

INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
FLUMINENSE

Secretaria de Educação
Profissional e Tecnológica

Ministério
da Educação



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MODALIDADE PROFISSIONAL

**AVALIAÇÃO DE REDES DE MONITORAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS:
ESTUDO APLICADO ÀS ÁGUAS SUPERFICIAIS NA BACIA DO RIO MACAÉ.**

CAROLINA CLORIS LOPES BENASSULY

CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ

2009

CAROLINA CLORIS LOPES BENASSULY

**AVALIAÇÃO DE REDES DE MONITORAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS:
ESTUDO APLICADO ÀS ÁGUAS SUPERFICIAIS NA BACIA DO RIO MACAÉ.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense de Educação, Ciência e Tecnologia e como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, na área de concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Gestão Ambiental Participativa.

Orientadora: Professora D.Sc. Maria Inês Paes Ferreira (Doutora em Ciência e Tecnologia de Polímeros, IMA/Universidade Federal do Rio de Janeiro).

Co-orientador: Professor D.Sc. Jader Lugon Junior (Doutor em Modelagem Computacional, IPRJ/Universidade Estadual do Rio de Janeiro).

CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ

2009

BENASSULY, CAROLINA CLORIS LOPES

Avaliação de redes de monitoramento de recursos hídricos: estudo aplicado às águas superficiais na bacia do rio Macaé. [Campos dos Goytacazes] 2009.

100f.

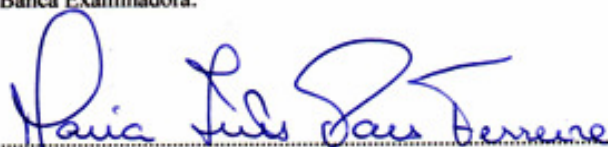
Dissertação de Mestrado – Instituto Federal Fluminense de Educação, Ciência e Tecnologia, Programa de Pós- Graduação em Engenharia Ambiental

1. Gestão participativa dos recursos hídricos 2. Rede de monitoramento
3. Entropia 4. Bacia hidrográfica do rio Macaé

Dissertação intitulada *Avaliação de redes de monitoramento de recursos hídricos: estudo aplicado às águas superficiais na bacia do rio Macaé*, elaborada por Carolina Cloris Lopes Benassuly e apresentada publicamente perante a Banca Examinadora, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, na área de concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Gestão Ambiental Participativa do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense.

Aprovada em 13 de novembro de 2009.

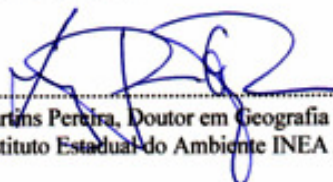
Banca Examinadora:



.....
Maria Inês Paes Ferreira, Doutora em Ciência e Tecnologia de Polímeros / IMA - Universidade Federal do Rio de Janeiro/ Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia Fluminense IFF.



.....
Jader Lugon Junior / Universidade Estadual do Rio de Janeiro / Doutor em Modelagem Computacional, IPRJ/Universidade Estadual do Rio de Janeiro / Instituto Federal Fluminense de Educação Ciência e Tecnologia.



.....
Luiz Firmino Martins Pereira, Doutor em Geografia / Universidade Federal Fluminense/ Presidente do Instituto Estadual do Ambiente INEA / RJ.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder a vida e por me abençoar a cada instante.

Em especial à minha mãe, Joana d'Arc, pelo amor e apoio incessantes e ao meu marido, Luiz Monteiro, pela paciência e companheirismo.

Ao meu pai, Creoncedes, a tia Jussara e toda a família, pois sei que mesmo longo, vibram por mim.

À minha orientadora, Maria Inês, pela orientação constante, pelo carinho e por ter sido fundamental na minha formação acadêmica.

Aos professores Jader Lugon, Vicente e José Augusto, pela atenção e contribuições a este trabalho.

A todos os amigos de Glicério, ao amigo Edinho e amiga Maíra, à minha Madrinha Rocio, pelas aventuras na natureza e inesquecíveis momentos de lazer e diversão.

Aos companheiros de trabalho, José Carlos, Gláucia Terra e Lincoln Weinhardt, pelo apoio, oportunidades e contribuição em meu crescimento profissional.

RESUMO

BENASSULY, C.C.L. Avaliação de redes de monitoramento de recursos hídricos: estudo aplicado às águas superficiais na bacia do rio Macaé. 2009. 88f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós- Graduação em Engenharia Ambiental, Instituto Federal Fluminense de Educação, Ciência e Tecnologia, 2009.

Palavras-chave: gestão participativa dos recursos hídricos, rede de monitoramento, entropia, bacia hidrográfica do rio Macaé.

A gestão integrada dos recursos hídricos só é possível através das informações do comportamento dos fenômenos hidrológicos em uma bacia hidrográfica, de forma a atender aos seus usos múltiplos e ao mesmo tempo permitir o controle e a preservação desse recurso. Essas informações são geradas pelo monitoramento dos recursos hídricos e a eficácia deste depende em especial de um projeto e operação adequados de sistemas de informações, que consiste na aquisição, tratamento, análise e utilização da informação obtida. A rede de monitoramento formada pelas estações deverá ser adequada aos seus objetivos e ser ótima em sua locação. Os dados gerados devem permitir modelar o comportamento hidrológico na bacia, possibilitando a interpolação dos dados de forma que se obtenha a informação desejada em quaisquer pontos da bacia. Pretende-se reunir os conceitos e métodos que norteiam a estruturação e avaliação de redes de monitoramento para águas superficiais. Dentre os métodos, selecionou-se a aplicação do conceito de entropia para analisar as séries históricas das estações em operação na bacia do Rio Macaé, quanto à redundância das informações transmitidas pelas estações e a relevância de tais informações. A importância do Rio Macaé se justifica por ser responsável pelo abastecimento público e industrial de toda a cidade de Macaé, a qual produz cerca de 80% de todo o petróleo nacional. Como resultado apresenta-se a alta relevância das estações do alto curso da bacia e a necessidade de adensamento da rede para as regiões sem dados.

ABSTRACT

The management hidrologic resuorce, it is only possible through information about the behavior of the phenomena hidrologic on the hidrologic basin. For the developing management taking it is multiple uses and the same time to permit the control and preversing this resources. This information is carried out by monitoring especially depend on the projet of the information system and it is operation. Data acquisition, manipulation, analysis, as well as the use of the generaled information. The network composed by these station should be enough for generating suitable information for giving support to the multiple porposes as well as being optimally located. The data generated should allow satisfactory modeling of the basin, independtily of the existence of monitoring points at specific sections, such as to ensure information at those points. To obtain criteria to define the project of the monitoring network, cetering the study in surficial water. Among these method to select based on the entropy concept, to analysis of the history series on the station at operation, on the river Macaé basin, as well as redundancy of the information sending from these stations, and the outstanding of these information, the importance of the Macaé river it is justifiable for being responsible to supply people and industry entirely in the Macaé city, which producing around 80 percent at nacional petroleum. It is result to show the high relevancy of the monitoring station on the high course in the basin, and the necessity of more station for region without data generated.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Macaé (RJ).....	23
Figura 2: Vegetação do alto curso da bacia hidrográfica do rio Macaé	24
Figura 3: Escarpas Serranas de Macaé	27
Figura 4: Perfil longitudinal do Rio Macaé	29
Figura 5: Áreas de pastagem e forte assoreamento do leito do rio.....	30
Figura 6: Degradação da margem do rio Macaé, em Águas de Santa Luzia.....	34
Figura 7: Cartograma dos Pontos de Captação para Consumo Humano na Bacia do Rio Macaé.....	38
Figura 8: Assoreamento dos pontos de captação de água em Macaé.....	38
Figura 9: Pontos de amostragem da qualidade da água com os respectivos IQA	41
Figura 10: Cartograma da qualidade atual do Rio Macaé baseado na conformidade dos parâmetros analisados com a Resolução CONAMA n. 357/2005	42
Figura 11: Cartograma da proposta preliminar de enquadramento do Rio Macaé baseado na avaliação da qualidade e dos usos da água	43
Figura 12: Gráficos de totais mensais pluviométricos do ano de 2007	45
Figura 13: Totais anuais precipitados, ano 1998 a 2008 na estação Fazenda Oratório.....	45
Figura 14: Média de totais mensal precipitados, ano 1998 a 2008 estação Faz. Oratório	46
Figura 15: Cartograma das Estações de Monitoramento Fluviométrico na Bacia do Rio Macaé	56
Figura 16: Estação Fluviométrica Galdinópolis	56
Figura 17: Cartograma das Estações de Monitoramento Pluviométrico na Bacia do Rio Macaé.....	58
Figura 18: Estação Pluviométrica de Galdinópolis	58
Figuras 19, 20 e 21: Identificação de Distribuição Individual das estações analisadas no alto curso da Bacia do Rio Macaé	80
Figura 22: Histograma da distribuição de frequências da estação Macaé de Cima	81
Figura 23: Hierarquização final das estações, com o mínimo transporte de informações	82
Figura 24: Problemas com o sensor automático na estação Macaé de Cima	83
Figura 25: Cartograma da Rede de Monitoramento proposta para a bacia do rio Macaé	88

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Municípios da Bacia do Rio Macaé	23
Quadro 2: Usos e Ocupação da Terra Na Bacia do Rio Macaé Baseado em Unidade de Paisagem	34
Quadro 3: Principais usuários da água para consumo humano	37
Quadro 4: Outorgas para uso industrial e abastecimento humano	37
Quadro 5: Estações Fluviométricas existentes, ativas e inativas na bacia do rio Macaé	55
Quadro 6: Estações Pluviométricas existentes, ativas e inativas na bacia do rio Macaé	57
Quadro 7: Recomendações de densidade mínima de estações fluviométricas.....	64
Quadro 8: Recomendações de densidade mínima de estações de qualidade da água	64
Quadro 9: Hierarquia de estações pela entropia própria	81
Quadro 10: Estações da rede de monitoramento proposta para a bacia do rio Macaé	87

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE QUADROS	10
1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 A implementação dos instrumentos de gestão e o processo decisório.....	16
2.2 Caracterização ambiental da bacia hidrográfica do rio Macaé.....	22
2.2.1 Solos e vegetação.....	24
2.2.2 Geomorfologia e usos e ocupação da terra.....	25
2.2.3 Avaliação da qualidade e dos usos preponderantes da água.....	35
2.2.4 Aspectos climáticos.....	43
2.3 Comportamento estatístico das vazões fluviais.....	46
2.4 Redes de monitoramento.....	51
2.4.1 Rede de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Macaé.....	53
2.4.2 Objetivos da rede de monitoramento.....	59
2.4.3 Métodos e procedimentos para estruturação da rede de monitoramento	62
2.4.3.1 Métodos e procedimentos para localização das estações.....	62
2.4.3.1.1 Método utilizando o conceito de entropia.....	67
2.4.3.2 Métodos e procedimentos para determinação da frequência de amostragem.....	70
2.4.3.3 Determinação das variáveis a serem monitoradas.....	71
2.4.3.4 Determinação do período de amostragem.....	72
2.4.4 Definição do método ou do sistema de análise dos resultados.....	72
3 METODOLOGIA.....	73
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	77
4.1 Seleção do método e das estações analisadas.....	77
4.2 Análise da série temporal	78
4.3 Cálculo da entropia e hierarquização das estações.....	81
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	90
6 BIBLIOGRAFIA	91
APÊNDICE A	20

1. INTRODUÇÃO

A água representa um recurso imprescindível para o metabolismo e para o desenvolvimento de atividades humanas, e igualmente indispensável na manutenção do equilíbrio ecológico (LIMA, 2004). Contudo, pesquisas demonstram que mais de um bilhão de pessoas não conseguem saciar suas necessidades básicas associadas a água, por falta de sua disponibilidade. Em um futuro próximo, cerca de 5,5 bilhões de pessoas estarão vivendo em áreas com moderada ou com séria falta de água, como nos diz TUNDISI (2003).

Nesse panorama, e alinhado ao contexto internacional de sustentabilidade, foi sancionada, em 08 de janeiro de 1997, a Lei nº 9.433, cujo principal objetivo é assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos. Esta lei traz inovações significativas.

Os autores Guivant e Jacob (2003), ao analisarem a legislação acima citada, concluem que essa lei propõe uma política participativa e um processo decisório mais aberto aos diferentes atores sociais vinculados ao uso da água, dentro de um contexto mais abrangente de revisão das atribuições do Estado, do papel dos usuários e do próprio uso da água, criando com isso, o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos. Esse fato demonstra que a água deixa de ser considerada exclusivamente uma questão técnica, externa à sociedade, um recurso infinito e de exclusiva competência de peritos.

Nesse sentido, o modelo de gestão brasileiro foi construído pautado em uma estrutura institucional, alicerçado nos Comitês de Bacias (órgão colegiado consultivo e deliberativo) e respectivas Agências de Águas (os “braços executivos” desses comitês). Nesse contexto, Guivant e Jacobi (2003) citam como um dos principais aspectos da legislação brasileira sobre recursos hídricos a importância atribuída aos dados e aos estudos básicos como as peças mais importantes ao processo de tomada de decisões. Entretanto, para Abers & Jorge (2005), a maioria dos estados carece de capacidade técnica em aspectos cruciais para a operacionalização das decisões dos comitês, tais como a implantação de sistemas relativos à outorga, às informações, ao monitoramento e à fiscalização (ABERS & JORGE, 2005).

Para Portela (2005), a Bacia do Rio Macaé é uma das primeiras no Estado do Rio de Janeiro a implementar seu sistema de gestão, em decorrência da organização política das instituições ambientalistas atuantes ao longo do processo de formação do Consórcio de Municípios (atual Delegatária), do Pró-Comitê e do Comitê da Bacia do Rio Macaé.

Dentre todo esse arcabouço técnico e político, a Política Nacional de Recursos

Hídricos somente será executada quando houver a implementação e a operação de seus instrumentos de gestão. O funcionamento desses instrumentos está atrelado às informações fornecidas pelas redes de monitoramento adequadamente estruturadas. Tais informações servem de base tanto para a elaboração do Plano de Bacia como para o acompanhamento da sua execução. De acordo com Gontijo Jr. (2007) “sem dados e informações relativas aos recursos hídricos, e sem o acompanhamento do desenvolvimento dos seus aspectos quali-quantitativos não se pode diagnosticar, prever ou verificar a evolução da gestão dos recursos hídricos”.

Além do Plano de Bacia, que é um documento mais abrangente para a gestão, outros instrumentos também dependem dos dados que traduzem as condições e características do rio, sejam eles: i) o enquadramento¹, que necessita de constante monitoramento quanto ao alcance das metas temporais e espaciais de qualidade, nele fixadas. ii) a outorga², cujo cumprimento das condições previstas deve ser monitorado e fiscalizado pelos poderes públicos concedentes. É importante enfatizar que a aplicação da cobrança pelo uso da água está vinculada à outorga. Desta forma, é imprescindível que haja o monitoramento das informações hidrológicas e o constante balanço entre a disponibilidade hídrica e as demandas pelos usos. Para tanto, a instalação de redes de monitoramento dos cursos d'água, que produzem informações básicas e de referência à implementação dos mecanismos e critérios adequados ao alcance dos objetivos de cada um dos instrumentos torna-se indispensável e estratégica.

Nessa perspectiva, o conhecimento do comportamento hidrológico das águas superficiais é o instrumento básico para o gerenciamento dos recursos hídricos em qualquer país. A fim de se obter as informações pertinentes é necessário que exista uma rede de monitoramento dos rios, preferencialmente com longo tempo de operação ininterrupta, que possa coletar informações suficientes ao atendimento dos diversos objetivos (TUCCI, 2004).

Para Gontijo Jr. (2007), a aplicação da política nacional atual, que enfatiza os fundamentos de garantia dos múltiplos usos da água, de descentralização da gestão e de definição da bacia hidrográfica como unidade de planejamento, se torna importante ao balizamento da definição dos objetivos da rede de monitoramento.

Segundo Magalhães Jr. *apud* Lima (2004), o monitoramento da água deve ser visto

1 O enquadramento é a classificação do corpo hídrico em determinado padrão de qualidade em que os usos sejam compatíveis ao padrão estabelecido.

2 A outorga autoriza o direito de uso dos recursos hídricos, garantindo acesso à água de acordo com os seus usos múltiplos.

como um processo essencial à implementação dos instrumentos de gestão das águas e é uma ferramenta básica à investigação dos processos naturais e das interferências da ação antrópica no meio ambiente, já que possibilita a obtenção de informações estratégicas, o acompanhamento das medidas efetivadas, a atualização dos bancos de dados e o direcionamento das decisões. Assim sendo, observa-se a importância do monitoramento das águas, uma vez que, nos processos decisórios a solução a se adotar será, provavelmente, tão melhor quanto mais acurado o conhecimento da bacia de interesse. Para tanto, uma rede de monitoramento deverá estar adequada a fornecer as informações para a implementação e o acompanhamento da eficácia desses instrumentos de gestão (GONTIJO, 2007).

Com vistas ao ideal tratamento e compartilhamento dos dados produzidos, um Sistema de Informações deve ser cuidadosamente planejado e operado. As informações necessárias para a tomada de decisão devem ser sistematizadas em um sistema estruturado de modo a considerar o meio ambiente de forma holística, ou seja, o conjunto dos meios físico, antrópico e sócio-econômico, a fim de possibilitar o monitoramento das ações do homem sobre o ambiente e as respostas deste, na forma de impactos, considerando-se a fragilidade do sistema ambiental. (SOARES, 2001).

Como defende Gontijo Jr. (2007), as redes de interesses locais devem ser direcionadas ao acompanhamento das necessidades expressas nos planos de recursos hídricos de suas respectivas unidades (planos de bacia) e que atendam às demandas nas escalas mais adequadas para sua gestão. Em concordância com o autor, o Termo de Referência para elaboração do Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Macaé e das Ostras, aprovado pela Resolução CBH Macaé e Rio das Ostras n° 07 de 4 de março de 2008, estabelece como primeira fase do estudo, o diagnóstico e o prognóstico. Alinhado a esses fatores, o presente trabalho visa contribuir para a elaboração do Plano de Bacia, no que tange à avaliação dos dados produzidos pelas estações de monitoramento existentes no rio Macaé, inclusive na verificação da redundância dos dados transmitidos, de forma a otimizar a localização dessas estações. Espere-se dessa forma auxiliar na melhor manipulação das informações da bacia. Cabe ressaltar a indicação do Termo de referência: “utilização de informações contidas em trabalhos já realizados por entidades públicas (federais, estaduais e municipais) e privadas”, as quais não estão disponíveis de forma sistematizada e/ou atualizada para a bacia em estudo.

A relevância das redes de monitoramento é mostrada também no trabalho de Pinheiro (2008), no qual foram avaliados os usos preponderantes e a qualidade da água da bacia em estudo. Como resultados e recomendações, a autora descreve a qualidade da água

em trechos determinados do rio Macaé e recomenda a continuidade do monitoramento com a finalidade de aumentar a confiabilidade das informações apresentadas. Este trabalho destaca que o monitoramento é fundamental inclusive para compor uma série de dados representativos da realidade e da evolução da qualidade da água da bacia, além de fornecer subsídios para o enquadramento do corpo hídrico. Recomenda-se ainda a expansão da rede de monitoramento para sub-bacias, além de ressaltar que os dados de qualidade da água devem ser consolidados e relacionados aos dados de vazão do corpo hídrico.

A importância do rio Macaé está atribuída à sua capacidade de abastecer toda a cidade de Macaé, para diversos usos, dentre os quais: abastecimento público, agricultura, geração de energia e a indústria de petróleo. Macaé foi a cidade escolhida para sediar as operações *onshore* de apoio à atividade *offshore* de produção de petróleo e gás na Bacia de Campos, produção esta que representa 80% da produção nacional (ANP, 2008). Assim, a saúde do Rio Macaé é fator fundamental para a economia nacional, na qual a rede de monitoramento produz as informações cruciais para as tomadas de decisão no gerenciamento desse rio.

Desta forma, o presente estudo espera cobrir parte da lacuna existente no gerenciamento dos recursos hídricos na bacia do rio Macaé, principalmente no que tange a geração e interpretação das informações pertinentes à referida bacia, contribuindo com a construção do Sistema de Informações de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Macaé. Embora tais elementos possam subsidiar as ações do Comitê, sem o envolvimento das representações e sem vontade política considera-se inviável a sua execução. O objetivo geral do trabalho é fornecer informações necessárias à operação adequada de Redes de Monitoramento na Bacia Hidrográfica do Rio Macaé com vistas a apoiar ações de gestão no âmbito de seu Comitê. Destacando-se os seguintes objetivos específicos: i) investigar o número e o local de pontos e/ou de redes meteorológicas, fluviométricas e de qualidade da água existentes e/ou projetadas para a bacia; ii) indicar os métodos mais adequados para o estabelecimento de uma rede ótima de monitoramento para a Bacia do Rio Macaé, a partir dos objetivos elencados por especialistas e representações do CBH Macaé e das Ostras, em consonância com métodos estabelecidos na literatura; iii) construir indicativos para implantação e/ou otimização do sistema de monitoramento que subsidiem a tomada de decisões na bacia em estudo.

Essa dissertação está estruturada em seis capítulos. A revisão bibliográfica permitiu discorrer brevemente sobre a gestão integrada dos recursos hídricos e os critérios para implementação e aplicação dos instrumentos de gestão, ressaltando a dependência desses

instrumentos quanto à geração das informações que retratam o comportamento do rio. A seção 2.2 apresenta a caracterização ambiental da bacia em estudo, ressaltando-se sua geomorfologia, usos e ocupação do solo e usos e qualidade da água, como forma de análise prévia desses fatores e suas inter-relações pertinentes ao monitoramento hídrico. Assim, o comportamento estatístico foi abordado com vista a embasar o conhecimento da dinâmica fluvial. A revisão bibliográfica também reúne os principais métodos e procedimentos em literatura para o projeto e/ou avaliação de redes de monitoramento, buscando-se selecionar o que melhor se adéqüe ao estudo proposto para a bacia do rio Macaé. No capítulo 3 é possível acompanhar a metodologia adotada nesse trabalho.

