais e/ou fluvilacustres e por patamares da bacia do Paraná que ocorrem na porção ocidental. Na região do baixo Rio Grande o relevo é constituído por planalto central e por planícies interioranas fluviais e/ou fluvilacustres. Nas duas últimas regiões da bacia as altitudes oscilam entre 200 e 750 m, alcançando 1600 m em alguns

locais. O relevo exerce forte influência na distribuição das chuvas. Na região fisiográfica do alto do Rio Grande, próximo à cabeceira da bacia, são registrados os maiores índices pluviométricos e também as maiores variações. Isto ocorre devido ao efeito orográfico provocado pela Serra da Mantiqueira, localizada ao longo da divisa entre os Estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro (Oliveira, F.A., 2008). O restante da bacia apresenta um relevo de baixas altitudes e com pequenas variações e as chuvas, por consequência, também se distribuem com poucas modificações, alcançando precipitações médias anuais entre 1.300 e 1.900 mm aproximadamente. A figura 2 apresenta o mapa de altitude (modelo digital de elevação) da bacia.

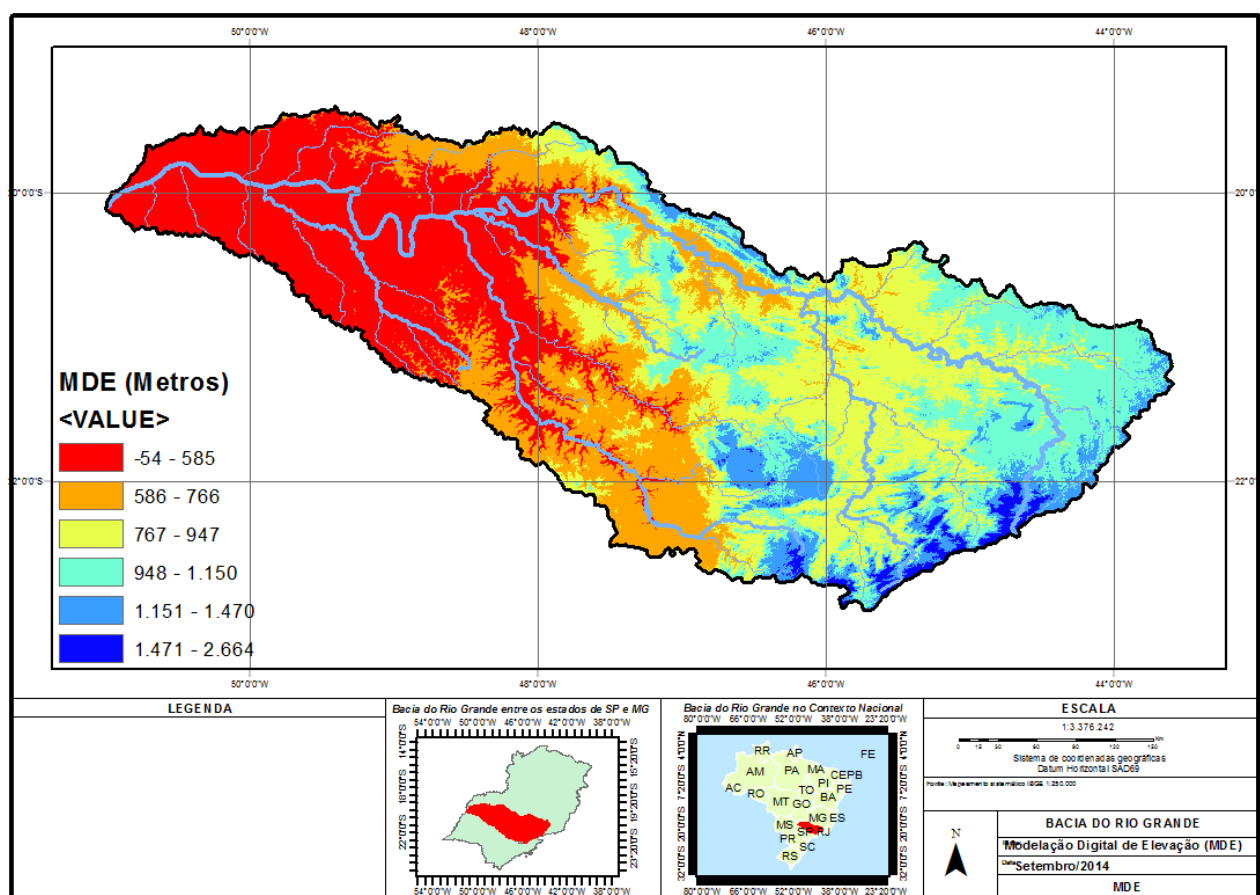


Figura 2. Mapa de Altitude da bacia do rio Grande.

18. Existem 15 grandes usinas hidrelétricas e ainda 12 pequenas centrais elétricas, sendo que os principais reservatórios estão distribuídos ao longo dos rios Grande e Pardo, com potências variando de 32 a 1.488 MW e vazões de regularização entre 30 e 1.366,6 m³/s. Furnas é a usina com maior volume útil (17.217 hm³), seguida pelas usinas de Marimbondo (5.260 hm³) e Água Vermelha (5.169 hm³), as quais estão localizadas no Rio Grande. Os reservatórios da bacia do Rio Grande se encontram em série. Dessas 15 UHEs, seis possuem reservatórios de acumulação - Caconde, Camargos, Furnas, Mascarenhas de Moraes, Marimbondo e Água Vermelha - e nove deles são a fio de água - Euclides da Cunha, Armando Salles de Oliveira, Itutinga, Funil, Luís C. Barreto de Carvalho, Jaguará, Igarapava, Volta Grande e Porto Colômbia. ONS (2003) e

(ELETROBRÁS, 1997). A figura 3 apresenta os principais aproveitamentos hidrelétricos (AHes) da bacia.

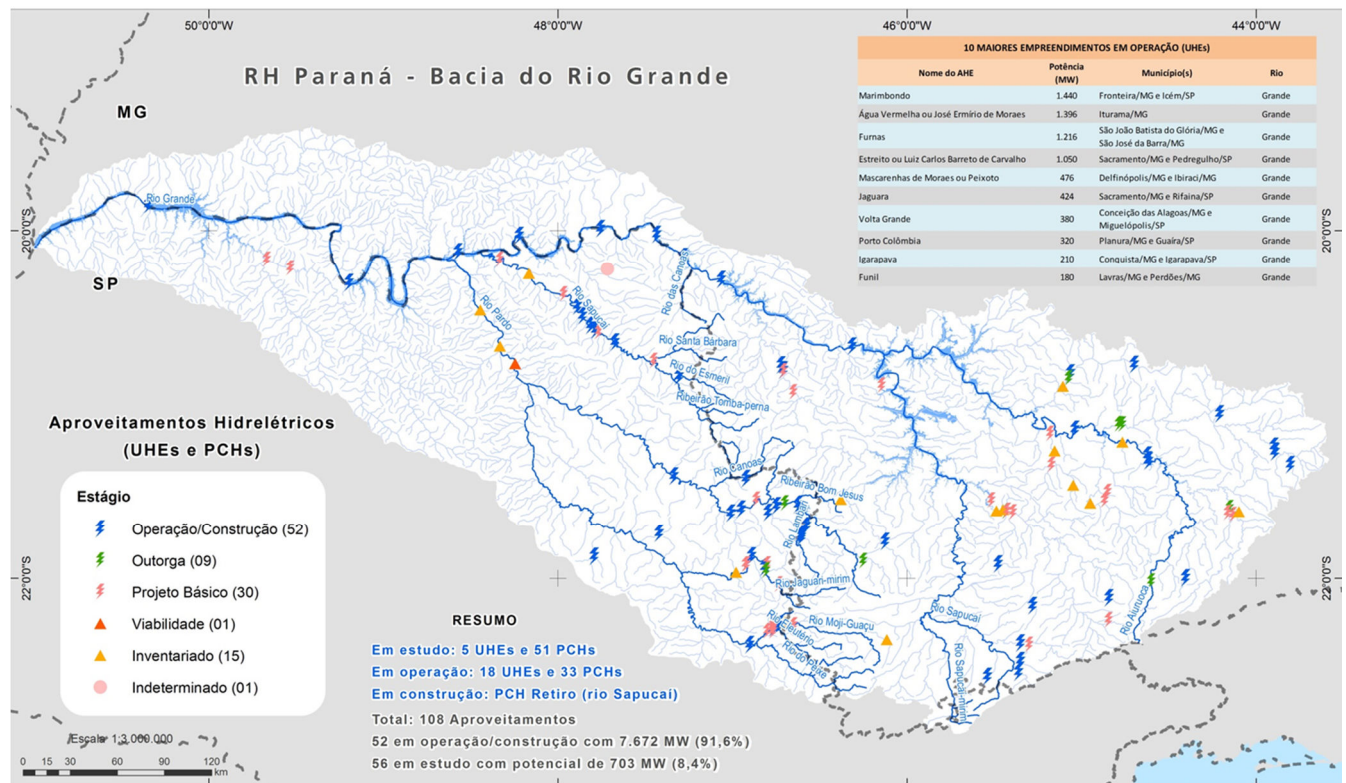


Figura 3. Aproveitamentos Hidrelétricos (UHEs e PCHs) na bacia do rio Grande.

Fonte: ANA: Macrodiretrizes para Elaboração do Plano Integrado de Recursos Hídricos da bacia do Rio Grande; São José do Rio Preto (2013).

2.3 Base Cartográfica e descrição Da área de estudo

19. Para este trabalho foi utilizada a base hidrográfica ottocodificada (BHO) disponibilizada pela Superintendência de Gestão da Informação (SGI) da ANA. Nesta base, as representações gráficas de bacias e cursos d'água, do mapeamento sistemático na escala do milionésimo, foram codificadas segundo a metodologia de Otto Pfafstetter (Pfafstetter, 1989). Desta forma, foi possível associar e extrair informações a jusante e a montante de cada trecho da rede de drenagem.

20. A construção da base hidrográfica ottocodificada consiste de um conjunto de processos para tratamento topológico da rede hidrográfica com base na codificação de Otto Pfafstetter (1989) e que permite associar e extrair informações a jusante e a montante de cada trecho da rede. Em linhas gerais, essa extração de informação do que está a montante e a jusante de uma determinada localização é denominada de hidrorreferenciamento (ANA, 2013) e (Aires de Souza *et al.*, 2014a).

21. Por meio do hidrorreferenciamento pode ser realizada a incorporação de informações espaciais a uma base ottocodificada. Assim, a determinação de características físicas a respeito de bacias, sejam elas provenientes de um mapa de classes, como o mapa de uso do solo, ou de uma superfície de valores, como o mapa de chuva média anual ou de altimetria, ou principalmente a agregação de disponibilidade hídrica pode ser feita por meio da sobreposição desses planos de informação com as ottobacias. Esse procedimento pode ser feito por intermédio de operadores espaciais de dados geográficos inseridos em um sistema de informações geográficas (SIG) e algoritmos que utilizam a ottocodificação para incorporação em cada elemento da base de qualquer tipo de informação como as exemplificadas anteriormente. (Aires de Souza *et al.*, 2014a).

22. Neste trabalho utiliza-se o termo *ottobacia* para se referir às unidades da base hidrográfica que representam as bacias, interbacias e intrabacias devidamente codificadas e discretizadas. Nesta base cartográfica, a bacia do rio Grande é subdividida em 3.659 trechos de rios e respectivas ottobacias. A BHO recortada para a bacia do rio Grande é apresentada no Anexo 1.

23. A seguir são descritos todos os processos metodológicos adotados para a determinação da disponibilidade hídrica em cada ottobacia, através da estimativa das vazões características para essas unidades, com base nas informações hidrológicas disponíveis em toda a bacia do rio Grande.

3. METODOLOGIAS E ANÁLISES

3.1. INTRODUÇÃO

24. A disponibilidade hídrica é a quantidade de água disponível para os diversos usos. A estimativa deste valor admite diferentes interpretações associadas às características da bacia e às finalidades do seu uso. Com vistas a obter um conhecimento das disponibilidades hídricas na bacia em geral realiza-se uma regionalização de suas vazões características.

25. Assim, a realização de uma regionalização de vazões consistente e adequada às condições da bacia é pré-condição para a determinação das disponibilidades de água nas diferentes subbacias e definição dos possíveis projetos de obras hidráulicas, de planejamento e gestão de recursos hídricos.

26. Existe uma gama variada de técnicas de regionalização. A regionalização adotada nesta Nota, descrita a seguir, foi efetuada seguindo as seguintes etapas:

- Coleta e análise de dados hidrológicos
- Estudos Pluviométricos
- Estudos Fluviométricos

- Análise de consistência
- Preenchimento e Extensão de séries
- Análise de Estacionariedade
- Estimativa das vazões características nas estações
- Regionalização das vazões características nas otobacias

3.2. COLETA E ANÁLISE DE DADOS HIDROLÓGICOS

27. Para este estudo foram coletadas informações hidrometeorológicas dos seguintes bancos de dados públicos:

- HIDRO, da Agência Nacional de Águas (ANA);
- Banco de dados Hidrológicos, do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE-SP);

28. Do HIDRO foram obtidos os dados de estações fluviométricas (cotas, medições e curvas de descarga, vazões, perfis de secção transversal de estações) e pluviométricas (chuvas diárias) da subbacia 61. Do Banco de dados Hidrológicas do DAEE-SP foram obtidos os dados de vazão das estações fluviométricas localizadas na parte paulista da bacia do rio Grande. As estações pluviométricas e fluviométricas existentes no Sistema de Informações Hidrológicas – HIDRO da ANA foram selecionadas, independentemente de estarem ou não em operação. Os dados foram coletados em 03 de abril de 2014. Inicialmente foram identificadas 596 estações fluviométricas e 1.472 estações pluviométricas inventariadas, localizadas na bacia hidrográfica do rio Grande (subbacia 61). No caso das estações pluviométricas, foram também consideradas as estações contidas em uma faixa adicional (*buffer*) de 30 km no entorno da bacia. No entanto, apenas 166 estações fluviométricas e 1.129 estações pluviométricas apresentavam dados, efetivamente.

29. Em relação ao Banco de dados do DAEE-SP, constam 62 estações fluviométricas com dados na parte paulista da bacia.

30. Assim, existem 228 estações fluviométricas (166 do Hidro e 62 do DAEE-SP) e 1.129 estações pluviométricas (Hidro). Os dados destas 228 estações fluviométricas, que servirão de base nos processos de preenchimento e extensão estão no Anexo 2.

31. Acontece que não é recomendável a utilização indiscriminada de estações com dados pouco representativo e dessa maneira essas estações passaram por uma pré-seleção, em virtude da quantidade e período de dados existentes. Nessa pré-seleção buscou-se estações com séries longas, com no mínimo 20 anos de dados. Nesse aspecto foram adotados os seguintes critérios:

32. Para as estações fluviométricas, no mínimo 30 anos sem falha de vazões diárias para as estações do Hidro e no mínimo 20 anos sem falha de vazões diárias no banco do DAEE.

Com base nesse critério foram selecionadas 93 estações, sendo 73 do Hidro e 20 do DAEE. A lista dessas estações, com suas principais características e as séries são apresentadas no Anexo 3 (veja também a Anexo A no final desta Nota).

33. Cabe informar que dessas 93 estações fluviométricas, 56 delas apresentam, no mínimo 10 anos sem falha antes e 10 anos sem falha após o ano de 1970, que é um ano que será utilizado nesta Nota como um ano de referência para avaliação de possíveis mudanças nas séries. Este critério foi baseado nos trabalhos de (Müller *et al.*, 1998) e (Detzel *et al.*, 2011).

34. Serviram também de fonte de dados as vazões naturais diárias afluentes às 15 UHEs localizadas na Bacia (ONS 2003). As principais características e séries dessas usinas estão no Anexo 4 (veja também a Anexo B no final desta Nota).

35. Para as estações pluviométricas, foram adotados os critérios de séries de chuvas diárias com no mínimo 40 anos sem falha e com no mínimo 25 anos sem falha após 1970, no interior do espaço delimitado pela área da bacia mais a área do buffer de 30 km. Com base nesse critério foram selecionadas 234 estações pluviométricas.

3.2.1 - Dados pluviométricos

36. As principais informações sobre essas 234 estações e as séries são apresentadas no Anexo 5, incluindo as séries, os totais anuais médios de chuva e uma análise de consistência dos dados, dos quais foram identificados e retirados das séries os valores atípicos (*outliers*). A tabela C1 do Anexo C no final desta Nota) contém a lista dessas estações pluviométricas pré-selecionadas, com algumas informações importantes como código (Cód), latitude (Lat) e longitude (Lon) em graus decimais, data de início (Data Ini) e de fim (Data Fim) da série, número de anos sem falha na série (NA), média anual dos valores acumulados de precipitação (Méd), desvio padrão dessa média (DP), coeficiente de variação (CV) e valores mínimo (Mín) e máximo (Máx) da série. É importante adiantar que alguns valores de 10 dessas estações foram retirados no processo de consistência por terem sido identificados como *outliers* segundo os critérios *Box-Plot* e *Grubbs, F. and G. Beck* (1972).

37. A lista das estações que apresentaram possíveis *outliers* é apresentada na tabela C2 do Anexo C desta Nota. Não foi efetuado nenhum preenchimento nas séries de precipitação. As séries finais das 234 estações, após a retirada dos valores inconsistentes são também inseridas no Anexo 5.

38. A figura 4 mostra um exemplo de inconsistência encontrada. Como pode ser notado, a não exclusão desses valores pode distorcer o resultado das análises apontando médias e tendências equivocadas. Ao todo foram 41 valores atípicos em 10 estações e estes valores foram retirados das séries (conforme tabela C3 do anexo C).

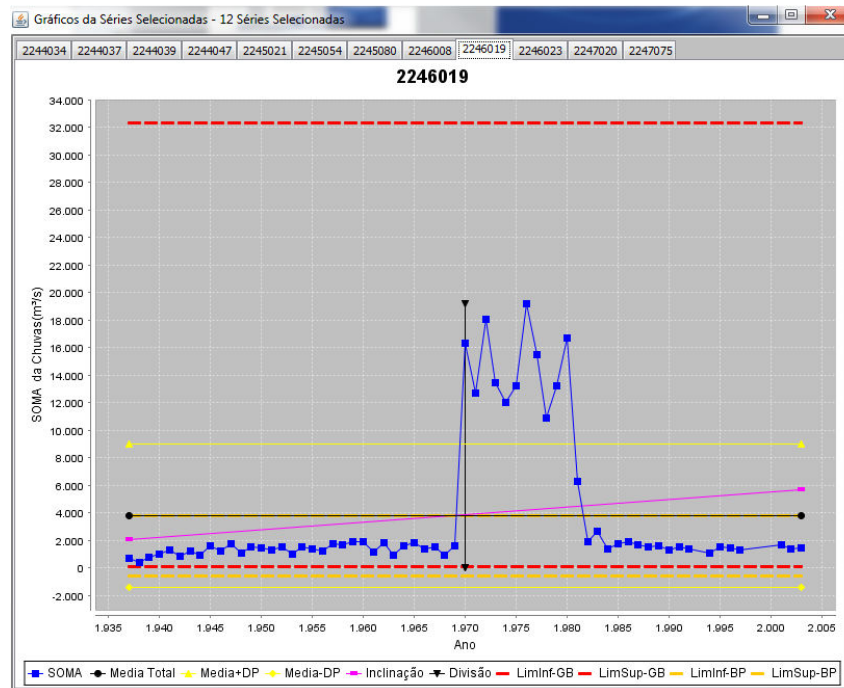


Figura 4. Gráfico da precipitação média anual da estação 02246019, de onde podem ser identificados valores atípicos na década de 1970.

39. A figura 5 apresenta a localização e o código das 234 estações pluviométricas selecionadas, e a figura 6 apresenta os valores médios de precipitação acumulada anual após a consistência.

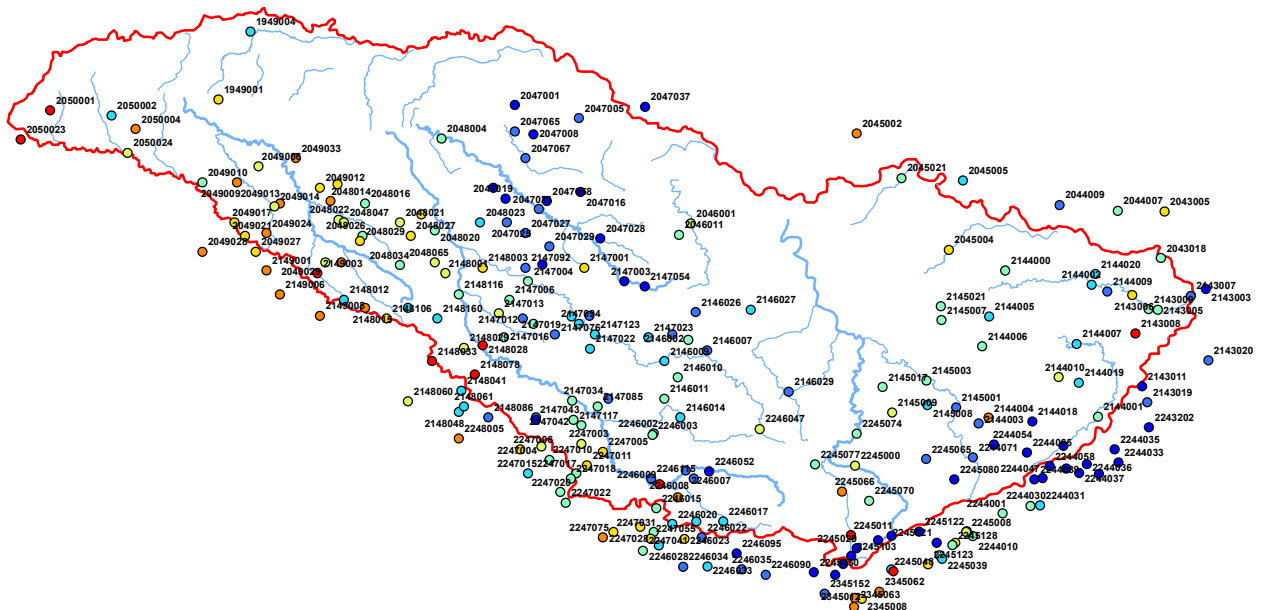


Figura 5. Localização e código ANA das estações pluviométricas selecionadas no entorno da bacia.

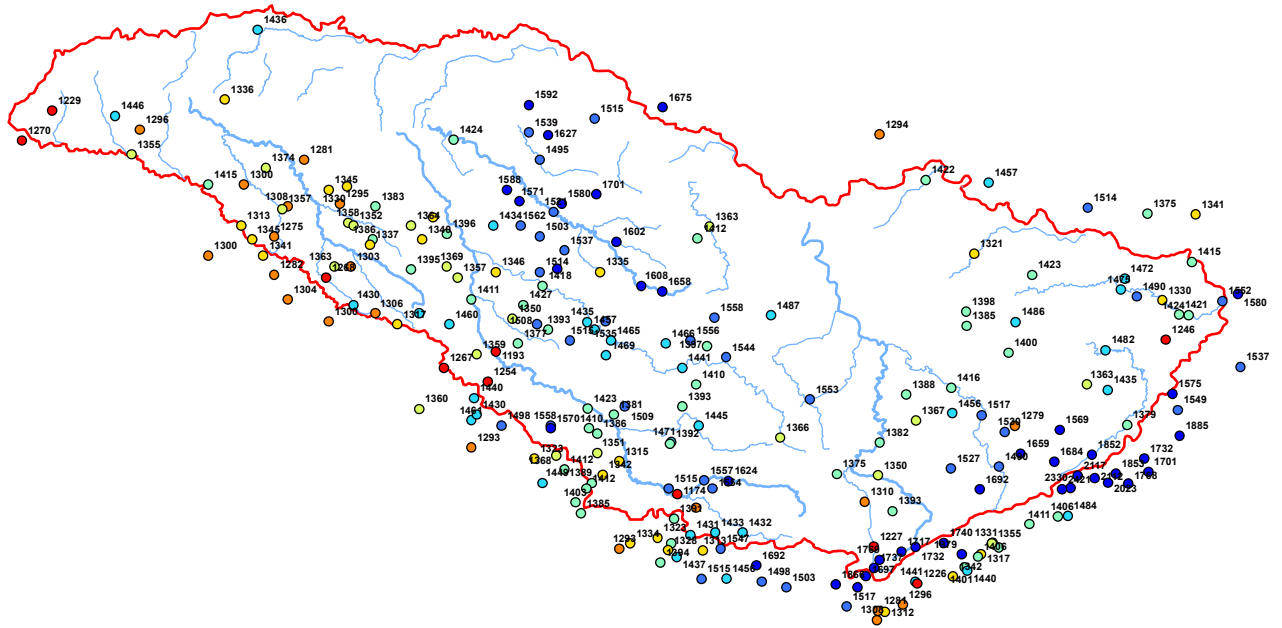


Figura 6. Valores de **precipitação média anual** nas estações pluviométricas selecionadas na região de estudo.

3.2.2 - Dados Fluviométricos

40. Conforme mencionado anteriormente, existem, efetivamente, 166 estações do Hidro e 62 estações fluviométricas do DAEE com dados, ou seja, há 228 estações disponíveis, a princípio. Na pré-seleção de estações foram adotados os seguintes critérios: estações fluviométricas, com no mínimo 30 anos sem falha de vazões diárias para o banco Hidro e no mínimo 20 anos sem falha de vazões diárias no banco DAEE. Com base nesse critério foram pré-selecionadas 93 estações, sendo 73 do Hidro e 20 estações do DAEE. A figura 7 mostra a localização na bacia dessas estações (com seus respectivos códigos) do DAEE-SP (em vermelho), do HIDRO (em azul) bem como a localização das 15 UHEs, 12 no rio Grande e 3 no rio Pardo (em verde). Os anexos 3 e 4 apresentam a lista dessas estações (ver também anexo A desta Nota) e UHEs (ver também anexo B desta Nota), com suas principais características e séries originais.

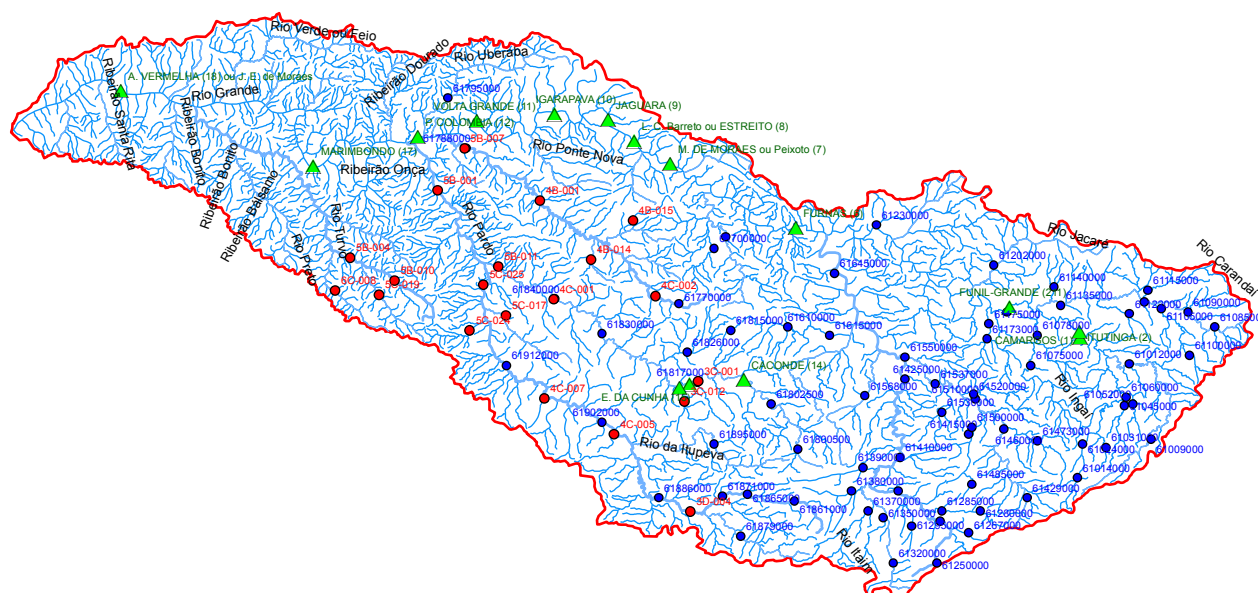


Figura 7. Localização das 93 estações (73 do Hidro e 20 do DAEE-SP), com seus respectivos códigos ANA), e das 15 UHEs (12 no rio Grande e 3 no rio Pardo).

41. O primeiro anexo apresenta a lista de estações fluviométricas selecionadas, com o código da estação (ANA e/ou DAEE), latitude (Lat) e longitude (Lon) em graus decimais, data de início (Data Ini) e de fim (Data Fim), área de drenagem (AD), número de anos sem falha na série (NA), média anual das vazões (Méd), desvio padrão dessa média (DP).

42. Já o segundo anexo apresenta a lista de UHEs, com nome (UHE), latitude (Lat) e longitude (Lon) em graus decimais, data de início (Data Ini) e de fim (Data Fim), área de drenagem (AD), número de anos sem falha na série (NA), média anual das vazões (Méd), desvio padrão dessa média (DP).

3.2.3 - Estudos pluviométricos

43. Após a seleção das estações e da estimativa dos totais anuais de precipitação para cada estação (e após análise de *outliers*) procedeu-se a espacialização e a regionalização da precipitação para a bacia.

44. A espacialização apresentada nesta Nota foi realizada por meio de interpolação utilizando as técnicas de inverso do quadrado da distância (IDW) e de *krigagem*. A figura 8 apresenta o resultado da espacialização da precipitação média anual na bacia pelo método de krigagem. Os pontos representam os valores nas estações.

45. A figura 9 (indicando o código das estações) e a figura 10 (indicando o valor da precipitação média anual) apresentam a espacialização da precipitação média anual em todas as ottobacias. Esses resultados estão disponíveis no Anexo 6. A figura 11 ilustra a precipitação média acumulada na área de drenagem de cada ottobacia.

46. Conforme já mencionado, o relevo exerce forte influência na distribuição das chuvas, com o efeito orográfico na Serra da Mantiqueira (regiões de cabeceira) influenciando as maiores precipitações e variações e o restante da bacia com um relevo de baixas altitudes, relacionado com a ocorrência de chuvas bem menores e de menor variabilidade.

47. De acordo com os resultados da regionalização, a variação da precipitação anual na bacia do Rio Grande teve uma amplitude de 632 mm, com precipitação média de **1.423 mm**, precipitação máxima de **1.924 mm** e mínima de **1.292 mm**. As maiores precipitações se concentraram na cabeceira e numa faixa grande da parte central e centro-norte da bacia, enquanto que as menores ficaram mais próximas a sua foz.

