

NOTA TÉCNICA Nº 52/2021/SPR
Documento nº 02500.056196/2021-14

Brasília, 6 de dezembro de 2021.

Ao Superintendente de Planejamento de Recursos Hídricos

Assunto: Regionalização de vazões na UGRH do Doce: Q90, Q95, Q710, Qmlt (anuais e mensais).

1. Esta nota apresenta o estudo de regionalização de vazões características para a Unidade de Gestão de Recursos Hídricos do Doce – UGRH Doce. O objetivo é subsidiar a revisão do plano integrado da bacia, além de contribuir com a construção de uma base de dados comum que possa ser utilizada pelos órgãos gestores da bacia.
2. A iniciativa contribui para o plano de ação da Resolução Conjunta ANA/IGAM/SEMAD nº 98, de 10 de dezembro de 2018, que tem por objetivo a gestão integrada dos recursos hídricos estaduais e federais.
3. Visando oportunizar um avanço no processo de gestão, o estudo se dispõe a estimar vazões Q7,10, Q90, Q95 e Qmlt anuais e mensais. As estratégias metodológicas utilizadas visam a aplicabilidade das informações pelos órgãos gestores envolvidos.
4. Os resultados são disponibilizados por trecho de rio na base hidrográfica otocodificada multiescalas 2017 – BHO2017, bem como na BHO5k, que é a base BHO2017 abstraída de cursos d'água com área de drenagem inferior a 5km².
5. O texto descreve as etapas desenvolvidas que passam pela caracterização da bacia, análise e seleção de dados, método de regionalização e, por fim, análise e validação dos resultados.

Caracterização da Bacia

6. A unidade de gestão do Doce possui cerca de 85 mil km² e é formada pelo próprio rio Doce e por rios que drenam para o mar entre o rio Doce e o Rio Barra seca, incluindo este último.
7. A vazão é o resultado da interação entre componentes meteorológicas e das características de relevo, cobertura, composição e estrutura da superfície da bacia. Desses componentes a chuva é um fator preponderante para o escoamento, porque representa a entrada da água no sistema. Em se tratando de vazões mínimas, a forma como o solo armazena e libera a água precipitada determinam a dinâmica dos rios nos períodos menos chuvosos. O que não chega aos rios, volta por evapotranspiração e uma menor parte pode infiltrar para camadas mais profundas da superfície.
8. A Figura 1 mostra a chuva total anual média na bacia, que apresenta um gradiente de 950 a 1550 mm decrescente na direção nordeste. Há em geral uma aderência ao relevo, observando maiores chuvas nas porções mais alta.
9. Quanto à distribuição intra-anual, verifica-se um comportamento sazonal bem definido, com um período mais seco entre abril e outubro, em praticamente toda a região. (Figura 2),
10. Em locais com períodos secos e úmidos bem definidos, como é o caso da bacia do Doce as vazões mínimas serão observadas durante a estiagem e serão mais dependentes da quantidade

chuva do período úmido e da capacidade da bacia de reter e em seguida liberar a água precipitada que da ocorrência de chuva nos meses secos.

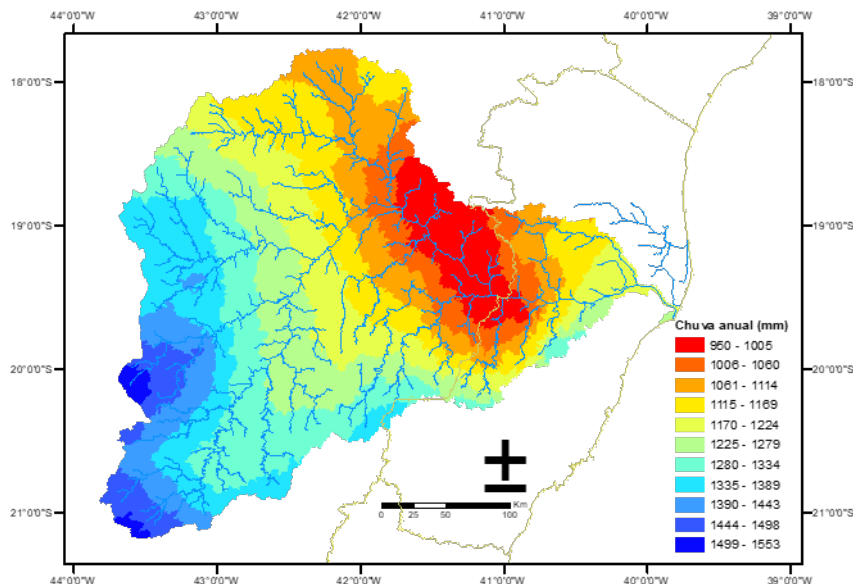


Figura 1 : Precipitação total anual média (mm).

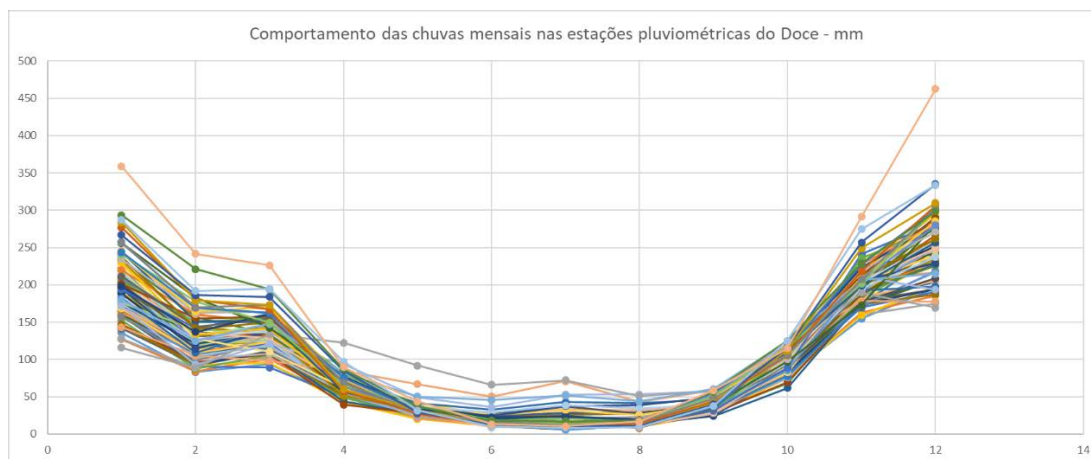


Figura 2 : Chuvas médias mensais (mm) em estações pluviométricas da UGRH Doce.

11. Em termos de uso da terra, a maioria do território é área agrícola com proporções variadas de floresta, que é maior nas áreas íngremes. Destaque para área significativa de silvicultura nas bacias dos rios Piracicaba, Santo Antônio, Suaçui Pequeno e Corrente Grande. Na parte mais plana e seca há a introdução da pastagem. Áreas agrícolas mais estabelecidas estão no estado do Espírito Santo nas bacias dos rios Guandu e Barra Seca.

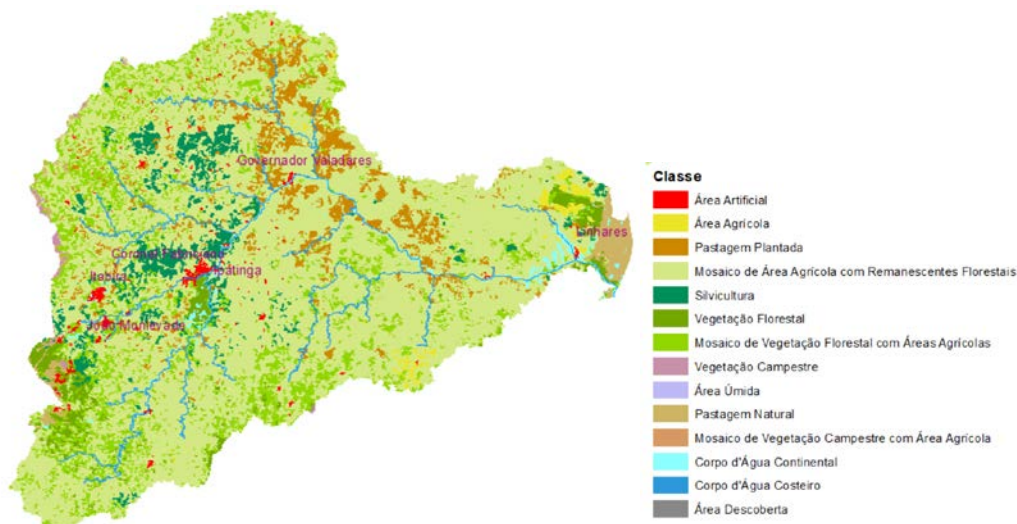


Figura 3 : Classes de uso da terra.

12. Os estudos de água subterrânea da bacia mostram que mais de 80% dos aquíferos aflorantes está no domínio do Sistema Aquífero Gnáissico-Granítico que é do tipo fraturado, onde a porosidade e a permeabilidade dependem da cobertura e do nível de intemperismo, sendo no geral caracterizado por baixa produtividade.

13. Conforme a Figura 4 que apresenta os tipos de aquíferos aflorantes e respectivos coeficientes de infiltração, há uma redução da capacidade de infiltração de montante para jusante, voltando a subir próximo à foz, com uma faixa mais representativa do Aluvial, que normalmente é bem restrito às margens dos rios. Na bacia do rio Barra Seca destaca-se uma maior permeabilidade com o aquífero Barreiras. (NOTA TÉCNICA N° 34/2019/COSUB/SIP – doc. n° 02500.056309/2019)

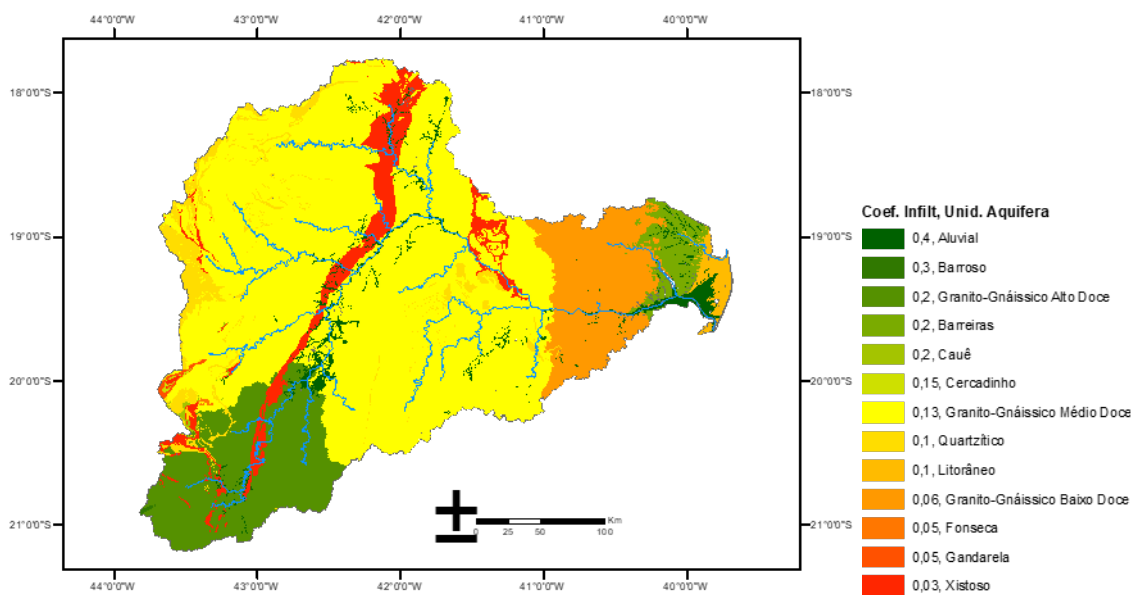


Figura 4 : Aquíferos aflorantes e estimativas dos coeficientes de infiltração.