Por fim, no capítulo 4 são apresentados os resultados da aplicação do método utilizando o conceito de entropia, enfatizando a relevância das estações em operação no alto curso da bacia, priorizadas em função da transmissão da informação. O capítulo 5 destinou-se a algumas conclusões e recomendações e o capítulo 6 traz as bibliografias consultadas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A implementação dos instrumentos de gestão e o processo decisório

O gerenciamento de recursos hídricos visa solucionar conflitos resultantes do uso intensivo da água, resultado do crescimento econômico e populacional, bem como assegurar que a água, recurso natural, finito e insubstituível à vida, se mantenha com oferta adequada e preserve as funções hidrológicas, biológicas e químicas dos ecossistemas (CRUZ, 2001).

Instituída em 1997, a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433/1997), demonstra a importância da água, a reconhece como um bem dotado de valor econômico, e estabelece ainda, a necessidade da gestão integrada e da participação social (MMA, 2006).

A gestão integrada e a participação social são frutos de um processo de descentralização política no sentido de democratizar as políticas públicas. Defensores da descentralização argumentam que essa nova alocação de poder decisório implica, dentre outros benefícios, em um mecanismo de democratização, tendo em vista que a sociedade local terá maior capacidade de controlar as decisões políticas em seu nível. Porém quando estas instituições não têm capacidade técnica ou administrativa de deliberar ou de executar efetivamente, a eficiência do processo fica comprometida (ABERS e JORGE, 2005).

A lei 9.433/1997 define os instrumentos adequados para a gestão das águas, seguindo padrões já estabelecidos em outros países, principalmente da França. Esses instrumentos são atrelados às informações geradas através do monitoramento dos recursos hídricos. Portanto, é indispensável que os Comitês de Bacias Hidrográficas disponham de informações adequadas para o processo decisório, que é em si, conflitante. São os instrumentos (BRASIL, 1997; RIO DE JANEIRO, 1999 e 2007; MAGALHÃES Jr., 2001; GUIVANT e JACOBI, 2003; ABERS & JORGE, 2005; CHB MACAÉ, 2008; PINHEIRO, 2008):

O Plano Nacional de Recursos Hídricos: é um plano diretor que visa a fundamentar e a orientar a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos. A nível de bacias hidrográficas, os Planos Diretores de Bacia Hidrográfica (PBH), além de apresentarem um diagnóstico da situação dos recursos hídricos e seus prognósticos, estabelecem diretrizes para a implementação dos instrumentos de gestão, e propõe indicadores de desempenho do planejamento, apresentando inclusive uma proposta de organização social e institucional direcionada para o gerenciamento dos recursos hídricos da bacia. Todos os PBH deverão estabelecer as vazões mínimas a serem garantidas em diversas seções e estirões

dos rios, capazes de assegurar a manutenção da biodiversidade aquática e ribeirinha, em qualquer fase do regime.

O enquadramento visa o planejamento estratégico, que constitui, de certa forma, uma classificação que permite a destinação de volumes de água de determinado padrão de qualidade a usos cuja exigência seja compatível com esse padrão;

A outorga de direito de uso dos recursos hídricos: tem por objetivo disciplinar, assegurar, harmonizar e controlar os usos da água, garantindo a todos os usuários o acesso à água de forma compatível com os usos múltiplos, a preservação dos ecossistemas e a proteção contra os efeitos da superexploração, rebaixamento do nível piezométrico e contaminação dos aquíferos. O usuário recebe a permissão ao direito de uso pelo poder outorgante com a dominialidade da água. Com esta outorga pretende-se que o usuário racionalize o uso dos recursos hídricos.

A cobrança, além de ser um importante meio de gerar recursos ao Comitê para a promoção da gestão da água em cada bacia, possui caráter pedagógico a medida que tenta disciplinar o usuário. A aplicação do princípio "poluidor-pagador" é, portanto, um dos princípios que aumentam a importância e a responsabilidade dos Comitês de Bacia, principalmente considerando as dificuldades potenciais nesta fase de transição na qual os Comitês ainda "aprendem" seus mecanismos de funcionamento.

Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos: programa encarregado de coletar, organizar, analisar e difundir o banco de dados relativo aos recursos hídricos e aos seus usos, o balanço hídrico de cada manancial e de cada bacia e propiciar as informações necessárias para a tomada de decisão pelos gestores, sociedade civil e outros usuários com as condições necessárias para opinar no processo decisório.

O estabelecimento da Faixa Marginal de Proteção - FMP dos rios, pelos órgãos gestores, não tem sido citada entre os instrumentos de gestão. A definição da FMP dos cursos d'água depende da estimativa das vazões de cheia em cada local, para que possa ser preservada a calha fluvial e garantida a seção hidráulica necessária para a passagem dos volumes durante esses eventos (SALGUEIRO, 2005).

A implementação desses instrumentos de gestão, fortemente interdependentes e complementares do ponto de vista conceitual, demanda não somente capacidades técnicas, políticas e institucionais, mas requer também tempo para sua definição e operacionalização,

pois sua implantação é, antes de tudo, um processo organizativo social, o qual demanda a participação e a aceitação por parte dos atores envolvidos, dentro da compreensão de que haverá um benefício coletivo global (PEREIRA e JOHNSON, 2005).

Como já mencionado, a outorga de uso é um dos instrumentos de suporte para a gestão dos recursos hídricos. O sistema de outorga deve compatibilizar duas grandezas fundamentais: a disponibilidade hídrica (oferta) e a demanda. A gestão da demanda tem por objetivo racionalizar e disciplinar o uso, evitando ou equacionando situações de conflito, e pode ser estimada a partir do cadastramento de usuários, que é dinâmico e contínuo no tempo.

Além de variar muito no tempo e no espaço, a disponibilidade hídrica de um curso d'água, para ser estimada, exige o conhecimento do comportamento hidrológico da bacia hidrográfica a partir de dados fluviométricos ou de estudos que utilizem modelos hidrológicos. Isso pressupõe o monitoramento contínuo das variáveis indicadoras da sua disponibilidade, com registros dos níveis da água e vazões ocorrentes nos rios, do registro das precipitações e do conhecimento das condições climáticas. Assim, a quantidade de água que poderá ser outorgada depende da estimativa da disponibilidade hídrica, dentre outros critérios. A escolha da variável que caracteriza a disponibilidade constitui também uma questão não bem resolvida no processo evolutivo das novas questões relativas à proteção dos recursos hídricos, onde os Estados fixam diferentes padrões de referência (CRUZ, 2001; SILVA, *et. al.*, 2006; ARNÉZ, 2002).

O trabalho de Cruz (2001) se concentrou na fase de planejamento do processo de outorga, com ênfase na avaliação de aspectos técnicos e conceituais que embasam as etapas relativas à (i) avaliação de disponibilidades hídricas para outorga, definidas por curvas de permanência de vazões, considerando os aspectos de variabilidade, sazonalidade, aleatoriedade e erros de estimativas; (ii) gerenciamento da outorga, considerando o atendimento da demanda, bem como a avaliação da influência de diferentes aspectos no atendimento da demanda e na conservação ambiental, através do balanço hídrico do sistema.

Ainda de acordo com Cruz (2001), um programa visando à implantação de outorga de uso dos recursos hídricos pode ser caracterizado por duas fases: a de planejamento e a operacional. A fase de planejamento abrange aspectos relativos à avaliação do processo de outorga com balanço hídrico de forma integrada. O escopo dessa fase apresenta aspectos relativos à (i) avaliação de disponibilidade hídrica; (ii) caracterização da variabilidade, da sazonalidade e da aleatoriedade do comportamento hidrológico, que são informações que devem estar associadas à própria definição da disponibilidade hídrica, através de suas

estatísticas e intervalos de confiança; (iii) discretização da rede de drenagem em trechos de gerenciamento em função não somente das características físicas do sistema, mas também de particularidades econômicas e sociais regionais; (iv) uso de modelos simplificados para a estimativa de vazões em seções sem dados de referência para outorga. Dentre os métodos, o de proporção de áreas, os interpolativos e os de regionalização constituem-se em técnicas expeditas com ampla utilização, que merecem ser avaliadas quanto à sua aplicabilidade, para suprir a deficiência de dados e estimar a disponibilidade hídrica para a outorga; (v) otimização da distribuição da vazão disponível entre a demanda requerida e projetada para cenários futuros; (iv) probabilidades de não atendimento da demanda. A regionalização de vazões consiste num conjunto de ferramentas que busca determinar as características hidrológicas de determinadas bacias, nas quais os dados hidrológicos não são disponíveis, tendo por base o comportamento estatístico de informações existentes e sua correlação com aspectos físicos e climáticos. A regionalização é utilizada para a determinação de equações que visam descrever o comportamento de vazões máximas, médias, mínimas e curvas de permanência (TUCCI, 2007).

A fase operacional se refere aos procedimentos que culminam com a instrução do processo de outorga por parte do poder concedente e se caracteriza por atividade intensa e expedita, que envolve a totalidade dos usuários de uma bacia.

No estado do Rio de Janeiro, o Instituto Estadual do Ambiente (INEA)³ é o atual órgão responsável pelo cadastramento dos usuários que possuem outorga no Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNARH), de modo que o INEA mantém permanente articulação com a ANA com a finalidade de constituir e manter o cadastro unificado de usuários de água que comporte informações sobre a totalidade dos usuários cujas atividades se situem nos limites do Estado do Rio de Janeiro, independente da dominialidade do(s) seu(s) uso(s) (RIO DE JANEIRO, 2007).

Para fins de cálculo de disponibilidade hídrica, o estado do Rio de Janeiro estabeleceu, por meio da Portaria Serla nº 567, de 07 de maio de 2007:

“será utilizada a vazão de referência “ $Q_{7,10}$ ”, definida como a vazão mínima de 7 dias de duração e 10 anos de tempo de retorno, sendo a vazão ambiental mínima a ser mantida no corpo hídrico definida

³ O Instituto Estadual do Ambiente (INEA) foi criado através da Lei nº 5.101, de 04 de outubro de 2007. O novo instituto, instalado em 12 de janeiro de 2009, assume as atribuições e competências dos três órgãos ambientais vinculados à Secretaria de Estado do Ambiente (SEA): a Fundação Estadual de Engenharia e Meio Ambiente (Feema), a Superintendência Estadual de Rios e Lagoas (Serla) e o Instituto Estadual de Florestas (IEF).

como 50% da $Q_{7,10}$.”

O estabelecimento dos critérios de outorga de direito de uso das águas, além de estar vinculado à disponibilidade hídrica, é dependente das particularidades jurídicas, sociais, ambientais e econômicas de cada região, tais como os diferentes tipos de usuários e as diferentes prioridades entre eles. (SILVA *et. al.*, 2006; CRUZ, 2001). Logo, compete ao detentor do domínio, União ou Estados, respeitados os critérios jurídicos de outorga de uso do bem, definir os critérios técnicos que atendam as características e peculiaridades de cada bacia hidrográfica na defesa da sustentabilidade do recurso. No caso da bacia em estudo, cabe ao órgão estadual responsável pela gestão da respectiva bacia hidrográfica, o INEA, definir tais critérios.

Para sua implementação, a outorga demanda inclusive do sistema de informações de dados relativos à disponibilidade hídrica e de qualidade, os quais, juntamente com o cadastro de usuários, constituem insumos fundamentais para o seu exame e concessão. O sistema de informação tem como objetivo principal o de produzir, sistematizar e disponibilizar dados e informações que caracterizam as condições hídricas da bacia em termos de quantidade e qualidade da água nos diversos usos, e em termos das condições do ecossistema, traduzido pelas pressões antrópicas nela existentes (PEREIRA e JOHNSON, 2005).

No estado do Rio de Janeiro, os dados gerados pelos órgãos integrantes do Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos (SEIRHI), quando implementado, serão integrados ao Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. Os princípios básicos para o funcionamento desse sistema são a descentralização na obtenção e produção de dados e informações; a coordenação unificada do sistema; e a garantia de acesso aos dados e informações, para toda a sociedade (RIO DE JANEIRO, 1999). Entretanto a mobilização da sociedade civil precisa ser alcançada, o que requer, o estabelecimento de uma estratégia para estimular a formação de associações de usuários, associações técnicas e de ensino, associações profissionais, associações de moradores e ONGs (LUCHINI, SOUZA e PINTO, 2003). O direito à informação inscreve-se como um dos postulados básicos do regime democrático, essencial ao processo de participação da comunidade no debate e nas deliberações sobre assuntos de seu interesse (MILARÉ, 2000).

A nível nacional, a Agência Nacional das Águas (ANA) desenvolveu o HidroWeb, que é um aplicativo de banco de dados do tipo cliente/servidor. Seus principais objetivos são: i) permitir o gerenciamento de uma base de dados hidrometeorológicos, armazenada centralizadamente em um banco de dados relacional; ii) permitir a entrada de dados por

parte das entidades que operam uma rede hidrometeorológica; iii) calcular funções hidrometeorológicas básicas; e iv) visualização de dados (gráficos, imagens etc.) (ANA, 2009).

No Estado de São Paulo também não existe um Sistema Estadual de Informações de Recursos Hídricos. As informações disponíveis encontram-se dispersas em inúmeros boletins, relatórios e publicações, e em sites de órgãos do governo, ou de instituições de pesquisa e da sociedade civil (BRAGA, 2005).

A tomada de decisão é, em última análise, o objetivo final do sistema de informações. Tais decisões devem ser moldadas pelo pleno conhecimento das informações técnicas existentes e pela avaliação política dos segmentos governamentais e não-governamentais (BRAGA, 2005).

Magalhães Jr. (2001) discute em seu trabalho os fatores que determinam o sucesso do processo decisório. Afirma que esse está diretamente relacionado à quantidade e à qualidade das informações, fatores que possibilitam confiança na formulação de cenários. Como contraponto o autor lista os maiores desafios do processo decisório no Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, dentre eles: a carência de dados hidroambientais e os interesses setoriais, locais e pessoais. O autor destaca ainda os problemas institucionais na gestão ambiental, desde superposição de funções, a falta de diálogo, e até as deficiências no processo de integração inter-setorial. Enfatiza que a maioria das decisões são tomadas em um contexto de elevadas incertezas sobre o futuro, principalmente considerando-se a escassez de informações, e que a utilização otimizada de tais informações vai ao encontro do princípio da precaução, muito defendido atualmente em termos de políticas públicas.

Abers & Jorge (2005) citam quatro fatores que promovem a criação de comitês: i) a possibilidade de que as políticas que estruturam incentivos sejam implementadas (i.e. cobrança); ii) a necessidade generalizada de se criar instâncias de negociação entre múltiplos atores em torno de problemas relacionados à água; iii) a crença no modelo de gestão por bacia; e iv) a crescente legitimidade social e política da gestão participativa. O sucesso da empreitada dos comitês depende de fatores conjunturais como disponibilidade de dados ambientais, necessidade de investimentos financeiros, fiscalização ambiental eficiente, definição clara de papéis institucionais e instrumentos legais, e da mediação de interesses setoriais, locais ou pessoais. É necessário viabilizar os comitês, fornecendo condições que, no caso brasileiro, o contexto sócio-econômico-ambiental realmente desfavorece.

Com a extensão territorial do Brasil, não há como se pensar em atender todas as demandas de dados de interesse local e/ou regional, via somente governo federal. As

demandas são sempre renovadas e exigem uma malha de pontos de coleta de dados cada vez mais extensa. Cabe aos próprios comitês demandarem e providenciarem a geração e o tratamento dos dados de seu interesse local, considerando inclusive as redes de monitoramento regionais, estaduais ou federais.

No tocante a gestão integrada dos recursos hídricos na bacia do rio Macaé pode-se dizer que um grande desafio é a sua confluência de limites políticos-administrativos e ambientais. O Comitê de Bacia Hidrográfica Macaé e das Ostras reconhecido e qualificado pelo Decreto Estadual nº 34.243/03, de 04 de Novembro de 2003 e alterado em conformidade com o disposto na RESOLUÇÃO Nº 18 de 08 de novembro de 2006 do CERHI-RJ atua na Região Hidrográfica VIII do Estado do Rio de Janeiro desde 2003. Este Comitê inclui além da bacia hidrográfica do rio Macaé, a do rio das Ostras e da lagoa Imboassica, contando com representações dos segmentos da sociedade civil, usuários e poder público.

Gontijo Jr. (2007) chama atenção para que o planejamento nacional dos recursos hídricos fomente estudos macrorregionais e informações que permitam a identificação de vazões e dos parâmetros de qualidade das águas no âmbito de bacias. Associado ao referido fomento, o plano deve fornecer as informações e as diretrizes para a rede de interesse nacional e para as redes de interesses locais.

2.2 Caracterização ambiental da bacia hidrográfica do rio Macaé

A bacia hidrográfica do rio Macaé está localizada no Litoral Norte do Estado do Rio de Janeiro, na Região Hidrográfica VII, de acordo com o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH), através da Resolução nº. 18/2006. Dentre as bacias hidrográficas contidas unicamente dentro do Estado, a bacia do Rio Macaé é a de maior extensão, drenando uma área de 1.765 km². Sua calha principal desenvolve-se no sentido oeste-leste, percorrendo cerca de 136 km até desaguar no Oceano Atlântico. A área da bacia abrange seis municípios (Tabela 1): Macaé, que comporta 82% do limite territorial da bacia, com cerca de 1448 km²; Nova Friburgo, onde o rio nasce na serra de Macaé de Cima, a 1.560m de altitude, com 142 km² (8%) da bacia; Casimiro de Abreu com 83 km² da bacia (4,7%); Rio das Ostras com 11 km² da bacia (0,6%); Conceição de Macabu com 70 km² da bacia (4%) e Carapebus com 11 km² da bacia (0,6%).

Município	Área da Bacia (km ²)	Percentual de abrangência (%)
Macaé	1.448	82,0
Nova Friburgo	142	8,0
Rio das Ostras	11	0,6
Casimiro de Abreu	83	4,7
Conceição de Macabu	70	4,0
Carapebus	11	0,6
Total	1.765	100

Quadro 1: Municípios da Bacia do Rio Macaé. Fonte: Elaboração Própria, 2009.

A bacia é limitada ao norte pela bacia do Rio Macabu, um dos principais afluentes da Lagoa Feia, ao sul, pela bacia do Rio São João, a oeste pela bacia do Rio Macacu e a leste pelo Oceano Atlântico. Seus principais tributários são: os Rios Boa Esperança (8,0 km); Bonito (25,0 km); Sana (21,0 km); Ouriço (15,5 km); D'Anta (12,5 km); Purgatório (14,0 km) e São Pedro e os córregos Santiago e Jurumirim. (FGV, 2004a). Em virtude da Usina Hidrelétrica Macabu, o Rio Macabu contribui também para a bacia do Rio Macaé, através da transposição de suas águas para a sub-bacia do Rio São Pedro (CHB MACAÉ e das OSTRAS, 2007).

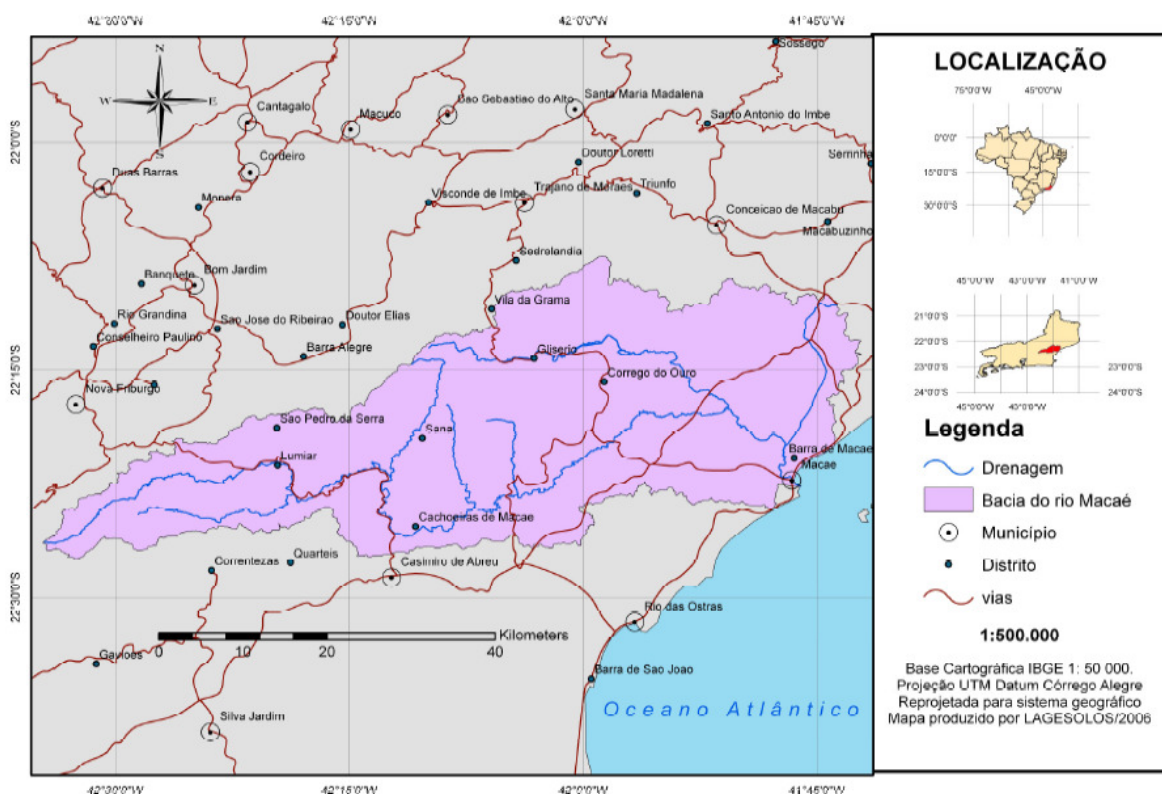


Figura 1: Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Macaé (RJ).
 Fonte: Lagesolos/UFRJ, 2006.

