

Gestão qualitativa dos recursos hídricos. Proposta metodológica para o planejamento de uma rede de estações para monitoramento da qualidade de águas superficiais.

Estudo de caso: bacia hidrográfica do Rio Muriaé.

Qualitative management of water resources. Proposed methodology for planning a stations network for monitoring the quality of surface water. Case study: basin Muriaé River.

Marcelo Wangler de Ávila¹, Mônica de Aquino Galeano Massera da Hora¹, Celso Rosa de Ávila², Fabrício Vieira Alves³, Matheus Marinho de Faria³ e Maurrem Ramon Vieira³

¹ Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, Brasil

mwavila@hotmail.com; dahora@vm.uff.br

² COHIDRO – Consultoria, Estudos e Projetos Ltda., Muda da Tijuca, RJ, Brasil

avilacelso@ymail.com

³ Agencia Nacional de Águas, Brasília, DF, Brasil

fabricio@ana.gov.br; matheus@ana.gov.br; maurrem@ana.gov.br

Recebido: 11/09/2015- Revisado: 02/11/2015- Aceito: 17/03/2016

RESUMO

Como premissas para o planejamento de uma rede de monitoramento têm-se o entendimento das condições geográficas, hidrológicas e as vocações regionais. Neste contexto, o presente artigo visa planejar uma rede de monitoramento de qualidade das águas para a bacia hidrográfica do rio Muriaé, de tal forma que, com os critérios técnicos adotados, o posicionamento das estações atenda às demandas do monitoramento. O rio Muriaé, tributário da margem esquerda do rio Paraíba do Sul, está inserido em uma bacia hidrográfica com 8.161 km² de área de drenagem e entre suas vocações econômicas estão os polígonos de indústria localizados nos distritos de Muriaé-MG e Itaperuna-RJ e as atividades agrícolas desenvolvidas ao longo do rio Gavião e próximas ao exutório da bacia. Quanto à utilização das áreas da bacia para geração de energia verificou-se que não existem aproveitamentos hidrelétricos com áreas inundadas superiores a 3 km², condição mínima para exigência de monitoramento segundo a resolução conjunta ANA/ANEEL 003/2010. Por fim, foram projetados pontos de monitoramento seguindo os critérios de pontos de controle ou estratégicos, os pontos de referência, pontos de impacto e os pontos de monitoramento para atendimento ao setor elétrico. Também foi utilizado o Índice de Qualidade (IDQ) para identificar os pontos com stress hídrico na bacia. As escalas definidas para o trabalho foram hidrografia em 1:250.000, ottocodificação em nível 6 e distribuição da carga orgânica urbana por distritos. Com base nos resultados é possível verificar que, de fato, as estações têm a tendência de se aproximar dos potenciais poluidores da bacia.

Palavras Chave: Monitoramento hidrológico. Hidrometria. Qualidade das águas. Hidrologia.

ABSTRACT

Among the premises for planning a water quality monitoring network is understanding of the regional geographic, hydrological and economic conditions. In this context, this article describes the planning of a water quality monitoring network for the Muriaé River Basin, so that based on the technical criteria adopted, the positioning of the stations meets the monitoring needs. The Muriaé River, a tributary on the left bank of the Paraíba do Sul River, has a watershed of 8,161 km². The leading economic activities in this area are manufacturing, concentrated in two industrial clusters in the municipalities of Muriaé (Minas Gerais state) and Itaperuna (Rio de Janeiro state), and agriculture, mainly along the Gavião River and near the discharge of the basin. Regarding hydropower generation, there are no power plants with inundated areas greater than 3 km², the lower threshold for required monitoring according to Resolution 003/2010 issued jointly by the National Water Agency and National Electric Energy Agency. Finally, monitoring points were projected following the criteria for control or strategic points, reference points, impact points and potential power generation points. A Water Quality Index (WQI) was calculated to identify the points with water stress in the basin. The scales defined were hydrography of 1:250,000, Otto codification at level 6 and distribution of discharge of organic waste by urban districts. The results indicate that the location of the stations tends to approximate the potential points of pollution in the basin.

Keywords: Hydrological monitoring. Hydrometry. Water quality, hydrology

INTRODUÇÃO

A execução de estudos referentes aos recursos hídricos é o que produz informações capazes de fundamentar os critérios para sua gestão e tomadas de decisão. Estes estudos dependem diretamente das medidas e observações coletadas em campo de forma contínua e precisa. Sem os dados básicos torna-se inviável a representação das características do regime hídrico de qualquer bacia hidrográfica. Ao estudo dedicado à coleta e análise de variáveis hidrológicas dá-se o nome de hidrometria e ao conjunto de estações de coleta de variáveis hidrológicas dá-se o nome de rede de monitoramento.

A configuração de uma rede de monitoramento hidrológico é definida, fundamentalmente, por premissas, que permitem definir a densidade e a distribuição das estações na bacia hidrográfica em estudo, conforme descrito em Avila (2015).

Santos (2001) menciona que, a partir destas premissas, é possível verificar que o planejamento de uma rede de monitoramento hidrológico está condicionado, principalmente, às condições geográficas e hidrológicas ou condições fisiográficas da bacia hidrográfica em estudo e as vocações econômicas da região.

Já Oliveira-Filho *et. al* (2012) diz que, as vocações de uma região permitem o entendimento das interações que ocorrem nas atividades de uso e ocupação do solo através das ações antrópicas, de forma a verificar como os processos biológicos, físicos e químicos dos sistemas naturais que contribuem para a redução da qualidade da água serão afetados.

Ribeiro (2009) destaca que as atividades agrícolas exercem forte influência sobre a qualidade das águas em um corpo hídrico, enquanto Guerra (2011) coloca a indústria como tendo grande importância na alteração dos padrões de qualidade deste recurso. Assim, de acordo com Pinheiro *et al.* (2014), é possível entender que as alterações nos padrões de qualidade de água de uma bacia se dão não só através de um fator preponderante, mas sim, pelas relações entre vários fatores que ocorrem na bacia hidrográfica.

Sendo assim, Avila (2015) menciona que, para que o planejamento da rede tenha êxito em atender as múltiplas demandas, ou em acompanhar os diversos tipos de ocorrência na bacia, é importante projetar o monitoramento a partir de todas as ações nela decorrentes, com base tanto nas características fisiográficas da bacia hidrográfica em estudo quanto nas atividades nela desenvolvidas.

Como exemplo de uma diretriz que fundamente uma rede nas ações decorrentes em uma bacia hidrográfica é possível citar, o Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas (PNQA), elaborado pela Agência Nacional de Águas (ANA). Segundo Vieira *et. al* (2014), os critérios adotados pelo PNQA associados às demais metodologias para configurar a rede de estações de qualidade das águas podem representar uma mudança positiva no monitoramento de parâmetros qualitativos, por levar em consideração tanto as condições fisiográficas da região em estudo, como as ações antrópicas em curso.

Visando ilustrar a importância dos processos de monitoramento da qualidade da água no Brasil, bem como sugerir adaptações para planejamento de redes em escalas de trabalho

superiores a 1:1.000.000, como a adotada no PNQA, este trabalho visa apresentar uma proposta metodológica para o planejamento de uma rede de estações para monitorar a qualidade das águas em uma bacia hidrográfica, considerando não só suas características fisiográficas, mas também as ações antrópicas nela presentes. Para tanto, foi selecionada a bacia do rio Muriaé que está inserida nas regiões Leste Mineira e Noroeste Fluminense. A Região Noroeste Fluminense caracteriza-se como uma das mais secas e degradadas do estado do Rio de Janeiro, pois vem sofrendo sérias restrições de abastecimento de água para consumo humano e animal, oriunda, principalmente, do desmatamento excessivo para o plantio de monoculturas sucessivas, conforme mencionado em Moraes (2007). De forma a tornar viável alcançar o objetivo geral da presente pesquisa, é importante ressaltar os seguintes objetivos específicos:

- Levantamento das diretrizes de planejamento de redes de qualidade das águas (PNQA);
- Definição das metodologias a serem empregadas no planejamento da rede;
- Coleta de informações quanto às características da bacia hidrográfica do rio Muriaé e;
- Inserção das informações e análise dos dados em sistema de informações geográficas (SIG).

A definição de uma bacia hidrográfica para aplicação da proposta metodológica desenvolvida era de vital importância para o trabalho. Sendo assim, a busca por uma região que apresentasse ações antrópicas distintas e já definidas mostrou-se imprescindível para representar os resultados desta pesquisa. Como exemplo destas ações é possível destacar: zonas agrícolas, industriais, aproveitamentos hidrelétricos e georreferenciamento dos distritos com suas respectivas populações, além de referências sobre as características fisiográficas; hidrografia em escala superior a 1:1.000.000, ortocodificação e estudo de regionalização de vazões.

MATERIAL E MÉTODOS

Área em Estudo

Formado através da confluência dos ribeirões Bon-sucesso e Samambaia, o rio Muriaé é caracterizado por ser o tributário do rio Paraíba do Sul, pela margem esquerda, localizado mais a jusante. Da nascente até sua foz, o rio Muriaé tem, aproximadamente, 300 km de extensão, tendo suas principais contribuições oriundas dos rios Glória, na porção mineira, e Carangola, já em território fluminense. Sua bacia hidrográfica possui uma área de drenagem de 8.161km², sendo a quarta maior sub-bacia pertencente à bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, fundamental para o abastecimento e desenvolvimento dos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais (AGEVAP, 2013). A (Figura 1) ilustra a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, com destaque para a sub-bacia do rio Muriaé.