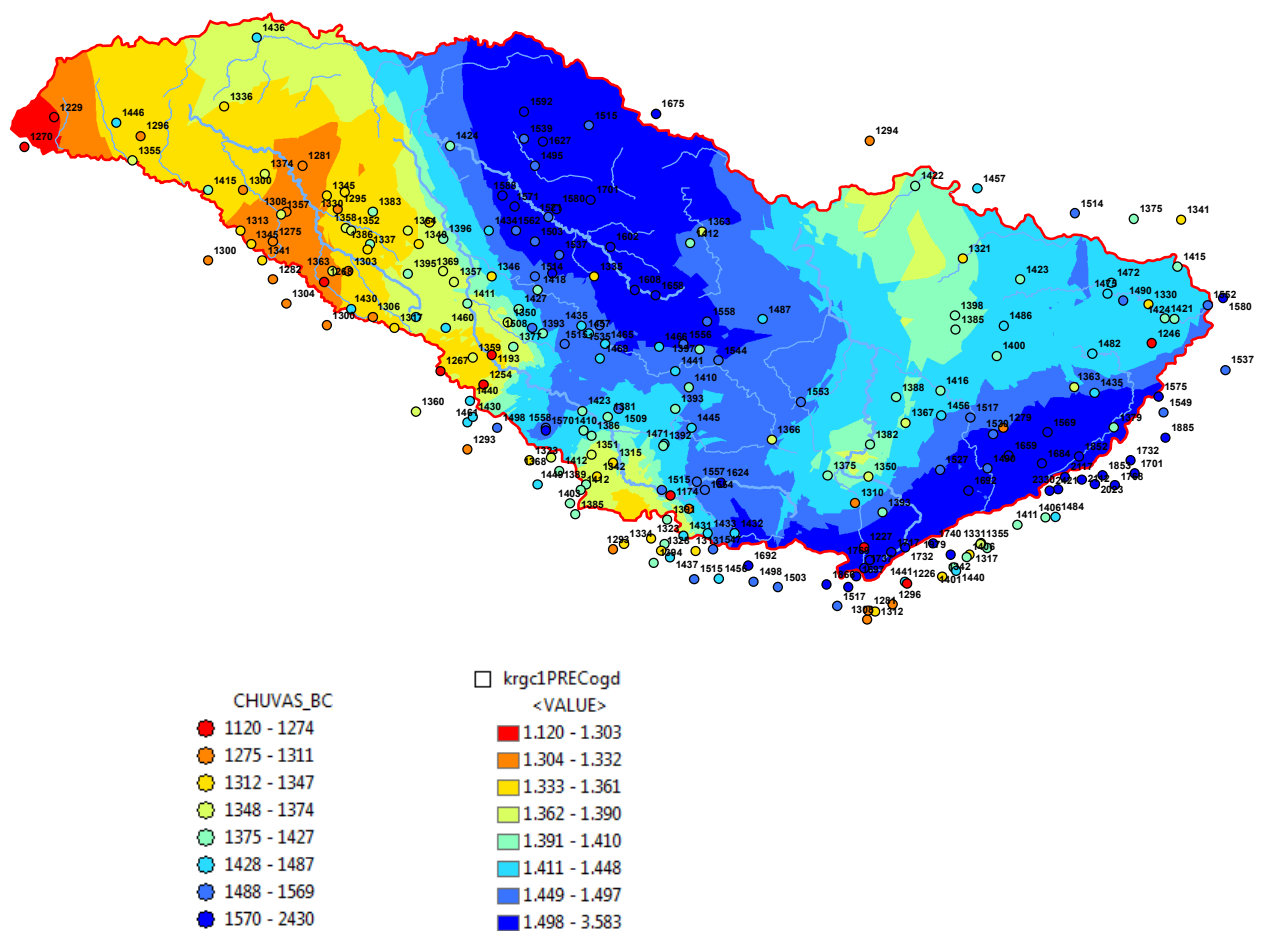


Figura 8. Espacialização da precipitação média anual segundo o método de krigagem.

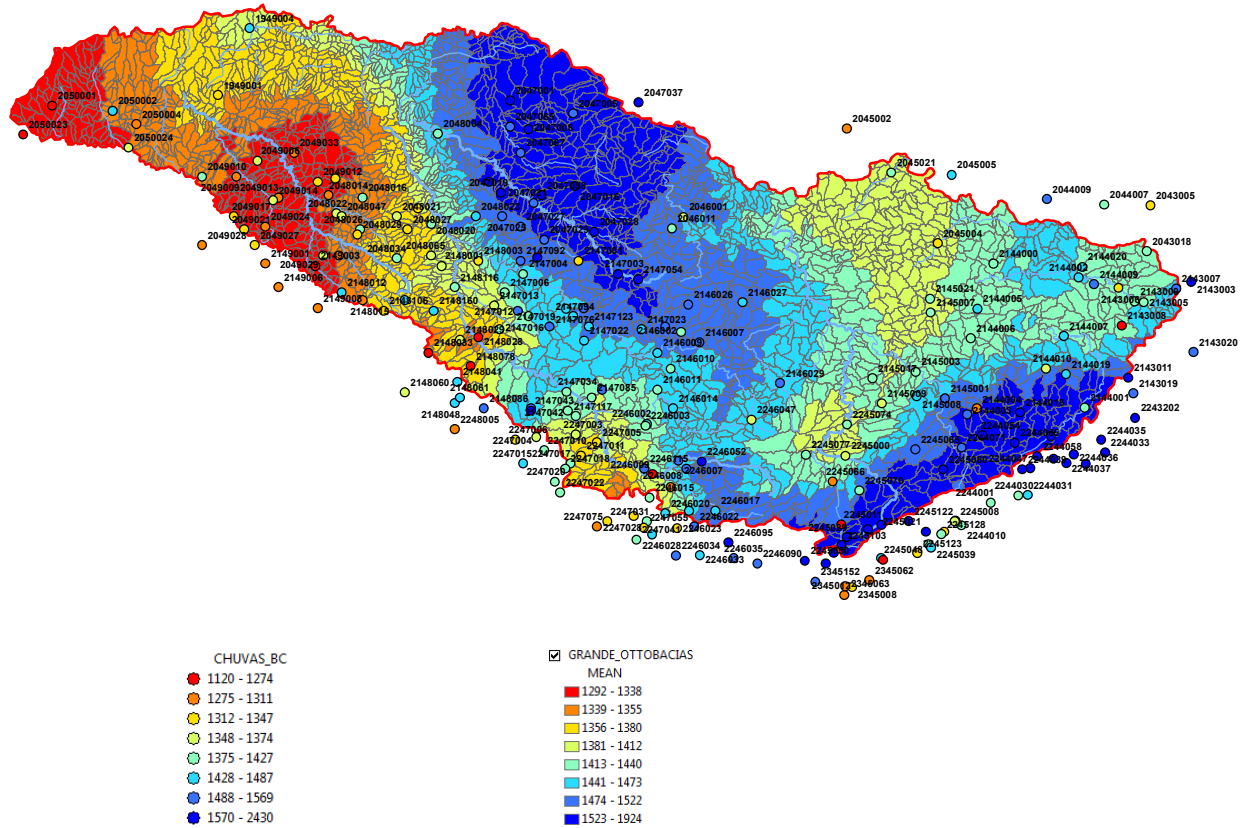


Figura 9. Espacialização da precipitação média anual nas ottobacias segundo o método de krigagem. Os números representam os códigos ANA das estações pluviométricas.

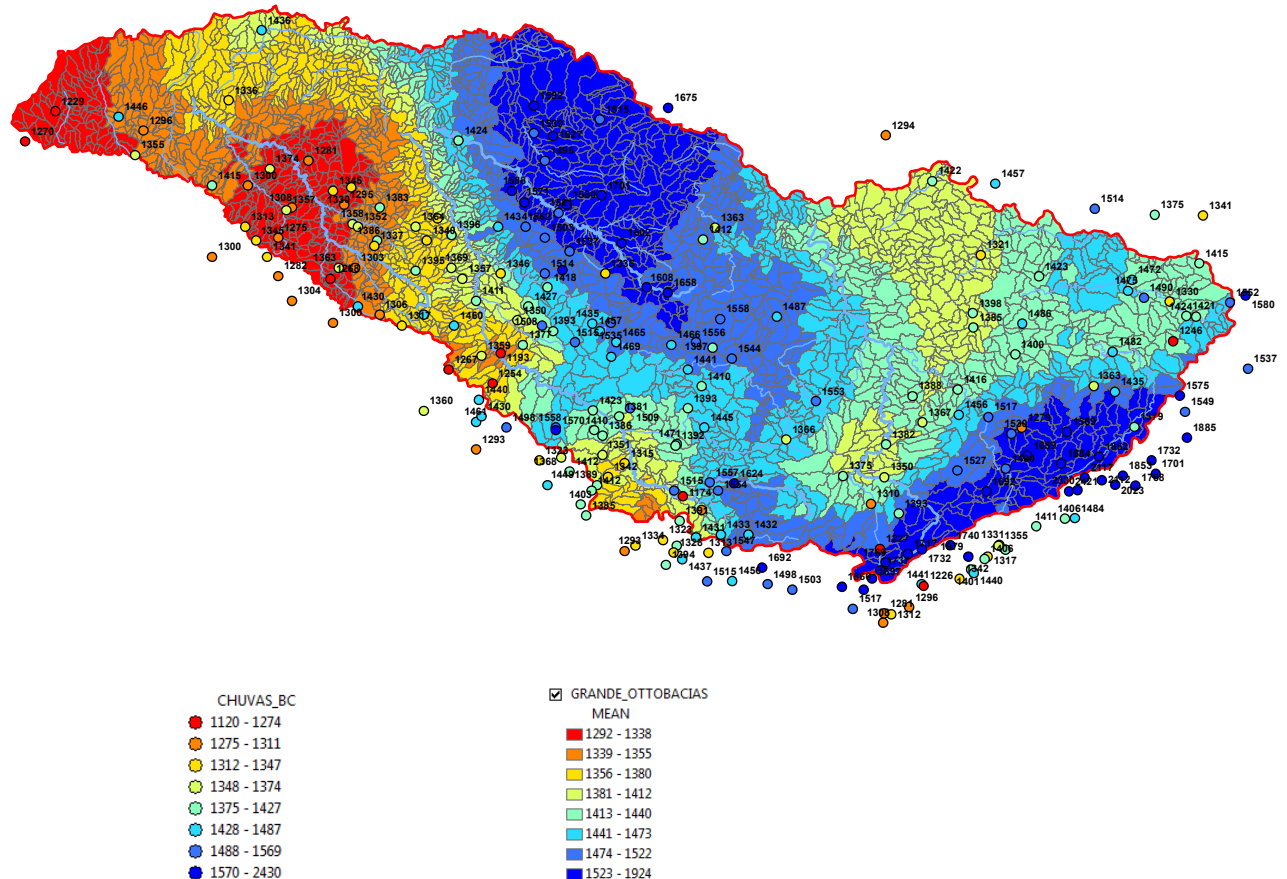


Figura 10. Espacialização da precipitação média anual nas ottobacias segundo o método de krigagem. Os números representam a precipitação anual nas estações pluviométricas.

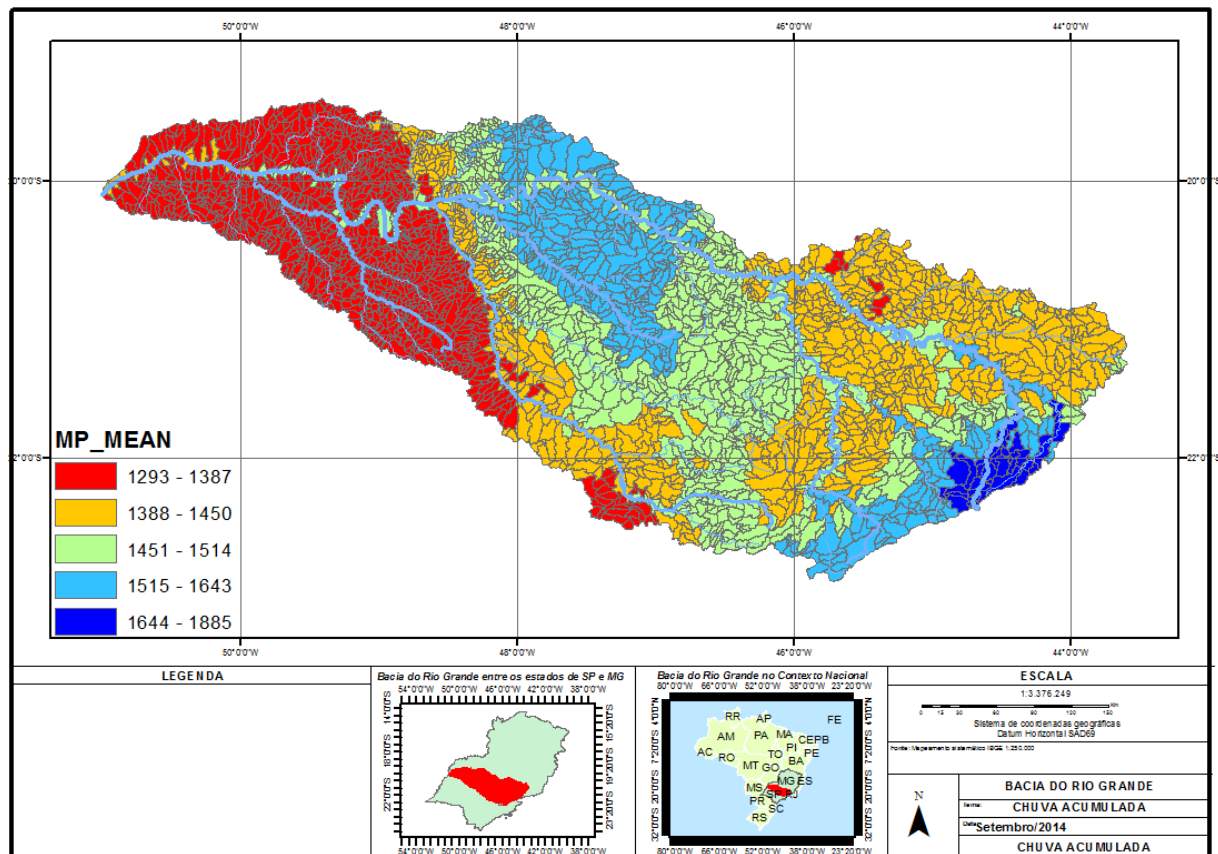


Figura 11. Precipitação média acumulada na área de drenagem de cada subárea.

3.2.5 - Estudos Fluviométricos

3.2.5.1 - Introdução

48. A primeira filtragem das estações fluviométricas e usinas na bacia do rio Grande (subbacia 61) indicou como ponto de partida 93 estações, sendo 73 oriundas do Hidro e 20 oriundas do DAEE-SP e 15 UHEs. Sobre os dados destas estações e usinas foram feitas diversas análises, apresentadas a seguir. Vale aqui antecipar que, posteriormente, algumas destas estações e UHEs serão retiradas da regionalização, por diversos crivos, descritos mais adiante.

3.3. ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA

49. A Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica (SGH/ANA) realiza periodicamente a consistência dos dados, segundo metodologia exigida pela Nota Técnica 12/2010 – “Conteúdo mínimo, modelo e prazo para entrega dos relatórios de consistência de dados fluviométricos a serem apresentados à ANA pela CPRM”.

Entretanto, previamente à realização da regionalização na bacia do rio Grande, procedeu-se uma consistência expedita dos dados diários brutos das estações fluviométricas, seguindo, basicamente, o fluxograma dos processos de consistência é esquematizado na Figura 11.

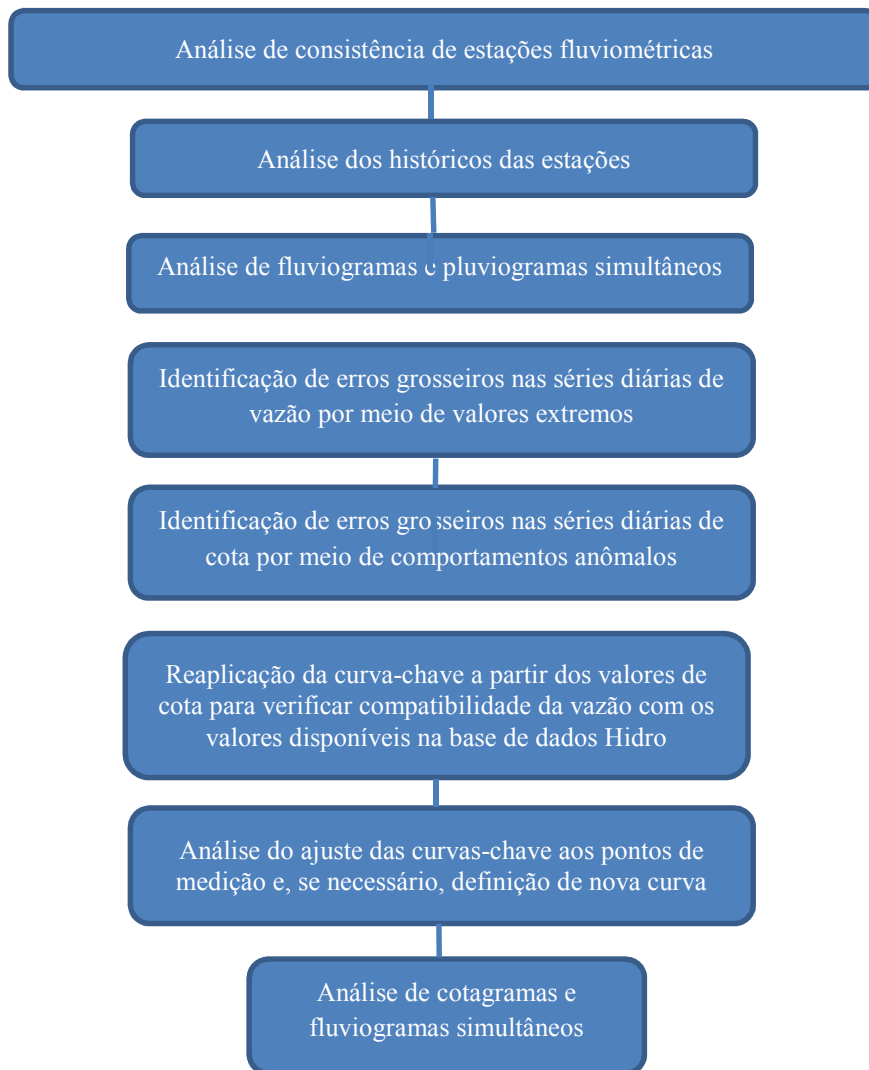


Figura 11. Fluxograma dos processos de consistência de dados hidrológicos efetuados.

3.4. PREENCHIMENTO E EXTENSÃO DE SÉRIES

3.4.1 - Introdução

50. As séries fluviométricas disponibilizadas no Brasil, em geral a partir do sistema de informações hidrológicas HIDRO da Agência Nacional de Águas (ANA), apresentam inúmeras falhas diárias, mensais e anuais, muitas vezes inviabilizando a utilização dessas séries (Oliveira, L.F.C. et al, 2010). A existência de falhas nas séries históricas se deve, basicamente, à ausência de observador, falhas nos mecanismos de registro, perda das anotações ou das transcrições dos registros pelos operadores e encerramento das observações e por mudanças de dirigentes políticos do poder Executivo e das políticas de gestão de recursos hídricos, nacionais e estaduais.

51. Entretanto, como existe a necessidade de se trabalhar com séries contínuas, essas falhas necessitam ser preenchidas (Streck et al., 2009; Bertoni & Tucci, 2007). A aplicação de técnicas estatísticas no preenchimento de falhas pode ser uma ferramenta útil nos estudos de gestão

de recursos hídricos, facilitando o conhecimento do comportamento hidrológico e, permitindo, assim, um aproveitamento consciente dos recursos hídricos (Barnetche & Kobiyama, 2006).

52. Outro ponto a destacar está na representatividade da série, pois a representatividade hidrológica depende principalmente do tamanho da série de vazões disponível, de modo que, em geral, apenas poucas estações dentro de uma bacia apresentam dados relativamente longos que permitam realizar inferências estatísticas confiáveis. Assim, a extensão de séries apresenta inúmeras vantagens, visto que valoriza a informação disponível de modo que sejam incorporados nas análises cenários hidrológicos mais fidedignos e representativos do real comportamento hidrológico da bacia analisada.

53. A bacia hidrográfica do rio Grande possui razoável cobertura por rede de monitoramento (228 estações fluviométricas com dados). Entretanto possui apenas aproximadamente uma centena delas com séries diárias de vazões longas (com pelo menos a 20 anos de dados sem falha). Muitas estações apresentam ausência de dados em pelo menos algum período. Além disso, enquanto muitas das estações que iniciaram no passado foram descontinuadas nas décadas de 60 e 70, outra boa parte começou a operar apenas no início dessas mesmas décadas. Isto tem sido uma dificuldade enfrentada nos estudos já realizados, pois eles se deparavam com a impossibilidade de obter, ao mesmo tempo, um número grande de estações, com períodos longos e espalhadas por toda a bacia. A forma de contornar esse problema foi a adoção de um período-base, geralmente começando no final da década de 60 e terminando no início da década de 2000, correspondente a aproximadamente 40 anos. Mesmo assim, o número de estações utilizadas acabou sendo reduzido para algo em torno de no máximo 70 estações.

54. Outro problema que surge da adoção desse período é que ele acaba desprezando as informações correspondentes às décadas anteriores a 1970, que aparentemente foi mais seca, e, de acordo com vários estudos, apresentou média de vazões menores. Os estudos de Müller et al., 1998 e Detzel et al., 2011) indicam uma possível mudança, correspondente a um aumento de vazões após 1970. Por esta razão, a adoção de um período-base posterior a 1970 pode estar superestimando a disponibilidade hídrica na bacia como um todo.

55. Para ilustrar esse fato, a figura 12 apresenta os valores de média-móvel de 10 anos dos valores de médios anuais de vazão, adimensionalizadas pelas respectivas MLTs, das 56 estações mais longas da bacia. A linha vermelha representa uma “vazão equivalente”, correspondente a um resultado médio dessas vazões, representado separadamente na figura 13. Conforme pode ser visto há períodos de estiagem (abaixo da linha de 100%) no passado e um período de vazões bem acima da MLT nas décadas de 70, 80 e 90.

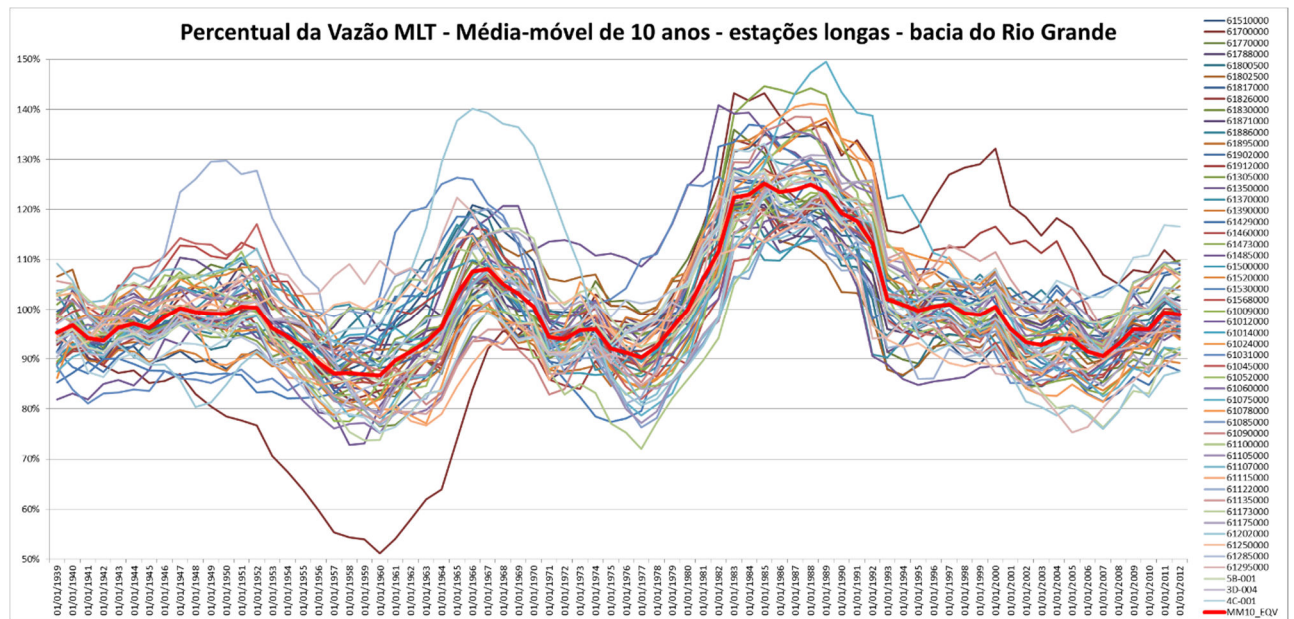


Figura 12. Gráficos de média-móvel de 10 anos dos valores de médios anuais de vazão, adimensionalizados pelas respectivas MLTs, das 56 estações fluviométricas mais longas da bacia.

56. Além disso, não se pode garantir que o período de estiagem remoto (décadas de 40 e 50) não pode voltar a ocorrer, uma vez que estatisticamente não há elementos que permitam afirmar que as médias de vazões desse período sejam significativamente diferentes das médias da estiagem que têm sido observadas no período recente (décadas de 90 e 2000), como será mostrado nas análises a seguir.

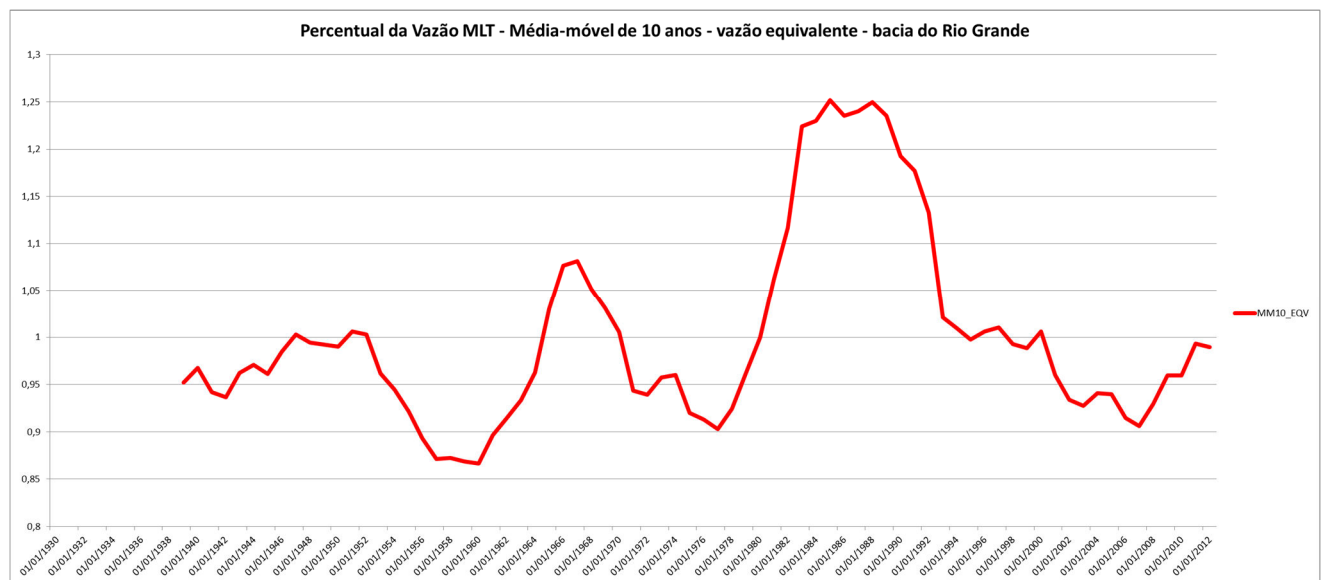


Figura 13. Gráficos de média-móvel de 10 anos dos valores de médios anuais de vazão, adimensionalizados pelas respectivas MLTs, das 56 estações fluviométricas mais longas da bacia.

3.4.2 - Aplicação de testes de hipótese para comparação entre o período recente e o período antigo das séries de vazão e precipitação

57. A ideia dessas análises é efetuar testes estatísticos para avaliar se as características de vazões médias e mínimas e de precipitações do período recente são significativamente diferentes das características para o período passado. A hipótese nula é que a média (e mediana) do período recente é a mesma do período antigo. Caso essa hipótese seja rejeitada nos testes sobre mudança na média (mediana) teste T e teste Mann-Whitney na grande maioria das séries de vazões das estações fluviométricas e nas séries de precipitação, então poder-se-á se dizer que há fortes indícios de que as vazões (ou precipitações) do presente são significativamente diferentes das vazões (ou precipitações) do passado. Neste estudo, por período presente (também aqui chamado de período recente) subentende-se duas janelas temporais: uma de 20 anos (de 1993 a 2012) e outra de 12 anos (de 2001 a 2012) e por período passado (também aqui chamado de antigo ou remoto) entende-se, de modo correspondente, dois tipos de janelas móveis: de 20 anos (com janelas variando de 1947 a 1970) e de 12 anos com janelas variando de 1945 a 1970). A tabela 1 mostra essas janelas temporais.

58. Para aplicação dos testes nas séries de vazão, foram utilizados dados de vazão observada das séries das estações fluviométricas mais longas da bacia, que possuem ao menos 10 anos de dados sem falha antes e após 1970. Para a aplicação dos testes às séries de precipitação foram utilizadas as 234 estações pluviométricas do banco de dados Hidro da ANA. Estas estações apresentam no mínimo 40 anos sem falha e pelo menos 25 anos sem falha após 1970 e em 10 delas foi feita uma consistência retirando valores extremos atípicos (*outliers*).

Tabela 1. Janelas temporais de 20 e 12 anos, que subsidiaram a subdivisão das séries históricas em dois períodos, um recente (fixo) e outro antigo (variável), para fins de testes de hipótese sobre igualdade na média.

Janelas de 20 anos		
Início	Fim	Período
1993	2012	Recente
1945	1964	Antigo
1946	1965	
1947	1966	
1948	1967	
1949	1968	
1950	1969	
1951	1970	

Janelas de 12 anos		
Início	Fim	Período
2001	2012	Recente
1947	1958	Antigo
1948	1959	
1949	1960	
1950	1961	
1951	1962	
1952	1963	
1953	1964	
1954	1965	
1955	1966	
1956	1967	
1957	1968	
1958	1969	
1959	1970	

59. Com relação às vazões foram aplicados os testes de hipótese às vazões anuais médias ($Q_{\text{méd}}$) e mínimas de 7 dias (Q_7) e com relação à precipitação foram aplicados os testes às precipitações acumuladas anuais.

60. Considerando as vazões das estações fluviométricas, os resultados dos testes t e Mann-Whitney indicaram que em torno de **12%** das estações as vazões médias do período recente são significativamente diferentes das vazões médias do período antigo e que em torno de **24%** das estações as vazões do período recente são diferentes das vazões mínimas do passado. Quando se considera a janela de 12 anos o resultado é semelhante, com diferença nas vazões médias em **12%** das estações e em torno de **20%** para o caso das vazões mínimas.

61. Com relação à precipitação os resultados apontam que apenas em torno de **15 a 20%** das estações pluviométricas a precipitação anual do período recente é diferente da precipitação anual do período antigo.

62. Em resumo, o estudo comparativo entre esses dois períodos, utilizando testes de hipótese, mostram que em um número não tão expressivo de estações da bacia houve uma mudança significativa na média ou mediana. Com isso, não se pode rejeitar a hipótese de que as características do período recente sejam semelhantes às do período antigo, ou seja, não se pode afirmar que as vazões e precipitações anteriores a 1970 não estejam mais ocorrendo. Isso mostra como é importante a consideração das vazões anteriores a 1970 e como pode ser problemática a desconsideração do período antigo nas estimativas de disponibilidade hídrica na bacia.

3.4.3 – Metodologia proposta

63. Desta maneira, uma alternativa proposta nesta Nota é utilização da máxima informação disponível, a partir de técnicas de preenchimento e extensão, com o intuito de estabelecer um conjunto grande de estações, com séries longas, espalhadas pela bacia, estimadas a partir das melhores associações possíveis entre estações, segundo critérios pré-estabelecidos de desempenho.

64. Dessa maneira, foi inicialmente realizada uma avaliação do o efeito do preenchimento e da extensão em termos de vazões características para fins de disponibilidade hídrica na bacia do rio Grande, considerando nas análises as diferenças nas principais estatísticas entre as séries originais (com falhas e incompletas) e séries preenchidas/estendidas, bem como nas magnitudes dos valores obtidos para as vazões características com permanência de 95% (Q_{95}) e vazões mínimas com 7 dias de duração e 10 anos de tempo de retorno ($Q_{7,10}$), além de se verificar eventuais perdas de variabilidade estatísticas inerente nos processos de reconstituição de séries hidrológicas. Este estudo foi aceito para publicação no XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste da ABRH, (Araujo, A.A, Aires de Souza, S. *et al.*, 2014) e suas principais análises de interesse a esta nota são apresentadas a seguir.