2.2.1 Solos e vegetação

O 2º relatório do Plano Preliminar da Bacia do Rio Macaé (2004) apresenta o diagnóstico pedológico da área em questão. Como resultado apresentou uma diversidade de solos, em um total de 27 unidades de mapeamento, tendo como dominantes os Argissolos, Cambissolos, Latossolos, Gleissolos, Organossolos, Espodossolos e os Neossolos Flúvicos e Litólicos. Do curso médio até a foz do rio Macaé ocorrem solos orgânicos, que apresentam teor variável de matéria orgânica em sedimentos fluvio-lacustres. Caracterizam-se por apresentar o lençol freático sub-aflorante e por serem mal drenados. Nas nascentes e no curso superior do rio predominam os solos aluviais, que possibilitam uso agrícola diversificado, como: arroz, oleicultura e pastagem. No domínio das rochas cristalinas, predominam o Latossolo Vermelho e Amarelo e o Podzólico, ambos mais indicados para pastagens (ECOLOGUS, 2003).

No alto curso da bacia em estudo, na região de Nova Friburgo pode-se encontrar uma das áreas em que a cobertura vegetal está mais conservada, existindo ainda 45% da vegetação original de Mata Atlântica do município, sendo este o quinto município do Rio de Janeiro com a maior área desta formação vegetal preservada, como pode ser observado na Figura 2 (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2008).



Figura 2: Vegetação do alto curso da bacia hidrográfica do rio Macaé.
Fonte: Elaboração própria, 2009.

Um fator relevante em prol da preservação foi a criação da Reserva Ecológica de Macaé de Cima, que auxilia no impedimento à supressão dos remanescentes da Mata Atlântica presentes na área. Nesta parte da bacia, segundo Velloso *et al.* (1991) *apud* Lima (2008), as formações vegetais encontradas são classificadas fitogeograficamente como Floresta Ombrófila Densa Montana e Alto-Montana. Também Bohrer *et al.* (2005) *apud* Lima (2008) citam que a composição florestal da área, além da altitude, sofre a influência da posição da vegetação nas encostas e da declividade dos terrenos, podendo-se encontrar a floresta montana de encosta, ripária e secundária, de transição e floresta alto-montana.

Esta formação, conforme diminuem as cotas altimétricas ao longo do rio, vai ocorrendo de forma mais espaçada, verificando-se na maior parte as florestas secundárias, algumas formadas em áreas remanescentes de pastagens. Ao longo do Rio Macaé observa-se uma expressiva supressão da mata ciliar e encostas cobertas por pastagens (LIMA, 2008).

Em seu trabalho, Lima (2008) explica que a vegetação tem a função de interceptora da chuva, impedindo a ação direta das suas gotas sobre a superfície e mantendo uma parte dessa água no seu dossel, que é liberada de forma gradativa até que permeie pela folhagem. Outra contribuição da vegetação é facilitar caminhos para a água infiltrar no solo por suas raízes, da mesma forma que auxilia na retirada da água através dos processos fisiológicos do vegetal, liberando a água para a atmosfera na forma de vapor. Já os restos vegetais, ao formarem a serrapilheira, atuam como uma camada protetora na superfície, e também como aporte de matéria orgânica, melhorando as propriedades químicas e físicas do solo, tornando os agregados mais resistentes aos processos erosivos. Desta forma, o desmatamento pode influenciar de diversas formas a quantidade de água que chega ao solo e infiltra nele.

Normalmente, além dos impactos do desmatamento as bacias hidrográficas também sofrem os impactos do aumento das áreas urbanas impermeabilizadas, o que tende a diminuir a capacidade natural de infiltração e consequente controle de vazões das bacias, afetando as vazões mínimas e máximas, principalmente nas menores áreas de drenagem (XAVIER, 2007).

2.2.2 Geomorfologia e usos e ocupação da terra

O entendimento da dinâmica geomorfológica de uma bacia hidrográfica é de fundamental importância, tendo em vista que fornece o conhecimento das potencialidades e limitações da referida bacia. Conhecimento este indispensável a uma gestão eficiente, principalmente no tocante à ocupação e ao uso do solo.

A região em estudo apresenta uma diversidade de ambientes que vai desde a Serra do Mar, no limite norte, passando por montanhas, morrotes, morros, colinas, planícies até os cordões litorâneos (FVG, 2004a). Em sua pesquisa, Marçal e Luz (2003), descrevem as unidades morfoesculturais constituintes da bacia do Rio Macaé, que incluem escarpas serranas, maciços costeiros e superfícies aplainadas do litoral leste fluminense, planície aluvial, planície fluvio-lagunar e planície costeira.

Lima *et. al.* (2005) ao realizarem um estudo preliminar da dinâmica de drenagem da bacia do rio Macaé, apresentaram sua configuração geomorfológica, baseada no Mapa Geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro, documento elaborado por Dantas (2001). O baixo curso do Rio Macaé, região a jusante da cota 20m (MARÇAL E LUZ, 2003), está inserido na Unidade Morfoescultural Planície Flúvio-Lagunar (Baixada Litorânea), sendo caracterizada por uma sedimentação de interface entre ambientes continentais e marinhos ou transacionais. A superfície aplainada do litoral leste fluminense consiste numa extensa zona colinosa, com topografia uniforme e topos nivelados de baixa amplitude, de relevo em cotas que variam de 40 a 100m de altitude. A Baixada do Rio Macaé possui extensos fundos de vales pertencentes aos rios Macaé e São Pedro, principal afluente do Rio Macaé pela margem esquerda, preenchidos por sedimentos de origem fluvial e fluvio-lagunar. Os fundos de vales são delimitados pelas colinas baixas da superfície aplainada do litoral leste fluminense ou por colinas isoladas, e as vertentes íngremes situadas no sopé da escarpa da serra de Macaé.

Dantas (2001) afirma que alto curso do rio Macaé está inserido na Unidade Geomorfológica das Escarpas das Serras de Macaé, Macabu e Imbé, que por sua vez se insere na unidade Morfoestrutural do Cinturão Orogênico do Atlântico. De acordo com Alpino *et al.* (2007) a escarpa da serra do mar de Macaé caracteriza-se, a oeste, como um relevo de transição entre a zona montanhosa do alto curso do rio Macaé e o planalto reverso da região serrana e a leste como um relevo de transição entre os terrenos planos e colinas isoladas da planície fluvial à zona montanhosa do alto curso da bacia do rio Macabu. Lima (2008) observou que na região mais elevada da bacia do rio Macaé predominam vertentes retilíneas a côncavas, escarpadas e com topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados, cuja linha de cumeada atinge altitudes entre 1.200 e 1.600m, com picos de 1.900m. A Figura 3 retrata as escarpas serranas de Macaé.



Figura 3: Escarpas Serranas de Macaé. Fonte: Elaboração própria, 2009.

Alpino *et. al.* (2007), desenvolveram uma pesquisa na região do alto curso da bacia do Rio Macaé. O objetivo do trabalho foi caracterizar o relevo da bacia por meio da identificação de classes dos parâmetros controladores da eficiência do processo de drenagem, sejam eles: desnivelamento altimétrico, gradiente da bacia e densidade de drenagem. Os autores justificam que a compartimentação topográfica surge como uma técnica de fundamental importância por facilitar a identificação de áreas mais vulneráveis à ocorrência de determinados processos, como os de erosão do solo e de velocidade da drenagem de água, assim como, por agrupar sub-bacias em classes com características topográficas, ou domínios morfológicos semelhantes.

Conforme demonstrado em Christofolletti (1980), o desnivelamento altimétrico é a diferença entre a maior cota de seu divisor e a cota de sua desembocadura; o valor do gradiente da bacia é o resultado da diferença entre a maior e a menor cota da bacia em questão, dividida pelo seu comprimento, já o comprimento da bacia é definido como sendo a maior distância medida, em linha reta, entre a foz e determinado ponto situado ao longo do perímetro; e a densidade de drenagem é obtida a partir da relação entre o somatório do comprimento dos canais e a área das bacias de drenagem, podendo ser calculada pela equação: $Dd = Lt / A$, onde Dd é a densidade de drenagem (km/km^2); Lt é o comprimento total dos canais (km) e A é a área da bacia considerada (km^2). Bacias com mesmo desnivelamento altimétrico podem possuir comprimentos diferentes e assim, a dinâmica

hidrológica e sedimentológica em cada uma se dará de forma distinta, sendo a bacia com maior gradiente mais vulnerável a processos mais significativos. Já o estudo da densidade de drenagem aponta para a maior ou menor velocidade com que a água escoou pela bacia de drenagem, fornecendo assim, uma indicação da eficiência da drenagem.

A análise conjunta desses parâmetros fornece as bases para o conhecimento da dinâmica da bacia, onde cada parâmetro possui sua interferência no ambiente. Os resultados apresentados apontam para uma área de desnivelamento altimétrico elevado, chegando até 996m em uma determinada sub-bacia, e, aproximadamente, 59,05% das sub-bacias possuem desnivelamento maior que 400m. Essa distribuição de classes de desnivelamento revela a grande tendência dessa bacia em gerar fluxos intensos de seus cursos d'água. O que ameniza a pressão dos processos erosivos é a densidade florestal presente na região, que diminui o impacto da gota no solo, além de produzir matéria orgânica que agregam as partículas do solo, facilitando com isso, o processo de infiltração, que geram respostas mais lentas à vazão do rio. Cerca de 73,23% das sub-bacias possuem gradiente maior que 0,2 e 59,05% possuem uma densidade de drenagem maior que 2,0 km/km², demonstrando a tendência a processos de escoamento da água mais rápido. Segundo Dantas (2001), essas áreas apresentam como limitação os terrenos montanhosos e escarpados. Desse modo, a região em questão possui alta suscetibilidade a processos de erosão e movimentos de massa, sendo inaptos para a urbanização. O estudo dos parâmetros morfométricos surge, portanto, como subsídio ao conhecimento da relação entre o relevo e a dinâmica hídrica da bacia (ALPINO *et al.*, 2007).

Em trabalho realizado por Oliveira *et. al.* (2008) foi possível estudar a geometria do canal do rio Macaé através do levantamento de perfis transversais e longitudinais e do mapeamento das características planimétricas dos canais da rede de drenagem. O trabalho teve como objetivo monitorar a morfologia dos sistemas de drenagem da bacia do rio Macaé, com ênfase no monitoramento da morfologia do canal e dos processos de erosão e sedimentação fluvial; além de levantamentos dos dados pluviométricos e medição das velocidades do fluxo do rio. Foram selecionados sete pontos, de acordo com a geomorfologia da bacia e da posição dos principais afluentes. Mediante os resultados dos perfis da primeira campanha de campo, outubro de 2007, comparados com os perfis da segunda, março de 2008, foi observado uma predominância dos processos erosivos.

De forma complementar, Villas Boas *et. al.* (2008) desenvolveram um pesquisa que objetivou o mapeamento morfométrico da rede de drenagem da bacia do rio Macaé. Os parâmetros abordados foram: o padrão de drenagem e a orientação preferencial do canal principal; a quantidade de canais de cada ordem; a relação de bifurcação; a densidade

hidrográfica; a densidade de drenagem; o comprimento total dos canais de cada ordem; o comprimento médio dos canais de cada ordem; o comprimento total dos canais; as altitudes da nascente e da foz; a amplitude altimétrica; o comprimento do canal principal. Primeiramente estes parâmetros foram conceituados e posteriormente os dados referentes foram plotados em gráficos e tabelas para poderem ser analisados e comparados. Os resultados da hierarquização da rede de drenagem da bacia do rio Macaé, a partir da metodologia de Straler (1952), apresentaram uma bacia de sétima ordem, composta por 2 sub-bacias de sexta ordem, a do rio Macaé e a do rio São Pedro. Os rios de quinta ordem, abrangem 7 sub-bacias, sendo que 4 tiveram alterações antrópicas (processo de retificação) em seus canais. Das 7 sub-bacias de quinta ordem, foram analisadas 3, Boa Esperança, Bonito e Sana, e das 27 sub-bacias de quarta ordem foram analisadas 24. Observou-se também, que no baixo curso, as informações disponíveis não representam a realidade atual dos cursos d'água, o que interfere consideravelmente numa análise morfométrica. O Baixo curso apresenta margens espriadas, leito arenoso, menor velocidade e formação de meandros.

No Rio Macaé verifica-se uma mudança no seu perfil longitudinal (Figura 4). Conforme as cotas altimétricas diminuem, onde nas partes mais elevadas este perfil é côncavo, tornando-se convexo à medida que as cotas diminuem. Isto indica a busca pelo rio do seu perfil de equilíbrio, o que é dificultado na região em função do forte controle estrutural da drenagem, onde se verifica a presença de discontinuidades, em decorrência do afloramento de corpos rochosos do embasamento geológico da área (LIMA, 2008).

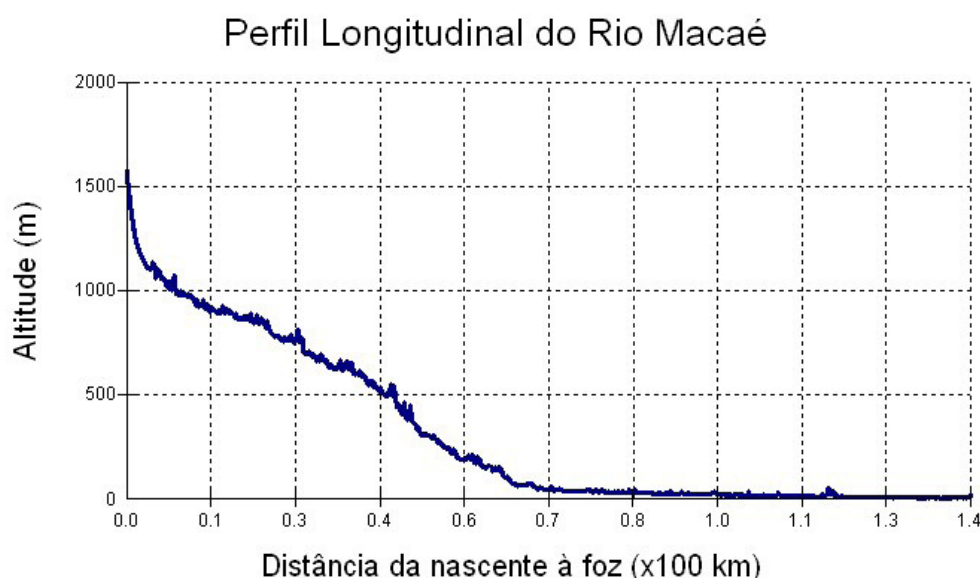


Figura 4: Perfil longitudinal do Rio Macaé. Fonte: LIMA, 2007.

Na medida em que o homem se desenvolve economicamente e se apropria da natureza e de seus recursos, torna-se agente modificador dos processos morfodinâmicos existentes na bacia, a partir do momento em que seu modo de produção é responsável por desequilibrar a dinâmica dos fenômenos naturais através de seus insustentáveis modelos de produção. O desequilíbrio que vem sendo gerado ocorre principalmente em função das alterações causadas pela eliminação da cobertura vegetal, gerando uma onda de degradações que vão desde o impacto no solo até a poluição e assoreamento dos recursos hídricos, principalmente na forma do canal do rio Macaé, que atualmente tem algumas de suas áreas tomadas pelo acúmulo crescente de sedimentos e degradação de suas margens (LIMA, 2008).

Hoje um dos principais problemas identificados na área da bacia estudada está ligado à conservação dos seus solos e às conseqüências da falta de planejamento das atividades agropecuárias. Os processos erosivos superficiais, que vem ocorrendo com crescente freqüência, são verificados principalmente nas encostas do médio e alto cursos do Rio Macaé, dado seu relevo mais acidentado e com grandes amplitudes topográficas (LIMA, 2008).

A Figura 5 exemplifica os impactos gerados pelos usos e ocupação do solo.



Figura 5: Áreas de pastagem e forte assoreamento do leito do rio.
Fonte: Elaboração própria, 2009.

Um grande desafio na direção da gestão integrada está no fato de ocorrerem na bacia diversos tipos de usos do solo. Como exemplo, as áreas de preservação da nascente do

Rio Macaé em Nova Friburgo, além de áreas voltadas à agricultura, pecuária, fruticultura, turismo e áreas urbanas, com maior concentração na zona estuarina, na cidade de Macaé, que teve o processo de crescimento urbano e demográfico acentuado desde a década de 70, em função dos grandes investimentos decorrentes da indústria de petróleo da Bacia de Campos (MARÇAL e LUZ, 2003).

As autoras Marçal e Luz (2003) realizaram um trabalho que abordou o estudo de unidades de paisagens na bacia do rio Macaé, através da transformação das unidades de relevo em função do uso do solo, como ser observado no Quadro 2. De acordo com Soares (2000) *apud* Marçal e Luz (2003) o estudo da paisagem é realizado a partir do entendimento do arranjo dos elementos naturais e como este arranjo reage às modificações da sociedade quando da dinâmica de uso e ocupação do solo.

UNIDADE DE PAISAGEM	USOS	IMPACTOS
Escarpas Serranas.	A região caracteriza-se por apresentar o relevo acidentado pertencente a Serra do Mar e grande biodiversidade em remanescentes de Mata Atlântica, o que levou a criação da APA de Macaé de Cima, protegendo parte das florestas remanescentes. As atividades de turismo e lazer vêm crescendo muito nos últimos 20 anos. Os principais atrativos turísticos são os grandes trechos de mata Atlântica, cachoeiras, córregos, as pequenas vilas e esportes de aventuras. Há a presença histórica de aglomerações rurais que sobrevivem basicamente da pecuária e da agricultura familiar e utilizam os rios para o abastecimento doméstico, para a	Ocorre uma clara tendência a um retalhamento das propriedades rurais destinadas a loteamentos e especulação imobiliária, e a cada ano constroem-se mais casas para veraneio e aluguel. O turismo tem impulsionado na região um acelerado ritmo de transformações espaciais no plano físico, econômico e social. Os problemas ambientais consequentes são o acúmulo de lixo nos lugares mais visitados, poluição das águas, o desmatamento para novas construções, e a falta de planejamento e capacidade de suporte para as atividades de turismo crescente. O rio é

	<p>irrigação de culturas, principalmente inhame, banana entre outros como mandioca, feijão e milho, e para a manutenção da vida de animais.</p>	<p>utilizado como receptor de águas provenientes das áreas de cultivos e de despejos domésticos.</p>
<p>Maçios Costeiros florestados.</p>	<p>Ocorrem remanescentes florestais primários de Mata Atlântica no topo dos alinhamentos serranos de Macaé (Serra do Pote, Serra do Segredo, Serra das Pedrinhas). Na área há captação de água mineral.</p>	<p>Sem registro de impactos.</p>
<p>Planície Aluvial agrícola.</p>	<p>O uso dominante é caracterizado por áreas de cultivos de frutas (maracujá, abacaxi, laranja, coco, etc.), além de plantações de arroz.</p>	<p>Os problemas ambientais são oriundos do desmatamento, principalmente da Mata Ciliar.</p>

<p>Planície Fluvio-Lagunar manejada.</p>	<p>É uma área caracterizada pelo uso dominante da pecuária bovina e cultivo de arroz e feijão. No final da década de 1960 o extinto DNOS (Departamento Nacional de Obras de Saneamento) realizou obras de retificação e alargamento no canal do rio Macaé no baixo curso da bacia com a finalidade de diminuir as áreas alagadas, minimizando os altos índices de malária e para possibilitar a prática agro-pecuária.</p>	<p>Se constatou alterações na hidrodinâmica da zona estuarina, o que provavelmente veio a alterar o equilíbrio do perfil longitudinal deste rio, com conseqüências como o aumento de velocidade de fluxo das suas águas e dos processos erosivos nas suas margens e calha, redundando em intensa produção de sedimentos. Também há o desaparecimento de áreas de várzea, a diminuição do pescado e aumento das inundações nas épocas de chuvas intensas.</p>
<p>Superfície Aplainada com pastagens.</p>	<p>Região caracterizada pela atividade agropecuária. A agricultura foi marcada pelo ciclo do café e da cana-de-açúcar. Há o desenvolvimento de pequenos núcleos urbanos, que correspondem à periferia da cidade de Macaé (expansão da cidade).</p>	<p>O desmatamento é marcante em toda essa área, apresentando problemas de erosão em ravinas e voçorocas em função, principalmente do uso excessivo do solo.</p>
<p>Planície Costeira urbanizada.</p>	<p>O uso é predominantemente urbano e a intensidade da ocupação está associada ao histórico sócio-econômico de Macaé. No baixo curso do rio Macaé destacam-se as outorgas (a prioridade de usos dos recursos hídricos foi estabelecida pela Resolução CONAMA 357/05) concedidas para a CEDAE,</p>	<p>O estuário do rio Macaé é impactado pelo processo de urbanização da cidade, onde as principais conseqüências tornam-se a degradação das condições sanitárias deste trecho do rio; a retirada da vegetação ciliar e a ocupação desordenada de áreas alagadas</p>

	<p>responsável pelo abastecimento de água na região; a Petrobras, que abastece suas sedes administrativas e grande parte de suas plataformas, as Usinas Termelétricas do Norte-Fluminense e Mário Lago, que utiliza a água para resfriamento das caldeiras.</p>	<p>e ribeirinhas.</p>
--	---	-----------------------

Quadro 2: Usos e Ocupação da Terra Na Bacia do Rio Macaé Baseado em Unidade de Paisagem. Fonte: elaboração própria adaptado de Marçal e Luz (2003).

A figura 6 aborda um dos impactos da falta de planejamento no uso e ocupação do solo, onde a retirada de vegetação degrada as margens do rio no alto curso da bacia do rio Macaé.