Análise, tratamento e seleção dos dados fluviométricos

14. Foram identificadas no banco Hidro, 145 estações fluviométricas dentro da bacia. 78 delas possuem menos de 30 anos de dados e 50, menos de 15 anos. A maior parte das estações curtas deixaram de operar e uma parte teve a seção deslocada sem aumento significativo da área, constituindo locais monitorados por 2 ou mais conjuntos de séries. Atualmente há em operação 55 estações fluviométricas com dados armazenados no banco Hidro.

15. Uma avaliação das séries de vazões médias anuais ao longo dos anos na bacia (Figura 5) aponta uma redução importante das vazões após o ano de 2014. O que torna esse período particularmente importante em termos de vazões mínimas.

16. Para avaliar essa redução, foi realizada uma análise de estacionaridade em 56 estações com mais de 30 anos de dados e pelo menos 5 anos entre 2000 e 2015, utilizando o teste não paramétrico de Mann Kendall (MK), a um nível de significância de 5%. O resultado da análise mostrou que 77% das estações apresentaram tendência de queda na vazão Q_7 mínima para o nível de significância avaliado. Maiores detalhes dos testes podem ser consultados no Apêndice B.

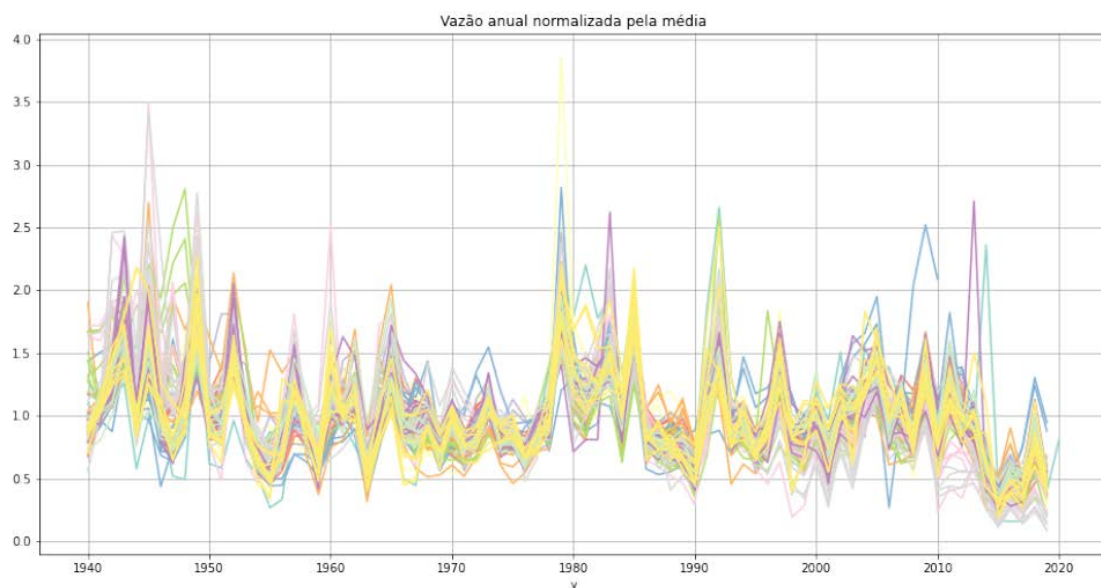


Figura 5 : vazões anuais em estações da bacia do Doce normalizadas pela média.

17. Dessa forma, com o objetivo de obter representatividade temporal em toda bacia, optou-se por homogeneizar o período das séries. Para tanto foram selecionadas as estações com mais de 5 anos de dados e aplicado um procedimento de preenchimento e extensão da vazão diária com base em regressões do tipo vazão x vazão, das séries entre si. Para um dado de vazão ser preenchido foi necessário atender ao critério de haver pelo menos 5 anos de dados em comum entre as estações e um coeficiente de determinação superior a 0,6 na regressão candidata, caso o critério não seja atendido é mantida a falha. A descrição metodológica do procedimento pode ser consultada no Apêndice A.

18. Embora os primeiros registros na bacia datem de 1925, um menor número de estações com dados anteriores a 1960 e que atendessem os critérios de preenchimento estabelecido implicou na impossibilidade de preenchimento/extensão de muitas séries nesse período. Desta forma foi adotado

o período comum de 1960 a 2019 para obtenção das vazões características a serem regionalizadas, possibilitando um conjunto temporalmente homogêneo e espacialmente representativo.

19. Em que pese a obtenção de um conjunto grande de séries potenciais, séries curtas tendem a incorporar maiores incertezas no processo de preenchimento. Desta forma, foi realizada uma pré-seleção das estações mais confiáveis considerando os critérios de maior período observado, dados no período recente, qualidade do preenchimento e representatividade espacial.

20. Desta forma, partiu-se das estações com mais de 30 anos de dados observados e foram sendo incorporadas estações originalmente mais curtas para melhorar a representatividade espacial, conforme se observa na Figura 6. Além disso, o Estudo Regionalização de Vazões Mínimas para o Estado de Minas Gerais, realizado pela UFMG, já havia identificado 17 grupos de duas ou mais estações monitorando a mesma seção fluviométrica, geralmente em períodos distintos e, nesses casos, optou-se por manter a estação com dados mais longos e mais recentes para representar a seção.

21. A bacia possui ainda 6 usinas hidrelétricas instaladas, sendo 5 operando a fio d'água e apenas a Usina Porto Estrela no rio Santo Antônio com capacidade de regularização. As séries de vazões naturais das usinas foram consideradas potencialmente utilizáveis, principalmente a série da UHE Porto Estrela, em substituição à série da estação Naque Velho, localizada a jusante do barramento. O efeito da operação de Porto Estrela nas estações de monitoramento no rio Doce foi considerado de baixa relevância, dado que as áreas de drenagem diferem em mais de 4 vezes, e o aumento nas vazões mínimas no rio Santo Antônio, devido à operação, foi de cerca de 15%.

22. A pré-seleção consistiu então de 84 postos com uma série de 60 anos de dados entre 1960 e 2019, cuja distribuição pode ser visualizada na Figura 5, além de 6 séries de vazões naturais.

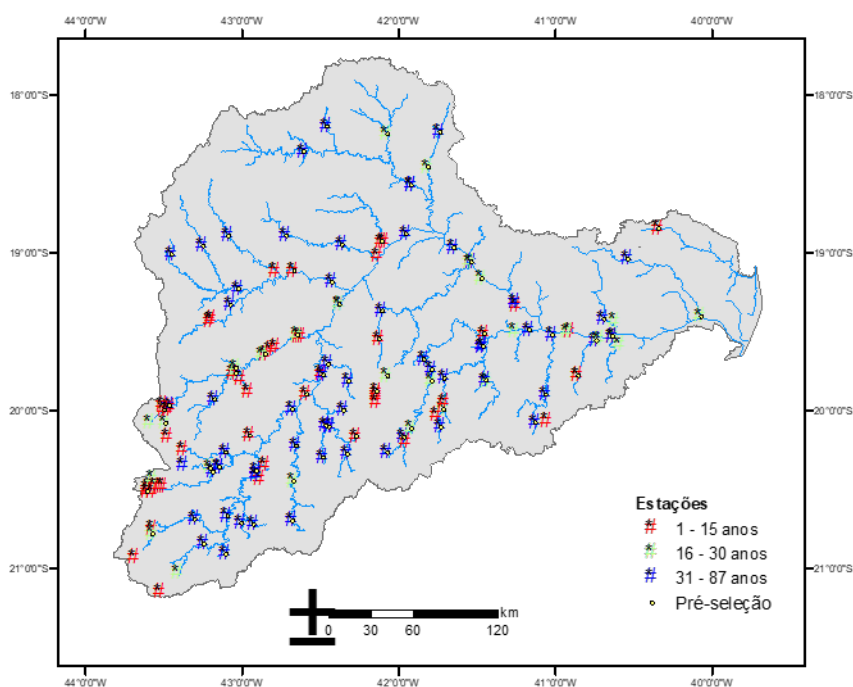


Figura 6 : Distribuição das estações Fluviométricas.

23. Para essa pré-seleção de 90 pontos de monitoramento, foram estimadas as estatísticas a serem regionalizadas, ou seja, vazões Q_{mt} , Q_{90} , Q_{95} e $Q_{7,10}$ anuais e mensais. As vazões Q_{90} e Q_{95} quando referenciadas como “anuais” dizem respeito ao valor que é excedido em 90% (Q_{90}) e 95% (Q_{95}) do tempo, a partir da curva de permanência de toda a série de vazões diárias. Seus valores mensais correspondem à curva de permanência dos valores de cada mês.

24. Para estimativa das $Q_{7,10}$, é calculada a média móvel de 7 dias a partir de toda a série de vazões diária. Em seguida, é construída uma série de vazões mínimas composta pelo menor valor de cada ano que é então ajustada a uma distribuição de probabilidade, para finalmente calcular o valor referente a 10 anos de tempo de retorno (10% de probabilidade). Em sua versão mensal, a série de vazões mínimas é construída com o menor valor no referido mês, em cada ano. Neste estudo, foram testadas as distribuições de probabilidade de Weibull, Generalizada de Valores Extremos e Log-Normal, ajustadas pelo método dos momentos L. Os valores de 10 anos de tempo de retorno apresentaram pouca variação entre si, sendo escolhida a distribuição de Weibull para todos os casos por, em geral, ter apresentado melhor aderência aos dados.