3.4.4 - Preenchimento e extensão

65. A técnica básica utilizada para preenchimento e extensão das séries de vazões diárias foi a da análise de regressão. Para o preenchimento das falhas nas séries históricas, (Bertoni e Tucci 2007) recomendam a seleção das estações da mesma região ecoclimática e altitude semelhante, caracterizando-a como hidrologicamente homogênea. Recomendam também que para o preenchimento de falhas nas séries temporais das vazões diárias e das precipitações devem-se escolher, em cada execução, pares de pontos com correlação máxima, definindo uma regressão linear entre os conjuntos de dados, permitindo assim, preencher a falha empregando-se o modelo ajustado.

66. Uma das dificuldades encontradas para solucionar os problemas de estimativas de séries hidrológicas, consiste em determinar uma função “robusta” que represente, com boa aproximação, o comportamento da série histórica disponível. Na metodologia utilizada na seleção do modelo de regressão são considerados aspectos espaço-temporais, cujo desempenho é avaliado de acordo com a parcela da variabilidade explicada pelo modelo testado. Assim, a metodologia de preenchimento e extensão segue este princípio de análise espaço-temporal e de valorização máxima da informação disponível, sendo melhor detalhada a partir das seguintes etapas:

1. Selecionam-se as “**n**” estações fluviométricas contidas na bacia que apresentem um tamanho mínimo de dados sem falhas na amostra;
2. Seleciona-se uma estação “**i**” (das **n** estações selecionadas na etapa 1) e avalia-se quais estações “**j**” apresentam um tamanho mínimo de dados comuns. Esta análise, considerando outras estações com diferentes tamanhos, é essencial para consideração espaço-temporal proposta;
3. Para as “**j**” estações que atenderam aos critérios predefinidos de tamanho mínimo da série e tamanho mínimo comum com a estação “**i**” são testados 10 modelos de regressão. Estes modelos estão apresentados na tabela 1, para o ajuste das funções do tipo TOTAL utiliza-se o conjunto total de dados comuns entre a estação que se quer preencher e a estação preenchedora. Já para o ajuste das funções tipo SAZONAL são efetuados o ajuste para cada mês do ano civil que tenha dados comuns entre a estação que se quer preencher e a estação preenchedora. Maiores detalhes da formulação e das técnicas de ajuste podem ser consultados em Naghettini e Pinto (2007);
4. Verifica-se para todas as “**k**” combinações de estações e modelos, $k=j \times p$, onde “**p**” é o número de modelos de regressão, aqueles que atenderam ao critério mínimo de desempenho, critério este expresso por um coeficiente de determinação (r^2) mínimo admissível para aceitação de uma determinada combinação estação-modelo;

5. Ordenam-se as “**k**” combinações de modo decrescente de valores de r^2 , de modo que a primeira combinação seja a que tenha apresentado o melhor ajuste, a segunda combinação seja aquela que tenha apresentado o segundo melhor ajuste e assim sucessivamente;
6. Para cada data diária que se deseja estender ou preencher uma falha da estação “**i**” em análise verifica-se, dentre todas as “**k**” combinações ordenadas, se alguma ou quais delas apresentam valores existentes nessa data e, caso exista pelo menos uma possibilidade, a combinação com melhor desempenho será utilizada na extensão ou no preenchimento do valor para essa data;
7. Repete-se a etapa 2 para todas as outras estações selecionadas para fins de extensão e preenchimento;
8. Para efetuar as etapas descritas anteriormente foram implementadas diversas rotinas em linguagem de programação JAVA, de modo a que fosse possível automatizar todos os procedimentos necessários.

Tabela 2 – Tipos de Modelos de regressão considerados na metodologia utilizada para preenchimento e extensão de séries diárias de vazões.

MODELOS DE REGRESSÃO
MÉDIA TOTAL/SAZONAL
LINEAR TOTAL/SAZONAL
LOGARÍTMICA TOTAL/SAZONAL
EXPONENCIAL TOTAL/SAZONAL
POTENCIAL TOTAL/SAZONAL

3.4.5 Resultados e análises sobre o preenchimento e a extensão

67. As informações utilizadas foram obtidas nos bancos de dados da ANA (Hidro) e DAEE-SP. Inicialmente foram consideradas as estações fluviométricas com séries de vazões diárias, totalizando 228 estações na bacia do rio Grande, sendo 166 oriundas da ANA e 62 oriundas do DAEE-SP. Esses dados foram coletados em 03 de abril de 2014. A seguir, com base na disponibilidade de dados, conforme pode ser visto na figura 1, foram selecionadas 93 estações a serem preenchidas, sendo 73 estações do Hidro (com no mínimo 30 anos de dados) e 20 estações do DAEE-SP (com no mínimo 20 anos de dados). Essas 93 séries foram preenchidas e estendidas no período de 1930 a 2012 (conforme figura 2) segundo os seguintes critérios:

- Estações do banco ANA: estações preenchedoras com no mínimo 15 anos de dados; no mínimo 15 anos dados comuns sem falha entre a estação a ser preenchida e a estação preenchedora (tanto nos modelos totais quanto nos sazonais) e ajustes com r^2 maior ou igual a 0,5;

- Estações do banco DAEE-SP: estações preenchedoras com no mínimo 15 anos de dados; no mínimo 10 anos dados comuns sem falha entre a estação a ser preenchida e a estação preenchedora (tanto nos modelos totais quanto nos sazonais) e ajustes com r^2 maior ou igual a 0,5.

68. Os arquivos com as informações sobre as estações os resultados do preenchimento, como informações gerais e estatísticas, critérios adotados, as estações que preencheram cada vazão diária, o método adotado em cada data, o valor do coeficiente de determinação entre outros, e as séries preenchidas estão disponibilizados no Anexo 8. Para exemplificar, a tabela 3 mostra uma gama de resultados obtidos para o preenchimento e a extensão da estação 4B-014 do DAEE, onde notam-se os 4 status: estendido, falha, observado e preenchido; códigos (estações) diferentes: 6113500, 61305000, 61460000, 61500000, 614730000, 61024000, 61800500, 61770000, 61826000, 5B-001, 4C-002, 5B-007, 4C-005, 4B-015; 3 tipos de função: linear, potência e logarítmica; e 5 tipos de período: total, jun, jul, set, out.

Tabela 3. Exemplo de resultados obtidos para o preenchimento e a extensão da estação 4B-014 do DAEE.

Data	Valor	Status	Codigo	TipoFuncao	TipoPeriodo	Ajuste (R²)	Param1	Param2	Param3	Param4
01/06/1930	2,751663168	Extendido	61135000	LINEAR	JUN	0,601326297	0,605504893	0,027585582		
01/07/1930	1,893959801	Extendido	61135000	LINEAR	JUL	0,586620585	-0,68653005	0,041607382		
01/08/1930	-99999	Falha	x	x	x	x	x	x	x	x
01/09/1930	1,935605491	Extendido	61305000	POTENCIA	TOTAL	0,556561059	0,07830896	0,906574949		
01/09/1933	1,150268153	Extendido	61460000	POTENCIA	TOTAL	0,56034864	0,136177581	0,845626289		
01/03/1934	2,848175748	Extendido	61500000	POTENCIA	TOTAL	0,563474966	0,302477725	0,837694136		
01/06/1934	1,618967201	Extendido	61500000	LINEAR	JUN	0,714754453	0,499121801	0,196464105		
01/07/1934	1,152846078	Extendido	61460000	LINEAR	JUL	0,616000882	-0,14252838	0,102158869		
07/09/1934	0,659266828	Extendido	61473000	LINEAR	SET	0,663312395	0,05137808	0,151216106		
01/10/1934	1,059399894	Extendido	61024000	POTENCIA	TOTAL	0,599017095	0,298348187	0,78637733		
01/07/1937	2,488570415	Extendido	61800500	LINEAR	JUL	0,692132332	0,245687769	0,4596071		
01/08/1937	1,831611529	Extendido	61800500	POTENCIA	TOTAL	0,632705555	0,60258771	0,818397194		
01/01/1946	15,41631092	Extendido	61770000	POTENCIA	TOTAL	0,638915688	1,170225484	0,73910945		
01/06/1946	4,545823061	Extendido	61770000	LOGARITMICA	JUN	0,718122963	0,245209855	3,074684566		
01/10/1946	3,579132863	Extendido	61770000	POTENCIA	OUT	0,659489988	0,874247842	0,75302398		
01/07/1946	3,735449656	Extendido	61770000	LINEAR	JUL	0,699998771	0,187024121	1,04983004		
01/10/1947	1,542712142	Extendido	61826000	POTENCIA	OUT	0,673159673	0,357738405	0,827366848		
27/06/1958	3,514257403	Extendido	5B-001	LINEAR	JUN	0,719355262	0,327173906	0,006353784		
01/07/1958	3,236481298	Extendido	5B-001	LINEAR	JUL	0,730449272	-0,30906936	0,007877461		
01/08/1958	2,033380691	Extendido	5B-001	POTENCIA	TOTAL	0,671187428	0,003813084	1,076584616		
01/12/1959	2,298862159	Extendido	4C-002	POTENCIA	TOTAL	0,733205458	0,697899829	0,742724633		
22/10/1969	0,747962291	Extendido	5B-007	POTENCIA	TOTAL	0,793974474	0,033574229	0,964713568		
01/06/1970	2,259758648	Extendido	5B-007	LINEAR	JUN	0,840614152	-0,35466462	0,035500832		
01/07/1970	2,679853444	Extendido	4C-005	LINEAR	JUL	0,8447208	0,214021177	0,023958728		
21/11/1980	2,213	Observado	x	x	x	x	x	x	x	x
01/07/1990	1,654	Observado	x	x	x	x	x	x	x	x
01/02/2000	7,203927459	Preenchido	5B-007	POTENCIA	TOTAL	0,793974474	0,033574229	0,964713568		
01/02/2003	12,37445191	Preenchido	4C-002	POTENCIA	TOTAL	0,733205458	0,697899829	0,742724633		
19/12/2005	2,804	Observado	x	x	x	x	x	x	x	x
01/01/2011	3,633099757	Extendido	4B-015	POTENCIA	TOTAL	0,695561172	0,82630948	0,889177648		

69. Analisando primeiramente a disponibilidade de dados, observa-se na figura 14a, correspondente às séries originais que há um gradiente na disponibilidade de dados no sentido menor quantidade na direção da foz da Bacia do rio Grande. Quando efetuado o preenchimento e

a extensão ocorreu uma homogeneização da disponibilidade de dados de modo que foi possível realizar as análises em uma base comum temporal de dados, conforme ilustrado na figura 14b. Ressalta-se que toda a espacialização apresentada, foi realizada por meio de interpolação utilizando a técnica do inverso do quadrado da distância (IDW).

70. Analisando o desempenho dos ajustes das funções de regressão utilizados no preenchimento/extensão, conforme mostrados na figura 15a, para a média, e figura 15b, para mediana, do r^2 , verifica-se que em grande parte da bacia os valores de r^2 ficaram acima de 0,8, apresentando poucos locais com desempenho menor 0,7.

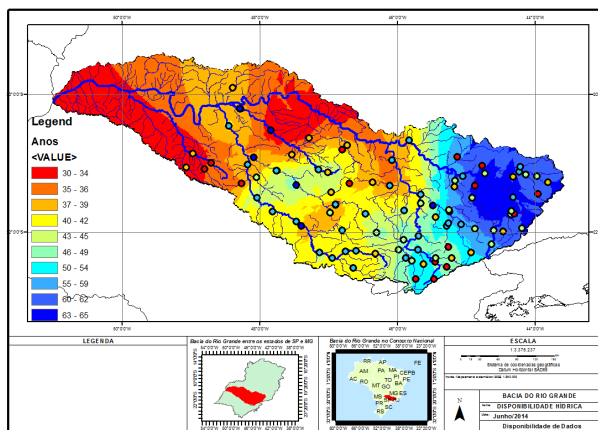


Figura 14a – Disponibilidade de dados (em número de anos) das séries originais.

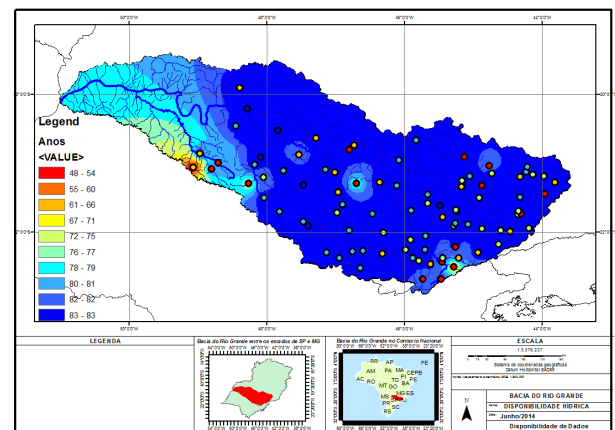


Figura 14b – Disponibilidade de dados (em número de anos) das séries preenchidas/estendidas.

71. Analisando os valores absolutos da q_{95} específica, figuras 16a e 16b, e da $q_{7,10}$ específica, figuras 17a e 17b, verifica-se que, de um modo geral, os resultados com a séries preenchidas/estendidas foi similar aos resultados da série original para as duas vazões características. No entanto, quando são avaliadas algumas regiões específicas na bacia, como por exemplo, sua parte central, observam-se algumas diferenças pontuais sugerindo uma maior suavização nos resultados, indicando que o preenchimento/extensão filtra alguns ruídos oriundo de séries com diferentes tamanhos.

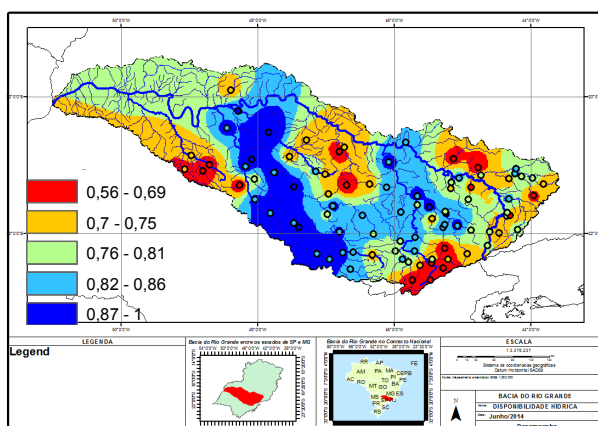


Figura 15a – Média dos R^2 obtidos dos ajustes das regressões utilizadas no Preenchimento/Extensão.

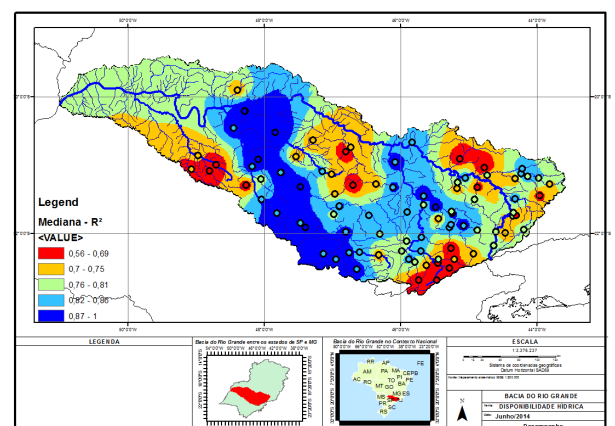


Figura 15b – Mediana dos R^2 obtidos dos ajustes das regressões utilizadas no Preenchimento/Extensão.

72. De modo a caracterizar numericamente as diferenças entre as duas séries, original e a preenchida/estendida, a figura 18 ilustra um diagrama de barras no qual indica para cada estação considerada a diferença percentual entre as $q_{7,10}$ definida a partir da série original e a definida a partir da série preenchida/estendida. Valores positivos indicam que o preenchimento/extensão aumentou o valor $q_{7,10}$ e, em caso contrário, valores negativos representam uma diminuição da $q_{7,10}$. Os resultados não apontam nenhuma tendência para super ou sub estimativa e, de um modo geral, os valores das diferenças ficaram na faixa de $\pm 10\%$.

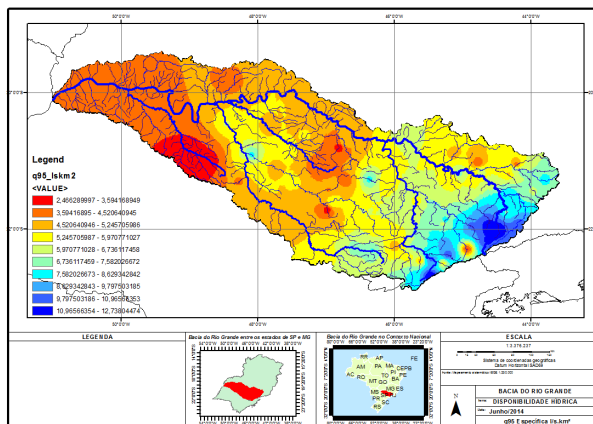


Figura 16a – Vazão específica q_{95} original

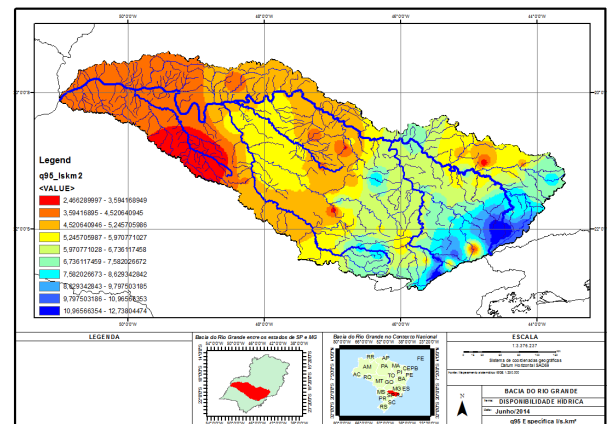


Figura 16b – Vazão específica q_{95} preenchida/estendida

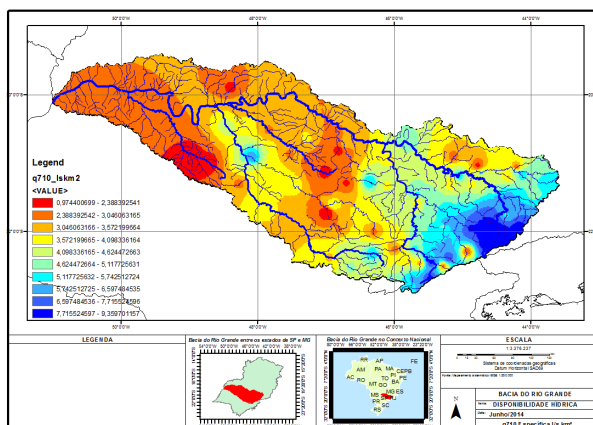


Figura 17a – vazão específica $q_{7,10}$ original (em l/s/km²).

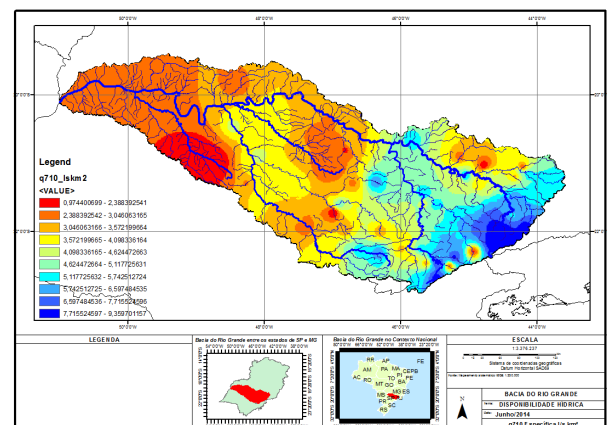


Figura 17b – vazão específica $q_{7,10}$ preenchida/estendida (em l/s/km²).

73. As figuras 19a e 19b ilustram uma espacialização das diferenças da q_{95} e $q_{7,10}$, respectivamente. Observa-se nas figuras que as diferenças positivas (correspondentes a aumento de vazão na série preenchida/estendida) situam-se nas partes alta e central da bacia, sendo que a parte central apresentou os maiores aumentos. Já na parte mais baixa da bacia, verifica-se uma tendência nos resultados de diminuição das vazões características quando efetuado o preenchimento/extensão em relação à série original.

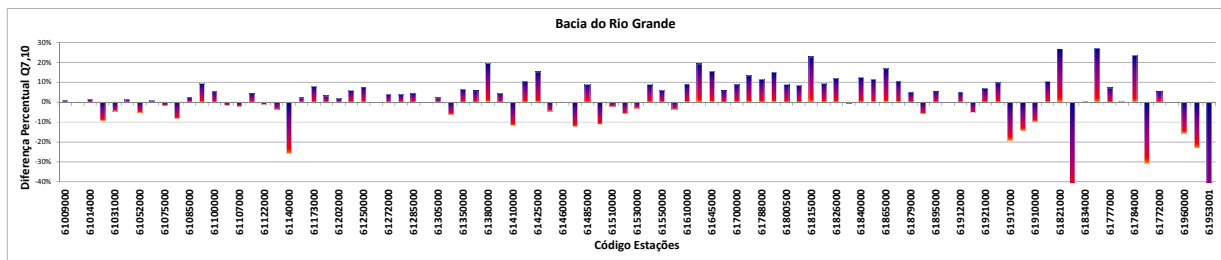


Figura 18 – Diagrama de barras da diferença percentual da $q_{7,10}$ obtida utilizando a série original e o obtido utilizando a série preenchida/estendida.

74. Para avaliar a significância estatística das diferenças acima apresentadas foram realizados testes de hipótese estatísticos na média e na variância. Para avaliar as diferenças na média foram utilizados o teste t de student e o teste não paramétrico de Mann-Whitney. Para as diferenças na variância foi utilizado o teste paramétrico F. Para todos os testes a hipótese nula é a de igualdade na média e variância. O nível de significância adotado foi de 1%. Maiores detalhes dos testes realizado podem ser encontrados em Naghettini e Pinto (2007), WMO (2000) e Aires de Souza et al. (2012) e (2013).

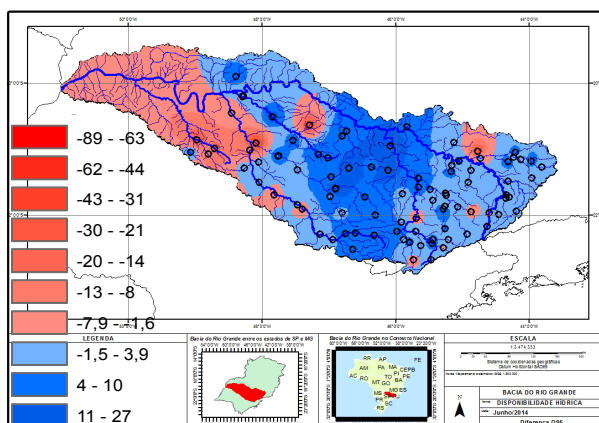


Figura 19a – Espacialização da diferença percentual entre as q_{95} obtidas utilizando as séries preenchidas/estendidas e as q_{95} obtidas utilizando as séries originais.

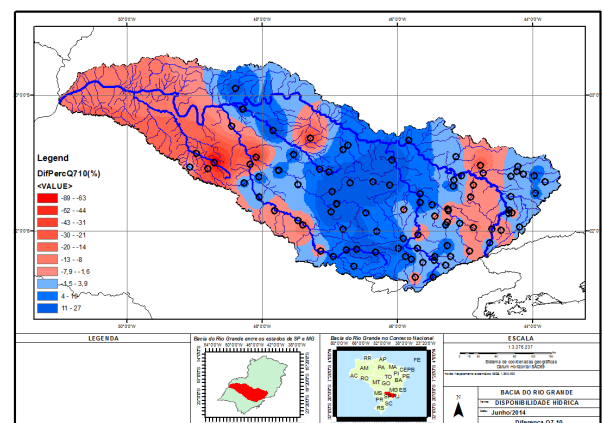


Figura 19b – Espacialização da diferença percentual entre as $q_{7,10}$ obtidas utilizando as séries preenchidas/estendidas e as $q_{7,10}$ obtidas utilizando as séries originais.

75. A tabela 4 apresenta o percentual de resultados não significativos (NS) e significativos (S) para os testes realizados. Com relação às séries que apresentaram mudanças significativas, em 2 das 3 estações no teste t, e em 4 das 5 estações no teste Mann-Whitney, a média das vazões da série preenchida/estendida foi maior que a média da série original. Os resultados sugerem que as mudanças na média e variância de um modo geral são reflexos de flutuações naturais da série, não podendo ser rejeitada a hipótese de que os dois conjuntos de séries (original e preenchida/estendida), sejam oriundos da mesma população.

Tabela 4 – Resultados dos testes de hipótese estatísticos t de Student, Mann-Whitney e teste F.

Tipo de teste	Não-significativo (NS)	Significativo (S)
Teste t	96,8% (90 estações)	3,2% (3 estações)
Mann-Whitney	94,6% (88 estações)	5,4% (5 estações)
Teste F	93,6% (87 estações)	6,4% (6 estações)

76. As figuras 20a e 20b ilustram a tendência regional do modelo probabilístico mais adequado para representar as vazões mínimas com 7 dias de duração (Q_7). Este mapa foi gerado a partir de interpolação utilizando o inverso do quadrado da distância (IDW) dos valores categorizados que representavam o tipo de modelo probabilístico escolhido para determinada estação. A seleção dos modelos probabilísticos mais adequados foi obtida por meio de ajuste visual tendo em vista a similaridade encontrada entre os ajustes testados utilizando diferentes distribuições de probabilidade. Ressalta-se que as distribuições consideradas no mapa foram aquelas que não foram rejeitadas nos testes de aderência Qui-Quadrado (QQ) e Kolmogorv-Smirnov (KS) para todas as estações.

77. Analisando os resultados das figuras 20a e 20b observa-se que quando são ajustadas as Q_7 das séries originais (figura 20a), verifica-se uma diversidade maior de distribuições escolhidas como de melhor ajuste (pelo critério de ajuste visual) do que quando são ajustadas as Q_7 utilizando as séries preenchidas/estendidas (figura 20b). Quando o mapa das Q_7 das séries originais é comparado ao mapa de disponibilidade de dados das séries originais (apresentado na figura 14a), observa-se que os locais que ocorreram maiores alterações na tipologia das distribuições de probabilidade foram justamente aquelas regiões que apresentavam menores quantidades de dados, notadamente entre as longitudes 46°W e 48°W.

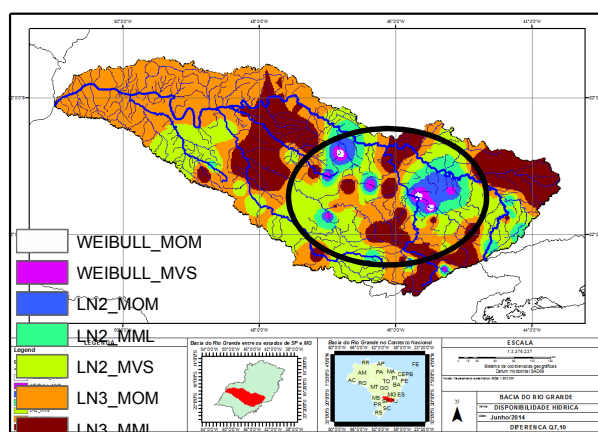


Figura 20a – Mapa das Distribuições de Probabilidade da Q_7 do conjunto de séries originais selecionadas por ajuste visual.

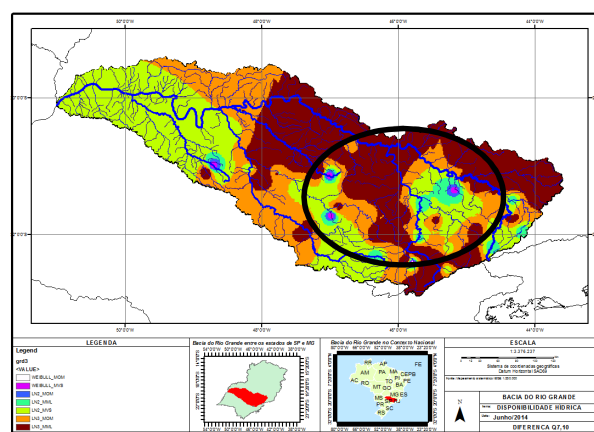


Figura 20b – Mapa das Distribuições de Probabilidade da Q_7 do conjunto de séries estendidas/preenchidas selecionadas por ajuste visual.

3.4.6 - Conclusões sobre o preenchimento e a extensão

78. Os resultados obtidos utilizando a técnica de preenchimento/extensão apresentada foram satisfatórios, principalmente por possibilitar a valorização máxima da informação disponível, considerando aspectos espaciais e temporais. A homogeneização do período possibilitou a extração de vazões características mais robustas, permitindo a obtenção de valores mais consistentes de disponibilidade hídrica, tendo em vista a suavização apresentada nos resultados quando especializados. Outro ponto importante foi a incorporação em grande parte das séries de alguns eventos extremos significativos que ocorreram no passado e só estavam registrados em poucas estações.

79. Verificou-se que não houve uma descaracterização do regime probabilístico das vazões baixas em relação à série original, sendo que os resultados tenderam para uma curva regional mais condizente com as características estatísticas mais dominantes na bacia.

3.5 - ANÁLISE DE ESTACIONARIEDADE

3.5.1 - Introdução

80. O objetivo deste item foi analisar o comportamento estatístico das séries hidrometeorológicas na bacia do rio Grande quanto à estacionariedade. Foram avaliadas eventuais mudanças nesse comportamento nas séries de vazões observadas médias, mínimas e máximas, como também nas séries de vazões naturais afluentes aos 15 principais aproveitamentos hidrelétricos localizados na bacia. Adicionalmente, foram realizadas as mesmas análises para as séries dos totais anuais precipitados e do número de dias com chuva maior que 5 mm registrada na bacia.

3.5.2 - Metodologia da análise de estacionariedade

81. A Bacia do rio Grande, como parte da bacia do rio Paraná tem sido frequentemente estudada quanto a eventuais mudanças no comportamento hidrometeorológico das séries registradas, notadamente mudanças ocorridas após a década de 70 (Muller *et al.*, 1998 e Detzel *et al.*, 2011).

82. As principais medidas de avaliação das eventuais mudanças no regime hidrológico de na bacia do rio Grande foram realizadas, inicialmente, a partir de uma análise exploratória dos dados (AED) hidrológicos disponíveis e, posteriormente, por meio de testes estatísticos de estacionariedade que demonstrassem, objetivamente, se as eventuais diferenças detectadas eram estatisticamente significantes. Os resultados obtidos foram interpretados adotando os níveis de significância (N.S) de 10%, 5% e 1% para rejeitar a hipótese nula. No entanto, sempre que

necessário, foi considerada a utilização de outros níveis de significância de modo a melhor detalhar a análise. Os resultados dos p-valores foram utilizados na consideração da intensidade das mudanças com vistas aos níveis de significâncias adotados. A tabela 5 apresenta os 14 testes estatísticos de hipótese utilizados e que compreendem uma gama dos principais testes de estacionariedade utilizados na ciência hidrológica: 3 para análise de tendência (mudança gradual), 6 para análise de saltos (mudança abrupta), sendo 4 de saltos na média, 1 na mediana e 1 na variância e 5 para análise de independência (ou aleatoriedade) de séries. Maiores detalhes sobre esses testes podem ser encontrados em ANA (2013b) e WMO (2000).

83. A metodologia clássica de reamostragem utilizada nesse estudo é a técnica de *Bootstrap* que é um método para gerar uma distribuição a partir dos dados amostrais, através de sorteio com reposição, na qual são geradas muitas séries com o mesmo número de valores (tamanho) que a série original, mas podendo ser formadas por valores repetidos desta, ou seja, as séries geradas por *bootstrap* podem conter um determinado valor repetido mais de uma vez e não conter certo valor da série original.