Figura 6: Degradação da margem do rio Macaé, em Águas de Santa Luzia. Fonte: Elaboração própria (2009).

A pesquisa das autoras MARÇAL e LUZ (2003) também concluiu que o desmatamento das áreas de baixadas desde a época do Brasil Colonial para implantação de

cana-de-açúcar vem suprimindo a vegetação das matas aluviais e das florestas de Terras Baixas, intensificando os processos de erosão e assoreamento. Do início do século até a década de 70, houve considerável avanço da pecuária bovina, principalmente ao sul do Rio Macaé, culminando com o pisoteio excessivo e formação de terracetes nas encostas das colinas. A substituição da floresta tropical por pastagens em áreas de colinas e nas áreas próximas aos contrafortes e maciços subserranos fez o solo perder seu potencial de regeneração, com o conseqüente empobrecimento em nutrientes, ocasionando também processos de erosão concentrada em sulcos e ravinas.

Complementando o avanço econômico da região, no final dos anos 70 a indústria do petróleo instalou-se na Bacia de Campos, desenvolvendo toda sua cadeia produtiva. A cidade de Macaé foi escolhida como a base de apoio às atividades desenvolvidas nas plataformas de exploração e produção de petróleo, causando significativas transformações na região do baixo curso da bacia do Rio Macaé. A grande oferta de empregos atraiu um grande contingente de pessoas e a cidade não conseguiu acompanhar e dar suporte a esse crescimento desordenado. Muitos impactos ambientais e sociais surgiram a partir desta forma insustentável de gerir a cidade, o que fez, dentre outros impactos, com que as áreas marginais do rio fossem ocupadas por moradias. Entretanto, não foi relevado o fato de que muitas daquelas áreas estão na planície de inundação do rio, e que sistematicamente é ocupada pelas águas nas épocas mais chuvosas.

2.2.3 Avaliação da qualidade e dos usos preponderantes da água.

Em sua dissertação, Pinheiro (2008) realizou a caracterização dos usos e da qualidade da água na bacia do rio Macaé, por meio da análise de oito pontos distribuídos ao longo do rio Macaé, juntamente com a caracterização do uso e ocupação da terra. Foram avaliados os parâmetros: temperatura, turbidez, resíduo sólido total, pH, condutividade, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), cloro livre e cloro total, fósforo total, nitrogênio (nitrato, nitrito e amoniacal), coliformes totais e *Escherichia coli*. Os valores do índice de qualidade das águas (IQA) calculados mostram que a qualidade das águas do rio Macaé pode ser considerada boa de forma geral. O parâmetro *E. coli* foi considerado crítico na bacia. De acordo com a autora, os principais usos da água hoje verificados no Rio Macaé referem-se ao abastecimento de água para usos industriais e agrícolas e para consumo humano; à diluição de despejos domésticos e à geração de energia elétrica.

Não existem usuários cadastrados para fins de irrigação. No entanto, o Projeto Planágua (SEMADS/GTZ, 2001 *apud* Pinheiro, 2008) estimou uma área total irrigada de 1.105 há, correspondente a uma demanda total de água de 31.150 m³/dia. Avaliando o uso e ocupação do solo na bacia do rio Macaé as áreas agrícolas correspondem a 20% do total da bacia. A agricultura é responsável por grande parte da poluição difusa nos corpos hídricos, pois fertilizantes e defensivos agrícolas que não são absorvidos pela planta escoam para o curso d'água. Além do uso da água destinado a dessedentação de animais, que mostra-se uma fonte potencial de poluição hídrica pontual, no caso de criação em confinamento, e difusa, no caso da pecuária extensiva.

De acordo com o trabalho, a Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE) é responsável pela operação e pela manutenção do sistema de abastecimento de água para consumo humano do distrito sede de Macaé. A Empresa Pública Municipal de Habitação, Urbanização, Saneamento e Águas (EMHUSA) está encarregada pela operação dos sistemas dos distritos do município de Macaé. A Companhia de Água e Esgoto de Nova Friburgo (CAENF) é responsável pelos sistemas do município de Nova Friburgo e o Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Casimiro de Abreu (SAAE Casimiro de Abreu) para abastecimento do município. O Quadro 3 apresenta as outorgas de captação exclusiva para consumo humano na bacia do rio Macaé existentes no Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNARH) no ano de 2008 (PINHEIRO, 2008) . As habitações rurais normalmente utilizam soluções individuais para captação da água. O setor de abastecimento demanda 60% dos usos da água na bacia em questão.

Operadora	Latitude/ Longitude	Município/ Distrito	Curso d'água	Vazão Média (m ³ /h)	População Atendida
CEDAE – Macaé	22° 17' 32,000" S 41° 53' 47,000" O	Macaé/ Sede	Rio Macaé	3.074,40	112.098
CEDAE – Macaé	22° 19' 53,195" S 42° 11' 12,191" O	Macaé/ Sede	Córrego Atalaia	3,60	138
EMHUSA	22° 16' 21,860" S 41° 59' 9,230" O	Macaé/ Córrego do Ouro	Rio do Ouro	792,00	5.000
EMHUSA	22° 13' 22,000" S 42° 1' 14,000" O	Macaé / Glicério	Córrego Roncador	200,00	2.000
CAENF	22° 19' 25,790" S 42° 20' 9,372" O	Nova Friburgo/ São Pedro da Serra	Rio Tapera	24,55	1.273
CAENF	22° 19' 25,790" S 42° 21' 45,044" O	Nova Friburgo/ São Pedro da Serra	Córrego Sibéria	7,44	
CAENF	22° 20' 47,716" S 42° 33' 29,241" O	Nova Friburgo/ Lumiar	Córrego Santa Margarida	26,64	1.077
CAENF	22° 20' 40,341" S 42° 17' 58,349" O	Nova Friburgo/ Lumiar	Córrego Bananal	3,24	

SAAE	22° 20' 40,341" S 42° 12' 51,200" O	Casimiro de Abreu	Córrego Tenal	180,00	16.000
SAAE	22° 26' 42,200" S 42° 12' 27,300" O	Casimiro de Abreu	Córrego Pai João	36,00	
SAAE	22° 25' 47,000" S 42° 13' 39,000" O	Casimiro de Abreu	Córrego Ribeirão da Luz	46,80	
SAAE	22° 26' 45,100" S 42° 13' 45,600" O	Casimiro de Abreu	Córrego Matumbo	115,20	
Sistema Intermunicipal Casimiro/ Rio das Ostras	22° 24' 39,610" S 42° 06' 53,430" O	Casimiro de Abreu/ Barra de São João e Rio das Ostras	Rio Macaé	1.080,00	22.897

Quadro 3: Principais usuários da água para consumo humano.

Fonte: PINHEIRO, 2008.

O uso da água na indústria é quase integralmente localizado na sede do município de Macaé, devido às atividades do setor petrolífero e energéticas. A maioria das empresas de bens e serviços na região é abastecida pela rede pública (FGV, 2002). Também são verificadas nas periferias do município de Macaé usuários de águas subterrâneas. No Quadro 4 estão listados os usuários da água para abastecimento industrial que possuem outorga, cabe ressaltar que tais usuários também utilizam a captação para consumo de água para seus funcionários.

Usuário	Latitude/Longitude		Município/ Distrito	Fonte/ Lançamento	Vazão Média (m ³ /h)		Finalidade
	Captação	Lançamento			Captação	Lançamento	
UTE Mário Lago	22° 17' 41,00" S 41° 52' 52,00" O	22° 17' 41,00" S 41° 52' 55,00" O	Macaé/ Sede	Rio Macaé/ Rio Macaé	309,60	43,20	Termelétrica
UTE Norte Fluminense	22° 17' 45,00" S 41° 52' 46,00" O	22° 17' 43,00" S 41° 52' 47,00" O	Macaé/ Sede	Rio Macaé/ Rio Macaé	1.080,00	216,00	Termelétrica
Petróleo Brasileiro SA	22° 18' 39,35" S 41° 55' 12,24" O	22° 22' 44,51" S 41° 46' 2,86" O	Macaé/ Sede	Rio Macaé/ Mar	792,00	15,00	Indústria
Total					2.181,60	274,20	

Quadro 4: Outorgas para uso industrial e abastecimento humano.

Fonte: PINHEIRO, 2008.

Desta forma, a Bacia do rio Macaé apresenta uma configuração da distribuição espacial das captções para consumo humano e industrial conforme a Figura 7. Observa-se que esses pontos somam um número representativo na bacia em estudo, abrangendo desde o alto curso até o baixo curso.

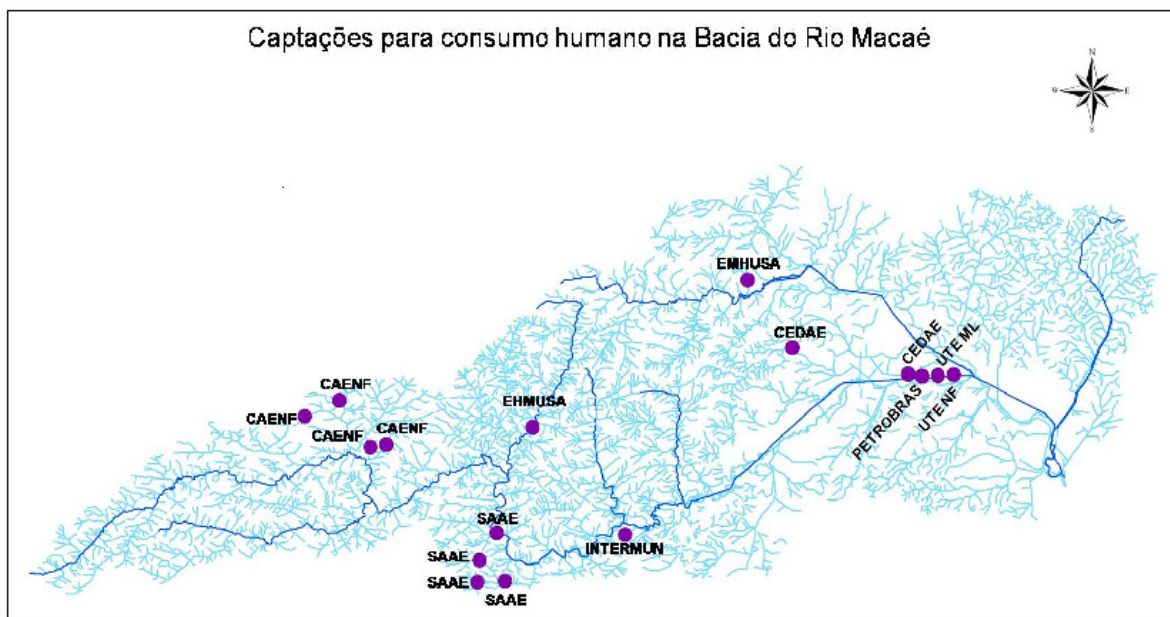


Figura 7: Cartograma dos Pontos de Captação para Consumo Humano na Bacia do Rio Macaé. Fonte: Elaboração Própria, 2009.

A Figura 8 demonstra o alto grau de assoreamento dos pontos de captação, hoje considerado como um dos principais inconvenientes na captação de água enfrentado pelo município de Macaé.



Figura 8: Assoreamento dos pontos de captação de água em Macaé. Fonte: Elaboração Própria, 2009.

Com o seu estudo, Pinheiro (2008) afirma que nos pontos em Macaé de Cima e Galdinópolis, que se localizam a aproximadamente 800 m de altitude, as águas são consideradas de boa qualidade. Os resultados das análises de qualidade não indicaram contaminações por fontes antrópicas. Já o ponto localizado na área urbana do distrito de Lumiar, a 700 metros de altitude, apresentou o IQA entre médio e bom. Os parâmetros turbidez, nitrato, nitrogênio amoniacal e *E. coli* com valores elevados são indicativo de poluição por despejo de esgoto. Associados a estes parâmetros estão o OD, que apresentou o valor mais baixo ao longo de todo o alto e o médio curso da bacia, evidenciando o consumo de OD para estabilização da matéria orgânica. Os valores de *E. coli* ultrapassaram em até 6 vezes o valor estabelecido para classe 1 e também ultrapassa os limites para classe 3. O ponto localizado no Encontro dos Rios possui uso da água expressivo para fins de recreação de contato primário e secundário. Algumas alterações nos parâmetros de *E. coli* ainda são observadas, sugerindo que a contribuição da degradação da qualidade sofrida em Lumiar. No entanto, a autora observou em geral houve uma melhoria dos parâmetros, como por exemplo, o aumento do valor de OD. Tal melhoria está provavelmente associada ao aumento da vazão ocasionado pela contribuição do afluyente rio Bonito, uma sub-bacia ocupada predominantemente por fragmentos florestais.

O ponto localizado em Castada, a 400m de altitude, a montante da queda d'água (Cachoeira da Fumaça), também se destaca o uso recreativo de contato primário. O IQA avaliado mostrou-se bom nas duas campanhas, refletindo os bons parâmetros de qualidade analisados. Os fragmentos florestais são aos poucos substituídos por pastagens, a faixa marginal permanece 74% coberta por vegetação natural e o percentual de fragmentos florestais é elevado contribuindo para a qualidade observada. No ponto em Barra do Sana, a jusante da confluência do rio Sana, a 200m de altitude, a autora sugere a contribuição da sub-bacia do rio Sana como origem de degradação da qualidade da água. Na sub-bacia do rio Sana apesar da criação da APA do Sana, o Arraial e a Barra do Sana vêm sofrendo adensamento urbano, e a estação de tratamento de esgoto não funciona adequadamente. No ponto localizado na fazenda Santo Antônio, próximo à localidade de Figueira Branca, também conhecido como “ponte de arame” possui o uso característica de recreação. Ambos pontos apresentaram valores do IQA entre médio e bom. Observa-se que nas sub-bacias de tais pontos, a área ocupada por pastagem e agricultura representa aproximadamente 14% das áreas totais.

No médio curso foram analisados dois pontos, os quais se localizam abaixo de 100m de altitude. A autora observou que o uso e a ocupação do solo sofreram grandes

modificações quando comparados aos pontos à montante. O ponto mais a montante dessa seção teve uma única campanha e apresentou o IQA bom. O ponto mais a jusante obteve a segunda pior nota do IQA na campanha 1, atribuído principalmente ao altíssimo valor de fósforo total (3,30 mg/L). Na campanha 2 obteve melhora considerável do IQA e o fósforo detectado esteve abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05.

Os pontos MAC10, MAC11 e MAC13 estão localizados abaixo de 40m de altitude e o curso principal das suas sub-bacias foram retificados na década de 70. O ponto MAC13, localizado numa área de inundação próxima ao centro urbano da sede de Macaé, recebe a contribuição da sub-bacia do rio São Pedro. A sub-bacia do rio São Pedro possui dois aproveitamentos hidrelétricos: (i) a Usina Hidroelétrica (UHE) Glicério, que possui um repressamento, mas encontra-se desativada; (ii) e a UHE Macabu, que também possui um repressamento e que recebe as águas da bacia hidrográfica do rio Macabu. A qualidade da água nestes três pontos foi avaliada como boa em ambas as campanhas. A sub-bacia do ponto em Severina tem suas águas captadas para abastecimento da população urbana da cidade de Macaé. Apesar dos baixos valores de *E. coli*, o fósforo total se mostrou elevado nos pontos MAC10 e MAC11, ultrapassando os limites regulamentados pela Resolução CONAMA n. 357/05. Pode-se atribuir esse aumento ao uso e ocupação do solo a nível local, que mostrou-se 100% ocupado por áreas agrícolas. Observou-se uma extensa área de plantio de feijão próximo às margens do rio na altura do ponto MAC10.

O ponto MAC12 se localiza na foz do rio Macaé, no centro urbano da cidade de Macaé. A degradação da qualidade nesse ponto é aparente, o que é afirmado pelo nível ruim e médio do IQA. Os principais parâmetros que se encontraram elevados foram: i) sólidos totais que ultrapassou 10 vezes os valores obtidos nos pontos a montante; ii) *E. coli* que ultrapassou os limites para classe, prestando-se a princípio apenas para usos previstos na classe 4; iii) fósforo total; iv) nitrogênio amoniacal; e v) OD que teve o valor limite tolerado para classe 3 (5,0 mg/L). Esses parâmetros indicam o despejo de efluentes domésticos como a principal fonte de degradação. O intenso adensamento urbano e a substituição das áreas de pasto em áreas urbanas periféricas não sofreu adequação quanto à rede de esgoto sanitário, e por isso dados tão alarmantes da qualidade da água foram obtidos (PINHEIRO, 2008). A Figura 9 localiza os pontos de amostragem com os respectivos IQA, realizados por Pinheiro (2008).

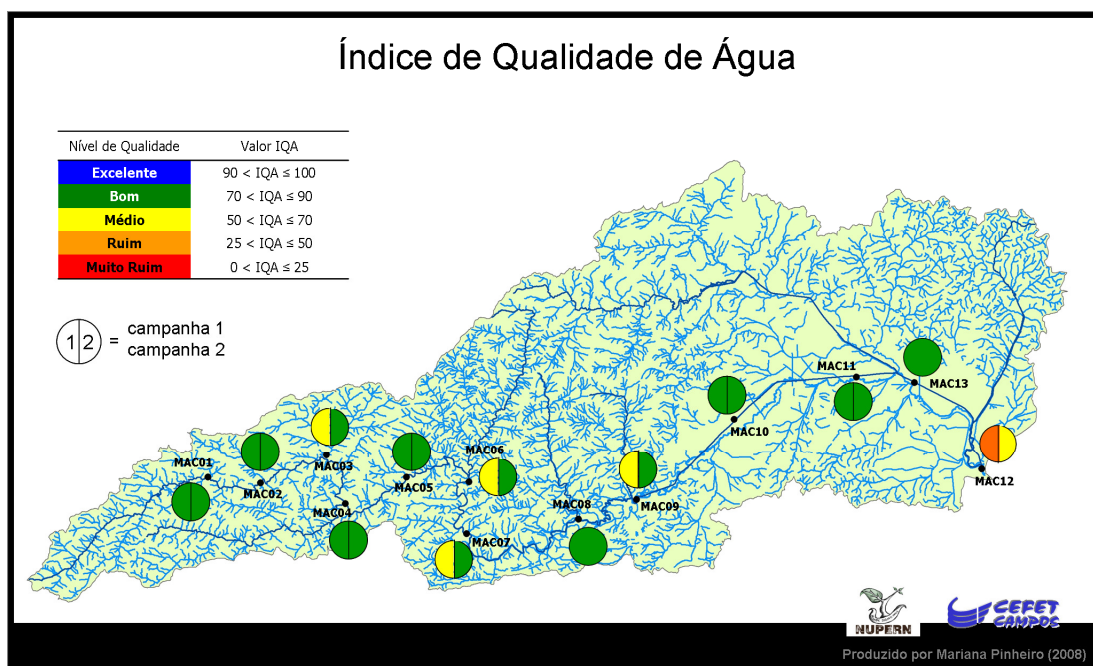


Figura 9: Pontos de amostragem da qualidade da água com os respectivos IQA.
 Fonte: Pinheiro, 2008.

A Figura 10 especializa o cenário atual da qualidade de água ao longo do rio Macaé. De acordo com Pinheiro (2008), os trechos correspondentes a cada ponto coletado foram classificados a partir da análise de conformidade dos parâmetros de acordo com os padrões estabelecidos pela CONAMA 357 de 2005. Pinheiro (2008) ressalta a boa qualidade nas cabeceiras do rio, seguidas de trechos afetados pelo lançamento de esgoto sem tratamento, e intercalados com trechos de melhor qualidade.

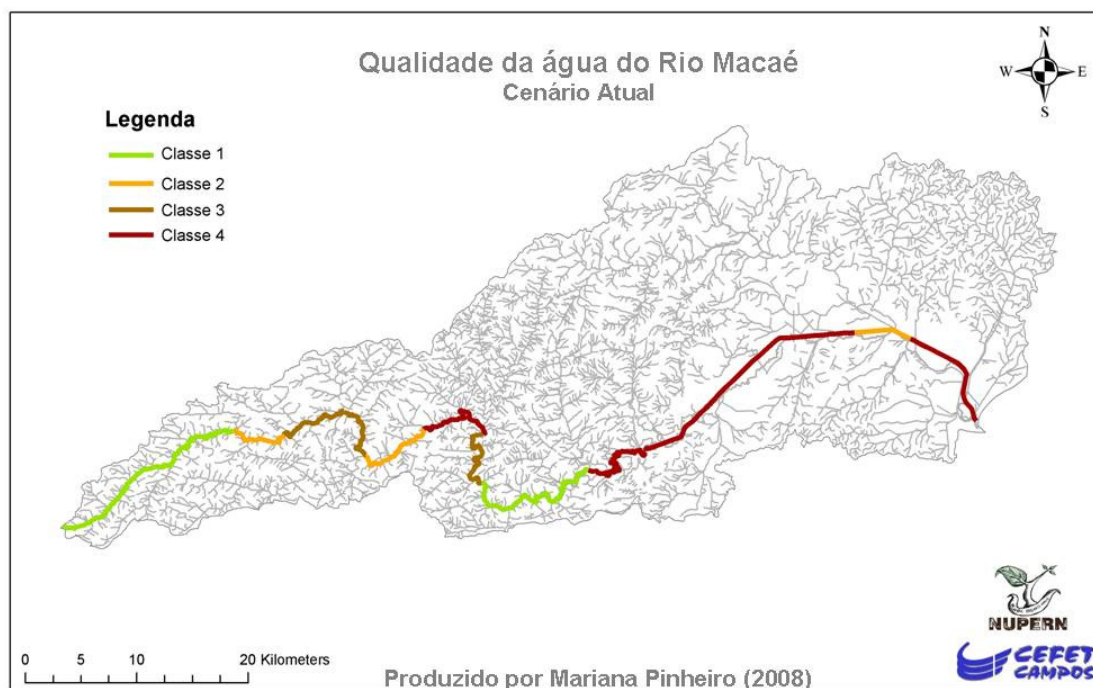


Figura 10 - Cartograma da qualidade atual do Rio Macaé baseado na conformidade dos parâmetros analisados com a Resolução CONAMA n. 357/2005. Fonte: Pinheiro, 2008.