25. Quanto à representatividade das áreas de drenagem, o conjunto pré-selecionado possui uma variação de 35 a 82.000 km^2 , sendo que 90% das estações estão entre 160 e 24.000 km^2 . Isso significa que os resultados serão obtidos basicamente por extrapolação, uma vez que as estimativas serão aplicadas predominantemente a áreas inferiores a 100 km^2 , que é também onde se concentram a maioria dos usuários de água.

26. As vazões específicas mínimas da seleção apresentam-se conforme o boxplot abaixo, indicando a heterogeneidade da produção de escoamento na bacia, com a Q_{710} variando de valores inferiores a 1L/s/ km^2 a superiores a 8L/s/ km^2 .

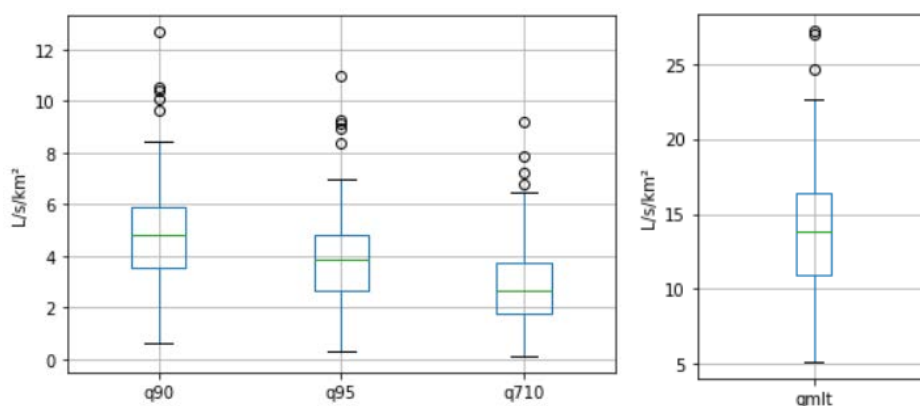


Figura 7 : Variação das vazões específicas das estações selecionadas.

27. A Figura 8 mostra globalmente a estrutura de correlação das vazões e das variáveis área, chuva anual (prcptot) e o volume anual (Vol_prec). As 7 estações com área superior a 12 mil km^2 , todas no rio Doce, foram excluídas da análise por enviesarem os resultados.

28. Destaca-se que as vazões mínimas características apresentam uma alta correlação entre si, de forma que os padrões de comportamento da Q_{95} , no geral são válidos para Q_{90} e $Q_{7,10}$, e vice-versa, como se vê nas relações dessas vazões entre si e com as variáveis físicas. Aqui se observa a alta correlação das vazões com a área de drenagem e o volume, o que é esperado dado sua própria origem física acumulativa. Nota-se ainda uma correlação relativamente baixa das vazões com a chuva.



29. Compreendendo a vazão específica como a taxa de produção de escoamento por unidade de área, considerou-se pertinente observar como se dão as relações com as variáveis físicas ao se neutralizar o efeito acumulativo da área de drenagem.

30. O que pode ser observado no gráfico de correlações da Figura 9, é que, globalmente, não se identifica correlação das vazões específicas com a área de drenagem, embora se verifique agora uma correlação elevada com a chuva (em torno de 0,8), mas com uma dispersão importante.

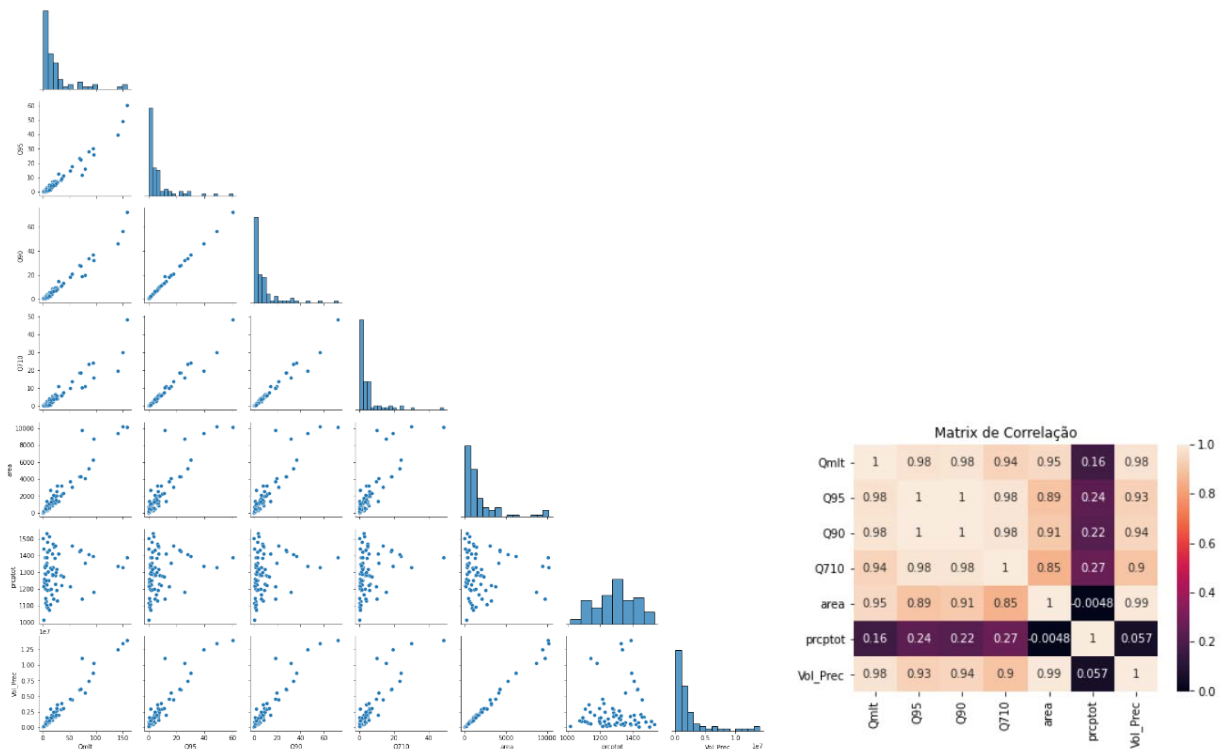


Figura 8 : Estrutura de correlação das vazões e variáveis físicas.

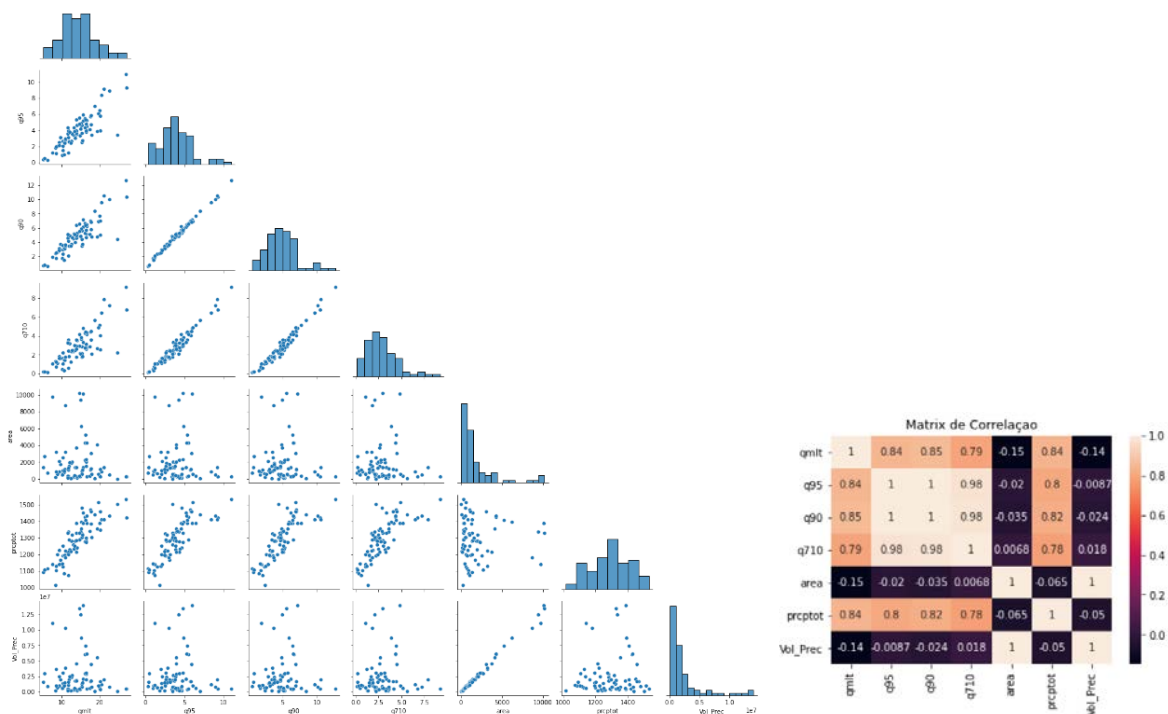


Figura 9 : Estrutura de correlação das vazões específicas e variáveis físicas.

31. Embora globalmente se observe uma boa correlação da vazão específica com a chuva, avaliando-se as bacias dos 4 principais afluentes e a porção da bacia do Doce a montante do rio Piracicaba, percebe-se que, apesar da boa correlação, a chuva não consegue capturar plenamente as flutuações observadas em locais específicos, havendo bacias melhor representadas como é o caso da bacia do rio Suaçuí Grande, e outras com maiores dispersões. (Figura 10)

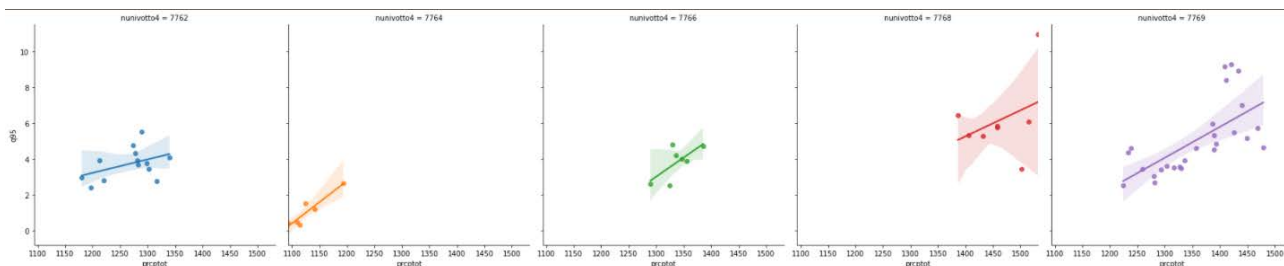


Figura 10 : Relação da chuva anual com a vazão Q95 específica nas principais sub-bacias do Doce.