84. Este método permite obter uma estimativa robusta do valor crítico do teste a partir do nível de significância definido *a priori*. Neste trabalho O *bootstrap* foi utilizado para construir testes de hipótese. Após gerar aleatoriamente um número suficiente de réplicas da série original efetua-se para cada uma delas, e para a série original, o(s) teste(s) de hipótese em questão.

Tabela 5 – Testes de hipótese estatísticos para análise de estacionariedade.

Teste	Tipo de Mudança	Modelo Distributivo	Hipótese Nula
Mann-Kendall (MK)	graduais de tendência	Não-paramétrico	Não apresentar tendência
Rho de Spearman (RS)	graduais de tendência	Não-paramétrico	Não apresentar tendência
Coefficientes de Regressão Linear (RL)	graduais de tendência	Paramétrico	Não apresentar tendência
Distribution-Free CUSUM (DC)	abrupta da média	Não-paramétrico	Não apresentar mudança abrupta na média
Desvio Acumulado ou Cumulative Deviation (CD)	abrupta da média	Paramétrico	Não apresentar mudança abrupta na média
Razão de Verossimilhança de Worsley (WL)	abrupta da média	Paramétrico	Não apresentar mudança abrupta na média
Rank-Sum ou Mann-Whitney (MW)	abrupta da mediana	Não-paramétrico	Não apresentar mudança abrupta na mediana
t de Student convencional (TI)	abrupta da média	Paramétrico	Não apresentar mudança abrupta na média
F de Snedecor (ou de Fisher) convencional (TF)	abrupta da variância	Paramétrico	Não apresentar mudança abrupta na variância
Cruzamento da Mediana ou Median Crossing (MC)	Dependência dos dados	Não-paramétrico	Os dados da série são independentes
Inflexões ou Turning Points (TP)	Dependência dos dados	Não-paramétrico	Os dados da série são independentes
Diferenças de Ordens ou Rank Difference (RD)	Dependência dos dados	Não-paramétrico	Os dados da série são independentes
Autocorrelação (AC)	Dependência dos dados	Paramétrico	Os dados da série são independentes
Wald-Wolfowitz (WW)	Dependência dos dados	Não-paramétrico	Os dados da série são independentes

85. Comparando-se o valor da estatística do teste com os valores ordenados da estatística do teste das réplicas, podem-se identificar os valores críticos e o p-valor (*p-value* em inglês) da estatística do teste da série original. Maiores detalhes sobre a metodologia empregada podem ser encontrados em ANA (2013).

3.5.3 – Resultados da análise de estacionariedade

86. Para análise das séries de vazões foram utilizados os registros de todas as estações fluviométrica com no mínimo 30 anos de dados sem falha, localizadas na bacia do rio Grande. Como foram efetuados preenchimento e extensão das séries de vazões diárias, dois tipos de série foram considerados: 1) série sem preenchimento/extensão, denominada **original** e 2) série **preenchida/estendida**. O preenchimento e a extensão das séries de vazões diárias foram realizados utilizando técnicas de regressão. Ao todo foram identificadas **59** estações fluviométricas originais que atendiam ao critério predefinido, sendo que depois de efetuado preenchimento/extensão o número de estações aumentou para **93**. O ano de corte para avaliar as mudanças bruscas foi o ano de **1970**, uma vez que estudos anteriores na região sugerem mudanças nas séries a partir deste ano (MULLER *et al.*, 1998). Na aplicação dos testes estatísticos foi considerado principalmente o nível de significância de **5%** para fins de rejeição da hipótese nula. No entanto, quando analisados espacialmente, foram também considerados os níveis de significância de **1%** e **10%**. Na aplicação da técnica de reamostragem *bootstrap* foram consideradas 1000 amostras na construção do teste.

87. A tabela 6 apresenta o resumo do resultado geral da aplicação dos testes de estacionariedade às séries de vazões mínimas com 7 dias de duração (Q7dias) e às séries de vazões médias e máximas, originais e preenchidas/estendidas. A coluna NS da tabela 6 trata do percentual de resultados em que não foi rejeitada a hipótese nula de estacionariedade ao nível de 5%, sendo o valor entre parêntesis o número absoluto de estações que representa esse percentual. A coluna S representa o percentual de resultados em que foi rejeitada a hipótese nula de estacionariedade.

Tabela 6 – Resumo dos resultados dos testes de estacionariedade das séries de vazões ao N.S de 5% por tipo de mudança: tendência, salto, variância e independência.

Tipo de teste	Vazões Mínimas (Q_7dias)				Médias				Máximas			
	Original		Preench./Estendida		Original		Preench./Estendida		Original		Preench./Estendida	
	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S
Tendência	66,67(118,0)	33,33(59,0)	58,42(163,0)	41,58(116,0)	88,14(156,0)	11,86(21,0)	77,42(216,0)	22,58(63,0)	67,23(119,0)	32,77(58,0)	46,95(131,0)	53,05(148,0)
Salto	65,42(193,0)	34,58(102,0)	52,04(242,0)	47,96(223,0)	86,78(256,0)	13,22(39,0)	75,48(351,0)	24,52(114,0)	77,29(228,0)	22,71(67,0)	54,84(255,0)	45,16(210,0)
Variância	86,44(51,0)	13,56(8,0)	76,34(71,0)	23,66(22,0)	98,31(58,0)	1,69(1,0)	96,77(90,0)	3,23(3,0)	88,14(52,0)	11,86(7,0)	70,97(66,0)	29,03(27,0)
Independência	50,17(148,0)	49,83(147,0)	36,56(170,0)	63,44(295,0)	49,49(146,0)	50,51(149,0)	41,29(192,0)	58,71(273,0)	78,64(232,0)	21,36(63,0)	59,57(277,0)	40,43(188,0)

88. A tabela 7 apresenta os resultados individualizados de cada teste. Os resultados sugerem que a maioria das séries de vazões mínimas, médias e máximas não apresenta mudanças significativas em nenhum tipo de mudança analisada. No entanto, para as séries de vazão máximas preenchidas/estendidas houve um número maior de resultados significativos. Isto se deve à incorporação de alguns eventos extremos ocorridos no passado e que não estavam registrados nas séries originais. É importante destacar que em todas as variáveis analisadas, o preenchimento/extensão amplificou os resultados significativos.

Tabela 7 – resumo dos resultados dos testes estacionariedade, ao N.S. de 5%, aplicados nas séries de vazões mínimas (q7dias), médias e máximas, originais e preenchidas/estendidas.

Tipo de Teste	Vazões Mínimas (Q. 7dias)				Médias				Máximas			
	Original		Preench./Estendida		Original		Preench./Estendida		Original		Preench./Estendida	
	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S
Mann-Kendall	67,80% (40)	32,20% (19)	56,99% (53)	43,01% (40)	88,14% (52)	11,86% (7)	78,49% (73)	21,51% (20)	67,80% (40)	32,20% (19)	47,31% (44)	52,69% (49)
Spearman's Rho	62,71% (37)	37,29% (22)	56,99% (53)	43,01% (40)	88,14% (52)	11,86% (7)	77,42% (72)	22,58% (21)	64,41% (38)	35,59% (21)	47,31% (44)	52,69% (49)
Linear Regression	69,49% (41)	30,51% (18)	61,29% (57)	38,71% (36)	88,14% (52)	11,86% (7)	76,34% (71)	23,66% (22)	69,49% (41)	30,51% (18)	46,24% (43)	53,76% (50)
Teste T	54,24% (32)	45,76% (27)	51,61% (48)	48,39% (45)	81,36% (48)	18,64% (11)	70,97% (66)	29,03% (27)	79,66% (47)	20,34% (12)	46,24% (43)	53,76% (50)
Distribution CUSUM	93,22% (55)	6,78% (4)	88,17% (82)	11,83% (11)	98,31% (58)	1,69% (1)	98,92% (92)	1,08% (1)	94,92% (56)	5,08% (3)	92,47% (86)	7,53% (7)
Cumulative Deviation	57,63% (34)	42,37% (25)	49,46% (46)	50,54% (47)	76,27% (45)	23,73% (14)	63,44% (59)	36,56% (34)	64,41% (38)	35,59% (21)	39,78% (37)	60,22% (56)
Worsley Lik. Ratio	66,10% (39)	33,90% (20)	19,35% (18)	80,65% (75)	91,53% (54)	8,47% (5)	72,04% (67)	27,96% (26)	72,88% (43)	27,12% (16)	48,39% (45)	51,61% (48)
Mann-Whitney	55,93% (33)	44,07% (26)	51,61% (48)	48,39% (45)	86,44% (51)	13,56% (8)	72,04% (67)	27,96% (26)	74,58% (44)	25,42% (15)	47,31% (44)	52,69% (49)
Teste F	86,44% (51)	13,56% (8)	76,34% (71)	23,66% (22)	98,31% (58)	1,69% (1)	96,77% (90)	3,23% (3)	88,14% (52)	11,86% (7)	70,97% (66)	29,03% (27)
Median Crossing	61,02% (36)	38,98% (23)	48,39% (45)	51,61% (48)	76,27% (45)	23,73% (14)	79,57% (74)	20,43% (19)	79,66% (47)	20,34% (12)	63,44% (59)	36,56% (34)
Turning Points	89,83% (53)	10,17% (6)	63,44% (59)	36,56% (34)	86,44% (51)	13,56% (8)	88,17% (82)	11,83% (11)	91,53% (54)	8,47% (5)	95,70% (89)	4,30% (4)
Rank Difference	23,73% (14)	76,27% (45)	9,68% (9)	90,32% (84)	33,90% (20)	66,10% (39)	17,20% (16)	82,80% (77)	67,80% (40)	32,20% (19)	39,78% (37)	60,22% (56)
Autocorrelation	40,68% (24)	59,32% (35)	33,33% (31)	66,67% (62)	25,42% (15)	74,58% (44)	10,75% (10)	89,25% (83)	77,97% (46)	22,03% (13)	50,54% (47)	49,46% (46)
Wald-Wolfowitz	35,59% (21)	64,41% (38)	27,96% (26)	72,04% (67)	25,42% (15)	74,58% (44)	10,75% (10)	89,25% (83)	76,27% (45)	23,73% (14)	48,39% (45)	51,61% (48)

89. A tabela 8 apresenta o resumo da aplicação dos 3 testes de tendência, considerando o sentido, crescente ou decrescente.

90. Em relação às vazões mínimas, nas séries originais, em dois terços das estações registra-se uma tendência de aumento da vazão, sendo que em 40% dessas estações esse aumento foi estatisticamente significativo. Por outro lado, apenas em 20% do um terço de estações que apresentaram tendência decrescente de vazões, essa diminuição é estatisticamente significativa.

91. No caso das séries preenchidas e estendidas, manteve-se o resultado de aproximadamente dois terços das estações indicando tendência de aumento de vazões, mas o percentual de aumento estatisticamente significativo subiu para 50%.

92. Em relação às vazões máximas o resultado para as séries originais foi aproximadamente o mesmo que o resultado das mínimas para as séries originais. Mas para as séries preenchidas o efeito de aumento nas vazões foi maior (mais de 80% das estações) e com um percentual também maior de valores crescentes estatisticamente significativos (quase 60%).

93. Para as vazões médias, os resultados também apontam uma tendência de aumento das vazões, sendo que ao se comparar o resultado das séries preenchidas/estendidas com as séries originais observa-se um aumento dessa tendência, tanto no percentual de estações em que houve aumento (de 69% para 88%), quanto no percentual de resultados crescentes estatisticamente significativos (de 15% para 26%).

Tabela 8 – Resumo dos resultados dos testes de tendência ao N.S de 5% em função do sentido: crescente e decrescente.

Significação dos Teste de TENDÊNCIA	Vazões Mínimas (Q. 7dias)				Médias				Máximas			
	Original		Preench./Estendida		Original		Preench./Estendida		Original		Preench./Estendida	
	Crescente	Decrescente	Crescente	Decrescente	Crescente	Decrescente	Crescente	Decrescente	Crescente	Decrescente	Crescente	Decrescente
Não Significante	59,83% (70)	80,00% (48)	50,85% (90)	71,57% (73)	85,37% (105)	94,44% (51)	74,39% (183)	100,00% (33)	61,48% (75)	80,00% (44)	40,09% (91)	76,92% (40)
Significante	40,17% (47)	20,00% (12)	49,15% (87)	28,43% (29)	14,63% (18)	5,56% (3)	25,61% (63)	0,00% (0)	38,52% (47)	20,00% (11)	59,91% (136)	23,08% (12)
Total	66,10% (117)	33,90% (60)	63,44% (177)	36,56% (102)	69,49% (123)	30,51% (54)	88,17% (246)	11,83% (33)	68,93% (122)	31,07% (55)	81,36% (227)	18,64% (52)

94. Os resultados da aplicação dos testes de salto na média são muito semelhantes aos resultados de tendência, conforme pode ser visto na tabela 9, indicando que a média pós 1970 é maior que a média do período anterior e que esse efeito é mais pronunciado quando se realiza

preenchimento e extensão de séries, de acordo com o percentual de resultados “Maiores” estatisticamente significativos.

Tabela 9 – Resumo dos resultados dos testes de salto, ao nível de significância de 5%, em função do sentido do salto após 1970: Maior e Menor.

Significância dos Teste de SALTO na Média	Vazões Mínimas (Q_7dias)				Médias				Máximas			
	Original		Preench./Estendida		Original		Preench./Estendida		Original		Preench./Estendida	
	Maior	Menor	Maior	Menor	Maior	Menor	Maior	Menor	Maior	Menor	Maior	Menor
Não Significante	59,62% (127)	80,49% (66)	44,86% (157)	73,91% (85)	83,02% (176)	96,39% (80)	71,17% (279)	98,63% (72)	76,47% (156)	79,12% (72)	52,15% (194)	65,59% (61)
Significante	40,38% (86)	19,51% (16)	55,14% (193)	26,09% (30)	16,98% (36)	3,61% (3)	28,83% (113)	1,37% (1)	23,53% (48)	20,88% (19)	47,85% (178)	34,41% (32)
Total	72,20% (213)	27,80% (82)	75,27% (350)	24,73% (115)	71,86% (212)	28,14% (83)	84,30% (392)	15,70% (73)	69,15% (204)	30,85% (91)	80,00% (372)	20,00% (93)

95. De modo a avaliar o padrão espacial dos resultados dos testes aplicados, foi realizado um procedimento de interpolação utilizando a técnica do inverso do quadrado da distância (IDW) sobre os p-valores calculados para cada teste. Nesta Nota serão apresentados apenas os resultados do teste Mann-Kendall (tendência) e Mann-Whitney (Salto). Na identificação do sentido da mudança, crescente ou decrescente para tendência, e maior ou menor para saltos, foi efetuada uma categorização nos pontos que representam a estação analisada. Os pontos em azul indicam a estação cuja série apresentou aumento nos valores da variável analisada, por exemplo, vazões médias ou mínimas. Em vermelho indica-se o oposto, representando diminuição. Quanto maior o círculo da estação, mais significativas são as diferenças apontadas nos resultados dos testes.

96. A espacialização dos resultados dos testes de tendência Mann-Kendall (figuras 21a e 21b) e Mann-Whitney (figuras 22a e 22b) entre as séries de vazões mínimas originais e preenchidas/estendidas sugerem uma tendência de aumento das vazões mínimas, sendo encontradas evidências de que possa existir um salto na série após 1970, conforme apontado nas figuras 21a e 21b. Verifica-se que os resultados para as séries preenchidas/estendidas o efeito de mudança é mais pronunciado. Comparando as figuras 22a e 22b, vemos que a área representando os resultados estatisticamente significativos do teste de salto na média MW é maior que a área correspondente no teste de tendência MK, indicando que o efeito da tendência seja devido ao salto ocorrido após 1970. Resultados semelhantes, mas em menor grau, podem ser observados nas espacializações dos resultados dos testes para as vazões médias (figuras 23a e 23b para os testes MK e figuras 24a e 24b para os testes MW) e máximas (figuras 25a e 25b para os testes MK e figuras 26a e 26b para os testes MW).

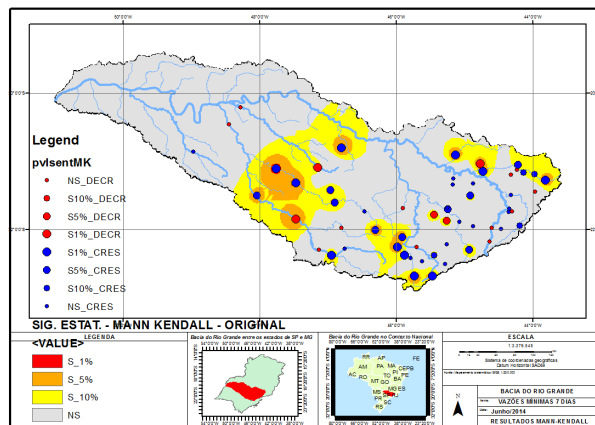


Figura 21a – teste MK para vazões mínimas originais.

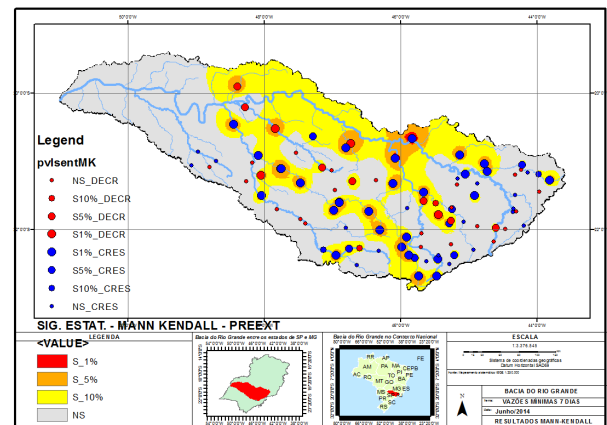


Figura 21b – teste MK para vazões mínimas preenchidas/estendidas.

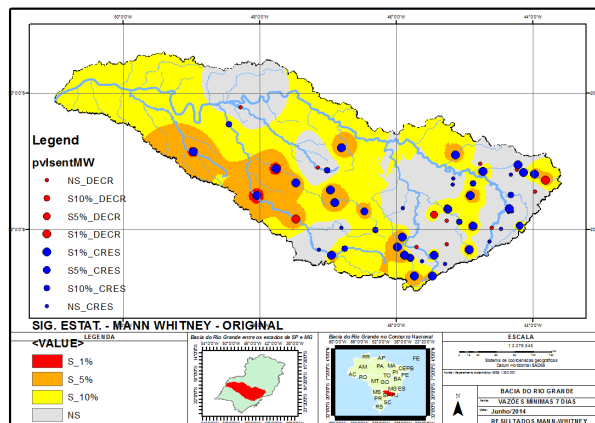


Figura 22a – teste MW para vazões mínimas originais.

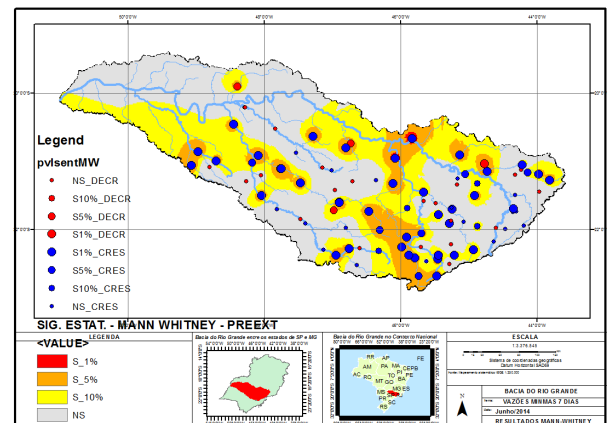


Figura 22b – teste MW para vazões mínimas preenchidas/estendidas.

97. Outra análise realizada neste trabalho foi a da aplicação dos testes de estacionariedade às séries de vazões naturais reconstituídas nos locais das 15 principais usinas hidrelétricas (UHEs) localizadas nos rios Grande e Pardo. Os resultados gerais da aplicação dos testes, conforme tabela 10, indicam um alto percentual de rejeição da hipótese nula de estacionariedade nas vazões mínimas e máximas em relação à tendência (acima de 40% significativas) e das mínimas em relação a salto (da ordem de 40%) após 1970. A tabela 11 aponta que na maioria das séries de vazões naturais há um predomínio de resultados decrescentes para as mínimas e médias (69% e 76% respectivamente) e de resultados crescentes para as máximas (84%). Só que, enquanto no caso das mínimas, mais de 60% dos resultados decrescentes são estatisticamente significativos, nas médias, em nenhum caso a diminuição é significativa. Para as máximas, quase metade (47%) dos resultados crescentes são significativos. Os resultados apontados na tabela 11 para as vazões mínimas e médias estão em desacordo com os resultados gerais apresentados nas séries de vazões médias e mínimas observadas nas estações fluviométricas localizadas na bacia como um todo. Assim, recomenda-se efetuar uma análise mais aprofundada no processo de reconstituição das vazões afluentes a essas usinas de modo a verificar as causas desse comportamento.

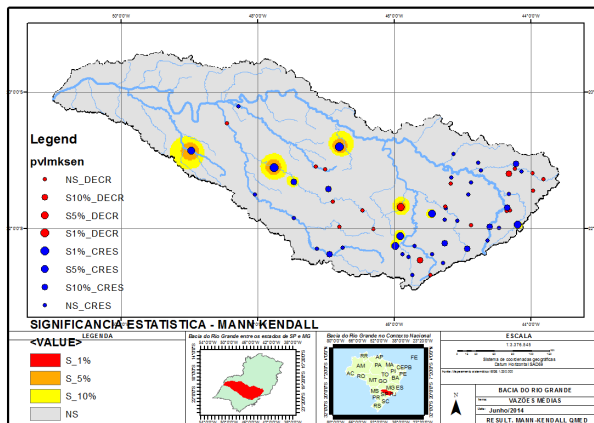


Figura 23a – teste MK nas séries de vazões médias anuais originais.

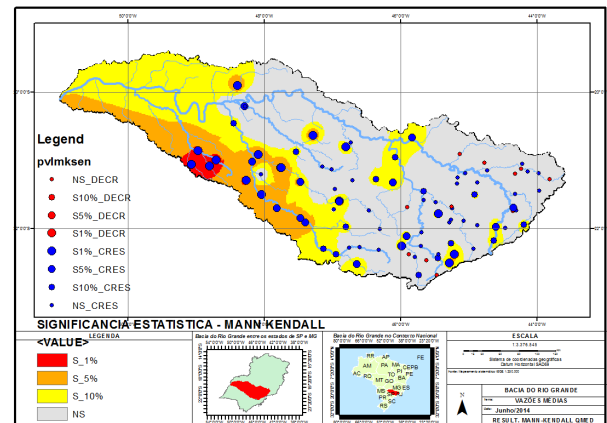


Figura 23b – teste MK nas séries de vazões médias anuais preenchidas/estendidas.

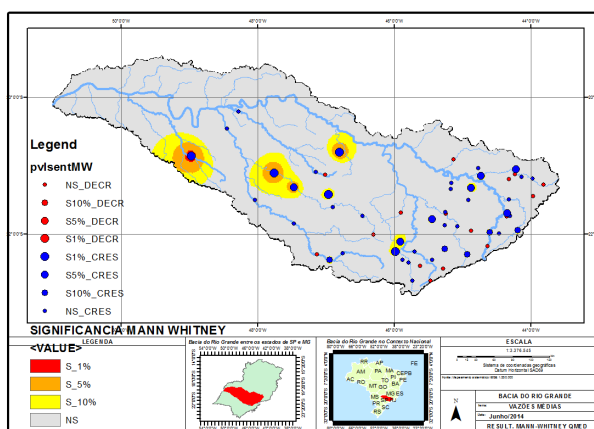


Figura 24a – teste MW nas séries de vazões médias anuais originais. Ano de corte 1970.

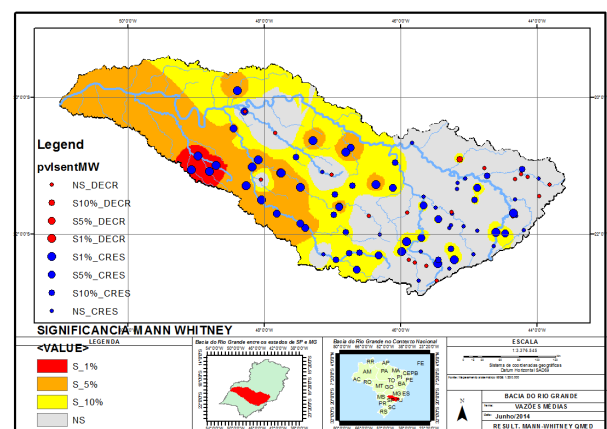


Figura 24b – teste MW nas séries de vazões médias anuais preenchidas/estendidas. Ano de corte 1970.

98. Para análise dos totais acumulados de precipitação e do número de dias com chuvas maiores que 5 mm, conforme resultados de aplicação de testes de estacionariedade apresentados na tabela 12, foram utilizados os registros de todas as estações que estavam localizadas na bacia do rio Grande, considerando um “buffer” de 30 km. Foram identificadas mais de 1000 estações pluviométricas com registros de chuva. Posteriormente foi efetuada uma nova filtragem dessas 1000 estações considerando apenas aquelas que tinham registrados no mínimo 40 anos de dados sem falhas e que apresentassem no mínimo 20 anos de dados sem falha no período após 1970. Nesta nova filtragem foram identificadas 217 estações. A tabela 12 apresenta um resumo dos resultados dos testes estatísticos aplicados nos totais anuais de chuva e do número de dias de chuva maiores que 5 mm. Observa-se na tabela que mais de 70% dos resultados dos testes de tendência e salto aplicados a todas as séries indicaram pela não rejeição da hipótese nula de estacionariedade.

99. Observando as figuras 27a e 28a para o teste MK e 27b e 28b para o teste MW verifica-se para diversos locais na bacia uma tendência de aumento na precipitação total e no número de dias chuvosos bem como um aumento na média dessas variáveis após 1970. No entanto, em grande parte da bacia, conforme apontado na tabela 12, os aumentos não são significativos.

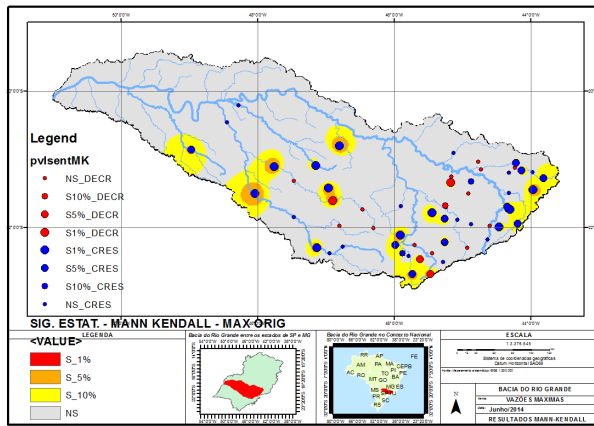


Figura 25a – teste MK para vazões máximas originais.

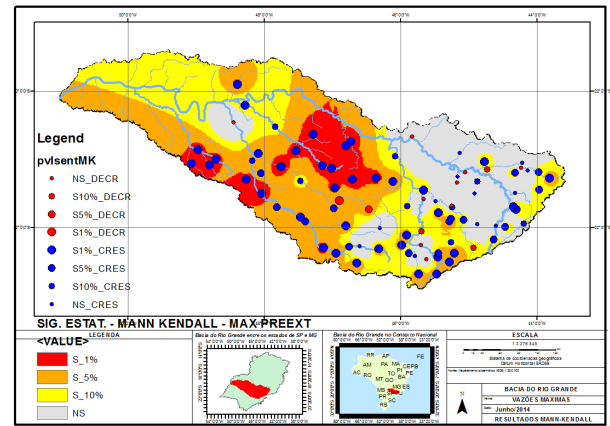


Figura 25b – teste MK para vazões máximas preenchidas/estendidas.

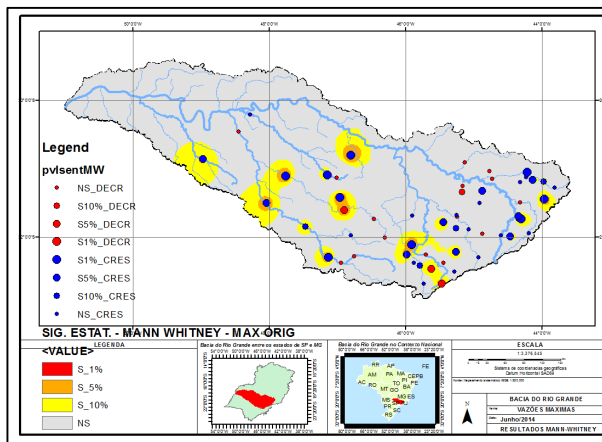


Figura 26a – teste MW para vazões máximas originais.

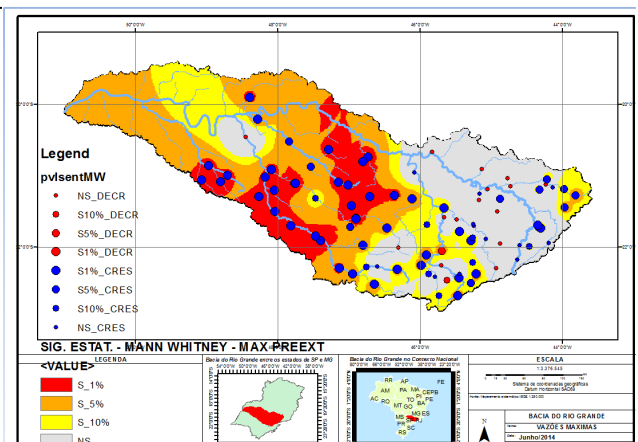


Figura 26b – teste MW para vazões máximas preenchidas/estendidas.

Tabela 10 – Vazões naturais de UHEs: resumo dos testes de estacionariedade ao N. S de 5%.

Tipo de teste	Mínimas (Q_7dias)		Médias		Máximas	
	Original		Original		Original	
	NS	S	NS	S	NS	S
Tendência	53% (24)	47% (21)	100% (45)	0% (0)	56% (25)	44% (20)
Salto	60% (45)	40% (30)	100% (75)	0% (0)	84% (63)	16% (12)
Variância	100% (15)	0% (0)	100% (15)	0% (0)	100% (15)	0% (0)
Independência	32% (24)	68% (51)	37% (28)	63% (47)	52% (39,0)	48% (36)

Tabela 11 – Vazões naturais de UHEs: resultados dos testes de tendência, ao N. S de 5%.

Significância dos Teste de TENDÊNCIA	Mínimas (Q_7dias)		Médias		Máximas	
	Original		Original		Original	
	Cresc.	Decresc.	Cresc.	Decresc.	Cresc.	Decresc.
Não Signif.	85,7% (12)	38,7% (12)	100,0% (11)	100,0% (34)	52,6% (20)	71,4% (5)
Signif.	14,3% (2)	61,3% (19)	0,0% (0)	0,0% (0)	47,4% (18)	28,6% (2)
Total	31,1% (14)	68,9% (31)	24,4% (11)	75,6% (34)	84,4% (38)	15,6% (7)

3.5.4 – Conclusões sobre análise de estacionariedade

100. Os resultados sugerem que de um modo geral o comportamento estatístico das séries de vazões mínimas, médias e máximas não apresentam mudanças significativas, visto que mais de 60% dos resultados para diferentes testes não indicam mudanças. No entanto não se pode afirmar que regionalmente a bacia apresente comportamento estacionário, tendo em vista que foram identificadas regiões com resultados significativos para as mudanças analisadas. Sendo que estas mudanças, significativas ou não, apontam para um aumento das vazões. Os resultados para o total precipitado anual e para o número de dias de chuva maiores que 5mm são bem próximos

dos resultados apontados nas vazões. No entanto, verifica-se um número maior de resultados não significativos para as chuvas. Estes resultados indicam que o aumento das vazões na bacia pode ser explicado, em parte, pelo aumento da precipitação, sendo que outras causas, como por exemplo uso do solo, possam também estar associadas a esse aumento.