Como um dos produtos gerados em seu trabalho, Pinheiro (2008) sugere uma proposta preliminar de enquadramento a partir da análise dos usos preponderantes em cada trecho, o qual está associado às suas classes correspondentes. O rio Macaé foi então dividido em três trechos homogêneos: (i) trecho da cabeceira até Galdinópolis; (ii) de Galdinópolis até localidade de Santo Antônio e (iii) de Santo Antônio até a foz (Figura 11). No primeiro trecho foi sugerido classe especial devido à presença de uma Unidade de Conservação de Proteção Integral (Parque Estadual dos Três Picos); ao grau de preservação das sub-bacias e ao fato de não possuir fontes de poluição. No segundo trecho foi classificado classe 1, pois suas águas são destinadas, preponderantemente, ao uso recreativo de contato primário, abastecimento humano e aqüicultura. E o terceiro trecho foi sugerido o enquadramento na classe 2, tendo em vista seus usos preponderantes destinados ao abastecimento para consumo humano das cidades de Macaé, Rio das Ostras e do distrito de Casimiro de Abreu e ao abastecimento industrial das usinas termoeletricas e da base da PETROBRAS em Macaé (que por sua vez abastece as plataformas petrolíferas da Bacia de Campos). Optou-se por manter a classe 2 no trecho próximo à foz, mesmo que este se encontre em condição ruim, devido a prática da pesca no trecho.

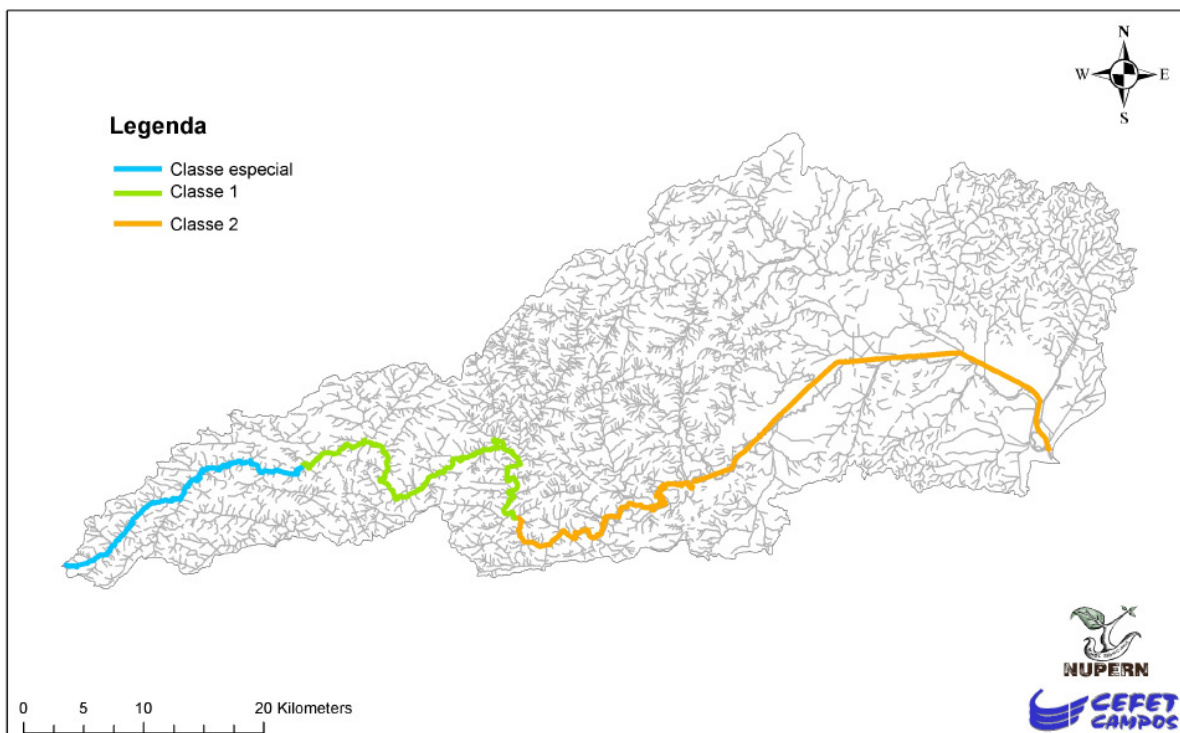


Figura 11 - Cartograma da proposta preliminar de enquadramento do Rio Macaé baseado na avaliação da qualidade e dos usos da água. Fonte: PINHEIRO, 2008.

2.2.4 Aspectos climáticos.

A análise do comportamento da precipitação em uma bacia hidrográfica é fundamental à engenharia e ao gerenciamento dos recursos hídricos. O conhecimento das precipitações, seja através da estimativa dos seus valores mais prováveis, da identificação das áreas de ocorrências e da regularidade com que as mesmas se distribuem, constituem informações imprescindíveis ao planejamento hídrico e ao desenvolvimento socioeconômico de uma região ou uma bacia hidrográfica.

O regime hidrológico de uma região é determinado pelas suas características físicas, geológicas, topográficas e climatológicas. No clima, a precipitação e a evaporação contribuem de forma significativa no balanço hidrológico, enquanto a temperatura, a umidade e o vento são indispensáveis para suas formações. A topografia influencia o movimento na superfície com o auxílio da gravidade e estimula a precipitação em altitudes, através da ação desses fatores climáticos, inclusive a variação da pressão atmosférica. A geologia além de influenciar a topografia, define o local de armazenamento das águas provenientes da precipitação, com uma parte reservada na superfície e outra nos aquíferos. A ascensão do ar úmido é fundamental para originar a precipitação, podendo acontecer com

diferentes mecanismos (SALGUEIRO, 2005).

A área da bacia do rio Macaé possui, segundo Marçal *et. al.* (2003), características climáticas bastante diversificadas devido aos fatores físicos de sua geomorfologia, como altitude e disposição do relevo da bacia de drenagem. A presença do Oceano, essa grande massa líquida, ameniza o comportamento dos principais elementos climáticos. O sistema atmosférico que prevalece na maior parte do ano é o Tropical Atlântico. Este sistema é responsável pela estabilização do tempo e pelos períodos de anos secos. As alternâncias com o sistema polar, durante o verão, trazem consigo tempo bom e brusco aquecimento, constituindo o fenômeno denominado aquecimento pré-frontal. A temperatura média anual fica em torno de 22° C no verão e 19°C no inverno. As medições efetuadas através de evaporímetros tipo Piché, indicam valores superiores a 1.100 mm ao longo da faixa litorânea, sendo a média anual para a localidade de Macaé igual a 1.137 mm. Assim, o município de Macaé está inserido na classificação climática como subtropical de umidade moderada, com inverno seco e verão úmido, conforme classificação de Köppen (FGV, 2004).

Os ventos úmidos vindos do oceano ao serem barrados pelas elevações da Serra do Mar precipitam-se, ocasionando as chuvas orográficas, comuns na Região Serrana. As chuvas orográficas caracterizam-se por serem de pequenas intensidades e de grandes durações, em pequenas áreas, localizadas próximas às elevações topográficas. Tais elevações representam obstruções responsáveis pela antecipação de parte da precipitação, pois não conseguem ultrapassá-las. Por terem forçosamente perdido grande parte da umidade durante as ultrapassagens, as regiões do outro lado das encostas normalmente possuem climas mais secos (SALGUEIRO, 2005), como o caso da Estação Galdinópolis (Figura 12). A estação 02241004 - Fazenda Oratório, localizada no médio curso do rio, está susceptível a chuvas orográficas, devido a sua localização mais próxima à linha de costa (influência marítima) e sua posição em relevo acidentado. A influência topográfica funciona como uma barreira natural às entradas de frentes frias, gerando chuvas concentradas.

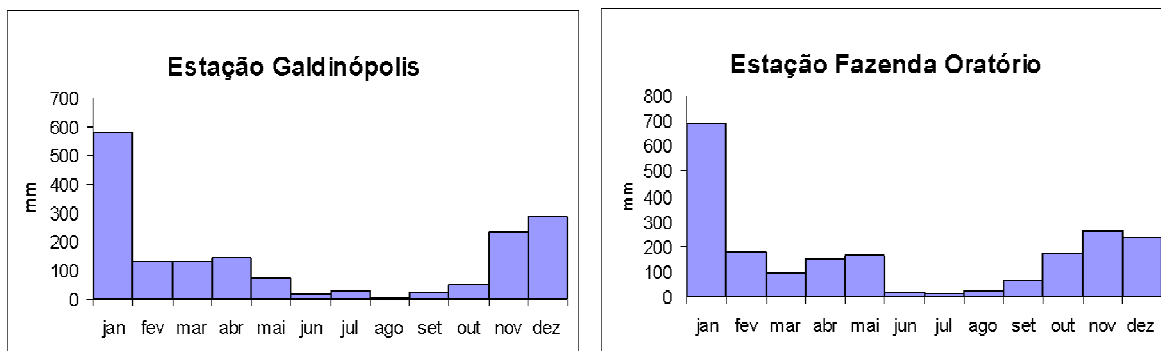


Figura 12: Gráficos de totais mensais pluviométricos do ano de 2007.
Fonte: Oliveira *et.al.*, 2007.

A sazonalidade anual ressalta os meses de maio a setembro como os de menores precipitações, havendo maior incidência das chuvas no trimestre de novembro a janeiro. Maior destaque deve ser dado ao potencial de chuvas intensas, concentradas em intervalos de pequena duração.

A Figura 13 apresenta os totais anuais precipitados do ano de 1998 a 2008 da Estação Fazenda Oratório. O ano de 2008 merece uma análise mais criteriosa, devido à disparidade do total anual precipitado que chegou a 3.004,3mm, com concentração de 873,6mm só no mês de novembro, sendo que normalmente o mês mais chuvoso se concentra em janeiro, fevereiro e março.

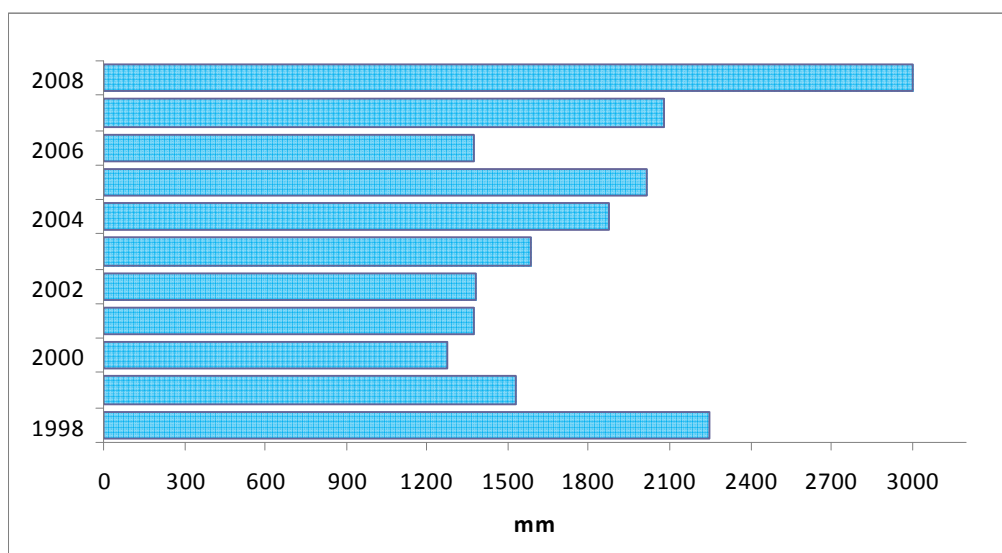


Figura 13: Totais anuais precipitados, ano 1998 a 2008 na estação Fazenda Oratório.
Fonte: Elaboração própria, dados a partir de ANA, 2009.

A Figura 14 mostra a média de totais mensal do ano de 1998 a 2008. Pode-se observar que no mês mais chuvoso, ou seja, em janeiro, a média está próxima de 300mm e a

concentração dos meses mais chuvosos é de novembro a fevereiro.

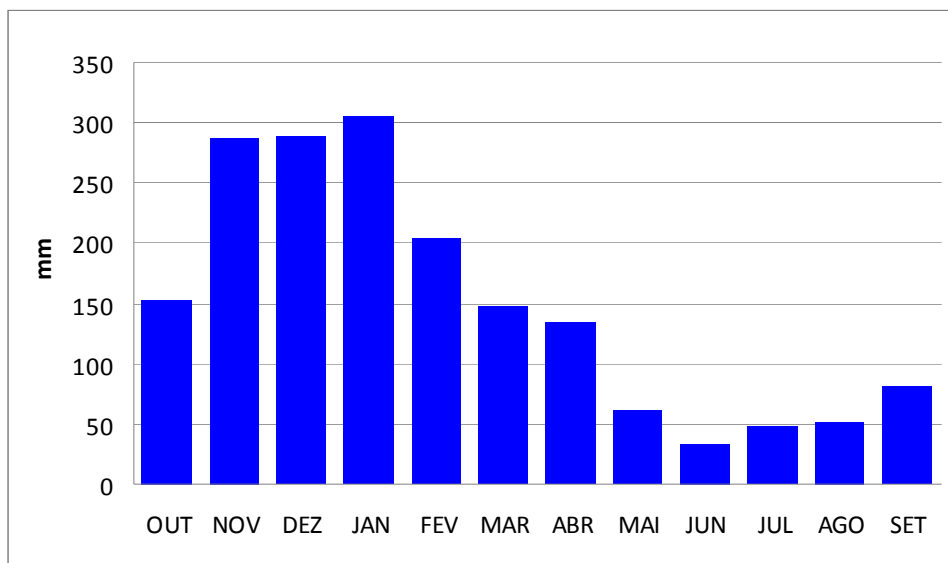


Figura 14: Média de totais mensais precipitados, ano 1998 a 2008 na estação Faz. Oratório. Fonte: Elaboração própria, dados a partir de ANA, 2009.

A ocorrência de chuvas muito intensas é um fator indutor de problemas ambientais, tais como inundações, deslizamentos e desabamentos nas áreas urbanas, assim como fortes processos erosivos quando a declividade do terreno é muito acentuada, mesmo nas áreas florestadas como no caso do alto curso da bacia (OLIVEIRA, *et. al.*, 2008). O estudo da intensidade da chuva, da sua energia cinética, do total de chuva e do seu momento (produto entre a massa e a velocidade da gota de chuva), associado ao estudo pedológico e da vegetação é prerrogativa à avaliação da erosividade de uma área (Guerra, 1995 apud LIMA, 2008). O conhecimento dos totais precipitados constitui elemento importante na determinação das vazões superficiais e conseqüentemente suas disponibilidades para um perfeito gerenciamento do recurso hídrico (SALGUEIRO, 2005).

2.3 Comportamento estatístico das vazões fluviais.

A partir do conhecimento da dinâmica hidrológica de uma determinada bacia, torna-se possível uma melhor interação entre a sociedade e a natureza, haja vista os grandes problemas ambientais existentes quanto ao uso e gestão dos recursos hídricos (ALPINO *et al.*, 2007).

A distribuição espaço-temporal da água, sob os parâmetros de quantidade, de

qualidade e de interação com as sociedades humanas é investigada pela Hidrologia. Os fenômenos hidrológicos são aqueles que descrevem os mecanismos de armazenamento e transporte entre as diversas fases do ciclo da água, com atenção especial para as áreas continentais. Tais estudos são aplicados no planejamento e na operação de sistemas de aproveitamento e controle de recursos hídricos. Assim, a avaliação dos fenômenos hidrológicos requer a quantificação confiável das variabilidades espaciais e/ou temporais, sejam eles: precipitação, escoamento e armazenamento superficiais, evapotranspiração, infiltração, escoamento e armazenamento sub-superficiais, propriedades físico-químicas e biológicas da água, conformações geomorfológicas, transporte de sedimentos, etc. As intensidades com que estes fenômenos ocorrem podem ser relacionadas a funções do tempo, ou do espaço, ou de ambos, em escalas geográficas diversas que vão desde a global até a local, passando pela escala usual da bacia hidrográfica (CPRM, 2007).

A gestão dos recursos hídricos pode ser subsidiada por dados cuja frequência de coleta é de algumas horas (para o estudo de precipitações e fluviogramas em áreas urbanas, quando se estudam inundações), de alguns meses ou anuais (quando se trata de apoiar a gestão de atividades agrícolas) ou de 2 a 3 anos (para projetos de importantes para sistemas hídricos no semi-árido brasileiro). Normalmente, séries de dados de 10 a 30 anos de coleta são suficientes para a maioria dos casos sujeitos à gestão dos recursos hídricos, sendo consideradas séries estacionárias ou estocásticas, ou seja, aquelas cujas características estatísticas não variam no tempo. Quase todos os processos hidrológicos são considerados estocásticos, ou governados por leis de probabilidades, por conterem componentes aleatórias as quais se superpõem a regularidades eventualmente explicitáveis, tais como as estações do ano. (TUCCI, 2002).

De modo geral, segundo Martins (1967) apud Gontijo Jr. (2007), para uma mesma área de contribuição, as variações das vazões instantâneas serão tanto maiores e dependerão tanto das chuvas de alta intensidade quanto maior a declividade do terreno, menores as detenções da superfície, mais retilíneos os cursos d'água, menor a quantidade de água infiltrada e menor a área coberta por vegetação. Tais aspectos também influenciam o coeficiente de deflúvio, que é a relação entre a vazão escoada em um curso d'água e a vazão precipitada sobre a bacia de drenagem, em que será tanto maior quanto menores forem a capacidade de infiltração e os volumes de água interceptados pela vegetação e obstáculos ou retidos nas depressões do terreno.

Nesse contexto, a utilização da teoria de probabilidades torna-se ferramenta principal na análise dos fenômenos hidrológicos aleatórios. A teoria de probabilidades

apresenta duas ramificações de grande importância para a hidrologia aplicada: a estatística matemática e o estudo de processos estocásticos. A estatística matemática permite analisar um conjunto limitado de observações de um fenômeno aleatório e extrair inferências quanto à ocorrência de todas as prováveis realizações do fenômeno em questão. O estudo de processos estocásticos refere-se à identificação e interpretação da aleatoriedade presente em tais processos, em geral por meio de modelos matemáticos que buscam estabelecer as possíveis conexões seqüenciais, no tempo e/ou no espaço, entre suas realizações. As variáveis hidrológicas aleatórias são descritas por distribuições de probabilidade, onde procura-se estabelecer o padrão de variabilidade da população representada, a fim de estimar as probabilidades de ocorrência de certos eventos.

As variáveis hidrológicas podem ser classificadas inclusive em univariadas, quando a elas associam-se os resultados de apenas um único parâmetro de quantidade ou qualidade da água, ou multivariadas em caso contrário. Como exemplo, CPRM (2007) cita as alturas horárias de precipitação em um certo local como variável univariada, enquanto a variação conjunta das alturas horárias de chuva, observadas simultaneamente em diversos pontos de uma bacia hidrográfica, pode ser descrita por uma variável hidrológica multivariada.

Como esclarece Lanna (2007), o raciocínio subjacente à hidrologia estatística inicia-se com o desenvolvimento de modelos teóricos de probabilidade para processos hipotéticos com determinadas características. Comparando as características do processo teórico com as do processo natural são formulados alguns modelos probabilísticos para ajustarem os processos. A modelagem matemática segue um raciocínio dedutivo, e seu objetivo é propor uma idéia geral válida para quaisquer casos particulares. A partir desses estudos torna-se possível extrair da amostra os elementos suficientes para estimar o comportamento da variável estudada e concluir, por exemplo, com que probabilidade a variável hidrológica irá igualar ou superar um certo valor de referência, que ainda não foi observado. Para tal, o modelo matemático particulariza os parâmetros para um local ou situação.

Conforme descrito em Gontijo Jr. (2007) os processos hidrológicos são representados por funções variáveis no tempo e no espaço. A representação gráfica dessas funções, usualmente, é feita por intermédio de curvas-padrão sendo as mais importantes o hidrograma, a curva de permanência e o histograma de freqüência, conforme abaixo definidos:

a) hidrograma: representação temporal ou espacial do comportamento das variáveis hidrológicas, normalmente dispostas no eixo das ordenadas;

b) curva de permanência: relaciona a variável hidrológica (no eixo das ordenadas) com o tempo de permanência de seus valores, em porcentagem, no eixo das abscissas; e

c) histograma de frequência: relaciona os valores hidrológicos (abscissa) com a frequência com que ocorrem (ordenada). Para a análise dos histogramas de frequência, são utilizadas funções teóricas chamadas de densidade de probabilidade - FDP. A FDP representa, em determinado intervalo de tempo, a probabilidade de ocorrência de um evento. No caso da vazão fluvial, é muito utilizado o modelo probabilístico contínuo baseado na distribuição Log-Normal.

O tempo de concentração, como parâmetro hidrológico invariável, pode ser definido como o tempo necessário para uma gota d'água caminhar superficialmente do ponto mais distante (em percurso hidráulico) da bacia até o seu exutório (Silveira, 2005).

A avaliação diária da vazão por um processo direto (medição e integração do campo de velocidades na seção transversal) é excessivamente oneroso e complicado, por isso é feito o registro dos níveis do rio, determinando uma relação biunívoca entre a vazão e o nível, denominada de curva-chave. Para o traçado da curva-chave em uma determinada estação, é necessário que disponha de uma série de medições de vazões no local e os correspondentes níveis (CARVALHO, 2006).