32. Para uma melhor sensibilidade na análise do comportamento sazonal, optou-se por utilizar a vazão Q95 anual como elemento de referência e calcular a razão entre as vazões Q90, Q95, Q7,10 e Qmit anuais e mensais e a Q95 anual de cada uma das séries de vazão. Com isso se identificou o quanto as demais vazões eram superiores ou inferiores à Q95 anual.

33. O gráfico da figura 11 exemplifica o comportamento sazonal, mostrando a variação das vazões Q710 mensais ao longo do ano, normalizada pela Q95. Conforme se observa, há um padrão



de sazonalidade bem definido, com mínimas em setembro e outubro e máximas em dezembro e janeiro, embora haja uma banda de ocorrências, com maior variabilidade nos meses chuvosos.

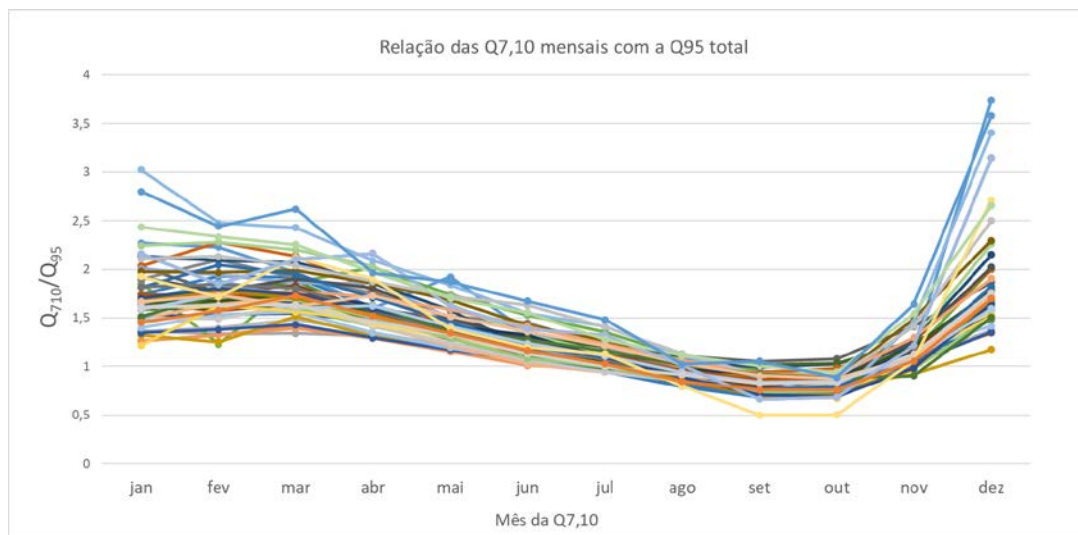


Figura 11 : Padrão de sazonalidade a partir da razão entre as vazões Q710 mensais e a vazão Q95.

34. Quantitativamente, verificou-se que enquanto a Q7,10 anual corresponde em média a 70% da Q95, a Q710 dos meses mais secos (setembro e outubro) sobe para cerca de 80% da Q95. Já as Q90 desses mesmos meses ficam em torno de 90% da Q95. Entre novembro e maio (meses úmidos), as Q7,10 mensais são superiores à Q95 anual em praticamente todas as estações.

35. De maneira geral as vazões Qmlt, Q90 e Q95 dos meses mais secos são inferiores a seus respectivos valores anuais, enquanto a Q7,10 anual tende a ser inferior a Q7,10 de qualquer dos meses.

36. Avaliando do ponto de vista do processo de formação das vazões, a maior amplitude das relações nos meses úmidos pode ser associada às diferentes respostas à própria variabilidade da chuva, onde bacias com maior declividade, geralmente às de menor área, apresentam uma resposta mais rápida que é abatida ao longo dos canais. Da mesma forma, bacias em superfícies mais impermeáveis tendem a esse tipo de resposta mais rápida no período chuvoso, gerando um padrão de comportamento mais inclinado na curva de sazonalidade.

37. Com base na análise exploratória dos dados, podemos elencar algumas conclusões importantes, tais como: 1) houve um período relevante de seca na bacia em período posterior a 2014, inclusive com verificação de tendência significativa nas vazões ao nível de 5%, o que torna relevante os procedimentos aplicados para homogeneização das séries em um período comum que cubra essa ocorrência; 2) há uma variação nas vazões específicas das estações da bacia que na estrutura de correlação se mostrou independente da área de drenagem, mas bem correlacionada com a chuva anual; 3) há uma forte correlação entre as diferentes vazões mínimas características; 4) há um padrão de sazonalidade bem definido na bacia, que é coerente com o padrão de chuvas. 5) nos meses mais secos, as vazões Qmlt, Q90 e Q95 mensais são inferiores a seus valores anuais, enquanto as Q7,10 mensais são superiores à Q7,10 anual em todos os meses.

Método de Regionalização de Vazões

38. A regionalização de vazões é um procedimento de transferência de informações de vazões de pontos monitorados para outros sem monitoramento. Dependendo do interesse, pode-se estimar para locais não monitorados toda a série de vazões ou características dela derivadas como a média, a variância, determinados quantis, frequências de ocorrência de determinados eventos, o coeficiente de escoamento etc.

39. Há diversos métodos que podem ser empregados para transferência de informações, partindo-se da suposição de que se as características climáticas e de superfície são semelhantes tende-se a ter uma mesma resposta hidrológica e que variações nessas características geram variação de resposta em maior ou menor proporção. Em geral os métodos podem ser divididos em métodos baseados em regressão, onde se procura uma relação matemática entre a variável regionalizada e características físicas, e métodos baseados em distância, seja geográfica ou de características físicas, de forma que os pontos mais similares ou "mais próximos" são considerados mais adequados para transferir a informação, podendo utilizar a proximidade como fator de ponderação.

40. A escolha do método dependerá das características da bacia, dos dados disponíveis, do desempenho dos resultados e da familiaridade da equipe técnica com as abordagens, além de outros fatores, sendo possível, inclusive, a combinação de vários métodos.

41. Neste estudo foram testados preliminarmente três métodos de estimativa: 1) Um conjunto de regressões múltiplas da vazão com a área de drenagem e/ou a chuva anual, 2) o método KNN (k nearest neighbor), baseado na similaridade da chuva anual e da área de drenagem, onde a vazão específica no local de interesse é dada pela média ponderada das vazões específicas dos K vizinhos mais próximos, sendo a medida de similaridade o fator de ponderação, e 3) o método da taxa de vazão incremental, que pode ser considerado um método de distância, já que a informação de vazão específica incremental é transferida dos postos da redondeza do local de interesse.

42. Nestes testes preliminares foi realizada uma validação cruzada para avaliar o desempenho dos métodos. Em geral, os erros médios nas três abordagens foram muito parecidos, tendo o método KNN se mostrado muito promissor. Entretanto, tanto a regressão como o KNN apresentaram limitações nos quesitos de extrapolação e continuidade, que são aspectos sensíveis do ponto de vista da aplicabilidade dos resultados nos instrumentos de gestão dos recursos hídricos.

43. Dessa forma, a fim de evitar a utilização de soluções de contorno e tendo em vista a experiência da equipe em estudos anteriores, optou-se pela utilização do terceiro método cuja descrição conceitual é apresentada a seguir.

Método da taxa de vazão incremental

44. O método da taxa de vazão incremental é baseado em três princípios: 1- cada parcela do território produz escoamento a uma determinada taxa de produção de vazão, 2- a vazão observada em determinado ponto é resultado da soma do escoamento produzido em cada parcela de sua área de contribuição e 3 – é possível extrair e regionalizar a taxa de vazão embutida entre dois ou mais pontos de monitoramento encadeados.

45. Assim, para uma rede de drenagem discretizada em várias parcelas de contribuição, o método se propõe a regionalizar as taxas de vazão incrementais extraídas das relações entre os postos de monitoramento, obter os incrementos de vazão associados a cada parcela da bacia e

gerar a vazão numa seção de interesse a partir do somatório dos incrementos de vazão que para ela contribuem.

46. O primeiro princípio citado é baseado no método da razão de área de drenagem, o qual preconiza que a proporção das vazões em duas seções é igual à proporção de suas áreas de drenagem, tal que a estimativa em um local sem dados é dada pelo produto da razão das áreas pela vazão conhecida:

$$Q_y = \left(\frac{A_y}{A_x} \right) Q_x . \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

Q_y e A_y são a vazão a ser estimada e sua área de drenagem

Q_x e A_x são a vazão conhecida e sua área de drenagem

47. É dessa proposta metodológica, todavia, que se deriva o conceito de vazão específica, também chamada de rendimento específico, taxa de produção de água, taxa de escoamento, vazão padronizada/normalizada pela área etc., que corresponde a uma taxa de vazão por unidade de área $\left(\frac{Q_x}{A_x} \right)$, de forma que a equação 2 pode ser reescrita como:

$$Q_y = \left(\frac{Q_x}{A_x} \right) A_y . \quad \text{Eq.2}$$

48. A partir desse conceito pode-se entender a bacia como um conjunto de n unidades de área, cada uma produzindo uma quantidade de escoamento a uma determinada taxa. Desta forma, a vazão no exutório corresponde a soma das vazões geradas em cada unidade de área que forma a bacia.

49. Conforme o exutório se desloca para jusante novos incrementos de área são adicionados e as vazões ali produzidas passam a contribuir com ele, fazendo crescer a vazão. Caso a taxa seja sempre a mesma, o crescimento da vazão será proporcional ao incremento de área.

50. Por outro lado, se em dois pontos de monitoramento no mesmo curso d'água, observa-se um aumento da vazão específica na seção de jusante, significa dizer, pelos princípios colocados, que, na área entre os postos, a vazão é produzida a uma taxa superior à observada em ambos os postos.

51. Ou seja, se há uma mudança da vazão específica nas seções ao longo de um rio, pode-se admitir que as porções de área incrementadas a cada seção de monitoramento possuem características de clima e ou superfície diferentes da porção anterior. Consequentemente, os afluentes localizados entre as seções vão produzir vazão a uma taxa maior ou menor que a das seções monitoradas, o que é válido se considerarmos que essa área entre as seções é internamente homogênea.