Tabela 12 – Totais anuais e nº de dias com chuvas maiores que 5mm: resumo dos resultados de estacionariedade, ao N.S. de 5%, por tipo de mudança: tendência, salto, variância e independência.

Tipo de teste	TOTAL ANUAL		Nº DIAS DE CHUVA > 5mm	
	Original		Original	
	NS	S	NS	S
Tendência	71,4% (437)	28,6% (175)	78,1% (478)	21,9% (134)
Salto	71,3% (727)	28,7% (293)	76,6% (781)	23,4% (239)
Variância	91,2% (186)	8,8% (18)	87,8% (179)	12,2% (25)
Independência	84,7% (864)	15,3% (156)	86,5% (882)	13,5% (138)

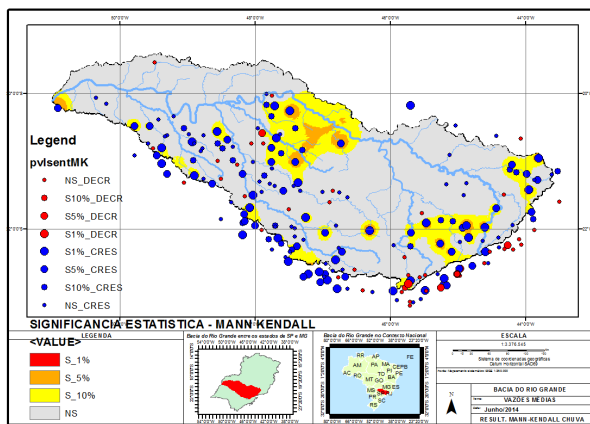


Figura 27a – Resultado do teste Mann-Kendall nas séries dos totais anuais precipitados.

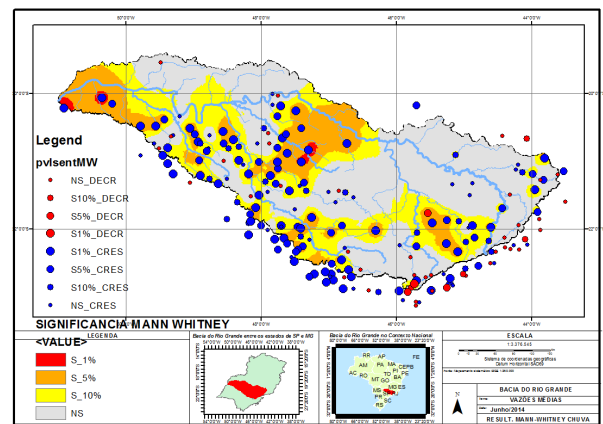


Figura 27b – Resultado do teste Mann-Whitney nas séries dos totais anuais precipitados.

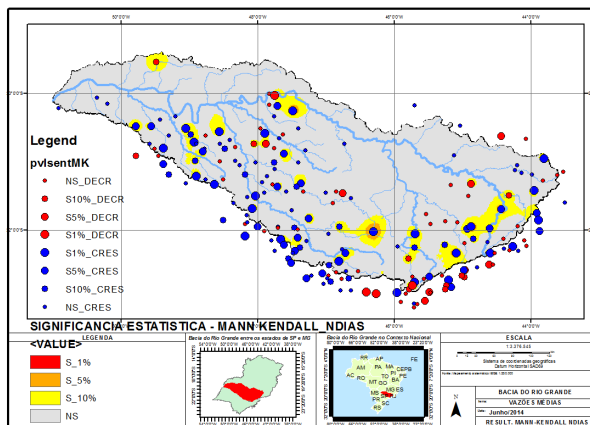


Figura 28a – Resultado do teste MK nas séries de número de dias com chuvas superiores a 5mm.

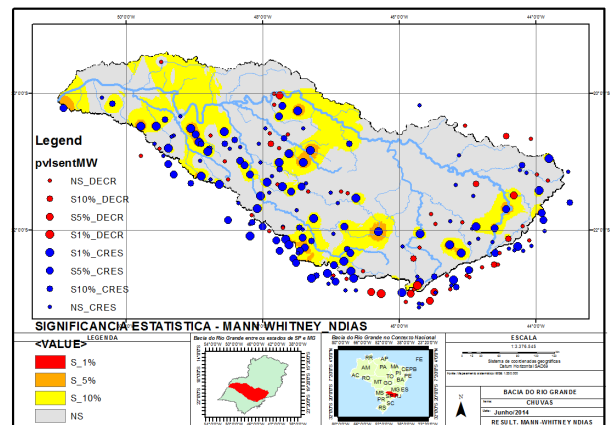


Figura 28b – Resultado do teste MW nas séries de número de dias com chuvas superiores a 5mm.

4. DISPONIBILIDADE HÍDRICA

4.1 - DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES CARACTERÍSTICAS NAS ESTAÇÕES E UHES

101. As vazões características (Q_{MLT} - vazão média de longo termo, Q_{95} - vazão com permanência de 95% e $Q_{7,10}$ - vazão mínima de 7 dias com tempo de retorno de 10 anos) foram calculadas a partir das séries de vazões diárias das estações fluviométricas preenchidas e estendidas, desconsiderando anos com falha, ou seja todas vazões características são estimada apenas com anos que apresentam 365 (ou 366 em caso de ano bissexto) valores de vazão. A tabela 13 apresenta as vazões características das estações fluviométricas analisadas e das usinas hidrelétricas.

Tabela 13. Vazões características das estações fluviométricas e das usinas hidrelétricas.

N	Estação/ UHE	Área (km ²)	Q_{MLT} (m ³ /s)	q_{MLT} (L/s/km ²)	Q_{95} (m ³ /s)	q_{95} (L/s/km ²)	$Q_{7,10}$ (m ³ /s)	$Q_{7,10}$ (L/s/km ²)
1	61009000	529	14,6	27,7	5,80	11,0	4,64	8,77
2	61012000	2070	47,9	23,1	17,70	8,6	12,66	6,12
3	61014000	282	7,3	25,9	3,16	11,2	2,61	9,26
4	61024000	532	18,0	33,9	6,62	12,4	4,98	9,36
5	61031000	104	3,3	31,6	1,27	12,2	0,91	8,75
6	61045000	383	7,8	20,4	2,80	7,3	1,89	4,93
7	61052000	274	5,4	19,5	2,11	7,7	1,60	5,84
8	61060000	1960	47,2	24,1	17,68	9,0	13,86	7,07
9	61075000	1010	19,0	18,8	6,42	6,4	4,86	4,81
10	61078000	1820	33,7	18,5	10,36	5,7	6,58	3,62
11	61085000	569	13,4	23,6	4,53	8,0	3,14	5,52
12	61090000	1040	21,1	20,3	7,55	7,3	5,40	5,19
13	61100000	186	3,4	18,4	1,25	6,7	0,96	5,16
14	61105000	828	16,2	19,5	5,92	7,1	4,68	5,65
15	61107000	2720	51,4	18,9	18,52	6,8	13,45	4,94
16	61115000	643	12,4	19,4	2,66	4,1	1,67	2,60
17	61122000	272	5,8	21,2	1,51	5,6	0,94	3,46
18	61135000	6070	118,9	19,6	38,90	6,4	28,04	4,62
19	61140000	348	5,9	17,1	1,04	3,0	0,58	1,67
20	61150000	15800	317,4	20,1	120,45	7,6	91,85	5,81
21	61173000	390	6,1	15,6	2,26	5,8	1,65	4,23
22	61175000	1020	16,1	15,7	5,45	5,3	4,11	4,03
23	61202000	1620	29,8	18,4	8,09	5,0	4,53	2,80
24	61230000	25400	473,7	18,6	185,00	7,3	135,21	5,32
25	61250000	109	3,7	33,5	1,39	12,8	0,97	8,90
26	61267000	112	1,7	15,6	0,62	5,5	0,32	2,86
27	61272000	870	22,5	25,9	10,44	12,0	7,97	9,16
28	61280000	268	6,9	25,6	2,92	10,9	2,14	7,99
29	61285000	560	12,8	22,9	4,39	7,8	3,06	5,46

N	Estação/ UHE	Área (km²)	Q _{MLT} (m³/s)	q _{MLT} (L/s/km²)	Q ₉₅ (m³/s)	q ₉₅ (L/s/km²)	Q _{7,10} (m³/s)	Q _{7,10} (L/s/km²)
30	61295000	156	3,1	19,7	0,79	5,1	0,50	3,21
31	61305000	2810	56,7	20,2	20,50	7,3	15,39	5,48
32	61320000	475	10,7	22,5	3,57	7,5	2,63	5,54
33	61350000	1310	26,4	20,1	7,64	5,8	4,94	3,77
34	61370000	676	14,0	20,8	4,04	6,0	2,67	3,95
35	61380000	390	9,7	25,0	1,99	5,1	1,29	3,31
36	61390000	486	9,1	18,7	2,76	5,7	1,89	3,89
37	61410000	7330	154,1	21,0	46,00	6,3	33,66	4,59
38	61415000	7755	151,0	19,5	54,66	7,0	40,40	5,21
39	61425000	9410	163,1	17,3	55,12	5,9	40,22	4,27
40	61429000	292	4,0	13,6	1,04	3,6	0,68	2,33
41	61460000	1840	39,9	21,7	14,35	7,8	11,38	6,18
42	61473000	614	16,4	26,7	6,03	9,8	4,37	7,12
43	61485000	71,2	1,9	26,0	0,70	9,8	0,45	6,32
44	61500000	744	16,0	21,4	6,02	8,1	4,39	5,90
45	61510000	4180	90,5	21,6	30,70	7,3	23,19	5,55
46	61520000	854	14,2	16,7	5,23	6,1	4,08	4,78
47	61530000	360	7,0	19,4	2,65	7,4	1,69	4,69
48	61537000	6300	122,4	19,4	44,66	7,1	33,65	5,34
49	61550000	16500	301,8	18,3	114,96	7,0	91,33	5,54
50	61568000	732	15,7	21,4	4,81	6,6	3,24	4,43
51	61610000	884	17,5	19,8	7,47	8,5	5,55	6,28
52	61615000	1450	23,6	16,3	9,29	6,4	7,19	4,96
53	61645000	24200	432,7	17,9	154,00	6,4	114,75	4,74
54	61695000	1280	21,2	16,5	7,08	5,5	4,60	3,59
55	61700000	473	7,8	16,4	1,62	3,4	1,03	2,18
56	61770000	226	4,1	18,4	1,04	4,6	0,53	2,35
57	61788000	6260	100,7	16,1	32,60	5,2	22,64	3,62
58	61795000	1980	31,3	15,8	8,34	4,2	5,06	2,56
59	61800500	357	7,9	22,3	2,07	5,8	1,12	3,14
60	61802500	1650	32,3	19,5	10,72	6,5	7,19	4,36
61	61815000	76	1,2	16,3	0,37	4,9	0,22	2,89
62	61817000	4090	82,0	20,0	28,80	7,0	21,02	5,14
63	61826000	649	9,7	14,9	3,04	4,7	2,12	3,27
64	61830000	8490	133,9	15,8	46,56	5,5	34,78	4,10
65	61840000	10700	185,7	17,4	61,20	5,7	44,22	4,13
66	61861000	463	9,9	21,4	4,00	8,6	3,00	6,48
67	61865000	918	18,1	19,7	7,32	8,0	5,14	5,60
68	61871000	1300	25,9	20,0	9,28	7,1	6,53	5,02
69	61879000	1140	23,0	20,2	7,96	7,0	5,69	4,99
70	61886000	4670	81,0	17,3	25,82	5,5	17,81	3,81
71	61895000	622	11,7	18,9	3,18	5,1	1,94	3,12
72	61902000	10100	147,0	14,6	46,09	4,6	31,07	3,08
73	61912000	13900	207,0	14,9	73,00	5,3	54,67	3,93
1	61925000	33740	486,9	14,4	197,44	5,9	149,47	4,43
2	61912500	435	4,9	11,2	1,93	4,4	1,30	2,99

N	Estação/ UHE	Área (km ²)	Q _{MLT} (m ³ /s)	q _{MLT} (L/s/km ²)	Q ₉₅ (m ³ /s)	q ₉₅ (L/s/km ²)	Q _{7,10} (m ³ /s)	Q _{7,10} (L/s/km ²)
3	61923000	3834	68,8	18,0	21,69	5,7	14,47	3,77
4	61917000	9650	137,6	14,3	44,07	4,6	25,80	2,67
5	61916000	16650	231,0	13,9	88,81	5,3	65,85	3,95
6	61910000	12291	174,6	14,2	61,04	5,0	41,50	3,38
7	61913500	918	10,2	11,1	4,99	5,4	3,75	4,08
8	61821000	346	4,4	12,6	1,05	3,0	0,45	1,30
9	61855000	12445	190,6	15,3	72,89	5,9	54,91	4,41
10	61834000	10679	166,1	15,6	56,01	5,2	40,72	3,81
11	61817002	4093	78,5	19,2	28,82	7,0	20,47	5,00
12	61777000	178	3,1	17,4	1,05	5,9	0,56	3,15
13	61787500	6281	103,8	16,5	33,24	5,3	23,54	3,75
14	61784000	4748	79,7	16,8	27,12	5,7	18,08	3,81
15	61776800	276	4,1	14,9	1,192	4,3	0,78	2,83
16	61772000	449	8,2	18,2	1,968	4,4	1,17	2,61
17	61964000	427	4,4	10,2	1,053	2,5	0,76	1,78
18	61960000	2068	18,6	9,0	5,296	2,6	3,61	1,75
19	61956001	620	5,6	9,1	1,666	2,7	1,13	1,82
20	61953001	578	5,3	9,2	1,445	2,5	0,56	0,97
1	CAMARGOS	6279	131,0	20,9	49,0	7,80	37,26	5,93
2	FUNIL-GRANDE	15770	303,3	19,2	108,0	6,85	80,74	5,12
3	FURNAS	52138	919,9	17,6	294,0	5,64	200,21	3,84
4	MASC. DE MORAES	59730	1027,4	17,2	332,0	5,56	228,58	3,83
5	L. C. BARRETO	61252	1052,3	17,2	339,0	5,53	234,12	3,82
6	JAGUARA	61871	1062,4	17,2	342,6	5,54	240,17	3,88
7	IGARAPAVA	63693	1092,0	17,1	352,0	5,53	246,59	3,87
8	VOLTA GRANDE	67691	1157,8	17,1	373,0	5,51	260,96	3,86
9	PORTO COLOMBIA	77427	1315,5	17,0	420,0	5,42	294,24	3,80
10	CACONDE	2588	53,8	20,8	16,0	6,18	10,64	4,11
11	EUCLIDES DA CUNHA	4392	87,4	19,9	28,0	6,38	19,07	4,34
12	A. SALES DE OLIVEIRA	4471	88,8	19,9	28,0	6,26	19,42	4,34
13	MARIMBONDO	118515	1840,4	15,5	631,0	5,32	473,28	3,99
14	AGUA VERMELHA	139437	2083,5	14,9	728,0	5,22	551,15	3,95
15	ITUTINGA	6302	131,0	20,8	49,0	7,78	36,47	5,79

Q_{MLT}: vazão média de longo termo; Q₉₅: vazão com permanência de 95%;

4.2 IDENTIFICAÇÃO DE ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS E USINAS COM DADOS INCONSISTENTES

102. Para a identificação de estações e UHEs com dados de vazões características q_{95} e $q_{7,10}$, foi utilizado neste estudo o método de identificação de *outliers* baseado na estatística *Box-Plot*, considerando as 93 séries de vazões observadas das estações fluviométricas selecionadas na bacia do rio Grande e as 15 séries de vazões naturais das UHEs na bacia dos rios Grande e Pardo.

4.2.1 - 93 séries de vazões observadas das estações fluviométricas

4.2.1.1 - q_{95} de estações

103. A tabela 14 apresenta os valores de estatística Box-Plot para a q_{95} (em L/s/km²) das estações e a tabela 16 apresenta as estações identificadas como possíveis *outliers*. A figura 29 (com eixo de abscissas em escala logarítmica) apresenta graficamente a dispersão dos valores e os limites superior (LS1), e inferior (LI1), destacados pelas linhas alaranjadas, e os limites superior extremo (LS2) e inferior extrema (LI2), representados por linhas vermelhas.

Tabela 14. Box-Plot

LS2	13,6
LS1	10,5
Q3	7,3
Q2	5,9
Média	6,4
Q1	5,2
LI1	2,1
LI2	-1,1

Tabela 15. Estações com valores atípicos de q_{95} .

N	Código	AD	Q_{95} (m ³ /s)	q_{95} (L/s/km ²)
25	61250000	109	1,4	12,8
4	61024000	532	6,6	12,4
5	61031000	104	1,3	12,2
27	61272000	870	10,4	12
3	61014000	282	3,2	11,2
1	61009000	529	5,8	11
28	61280000	268	2,9	10,9

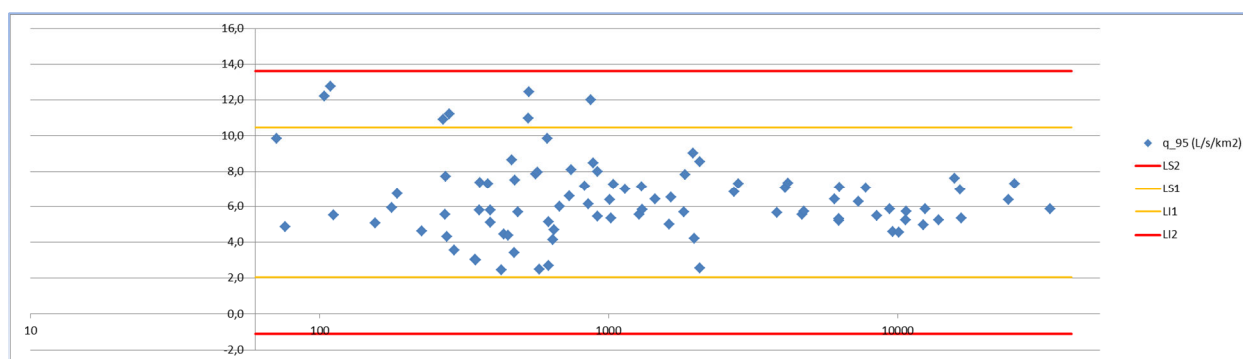


Figura 29. Box-Plot dos valores de q_{95} das estações fluviométricas.

4.2.1.2 - $q_{7,10}$ de estações

104. A tabela 16 apresenta os valores de estatística Box Plot para a $q_{7,10}$ (em L/s/km²) das estações e a tabela 17 apresenta as estações identificadas como possíveis *outliers*. A figura 30 (com eixo de abscissas em escala logarítmica) apresenta graficamente a dispersão dos valores e os limites superior (LS1), e inferior (LI1), destacados pelas linhas alaranjadas, e os limites superior extremo (LS2) e inferior extrema (LI2), representados por linhas vermelhas.

Tabela 16. Box-Plot.

LS2	12,1
LS1	8,8
Q3	5,5
Q2	4,4
Média	4,5
Q1	3,3
LI1	0
LI2	-3,4

Tabela 17. Estações com valores atípicos de $q_{7,10}$.

N	Código	AD (km ²)	$Q_{7,10}$ (m ³ /s)	$q_{7,10}$ (L/s/km ²)
4	61024000	532	5	9,4
3	61014000	282	2,6	9,3
27	61272000	870	8	9,2
25	61250000	109	1	8,9

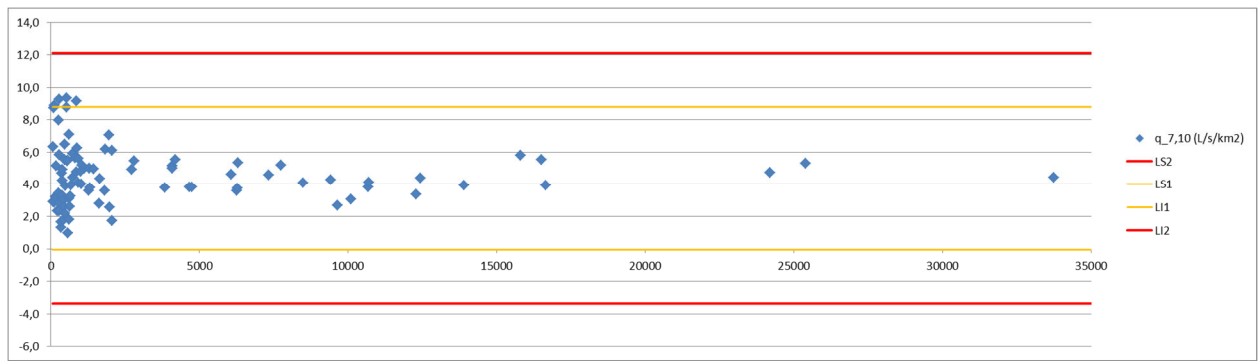


Figura 30. Box-Plot dos valores de $q_{7,10}$ das estações fluviométricas.

4.2.2 - 15 séries de vazões naturais das UHEs

4.2.2.1 - q_{95} de UHEs

105. A tabela 18 apresenta os valores de estatística Box Plot para a q_{95} (em L/s/km²) das UHEs e a tabela 19 apresenta as UHEs identificadas como possíveis *outliers*. A figura 31 (com eixo de abscissas em escala logarítmica) apresenta graficamente a dispersão dos valores e o limite superior (LS1), e inferior (LI1), destacados pelas linhas alaranjadas, e os limites superior extremo (LS2) e inferior extremo (LI2), representados por linhas vermelhas.

Tabela 18. Box-Plot.

LS2	8,7
LS1	7,5
Q3	6,3
Q2	5,6
Média	6
Q1	5,5
LI1	4,3
LI2	3,1

Tabela 19. Usinas com valores atípicos de q_{95} .

N	Código	AD (km ²)	$Q_{7,10}$ (m ³ /s)	$q_{7,10}$ (L/s/km ²)
94	1	6279	49	7,8
108	2	6302	49	7,8

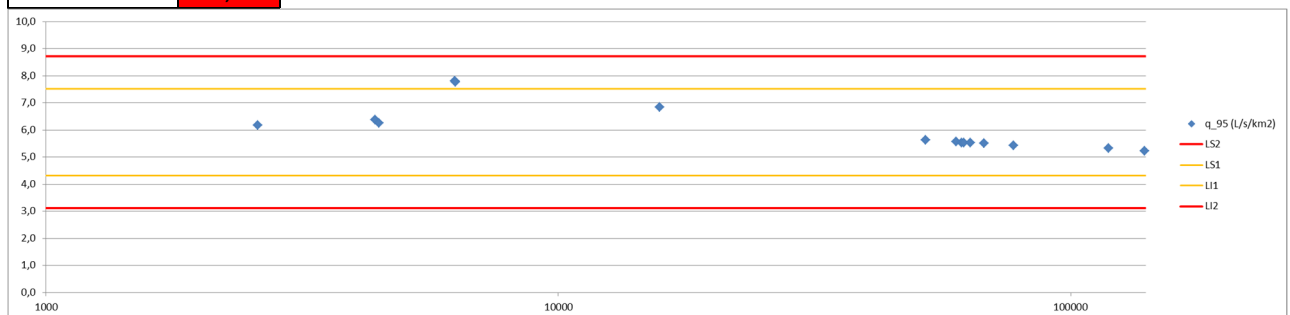


Figura 31. Box-Plot dos valores de q_{95} das usinas.

4.2.2.2 - $q_{7,10}$ de UHEs

106. A tabela 20 apresenta os valores de estatística Box-Plot para a $q_{7,10}$ (em L/s/km²) das UHEs e a tabela 21 apresenta as UHEs identificadas como possíveis *outliers*. A figura 32 (com eixo de abscissas em escala logarítmica) apresentam graficamente a dispersão dos valores e os

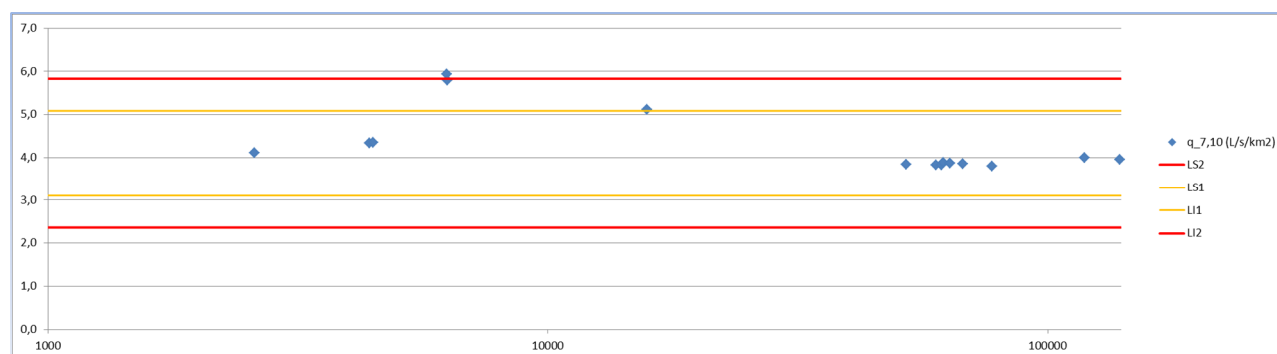
limites superior (LS1), e inferior (LI1), destacados pelas linhas alaranjadas, e os limites superior extremo (LS2) e inferior extrema (LI2), representados por linhas vermelhas.

Tabela 20. Box-Plot.

LS2	5,8
LS1	5,1
Q3	4,3
Q2	4
Média	4,3
Q1	3,8
LI1	3,1
LI2	2,4

Tabela 21. Usinas com valores atípicos de $q_{7,10}$.

N	Código	AD (km ²)	$Q_{7,10}$ (m ³ /s)	$q_{7,10}$ (L/s/km ²)
94	1	6279	37,26	5,9
108	2	6302	36,47	5,8

Figura 32. Box-Plot dos valores de $q_{7,10}$ das estações fluviométricas.

107. Além da utilização do Box-Plot, decidiu-se excluir do processo de regionalização algumas UHEs devido ao fato de suas séries apresentarem a mesma gênese das vazões (por exemplo terem sido definidas por relação entre áreas de drenagem) ou para garantir a continuidade na fronteira entre as áreas incrementais. Assim, foram excluídas, adicionalmente, as usinas: Igarapava, Itutinga, L.C. Barreto, Jaguará, A. S. de Oliveira e Marimbondo.

108. Após essas análises, decidiu-se por excluir do processo de regionalização as estações e UHEs listadas nas tabelas 22 e 23.

Tabela 22. Estações excluídas.

N	Código	AD (km ²)
25	61250000	109
4	61024000	532
5	61031000	104
27	61272000	870
3	61014000	282
1	61009000	529
28	61280000	268

Tabela 23. UHEs excluídas.

1	94	CAMARGOS
2	95	FUNIL-GRANDE
7	100	IGARAPAVA
15	108	ITUTINGA
5	98	L. C. BARRETO
6	99	JAGUARA
12	105	A. SALES DE OLIVEIRA
13	106	MARIMBONDO

109. Finalmente, as estações e UHEs a serem utilizadas nos processos de regionalização de vazões para a definição da disponibilidade hídrica na bacia são listadas nas tabelas 24.

Tabela 24. Lista das estações fluviométricas selecionadas

	Estação/	Área	Q _{MLT}	q _{MLT}	Q ₉₅	q ₉₅	Q _{7,10}	Q _{7,10}
N	UHE	(km ²)	(m ³ /s)	(L/s/km ²)	(m ³ /s)	(L/s/km ²)	(m ³ /s)	(L/s/km ²)
2	61012000	2070	47,9	23,1	17,7	8,6	12,66	6,12
6	61045000	383	7,8	20,4	2,8	7,3	1,89	4,93
7	61052000	274	5,4	19,5	2,11	7,7	1,6	5,84
8	61060000	1960	47,2	24,1	17,68	9	13,86	7,07
9	61075000	1010	19	18,8	6,42	6,4	4,86	4,81
10	61078000	1820	33,7	18,5	10,36	5,7	6,58	3,62
11	61085000	569	13,4	23,6	4,53	8	3,14	5,52
12	61090000	1040	21,1	20,3	7,55	7,3	5,4	5,19
13	61100000	186	3,4	18,4	1,25	6,7	0,96	5,16
14	61105000	828	16,2	19,5	5,92	7,1	4,68	5,65
15	61107000	2720	51,4	18,9	18,52	6,8	13,45	4,94
16	61115000	643	12,4	19,4	2,66	4,1	1,67	2,6
17	61122000	272	5,8	21,2	1,51	5,6	0,94	3,46
18	61135000	6070	118,9	19,6	38,9	6,4	28,04	4,62
19	61140000	348	5,9	17,1	1,04	3	0,58	1,67
20	61150000	15800	317,4	20,1	120,45	7,6	91,85	5,81
21	61173000	390	6,1	15,6	2,26	5,8	1,65	4,23
22	61175000	1020	16,1	15,7	5,45	5,3	4,11	4,03
23	61202000	1620	29,8	18,4	8,09	5	4,53	2,8
24	61230000	25400	473,7	18,6	185	7,3	135,21	5,32
26	61267000	112	1,7	15,6	0,62	5,5	0,32	2,86
29	61285000	560	12,8	22,9	4,39	7,8	3,06	5,46
30	61295000	156	3,1	19,7	0,79	5,1	0,5	3,21
31	61305000	2810	56,7	20,2	20,5	7,3	15,39	5,48
32	61320000	475	10,7	22,5	3,57	7,5	2,63	5,54
33	61350000	1310	26,4	20,1	7,64	5,8	4,94	3,77
34	61370000	676	14	20,8	4,04	6	2,67	3,95
35	61380000	390	9,7	25	1,99	5,1	1,29	3,31
36	61390000	486	9,1	18,7	2,76	5,7	1,89	3,89
37	61410000	7330	154,1	21	46	6,3	33,66	4,59
38	61415000	7755	151	19,5	54,66	7	40,4	5,21
39	61425000	9410	163,1	17,3	55,12	5,9	40,22	4,27
40	61429000	292	4	13,6	1,04	3,6	0,68	2,33
41	61460000	1840	39,9	21,7	14,35	7,8	11,38	6,18
42	61473000	614	16,4	26,7	6,03	9,8	4,37	7,12
43	61485000	71,2	1,9	26	0,7	9,8	0,45	6,32
44	61500000	744	16	21,4	6,02	8,1	4,39	5,9
45	61510000	4180	90,5	21,6	30,7	7,3	23,19	5,55

46	61520000	854	14,2	16,7	5,23	6,1	4,08	4,78
47	61530000	360	7	19,4	2,65	7,4	1,69	4,69
48	61537000	6300	122,4	19,4	44,66	7,1	33,65	5,34
49	61550000	16500	301,8	18,3	114,96	7	91,33	5,54
50	61568000	732	15,7	21,4	4,81	6,6	3,24	4,43
51	61610000	884	17,5	19,8	7,47	8,5	5,55	6,28
52	61615000	1450	23,6	16,3	9,29	6,4	7,19	4,96
53	61645000	24200	432,7	17,9	154	6,4	114,75	4,74
54	61695000	1280	21,2	16,5	7,08	5,5	4,6	3,59
55	61700000	473	7,8	16,4	1,62	3,4	1,03	2,18
56	61770000	226	4,1	18,4	1,04	4,6	0,53	2,35
57	61788000	6260	100,7	16,1	32,6	5,2	22,64	3,62
58	61795000	1980	31,3	15,8	8,34	4,2	5,06	2,56
59	61800500	357	7,9	22,3	2,07	5,8	1,12	3,14
60	61802500	1650	32,3	19,5	10,72	6,5	7,19	4,36
61	61815000	76	1,2	16,3	0,37	4,9	0,22	2,89
62	61817000	4090	82	20	28,8	7	21,02	5,14
63	61826000	649	9,7	14,9	3,04	4,7	2,12	3,27
64	61830000	8490	133,9	15,8	46,56	5,5	34,78	4,1
65	61840000	10700	185,7	17,4	61,2	5,7	44,22	4,13
66	61861000	463	9,9	21,4	4	8,6	3	6,48
67	61865000	918	18,1	19,7	7,32	8	5,14	5,6
68	61871000	1300	25,9	20	9,28	7,1	6,53	5,02
69	61879000	1140	23	20,2	7,96	7	5,69	4,99
70	61886000	4670	81	17,3	25,82	5,5	17,81	3,81
71	61895000	622	11,7	18,9	3,18	5,1	1,94	3,12
72	61902000	10100	147	14,6	46,09	4,6	31,07	3,08
73	61912000	13900	207	14,9	73	5,3	54,67	3,93
1	61925000	33740	486,9	14,4	197,44	5,9	149,47	4,43
2	61912500	435	4,9	11,2	1,93	4,4	1,3	2,99
3	61923000	3834	68,8	18	21,69	5,7	14,47	3,77
4	61917000	9650	137,6	14,3	44,07	4,6	25,8	2,67
5	61916000	16650	231	13,9	88,81	5,3	65,85	3,95
6	61910000	12291	174,6	14,2	61,04	5	41,5	3,38
7	61913500	918	10,2	11,1	4,99	5,4	3,75	4,08
8	61821000	346	4,4	12,6	1,05	3	0,45	1,3
9	61855000	12445	190,6	15,3	72,89	5,9	54,91	4,41
10	61834000	10679	166,1	15,6	56,01	5,2	40,72	3,81
11	61817002	4093	78,4	19,2	28,82	7	20,47	5
12	61777000	178	3,1	17,4	1,05	5,9	0,56	3,15
13	61787500	6281	103,8	16,5	33,24	5,3	23,54	3,75
14	61784000	4748	79,7	16,8	27,12	5,7	18,08	3,81
15	61776800	276	4,1	14,9	1,192	4,3	0,78	2,83
16	61772000	449	8,2	18,2	1,968	4,4	1,17	2,61

17	61964000	427	4,4	10,2	1,053	2,5	0,76	1,78
18	61960000	2068	18,6	9	5,296	2,6	3,61	1,75
19	61956001	620	5,6	9,1	1,666	2,7	1,13	1,82
20	61953001	578	5,3	9,2	1,445	2,5	0,56	0,97
3	FURNAS	52138	919,9	17,6	294	5,64	200,21	3,84
4	MASC. DE MORAES	59730	1027,4	17,2	332	5,56	228,58	3,83
8	VOLTA GRANDE	67691	1157,8	17,1	373	5,51	260,96	3,86
9	PORTO COLOMBIA	77427	1315,5	17	420	5,42	294,24	3,8
10	CACONDE	2588	53,8	20,8	16	6,18	10,64	4,11
11	EUCLIDES DA CUNHA	4392	87,4	19,9	28	6,38	19,07	4,34
14	AGUA VERMELHA	139437	2083,5	14,9	728	5,22	551,15	3,95

4.5 - REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES E DISPONIBILIDADE HÍDRICA

4.5.1 - Introdução

110. Com o objetivo de oferecer um conjunto amplo de informações que dê suporte ao processo de gestão na bacia, foram estimadas e regionalizadas várias vazões de referência, a saber: vazão média de longo termo (Q_{mlt}), vazão mínima de sete dias com 10 anos de tempo de retorno (Q_{7-10}), vazão com 95% de permanência (Q_{95}), bem como os valores de Q_{95} das curvas de permanência de cada mês do ano.