Quanto às principais atividades econômicas na bacia, destaca-se a atividade agropecuária, com destaque para os cul-

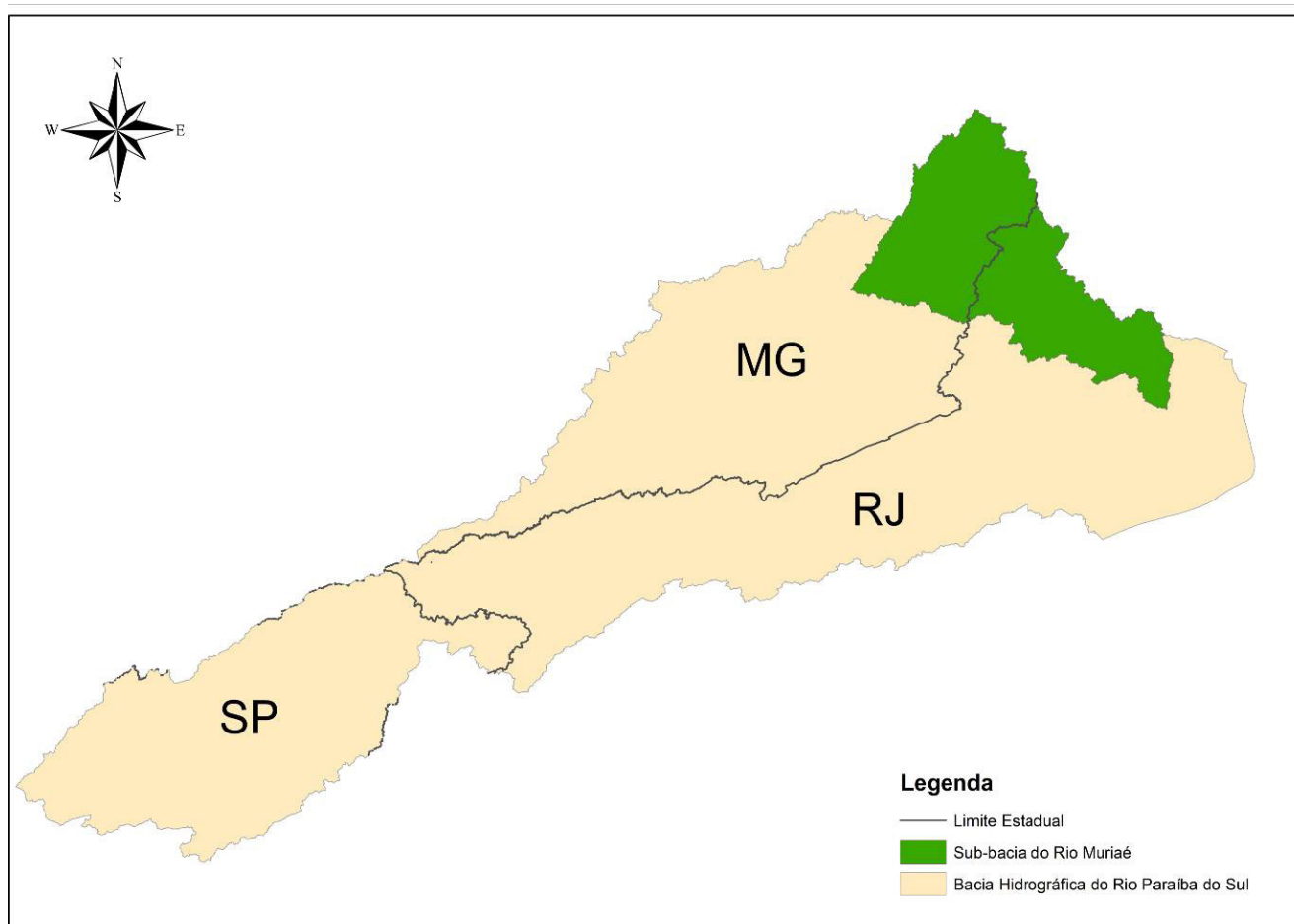


Figura 1 - Mapa da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, com destaque para a sub-bacia do rio Muriaé
Fonte - ANA, 2013

tivos de arroz, café e cana-de-açúcar.

Com base na (Figura 2), é possível perceber duas principais regiões onde as atividades agrícolas são mais desenvolvidas. A primeira está localizada parcialmente nos municípios de Antônio Prado de Minas, Eugenópolis e Patrocínio do Muriaé, ainda no Estado de Minas Gerais, e tem sua drenagem através do rio Gavião, afluente pela margem esquerda do rio Muriaé. Ainda nesta primeira região é possível perceber outra porção, já no Estado do Rio de Janeiro, no município de Itaperuna, que drena para o Ribeirão São Vicente, afluente, também pela margem esquerda, do rio Muriaé. Nesta primeira região, a demanda máxima para irrigação totaliza 40 L/s. Já a segunda região está localizada no exutório, onde a presença do cultivo de cana de açúcar é predominante e sua demanda máxima é de 1180 L/s.

Em relação às atividades industriais, são identificados dois centros de maior relevância localizados nos municípios de Muriaé-MG, apresentando demanda de aproximadamente 130 L/s e, Itaperuna-RJ, com demanda de 152 L/s, (figura 3).

As demais captações industriais totalizam 206 L/s (AGEVAP, 2013).

A estimativa populacional da bacia do rio Muriaé foi feita com base na divisão por distritos e somada para obtenção de valores por município. Estes dados foram obtidos a partir do

Censo Demográfico realizado em 2010 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010). Com base na tabela 1, verifica-se que a população total, em área urbana da bacia, é de 336.007 habitantes. Em (AGEVAP, 2013), são apresentadas ainda as vazões captadas para abastecimento de cada distrito da bacia hidrográfica do rio Muriaé. Entre os principais distritos estão Muriaé, Carangola e Itaperuna que têm captações da ordem de 19872 m³/dia, 6515 m³/dia e 5856 m³/dia, respectivamente.

De acordo com (AGEVAP, 2013), a falta de esgotamento sanitário é um dos principais fatores que contribui para a degradação da qualidade dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Muriaé. Este fato se reveste de maior importância no planejamento de uma rede eficaz para o monitoramento da qualidade das águas na bacia. Para ilustrar o panorama dos sistemas de coleta e tratamento de esgotos da bacia, são apresentados, na tabela 1, os percentuais de habitantes, em área urbana, atendidos por esgotamento sanitário, em cada um dos municípios totalmente ou parcialmente inseridos na bacia.

Da análise da tabela, é possível perceber que, apenas 6 dos 32 municípios, cujas áreas estão parcial ou completamente inseridas na bacia, são contemplados com esgotamento sanitário no que diz respeito à remoção de DBO (BRASIL, 2010).

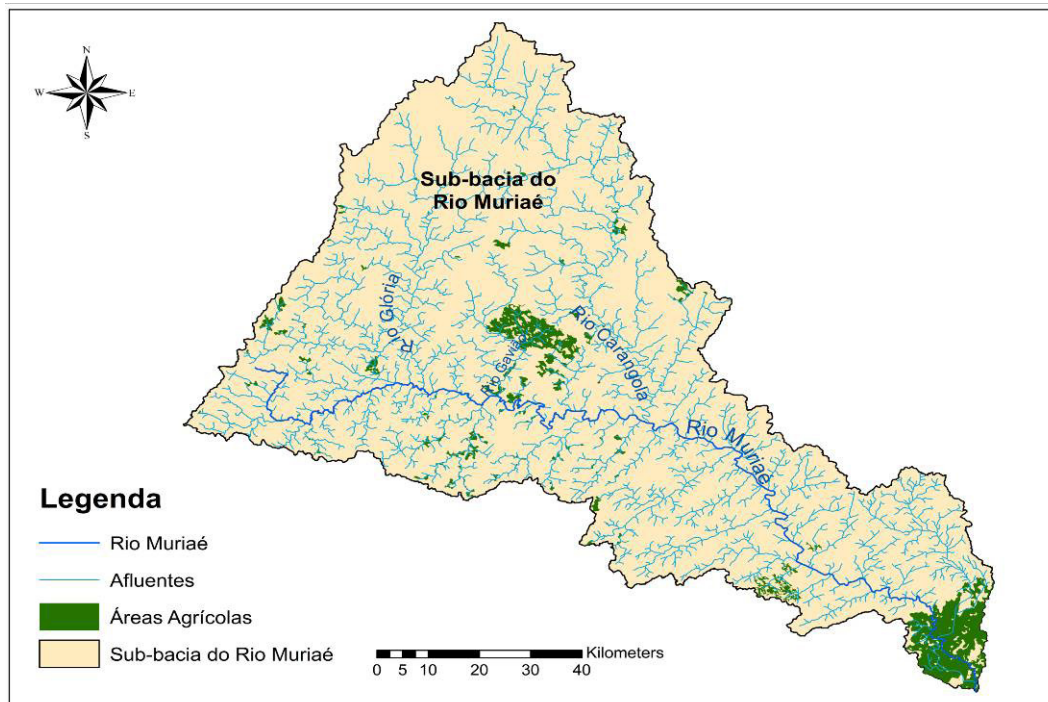


Figura 2 - Mapa dos polígonos das atividades agrícolas na bacia hidrográfica do rio Muriaé
Fonte - AGEVAP, 2013; ANA, 2013