52. A última premissa se propõe, portanto, a externalizar a informação contida entre os pontos de monitoramento, calculando uma vazão específica incremental dada pela diferença entre as vazões de jusante e montante dividida pela diferença das respectivas áreas de drenagem. Essa nova taxa de vazão é considerada válida para todas as porções de área entre as seções de monitoramento.

53. Pode-se elencar como principais vantagens do método:

- a. A continuidade das vazões ao longo da rede de drenagem é obtida por construção, ou seja, pode-se garantir o crescimento da vazão de montante para jusante, desde

que assim seja observado nos pontos de monitoramento. (Rios sujeitos a perdas reais nos canais podem ser tratados em exceção);

- b. Não há dependência de um número mínimo de informações, já que com um único posto é possível fazer uma estimativa da vazão, o que recai no método da razão de área de drenagem;
- c. As estimativas em pequenas áreas de drenagem não são atingidas por problemas matemáticos de extrapolação;
- d. Não há a necessidade de definição prévia de regiões homogêneas.

54. Como todo procedimento, o método também possui limitações.

- a. sensibilidade a inconsistências no dado observado, culminando geralmente na exclusão da informação;
- b. Não responde bem quando a área entre os pontos de monitoramento é relativamente pequena (considerando que os erros nos ajustes das curvas de descarga são da ordem de 10%, recomenda-se que a área incremental seja superior a 20% a área da estação de jusante);
- c. A área entre os pontos de monitoramento é admitida homogênea e isso pode não ser real.
- d. As características de clima e superfície não são explicitamente incorporadas ao método, sendo utilizadas subjetivamente para avaliar os resultados obtidos.

55. Uma descrição mais detalhada dos passos para implementação do método de regionalização é apresentada a seguir, partindo do caso geral e passando para as particularidades, considerando sua aplicação no contexto de uma base hidrográfica otocodificada.

56. As colocações referentes à aplicação da metodologia nesse estudo específico são apresentadas no item de resultados e validação.

A. Caso Geral

57. O método de regionalização da taxa de vazão incremental consiste em calcular a vazão específica incremental entre dois ou mais postos de referência, e admitir que ela é constante na área delimitada pelos postos. Desta forma a área incremental (ver Figura 12) é considerada homogênea e a vazão específica incremental é dada por:

$$q_{inc} = \frac{Q_{jus} - \sum Q_{mont}}{A_{jus} - \sum A_{mont}} \quad 3$$

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.

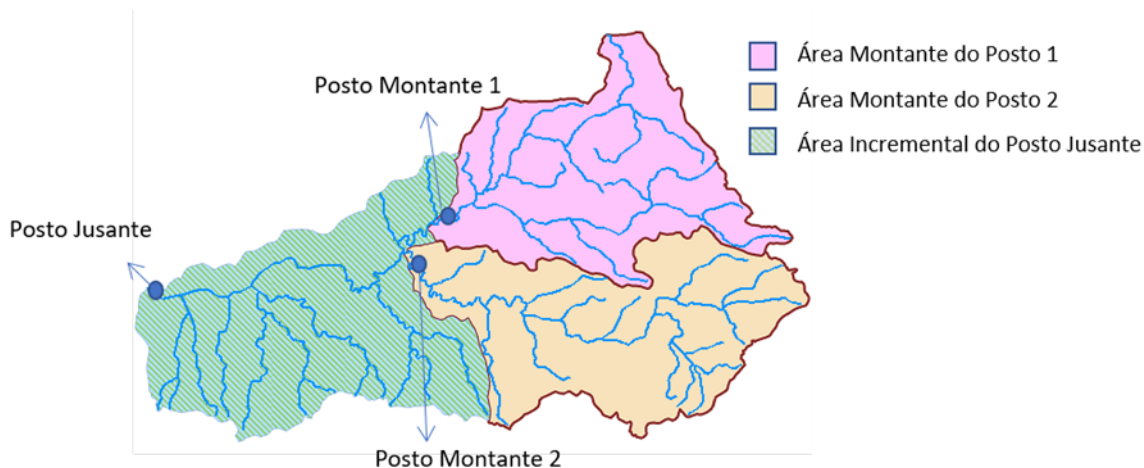


Figura 12 : Região homogênea delimitada pelos postos de referência.

58. 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.

59. O "posto" aqui se refere a uma seção de rio para a qual existe a variável a ser regionalizada, seja ela resultante de monitoramento ou estimada por procedimentos prévios considerados confiáveis.

60. 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 13.



Figura 13 :Áreas de contribuição hídrica associadas a cada trecho da hidrografia

61. A vazão produzida em cada trecho constitui sua vazão incremental (Q_{inc}) e é dada pelo produto entre a área de contribuição do trecho e sua vazão específica incremental, proveniente da região homogênea na qual o trecho está inserido.

62. Finalmente, a vazão (Q) que passa no trecho de rio é dada pelo somatório das vazões incrementais de todos os trechos de montante que para ele contribuem.

B. Pré-regionalização

63. Uma vez que a ottobacia é a menor unidade de cálculo e a referência no processo de cálculo da regionalização, um ajuste das estações à área da ottobacia deixa o processo mais consistente, principalmente para pequenas áreas. Desta forma, é realizada uma pré-regionalização transferindo a vazão para a foz da ottobacia utilizando o método de proporção área.

64. A critério do hidrólogo, pode-se recorrer à regionalização por proporção de área (eq. 2) em outras circunstâncias, normalmente quando se observa que as características físicas, como chuva, afloramento aquífero ou tipo de solo, da bacia sem monitoramento possui maiores semelhanças com uma bacia vizinha monitorada do que a totalidade da área incremental decorrente dos postos de referência existentes.

65. Nesses casos, pode-se atribuir previamente a equação 2 em algumas subbacias que passam a ser "postos de referência" para a aplicação do caso geral, descrito no item A.

C. Bacias sem monitoramento

66. No caso de bacias não monitoradas, que drenam diretamente para o mar, o procedimento adotado consiste na adoção do valor de vazão específica incremental estimado em bacias monitoradas na vizinhança, considerando a proximidade geográfica e semelhança das características físicas.

D. Estimativas na Foz

67. Normalmente os postos de monitoramento não chegam até a foz dos cursos d'água, geralmente para evitar que as medições sejam influenciadas pelo remanso do mar, de um lago ou do rio receptor muito mais caudaloso.

68. Nesses casos duas soluções podem ser adotadas. Numa primeira opção, se transfere a vazão dos postos de referência que contribuem diretamente para a foz, por proporção de área:

$$Q_{foz} = \frac{\sum Q_{mont}}{\sum A_{mont}} A_{foz} \cdot \quad 4$$

onde:

Q_{foz} : vazão estimada na foz

A_{foz} : Área da bacia na foz;

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

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

69. A segunda opção é realizar a regionalização conforme o caso geral e em seguida dotar a vazão específica incremental obtida na vizinhança para a área incremental não monitorada, ou seja, entre a foz e o posto de referência mais a jusante do curso principal.

Aplicação e resultados

70. O modelo da taxa de vazão incremental foi aplicado à UGRH Doce partindo do conjunto das 90 estações pré-selecionadas, incluindo as séries de UHEs. O resultado apresentou algumas inconsistências, levando a necessidade de uma análise mais aprofundada das séries e a busca por um conjunto ótimo de estações que considerasse as limitações do método de regionalização e ao mesmo tempo pudesse representar relativamente bem o comportamento regional das vazões características.

71. Para a nova seleção de estações foram priorizadas as estações mais longas e utilizadas as demais estações como validadoras, buscando-se incorporar numa próxima seleção os pontos mal representados.

72. Atenção também se deu à relação entre a área incremental e a área da estação de jusante, o que levou à exclusão do grupo de modelagem alguns postos de referência como as estações Colégio Caraça, Cachoeira da neblina, Fazenda Bragança e a estação Linhares, última estação da bacia, que além de possuir uma área apenas 7% maior que a estação Colatina, possuía um período com superestimativa na curva de descarga.

73. As estações Caputira, Caratinga, Fazenda Olaria, Fazenda Boa Esperança, Manhauçu e Fazenda Vargem Alegre apresentaram forte inconsistência regional, não explicadas pelas características locais. Outras como Inhapim, Santa Rita de Minas e Cachoeira da Neblina apresentaram inconsistências pontuais que não puderam ser sanadas neste trabalho. Devido a essas inconsistências elas não foram consideradas na modelagem, entretanto todas elas foram mantidas no grupo de validação para conhecimento das diferenças encontradas entre o modelo e as observações nessas estações.

74. Como parte do processo de consistência, identificou-se com base na ficha descritiva um erro na área de drenagem a estação Carrapato Brumal, devendo ser alterada de 609 para 418 km².

75. Tendo em vista as características mais particulares na bacia do Suaçuí-Grande, com um gradiente de chuva bem definido e baixas vazões específicas, foi realizada uma pré-regionalização na qual, por proporção de área (Eq.2), se transferiu a estação Jampruca para a foz do rio Itambacuri, e a estação Vila Matias Montante, no rio Suaçuí grande, para a confluência com o rio Itambacuri. Em seguida, utilizando a Eq. 3, foram estimadas as vazões na foz do Suaçuí Grande.

76. Para estimativa das vazões específicas incrementais na porção da bacia a jusante da estação Colatina, foi estimada a vazão na foz da bacia conforme Eq. 3, e as vazões específicas incrementais resultantes pareceram coerentes com a chuva e os coeficientes de infiltração estimados para a região.

77. Com relação ao rio Barra Seca, observou-se que a única estação na bacia tem uma vazão específica extremamente baixa e localiza-se muito a montante, em um local de baixa precipitação e baixo coeficiente de infiltração. Tendo em vista que a porção a jusante da estação está sobre o aquífero Barreiras, de produtividade alta, e considerando que a área também possui uma atividade agrícola bem estabelecida, adotou-se para essa região a mesma vazão específica incremental da área incremental vizinha, que corresponde à foz do Doce. Considera-se, no entanto, que essa área possui maiores incertezas nas estimativas, devido à ausência de monitoramento representativo.

78. Com as condições estabelecidas, o procedimento de regionalização foi realizado com os dados de 53 estações fluviométricas e 1 série de vazão natural da Uhe Porto Estrela. As estações restantes foram utilizadas de maneira auxiliar e para avaliação dos resultados.