111. Para definição da disponibilidade hídrica, considerou-se, além das vazões de referência de estiagem, o efeito da operação dos reservatórios existentes na bacia.

112. Os resultados obtidos dos estudos fluviométricos foram transferidos para as representações gráficas de bacias e cursos d'água do mapeamento sistemático na escala do milionésimo, codificados pela metodologia de Otto Pfafstetter.

4.5.2 - Metodologia de Regionalização

113. O método de regionalização de vazões adotado consiste em considerar como região homogênea a área incremental entre duas ou mais estações, admitindo-se em cada região (área incremental) uma vazão específica incremental constante, resultado da diferença entre a vazão do posto de jusante e as vazões dos postos imediatamente a montante dividida pelas respectivas diferenças de área, conforme a figura 33 e a equação 1 abaixo:

$$q_{inc} = \frac{Q_{jus} - \sum Q_{mont}}{A_{jus} - \sum A_{mont}} \quad (1)$$

onde:

q_{inc} : vazão específica incremental (vazão por unidade de área) da região;

Q_{jus} : vazão do posto de jusante;

Q_{mont} : vazão(es) do(s) posto(s) imediatamente a montante;

A_{jus} : Área de contribuição do posto de jusante;

A_{mont} : Área(s) de contribuição do(s) posto(s) de montante.

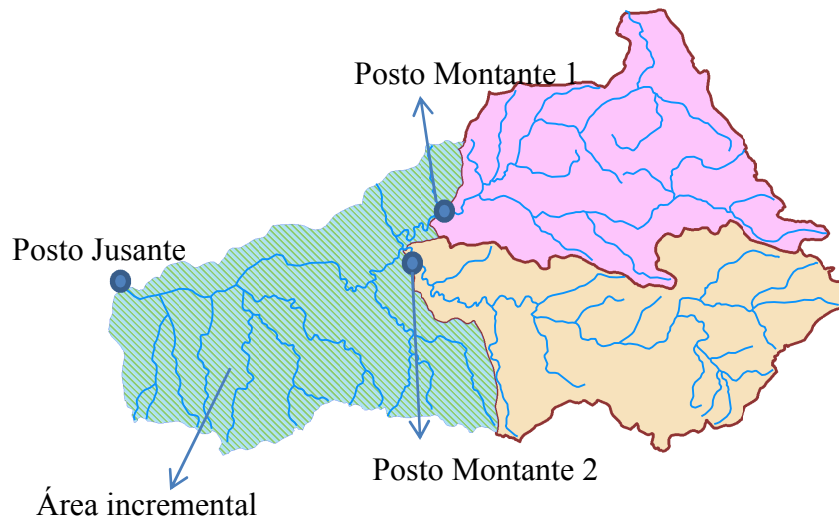


Figura 33. Região homogênea definida pela área incremental entre estações.

114. No caso de posto de cabeceira (quando não existem estações a montante), a região homogênea é a área de contribuição do posto e a vazão específica incremental é a própria vazão específica do posto.

115. Numa rede hidrográfica unifilar otocodificada, os cursos d'água são divididos a cada confluência, constituindo trechos da hidrografia, aos quais se associa uma área de contribuição, conforme exemplificado na figura 34.

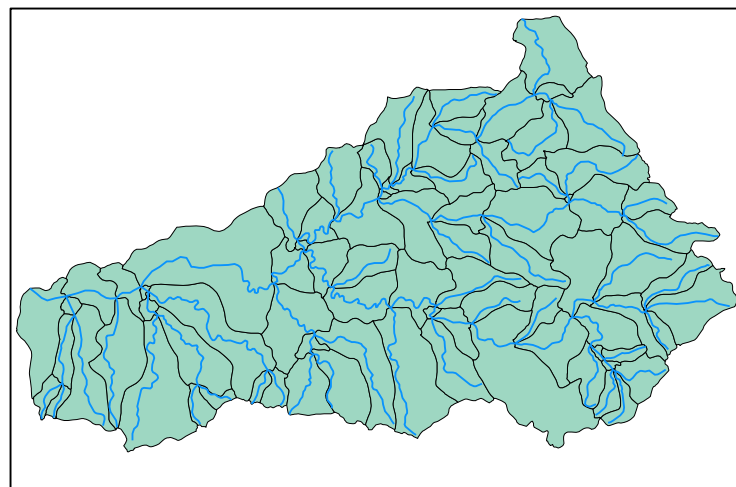


Figura 34: Áreas de contribuição incrementais associadas a cada trecho da hidrografia

116. Considera-se então que a vazão produzida em cada trecho constitui sua vazão incremental (Q_{inc}) e é dada pelo produto entre a área do trecho e sua vazão específica incremental, proveniente da região homogênea na qual o trecho está inserido.

117. Finalmente, a vazão (Q) que passa em determinada seção (ponto final do trecho) é dada pelo somatório das vazões incrementais de todos os trechos de montante que para ela contribuem.

118. Se todos os trechos a montante do trecho de interesse estão inseridos em uma mesma região homogênea, a vazão que passa pelo trecho é dada pelo produto entre a vazão específica incremental e toda área de contribuição a montante do trecho.

4.5.3 – Regiões Homogêneas

119. De acordo com a metodologia acima, foram utilizados 82 pontos de controle, sendo 7 locais de usinas hidrelétricas e 75 estações fluviométricas. As áreas entre esses pontos de controle (figura 35) foram consideradas regiões homogêneas, onde a vazão específica incremental é considerada constante.

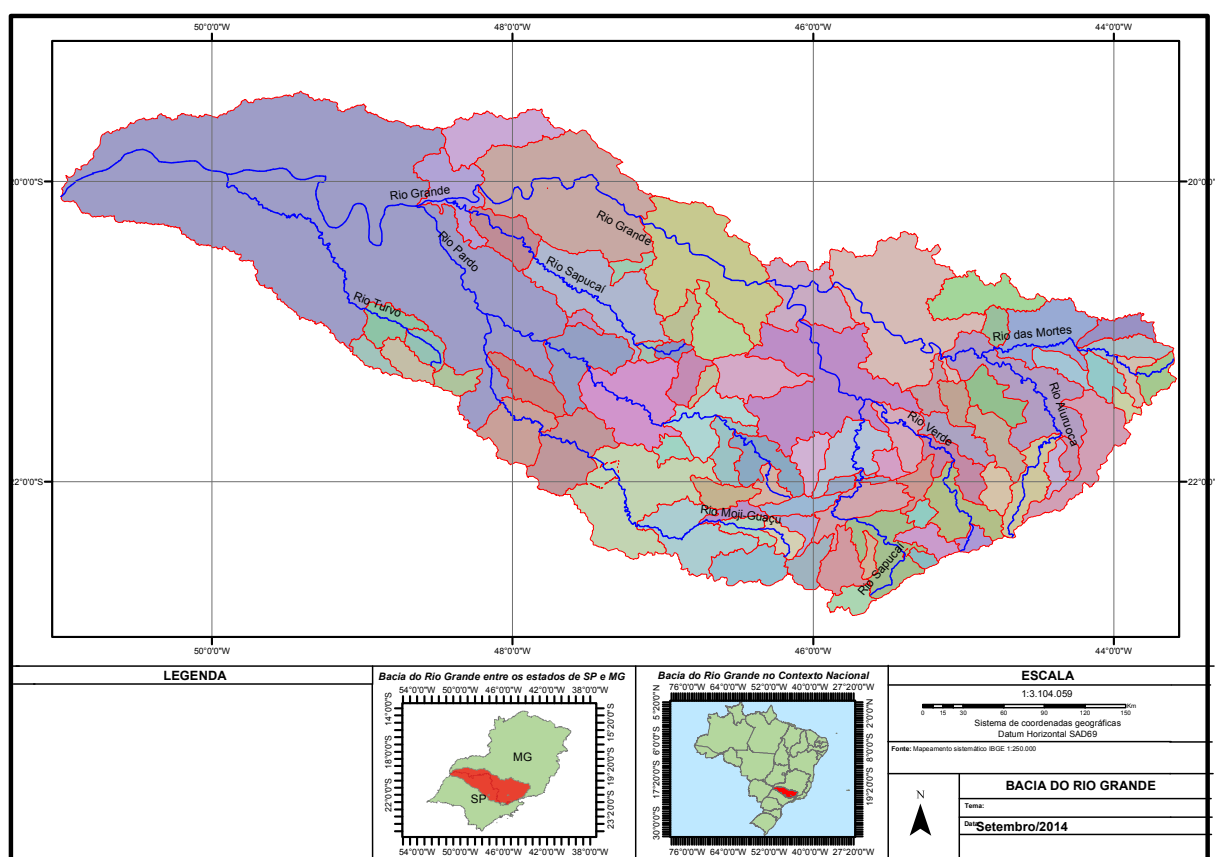


Figura 35. Regiões de mesma vazão específica incremental.

120. As figuras 36 a 38 apresentam as vazões específicas incrementais das vazões de referência Q_{mlt} , Q_{7_10} e Q_{95} . No anexo digital estarão disponíveis além destas, as vazões específicas Q_{95} de cada mês do ano.

121.

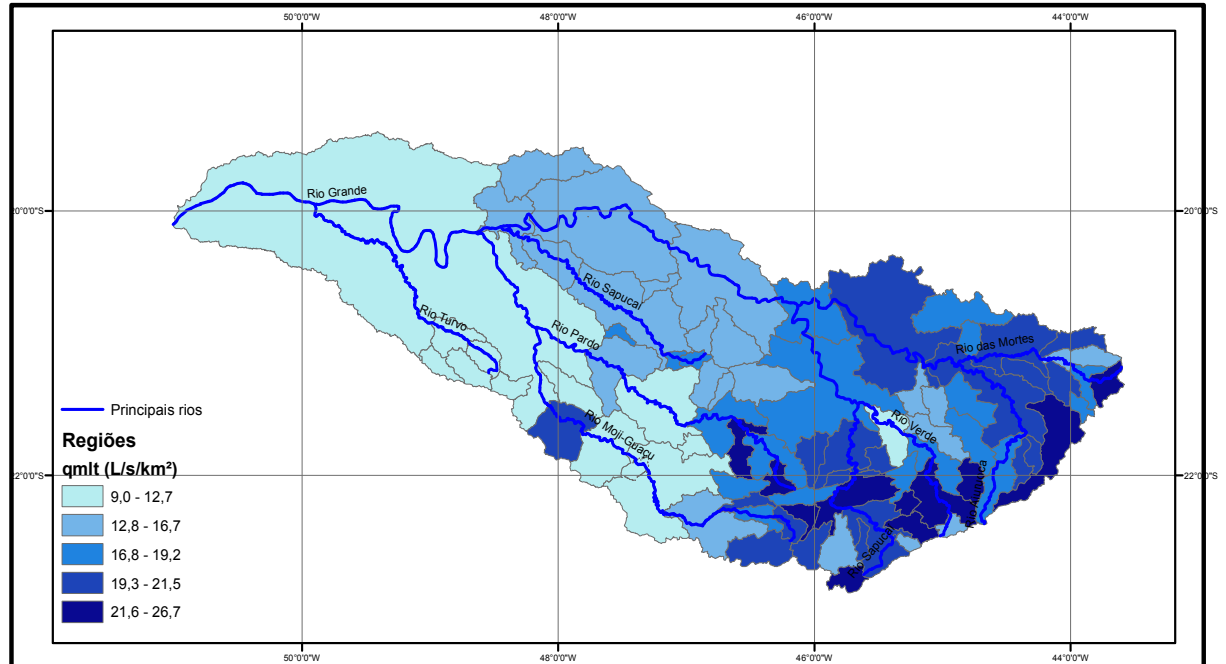


Figura 36. Vazão q_{mt} específica em $L/s/km^2$.

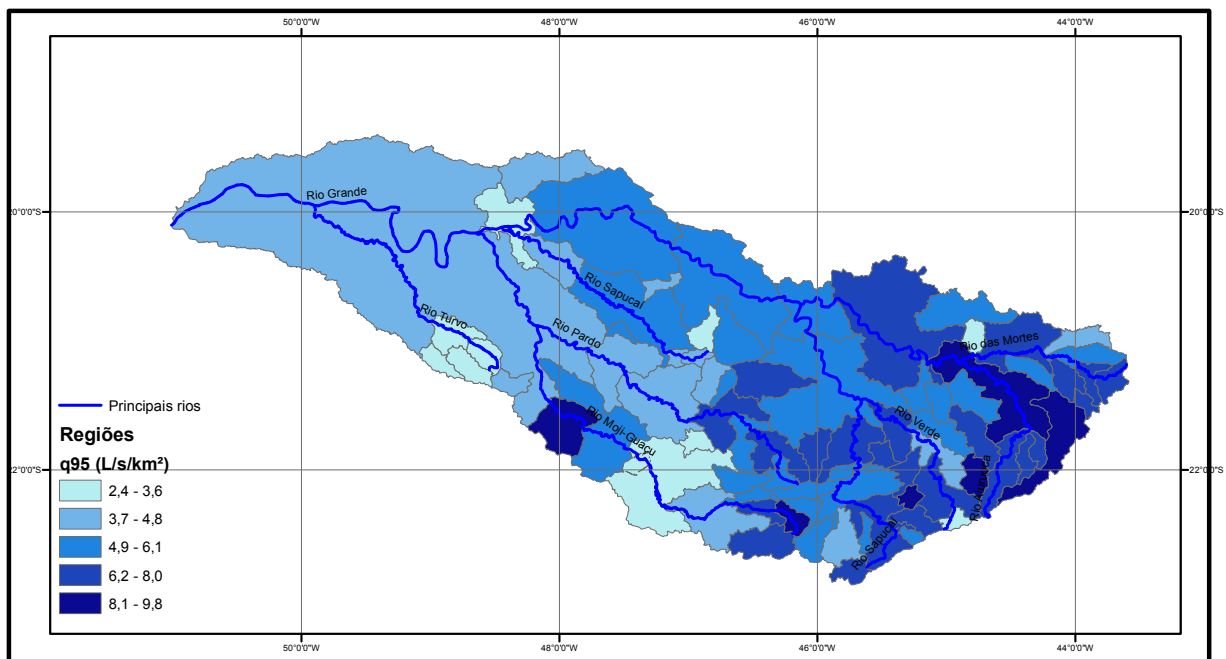


Figura 37. Vazão q_{95} específica em $L/s/km^2$.

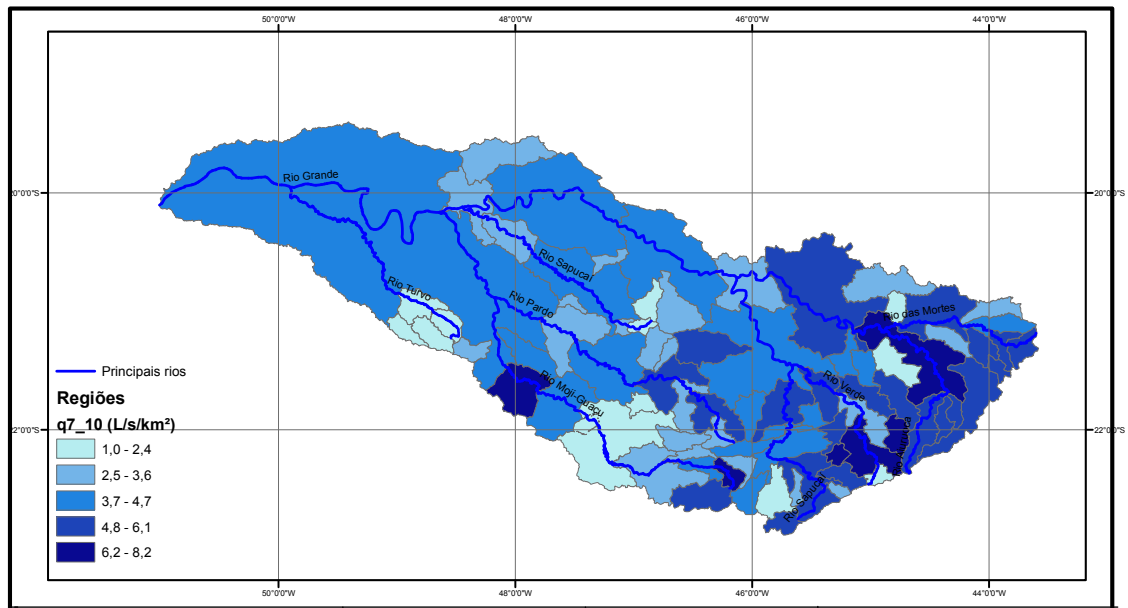


Figura 38. Vazão $q7_{10}$ específica em $L/s/km^2$.

122. As vazões Q95 nos trechos da hidrografia são apresentadas na figura 39 abaixo. A vazão Q95 na foz do rio Grande chega a $800m^3/s$. Os rios Pardo, Sapucaí/Verde, Turvo, das Mortes e Sapucaí contribuem respectivamente com 183, 163, 42, 41 e $35 m^3/s$ em termos de Q95 e são os principais afluentes.

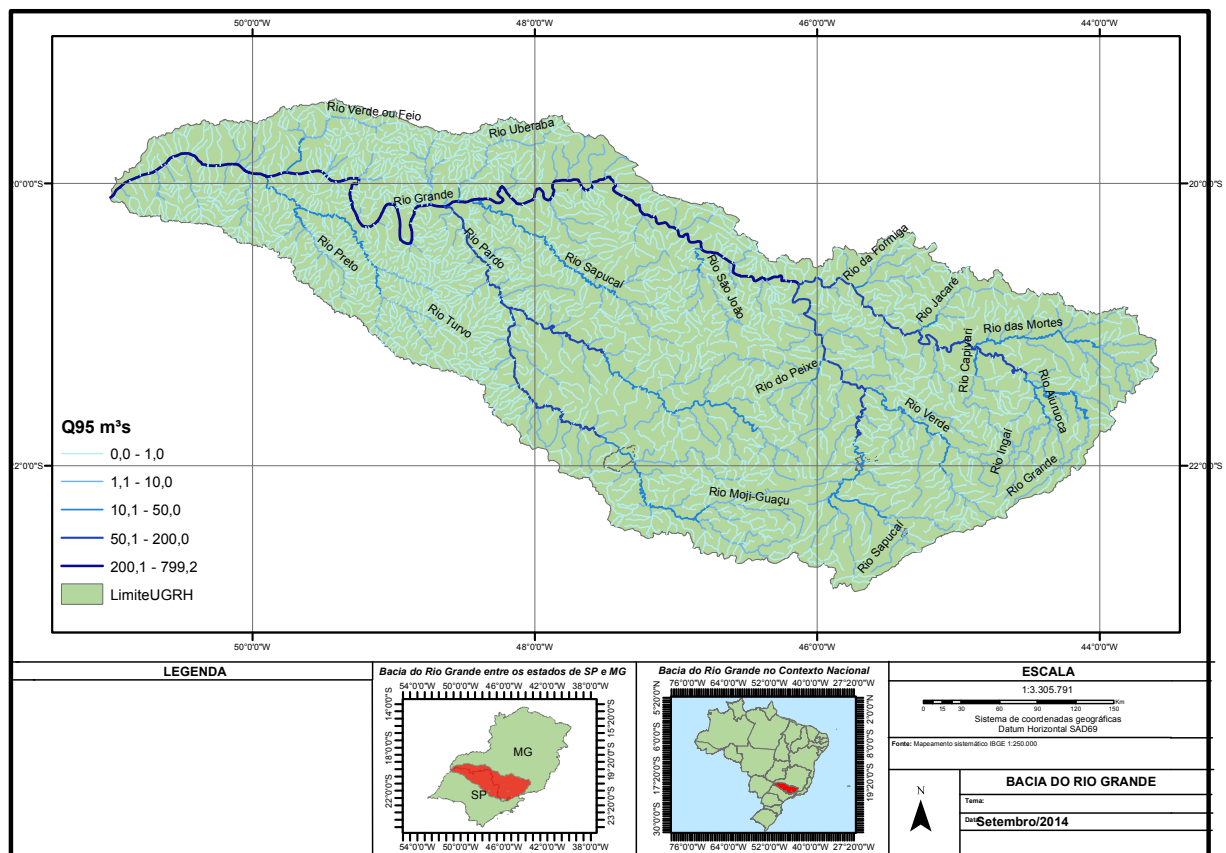


Figura 39. Vazão $q7_{10}$ específica em $L/s/km^2$.

4.5.4 – Coeficiente de Escoamento e Balanço Hídrico

123. Com base nas vazões Q_{mlt} e chuva média especializadas foi realizado o balanço chuva-vazão calculados os coeficientes de escoamento em cada ottobacia, cujos resultados podem ser visualizados nas figuras 40 e 41.

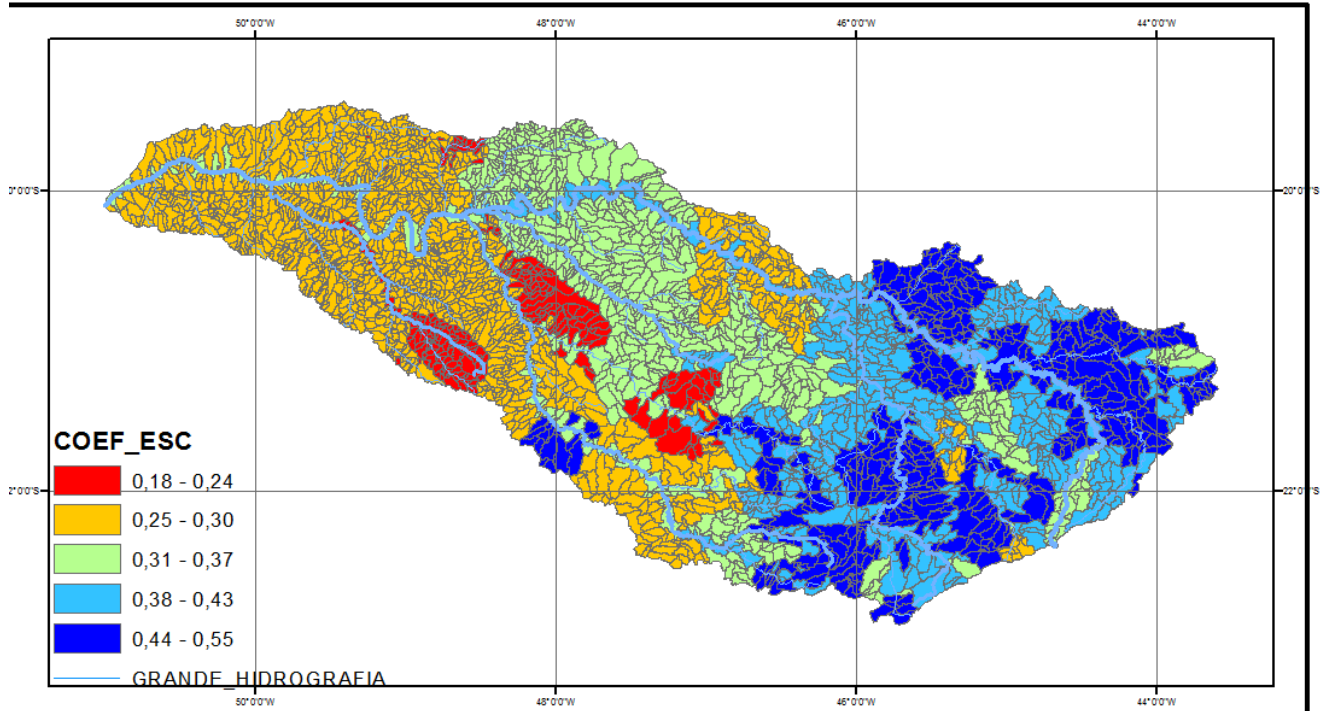


Figura 40. Mapa dos valores de coeficiente de escoamento na bacia do rio Grande.

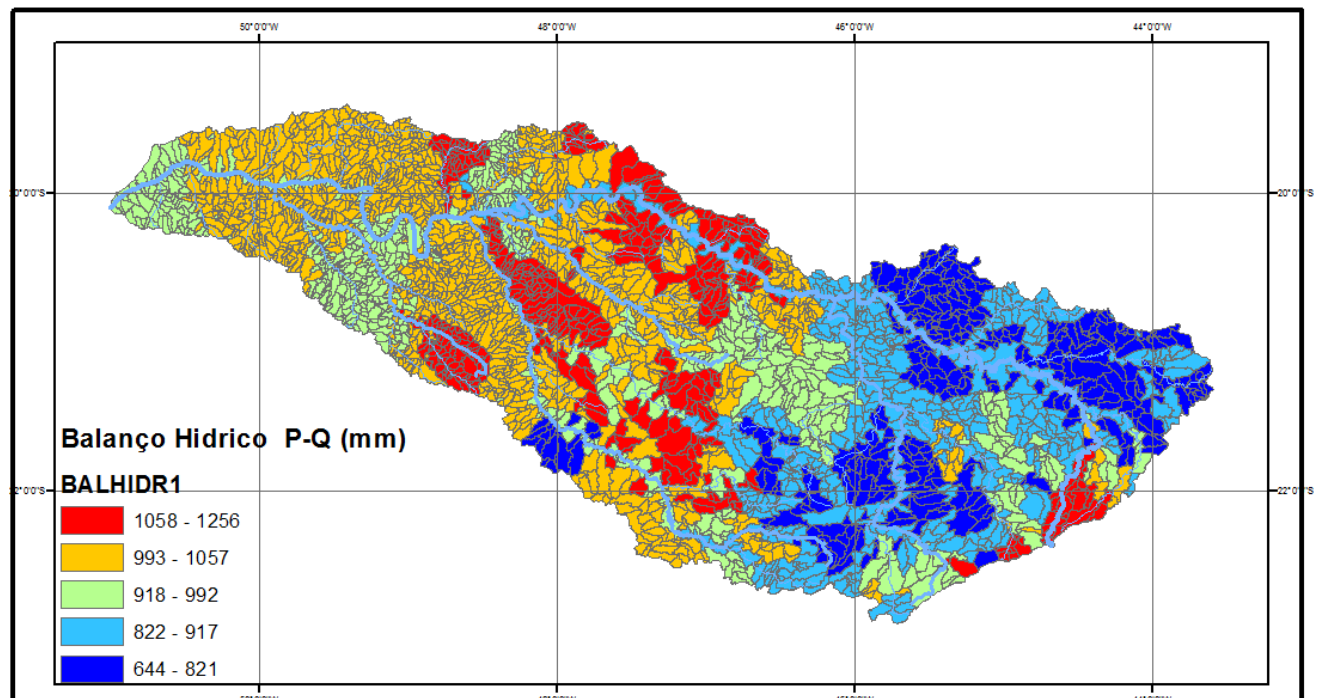


Figura 41. Balanço Hídrico nas ottobacias. Nesta Nota o Balanço hídrico é definido como a diferença (em mm) entre a Precipitação e a Vazão.

4.5.9 – Definição da Disponibilidade Hídrica

124. Para definição da disponibilidade hídrica são considerados os efeitos dos reservatórios que operam com objetivo de acumulação.

125. Na bacia do rio Grande existem seis reservatórios de usinas hidrelétricas que operam por acumulação, de forma que a jusante desses reservatórios adota-se, como disponibilidade hídrica, uma vazão defluente que é a vazão de restrição operativa informada pelo ONS, ou em sua ausência, a vazão mínima mensal da série de vazões definida para o local do barramento da referida usina.

126. Desta forma, nos trechos de rio a jusante desses reservatórios a disponibilidade hídrica é dada pela vazão defluente do reservatório somada à vazão de referência incremental acumulada a partir do barramento.

127. Por outro lado, considera-se que em toda área de influência do lago de um reservatório (seja de acumulação ou fio d'água) a disponibilidade hídrica é a mesma, sendo igual à disponibilidade baseada na vazão Q95 no trecho onde se localiza o barramento. Assim, os trechos da hidrografia que estão inseridos no remanso recebem um mesmo valor de disponibilidade hídrica, conforme tabela 25 abaixo.

Tabela 25. Reservatórios do setor elétrico, vazões defluentes e disponibilidade no remanso.

Nome	Qdefluente	Qremanso	Tipo Reservatório
UHE Água Vermelha (José Ermírio de Moraes)	484	536,8	Acumulação
UHE Caconde (Graminha)	32	16,1	Acumulação
UHE Camargos	34	55,1	Acumulação
UHE Estreito (Luiz Carlos Barreto de Carvalho)		254,7	Fio d'água
UHE Funil		97,2	Fio d'água
UHE Furnas	206	328,6	Acumulação
UHE Igarapava		266,9	Fio d'água
UHE Jaguará		256,8	Fio d'água
UHE Limoeiro (Armando Salles de Oliveira)		44,4	Fio d'água
UHE Marimbondo	441	559,7	Acumulação
UHE Marechal Mascarenhas de Moraes (ex Peixoto)	247	244,4	Acumulação
UHE Porto Colômbia		336	Fio d'água
UHE Volta Grande		287,4	Fio d'água
UHE Ilha Solteira		1387*	Acumulação

*Adotou-se em Ilha Solteira a vazão mínima mensal até que sejam realizados estudos específicos no rio Paraná.