Essas conclusões são úteis à tomada de decisões no planejamento e no projeto de sistemas de recursos hídricos, na medida em que norteiam tais decisões. Em CPRM (2007), os autores afirmam que um modelo probabilístico, embora seja incapaz de prever com exatidão a data e a magnitude de uma enchente, por exemplo, revela-se muito útil no estudo do regime local de cheias, especificando com que probabilidade uma certa vazão irá ser igualada ou superada, em um ano qualquer.

Nesse sentido, o monitoramento sistemático dos dados básicos possibilita a quantificação das diversas fases do ciclo hidrológico, das suas respectivas variabilidades e de suas inter-relações. O estudo hidrológico é mais preciso e confiável quanto mais longos e precisos forem os registros dos dados hidrológicos. De qualquer forma, os dados hidrológicos contêm erros que podem ser classificados em aleatórios, sistemáticos e/ou grosseiros. Os erros aleatórios refletem as imprecisões das leituras e medições, resultando em flutuações em torno de seus verdadeiros valores. Os erros sistemáticos, por sua vez, são aqueles que produzem uma tendência, para cima ou para baixo, nos resultados das observações e podem ter origem em mudanças na técnica de medição empregada, em calibrações incorretas de aparelhos de medição ou nos processos de coleta, transmissão e processamento dos dados. Os erros grosseiros provêm de falhas humanas e resultam da falta

de cuidado na execução de uma medição ou observação de uma variável hidrológica. Assim, a essência da hidrologia estatística é extrair conclusões válidas a respeito do comportamento populacional, tendo-se em conta a incerteza devida à presença e à magnitude dos erros de amostragem. Depois de consistidos, os dados passam a ganhar a confiabilidade desejada para então serem disponibilizados aos usuários.

No Brasil, as principais entidades produtoras de dados hidrológicos e hidrometeorológicos são a Agência Nacional de Águas (ANA), cuja parte da rede é operada pela CPRM - Serviço Geológico do Brasil, e o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Outras redes acessórias, de menor extensão, são mantidas por companhias energéticas ou por companhias de serviços de saneamento básico, entre outras. Grande parte dos dados hidrológicos brasileiros encontra-se disponível por meio do Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas – Hidroweb, mediante acesso à URL <http://hidroweb.ana.gov.br>.

2.4 Redes de monitoramento

A partir da literatura abordada foi possível identificar as experiências, metodologias e procedimentos aplicáveis ao presente estudo, além de vislumbrar o estágio de discussão sobre o tema e suas oportunidades.

Magalhães Jr. (2000) realizou uma revisão sobre monitoramento das águas no país, enfocando não apenas o processo evolutivo da gestão dos recursos hídricos como também o papel que as instituições vêm desenvolvendo e as atividades a elas atreladas. Considerando o Brasil um país com dimensão continental distribuída em oito grandes bacias, é preciso planejar, desenvolver, operar e manter uma grande rede hidrometeorológica, bem como disseminar as informações aos diversos usuários (SALGUEIRO, 2005). Desde 2002, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) transferiu as atribuições de planejamento e de operação da rede nacional para a ANA, repassando toda a infra-estrutura associada à mesma. Atualmente, a ANA opera a rede hidrométrica nacional seguindo a classificação de bacias hidrográficas adotada pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica DNAEE/ANEEL (GALVÃO & MENESES, 2005), possuindo um acervo de relevância a respeito das estações em seu banco de dados, e contando com auxílio de entidade públicas e privadas na geração desses dados. Assim, Gontijo Jr. (2007) faz um breve histórico da implantação da rede de monitoramento fluviométrico nacional, no qual descreve essa trajetória em função das instituições competentes, e destaca ainda seu caráter assistencial à atividade hidroelétrica.

Em recente Resolução do Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CERHI, de 15/02/07, o Estado do Rio de Janeiro foi dividido em dez regiões hidrográficas, das quais cinco fazem parte das bacias litorâneas (Sub-bacia 59): RH Baía da Ilha Grande; RH Guandu; RH Baía da Guanabara; RH Lagos São João; e RH Macaé e Rio das Ostras. No inventário de estações da ANA, constam 317 estações fluviométricas na Sub-bacia 59 (bacias litorâneas), das quais apenas 43 estão em operação.

A *World Meteorological Organization* (WMO) – Organização Meteorológica Mundial define que uma rede de monitoramento fluviométrico ótima é um sistema de monitoramento de dados hidrometeorológicos planejado visando caracterizar e definir perfeitamente os parâmetros utilizados no planejamento, controle e gerenciamento dos recursos hídricos, de forma direta ou por interpolação em quaisquer pontos da bacia. Nessa perspectiva, a rede é eficiente quando há a instalação adequada das estações, em especial na densidade e na distribuição espacial dessas. Os dados devem oferecer suficiente precisão das

características básicas dos elementos hidrológicos para fins práticos (WMO, 1994 *apud* GONTIJO Jr., 2007). Uma rede ótima deve conter também uma estação sedimentométrica para cada estação fluviométrica, medindo a descarga total de sedimento ao oceano ou medindo a erosão, transporte e deposição de sedimento numa bacia (PAIVA e PAIVA, 2003).

A rede de monitoramento da qualidade da água permite avaliar as condições qualitativas do manancial. A qualidade de água é um conceito relativo que depende diretamente do uso a que se destina. Desta forma, Porto (2000) destaca que as redes de monitoramento de tendências da qualidade da água possuem relação direta com a verificação da eficácia do instrumento de enquadramento. A Resolução do CONAMA nº 357/2005 classifica as águas do território brasileiro (BRASIL, 2005). A avaliação da qualidade de água passa pela obtenção de dados confiáveis das variáveis de interesse (características física, química e biológica) através de amostragem estatística. A Organização Mundial da Saúde sugere três formas básicas para obtenção destes dados em: vigilância, estudo especial e monitoramento. Este último prevê o levantamento sistemático de dados em pontos de amostragem selecionados, visa acompanhar a evolução das condições de qualidade de água ao longo do tempo (DERISIO, 1992 *apud* FARIAS, 2006).

O ciclo hidrológico constitui-se na precipitação atmosférica, interceptação vegetal, infiltração no solo, armazenamento no terreno, evapotranspiração e escoamentos (TUCCI, 1993). Os sistemas fluviais representam o escoamento resultante da drenagem da bacia hidrográfica, que por sua vez é formada pela infiltração para os lençóis subterrâneos e pelo escoamento superficial. Essa última componente é responsável por moldar a rede de drenagem, até que deságüe no curso d'água estável (CHAPMAN, 1992 *apud* SOARES, 2001; GONTIJO Jr., 2007). Esses sistemas estão sujeitos aos conflitos pelo uso dos recursos (água e terra), que implicam assim na necessidade de um gerenciamento integrado para a definição democrática dos aspectos quantitativos e qualitativos destes recursos (SOARES, 2001).

O monitoramento ideal integra a avaliação das condições da qualidade da água em conjunto com o monitoramento hidrológico, que envolve a medida sistemática de vazões em rios, e, de forma mais abrangente, poderá envolver outros aspectos do ciclo hidrológico e da hidrologia, como a medida de variáveis climatológicas (pluviometria, umidade do ar e do solo, temperatura do ar etc.), do comportamento de águas subterrâneas (nível do lençol freático etc.), e da hidrodinâmica (correntes e fluxo em rios etc.) (KOIDE e SOUZA, 2003). Também um projeto ideal deve estar baseado na maximização econômica dos dados que são coletados, pois a instrumentação e operação de rede de estações é muito onerosa. Nesse

sentido, interesses técnicos e políticos devem em sintonia (PAIVA e PAIVA, 2003). Essa preocupação é reforçada por diferentes autores (LIMA, 2004; GONTIJO Jr., 2007; GALVÃO, 2004), e para Soares (2001), é necessário definir qual é o processo é mais adequado, considerando ser imprescindível obter-se a informação que atenda aos objetivos propostos a um custo mínimo ou um máximo de informação a um custo pré-definido.

2.4.1 Rede de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Macaé.

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH, por meio da Resolução nº 32, de 15 de outubro de 2003, instituiu a Divisão Hidrográfica Nacional em 9 (nove) regiões hidrográficas, com a finalidade de orientar, fundamentar e implementar o Plano Nacional de Recursos Hídricos. A Bacia do Rio Macaé está inserida na Bacia 5 – Bacia do Atlântico – Trecho Leste. Com isso, o código de identificação das estações fluviométricas compõe-se de 8 dígitos assim discriminados:

- 1º dígito – representa a bacia que contém o curso d'água onde está localizada estação (bacia rio Macaé, 5);
- 2º dígito – representa uma das sub-bacias que compõem a bacia identificada pelo primeiro dígito (bacia rio Macaé, 59);
- 3º, 4º e 5º dígitos – representam o número arbitrado à estação obedecendo ao seguinte critério: a numeração é crescente, com intervalos variáveis, ao longo do curso d'água e seus afluentes; a seqüência das estações no curso d'água será de montante para jusante; ao encontrar-se um afluente, as estações nele situadas, serão numeradas, também, de montante para jusante, antes de continuar o processo com o rio principal; o mesmo se fará para o afluente do afluente, e assim por diante.
- 6º, 7º e 8º dígitos – representam a previsão quanto à possibilidade de uma futura expansão da rede, quando serão identificadas novas estações. No estágio atual de desenvolvimento da rede de monitoramento, a grande maioria dos campos é constituída por zeros (000).

Os tipos de estação são representados por:

F – indica estação com escala para observação do nível d'água;

R – indica estação com registrador (linígrafo);

D – indica que na estação são efetuadas medições de descarga líquida;

S – indica estação com medição de descarga sólida;

Q – indica estação de qualidade de água;

T – indica estação telemétrica.

A escolha do código de identificação das estações pluviométricas ou “fora do curso d’água” foi feita considerando sua especificidade e sua localização geográfica. Representado por oito dígitos, o código de identificação definirá:

1º dígito – representado pelo valor “0”, indica a qualificação da estação, qual seja, estação “fora do curso d’água”.

2º e 3º dígitos – indicam a latitude, em graus, da quadrícula, na qual a estação está situada.

4º e 5º dígitos – indicam a longitude, em graus, da quadrícula, na qual a estação está situada.

6º, 7º e 8º dígitos – indicam o número da estação, seqüencialmente, de acordo com sua entrada/cadastramento no Banco de Dados HIDRO, para estações situadas dentro de uma mesma quadrícula, independentemente da entidade operadora.

Dependendo dos parâmetros medidos/coletados na estação, e a existência de equipamentos, foram adotadas as seguintes designações:

- P – indica estação com pluviômetro;
- R – indica estação com registrador (pluviógrafo);
- E – indica estação com tanque evaporimétrico “A”;
- C – indica estação climatológica;
- T – indica estação telemétrica.

O Quadro 5 apresenta as estações fluviométricas, ativas e inativas, existentes na bacia do Rio Macaé, com detalhamento da entidade responsável, localização geográfica e área de cobertura da respectiva estação.

O Quadro 6 apresenta as estações pluviométricas, ativas e inativas, existentes na bacia do Rio Macaé, com detalhamento da entidade responsável, localização geográfica e altitude da respectiva estação.

CÓDIGO	NOME	TIPO	COD. RIO	RIO	ENTIDADE	LATITUDE	LONGITUDE	ÁREA (km ²)	INÍCIO	FIM
59120000	MACAÉ DE CIMA	F D	59310000	Macaé Cima	ANA	-22 22 19	-42 27 43	67	05/1967	Em operação
59125000	GALDINÓPOLIS	F D	59300000	Macaé	ANA	-22 22 09	-42 22 46	101	08/1950	Em operação
59128000	SANTIAGO ou SÃO TIAGO	F D	59311000	Santiago	ANA	-22 21 00	-42 22 00	18,69	05/1951	12/1959
59135000	PILLER	F D	59312000	Bonito	ANA	-22 24 30	-42 20 10	75	09/1950	Em operação
59137000	PONTE DO BAIÃO	F	59310000	Macaé Cima	ANA	-22 23 00	-42 05 00	604	06/1936	11/1939
59137100	PONTE DO BAIÃO – FR	F R D	59300000	Macaé	DNOS	-22 23 00	-42 59 00	-	09/1973	05/1980
59138000	FAZ. BELO MONTE	F	59300000	Macaé	DNOS	-22 21 00	-41 59 00	-	09/1935	03/1937
59138500	PONTES DA NEVES	F D	59300000	Macaé	DNOS	-22 20 00	-41 58 00	-	06/1954	01/1955
59139000	SEVERINA	F D	59301000	Canal Macaé	DNOS	-22 18 00	-41 53 00	896	09/1973	05/1980
59139500	UHE MACABU – JUSANTE	F D T	59313000	Rio São Pedro	CERJ	-22 14 21	-42 06 06	–	05/1999	Em operação
59140000	GLICÉRIO (CRUBIXAIS)		59313000	Rio São Pedro	DNOS	-22 14 00	-42 03 00	–	11/1935	12/1938
59142000	GLICÉRIO (PCH)	F D T	59313000	Rio São Pedro	CERJ	-22 13 43	-42 02 50	–	02/2002	Em operação
59145000	FAZENDA PAU FERRO	F R D	59301000	CANAL MACAE	DNOS	-22 17 00	-41 50 00	1391	09/1973	05/1980
59146000	IBIRIRI	F D	59300000	RIO MACAÉ	DNOS	-22 19 00	-41 48 00	1481	06/1952	07/1956
59146500	FAZ. SÃO LUIZ	F D	59315000	Canal Jurumirim	DNOS	-22 14 00	-41 45 00	42,19	04/1979	05/1980
59147000	FAZ. INGAZEIRA	F D	59315000	Canal Jurumirim	DNOS	-22 15 00	-41 44 00	72,5	9/1973	5/1980
59150000	MACAÉ	F	59300000	RIO MACAÉ	DNOS	-22 22 00	-41 47 00	1710	08/1935	12/1961
59150100	RESIDÊNCIA DE MACAÉ	F D	59300000	RIO MACAÉ	DNOS	-22 22 00	-41 47 00	1710	09/1973	05/1980
	TERMO ELETRICA NORTE FLUMINENSE	T	59300000	RIO MACAÉ		-22 17 40	-41 52 46			

Quadro 5: Estações Fluviométricas existentes, ativas e inativas na bacia do rio Macaé.

Fonte: Elaboração própria a partir de ANA (2006)b

A Figura 15 espacializa as Estações de Monitoramento Fluviométrico na Bacia do Rio Macaé.



Figura 15: Cartograma das Estações de Monitoramento Fluviométrico na Bacia do Rio Macaé. Fonte: Elaboração Própria, 2009.

A Figura 16 mostra a estação fluviométrica de Galdinópolis, na qual a ANA é responsável e o CPRM operaliza.



Figura 16: Estação Fluviométrica Galdinópolis. Fonte: Elaboração própria, 2009.

CÓDIGO	NOME DA ESTAÇÃO	TIPO	MUNICÍPIO	ENTIDADE	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE (m)	INÍCIO	FIM
02241002	USINA QUISSAMÃ	P	MACAÉ	ANA	-22 06 22	-41 28 16	15	11/1966	-
02241003	MACABUZINHO	P	Conceição de Macabu	ANA	-22 04 39	-41 42 32	19	05/1943	-
02241004	FAZ. ORATÓRIO	P	MACAÉ	ANA	-22 15 33	-41 59 03	50	06/1967	
02241010	QUICAMA	P	MACAÉ	DNOS	-22 0600	-41 28 00	-	06/1936	08/1978
02241011	CONDE DE ARARUAMA	P	MACAÉ	DNOS	-22 04 00	-41 36 00	-	03/1949	08/1964
02241013	FAZ. SEVERINA	PPr	MACAÉ	DNOS	-22 17 00	-41 54 00	-	12/1973	06/1980
02241014	FAZ. BELO MONTE – NEVES	P	MACAÉ	DNOS	-22 21 00	-41 59 00	25	09/1935	12/1963
02241015	CARAPEBUS (EFL)	P	MACAÉ	DNOS	-22 11 00	-41 39 00	15	08/1950	12/1963
02241016	MACAÉ	P	MACAÉ	DNOS	-22 22 00	-41 47 00	3	01/1935	10/1980
02241020	MACAÉ	PCT	MACAÉ	INMET	-22 23 00	-41 48 00	32	01/1922	06/1990
02241022	FAZ. INGAZEIRA	P	MACAÉ	DNOS	-22 15 00	-41 44 00	-	12/1973	06/1980
02241027	FAZ. DO IMBURO	P	MACAÉ	DNOS	-22 14 00	-41 47 00	28	07/1979	08/1980
02241028	SÃO JOSÉ DO BARRO VERMELHO	PPr	MACAÉ	DNOS	-22 11 00	-41 46 00	46	06/1979	06/1980
02241029	MACAÉ (PESAGRO)	PC	MACAÉ	INMET	-22 23 00	-41 46 00	3	04/1979	03/1997
02242001	LEITÃO DA CUNHA	P	Trajano de Moraes	ANA	-22 02 34	-42 02 34	425	12/1965	-
02242002	MARIA MENDONÇA	P	Trajano de Moraes	ANA	-22 11 11	-42 09 49	800	12/1965	-
02242003	PILLER	P	Nova Friburgo	ANA	-22 24 17	-42 20 21	670	08/1950	-
02242004	GALDINÓPOLIS	P	Nova Friburgo	ANA	-22 21 49	-42 22 51	740	08/1950	-
02242005	FAZ. SÃO JOÃO	P	Nova Friburgo	ANA	-22 23 22	-42 30 00	1.010	05/1967	-

Quadro 6: Estações Pluviométricas existentes, ativas e inativas na bacia do rio Macaé.

Fonte: Elaboração própria a partir de ANA (2006)a.

A Figura 17 espacializa as Estações de Monitoramento Pluviométrico na Bacia do Rio Macaé.



Figura 17: Cartograma das Estações de Monitoramento Pluviométrico na Bacia do Rio Macaé. Fonte: Elaboração própria, 2009.

A Figura 18 apresenta a estação pluviométrica de Galdinópolis, também de responsabilidade da ANA.



Figura 18: Estação Pluviométrica de Galdinópolis. Fonte: Elaboração própria, 2009.

2.4.2 Objetivos da rede de monitoramento.

Conforme Harmancioglu, Ozkul e Alpaslan (1998) *apud* Soares (2001) a maioria das redes de monitoramento não preenchem as expectativas esperadas. Galvão (2004) *apud* Gontijo Jr. (2007) acredita que “diferenças de conceito, diferenças no nível de desenvolvimento e diferenças de objetivos são alguns dos fatores que dificultam a classificação das redes”. O tipo de informação desejada depende diretamente dos objetivos da rede, ou seja, os objetivos a serem atingidos com o estabelecimento das redes são em função dos usos a se fazer das informações disponibilizadas por ela. Sendo assim, todas as fases de planejamento da rede devem estar direcionadas a atender a tais objetivos. Soares (2001) lista os principais fatores de deficiência das redes de monitoramento, dentre elas: i) a falta de diretrizes universalmente aceitas e sistematizadas para o projeto e avaliação dessas redes; e, ii) a definição superficial e precária dos objetivos, além da dificuldade em responder as perguntas balizadoras da estruturação da rede, tais perguntas são apresentadas a seguir (WMO, 1994 *apud* PAIVA e PAIVA, 2003):

Quais variáveis hidrológicas necessitam ser observadas?

Onde elas precisam ser observadas (pontos das observações)?

Qual deve ser a frequência de observação?

Qual deve ser o período do programa de observação?

Com que precisão devem ser observadas?

Qual tratamento para os dados?

Como a literatura pertinente não dispõe, de forma sistematizada da definição clara e direcionada para alcançar os objetivos do monitoramento, diferentes autores estabelecem estratégias diversas para o enfrentamento dessa questão. Nesse panorama, Soares (2001) e Gontijo Jr. (2007), reúnem alguns desses conceitos em seus trabalhos. De forma genérica, esses objetivos subdividem-se em duas vertentes: de hidrologia e de gestão.

Os objetivos hidrológicos visam atender à necessidade de conhecimento do comportamento dos cursos d'água de uma bacia hidrográfica, minimamente para as seguintes finalidades (GONTIJO, 2007):

- a) Estudos hidrológicos específicos para a implantação de projetos e obras hidráulicas;
- b) Estudos hidrológicos para modelagem do comportamento hídrico da bacia;
- c) Correlações entre os cursos d'água e o uso e ocupação do solo; e
- d) Correlações entre os cursos d'água e as mudanças climáticas globais.

Os objetivos de gestão visam a obter informações que possam subsidiar a tomada de decisão quanto aos usos dos recursos hídricos em determinada bacia, atendendo aos seguintes interesses:

a) Subsídios para o planejamento de uso dos recursos hídricos, atendendo aos múltiplos usuários, às metas de qualidade e quantidade expressas no enquadramento dos corpos d'água e à compatibilização com as demais políticas públicas correlatas;

b) Subsídios à regulação dos usos, principalmente quanto: à alocação dos recursos hídricos, à autorização de seus usos por intermédio da outorga de direito, à fiscalização dos usos e à investigação de fontes clandestinas; e

c) Monitoramento preventivo para sistemas de alerta.

Outra classificação de grande pertinência é descrita em Coimbra (1991) *apud* Soares (2001), a qual divide os objetivos entre planejamento e controle. Planejamento no que tange ao fornecimento de informações sobre a qualidade da água com vistas a satisfazer as necessidades futuras; ao prognóstico dos efeitos de novas captações ou dos lançamentos de despejos; e ao auxílio na avaliação dos efeitos de variações hidrológicas sobre o regime de escoamento provocado por obras hidráulicas. Controle em relação à identificação de áreas críticas e à avaliação de urgência de ações que visem melhorar a qualidade da água, garantido-a aos usuários da referida bacia. Os procedimentos de controle também possibilitam a avaliação da eficácia da gestão e seus instrumentos, e a determinação das variações da qualidade da água em períodos específicos (seco e chuvoso), para detectar e medir tendências e propor ações preventivas.