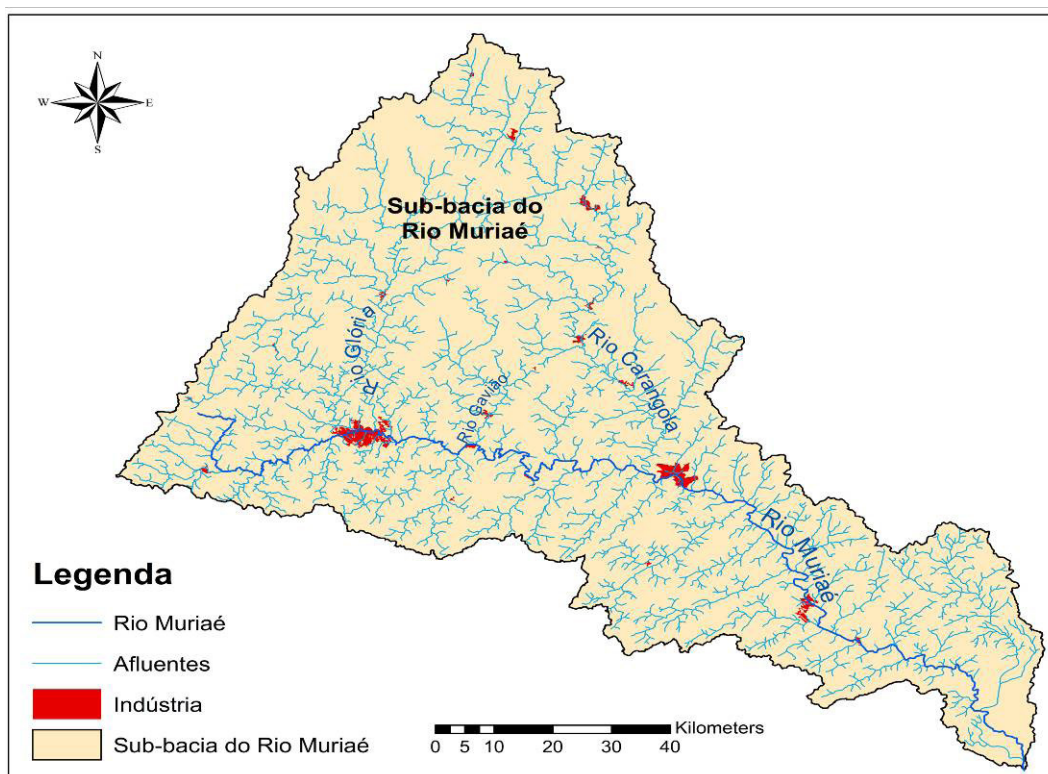


Figura 3 - Mapa com os polígonos das atividades industriais para a bacia hidrográfica do rio Muriaé
Fonte - AGEVAP, 2013; ANA, 2013

Tabela 1 - População da bacia hidrográfica do rio Muriaé, atendida por esgotamento sanitário (remoção de DBO)

| Município | População Urbana inserida na bacia hidrográfica | % de atendimento esgotamento sanitário (hab.) – Remoção de DBO |
|-------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Antônio Prado de Minas | 1003 | - |
| Barão do Monte Alto | 4117 | - |
| Carangola | 26059 | - |
| Cataguases | 0 | - |
| Divino | 10796 | - |
| Eugenópolis | 7405 | - |
| Faria Lemos | 2332 | - |
| Fervedouro | 4764 | - |
| Laranjal | 0 | - |
| Miradouro | 5671 | - |
| Mirai | 10403 | - |
| Muriaé | 93225 | 90 |
| Orizânia | 2221 | - |
| Palma | 0 | - |
| Patrocínio de Muriaé | 4308 | - |
| Pedra Dourada | 1301 | 80 |
| Rosário de Limeira | 2296 | - |
| Santana de Cataguases | 0 | - |
| São Francisco do Glória | 3132 | - |
| São S. da Vargem Alegre | 1603 | - |
| Tombos | 7602 | - |
| Vieiras | 1853 | - |
| Cambuci | 3661 | - |
| Cardoso Moreira | 8757 | - |
| Campos dos Goytacases | 1628 | 90 |
| Italva | 10242 | - |
| Itaperuna | 88368 | 60 |
| Laje do Muriaé | 5637 | 80 |
| Natividade | 12046 | 60 |
| Porciúncula | 12479 | - |
| São José de Ubá | 3098 | - |
| Varre-Sai | 0 | - |

Fonte: SNIS, 2010

METODOLOGIA

Para a definição de uma rede de monitoramento de qualidade das águas, deve-se dar especial atenção a tipologia das estações que irão compor a rede. Esta tipologia se refere ao objetivo determinado para cada estação.

- Pontos Estratégicos ou de Controle: são aqueles cuja função principal é a de avaliação de cargas poluentes em pontos de entrega, tais como, fronteiras ou divisas estaduais ou de mudança de dominialidade, como exutórios de principais afluentes de rios federais e, em locais onde existam projetos relevantes de captação de água (irrigação, transposição, dentre outros). Em ANA (2009), os pontos estratégicos são denominados como pontos de controle, de modo que propiciem o acompanhamento da evolução do uso da água entre as diferentes Unidades da Federação de forma a garantir o cumprimento da pactuação entre as unidades federativas para entrega de água nas suas fronteiras.

- Pontos de Referência: Vieira *et al.* (2014) diz que, pontos de referência visam estabelecer, o padrão do corpo hídrico em estudo, em seu estado “natural”. A determinação da condição natural, através de parâmetros específicos, tem por função principal orientar o enquadramento do corpo hídrico em função da utilização do recurso natural proveniente deste.

- Pontos de Impacto: estes pontos visam identificar possíveis ações no âmbito da gestão que promovam a redução na poluição. Como pontos de impacto pode-se destacar aqueles definidos através de critérios da macro e micro locação, que visam monitorar essencialmente lançamentos oriundos de esgotos domésticos ou a partir de polígonos de atividades agrícolas e/ou industriais.

Levando em conta que os pontos de controle já foram definidos para a bacia em estudo, deve-se priorizar a definição dos pontos de impacto, iniciando pelos critérios de macro e micro locação. Estes critérios são propostos em (VIEIRA *et al.*, 2014).

O critério de macro locação, para os pontos de monitoramento de qualidade da água, é fundamentado na identificação do stress hídrico, que por sua vez é função do cálculo do Índice de Qualidade das Águas (IDQ). Conforme ANA (2009), o IDQ representa a razão entre a vazão necessária para diluição da carga orgânica (de esgotos e de chorume) lançada sobre a carga assimilável para que o corpo d’água permaneça na Classe para a qual o mesmo está enquadrado, conforme a Resolução Conama 357/2005, complementada pela Resolução Conama 430/2011. Enquanto não forem aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe 2 (artigo 42 da Resolução CONAMA 357/2005).

O IDQ considera que, caso a vazão necessária para diluição do poluente dividida pela disponibilidade hídrica, resultar em valor superior a 1, a situação é de não atendimento a demanda ou nível crítico (BRASIL, 2009). Seu cálculo se dá com base nas vazões necessárias para a diluição do esgoto oriundo da população urbana contida em cada distrito, considerando que o lançamento dos efluentes ocorre no corpo hídrico inserido na mesma *ottobacia* que o distrito. Sendo assim, o IDQ pode ser determinante na escolha dos pontos de monitoramento, uma vez que em locais onde se identifica o stress hídrico, é sugerido que o monitoramento seja feito com densidade de uma estação para, no mínimo, cada 1.000km².

É importante o conhecimento da vazão do corpo receptor ou a produção hídrica de uma determinada região, para se estimar a carga efetiva de poluente que, ao ser lançada nos cursos d’água, se torna passível de diluição. Sendo assim, é

desejável que a vazão a partir da qual será elaborado o cálculo da disponibilidade hídrica corresponda a um valor de referência, de maneira a garantir uma vazão mínima para o período de estiagem, ocasião em que os corpos hídricos sofrem maior pressão sobre a qualidade de suas águas, comprometida pelo lançamento de efluentes. Conforme AGEVAP (2013), a escala recomendada para este cálculo é a *ottobacia*, que representa a menor unidade de área da bacia, segundo a classificação de bacias hidrográficas criada pelo engenheiro Otto Pfafstetter.

Para o presente estudo, foram utilizadas as *ottobacias* delimitadas pela ANA para a bacia hidrográfica do rio Muriaé, na escala 1:250:000, seguindo a metodologia para elaboração de base Ottocodificada, descrita em (BRASIL, 2007). Já as disponibilidades hídricas foram calculadas com base na vazão de referência adotada pela Agência Nacional de Águas, que corresponde a Q_{95} , ou seja, vazão com permanência de 95% do tempo em cada *ottobacia*, de montante para jusante, de acordo com a seguinte expressão:

$$Q_{disp.} = Q_{rem} + Q_{95(OTTO)} - Demanda_{(OTTO)} \quad (1)$$

onde:

$Q_{disp.}$ - vazão resultante do balanço hídrico (m^3/s).

Q_{rem} - vazão remanescente oriunda do balanço das *ottobacias* à montante (m^3/s).

$Q_{95(OTTO)}$ - incremento da vazão de referência Q_{95} na *ottobacia* (m^3/s).

$Demanda_{(OTTO)}$ - demandas para usos na *ottobacia* (m^3/s).

As vazões de referência, assim como as vazões remanescentes em cada início de *ottobacia* e as vazões de diluição, foram obtidas do balanço hídrico qualitativo elaborado por (AGEVAP, 2013), que por sua vez foi embasado no estudo de regionalização de vazões de (CPRM, 2013). Neste estudo, a bacia do rio Muriaé, foi dividida em 3 regiões distintas (RH's) e, para cada uma, foi atribuída uma equação de regionalização da vazão de referência Q_{95} , (Figura 4).