79. Os resultados preliminares mostraram, no entanto, que para algumas áreas incrementais ocorria uma divergência no padrão de sazonalidade em comparação com o padrão observado nas estações da bacia, surgindo em várias áreas, casos de vazões do período úmido inferiores às do período seco. A Figura 14 ilustra a diferença de padrão dos valores incrementais e totais da relação das vazões Q7,10 mensais com a Q95 em estações que não são de cabeceira.

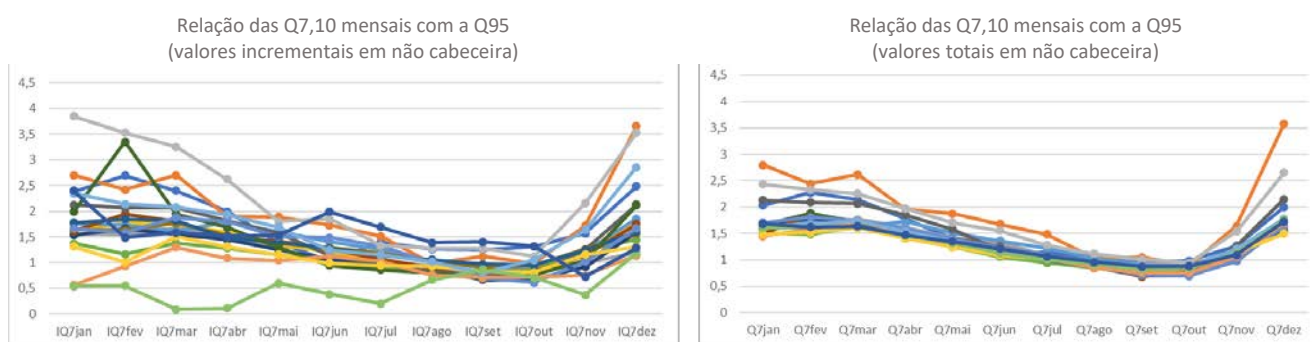


Figura 14: Padrão sazonal nas estimativas de vazão incrementais, nas estações não situadas em cabeceira.

80. A fim de garantir o padrão de sazonalidade da bacia, que é exatamente o que justifica a adoção de vazões de referência mensais nos procedimentos de gestão, optou-se por utilizar uma solução de compromisso baseada nas relações entre uma vazão de referência (no caso a Q95) e as demais vazões. Os procedimentos implementados seguiram os seguintes passos:

- para cada uma das estações, calcular a razão entre as diversas vazões características e a vazão Q95;
- estimar a vazão Q95 específica incremental pelo método de regionalização da taxa de vazão incremental.
- obter as demais vazões, multiplicando a vazão Q95 do item b pelas razões calculadas no item a, referentes à estação de jusante delimitadora da respectiva área incremental.

81. Tomando como exemplo a situação ilustrativa da figura 12, se a razão entre a Q7,10jan e a Q95 no posto jusante é 2,5, esse fator foi aplicado à Q95 específica incremental para estimar a vazão Q7,10jan específica incremental, na área incremental.

82. Em dois casos particulares nem os valores incrementais de cada vazão nem a aplicação das relações de jusante se mostraram eficientes. Como alternativa, para a área incremental da estação Carrapato Brumal foram adotadas as relações da estação Colégio Caraça, interna à área incremental e para a área incremental da estação Baixo Guandu, foram adotadas as relações da estação Jusante Córrego Piaba, localizada na bacia vizinha.

83. Embora perdendo o caráter de conservação dos valores exatos observados nos pontos de monitoramento, inerente ao método de regionalização da taxa incremental, os procedimentos aplicados promoveram uma maior aderência das áreas incrementais ao comportamento esperado devido às características locais de chuva e solo, além de apresentarem baixos erros de estimativa nos postos modelados.



84. Os mapas da Figura 15 mostram as regiões de mesma vazão específica incremental para as vazões Q7,10, Q95, Q90 e QmIt anuais em L/s/km². Importante notar que há uma boa concordância das áreas com o gradiente de chuva na bacia, a não ser no interior das regiões, por limitação metodológica.

85. Observa-se que a vazão específica incremental varia na bacia da seguinte maneira: qmIt, entre 4,72 e 28,39 L/s/km², a vazão q90% entre 0,61 e 12,67 L/s/km², a vazão q95% entre 0,31 e 10,94 L/s/km² e a vazão q7,10 varia entre 0,13 e 9,20 L/s/km².

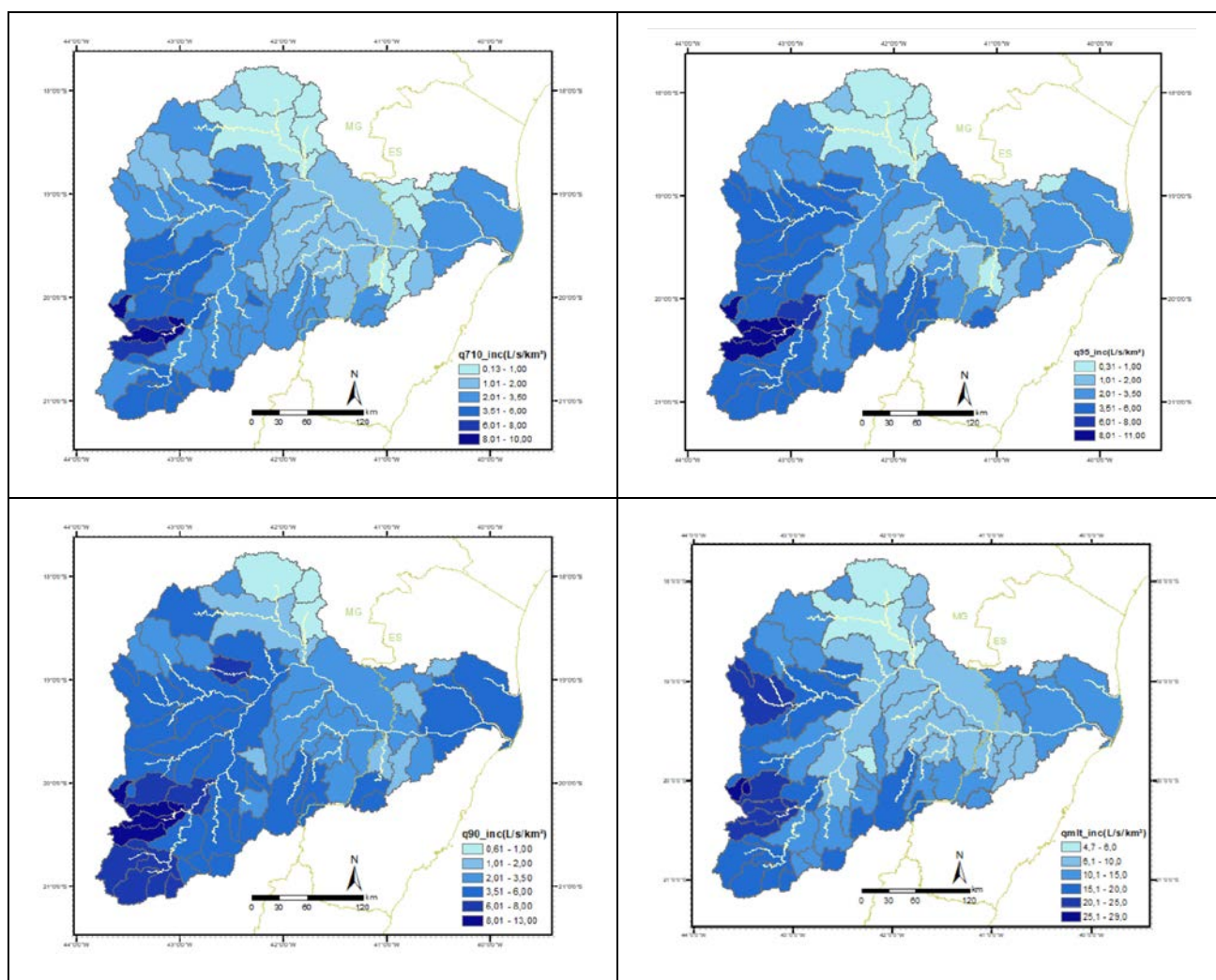


Figura 15: Regiões de mesma vazão específica incremental das vazões Qmédia, Q90, Q95 e Q710.

86. A qualidade das estimativas pode ser avaliada a partir das tabelas 2 e 3 que apresentam os erros percentuais ($[\text{estimado} - \text{observado}] / \text{observado}$) das vazões específicas Q7,10 anual e mensais. Valores acima de 25% positivos estão marcados em azul e abaixo de 25% negativos estão marcados em vermelho, significando a super e subestimativa, respectivamente. A tabela 2 apresenta os erros para as estações não utilizadas na regionalização e a tabela 3 para as que foram utilizadas.



87. Os campos anoini e anofim referem-se aos anos com dados da série original, enquanto nanoSF indica o número de anos sem falhas na estação, de forma que quanto menor o valor, maior foi o período preenchido e estendido, lembrando que todos os valores trabalhados neste estudo dizem respeito às séries após preenchimento e extensão, ou seja, ao período comum de 1960 a 2019.

88. O erro médio total foi de 1,5%, reduzindo para 0,4% quando consideradas apenas as estações modeladas. Isso indica não haver tendência de sub ou superestimativa e que a estratégia metodológica trouxe resultados satisfatórios.

89. É importante esclarecer parte das estações que compõem o grupo não modelado, estão nesse grupo justamente por apresentar alguma inconsistência regional. Dessa forma, as estatísticas obtidas na tabela 2 incorporam erros de diversas naturezas, não sendo muito justas para avaliar a qualidade da modelagem.

90. A tabela 1 apresenta a Média do Erro Percentual Absoluto - MAPE dos quatro conjuntos de vazões estimadas para o grupo total de estações, para o grupo usado no modelo regional e para o não usado. Como se verifica, os erros são mais elevados nas vazões mais restritivas, especialmente na Q7,10 e nas Q95 dos meses mais secos.

91. O MAPE médio das estações usadas no modelo foi de 2%, subindo para 4% no caso das estações de não-cabeceira utilizadas no modelo. O que significa que a estratégia para manutenção do padrão de sazonalidade inseriu baixo erro às estimativas.

Tabela 1: Média do Erro Percentual Absoluto – MAPE por grupo de vazão regionalizada.