A classificação da rede hidrométrica realizada pela ANEEL (IBIAPINA *et al.*, 1999 *apud* GONTIJO Jr., 2007) divide as redes conforme o objetivo em: rede básica; rede de interesse energético; de interesse da navegação; de interesse da irrigação; estratégica; e hidrogeoquímica. Essa classificação fragmentada está em desacordo com a gestão integrada e participativa, onde não há a visão sistêmica dos usos múltiplos da água, focando o monitoramento para determinados usos específicos.

Em relação ao monitoramento da qualidade da água (KOIDE e SOUZA, 2003) citam como exemplo de objetivos: i) verificar a conformidade com padrões de qualidade da água para usos diversos; ii) determinar eficiência de processos de tratamento e de métodos de controle à poluição, como também fornecer os dados para a formulação de tais programas; e iii) fornecer informações para o planejamento do desenvolvimento dos recursos hídricos. E também LANNA (2004) cita como objetivo: o acompanhamento da evolução da qualidade no manancial ao longo do tempo, como reflexo do uso do solo na bacia e de medidas de controle

de poluição adotadas; e a avaliação do ambiente aquático, considerando além da água, sedimentos e material biológico. Nesse sentido, o monitoramento da qualidade da água pode ser utilizado para orientar os usos, o controle e a preservação do recurso.

Já os dados fluviométricos são muito importantes nos estudos de bacias hidrográficas e podem atender aos objetivos de: planejamento de uso dos recursos hídricos, previsão de cheias, gerenciamento de bacias, saneamento básico, abastecimento público e industrial, aproveitamento energético, navegação, irrigação, transporte, além de sua grande importância científica e sócio-econômica (CARVALHO, 2006).

A localização dos pontos de amostragem, o material a ser coletado, os parâmetros a serem analisados, o período e a frequência de amostragem vão depender dos objetivos do monitoramento (PINHEIRO *et. al.*, 2007).

A definição dos objetivos de uma rede de monitoramento, de quaisquer tipologias, não pode ser considerada uma tarefa trivial e de fácil conclusão, requisitando a consideração de vários fatores, incluindo os aspectos sociais, legais, econômicos, políticos, administrativos, práticos e operacionais da rede (SOARES, 2001).

Os tipos de monitoramento estão diretamente atrelados aos objetivos da rede. Pode-se destacar o monitoramento de alerta (PETTS, 1996 *apud* SOARES, 2001); o de análise de tendências; monitoramento focado na determinação do transporte e no destino de poluentes; na definição de áreas críticas; na fiscalização; na pesquisa e/ou na definição de problemas relacionados à qualidade da água (USDA, 1996 *apud* SOARES, 2001). Os tipos de monitoramento podem também ser classificados como pluviométricos; evaporimétricos; sedimentométricos; fluviométricos; e da qualidade da água (PAIVA e PAIVA, 2003). A cada tipo de monitoramento está relacionada uma estratégia de planejamento em cada fase de construção da rede, com seus respectivos métodos e procedimentos, indo desde o posicionamento das estações de amostragem até o tratamento e disponibilização dos dados.

Lima (2004) entende que a localização das estações de amostragem de uma rede de monitoramento da qualidade da água é a um das definições mais difíceis e importantes no estabelecimento da rede. Para Gontijo Jr. (2007) a área a ser considerada para alocação das estações deve levar em conta os fenômenos e os objetivos atrelados a rede, tendo em vista que estes são influenciados pela escala espacial. O autor explica que o comportamento das vazões sofre mais interferência das variações de precipitação e da cobertura do solo quanto menor é essa área. Em virtude de tamanha importância, alguns pesquisadores estabeleceram e ainda estabelecem métodos e procedimentos em atendimento a essa fase do planejamento das redes. Alguns deles serão mencionados no decorrer do texto.

Diferentemente do objetivo da rede, a determinação da frequência da amostragem recebe um enfoque baseado em análise estatística, tendo um caráter mais objetivo (LIMA, 2004). Sanders *et al.* (1994) *apud* Lima (2004) destacam que a definição, tanto da localização dos pontos de amostragens, como das variáveis a se analisar, por vezes, possui aspectos legais, políticos ou administrativos inerentes ao gerenciamento da água, sendo a determinação da frequência da amostragem a principal consideração a ser feita pelo projetista da rede. A frequência de amostragem também depende do nível de confiança requerido para o tratamento dos dados (LIMA, 2004). Soares (2001) chama atenção para a forte relação entre a frequência da amostragem e o custo de operação da rede, fato este que exige grande atenção a essa etapa do projeto.

2.4.3 Métodos e procedimentos para estruturação da rede de monitoramento.

A literatura pertinente possui poucos procedimentos e métodos sistematizados, que sejam capazes de direcionar ao adequado planejamento de redes de monitoramento de águas superficiais. Para cada etapa de estruturação de uma rede existem métodos e procedimentos específicos, entretanto, estes não estão relacionados diretamente aos objetivos aos quais a rede deve atender. De um modo geral, os procedimentos devem responder às perguntas recomendadas pela WMO (1994) citadas no item 4.2.1, necessárias ao estabelecimento da rede.

Gontijo Jr. (2007) reúne alguns desses métodos e procedimentos consagrados na literatura e Soares (2001) cita alguns outros autores que contribuíram no desenvolvimento desses métodos. Os dois autores propõem procedimentos próprios, como também Lima (2004). No texto que se segue há uma breve descrição e/ou considerações dos métodos mais citados pela literatura.

2.4.3.1 Métodos e procedimentos para localização das estações

SANTOS *et al.* (2001) afirmam que a densidade e distribuição de estações em uma rede e a frequência de observação necessária dependem da variabilidade temporal e espacial das variáveis hidrológicas ou meteorológicas a serem observadas.

O comportamento das vazões em uma determinada área de drenagem está mais diretamente relacionado com as variações de precipitações e da cobertura do solo quanto menores é essa área. Assim, a escala espacial a ser considerada para a coleta dos dados determina os fenômenos e objetivos atendidos por determinada rede fluviométrica. Somado a

essas afirmações, Galvão e Menezes (2005) propõem que a área mais adequada para o monitoramento hidrológico em uma bacia hidrográfica, para fins de gerenciamento dos usos desta bacia, deve estar compreendida entre 1.000 e 6.000 km.

Conforme WMO (1984) o objetivo de uma rede em uma região é permitir a interpolação entre os dados provenientes de estações distintas, a fim de determinar com suficiente precisão para fins práticos as características desses elementos hidrológicos em qualquer lugar da região (em quantidade suficiente para definir a distribuição estatística do elemento de estudo). Aos dados das estações de uma rede geralmente se aplica algum tipo de modelo hidrológico para fornecer a informação necessária às tomadas de decisões que envolvem fenômenos (SALGUEIRO, 2005).

No procedimento da WMO, o primeiro passo é estabelecer uma rede mínima ou básica. Como ela é destinada ao levantamento das informações básicas para o desenvolvimento de projetos relacionados aos recursos hídricos e dos seus respectivos estudos hidrológicos, esta rede não permite a elaboração de projetos detalhados, devendo ser ampliada para tal finalidade (PAIVA e PAIVA, 2003). O conhecimento hidrológico da área é a base para o planejamento e estruturação da rede; o tratamento dos dados e a respectiva redução da incerteza por métodos estatísticos são elementos imprescindíveis no manuseio da informação gerada (WMO, 1994 *apud* GONTIJO Jr., 2007).

Segundo Salgueiro (2005), para organizar formalmente uma rede geralmente constata-se a existência de algumas estações em funcionamento. Quando estas estações foram operadas durante um longo tempo e geradas séries confiáveis, conclui-se que deverão continuar operando uma vez que forneceram informações necessárias ao desenvolvimento da rede formal que se deseja. Caso alguma estação não tenha apresentado sua localização totalmente satisfatória é prudente instalar outra em suas proximidades, para assim estabelecer uma correlação entre as observações durante um período de pelo menos dez anos, podendo ser desativada no caso de insucesso. Se a correlação satisfizer, deverá considerar esse ponto antes de abandonar a antiga estação.

Nesse contexto, a maioria dos métodos para localização das estações de amostragem utiliza o conhecimento da rede de drenagem da bacia hidrográfica e/ou características de vazão como base para a determinação de tais pontos.

A WMO apresenta também informações sobre as densidades de uma rede mínima, correlacionando a área mínima em km² por tipos de estação (pluviométricas, evaporimétricas, sedimentométricas, fluviométricas, e da qualidade da água) para diferentes zonas climáticas e geográficas. A exemplo de ilustração, o Quadro 7 apresenta a densidade mínima (área mínima

da rede de drenagem a ser monitorada por uma estação) recomendada para as estações fluviométricas, cujo objetivo principal é obter informações da disponibilidade dos recursos hídricos, sua distribuição geográfica e sua variabilidade no tempo e a Quadro 8 para estações de qualidade da água, a qual depende da hidrologia e do uso da água.

Unidade fisiográfica	Densidade mínima (km ² / estação)
Litoral	2750
Montanhosa	1000
Planície interior	1875
Ondulada	1875
Pequenas ilhas	300
Polar / Árida	20000

Quadro 7: Recomendações de densidade mínima de estações fluviométricas.
Fonte: WMO, 1994.

Unidade fisiográfica	Densidade mínima (km ² / estação)
Litoral	55000
Montanhosa	20000
Planície interior	37500
Ondulada	47500
Pequenas ilhas	6000
Polar / Árida	200000

Quadro 8: Recomendações de densidade mínima de estações de qualidade da água.
Fonte: WMO, 1994

Cabe ressaltar que esses valores são referências para uma rede mínima, representando o limite mínimo recomendado pela WMO (1994) *apud* Paiva e Paiva (2003), e servem como parâmetro para a comparação com a área determinada para cada tipo de rede com seus respectivos objetivos, ou seja, é o limite mínimo recomendado pela MMO.

O DNAEE avança na elaboração de um procedimento, e estabelece o procedimento WMO como primeira etapa; como etapa seguinte o órgão propõe a utilização das técnicas de mapeamento da bacia de drenagem, visando relacionar as características fisiográficas com as variáveis hidrológicas; A regionalização das variáveis hidrológicas, visando identificar regiões homogêneas; e a análise do aspecto econômico, numa abordagem sistêmica, em busca do

melhor custo-benefício (GONTIJO Jr., 2007).

A rede fluviométrica do rio São Francisco foi avaliada por Galvão (2004) *apud* Gontijo Jr. (2007), e de acordo com o autor “apresentou resultados convergentes aos processos empíricos”, contribuindo de forma significativa ao processo de planejamento de redes. O autor propõe ainda que o procedimento seja replicado em outras bacias no intuito de maior validação. O diferencial desse procedimento é a utilização do Sistema de Informações Geográficas (SIG), pela facilidade de cruzamento de dados representados geograficamente, possibilitando o mapa de localização potencial das estações fluviométricas.

Outro procedimento foi proposto por Llamas (1996) *apud* Gontijo Jr. (2007). Nele o que mais se destaca são as considerações prévias de critérios para o levantamento das seções de controle mais importantes para a gestão; o mapeamento de condições locais especiais de fluxo natural ou regularizado; a verificação da necessidade das estações fluviométricas para subsidiar as estações de monitoramento da qualidade da água.

Para análise e otimização de redes pluviométricas tem sido muito utilizado o método geoestatístico, o qual permite avaliar os fenômenos naturais consideradas suas características aleatórias e espaciais (GONTIJO Jr., 2007). Também Shaw (1994) *apud* Soares (2001) relaciona o dimensionamento do número mínimo de estações pluviométricas com a área de drenagem da bacia. Soares (2001) destaca ainda o procedimento generalizado para o dimensionamento de redes de monitoramento pluviométricas desenvolvido por Bras (1990), o qual requer o conhecimento da correlação espacial da precipitação.

Sanders (1974) *apud* Soares (2001), adaptado dos estudos de Horton (1945) e Sharp (1970 e 1971), desenvolve o conceito da determinação dos pontos de amostragem em duas etapas: a macrolocalização e a microlocalização. De acordo com essa conceituação, a macrolocalização é a determinação do trecho ou da seção do rio onde serão monitoradas as variáveis da qualidade da água, considerando a escala da bacia hidrográfica. A microlocalização determina o local no trecho ou do ponto na seção transversal escolhida, considerando a escala do curso d'água (por exemplo considerando as descargas de efluentes no trecho considerado ou segundo as características do escoamento), buscando com isso a seção do rio onde há mistura completa. Soares (2001) discorre sobre os trabalhos que abordam a macro e microlocalização. Lima (2004) cita o exemplo de microlocalização cujo objetivo da rede é identificar as tendências na qualidade dos corpos d'água. Nesse caso, deve-se selecionar locais onde haja mínima influência de fatores que possam alterar o padrão de qualidade predominante no rio. Além dessa forma de microlocalização, a autora oferece formas alternativas com base estatística de se definir pontos de amostragem a partir da mistura completa dentro do rio.

O método desenvolvido por Sharp (1970 e 1971) é, então, utilizado para macrolocalização. Nesse método a definição dos pontos de amostragem na escala da bacia hidrográfica está fundamentalmente atrelada às análises do uso e ocupação do solo e da água, entre outras variáveis, ao considerar a rede de drenagem da bacia (LIMA, 2004). Dentre as obras analisadas, o método Sharp foi o mais empregado, tanto para localização das estações fluviométricas como para as de qualidade da água. Este método é adequado para redes de acompanhamento de longo prazo e/ou para localizar o trecho ou fonte poluidora responsável pela violação dos padrões de qualidade da água na bacia. Gontijo Jr. (2007) analisa o método e conclui que o mesmo “permite localizar estações para objetivos hidrológicos, nas escalas temporais necessárias a estudos de alterações climáticas e que atendam aos usos frequentes de recursos hídricos”. O método consiste na análise topológica da rede de drenagem⁴, a fim de dividir a bacia em porções relativamente iguais quanto ao número de tributários contribuintes, para assim definir a seqüência ótima de amostragem. Essa divisão inicia-se pelo ordenamento dessa rede de drenagem, ou seja, pela definição da ordem do rio⁵. Lima (2004) e Gontijo Jr. (2007) descrevem de forma mais detalhada esse método. O método Sharp vem sendo adaptado por diversos autores desde a sua formulação, dentre os quais, Sanders *et al.* (1994) *apud* Lima (2004), ao sugerir o procedimento do ordenamento da bacia utilizando as variáveis com base no número de confluências ou no valor de um indicador de poluição, ao invés da variável com base no número de tributários.

Além das características topográficas, Lima (2004) recomenda a investigação da influência de outras variáveis na macrolocalização. A autora sugere ainda a busca de relações entre os locais de coleta e as características físicas da bacia, como a área de drenagem, densidade de drenagem, e comprimento dos tributários.

Segundo Santos (2001) *apud* Carvalho (2006), na escolha do local de instalação das estações fluviométricas deve-se obedecer a alguns requisitos básicos:

- a. boas condições de acesso permanente à estação;
- b. presença de observador em potencial;
- c. leito regular e estável (preferencialmente, que não sofra alterações);
- d. trecho reto, ambas as margens bem definidas, altas e estáveis, e de fácil acesso durante as cheias;
- e. local de águas tranqüilas, protegidas contra a ação de objetos carregados pelas

⁴ As características da rede de drenagem são descritas topologicamente como uma malha interligada desde as cabeceiras até o exutório da bacia (Gontijo Jr., 2007).

⁵ Também o conceito de ordenamento possui algumas variações (HORTON, 1945; STRAHLER, 1957;

cheias;

- f. relação unívoca cota x vazão.
- g. trecho com um bom controle à jusante;

De acordo com DNAEE (1970), controle é a conformação física que um rio apresenta a jusante da estação fluviométrica que condiciona a relação cota-descarga, podendo ser natural ou artificial. Um exemplo de um bom controle é um estreitamento das margens, quedas ou corredeiras a jusante da estação. Assim, via de regra deve-se evitar locais onde se supõe que, em breve, possam sofrer alterações que obriguem mudança de local (afogamento por barragem, dragagem do rio, edificações, terraplanagem, etc.).

Uma adaptação ao método Sharp desenvolvida por Soares (2001) em relação sua aplicação para a localização de estações fluviométricas permitiu que tanto a área drenada quanto a vazão fluvial fossem consideradas como medida da magnitude dos trechos de rede.

2.4.3.1.1 Método utilizando o conceito de entropia.

Entropia é uma variável que mede o grau de evolução de um sistema físico. De acordo com a segunda lei da termodinâmica, qualquer sistema físico isolado avançará espontaneamente na direção de uma desordem sempre crescente e a entropia é a medida dessa desordem (CAPRA, 2006). Essa definição, quando adaptada para sua aplicação em hidrologia, poderia ser interpretada como o grau de ramificação de uma rede de drenagem (GONTIJO Jr., 2007). Uma das principais propriedades da entropia é que o seu valor máximo, ou a máxima quantidade média de informação por mensagem ocorre quando todos os eventos são igualmente prováveis e independentes. Neste caso, as probabilidades individuais de ocorrência são todas iguais e cada mensagem contribui com a mesma quantidade de informação. Essa propriedade coincide com a noção intuitiva de que a máxima informação deve ser transmitida quando os eventos são aleatórios ou igualmente prováveis. Se o caso de eventos igualmente prováveis não ocorre, a informação média diminuirá em relação à máxima (SOARES, 2001).

O comportamento da entropia, enquanto função H , é tal que a informação sobre a média será máxima quando a entropia for mínima, pois a entropia marginal, ou seja, a entropia de cada estação de monitoramento é função da variância do vetor de valores da variável considerada (SOARES, 2001). Com essas definições pode-se introduzir, então, a representação da informação média associada a uma série hidrológica, ou entropia própria da série. Segundo

Shannon (1962) apud Gontijo Jr. (2007), a informação média será máxima (I_{max}) quando a probabilidade de ocorrência de todos os eventos for a mesma, ou seja, quando há a máxima incerteza ou máxima entropia da série. Assim, quanto mais desiguais forem as probabilidades de ocorrência dos dados numa série ergódica (estacionária), menor será a quantidade média de informações da série.

A teoria da informação sugere que se possa medir a redundância ou sobreposição de informações contidas na série como a diferença entre a máxima informação que poderia ser transportada e a informação média verificada na série. Essa redundância própria de cada série é calculada pela equação 3.1.

$$H(x) = (1/2) \ln(2) + (1/2) \ln(\sigma^2) + (1/2) - \ln(\Delta X_i) \quad 3.1$$

Na qual:

$H(X)$ = entropia própria de X

σ^2 = variância da série amostral

ΔX_i = intervalo de amostragem dos dados

Por sua vez, o aumento da variância equivale ao aumento da entropia própria da série, pois, a entropia será grande quando os valores dos eventos possuírem alta variabilidade, ou seja, quando há muitos resultados prováveis, o valor esperado é muito incerto, ou ainda, a quantidade de informação da média é baixa, porém, a informação fornecida pela série é alta.

Por outro lado, quando são analisadas duas séries de dados sequenciais essas podem conter informações independentes ou trazer redundâncias nas informações que transportam. Nestes casos, a quantidade de informação transportada pelas duas séries é menor que se quantificadas separadamente. Por exemplo, ao compararmos duas séries fluviométricas sequenciais haverá uma quantidade de informação que foi “transportada” da série a montante para a de jusante. A essa “redundância” denomina-se entropia condicional. Uma maneira de expressar a informação sobre a média é utilizando-se de uma distribuição de probabilidades e definindo-se uma nova quantidade chamada entropia da distribuição

Para o cálculo da entropia condicional, Soares propõe a equação 3.2:

$$\min [TR(X_1, X_j)] = \min [H(X_1) - H(X_1|X_j)] \quad 3.2$$

Em que:

$$H(X_1|X_j) = [(j/2) \ln(2\pi) + (1/2) \ln|C| + (j/2) - j \ln(\Delta X)] - H(X_j) \quad 3.3$$

Nas quais:

$H(X_1|X_j)$ = entropia condicional de X_1 , dado X_j .

j = de 2 a M' , onde M' é igual às M estações da rede.

$|C|$ = determinante da matriz de covariâncias C (que mede as dependências entre as séries amostrais associadas)

ΔX = intervalo de amostragem dos dados, assumido o mesmo para todas as estações M .

Um aspecto de importante relevância em sua aplicação é que esse método pode ser utilizado por bacias sem dados de qualidade da água, utilizando-se apenas o conhecimento da área de drenagem da mesma para a macrolocalização das estações, especialmente no caso do Brasil, que não dispõe das informações suficientes para a gestão dos recursos hídricos. Nesse contexto, Soares (2001) faz um estudo para macrolocalização baseada nas características de drenagem da bacia hidrográfica para bacias com e sem dados de qualidade da água, utilizando-se o conceito de entropia. Nesse estudo o autor sugere a alocação das estações baseada no número de tributários contribuintes; no número de descargas pontuais de poluentes; e em medidas de cargas poluentes. Soares (2001) apresenta um estudo de caso na bacia do Rio Pirapó – Panará. Já Gontijo Jr. (2007) aplicou esse método para avaliar a rede de monitoramento de quantidade da água em três regiões hidrográficas, sejam elas: Rio das Velhas; Alto Rio Grande e Paramirim/Santo Onofre/Carnaíba de Dentro. Soares (2001) propôs um procedimento para a aplicação do método com intuito de determinar o redimensionamento de rede de monitoramento da qualidade de água, constituída por M estações em uma mesma bacia hidrográfica. Gontijo Jr. (2007) avaliou a aplicabilidade do método utilizando dados de vazão, para o redimensionamento da rede de monitoramento da quantidade de água. Gontijo Jr. (2007) afirma que tal método mostra-se aplicável ao atendimento tanto dos objetivos hidrológicos quanto dos de gestão, assim como aos estudos em todas as escalas temporais, menos àquela necessária aos sistemas de alerta, para monitoramento da qualidade e da quantidade da água. A grande vantagem desse método seria a mínima necessidade de informações para sua aplicabilidade, somente necessitando de informações fluviométricas iniciais. Essa vantagem, no entanto, é relativa já que, somente bacias com séries ergódicas (estacionárias) podem ser objeto da aplicação desse método.