De acordo com CPRM (2013), as equações de regionalização são expressas por:

$$RH \text{ XIX: } Q_{95\%} = 10^{-2,1608} \cdot A^{0,9893} \quad (2)$$

$$RH \text{ XX: } Q_{95\%} = 10^{-2,7858} \cdot A^{0,9428} \cdot P^{4,9495} \quad (3)$$

$$RH \text{ XXI: } Q_{95\%} = 10^{-2,7858} \cdot A^{1,0723} \cdot P^{8,3178} \quad (4)$$

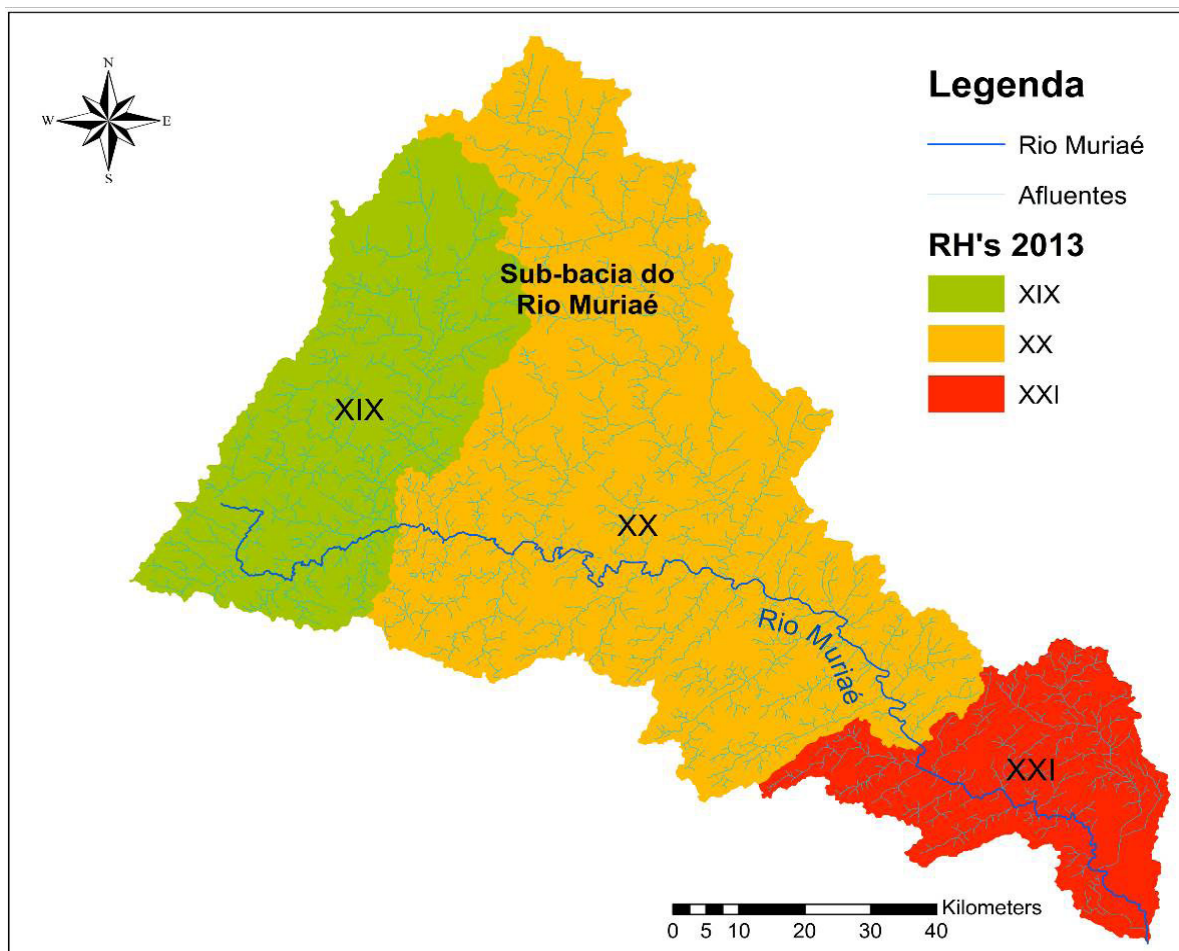


Figura 4 - Mapa com as regiões homogêneas definidas para a bacia hidrográfica do rio Muriaé
Fontes - ANA, 2013; AGEVAP, 2013; CPRM, 2013

onde:

$$O_{CM} = \frac{O_C}{2} \quad (6)$$

A – área de drenagem, em km².

P – precipitação média histórica na bacia, em m.

Com base no exposto, são identificados os trechos de rios com a presença de stress hídrico na bacia e consequentemente a necessidade do monitoramento dos pontos de impacto.

Encerrada a etapa de definição dos locais com base nos critérios de macro localização, deve-se concentrar esforços na micro localização das estações, ou seja, na definição precisa do local onde o monitoramento deverá ser realizado.

Para desenvolvimento do critério de micro localização das estações, a ANA sugere que o planejamento dos pontos de monitoramento seja realizado por meio do cálculo dos centros de massa obtidos com base no somatório entre a disponibilidade hídrica e a vazão para diluição dos efluentes lançados em cada *ottobacia*. Cada centro de massa representa o local onde teoricamente passa metade da vazão ponderada pela carga orgânica não tratada (VIEIRA *et al.*, 2014). Esta proposta está fundamentada na metodologia sugerida por Sanders (1983) e apresentada por Clarkson (1979), inicialmente, desenvolvida por Sharp (1971). Sua premissa está baseada no conhecimento de dois fatores, a rede de drenagem e as atividades antrópicas desenvolvidas na bacia hidrográfica.

Para este cálculo, Vieira *et al.* (2014) recomendam que inicialmente deve ser identificada a magnitude do exutório (M_0), ou seja, o número de elementos externos, e a disponibilidade hídrica (D), através da Q_{95} no exutório da sub-bacia; ou da diferença entre a Q_{95} total afluente e efluente à região. Com os dados de disponibilidade hídrica e a magnitude do exutório, é determinada uma contribuição de vazão associada a cada elemento externo, denominada ordem, dividindo-se a disponibilidade hídrica pela magnitude do exutório. Para a determinação deste valor, é necessário contabilizar o número de distritos ou pontos de lançamentos como elementos externos, bem como calcular as vazões de diluição para todos os pontos de lançamento (distritos) na bacia. O valor de ordem do exutório (O_0) é equivalente à soma da disponibilidade hídrica da bacia ou região hidrográfica acrescida das demandas para diluição dos efluentes (DBO_5) não tratados. No cálculo da vazão de diluição dos distritos, podem ser utilizadas as informações de população associadas à produção per capita de DBO_5 .

A ordem do primeiro centro de massa é estimada a partir de:

$$O_C = \frac{O_0 + 1}{2} \quad (5)$$

onde:

O_c = ordem do primeiro centro de massa (m³/s).

O_0 = ordem do exutório (m³/s).

A ordem do segundo e dos centros de massa subsequentes são calculadas a partir da ordem do primeiro centro de massa, aplicando-se as equações (6) e (7):

onde:

O_{CM} = ordem do centro de massa de montante (m³/s).

O_c = ordem do primeiro centro de massa (m³/s).

$$O_{CJ} = \left(\frac{O_c}{2} \right) + O_c \quad (7)$$

onde:

O_{CJ} = ordem do centro de massa de jusante (m³/s).

O_c = ordem do primeiro centro de massa (m³/s).

Cada centro de massa definido representará uma estação de monitoramento.

Para atendimento ao monitoramento de áreas industriais, serão utilizados os polígonos de indústrias definidos através de estudos de uso e ocupação do solo na bacia, com base em imagens de satélite. Estes polígonos gerados em (AGEVAP, 2013) darão o direcionamento em relação ao posicionamento das estações de interesse estratégico ao que concerne a lançamentos oriundos de indústrias. A mesma metodologia será empregada no caso de áreas de extensa atividade agrícola.

Após a definição do posicionamento das estações que terão a função de monitorar os pontos de impacto, deve-se determinar o posicionamento dos pontos que permitirão estabelecer o padrão “natural” da qualidade da água na bacia ou pontos de referência. Conforme descrito por Vieira *et al.* (2014), estes pontos são posicionados de forma a estabelecer parâmetros característicos para a bacia com objetivo de auxiliar na verificação dos efeitos causados pela ação antrópica.

Em seguida, devem ser verificados os mananciais cujos usos causem impacto significativo (stress hídrico) e nos quais se tenha definido estações de monitoramento para os pontos de impacto. Em cada um desses mananciais deve ser planejada a implantação de uma estação de cabeceira que sirva para determinação dos padrões de referência.

Por último, é necessário verificar o atendimento a Resolução Conjunta ANA/ANEEL 003/2010, que menciona a necessidade de monitoramento da qualidade da água, em aproveitamentos com área inundada superior a 3km², dos parâmetros Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5), Fósforo Total, Nitrogênio Total, Clorofila A, Transparência, pH e Temperatura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A sub-bacia do rio Muriaé, através de decisão conjunta entre os Estados, Comitê e ANA, foi contemplada, com três pontos de controle denominados

PC-18, PC-19 e PC-20 da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul. Estes pontos de controle, cujo monitoramento deve também ser dotado de telemetria, estão especializados na (Figura 5).