Mape	q710w	q710jan	q710fev	q710mar	q710abr	q710mai	q710jun	q710jul	q710ago	q710set	q710out	q710nov	q710dez	média
mape_total	10%	5%	6%	5%	5%	5%	6%	8%	8%	7%	7%	6%	6%	7%
mape_nãoUsado	22%	11%	11%	11%	11%	11%	12%	19%	18%	16%	16%	13%	11%	14%
mape_modelo	2%	2%	2%	2%	1%	1%	2%	2%	1%	2%	2%	2%	2%	2%
Mape	q95	q95jan	q95fev	q95mar	q95abr	q95mai	q95jun	q95jul	q95ago	q95set	q95out	q95nov	q95dez	média
mape_total	6%	5%	6%	5%	6%	5%	7%	12%	13%	13%	12%	7%	5%	8%
mape_nãoUsado	16%	12%	11%	11%	13%	11%	16%	30%	30%	29%	26%	16%	11%	18%
mape_modelo	0%	2%	3%	2%	1%	2%	1%	1%	2%	3%	3%	2%	2%	2%
Mape	q90	q90jan	q90fev	q90mar	q90abr	q90mai	q90jun	q90jul	q90ago	q90set	q90out	q90nov	q90dez	média
mape_total	5%	5%	6%	5%	5%	5%	6%	8%	9%	7%	7%	5%	5%	6%
mape_nãoUsado	12%	11%	11%	10%	10%	10%	14%	20%	21%	17%	17%	11%	9%	13%
mape_modelo	1%	2%	2%	2%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	2%	2%	2%	1%
Mape	qmit	qmitjan	qmitfev	qmitmar	qmitabr	qmitmai	qmitjun	qmitjul	qmitago	qmitset	qmitout	qmitnov	qmitdez	média
mape_total	5%	6%	6%	6%	5%	5%	5%	6%	6%	5%	6%	7%	6%	6%
mape_nãoUsado	9%	10%	10%	11%	9%	9%	9%	11%	12%	11%	11%	12%	11%	10%
mape_modelo	3%	4%	3%	3%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	3%	3%	4%	3%

Tabela 2: Erros percentuais nas vazões Q7,10 anual e mensais nas estações **não** utilizadas na regionalização.

codigo	área	estação	rio	anoini	anofim	nSF10p	usado	q710anu	q710ja	q710fe	q710m	q710ab	q710m	q710j	q710ju	q710ag	q710s	q710o	q710n	q710de
56846900	1710	FAZENDA BRETZ - MONTANTE	RIO SUAÇUI PEQUENO	1997	2014	6	Não	55%	5%	7%	14%	3%	39%	45%	48%	-4%	-11%	-17%	10%	7%
56430000	12800	PONTE DO PERES	RIO DOCE	1968	1978	9	Não	-5%	-2%	0%	-2%	1%	-13%	0%	2%	-1%	0%	-3%	-6%	-5%
56150000	56	MARIMBONDO	RIBEIRÃO ÁGUA LIMPA	1940	1954	11	Não	14%	-1%	1%	3%	7%	6%	2%	8%	17%	23%	18%	6%	7%
56470000	238	CAPUTIRA	RIBEIRÃO PERNAMBUCO	1941	1957	13	Não	-12%	-23%	9%	-22%	-8%	-17%	-24%	-11%	-24%	-21%	-18%	-21%	-19%
56820080	9410	UHE PORTO ESTRELA BARRAMENTO	RIO SANTO ANTÔNIO	2001	2015	13	Não	35%	9%	9%	5%	1%	-1%	9%	15%	10%	2%	11%	8%	3%
56928000	575	INHAPIM	RIO CARATINGA	2005	2019	13	Não	34%	10%	18%	20%	77%	18%	17%	27%	10%	20%	21%	22%	25%
56924500	95	SANTA RITA DE MINAS	RIO CARATINGA	2004	2019	14	Não	16%	-1%	0%	-2%	-25%	2%	-25%	-30%	-18%	-9%	12%	11%	43%
56340000	269	DOM SILVÉRIO	RIO DO PEIXE	1949	1964	15	Não	38%	21%	38%	27%	20%	18%	10%	27%	38%	26%	23%	25%	25%
56982000	3740	PARAÍSO DE IPANEMA	RIO MANHUAÇU	1938	1953	15	Não	-11%	-3%	-1%	-6%	-9%	-3%	-20%	-10%	-9%	-11%	-9%	-12%	-5%
56688080	4260	UHE SÁ CARVALHO BARRAMENTO ANTÔNIO	RIO PIRACICABA	1999	2015	16	Não	-2%	0%	6%	1%	-2%	-2%	2%	-4%	-7%	-5%	-7%	-3%	-6%
56632000	35	COLÉGIO CARAÇA	RIBEIRÃO DO CARACA	1937	1955	18	Não	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%
56943000	197	CONSELHEIRO PENA	RIO JOÃO PINTO GRANDE	1944	1965	20	Não	42%	35%	53%	40%	14%	22%	10%	50%	62%	30%	34%	24%	9%
56010000	558	PONTE DO SÃO LOURENÇO	RIO PIRANGA	1939	1965	22	Não	17%	6%	14%	9%	10%	10%	4%	8%	13%	14%	20%	13%	8%
56148000	305	FURQUIM	RIBEIRÃO DO CARMO	1934	1972	22	Não	27%	0%	-1%	1%	9%	6%	43%	16%	18%	15%	9%	0%	8%
56670000	399	FAZENDA OLARIA	RIO DO PEIXE	1941	1965	24	Não	-25%	-27%	-4%	-30%	-32%	-31%	-31%	-32%	-29%	-30%	-30%	-21%	-28%
56967000	1543	SANTANA DE MANHUAÇU	RIO MANHUAÇU	1941	1965	24	Não	19%	7%	2%	2%	1%	-1%	-2%	21%	47%	-3%	-3%	1%	-1%
56986000	335	FAZENDA BOA ESPERANÇA	RIBEIRÃO SÃO DOMINGOS	1939	1965	24	Não	-31%	-19%	-19%	-24%	-21%	-22%	-21%	-25%	-29%	-32%	-32%	-29%	-14%
56998000	82100	LINHARES	RIO DOCE	1967	1994	24	Não	-9%	-7%	0%	1%	0%	-4%	-8%	-6%	-9%	-11%	-10%	0%	-5%
56400000	1370	JEQUERI	RIO CASCA	1938	1965	26	Não	56%	8%	5%	15%	8%	15%	19%	13%	21%	29%	30%	15%	4%
56925000	162	CARATINGA	RIO CARATINGA	1938	1965	27	Não	-55%	-40%	-30%	-41%	-22%	-39%	-37%	-40%	-44%	-51%	-52%	-40%	-39%
56974000	2060	CACHOEIRA DA NEBLINA	RIO MANHUAÇU	1938	1965	27	Não	13%	0%	17%	4%	1%	1%	-3%	58%	0%	-7%	-5%	-2%	-2%
56993002	481	ITAGUAÇU - JUSANTE	RIO SANTA JOANA	1976	2010	27	Não	63%	-23%	-53%	7%	1%	6%	12%	23%	45%	26%	25%	39%	-12%
56719998	24200	BELO ORIENTE	RIO DOCE	1986	2019	33	Não	-3%	-2%	0%	-2%	1%	2%	2%	3%	1%	2%	1%	1%	-4%
56960005	1070	FAZENDA VARGEM ALEGRE	RIO MANHUAÇU	1983	2019	36	Não	68%	16%	13%	19%	27%	31%	46%	58%	65%	71%	74%	47%	28%
56510000	1870	INSTITUTO FLORESTAL RAUL SOARES	RIO MATIPÓ	1982	2019	37	Não	-7%	9%	10%	0%	-2%	-4%	0%	2%	1%	-7%	-3%	-2%	7%
56960000	550	MANHUAÇU	RIO MANHUAÇU	1936	1983	38	Não	48%	29%	24%	16%	12%	14%	13%	18%	36%	42%	36%	25%	17%
56539000	15900	CACHOEIRA DOS ÓCULOS MONTANTE	RIO DOCE	1974	2019	43	Não	0%	-3%	-1%	-2%	3%	4%	5%	6%	7%	3%	3%	5%	-1%
56825000	10200	NAQUE VELHO	RIO SANTO ANTÔNIO	1974	2019	45	Não	-4%	-3%	-2%	2%	-1%	-3%	0%	0%	-8%	-9%	-5%	0%	2%
56920000	55100	TUMIRITINGA	RIO DOCE	1972	2019	45	Não	-9%	-3%	-6%	-6%	-5%	-6%	-4%	-6%	-8%	-7%	-8%	-7%	-7%
56976000	2260	FAZENDA BRAGANÇA	RIO MANHUAÇU	1972	2018	46	Não	12%	4%	1%	11%	11%	2%	5%	10%	13%	12%	10%	10%	4%
141	38314	BAGUARI	RIO DOCE	1969	2018	49	Não	7%	25%	19%	9%	13%	12%	9%	9%	9%	11%	8%	19%	15%
144	73700	MASCARENHAS	RIO DOCE	1938	2018	59	Não	-6%	-4%	0%	-4%	-1%	3%	-2%	-3%	-5%	-4%	-5%	-1%	0%
148	62396	AIMORES	RIO DOCE	1938	2018	59	Não	-7%	-4%	-1%	-5%	-2%	2%	-3%	-5%	-6%	-4%	-5%	-1%	0%
149	9005	CANDONGA	RIO DOCE	1940	2018	59	Não	1%	-2%	0%	-2%	4%	7%	2%	2%	1%	3%	2%	4%	2%
262	4085	GUILMAN-AMOR	RIO PIRACICABA	1931	2018	59	Não	16%	23%	19%	24%	20%	20%	13%	12%	10%	9%	4%	12%	20%

Tabela 3: Erros percentuais nas vazões Q7,10 anual e mensais nas estações utilizadas na regionalização.