128. A figura 42 ilustra a disponibilidade hídrica baseada na vazão de referência Q95 nos trechos da hidrografia e as áreas de influência dos lagos.

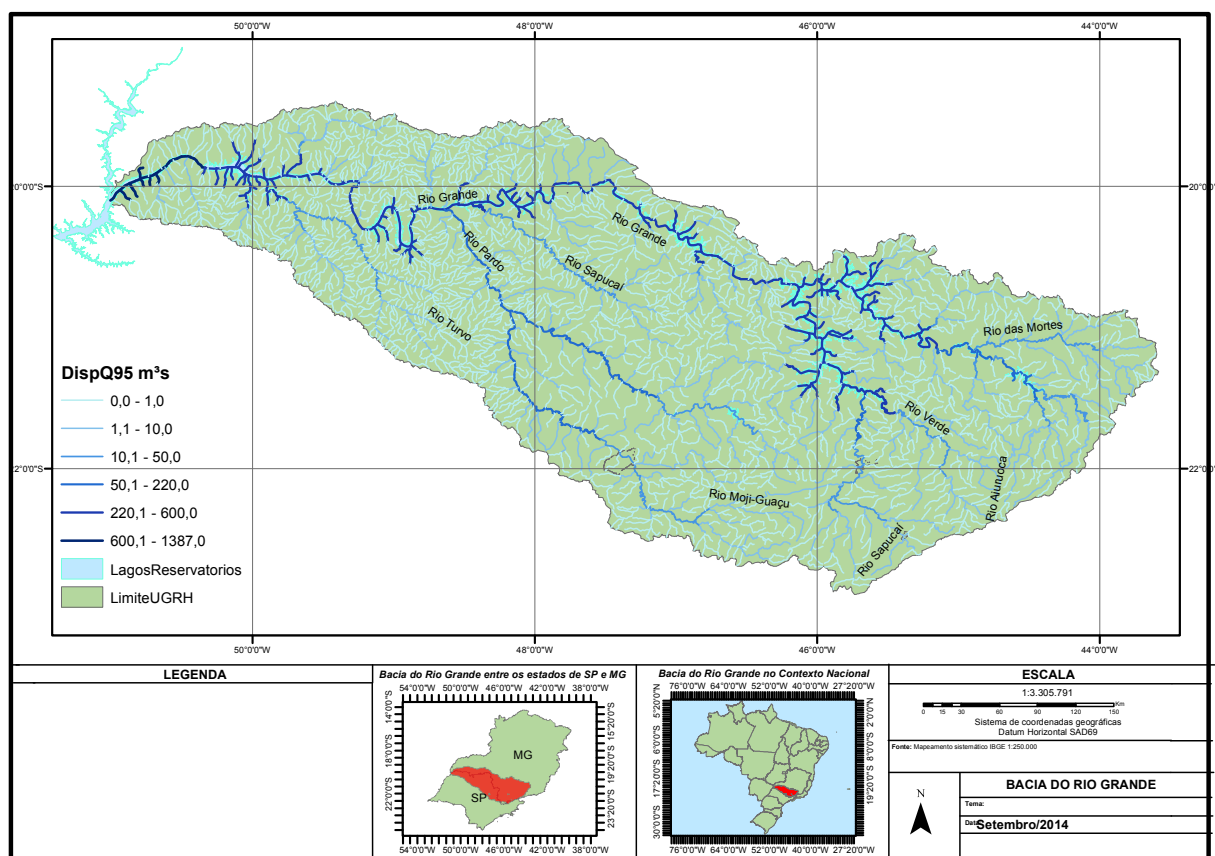


Figura 42. Disponibilidade Hídrica Q95 na bacia do rio Grande.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

129. Esta Nota Técnica apresentou os estudos realizados pelo Núcleo de Estudos Hidrológicos (NHI) da Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos (SPR) para definir a disponibilidade hídrica na bacia do rio Grande, atualizando as bases de dados e sistemas da ANA que armazenam e utilizam essas informações e fornecendo subsídios aos processos decisórios de gestão de recursos hídricos.

130. A fim manter um período comum de dados em todas as estações foi utilizada técnica de preenchimento/extensão que apresentou resultados satisfatórios, principalmente por possibilitar a valorização máxima da informação disponível, considerando aspectos espaciais e temporais. Outro ponto importante foi a incorporação em grande parte das séries de alguns eventos extremos significativos que ocorreram no passado e só estavam registrados em poucas estações. Verificou-se que não houve uma descaracterização do comportamento das vazões nem do regime probabilístico das séries preenchidas e estendidas em relação à série original.

131. Foi também realizada a análise de estacionariedade nas séries de chuva e vazão. Os resultados mostraram um aumento na precipitação e na vazão após 1970. Entretanto, de um modo

geral o comportamento estatístico das séries de vazões mínimas, médias e máximas não apresentam mudanças significativas, visto que mais de 60% dos resultados para diferentes testes não indicam mudanças. Os resultados para o total precipitado anual e para o número de dias de chuva maiores que 5mm são bem próximos dos resultados apontados nas vazões. Estes resultados indicam que o aumento das vazões na bacia pode ser explicado, em parte, pelo aumento da precipitação, sendo que outras causas, como por exemplo uso do solo, possam também estar associadas a esse aumento. Nos locais onde há indícios de não estacionariedade recomenda-se um acompanhamento mais detalhado.

132. Tendo em vista os resultados acima, para a definição da disponibilidade hídrica na bacia foi adotado o período de 1931 a 2012. Foram determinadas as vazões características (Q_{mlt} , Q_{95} e $Q_{7,10}$ e Q_{95} mensais) para as séries de estações fluviométricas e usinas hidrelétricas, e esse resultado foi regionalizado para as otobacias na escala do milionésimo.

133. A vazão específica média (q_{mlt}) variou entre 9 e 26,7 L/s/km², e os coeficientes de escoamento entre 0,18 a 0,55. A vazão q_{95} variou entre 2,4 e 9,8 L/s/km², de maneira que a vazão Q_{95} na foz do rio Grande chega a 800m³s. Os rios Pardo, Sapucaí/Verde, Turvo, das Mortes e Sapucaí contribuem respectivamente com 183, 163, 42, 41 e 35 m³s em termos de Q_{95} e são os principais afluentes.

134. A disponibilidade hídrica foi definida como a vazão Q_{95} referente a cada trecho da hidrografia, a não ser nos trechos a jusante dos reservatórios de acumulação, onde se considerou a vazão defluente somada à Q_{95} incremental do trecho.

135. Recomenda-se que os resultados dos estudos apresentados nesta Nota Técnica sejam utilizados como subsídios para a elaboração do diagnóstico do Plano de Recursos Hídricos da bacia do rio Grande.

6. COLABORADORES

136. Para elaboração desta Nota Técnica, os autores contaram com a colaboração dos servidores do NHI Saulo Aires de Souza, Marcos Irineu Pufal e Bolivar Antunes Matos. Gostaríamos de registrar nosso agradecimento a Saulo Aires de Souza pelas contribuições inestimáveis a este estudo e à disponibilização e customização do software FERHA utilizado na maioria das análises.

Atenciosamente,

ALEXANDRE ABDALLA ARAUJO
Especialista em Recursos Hídricos

TERESA LUISA LIMA DE CARVALHO
Especialista em Recursos Hídricos

FLÁVIO HADLER TRÖGER
Coordenador do Núcleo de Estudos Hidrológicos

De acordo

SÉRGIO RODRIGUES AYRIMORAES SOARES
Superintendente de Planejamento de Recursos Hídricos

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araujo, A.A., Aires de Souza, S., de Carvalho, T.L.L., Pufal M.I. **Análise sobre Preenchimento E Extensão de séries na definição de vazões características para fins de disponibilidade hídrica na bacia Do Rio Grande.** Artigo aceito para publicação no XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, nov. **2014**.

ANA (2013). Agência Nacional de Águas. *Aplicação do POSTGIS em uma base de dados de reservatório.* Apresentação do curso realizado pela Agencia Nacional de Águas em 26 de novembro de 2013. ANA. Brasília-DF, 128 p.

ANA (2013b). Aires de Souza, S. e Araujo, A.A. **Implementação de funções para análise estatística e de estacionariedade de séries hidrológicas em uma ferramenta integrada para apoio a estudos hidrológicos.** Nota Técnica nº 031/2013/SPR-ANA.

Aires de Souza, S.; Araujo, A.A.; Tröger, F.H. **Análise de Estacionariedade em séries hidrológicas no local do futuro aproveitamento hidroelétrico São Luiz do Tapajós.** XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, **2012**.

Aires de Souza, S.; Araujo, A.A.; Tröger, F.H. **Análise de Estacionariedade das séries hidrometeorológicas localizadas na bacia do rio São Francisco.** XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, **2013**.

Aires de Souza, S.; Araujo, A.A.; Troger, F.H. e Matos, B.A. ACUMULAR - Ferramenta de Hidrorreferenciamento de informações em bacias hidrográficas Ottocodificadas. Artigo aceito para publicação no XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, nov. **2014a**.

ANEEL (2002). Agência Nacional De Energia Elétrica. **Regionalização de vazões da sub-bacia 61 – Bacia do Rio Grande.** Itajubá: CERPCH, 2002, 130 p.

Barnetche, D.; Kobiyama, M. 2006. *Aplicação do hycymodel no preenchimento de falhas de monitoramento de vazões.* Geosul, v.21, n.42, p.185-194.

Bertoni J. C.; Tucci, C. E. M. 2007. Precipitação. In: Tucci, C. E. M. *Hidrologia: Ciência e aplicação.* Porto Alegre: UFRGS. p177-241.

Detzel, D.H.M; Bessa, M.R.; Vallejos, C.A.V; Santos, A.B.; Thomsem, L.S.; Mine, M.R.M; Bloot, M.L.; Estrócio, J. P. (2011). **Estacionariedade das Afluências às Usinas Hidrelétricas Brasileiras.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 16, Nº 3, p. 95-111.

ELETROBRÁS. Manual de Inventário Hidrelétrico de Bacia Hidrográfica. Volume 1 - Metodologia. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 1997.

EUCLYDES, H. P.; FERREIRA, P. A.; FARIA FILHO, R. F. R. **Atlas digital das águas de Minas.** Viçosa, MG: UFV, RURALMINAS, IGAM, 2005. 78 p.

GRUBBS, F. E G. BECK (1972). “**Extension of Sample Sizes and Percentage Points for Significance Tests of Outlying Observations**”, Technometrics, Vol. 14 (4), pp. 847-854.

IGAM 2012. **Estudo de Regionalização de Vazão para o Aprimoramento do Processo de Outorga no Estado de Minas Gerais**. Instituto Mineiro De Gestão Das Águas. Belo Horizonte, 2012.

LIAZI, A.; CONEJO, J.G.L.; PALOS, J.C.F.; CINTRA, P.S. Regionalização hidrológica no Estado de São Paulo. **Revista Águas e Energia Elétrica**, São Paulo, n. 14, p. 4-10, 1988.

MÜLLER, I. I. KRÜGER, C. M.; KAVISKI, E. (1998). **Análise de estacionariedade de séries hidrológicas na bacia incremental de Itaipu**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. 3 (4), p. 51-71.

NAGHETTINI, MAURO; PINTO, EBER J. A. 2007. **Hidrologia Estatística**. CPRM (Serviço Geológico do Brasil). Minas Gerais-MG.

Oliveira, Fernanda Abreu. **Procedimentos Para Aprimorar A Regionalização De Vazões: Estudo De Caso Da Bacia Do Rio Grande**. Viçosa-MG (2008) - Tese de Mestrado.

Oliveira, L. F. C.; Fioreze, A. P; Medeiros, A. M. M.; Silva, M. A. S. **Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, n.11, p.1186–1192, Campina Grande-PB, 2010.

ONS, Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). **Revisão das séries de vazões naturais nas principais bacias do Sistema Interligado Nacional- SIN**. Brasília: 2003.

PFAFSTETTER, O. **Classificação de bacias hidrográficas: metodologia de codificação**. Rio de Janeiro, RJ: Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS), 1989. 19 p. Trabalho não publicado.

SILVA, B.C.; TIAGO FILHO, G.L.; SILVA, A.P.M.; de PAULO, R.G.F. **Regionalização de vazões na bacia do Rio Grande**. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2003, Curitiba. ABRH, 2003, CD-ROM.

Streck, N. A.; Buriol, G. A.; Heldwein, A. B.; Gabriel, L. F.; Paula, G. M. 2009. **Associação da variabilidade da precipitação pluvial em Santa Maria com a oscilação decadal do Pacífico**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.44, n.12, p.1553-1561.

WMO (2000). World Meteorological Organization. **Detecting Trend and Other Changes In Hydrological Data**. WMO/TD-No. 1013. Geneva. Switzerland.

8. ANEXOS

Anexo A. Lista das 93 estações fluviométricas com séries originais, extraídas dos bancos DAEE-SP (em vermelho) e HIDRO/ANA (em azul), selecionadas na bacia do rio Grande.

N	ANA	DAEE	lat	lon	Data Ini	Data Fim	AD	NA	Méd	DP
1	61817002	3C-001	-21,59388889	-46,89527778	01/01/1945	01/01/1967	4093,0	23	74,8	18,5
2	61821000	3C-012	-21,71500000	-46,97666667	01/01/1981	01/01/2001	346,0	21	4,9	1,5
3	61923000	3D-004	-22,37305556	-46,94166667	01/01/1945	01/01/2012	3834,0	43	71,3	24,5
4	61784000	4B-001	-20,51444444	-47,83916667	01/01/1945	01/01/1970	4748,0	26	75,7	20,6
5	61777000	4B-014	-20,86722222	-47,53416667	01/01/1981	01/01/2002	178,0	21	3,4	1,4
6	61776800	4B-015	-20,63277778	-47,28361111	01/01/1981	01/01/2012	276,0	28	4,8	1,5
7	61834000	4C-001	-21,10361111	-47,75722222	01/01/1941	01/01/2012	10679,0	72	167,4	49,2
8	61772000	4C-002	-21,08555556	-47,14944444	01/01/1960	01/01/2008	449,0	48	8,3	2,9
9	61917000	4C-005	-21,91083333	-47,39750000	01/01/1970	01/01/1994	9650,0	20	146,1	55,1
10	61910000	4C-007	-21,69694444	-47,81361111	01/01/1971	01/01/2012	12291,0	34	179,0	34,5
11	61925000	5B-001	-20,45333333	-48,45111111	01/01/1959	01/01/2012	33740,0	54	502,0	124,5
12	61960000	5B-004	-20,85611111	-48,97250000	01/01/1966	01/01/1998	2068,0	27	22,3	7,0
13	61787500	5B-007	-20,20250000	-48,29000000	01/01/1970	01/01/2002	6281,0	30	114,0	32,0
14	61953001	5B-010	-20,99166667	-48,70750000	01/01/1972	01/01/2012	578,0	35	6,0	1,4
15	61855000	5B-011	-20,90861111	-48,08861111	01/01/1974	01/01/2011	12445,0	38	212,6	53,6
16	61913500	5C-017	-21,20111111	-48,04305556	01/01/1970	01/01/2012	918,0	35	10,3	2,5
17	61956001	5C-019	-21,07722222	-48,80083333	01/01/1971	01/01/2012	620,0	38	6,6	2,4
18	61912500	5C-024	-21,28972222	-48,26000000	01/01/1981	01/01/2010	435,0	26	5,4	1,9
19	61916000	5C-025	-21,01666667	-48,17722222	01/01/1981	01/01/2012	16650,0	28	249,6	61,9
20	61964000	6C-008	-21,05138889	-49,06277778	01/01/1970	01/01/2000	427,0	21	5,0	2,3
21	61009000		-21,94000000	-44,19000000	01/01/1933	01/01/2005	529,0	66	14,6	3,6
22	61012000		-21,49000000	-44,32000000	01/01/1936	01/01/2003	2070,0	66	48,2	11,6
23	61014000		-22,17000000	-44,63000000	01/01/1944	01/01/2006	282,0	60	7,4	1,5
24	61024000		-21,97000000	-44,60000000	01/01/1935	01/01/2006	532,0	65	18,3	5,8
25	61031000		-21,99000000	-44,46000000	01/01/1944	01/01/2001	104,0	54	3,4	1,0
26	61045000		-21,74000000	-44,35000000	01/01/1937	01/01/2000	383,0	62	8,0	2,2
27	61052000		-21,73000000	-44,30000000	01/01/1935	01/01/2008	274,0	64	5,4	1,7
28	61060000		-21,69000000	-44,34000000	01/01/1936	01/01/2003	1960,0	63	47,8	13,3
29	61075000		-21,50000000	-44,91000000	01/01/1937	01/01/2006	1010,0	65	19,4	6,5
30	61078000		-21,32000000	-44,87000000	01/01/1935	01/01/2009	1820,0	72	33,5	10,9
31	61085000		-21,27000000	-43,81000000	01/01/1937	01/01/2007	569,0	67	13,4	3,8
32	61090000		-21,18000000	-43,97000000	01/01/1941	01/01/2002	1040,0	58	20,8	6,3
33	61100000		-21,44000000	-43,96000000	01/01/1941	01/01/2007	186,0	58	3,4	0,8
34	61105000		-21,16000000	-44,13000000	01/01/1942	01/01/2002	828,0	55	16,4	5,0
35	61107000		-21,12000000	-44,23000000	01/01/1935	01/01/2002	2720,0	64	50,7	12,8
36	61115000		-21,05000000	-44,21000000	01/01/1940	01/01/2009	643,0	62	12,4	3,9
37	61122000		-21,19000000	-44,32000000	01/01/1941	01/01/2006	272,0	62	5,8	2,0
38	61135000		-21,14000000	-44,73000000	01/01/1926	01/01/2004	6070,0	71	120,3	32,8
39	61140000		-21,03000000	-44,77000000	01/01/1942	01/01/2000	348,0	57	6,1	2,1
40	61150000		-21,18000000	-45,05000000	01/01/1933	01/01/1965	15800,0	32	304,6	71,6
41	61173000		-21,34000000	-45,17000000	01/01/1936	01/01/2005	390,0	63	6,0	1,8
42	61175000		-21,25000000	-45,16000000	01/01/1941	01/01/2012	1020,0	68	16,1	5,2
43	61202000		-20,90000000	-45,13000000	01/01/1936	01/01/2012	1620,0	71	30,0	9,7
44	61230000		-20,66000000	-45,83000000	01/01/1931	01/01/1962	25400,0	32	459,1	86,6
45	61250000		-22,68000000	-45,47000000	01/01/1936	01/01/2002	109,0	58	3,7	0,8
46	61267000		-22,50000000	-45,28000000	01/01/1942	01/01/2008	112,0	44	1,6	0,4
47	61272000		-22,43000000	-45,45000000	01/01/1931	01/01/1968	870,0	34	21,7	5,6

N	ANA	DAEE	lat	lon	Data Ini	Data Fim	AD	NA	Méd	DP
48	61280000		-22,37000000	-45,21000000	01/01/1968	01/01/2006	268,0	34	7,1	1,6
49	61285000		-22,37000000	-45,44000000	01/01/1936	01/01/2006	560,0	62	12,7	3,4
50	61295000		-22,46000000	-45,62000000	01/01/1938	01/01/2002	156,0	58	3,2	1,1
51	61305000		-22,25000000	-45,70000000	01/01/1931	01/01/2009	2810,0	67	56,4	16,0
52	61320000		-22,68000000	-45,73000000	01/01/1941	01/01/2006	475,0	47	10,6	3,2
53	61350000		-22,41000000	-45,79000000	01/01/1935	01/01/2007	1310,0	56	25,9	8,0
54	61370000		-22,37000000	-45,88000000	01/01/1939	01/01/2007	676,0	52	13,3	3,7
55	61380000		-22,25000000	-45,98000000	01/01/1946	01/01/1977	390,0	30	9,6	3,3
56	61390000		-22,11000000	-45,91000000	01/01/1938	01/01/1987	486,0	43	9,6	3,1
57	61410000		-22,05000000	-45,69000000	01/01/1966	01/01/2009	7330,0	33	161,6	39,3
58	61415000		-21,91000000	-45,28000000	01/01/1932	01/01/1965	7755,0	31	144,0	39,5
59	61425000		-21,58000000	-45,66000000	01/01/1961	01/01/2012	9410,0	32	163,9	35,9
60	61429000		-22,29000000	-44,93000000	01/01/1936	01/01/2001	292,0	57	4,2	1,1
61	61460000		-21,88000000	-45,07000000	01/01/1934	01/01/2005	1840,0	64	40,3	11,9
62	61473000		-21,95000000	-44,87000000	01/01/1935	01/01/2002	614,0	59	16,9	5,5
63	61485000		-22,21000000	-45,26000000	01/01/1946	01/01/1991	71,2	40	2,1	0,7
64	61500000		-21,87000000	-45,26000000	01/01/1935	01/01/2006	744,0	66	16,2	4,4
65	61510000		-21,70000000	-45,24000000	01/01/1935	01/01/2002	4180,0	58	89,8	23,2
66	61520000		-21,67000000	-45,25000000	01/01/1936	01/01/2002	854,0	56	14,7	3,9
67	61530000		-21,78000000	-45,44000000	01/01/1936	01/01/2009	360,0	65	7,1	2,2
68	61537000		-21,61000000	-45,48000000	01/01/1968	01/01/2012	6300,0	37	118,0	24,9
69	61550000		-21,45000000	-45,66000000	01/01/1931	01/01/1963	16500,0	31	289,5	72,9
70	61568000		-21,68000000	-45,90000000	01/01/1935	01/01/2005	732,0	54	15,2	4,1
71	61610000		-21,27000000	-46,36000000	01/01/1968	01/01/2012	884,0	38	17,7	4,0
72	61615000		-21,32000000	-46,11000000	01/01/1935	01/01/1965	1450,0	30	24,0	10,4
73	61645000		-20,95000000	-46,08000000	01/01/1931	01/01/1962	24200,0	32	412,5	123,3
74	61695000		-20,73000000	-46,73000000	01/01/1967	01/01/2003	1280,0	31	23,4	8,8
75	61700000		-20,80000000	-46,80000000	01/01/1948	01/01/2005	473,0	46	7,6	3,0
76	61770000		-21,13000000	-47,01000000	01/01/1946	01/01/2005	226,0	59	4,2	1,5
77	61788000		-20,20000000	-48,28000000	01/01/1939	01/01/2005	6260,0	38	98,3	27,7
78	61795000		-19,90000000	-48,39000000	01/01/1968	01/01/2010	1980,0	41	34,0	9,3
79	61800500		-22,00000000	-46,30000000	01/01/1938	01/01/2005	357,0	63	8,1	2,5
80	61802500		-21,73000000	-46,46000000	01/01/1937	01/01/1979	1650,0	38	32,5	7,7
81	61815000		-21,29000000	-46,70000000	01/01/1967	01/01/2005	76,0	37	1,3	0,6
82	61817000		-21,60000000	-46,90000000	01/01/1938	01/01/1979	4090,0	41	77,4	19,8
83	61826000		-21,42000000	-46,96000000	01/01/1948	01/01/2006	649,0	53	9,7	3,1
84	61830000		-21,31000000	-47,47000000	01/01/1938	01/01/2009	8490,0	49	138,5	34,7
85	61840000		-21,10000000	-47,75000000	01/01/1931	01/01/1965	10700,0	30	165,9	43,2
86	61861000		-22,31000000	-46,32000000	01/01/1967	01/01/2005	463,0	35	10,2	3,2
87	61865000		-22,27000000	-46,60000000	01/01/1967	01/01/2005	918,0	30	19,0	5,3
88	61871000		-22,28000000	-46,75000000	01/01/1931	01/01/1979	1300,0	44	24,8	6,0
89	61879000		-22,52000000	-46,64000000	01/01/1967	01/01/2005	1140,0	36	22,7	5,2
90	61886000		-22,29000000	-47,13000000	01/01/1938	01/01/2006	4670,0	52	79,7	27,8
91	61895000		-21,97000000	-46,80000000	01/01/1945	01/01/2007	622,0	51	12,2	3,4
92	61902000		-21,84000000	-47,47000000	01/01/1938	01/01/2009	10100,0	51	151,6	46,3
93	61912000		-21,50000000	-48,04000000	01/01/1938	01/01/2007	13900,0	64	208,8	59,6

Anexo B. Usinas Hidrelétricas localizadas na bacia do rio Grande.

UHE	lat	lon	Data Ini	Data Fim	AD	N A	Média	DP
CAMARGOS (1)	-21,325556	-44,616111	01/01/1933	01/01/2012	6279	80	131,02	33,16
FUNIL-GRANDE (211)	-21,143614	-45,037239	01/01/1931	01/01/2012	15770	82	304,40	77,78
FURNAS (6)	-20,668	-46,315	01/01/1931	01/01/2012	52138	82	923,03	258,5
M DE MORAES ou Peixoto (7)	-20,285	-47,064	01/01/1931	01/01/2012	59730	82	1031,2	283,2
L C BARRETO ou Estreito (8)	-20,150556	-47,279444	01/01/1931	01/01/2012	61252	82	1056,1	290,2
JAGUARA (9)	-20,023056	-47,434444	01/01/1931	01/01/2012	61871	82	1066,3	293,1
IGARAPAVA (10)	-19,99	-47,756	01/01/1931	01/01/2012	63693	82	1095,9	301,5
VOLTA GRANDE (11)	-20,028889	-48,220833	01/01/1931	01/01/2012	67691	82	1162,0	320,3
PORTO COLOMBIA (12)	-20,124167	-48,571944	01/01/1931	01/01/2012	77427	82	1320,2	366,2
CACONDE (14)	-21,576667	-46,624167	01/01/1938	01/01/2012	2588	75	53,821	14,68
E DA CUNHA (15)	-21,603056	-46,949167	01/01/1938	01/01/2012	4392	75	87,440	24,25
AS OLIVEIRA ou Limoeiro(16)	-21,625278	-47,009444	01/01/1938	01/01/2012	4471	75	88,766	24,62
MARIMBONDO (17)	-20,3011	-49,1967	01/01/1931	01/01/2012	11851	82	1849,8	498,3
A, VERMELHA (18) ou J E de Moraes	-19,851111	-50,345556	01/01/1931	01/01/2012	13943	82	2095,1	537,8
ITUTINGA (2)	-21,291327	-44,622353	01/01/1933	01/01/2012	6302	80	131,02	33,16

ANEXO C.

Tabela C1. Estações pluviométricas originais selecionadas.

N	Cód	Lat	Lon	Data Ini	Data Fim	NA	Méd	DP	CV	Mín	Máx
1	1949001	-19,9667	-49,6833	01/01/195	01/01/199	40	1336,4	231,51	0,1732	746,9	1908,6
2	1949004	-19,5422	-49,4831	01/01/194	01/01/201	58	1436,0	216,28	0,1506	918,5	1991,4

N	Cód	Lat	Lon	Data Ini	Data Fim	NA	Méd	DP	CV	Mín	Máx
3	2043005	-20,665	-43,7778	01/01/194	01/01/201	52	1340,6	273,89	0,2042	601,1	2076,99
4	2043018	-20,9558	-43,8008	01/01/194	01/01/200	54	1414,7	304,85	0,2154	709,1	2292,6
5	2044007	-20,6611	-44,0706	01/01/194	01/01/201	68	1374,6	254,27	0,1849	587,8	1922,1
6	2044009	-20,6253	-44,4333	01/01/194	01/01/200	61	1514,0	260,48	0,1720	731,4	2132,1
7	2045002	-20,1789	-45,7003	01/01/194	01/01/201	64	1294,4	256,74	0,1983	660,7	1978,7
8	2045004	-20,905	-45,125	01/01/194	01/01/201	64	1320,7	417,07	0,3157	154,6	2132,2
9	2045005	-20,4722	-45,0361	01/01/194	01/01/201	67	1457,0	291,06	0,1997	682,8	2386,4
10	2045021	-20,4572	-45,4192	01/01/192	01/01/201	48	1421,8	241,91	0,1701	980,4	2135,7
11	2046001	-20,7392	-46,7353	01/01/194	01/01/200	55	1363,1	240,76	0,1766	954,7	2343,2
12	2046011	-20,8111	-46,8081	01/01/196	01/01/201	45	1411,8	275,88	0,1954	693,1	2044,3
13	2047001	-20	-47,8333	01/01/194	01/01/199	53	1592,1	330,56	0,2076	717,4	2488,4
14	2047005	-20,0833	-47,4333	01/01/194	01/01/200	40	1515,4	316,74	0,2090	523,2	2375,7
15	2047008	-20,1833	-47,7167	01/01/193	01/01/199	61	1626,9	315,13	0,1936	641,7	2294,7
16	2047016	-20,5436	-47,4231	01/01/196	01/01/201	42	1701,4	255,39	0,1500	1338,5	2513,9
17	2047018	-	-	01/01/193	01/01/200	67	1588,1	307,43	0,1935	826,9	2228,9
18	2047019	-20,585	-47,8914	01/01/195	01/01/201	45	1570,9	310,71	0,1977	1045,8	2572,4
19	2047021	-20,65	-47,6833	01/01/193	01/01/200	63	1520,6	245,43	0,1613	866,9	2326,2
20	2047025	-20,7333	-47,8833	01/01/193	01/01/200	59	1562,2	296,72	0,1899	682,8	2139,3
21	2047027	-20,8	-47,7667	01/01/194	01/01/200	58	1503,2	287,89	0,1915	673	2438,4
22	2047028	-20,8333	-47,3	01/01/193	01/01/200	64	1602,0	369,56	0,2306	795,9	2956,3
23	2047029	-20,8833	-47,6167	01/01/194	01/01/200	54	1537,3	317,11	0,2062	849,2	2734,2
24	2047032	-20,9969	-47,66	01/01/196	01/01/201	44	1593,6	324,45	0,2035	1057,2	2651,4
25	2047037	-20,0136	-47,0192	01/01/197	01/01/201	41	1675,2	263,19	0,1571	1182,2	2552,3
26	2047058	-20,6	-47,6333	01/01/194	01/01/200	49	1579,6	269,99	0,1709	693,5	2230,8
27	2047065	-20,1667	-47,8333	01/01/194	01/01/200	51	1539,3	338,17	0,2196	834,9	2271,8
28	2047067	-	-	01/01/194	01/01/200	51	1495,3	301,63	0,2017	638,9	2268,1
29	2048004	-20,2106	-48,2906	01/01/196	01/01/201	41	1424,2	260,11	0,1826	998	2022,6
30	2048013	-20,495	-48,9397	01/01/196	01/01/201	41	1329,6	241,19	0,1813	763,2	1996,6
31	2048014	-20,6	-48,9833	01/01/194	01/01/200	55	1294,7	272,28	0,2102	749,8	2021,6
32	2048016	-20,6167	-48,7667	01/01/194	01/01/200	50	1383,0	302,76	0,2189	625,9	2583,2
33	2048019	-20,6833	-48,4167	01/01/194	01/01/200	55	1312,4	317,47	0,2418	564	2191,5
34	2048020	-20,7842	-48,3325	01/01/194	01/01/201	67	1396,1	274,76	0,1967	693,6	2331,9
35	2048021	-20,7333	-48,55	01/01/194	01/01/200	60	1364,1	245,14	0,1797	632,8	2131,7
36	2048022	-20,7167	-48,9333	01/01/194	01/01/200	52	1357,6	259,53	0,1911	867,4	2122
37	2048023	-	-48,05	01/01/194	01/01/200	66	1433,5	278,88	0,1945	615,9	2236,6
38	2048026	-20,8167	-48,7833	01/01/195	01/01/200	44	1386,0	278,45	0,2008	674,9	2309,3
39	2048027	-20,8167	-48,4833	01/01/194	01/01/199	58	1340,0	263,92	0,1969	574,6	2169,3
40	2048029	-20,85	-48,8	01/01/194	01/01/200	57	1336,6	290,06	0,2169	618,1	2131,2
41	2048034	-	-48,55	01/01/194	01/01/200	58	1395,3	339,73	0,2434	857,8	2573,2
42	2048035	-20,9833	-48,9167	01/01/193	01/01/199	56	1302,7	250,27	0,1921	823,5	2279,3
43	2048047	-20,7333	-48,9	01/01/193	01/01/200	59	1351,9	278,03	0,2056	648,3	2220,6
44	2048065	-20,9833	-48,3333	01/01/194	01/01/200	50	1368,9	322,68	0,2357	673,2	2414,6
45	2049006	-20,3833	-49,4333	01/01/195	01/01/200	45	1373,6	266,36	0,1939	750,9	2002,5
46	2049009	-20,4833	-49,5667	01/01/195	01/01/200	44	1300,0	272,44	0,2095	531,3	1914,4
47	2049010	-20,4833	-49,7833	01/01/194	01/01/200	53	1415,1	306,64	0,2166	659,1	2377,9
48	2049012	-20,5167	-49,05	01/01/194	01/01/200	53	1345,2	283,45	0,2107	642,9	2033,5
49	2049013	-20,6167	-49,3	01/01/194	01/01/200	53	1308,4	263,91	0,2017	656,3	1908,1
50	2049014	-20,6333	-49,3333	01/01/193	01/01/200	61	1356,7	239,53	0,1765	739,1	1903,6
51	2049017	-20,7333	-49,5833	01/01/194	01/01/200	54	1313,4	393,49	0,2995	307,2	2574,2
52	2049021	-20,8167	-49,5167	01/01/193	01/01/200	52	1345,2	280,26	0,2083	744,8	2083,7
53	2049024	-20,8	-49,3833	01/01/194	01/01/200	49	1274,7	320,81	0,2516	531,3	2291,1