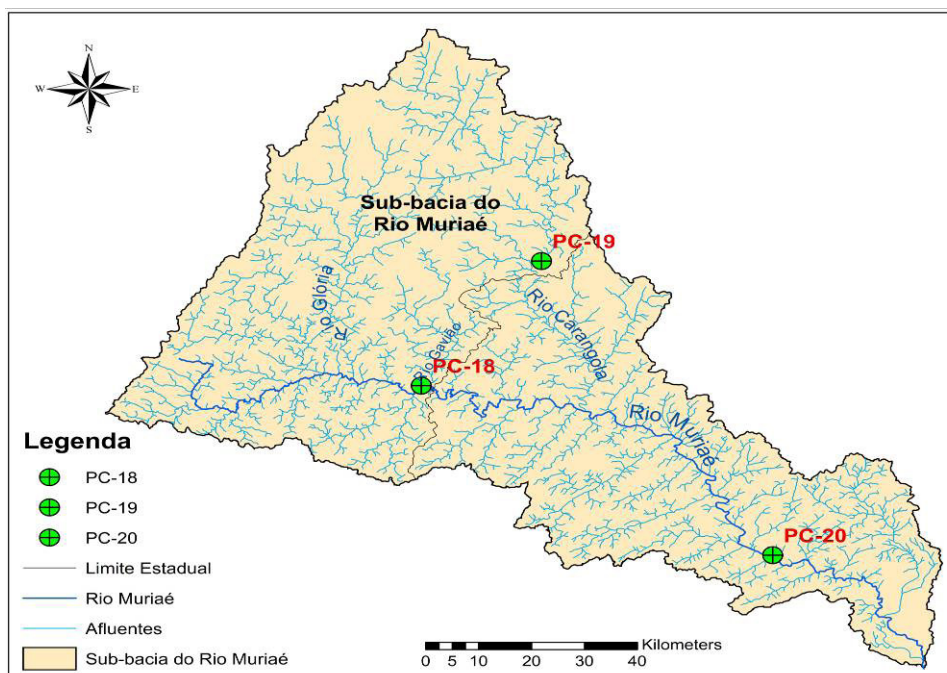


Figura 5 - Mapa com os pontos de controle planejados para a bacia hidrográfica do rio Muriaé
Fontes - AGEVAP, 2013; ANA, 2013

Quanto ao atendimento à Resolução Conjunta ANA/ANEEL 003/2010, na bacia do rio Muriaé foram identificadas uma usina hidrelétrica (UHE) e 5 pequenas centrais hidrelétricas (PCH), a saber: UHE Glória, PCH Ormeo Junqueira Botelho, PCH Coronel Domiciano, PCH Tombos e PCH Carangola, localizadas no estado de Minas Gerais e a PCH Comendador Venâncio, localizada no Estado do Rio de Janeiro, (figura 6).

Tendo em vista que nenhum dos AHE's citados possui área inundada superior a 3km², não foi projetada nenhuma estação de monitoramento de qualidade de água para atender à este critério. Em relação aos critérios de macro e micro localização sugeridos pela ANA, foi introduzido em ambiente SIG as informações referentes às *ottobacias*. A menor unidade geográfica de trabalho adotada foi a *ottocodificação* em nível 6, já que a

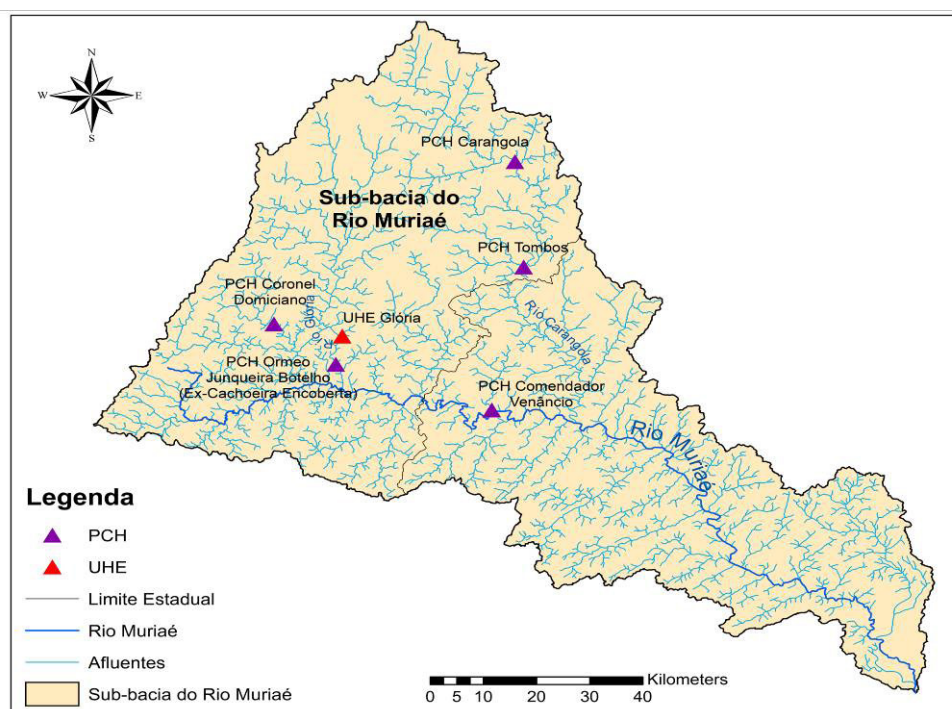


Figura 6 - Mapa com os aproveitamentos hidrelétricos existentes na bacia hidrográfica do rio Muriaé
Fonte - ANA, 2013

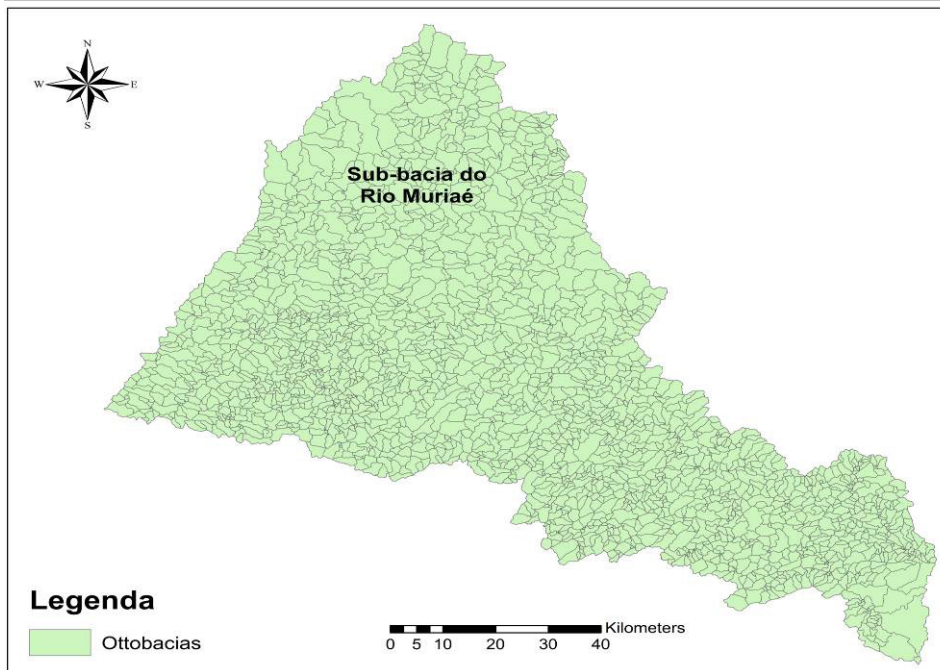


Figura 7 - Mapa com as ottobacias definidas para a bacia hidrográfica do rio Muriaé
Fonte - ANA, 2013

hidrografia disponível na ANA está na escala 1:250.000. Desta forma, a sub-bacia do rio Muriaé foi subdividida em 2.091 partes, (Figura 7), viabilizando o cálculo da disponibilidade hídrica em cada *ottobacia* (BRASIL, 2007).

A partir do mapa e do balanço hídrico qualitativo elaborado em (AGEVAP, 2013), foram identificados os pontos de lançamento em cada corpo hídrico, ou seja, a quantidade de *ottobacias* cujos trechos apresentavam lançamentos. Para alcan-

çar este objetivo, foi definido, em ambiente SIG, que deveriam ser sinalizados apenas os pontos que a vazão de diluição fosse diferente de "0".

Também foram verificados os pontos onde o IDQ calculado apresentasse valor superior à "1". A figura 8 ilustra na cor vermelha, cada trecho com necessidade de atenção quanto ao monitoramento de qualidade das águas (IDQ>1).

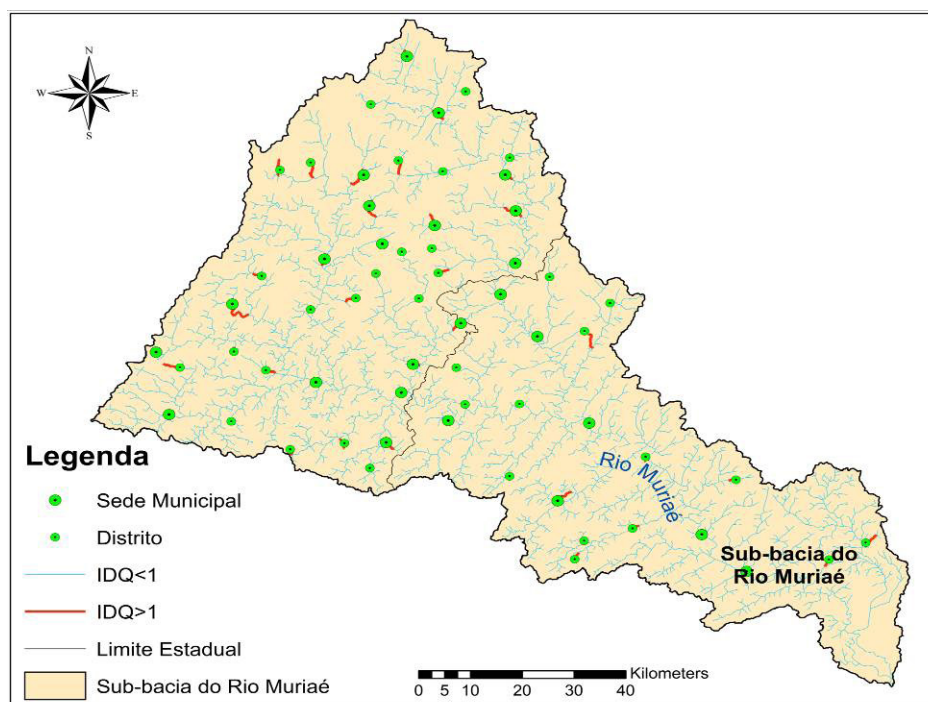


Figura 8 - Mapa contendo os trechos que apresentam valores de IDQ superiores a "1"
Fontes - AGEVAP, 2013; ANA, 2013; IBGE, 2010