codigo	área	estação	rio	anoini	anofim	nSF10p	usado	q710anu	q710j	q710fe	q710ms	q710at	q710ms	q710ju	q710ju	q710ag	q710fe	q710ot	q710no	q710de
55990200	454.5	SÃO JORGE DA BARRA SECA	RIO BARRA SECA	2001	2019	12	Sim	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
56631900	288	ETA (São Bento Mineração)	RIO CONCEIÇÃO	2003	2018	15	Sim	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
56880000	2670	FAZENDA URUPUCA	RI O URUPUCA	1968	1991	20	Sim	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
56659998	3060	NOVA ERA IV	RIO PIRACICABA	1989	2019	30	Sim	-2%	4%	8%	7%	4%	3%	2%	1%	0%	0%	-1%	-3%	2%
56696000	5270	MARIO DE CARVALHO	RIO PIRACICABA	1986	2019	31	Sim	-6%	-1%	0%	2%	2%	0%	-3%	-3%	-5%	-4%	-3%	-2%	0%
56915500	1390	JAMPURUCA	RIO ITAMBACURI	1973	2010	32	Sim	-14%	-2%	-5%	-8%	-3%	-6%	-8%	-7%	-2%	-12%	-15%	-10%	-7%
56425000	10100	FAZENDA CACHOEIRA D'ANTAS	RIO DOCE	1981	2019	38	Sim	-2%	0%	2%	-1%	0%	1%	3%	2%	0%	2%	1%	-2%	1%
56565000	304	BOM JESUS DO GALHO	RI BEIRÃO SACRAMENTO	1941	1982	40	Sim	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
56990990	435	AFONSO CLÁUDIO MONTANTE	RIO GUANDÚ	1978	2019	40	Sim	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
56484998	1350	RAUL SOARES MONTANTE	RIO MATIPÓ	1976	2019	41	Sim	-14%	-8%	-8%	-6%	-6%	0%	2%	-10%	-11%	-15%	-15%	-11%	-11%
56940002	3220	BARRA DO CUIETE JUSANTE	RIO CUITÉ	1975	2019	42	Sim	-1%	-6%	-4%	-3%	0%	-1%	-1%	0%	-1%	1%	-4%	-1%	-3%
56460000	616	MATIPÓ	RIO MATIPÓ	1965	2019	43	Sim	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
56846000	1970	PORTO SANTA RITA	RIO CORRENTE GRANDE	1975	2019	43	Sim	-1%	5%	5%	4%	4%	5%	2%	5%	1%	-1%	-1%	9%	15%
56989400	3190	ASSARA MONTANTE	RIO JOSÉ PEDRO	1976	2019	43	Sim	16%	8%	5%	8%	7%	8%	9%	9%	6%	15%	15%	11%	7%
56993551	893	JUSANTE CÔRREGO DA PIABA	RIO SANTA JOANA	1974	2019	43	Sim	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
56335001	1370	ACAIAÇA JUSANTE	RIO DO CARMO	1975	2019	44	Sim	-7%	-1%	-1%	-2%	-2%	-2%	-4%	-4%	-3%	-5%	-4%	-4%	0%
56110005	6230	PONTE NOVA JUSANTE	RIO PIRANGA	1974	2019	45	Sim	-1%	-2%	-10%	-2%	-1%	0%	2%	2%	1%	2%	0%	1%	-2%
56570000	855	PINGO D'ÁGUA	RI BEIRÃO SACRAMENTO	1974	2019	45	Sim	-15%	-1%	-23%	5%	-1%	-2%	-8%	-9%	-5%	-4%	-4%	-9%	0%
56891900	9770	VILA MATIAS MONTANTE	RIO SUAÇUÍ GRANDE	1974	2019	45	Sim	-7%	-16%	-13%	-12%	-8%	0%	-4%	0%	-2%	-6%	-3%	-10%	-10%
56989001	1180	MUTUM	RIO SÃO MANOEL	1973	2019	46	Sim	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
56998400	1070	BARRA DE SÃO GABRIEL	RIO SÃO JOSÉ	1967	2019	47	Sim	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
56935000	775	DOM CAVATI	RIO CARATINGA	1965	2019	49	Sim	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
56787000	1260	FAZENDA BARRACA	RIO DO TANQUE	1965	2018	52	Sim	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
56991500	1330	LARANIA DA TERRA	RIO GUANDÚ	1967	2019	52	Sim	1%	-2%	0%	0%	0%	-1%	1%	2%	3%	4%	2%	-7%	-2%
56860000	2570	SÃO PEDRO DO SUAÇUÍ	RIO SANTO ANTÔNIO	1931	2018	59	Sim	-1%	25%	16%	9%	11%	8%	1%	-1%	3%	1%	1%	11%	13%
56995500	920	PONTE DO PANCAS	RIO PANCAS	1965	2019	53	Sim	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
56385000	523	SÃO MIGUEL DO ANTA	RIO CASCA	1965	2019	54	Sim	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
56850000	40500	GOVERNADOR VALADARES	RIO DOCE	1938	2019	54	Sim	-2%	-2%	0%	-1%	-1%	-1%	0%	-1%	-2%	0%	-3%	-4%	-6%
56870000	622	SANTA MARIA DO SUAÇUÍ	RIO SÃO FÉLIX	1965	2019	54	Sim	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
56978000	2350	SANTO ANTÔNIO DO MANHUAÇU	RIO MANHUAÇU	1965	2019	54	Sim	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
56520000	163	VERMELHO VELHO	RI BEIRÃO VERMELHO	1944	2010	62	Sim	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
56845000	1050	FAZENDA CORRENTE	RIO CORRENTE GRANDE	1952	2018	62	Sim	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
56640000	609	CARRAPATO (BRUMAL)	RI BEIRÃO SANTA BÁRBARA	1954	2019	63	Sim	1%	0%	-2%	1%	1%	2%	5%	1%	1%	2%	2%	-3%	-1%
56500000	273	ABRE CAMPO	RIO SANTANA	1939	2019	68	Sim	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
56994500	76400	COLATINA	RIO DOCE	1938	2019	71	Sim	-3%	2%	4%	6%	6%	3%	4%	5%	1%	0%	-1%	2%	-3%
56775000	4090	FERROS	RIO SANTO ANTÔNIO	1940	2019	72	Sim	-1%	0%	1%	0%	1%	0%	2%	2%	1%	0%	0%	0%	1%
56851000	758	CAMPANÁRIO	RIO ITAMBACURI	1938	2019	72	Sim	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-1%	0%
56750000	302	CONCEIÇÃO DO MATO DENTRO	RIO SANTO ANTÔNIO	1945	2018	73	Sim	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
56765000	976	DOM JOAQUIM	RIO DO PEIXE	1945	2018	73	Sim	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
56800000	1520	SENHORA DO PORTO	RIO GUANHÃES	1945	2019	74	Sim	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
56065000	297	SENADOR FIRMINO	RIO TURVO	1941	2019	75	Sim	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
56090000	328	FAZENDA VARGINHA	RIO TURVO LIMPO	1941	2019	76	Sim	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
56992000	2130	BAIXO GUANDU	RIO GUANDÚ	1938	2019	76	Sim	-5%	-4%	-4%	1%	-3%	-5%	-4%	-3%	-3%	-3%	-1%	-6%	-6%
56988500	1410	IPANEMA	RIO JOSÉ PEDRO	1938	2017	77	Sim	-4%	1%	6%	3%	2%	1%	0%	-1%	-3%	-3%	-3%	0%	1%
56085000	342	SERIQUEITE	RIO TURVO SUJO	1941	2019	78	Sim	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
56337000	529	FAZENDA OCIDENTE	RIO GUALAXO DO NORTE	1938	2019	78	Sim	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
56983000	384	DORES DE MANHUMIRIM	RIO JOSÉ PEDRO	1938	2019	78	Sim	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
56075000	4260	PORTO FIRME	RIO PIRANGA	1938	2019	79	Sim	-5%	-1%	0%	-2%	-1%	-2%	-3%	-3%	-3%	-3%	-3%	0%	0%
56990000	8720	SÃO SEBASTIÃO DA ENCRUZILHADA	RIO MANHUAÇU	1938	2019	79	Sim	10%	0%	1%	0%	-2%	-4%	-5%	-4%	-1%	5%	8%	2%	-1%
56028000	1400	PIRANGA	RIO PIRANGA	1938	2019	80	Sim	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
56055000	1090	BRÁZ PIRES	RIO XOPOTÓ	1938	2019	80	Sim	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
56415000	2030	RIO CASCA	RIO CASCA	1930	2019	84	Sim	4%	0%	-1%	0%	-1%	0%	-1%	0%	1%	1%	2%	1%	-2%
56240000	855	FAZENDA PARAÍSO	RIO GUALAXO DO SUL	1930	2019	89	Sim	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
56610000	1160	RIO PIRACICABA	RIO PIRACICABA	1925	2019	91	Sim	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

93. Os resultados estão armazenados no anexo digital, divididos em dois geodatabases, um para a BHO2017 e outro para a BHO2017 5k, cada um contendo os seguintes produtos:

- Polígonos das regiões homogêneas com as respectivas vazões específicas incrementais em L/s/km².
- Polígonos da BHO contendo as respectivas vazões em m³/s
- Tabela com as vazões específicas incrementais em L/s/km² por trecho.
- Tabela com as vazões incrementais em m³/s por trecho
- Postos do estudo com as vazões observadas

94. Além da base de dados, também constam do anexo uma planilha com o dicionário de dados, o Apêndice A - Metodologia de preenchimento e extensão das séries de vazões, e o Apêndice B - Análise de tendência das vazões observadas na bacia do rio Doce.

Considerações finais

95. Esta nota apresenta os estudos de regionalização de vazões para a UGRH Doce. Foram estimadas vazões Q_{mlt}, Q_{7,10}, Q₉₅ e Q₉₀ anuais e mensais para toda a unidade de gestão.

96. Os procedimentos buscaram garantir a aplicabilidade das estimativas nos processos de gestão dos recursos hídricos, principalmente no que se refere à manutenção dos padrões de sazonalidade e da continuidade das vazões ao longo da drenagem.

97. Os resultados foram considerados bastante satisfatórios, apresentando boa aderência ao padrão de sazonalidade e com a média do erro percentual absoluto de 2%, para o grupo de estações usadas no modelo regional.

98. Os resultados estão armazenados em geodatabase e, com o respectivo dicionário de dados, constam no anexo digital.

99. Recomenda-se que as vazões obtidas nesse estudo sejam utilizadas como referência para a gestão integrada dos recursos hídricos na bacia.

Atenciosamente.

(assinado eletronicamente)
TERESA LUISA LIMA DE CARVALHO
Especialista em Regulação de Recursos
Hídricos e Saneamento Básico

(assinado eletronicamente)
ALEXANDRE ABDALLA ARAUJO
Especialista em Regulação de Recursos
Hídricos e Saneamento Básico

(assinado eletronicamente)
SAULO AIRES DE SOUZA
Coordenador de Estudos Hidrológicos

De acordo.

(assinado eletronicamente)
FLÁVIO HADLER TROGER
Superintendente de Planejamento de Recursos Hídricos