N	Cód	Lat	Lon	Data Ini	Data Fim	NA	Méd	DP	CV	Mín	Máx
54	2049027	-20,9167	-49,45	01/01/194	01/01/200	50	1341,2	266,86	0,1989	661,5	2277,7
55	2049028	-20,9167	-49,7833	01/01/196	01/01/200	44	1300,0	248,54	0,1911	751,3	2127,1
56	2049029	-20,9833	-49,0167	01/01/195	01/01/200	40	1363,1	189,38	0,1389	876,9	1764,9
57	2049033	-20,3333	-49,2	01/01/193	01/01/200	63	1281,0	246,72	0,1925	740,4	1809,5
58	2050001	-20,0333	-50,7333	01/01/196	01/01/200	40	1228,9	298,16	0,2426	97,6	1664,2
59	2050002	-20,0667	-50,35	01/01/196	01/01/200	43	1445,5	380,42	0,2631	731,1	2604,3
60	2050004	-20,15	-50,2	01/01/196	01/01/200	43	1295,7	263,50	0,2033	779,2	1804,5
61	2050023	-20,2167	-50,9167	01/01/195	01/01/200	43	1269,6	238,83	0,1881	711	1837,7
62	2050024	-20,3	-50,25	01/01/195	01/01/200	40	1355,0	268,82	0,1983	772,5	1943,7
63	2143003	-21,1492	-43,52	01/01/194	01/01/201	68	1580,0	363,90	0,2303	703,7	2284,1
64	2143005	-21,2789	-43,82	01/01/194	01/01/201	67	1424,3	282,88	0,1985	665,7	2211,1
65	2143006	-21,1872	-43,98	01/01/194	01/01/201	61	1329,9	245,24	0,1843	718,5	1775
66	2143007	-21,1928	-43,6139	01/01/194	01/01/201	62	1552,2	324,86	0,2092	638,2	2279,6
67	2143008	-21,4272	-43,9594	01/01/194	01/01/201	60	1245,7	402,88	0,3234	335,2	2540,8
68	2143009	-21,2747	-43,8786	01/01/194	01/01/201	59	1421,3	204,64	0,1439	978,1	1888,2
69	2143011	-21,7578	-43,9178	01/01/194	01/01/201	71	1574,7	329,08	0,2089	628,6	2442
70	2143019	-21,8556	-43,8864	01/01/194	01/01/201	66	1548,6	327,38	0,2113	697,3	2309,2
71	2143020	-21,5942	-43,5053	01/01/195	01/01/201	59	1536,9	364,82	0,2373	734,8	2539,7
72	2144000	-21,0339	-44,7719	01/01/194	01/01/201	45	1422,8	266,31	0,1871	801,7	2273
73	2144001	-21,9472	-44,1939	01/01/194	01/01/201	59	1378,8	243,20	0,1763	657,9	1943,1
74	2144002	-21,1225	-44,2325	01/01/194	01/01/200	59	1474,6	263,82	0,1789	816,8	2270,8
75	2144003	-21,9897	-44,9386	01/01/194	01/01/201	53	1530,1	357,38	0,2335	785,2	2756,6
76	2144004	-21,9511	-44,8761	01/01/194	01/01/201	62	1279,4	368,61	0,2880	365,2	2540,3
77	2144005	-21,3208	-44,8728	01/01/194	01/01/201	67	1485,7	321,87	0,2166	738,5	2574
78	2144006	-21,5069	-44,9156	01/01/194	01/01/201	62	1400,4	346,07	0,2471	802,5	2837,7
79	2144007	-21,4922	-44,3261	01/01/194	01/01/201	61	1481,7	298,07	0,2011	632,2	2637,5
80	2144009	-21,165	-44,1356	01/01/194	01/01/201	59	1490,2	412,04	0,2764	543,4	2608,8
81	2144010	-21,6992	-44,4389	01/01/194	01/01/201	57	1362,7	346,68	0,2543	605,4	2776,6
82	2144018	-21,9772	-44,6033	01/01/194	01/01/201	58	1568,9	408,08	0,2601	521,1	3190
83	2144019	-21,7347	-44,3122	01/01/194	01/01/200	42	1435,1	284,64	0,1983	1032,7	2637,6
84	2144020	-21,0556	-44,2089	01/01/196	01/01/201	45	1472,3	265,30	0,1801	920,6	2248,5
85	2145001	-21,8872	-45,0792	01/01/194	01/01/201	64	1517,3	316,52	0,2086	709,8	2629,9
86	2145003	-21,7208	-45,2644	01/01/194	01/01/201	41	1416,0	276,03	0,1949	973,9	2233,4
87	2145007	-21,3436	-45,1703	01/01/194	01/01/201	63	1385,1	302,82	0,2186	691	2358,7
88	2145008	-21,8742	-45,2583	01/01/194	01/01/200	52	1456,4	302,48	0,2076	825,8	2546,3
89	2145009	-21,9192	-45,4789	01/01/194	01/01/201	56	1366,8	359,05	0,2626	619,2	2464
90	2145017	-21,7603	-45,5378	01/01/194	01/01/201	65	1388,4	325,28	0,2342	809,3	2396
91	2145021	-21,2575	-	01/01/196	01/01/201	44	1397,6	309,37	0,2213	830,2	2367,7
92	2146002	-21,4667	-46,75	01/01/194	01/01/200	50	1397,4	376,55	0,2694	351,9	2065,7
93	2146003	-21,4333	-46,85	01/01/194	01/01/199	56	1555,9	348,04	0,2236	869,6	2835,2
94	2146007	-21,5333	-46,6333	01/01/193	01/01/200	54	1543,9	332,78	0,2155	747,8	2815,5
95	2146009	-21,6	-46,9	01/01/194	01/01/200	46	1440,6	256,15	0,1778	777,5	1943,5
96	2146010	-21,7	-46,8167	01/01/194	01/01/200	47	1410,4	517,10	0,3666	79	2514,5
97	2146011	-21,8333	-46,9	01/01/193	01/01/200	43	1392,6	255,51	0,1834	850,5	2058,3
98	2146014	-21,95	-46,8	01/01/194	01/01/200	54	1445,4	246,58	0,1705	705,6	2050,8
99	2146026	-21,2936	-46,7039	01/01/191	01/01/201	49	1558,3	312,33	0,2004	1112,8	2685,5
100	2146027	-21,2789	-46,3608	01/01/196	01/01/201	40	1486,9	363,91	0,2447	732,8	2489,4
101	2146029	-21,7908	-46,1242	01/01/196	01/01/201	43	1553,4	278,23	0,1791	1105,2	2643,4
102	2147001	-21,0167	-47,4	01/01/194	01/01/200	52	1335,0	535,84	0,4013	115,2	2267,5
103	2147003	-21,1	-47,15	01/01/194	01/01/200	47	1608,3	332,43	0,2066	749,3	2499,6
104	2147004	-21,1	-47,75	01/01/194	01/01/200	55	1417,5	286,63	0,2021	804,2	1993,9

N	Cód	Lat	Lon	Data Ini	Data Fim	NA	Méd	DP	CV	Mín	Máx
105	2147006	-21,2167	-47,8667	01/01/194	01/01/200	58	1426,9	251,52	0,1762	915,2	2206,5
106	2147011	-21,3211	-47,4792	01/01/196	01/01/201	40	1434,9	242,92	0,1692	970,6	2247,5
107	2147012	-21,3333	-47,7833	01/01/195	01/01/200	45	1507,5	261,63	0,1735	861,7	2359,1
108	2147013	-21,3	-47,9333	01/01/194	01/01/200	47	1349,8	274,33	0,2032	557,4	2109,2
109	2147014	-21,3667	-47,7167	01/01/194	01/01/200	47	1393,2	313,50	0,2250	728,5	2134,2
110	2147016	-21,45	-47,9	01/01/195	01/01/200	49	1376,8	287,32	0,2086	701,2	2234,8
111	2147019	-	-	01/01/195	01/01/200	49	1514,6	294,10	0,1941	845,2	2409,9
112	2147022	-21,5217	-47,3644	01/01/196	01/01/201	42	1469,3	255,52	0,1739	876,4	2204,4
113	2147023	-21,45	-47	01/01/194	01/01/199	57	1465,6	294,93	0,2012	870	2449,6
114	2147033	-21,8333	-47,25	01/01/193	01/01/199	62	1508,6	451,11	0,2990	851,5	3029,5
115	2147034	-21,8464	-47,4747	01/01/196	01/01/201	41	1423,3	204,56	0,1437	947,4	1992,2
116	2147037	-21,95	-47,7	01/01/194	01/01/199	50	1558,0	316,99	0,2034	756,9	2538,4
117	2147042	-21,9667	-47,4667	01/01/194	01/01/199	44	1410,1	244,78	0,1735	897,9	1951,1
118	2147043	-21,9667	-47,7	01/01/195	01/01/200	47	1569,8	297,00	0,1891	739,2	2457,5
119	2147054	-21,1331	-47,0219	01/01/196	01/01/201	42	1657,7	265,54	0,1601	1102	2389,6
120	2147076	-21,3167	-47,3667	01/01/195	01/01/199	47	1535,1	297,46	0,1937	829,8	2493
121	2147085	-21,8833	-47,3167	01/01/194	01/01/199	41	1380,6	262,28	0,1899	741,1	2161,1
122	2147092	-21,0167	-47,7667	01/01/194	01/01/200	50	1513,9	344,33	0,2274	613,5	2699,9
123	2147094	-21,3667	-47,4333	01/01/194	01/01/199	56	1456,7	309,86	0,2127	704,1	2576,7
124	2147117	-	-	01/01/194	01/01/200	59	1386,1	252,18	0,1819	787,3	2208,5
125	2147123	-21,4333	-47,3333	01/01/194	01/01/200	58	1465,2	280,05	0,1911	1000,8	2182,2
126	2148001	-21,05	-48,2667	01/01/194	01/01/200	58	1356,6	258,54	0,1905	716,5	2345,6
127	2148003	-21,0167	-48,0333	01/01/193	01/01/199	58	1345,9	320,80	0,2383	784,3	2415,1
128	2148012	-21,2167	-48,9	01/01/193	01/01/200	65	1430,0	341,78	0,2390	796,4	2837,3
129	2148015	-21,2667	-48,7667	01/01/193	01/01/200	64	1306,2	286,68	0,2194	674,5	2404,4
130	2148016	-21,2667	-48,5	01/01/194	01/01/200	53	1433,9	295,48	0,2060	711,5	2706,2
131	2148028	-21,5	-48,0333	01/01/192	01/01/201	73	1192,8	337,77	0,2831	360,7	2100,9
132	2148029	-21,5167	-48,15	01/01/193	01/01/199	59	1359,2	304,51	0,2240	443	2239,8
133	2148033	-21,6	-48,35	01/01/194	01/01/200	60	1266,9	230,55	0,1819	829,4	1807,1
134	2148041	-	-	01/01/193	01/01/200	65	1439,8	275,04	0,1910	941,3	2557,6
135	2148048	-21,9167	-48,1833	01/01/194	01/01/199	57	1460,7	291,63	0,1996	728,9	2228,7
136	2148060	-21,85	-48,5	01/01/193	01/01/200	62	1360,3	269,70	0,1982	772,7	2315,5
137	2148061	-21,8833	-48,15	01/01/193	01/01/200	63	1429,6	257,35	0,1800	759,2	2164,7
138	2148078	-21,6833	-48,0833	01/01/193	01/01/200	63	1254,4	444,68	0,3544	275,8	2494,5
139	2148086	-21,95	-48	01/01/194	01/01/199	55	1497,5	391,08	0,2611	807,4	2673,8
140	2148106	-21,3333	-48,6333	01/01/194	01/01/200	58	1317,4	304,86	0,2314	547,6	2380,4
141	2148116	-21,1833	-48,1833	01/01/195	01/01/199	42	1411,2	318,35	0,2255	726,8	2419,3
142	2148160	-	-	01/01/193	01/01/200	45	1459,9	263,08	0,1802	1078,1	2379,3
143	2149001	-21,0333	-49,3833	01/01/195	01/01/200	48	1282,4	254,34	0,1983	649	2080,6
144	2149003	-21,05	-49,0667	01/01/194	01/01/200	45	1268,3	332,09	0,2618	145,8	1961,1
145	2149006	-21,1833	-49,3	01/01/194	01/01/200	52	1303,6	277,47	0,2128	839,2	2282
146	2149008	-21,3167	-49,05	01/01/194	01/01/200	54	1299,6	201,99	0,1554	703,4	1721,1
147	2243202	-22,0117	-43,875	01/01/194	01/01/201	65	1884,9	351,23	0,1863	999,6	2725,5
148	2244001	-22,5494	-44,7889	01/01/194	01/01/201	61	1410,6	256,20	0,1816	1003,4	2129,6
149	2244010	-22,6919	-44,975	01/01/193	01/01/201	74	1395,9	219,73	0,1574	977,1	2081
150	2244030	-22,5033	-44,6156	01/01/195	01/01/201	48	1405,7	231,85	0,1649	987,8	1976
151	2244031	-22,5003	-44,5542	01/01/195	01/01/200	45	1483,6	241,83	0,1630	906	2028,4
152	2244033	-22,2311	-44,0647	01/01/194	01/01/201	67	1701,3	386,87	0,2274	837,3	3267,4
153	2244034	-22,3036	-44,1869	01/01/194	01/01/201	67	1767,9	318,93	0,1804	1147,2	2724,8
154	2244035	-22,1506	-44,09	01/01/193	01/01/201	74	1731,5	316,79	0,1829	808,4	2598,1
155	2244036	-22,2431	-44,2636	01/01/193	01/01/201	68	1852,9	441,06	0,2380	971,6	3357,4

N	Cód	Lat	Lon	Data Ini	Data Fim	NA	Méd	DP	CV	Mín	Máx
156	2244037	-22,2975	-44,3106	01/01/194	01/01/201	63	2022,7	399,13	0,1973	1224,3	3025,2
157	2244038	-22,2706	-44,3917	01/01/193	01/01/201	71	2111,6	328,46	0,1555	1369,6	2984,7
158	2244039	-22,3378	-44,5903	01/01/194	01/01/201	69	2421,3	469,14	0,1937	1386,2	3354,1
159	2244047	-22,33	-44,5383	01/01/193	01/01/201	68	2329,7	308,96	0,1326	1734,4	3147
160	2244054	-22,1211	-44,8425	01/01/194	01/01/201	58	1658,7	432,09	0,2604	749,6	3075,7
161	2244057	-22,1269	-44,4083	01/01/194	01/01/200	61	1851,9	382,04	0,2062	1118,8	2844,8
162	2244058	-22,2539	-44,495	01/01/197	01/01/201	41	2117,4	309,54	0,1461	1523,6	2865
163	2244065	-22,17	-44,6369	01/01/194	01/01/201	63	1683,6	348,56	0,2070	1039,6	2917,7
164	2244071	-22,1992	-44,9733	01/01/196	01/01/201	48	1490,1	313,13	0,2101	671,8	2380,8
165	2245000	-22,2514	-45,7089	01/01/194	01/01/201	50	1350,0	344,27	0,2550	562,5	2410,5
166	2245007	-22,6617	-45,0125	01/01/193	01/01/200	69	1330,6	226,92	0,1705	869,3	1805,1
167	2245008	-22,6667	-45,0167	01/01/195	01/01/199	41	1355,2	209,53	0,1546	995,6	1732,1
168	2245010	-22,6889	-45,4814	01/01/194	01/01/200	58	1731,8	347,60	0,2007	867,7	2832
169	2245011	-22,6858	-45,7353	01/01/194	01/01/200	55	1226,9	255,28	0,2080	746	1817,4
170	2245018	-22,7167	-45,5667	01/01/193	01/01/200	51	1716,8	333,05	0,1939	1035,1	2637,4
171	2245020	-22,7333	-45,0833	01/01/195	01/01/200	40	1317,4	232,29	0,1763	889,8	1788,7
172	2245021	-22,7333	-45,2	01/01/195	01/01/200	42	1979,4	889,17	0,4492	922,9	4413,4
173	2245029	-22,7667	-45,7	01/01/194	01/01/200	56	1769,2	462,78	0,2615	930,8	2970,3
174	2245032	-22,8122	-45,1825	01/01/193	01/01/201	75	1400,5	309,23	0,2207	683,3	2603,3
175	2245039	-22,8333	-45,1667	01/01/195	01/01/199	42	1440,2	318,42	0,2210	841	2330,3
176	2245042	-22,9	-45,4833	01/01/194	01/01/199	46	1440,6	417,25	0,2896	861,8	3419,1
177	2245045	-22,8667	-45,7833	01/01/194	01/01/199	51	1696,7	382,30	0,2253	802,3	2544,6
178	2245048	-22,9111	-45,4703	01/01/193	01/01/201	75	1226,2	225,40	0,1838	827,6	1968,8
179	2245050	-22,9167	-45,9667	01/01/194	01/01/199	53	1865,6	381,38	0,2044	1056,7	2773,3
180	2245054	-22,9333	-45,8333	01/01/194	01/01/200	56	1801,2	420,82	0,2336	899,3	3530,4
181	2245065	-22,2103	-45,2658	01/01/194	01/01/201	59	1526,5	301,97	0,1978	958,7	2811,3
182	2245066	-22,4142	-45,7908	01/01/194	01/01/200	55	1310,4	294,19	0,2245	651,4	2419,2
183	2245070	-22,4714	-45,6219	01/01/194	01/01/200	47	1393,1	270,81	0,1943	918,4	2403,9
184	2245074	-22,0528	-45,6989	01/01/194	01/01/201	66	1382,0	308,95	0,2235	609,9	2636,8
185	2245077	-22,2447	-45,9597	01/01/194	01/01/201	59	1374,9	309,11	0,2248	571,5	2539
186	2245080	-22,3381	-45,0906	01/01/194	01/01/200	57	1692,1	608,96	0,3598	573,7	3068,4
187	2245103	-22,8167	-45,7333	01/01/194	01/01/199	50	1736,5	339,25	0,1953	1107,4	2476,3
188	2245122	-22,6639	-45,3092	01/01/192	01/01/199	67	1740,2	278,27	0,1599	1049	2280,8
189	2245123	-22,8681	-45,2533	01/01/195	01/01/200	42	1341,9	228,98	0,1706	845,6	1870,1
190	2245128	-22,7481	-45,1022	01/01/192	01/01/200	56	1405,9	247,88	0,1763	947,3	2019,4
191	2246002	-22,05	-46,9667	01/01/194	01/01/199	60	1471,0	254,27	0,1728	983,3	2254,1
192	2246003	-22,0611	-46,9744	01/01/196	01/01/201	45	1392,3	287,37	0,2064	923,2	2450,4
193	2246007	-22,2833	-46,7667	01/01/193	01/01/199	60	1556,6	273,33	0,1755	1030,3	2163,6
194	2246008	-22,3333	-46,7167	01/01/194	01/01/199	46	1553,7	450,17	0,2897	604,2	2857,4
195	2246009	-22,3678	-46,93	01/01/196	01/01/201	40	1173,9	450,61	0,3838	52,6	1718,9
196	2246013	-22,45	-46,8167	01/01/193	01/01/200	63	1305,3	301,86	0,2312	430,2	2009
197	2246015	-22,5167	-46,95	01/01/193	01/01/200	47	1391,1	278,32	0,2000	825,4	2220,9
198	2246017	-22,6	-46,5333	01/01/194	01/01/200	52	1431,6	358,95	0,2507	293,9	2122,1
199	2246019	-22,6	-46,7	01/01/193	01/01/200	51	1433,0	388,14	0,2708	414,8	2710,3
200	2246020	-22,6167	-46,85	01/01/194	01/01/200	53	1430,5	259,86	0,1816	1017,7	2391,8
201	2246021	-22,6667	-46,9667	01/01/195	01/01/200	48	1384,1	260,87	0,1884	921,2	2210,1
202	2246022	-22,7	-46,6667	01/01/194	01/01/200	59	1547,0	277,13	0,1791	1059,9	2521,4
203	2246023	-22,71	-46,7747	01/01/194	01/01/201	60	1312,6	415,46	0,3164	337,1	2179,6
204	2246028	-22,75	-46,9333	01/01/194	01/01/200	51	1437,4	295,19	0,2053	900,7	2456,2
205	2246033	-22,8811	-46,6317	01/01/194	01/01/201	58	1455,9	227,05	0,1559	1037,8	2256,2
206	2246034	-22,8833	-46,7833	01/01/194	01/01/200	49	1515,3	298,09	0,1967	894	2729

N	Cód	Lat	Lon	Data Ini	Data Fim	NA	Méd	DP	CV	Mín	Máx
207	2246035	-22,9	-46,4167	01/01/193	01/01/200	56	1498,2	345,94	0,2308	680,2	2422,1
208	2246047	-22,0233	-46,3039	01/01/194	01/01/201	65	1365,6	480,83	0,3520	141,3	2453,5
209	2246052	-22,2886	-46,6192	01/01/194	01/01/201	43	1624,2	342,85	0,2110	913	2599,8
210	2246090	-22,9333	-46,2667	01/01/195	01/01/200	42	1502,7	306,78	0,2041	802,4	2427,2
211	2246095	-22,8	-46,45	01/01/194	01/01/200	41	1691,8	446,49	0,2639	305,5	2919,1
212	2246115	-22,3333	-46,9833	01/01/196	01/01/200	40	1515,1	280,10	0,1848	1062,7	2431,1
213	2247003	-22,1167	-47,4167	01/01/193	01/01/199	57	1351,0	272,64	0,2018	722,6	2192,3
214	2247004	-22,1333	-47,6667	01/01/193	01/01/200	58	1367,6	309,21	0,2260	646,1	2396,2
215	2247005	-22,1667	-47,2833	01/01/193	01/01/200	66	1315,3	280,93	0,2135	630	2357,5
216	2247006	-22,15	-47,8	01/01/193	01/01/199	59	1323,2	317,43	0,2398	776,6	2449,7
217	2247010	-22,2167	-47,6167	01/01/194	01/01/200	59	1411,7	308,50	0,2185	807,4	2252,9
218	2247011	-22,25	-	01/01/193	01/01/200	60	1341,7	338,61	0,2523	197,2	2394,1
219	2247015	-22,3	-47,75	01/01/193	01/01/200	62	1449,4	258,32	0,1782	858,2	2193,7
220	2247017	-22,3	-47,45	01/01/193	01/01/199	60	1389,2	323,19	0,2326	249,9	2303,2
221	2247018	-	-	01/01/195	01/01/200	52	1412	285,12	0,2019	777,1	2227,3
222	2247020	-	-47,55	01/01/193	01/01/200	63	1403,1	319,36	0,2276	739,5	2268
223	2247022	-22,4833	-47,5167	01/01/194	01/01/200	57	1384,7	311,60	0,2250	736,4	2413,7
224	2247028	-22,6333	-47,05	01/01/195	01/01/200	49	1322,9	274,30	0,2073	878,9	2172,6
225	2247031	-22,6667	-47,2167	01/01/194	01/01/200	56	1333,9	250,37	0,1877	770,6	1989,5
226	2247041	-22,7833	-47,0333	01/01/195	01/01/200	43	1393,9	303,10	0,2174	885,7	2342,5
227	2247055	-22,7081	-46,9864	01/01/194	01/01/201	65	1328,2	256,85	0,1933	844,2	1974,2
228	2247075	-22,7	-47,2833	01/01/193	01/01/200	60	1292,5	241,02	0,1864	738,4	2017,8
229	2248005	-22,0833	-48,1833	01/01/193	01/01/200	65	1293,0	380,18	0,2940	267,5	2300,2
230	2345008	-23,0833	-45,6667	01/01/195	01/01/200	43	1311,6	252,31	0,1923	700,1	2017,6
231	2345012	-23,1333	-45,7167	01/01/194	01/01/200	57	1307,9	264,97	0,2025	850,3	2361,7
232	2345062	-23,0394	-45,5589	01/01/193	01/01/201	73	1295,6	240,50	0,1856	706,4	1810,8
233	2345063	-23,0778	-45,7103	01/01/193	01/01/201	73	1281,2	192,57	0,1502	914	1817,7
234	2345152	-23,05	-45,9	01/01/194	01/01/199	49	1516,8	293,13	0,1932	886,9	2271,1

Tabela C2. Lista de estações pluviométricas com dados possivelmente inconsistentes (*outliers*) segundo os critérios Box Plot e Grubs e/ou Grubs e Becks.

Alterada?	FID	Codigo	lat	lon	DataIni	DataFim	Ad(km2)	Nanos	Media	DesvPad	CV	Min	Max
SIM	1176	2244034	-22,3036	-44,1869	01/01/1943	01/01/2013	-99999	70	1803,724	481,0458	0,266696	450	4060,8
SIM	1177	2244037	-22,2975	-44,3106	01/01/1948	01/01/2013	-99999	65	2034,317	465,6804	0,228912	1035	3764,8
NÃO	1178	2244039	-22,3378	-44,5903	01/01/1942	01/01/2013	-99999	69	2421,316	469,1409	0,193755	1386,2	3354,1
SIM	1179	2244047	-22,33	-44,5383	01/01/1938	01/01/2013	-99999	69	2313,446	335,2484	0,144913	1205	3147
NÃO	1180	2245021	-22,7333	-45,2	01/01/1958	01/01/2002	-99999	42	1979,419	889,171	0,449208	922,9	4413,4
SIM	1181	2245054	-22,9333	-45,8333	01/01/1940	01/01/2003	-99999	58	1876,153	575,3714	0,306676	899,3	4091,7
SIM	1182	2245080	-22,3381	-45,0906	01/01/1942	01/01/2005	-99999	58	1771,745	855,6063	0,482917	573,7	6310,4
SIM	1183	2246008	-22,3333	-46,7167	01/01/1943	01/01/1996	-99999	49	1695,598	718,8106	0,423928	604,2	4398,2
SIM	1184	2246019	-22,6	-46,7	01/01/1937	01/01/2003	-99999	63	3821,314	5188,343	1,357738	414,8	19227,8
SIM	1185	2246023	-22,71	-46,7747	01/01/1940	01/01/2012	-99999	61	1673,18	2845,54	1,700678	337,1	23302,9
SIM	1186	2247020	-22,4167	-47,55	01/01/1933	01/01/2006	-99999	66	1839,144	2061,983	1,121164	739,5	13079,5
SIM	1187	2247075	-22,7	-47,2833	01/01/1937	01/01/2003	-99999	62	1463,916	982,3122	0,671017	738,4	7238,1

Tabela C3. Dados inconsistentes (*outliers*) das estações pluviométricas selecionadas, segundo os critérios Box Plot e Grubs e/ou Grubs e Becks.

N	Código	Data	Valor	Metodo	LimInf	LimSup	Tipo
1	2244034	01/01/1947	450,0	GB	792,0	3836,2	Inferior
2	2244034	01/01/1950	4060,8	BP	271,3	3273,6	Superior
3	2244034	01/01/1950	4060,8	GB	792,0	3836,2	Superior
4	2244034	01/01/1952	3300,6	BP	271,3	3273,6	Superior
5	2244037	01/01/1976	3764,8	BP	206,1	3760,0	Superior
6	2244037	01/01/1980	1035,0	GB	1045,6	3767,1	Inferior
7	2244047	01/01/1963	1205,0	GB	1477,7	3543,9	Inferior
8	2245054	01/01/1955	3852,9	BP	-97,8	3673,6	Superior
9	2245054	01/01/1955	3852,9	GB	856,1	3816,7	Superior
10	2245054	01/01/1956	4091,7	BP	-97,8	3673,6	Superior
11	2245054	01/01/1956	4091,7	GB	856,1	3816,7	Superior
12	2245080	01/01/1983	6310,4	BP	-762,8	4147,0	Superior
13	2245080	01/01/1983	6310,4	GB	462,6	5607,3	Superior
14	2246008	01/01/1992	3870,3	BP	12,6	3023,4	Superior
15	2246008	01/01/1993	4398,2	BP	12,6	3023,4	Superior
16	2246008	01/01/1993	4398,2	GB	592,8	4233,9	Superior
17	2246008	01/01/1994	3345,4	BP	12,6	3023,4	Superior
18	2246019	01/01/1970	16314,5	BP	-584,7	3778,4	Superior
19	2246019	01/01/1971	12720,8	BP	-584,7	3778,4	Superior
20	2246019	01/01/1972	18032,9	BP	-584,7	3778,4	Superior
21	2246019	01/01/1973	13485,4	BP	-584,7	3778,4	Superior
22	2246019	01/01/1974	11995,2	BP	-584,7	3778,4	Superior
23	2246019	01/01/1975	13228,7	BP	-584,7	3778,4	Superior
24	2246019	01/01/1976	19227,8	BP	-584,7	3778,4	Superior
25	2246019	01/01/1977	15466,1	BP	-584,7	3778,4	Superior
26	2246019	01/01/1978	10884,8	BP	-584,7	3778,4	Superior
27	2246019	01/01/1979	13265,6	BP	-584,7	3778,4	Superior
28	2246019	01/01/1980	16716,2	BP	-584,7	3778,4	Superior
29	2246019	01/01/1981	6321,7	BP	-584,7	3778,4	Superior
30	2246023	01/01/1999	23302,9	BP	-180,3	2915,9	Superior
31	2246023	01/01/1999	23302,9	GB	258,2	6376,1	Superior
32	2247020	01/01/1973	10044,2	BP	-82,3	2882,3	Superior
33	2247020	01/01/1973	10044,2	GB	369,1	6126,1	Superior
34	2247020	01/01/1974	13079,5	BP	-82,3	2882,3	Superior
35	2247020	01/01/1974	13079,5	GB	369,1	6126,1	Superior
36	2247020	01/01/1975	9863,8	BP	-82,3	2882,3	Superior
37	2247020	01/01/1975	9863,8	GB	369,1	6126,1	Superior
38	2247075	01/01/1981	5972,8	BP	174,2	2451,5	Superior
39	2247075	01/01/1981	5972,8	GB	498,2	3601,8	Superior
40	2247075	01/01/1982	7238,1	BP	174,2	2451,5	Superior
41	2247075	01/01/1982	7238,1	GB	498,2	3601,8	Superior