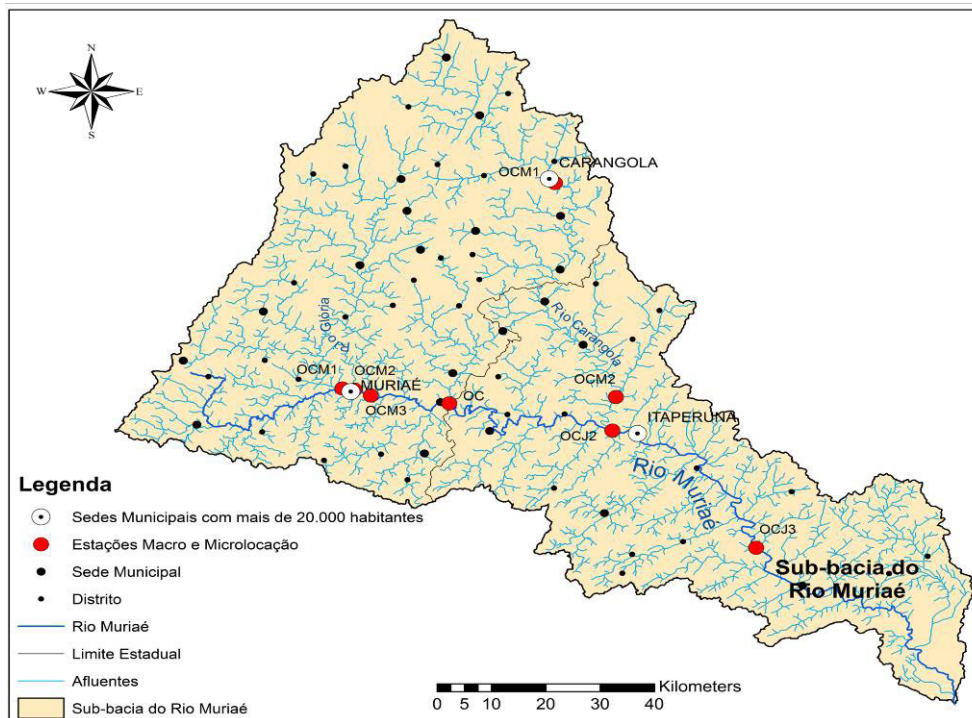


Figura 9 - Rede de estações com base nos critérios de macro e micro locação para a bacia hidrográfica
 Fonte - ANA, 2013; IBGE, 2010

Da análise da figura, ressaltam-se as desconformidades na sub-bacia do rio Glória e no rio Carangola, merecedores de maior atenção. Estas desconformidades também são verificadas na porção de montante do rio Muriaé. Para o cálculo do balanço hídrico, foram utilizadas as equações de regionalização (2), (3) e (4), definidas por (CPRM, 2013), dado o seu caráter oficial.

Após identificar os locais com necessidade de monitoramento de qualidade das águas, o posicionamento das estações

foi definido, com base nos critérios de macro e micro locação sugeridos no PNQA. A Figura 9 apresenta o mapa com os pontos definidos a partir dos critérios de macro e micro locação.

Foram também definidos os pontos de interesse a partir dos polígonos de áreas com extensa atividade agrícola e de indústrias definidos em (AGEVAP, 2013). A jusante de cada polígono considerado mais relevante foi projetada uma estação, como ilustrado na figura 10.

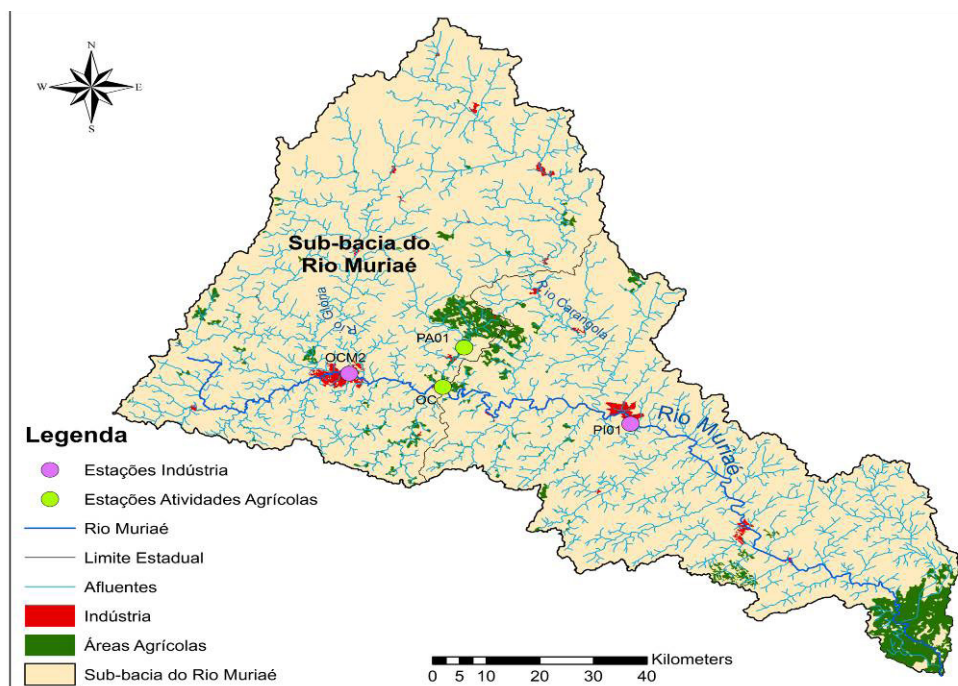


Figura 10 - Estações de qualidade das águas projetadas, com base nas indústrias e atividade agrícola
 Fontes - AGEVAP, 2013; ANA, 2013

Por fim, foram definidos os pontos de monitoramento dos parâmetros de referência, que auxiliarão no enquadramento dos principais corpos hídricos da bacia hidrográfica do rio Muriaé, (figura 11). Estes pontos foram planejados na porção alta de cada corpo hídrico considerado relevante, de modo a monitorar os parâmetros de referência, estabelecendo sua condição “natural”, livre de ação antrópica.

A partir dos resultados apresentados é possível perceber que a bacia do rio Muriaé passaria a ser contemplada com 17 estações de monitoramento de qualidade das águas, sendo quatro para determinação dos valores de referência, seis para efluentes domésticos, uma para monitoramento de atividades agrícolas e esgoto doméstico, um com intuito de monitorar atividades industriais e esgoto doméstico, um para monitoramento exclusivamente da atividade agrícola, um para monitoramento de atividades industriais e, por fim, os três pontos de controle definidos para a bacia, conforme descrito na tabela 2 e apresentado na Figura 10.

Como o acompanhamento da diluição da carga potencial poluidora, oriunda da bacia, depende diretamente das medidas quantitativas, é imprescindível que nestas estações sejam instalados equipamentos para o monitoramento de níveis d'água e realização de campanhas de medições de vazão.

No caso dos pontos de controle, dada sua relevância, deve ser prevista a instalação de equipamentos automáticos e sistema de transmissão dos dados básicos (pH, OD, Condutividade, Temperatura e Turbidez). A telemetria demanda a instalação de infraestrutura de tecnologia de informação para

recepção dos dados obtidos por meio dos sensores instalados em cada estação automática de monitoramento. Tal medida traria impactos positivos na tomada de decisão quanto aos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Muriaé.

É importante ressaltar que as estações de controle de qualidade das águas têm limitações referentes à transmissão de dados, uma vez que, dependendo do tipo de monitoramento, amostras precisam ser coletadas e encaminhadas para laboratório para análise e determinação de valores dos parâmetros pesquisados.

Por outro lado, o monitoramento de parâmetros básicos, torna-se viável por telemetria, quando o local de instalação da sonda que contém os sensores de medição de qualidade da água representa a condição média na seção de controle, e quando a logística operacional da rede permite a checagem dos sensores e validação dos dados coletados periodicamente. Mesmo assim, estações automáticas de monitoramento da qualidade da água requerem, na maioria dos casos, inspeções em intervalos curtos de tempo, não superiores a (30) trinta dias para manutenção preventiva e calibração dos sensores de medição. A determinação deste período para inspeções varia em função da condição do corpo hídrico e da qualidade e robustez do equipamento instalado.

Em função das condições de cada local, define-se a melhor estratégia, podendo o ponto contar com telemetria para controle dos níveis d'água, enquanto os dados de qualidade da água seriam obtidos mediante operação de equipe de hidrometria no local.

A Tabela 2 descreve os pontos de monitoramento

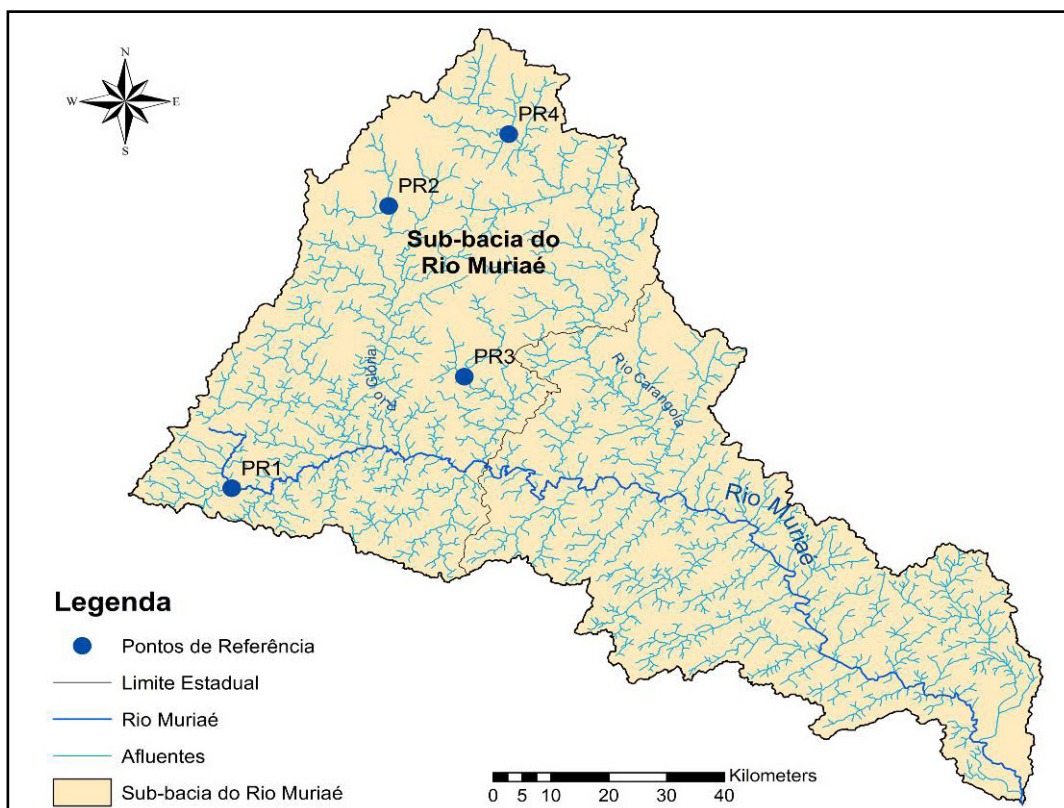


Figura 11 - Estações de qualidade das águas projetadas, com base no critério de pontos de referência
Fonte - ANA, 2013

Tabela 02 - Estações de Monitoramento de Qualidade das Águas propostas para a Bacia do Rio Muriaé, com suas respectivas justificativas

| PONTO | RIO | LATITUDE (GG,GGG) | LONGITUDE (GG,GGG) | JUSTIFICATIVA |
|-------|-----------|-------------------|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PR1 | MURIAÉ | -21,195 | -42,591 | Estação proposta no rio Muriaé, a montante da confluência com o rio Fubá, para evitar o lançamento oriundo da sede municipal de Mirai-MG. |
| PR2 | GLÓRIA | -20,727 | -42,347 | Estação projetada para o rio Glória, por se tratar de manancial de abastecimento para o município de Muriaé, a ser localizada a montante da confluência com o rio Preto. |
| PR3 | GAVIÃO | -21,010 | -42,229 | Estação a ser localizada no rio Gavião, a montante da confluência com o rio Pinhotiba, evitando contribuições oriundas deste rio e da zona agrícola. |
| PR4 | CARANGOLA | -20,608 | -42,160 | Estação de referência para o rio Carangola, principal tributário do rio Muriaé, a ser localizada a montante do distrito de Divino, evitando as contribuições oriundas deste distrito. |
| OCM1 | MURIAÉ | -21,126 | -42,375 | Estação projetada para uma área de drenagem contribuinte de 1080km ² , e, responsável pelo monitoramento a montante da cidade de Muriaé. A área de drenagem contribuinte apresenta diversos pontos onde o IDQ apresentou situações de stress hídrico. |
| OCM2 | MURIAÉ | -21,128 | -42,355 | Estação proposta para o monitoramento da sede municipal de Muriaé, portanto localizada imediatamente a jusante desta localidade. |
| OCM3 | MURIAÉ | -21,139 | -42,328 | Estação a ser localizada a jusante da confluência com o rio Glória, e, responsável pelo monitoramento dos 1100km ² de área de drenagem da bacia do rio Glória, que possui vários pontos de desconformidade em relação ao IDQ. |
| OCM4 | CARANGOLA | -20,740 | -42,023 | Estação projetada para uma área de drenagem contribuinte de 769km ² . Será responsável pelo monitoramento dos distritos na porção montante do rio Carangola, principal tributário do Muriaé. |
| OCM5 | CARANGOLA | -21,142 | -41,922 | Estação projetada para uma área de drenagem contribuinte de 1959km ² . Será responsável pelo monitoramento dos distritos que drenam seus efluentes para o rio Carangola. |
| OCJ1 | MURIAÉ | -21,205 | -41,928 | Estação proposta para o monitoramento do rio Muriaé a jusante da confluência do rio Carangola, principal tributário do rio Muriaé. |
| OC | MURIAÉ | -21,154 | -42,198 | Estação planejada a jusante da confluência do rio Gavião e da cidade de Patrocínio de Muriaé para monitorar as atividades agrícolas carreadas através do rio Gavião e o esgoto sanitário lançados no rio Muriaé. |
| OCJ2 | MURIAÉ | -21,425 | -41,690 | Estação projetada para o monitoramento a jusante da sede municipal do município de Itaperuna. |
| PA01 | GAVIÃO | -21,077 | -42,162 | Estação a ser localizada no rio Gavião, imediatamente após a confluência com o Córrego Recreio, que, por sua vez, percorre uma área com extensa atividade agrícola. |
| PI01 | MURIAÉ | -21,226 | -41,883 | Estação projetada para o monitoramento do polígono de indústrias localizado em Itaperuna-RJ. |
| PC-18 | MURIAÉ | -21,147 | -42,216 | Estação proposta no rio Muriaé para controle da alocação de água do estado de Minas Gerais para o estado do Rio de Janeiro. O posto existente de apoio é Patrocínio do Muriaé, código 58920000, da rede da ANA (AGEVAP, 2013). |
| PC-19 | CARANGOLA | -20,899 | -42,012 | Estação proposta no rio Carangola para controle da alocação de água do estado de Minas Gerais para o estado do Rio de Janeiro, no rio Carangola. O posto existente de apoio é Carangola (mont. Tombos), código 58931000, da rede do IGAM (AGEVAP, 2013). |
| PC-20 | MURIAÉ | -21,491 | -41,619 | Estação planejada para o controle da qualidade da água oriunda da bacia hidrográfica do rio Muriaé e lançada no rio Paraíba do Sul. O posto existente de apoio é Cardoso Moreira-RV, código 58960000, da rede da ANA (AGEVAP, 2013). |

PR: Estações projetadas a partir dos critérios de pontos de referência.

OC, OCM e OCJ: Estações posicionadas a partir dos critérios de pontos de impacto com base nos conceitos de macro e micro locação, sendo OC a estação representativa do centro de massa da bacia, OCM's e OCJ's estações representativas dos centros de massa à montante e jusante de OC, respectivamente.

PA: Estações projetadas, segundo os critérios de pontos de impacto, para monitoramento de zonas de extensa atividade agrícola.

PI: Estações projetadas, segundo os critérios de pontos de impacto, para monitoramento de indústrias.

PC: Pontos de controle ou estratégicos definidos para a bacia do rio Muriaé.

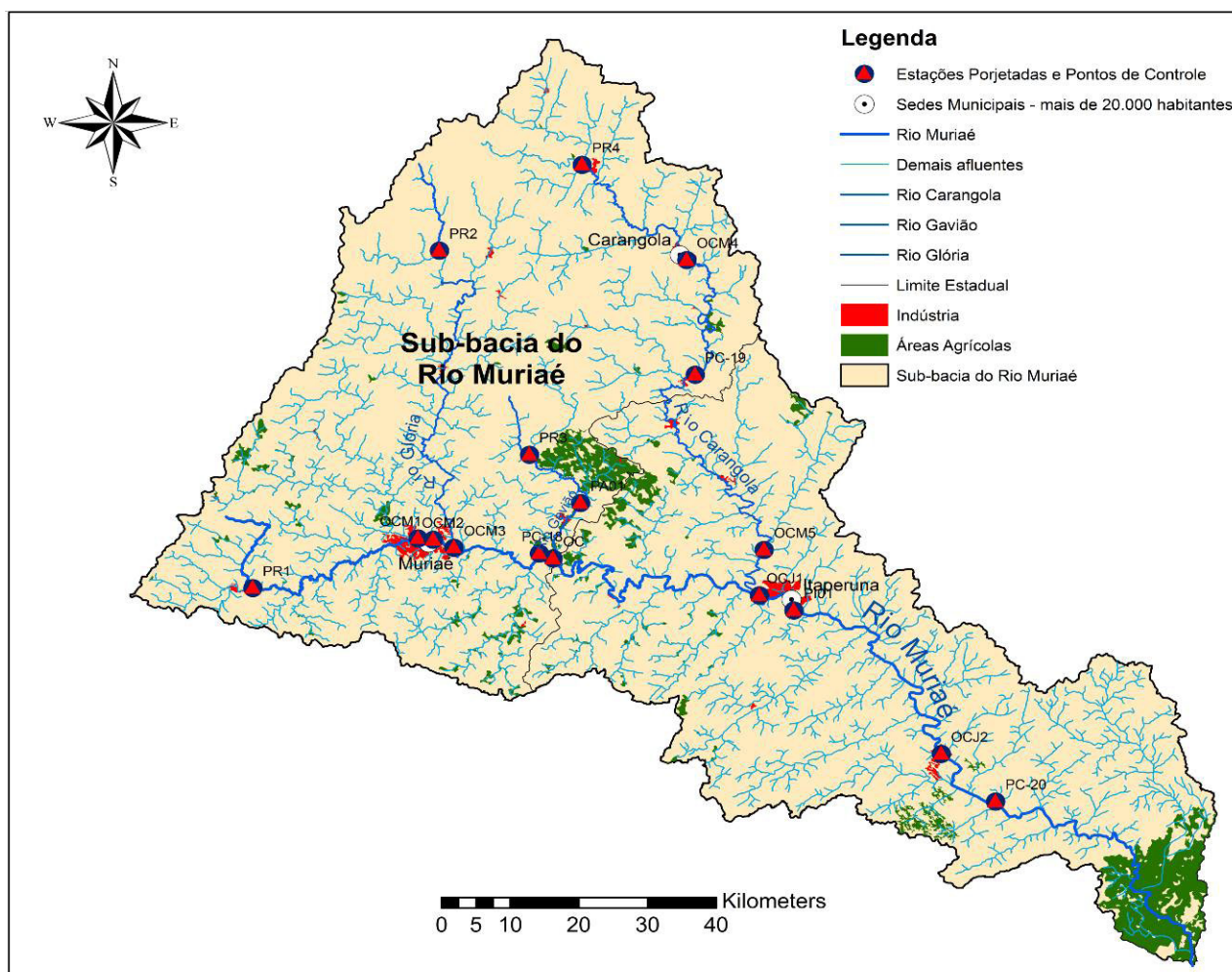


Figura 12 - Mapa com a rede de estações de qualidade das águas projetada para a bacia hidrográfica do rio Muriaé
Fontes - ANA, 2013; AGEVAP, 2013

projetados para a bacia, com suas respectivas justificativas, e a figura 12 mostra a espacialização das 17 estações planejadas

CONCLUSÕES

Com base na rede projetada, será viável um acompanhamento do lançamento do esgoto doméstico com mais precisão, uma vez que a metodologia adotada neste trabalho direcionou as estações de monitoramento de qualidade de água para os locais que demandam maiores valores de vazão para diluição.

A utilização do IDQ foi importante, pois este índice permite priorizar os locais onde existe a maior necessidade de monitoramento.

Os polígonos de indústria e atividades agrícolas também foram importantes no que concerne ao monitoramento dos principais usos na bacia, uma vez que, com a implantação da rede, será possível entender quais as atividades que requerem maior atenção no sentido de controle de sua expansão e quais às que se deve dar maior incentivo para o desenvolvimento regional.

A *ottocodificação* em nível 6, definida com base na hidro-

grafia em escala 1:250.00, assim como a utilização das demandas de população por distritos, possibilitaram definir, de forma mais precisa, os pontos com necessidade de monitoramento.

Outro fator fundamental para a aplicação desta metodologia consiste na utilização do cadastro de demandas dos usuários da bacia. Este cadastro deve ser periodicamente atualizado. Desta forma, o balanço hídrico da bacia se manterá como uma ferramenta com alto grau de confiabilidade.

Especial atenção deve ser dada às equações de regionalização, tendo em vista que a incorporação ou não de outras variáveis não explicativas, no caso precipitação média anual para estimativa da vazão $Q_{95\%}$, representativa do período de estiagem, pode resultar em valores que não espelham a realidade local. Os autores recomendam a revisão das equações com a incorporação ou não de outras de variáveis explicativas, tais como apenas a área de drenagem, área de drenagem e declividade média do rio, etc.

Por fim, entende-se que, com a utilização das metodologias descritas neste trabalho, é possível projetar redes de monitoramento de qualidade das águas com base nos usos múltiplos dos recursos hídricos.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste artigo agradecem à Agência Nacional de Águas (ANA), a Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (AGEVAP) e a COHIDRO – Consultoria, Estudos e Projetos Ltda. pelo apoio a esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO PRÓ-GESTÃO DAS ÁGUAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL (AGEVAP). Plano integrado de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul e planos de ação de recursos hídricos das bacias afluentes: Relatório de diagnóstico contextualizado dos Recursos Hídricos na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul – RP06; Disponível em [http://www.ceivap.org.br/arqforum / Cohidro/Ativ-01604-rev1-dez13.pdf](http://www.ceivap.org.br/arqforum/Cohidro/Ativ-01604-rev1-dez13.pdf), Resende, Rio de Janeiro, 2013, Acesso em 21 fev. 2015.

ASSOCIAÇÃO PRÓ-GESTÃO DAS ÁGUAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL (AGEVAP). Shape files de limite da sub-bacia do Muriaé, pontos de controle, balanço hídrico quantitativo e qualitativo, Resende, Rio de Janeiro, 2013.

AVILA, M. W. Diretrizes para Planejamento de Redes de Monitoramento Hidrometeorológico. Estudo de caso da bacia hidrográfica do rio Muriaé. 2015. 85f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Biosistemas) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, 2015.

BRASIL - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Manual de base hidrográfica Ottocodificada, fase 1: Construção de base topológica de hidrografia e ottobacias, conforme a codificação de Otto Pfafstetter. Disponível em [file:///C:/Users/Hp/Downloads/manual_base_ottocodificada%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Hp/Downloads/manual_base_ottocodificada%20(1).pdf), Brasília, Distrito Federal, 2007, Acesso em 18 dez. 2014.

BRASIL - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Plano estratégico de recursos hídricos da bacia hidrográfica dos rios Tocantins e Araguaia: Relatório síntese; Disponível em http://www.ana.gov.br/bibliotecavirtual/arquivos/20100121000000_20100121000000_20100121114725_Plano_Tocantins_Araguaia.pdf. Brasília, Distrito Federal, 2009, Acesso em 13 jan. 2015.

BRASIL - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA) E AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução conjunta Nº 003. Disponível em http://arquivos.ana.gov.br/infohidrologicas/cadastro/ResolucaoConjunta_n_003-2010.pdf; Brasília, Distrito Federal, 2010 Acesso em 20 jan. 2015.

BRASIL. Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005. CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 8 abr. 2015.

BRASIL. Resolução Nº 430, de 13 de maio de 2011. CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 13 mar. 2015.

BRASIL - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO, (SNIS). Dados gerais sobre saneamento básico no Brasil. [S. L.], 2012. Disponível em <http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=86>, acesso em 24 fev. 2015.

CLARKSON, C. C. River quality monitoring: selection of water quality sampling sites and characterization of a pollutant plume in a stream. Thesis (M. Sc.). University of Massachusetts. Amherst. 1979. 127p.

GUERRA, A. J. T. Geomorfologia Urbana, Ed. Bertrand, Rio de Janeiro. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Shape files sede distrital, rodovias, municípios e distritos. 2010. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/download/geociencias.shtm>. Acesso em 04 abr. 2013.

MORAES, M. F. Estimativa do balanço hídrico na bacia experimental/representativa de Santa Maria/Cambiocó – Município de São José de Ubá-RJ. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2007. 233p.

OLIVEIRA-FILHO, P. C.; DUTRA, A. M.; CERUTI, F.C. Qualidade das águas superficiais e o uso da terra: estudo de caso pontual em bacia hidrográfica do oeste do Paraná. Revista Floresta e Ambiente, Seropédica, v.19, n.1, jan./mar. 2012.

PINHEIRO, A.; SCHOEN, C.; SCHULTZ, J.; HEINZ, K. G. H.; PINHEIRO, I. P.; DESCHAMPS, F. C. Relação entre Uso do Solo e Qualidade da Água em Bacia Hidrográfica Rural no Bioma Mata Atlântica. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 19, n. 3, jul/set, p.127-139, 2014.

RIBEIRO, K. H. Qualidade da água superficial e a relação com o uso do solo e componentes ambientais na microbacia do rio Campestre. 2009. Dissertação (Pós-Graduação em Agronomia), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

SANDERS, T. G, WARD, R. C., LOFTIS J. C., STEELE, T. D., ADRIAN, D. D., TEVJEVICH V. Design of network for monitoring water quality. 4th ed. Water Resources Publications, Michigan. 1983. 328p.

SANTOS, I., FILL, H. D., SUGAI, M. R. V. B., BUBA H., KISHI, R. T., MARONE, E., LAUTERT, L. F., Hidrometria Aplicada. Ed. LACTEC – Instituto de Tecnologia para desenvolvimento. Curitiba, 2001. 372p.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM); Disponibilidade Hídrica do Brasil – Estudos de Regionalização nas Bacias Hidrográficas Brasileiras, Tabela de equações para regiões homogêneas: Regionalização da Q95 da Sub-bacia 58. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em <http://www.ceivap.org.br/arqforum/Cohidro/Ativ-601604-rev1-dez13.pdf>; Acesso em 27 jan. 2015.

SHARP, W. E. A topographical optimum water sampling plan for rivers and streams. *Water Resour. Res.* v.7, p.1641-1646, 1971.

VIEIRA, M. R.; GENERINO, A. M.; SILVEIRA, R. B. O. Método de alocação de pontos para monitoramento da qualidade de águas superficiais utilizado na RNQA. *Anais do Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*. Natal, 2014.

Contribuição dos autores

Marcelo Wangler de Avila: Elaboração da metodologia do trabalho, desenvolvimento de modelo conceitual, tratamento de dados descritivos e analíticos, interpretação dos resultados e fechamento do texto.

Mônica de Aquino Galeano Massera da Hora: Elaboração da metodologia do trabalho, tratamento de dados descritivos e analíticos, desenvolvimento de modelo conceitual e fechamento do texto.

Celso Rosa de Avila: Desenvolvimento de modelo conceitual e fechamento do texto.

Fabrcio Vieira Alves: Coleta de dados e fechamento do texto.

Matheus Marinho de Faria: Coleta de dados e fechamento do texto.

Maurrem Ramon Vieira: Desenvolvimento de modelo conceitual.