2.4.3.2 Métodos e procedimentos para determinação da frequência de amostragem.

É importante saber o número ideal de amostras para se conseguir um grau de certeza mínimo aceitável nas conclusões. Também a medição contínua de qualidade da água pode gerar redundância nas informações geradas. A frequência e a periodicidade de amostragem são função da variabilidade da qualidade da água no ecossistema (KOIDE e SOUZA, 2003; LIMA, 2004).

A vazão exerce forte influência na maioria das variáveis indicadoras de qualidade da água. Desta forma, qualquer programa de monitoramento da qualidade da água deve estar associado ao monitoramento da vazão. As variáveis mais influenciadas pela vazão são os sólidos suspensos; o fósforo; pesticidas; entre outros relacionados aos sedimentos. Na maioria dos casos, as medidas de concentração das variáveis de qualidade da água são promovidas de forma discreta ao longo do tempo, enquanto que os valores de vazões são obtidos de maneira contínua, através de linígrafos ou, ao menos, com frequência diária, pelas leituras de linímetros (LIMA, 2004).

Na determinação empírica da frequência de amostragem proposta por Pomeroy e Orlob (1967) *apud* Soares (2001), a mesma pode ser definida com base em seus índices físicos (área de drenagem e declividade) e condições de vazão (relação entre a vazão máxima e mínima. A aplicação dessa metodologia pode ser válida para pré-definição da frequência de amostragem em bacias não monitoradas. A crítica sobre esse método é a simplificação considerada, pois não contempla aspectos fundamentais na definição da frequência, como exemplo a variabilidade das variáveis ao longo do tempo em função do uso do solo e /ou capacidade de depuração do rio (LIMA, 2004).

A determinação da frequência de amostragem pode também ser realizada com base estatística, ou seja, em estudos estatísticos dos erros de amostragem, que produzem o número mínimo de amostras. O cálculo deste número depende do conhecimento prévio do comportamento da qualidade da água no local, considerando uma distribuição de probabilidade das concentrações de cada característica de qualidade da água a ser medida (KOIDE & SOUZA, 2003). A principal crítica a esse tipo de abordagem é a análise estatística pura, sem o julgamento do projetista da rede. Lima (2004) sugere para bacias não monitoradas a aplicação do método de Pomeroy e Orlob, adaptado por Soares (2001), enfatizando que em épocas de estiagem as variáveis possuem menor variabilidade, exigindo amostragens menos frequentes em relação às épocas chuvosas.

A metodologia *snapshot*, proposta por Grayson *et. al.*, 1997 *apud* Lima, 2004, é

indicada quando já existe uma rede de monitoramento com frequência fixa de amostragem e se deseja identificar fontes pontuais de poluição, ou ainda, avaliar a influência da litologia e uso do solo na qualidade da bacia, não se aplicando para a determinação de cargas anuais de poluentes.

Lima (2004) observou que nas redes de qualidade da água em operação, em geral, a frequência de amostragem é fixa e dependendo de seu objetivo, faz-se tomadas de amostras suplementares em épocas de cheias.

2.4.3.3 Determinação das variáveis a serem monitoradas.

É importante conhecer a ocupação da bacia e os usos preponderantes de seus recursos hídricos, para se ter uma noção preliminar das principais variáveis a selecionar. Nesse caso o que se busca são os indicadores mais adequados para traduzir as informações a cerca do estado e da evolução do comportamento das águas superficiais. Em relação à qualidade da água, Lima (2004) sugere a priorização das variáveis com maior probabilidade de exceder os limites estabelecidos na legislação, em específico os dispostos na Resolução CONAMA 357/05. A autora também faz uma análise das correlações estatísticas entre a cobertura da terra e a qualidade da água em bacias hidrográficas, apresentando tal correlação como um instrumento útil para a seleção das variáveis da qualidade da água, assim como para a determinação preliminar da distribuição espacial dos pontos de monitoramento em outras bacias na mesma região.

De acordo com Koide e Souza (2003), a seleção das variáveis dependerá dos métodos e sistemas de análise dos resultados escolhidos, assim como dos objetivos da rede. Os autores citam como exemplo que se for selecionado um modelo matemático de simulação para a interpretação dos dados, o conjunto de variáveis consideradas deve ser medido no monitoramento. Outro exemplo é o caso da verificação da adequação aos padrões de balneabilidade, em relação à implicação dos objetivos do uso dos dados nas variáveis da qualidade da água, o qual deve contemplar normalmente os índices de contaminação fecal e os sólidos em suspensão.

Soares (2001) faz um breve resumo das considerações de diferentes pesquisadores sobre as questões que influenciam a determinação das variáveis. Dentre eles, Sanders *et al.* (1983) considera que os fatores que podem afetar a seleção são os processos físicos naturais; os processos analíticos de determinação da qualidade da água; os aspectos institucionais; os custos; a quantidade de dados produzida; o controle de qualidade; as medidas efetuadas e as

técnicas estatísticas a serem utilizadas.

2.4.3.4 Determinação do período de amostragem.

Existem poucas pesquisas sobre a duração do período de amostragem. De acordo com Gontijo Jr. (2007), as características do regime fluvial têm forte dependência com a escala temporal, devendo ser relacionada inclusive com os interesses específicos dos usos dos recursos hídricos. Tais interesses podem ser agrupados em: i) alterações climáticas globais e grandes projetos hidráulicos; ii) usos de recursos hídricos mais frequentes e iii) usos para alerta. O atendimento aos distintos estudos requer escalas temporais compatíveis. A regulação de usos para a gestão e o acompanhamento da implementação de planos de recursos hídricos são exemplos de usos que necessitam de informações em prazo inferior a trinta anos.

Soares (2001) menciona que a duração de um programa de monitoramento pode ser definida em função dos objetivos da rede, da representatividade da variabilidade do fenômeno em estudo e dos recursos disponíveis. Cita inclusive critérios práticos para essa determinação, onde pode-se pensar em uma duração mínima de um ano hidrológico, para representar as variáveis de qualidade da água que são influenciadas pela vazão, e em até cinco anos para avaliar a tendência do fenômeno.

2.4.4 Definição do método ou do sistema de análise dos resultados.

Apesar da fase de tratamento dos dados ocorrer cronologicamente ao final, no monitoramento da qualidade da água, o método de análise dos dados deve ser definido antes, já que devem ser produzidos resultados capazes de produzir uma conclusão que responda aos objetivos da rede. Os métodos e os sistemas de análise de dados podem ser classificados em três grupos: i) estatísticos; ii) determinísticos, que envolvem o uso de algum modelo matemático de interpretação; e iii) os índices de avaliação da qualidade da água (KOIDE e SOUZA, 2003). Conforme Lima, 2004, o estabelecimento do método a ser empregado é função da determinação prévia dos objetivos da rede. A autora faz algumas considerações em relação à aquisição e manipulação dos dados, enfatizando que aliado à questão da necessidade de organização dos dados coletados também é importante disponibilizá-los a outros usuários. Atividade que será mais simples quanto maior a capacidade de padronização da aquisição e manipulação de tais dados. O cuidado em se deixar claro o que cada dado representa, bem como o significado de cada análise é essencial.

3 METODOLOGIA

Para adequar os objetivos propostos na pesquisa, foram empregados os seguintes procedimentos metodológicos: i) revisão bibliográfica e análise documental; ii) pesquisa de campo; e iii) análise da redundância da transmissão de informações das estações existentes e hierarquização das mesmas.

No primeiro momento, buscou-se entender a dependência entre a implementação e operacionalização dos instrumentos de gestão aos dados gerados pelo monitoramento das águas superficiais.

A revisão bibliográfica contribuiu também para o embasamento teórico-conceitual, permitindo conhecer os métodos e os fatores que interferem na hidrologia e na qualidade da água, assim como os procedimentos de avaliação das redes e os métodos estatísticos para interpretação dos resultados e para a determinação das características da rede em si.

A revisão da literatura mostra que a metodologia para a construção de redes de monitoramento de recursos hídricos não está sistematizada em um procedimento padrão, em virtude de seu caráter subjetivo, atrelado aos respectivos objetivos de cada rede de monitoramento, considerando as particularidades de cada projeto. Tão pouco, as metodologias que estabelecem cada fase da estruturação da rede também não estão sistematizadas nem direcionadas de forma clara aos objetivos da rede de monitoramento. Existem trabalhos (SOARES, 2001; LIMA, 2004; GONTIJO Jr., 2007) que se propuseram à montagem de um procedimento de projeto, estabelecendo uma cronologia de estudos e decisões. No presente estudo analisou-se a aplicabilidade desses procedimentos já propostos e selecionou o que melhor atenda ao estudo proposto, em consonância com as necessidades da Bacia do Rio Macaé.

A etapa de definição dos objetivos da rede exige maior atenção, pois é o ponto de partida, é o norteador da rede. A análise dos objetivos foi feita pela ótica dos objetivos dos usos das informações que a rede fornece, tendo em vista a carência de informações que traduzam de forma integrada a dinâmica fluvial da bacia, assim como do atual estado evolutivo do desenvolvimento de seu Comitê e os instrumentos de gestão ainda a serem implementados, como exemplo o próprio Plano de Bacia. Esta pesquisa se concentrou nos objetivos de gestão para nortear as análises na rede de monitoramento existente.

Um diagnóstico, mesmo que preliminar, da bacia hidrográfica em estudo faz-se necessário para subsidiar os aspectos técnicos da avaliação e reestruturação da rede. A

caracterização ambiental da área da bacia foi realizada com auxílio da revisão da produção científica, de trabalhos, e de documentos que se propuseram ao diagnóstico da bacia, como exemplo o Plano Preliminar de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Macaé, publicado em 2002 (FGV, 2002). Também foram pesquisados mapas que descrevam a bacia e sua respectiva área de drenagem. A análise documental foi feita graças à articulação com os órgãos competentes: INEA, ANA, IBEG, Secretarias Municipais, dentre outros; instituições e empresas privadas, como a UTE Norte Fluminense e a PETROBRAS. Também foram utilizados dados em estações já existentes. A abordagem esteve voltada para identificação das características físicas, químicas, biológicas e sócio-econômicas da bacia.

Para melhor entendimento e visualização da bacia, foi realizada uma campanha de campo, com objetivo de verificação das condições encontradas na análise documental e científica, como forma de atualização das informações e registros dos pontos críticos de degradação do corpo hídrico. Nessa campanha foram visitados os pontos de monitoramento mapeados por Pinheiro (2008), onde foram observados aspectos referentes ao uso e ocupação da terra, principais fontes de contaminação, principais captações de água e principalmente, foram visitadas as estações de monitoramento existentes em Macaé de Cima, Galdinópolis e Severina. Nas estações foram observados aspectos referentes à frequência de amostragem, manutenção dos equipamentos automáticos e procedimento de coleta dos dados.

Ainda para o diagnóstico do monitoramento na bacia do rio Macaé, foi apresentada a proposta do presente estudo na reunião ordinário da Plenária do Comitê de Bacia do Rio Macaé e das Ostras e aplicado questionário elaborado para esta finalidade, de forma a conhecer o estado da arte do monitoramento na bacia e do intercâmbio de informações entre as representações.

Da análise dos métodos identificados para redimensionamento da rede de monitoramento, o procedimento selecionado e aplicado foi proposto por Soares (2001) e ratificado por Gontijo Jr. (2007). A escolha desse procedimento deve-se ao fato de que o método utilizando o conceito de entropia pode ser empregado visando à avaliação da qualidade dos dados coletados em cada uma das estações de monitoramento assim como para a verificação da redundância existente nas diversas séries de dados visando à otimização das estações ou o redimensionamento da rede sob análise. Esse método é aplicável às séries ergódicas ou a séries de vazões naturais reconstituídas. Para a validação desse método foi necessário a avaliação das distribuições individuais de cada série de dados, de cada estação.

Os trabalhos de Soares (2001) e Gontijo Jr. (2007) estabelecem um fluxograma das etapas a serem obedecidas para a aplicação do método. Nesse fluxograma, inicia-se avaliando a

rede de drenagem e as condições de ergodicidade das séries de vazões. Definidas, também, as condições mínimas de aceitabilidade dessas séries (tempo de leitura e área mínima de drenagem), podem ser construídas as funções distribuição de frequência de cada uma das séries. A análise das diversas funções-distribuição de uma bacia permite que se identifique a função distribuição padrão, no presente estudo utilizou-se o *software* estatístico Minitab 15 para esta finalidade. Apenas aquelas bacias cujo comportamento estatístico hidrológico das distribuições de frequência das séries de vazões assemelha-se à função Log-Normal possuem equações já desenvolvidas para a utilização do método.

Procedimento:

1° considerar um mesmo período de tempo (Δt) para todas as séries amostrais das estações, privilegiando aqueles períodos suscetíveis a menores influências com relação à dependência espacial e temporal dos dados coletados;

2° considerar um mesmo intervalo de valores para os dados das amostras (ΔX) para todas as estações (o número de dados “N” nesse intervalo poderá ser menor que o número máximo já que podem existir valores perdidos ou intervalos sem amostragem na série considerada);

3° utilizar a vazão específica como a variável a ser analisada;

4° selecionar estações localizadas nas bacias com comportamento hidrológico ergódico por meio da função densidade de probabilidade que melhor se ajusta aos dados da série, para todas as estações (para os parâmetros relacionados à vazão fluvial sugere-se que seja utilizada a função Log-Normal);

Calcula-se, então, os valores da entropia própria, com o valor amostral relativo ou igualando este valor a 1 (um). Da análise dos valores destas entropias, pode-se estabelecer uma primeira hierarquia para as estações.

5° Cálculo da entropia própria de cada série (ou estação):

a) para distribuições multivariadas Normal ou Log-Normal, calcular a entropia própria de cada estação pela equação 3.1;

b) classificar as estações em ordem decrescente do valor da entropia própria;

c) numerar as estações em ordem crescente, de 1 a M, definindo a de maior entropia própria como número 1, a de segunda maior entropia como número 2 e, assim, por diante;

d) nessa etapa é possível selecionar as estações privilegiando aquelas com maior entropia e, conseqüentemente, reduzindo o trabalho seguinte de verificação de redundâncias para o cálculo da entropia condicional. Resultam, então, M' estações.

Essa hierarquia inicial é submetida ao cálculo da entropia condicional, tanto considerando a cadeia hierarquizada quanto a situação hidrográfica das estações. Pode-se, nessa etapa, descartar aquelas estações cujos valores de entropia indiquem redundância ou sejam menores que valores considerados importantes para a continuidade do monitoramento.

6ª Hierarquização das estações pelo cálculo da entropia condicional:

a) calcular o menor transporte de informações (TR), por intermédio da equação 3.3, entre a estação de maior entropia (número 1) e cada uma das demais estações ordenadas na 5ª etapa, utilizando-se o conceito de entropia condicional;

A entropia condicional será calculada, substituindo-se j por 2 na equação 3.3. Assim, tem-se:

$$\min \{TR (X_1, X_j)\} = \min \{ H (X_1) - [\ln (2 \pi) + (1/2) \ln |C| + 1 - 2 \ln (\Delta X) - H (X_j)] \} \quad 3.5$$

b) renumerar as estações, a partir da estação número 2 da 5ª etapa, classificando a estação cujo par com a nº 1 apresenta o menor de transporte de informações como novo número 2;

c) repetir os passos “a” e “b” com todas as estações renumeradas até a estação M’, resultando esse procedimento na hierarquização final das estações utilizando-se os conceitos de entropia própria e condicional.

O resultado final é a apresentação de cadeia hierarquizada de estações, devidamente otimizada pelo critério da entropia associada e pelo máximo transporte de informações permitido, como pode ser observado no Quadro 9, na página 81.

Em relação ao monitoramento da qualidade, utilizou-se o arcabouço legal criado para subsidiar a gestão da água. A legislação prevê procedimentos e limites de aceitação dos parâmetros de qualidade da água, assim como os responsáveis pelas análises.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Seleção do método e das estações analisadas.

Freqüentemente, as estações de monitoramento antigas foram instaladas com o intuito de estudar o potencial hidrelétrico de alguns cursos d'água, localizando-se apenas nas bacias de maior interesse para geração hidrelétrica, com áreas de drenagem superiores a 500 km² (XAVIER, 2007). Estima-se que este seja o objetivo original da rede de monitoramento estudada, hoje sob gestão da ANA. No entanto, a presente pesquisa propôs-se a avaliar a rede existente, tendo em vista a geração do conhecimento sobre o comportamento hidrológico, hidráulico e de assimilação de carga poluidora. Esse conhecimento é a base para instruir as ações de controle ambiental e de eventos hidrológicos críticos, como também o processo de outorga, enquadramento e cobrança pelo uso da água, além de subsidiar o planejamento ambiental da bacia. Para isso, a aquisição de dados de qualidade e quantidade integrados da água permite o ajuste e calibração de modelos de simulação e de sistemas de suporte a decisão.

Da análise dos métodos e procedimentos apresentados na secção 2.4.3.2 dessa dissertação, o método utilizando o conceito de entropia pode ser utilizado visando à avaliação da qualidade dos dados gerados em cada uma das estações de monitoramento, assim como para a verificação da redundância existente nas diversas séries de dados visando à otimização das estações ou o redimensionamento da rede sob análise. Esse método é aplicável às séries ergódicas.

A primeira etapa desse método consiste em selecionar as estações, determinar o período de análise da série histórica e o intervalo de amostragem de cada série. Optou-se por determinar um período de 10 anos, considerando um período expressivo e adequado quanto sua representatividade, como sugerido por Tucci (2002) ao afirmar que para fins de gestão a série histórica deve ser de 10 a 30 anos. Dentre as estações existentes na bacia do rio Macaé, ativas ou inativas, somente as estações em operação possuem série amostral com período superior a 10 anos, exceto a estação 59150000 Macaé. Entretanto essa estação está desativada desde 1961 e entende-se que, devido às significativas mudanças no uso e ocupação do solo, os dados coletados por essa estação podem não ser representativos para a época atual. As estações 59139500 UHE Macabu-Jusante e 50142000 Glicério (PCH), ambas localizadas no Rio São Pedro, também estão em operação, entretanto cabe lembrar que esse rio sofre dois represamentos, produzindo séries hidrológicas se apresentem como não estacionária e heterogênea no tempo, com descargas não regularizadas e regularizadas, respectivamente antes

e depois da implantação daqueles reservatórios a montante, inviabilizando assim a análise de suas séries históricas.

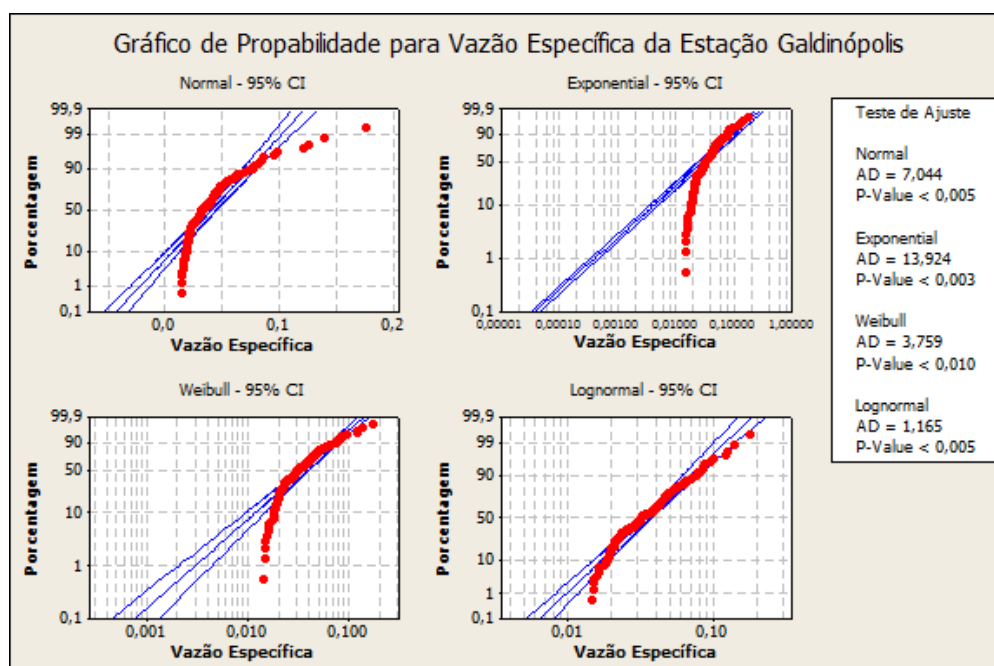
Desta forma, foram analisadas as estações 59120000 Macaé de Cima, 50125000 Galdinópolis e 59135000 Piller, todas no alto curso da bacia em estudo. As três estações possuem 130 dados no intervalo de amostragem de suas séries, estabelecendo um ΔX e ΔX_i igual a 1, nas equações 3.1 e 3.2. Sob uma perspectiva empírica, estima-se que, de fato, a redundância de informações seja mais alta nas séries das estações da mesma região geográfica, como no caso do alto curso da bacia. Com isso, a presente pesquisa procurou estabelecer a priorização das informações geradas nas estações do alto curso da bacia, hierarquizando as três estações em grau de importância. É fundamental destacar a importância de informações do comportamento do rio em seus médio e baixo curso. Em relação ao baixo curso, a Usina Termoelétrica Norte Fluminense instalou uma estação telemétrica desde 2005.

A variável analisada foi nas estações do alto curso foi a vazão específica, que é a razão da vazão fluviométrica pela área drenada em determinada seção de um curso d'água da bacia hidrográfica. A vazão específica calculada nos trechos da rede de drenagem pode caracterizar regiões homogêneas com relação aos aspectos hidrológicos e é muito útil na extrapolação de modelos probabilísticos ou de registros na ausência de dados suficientes em determinada bacia correlacionada (GONTIJO Jr., 2007).

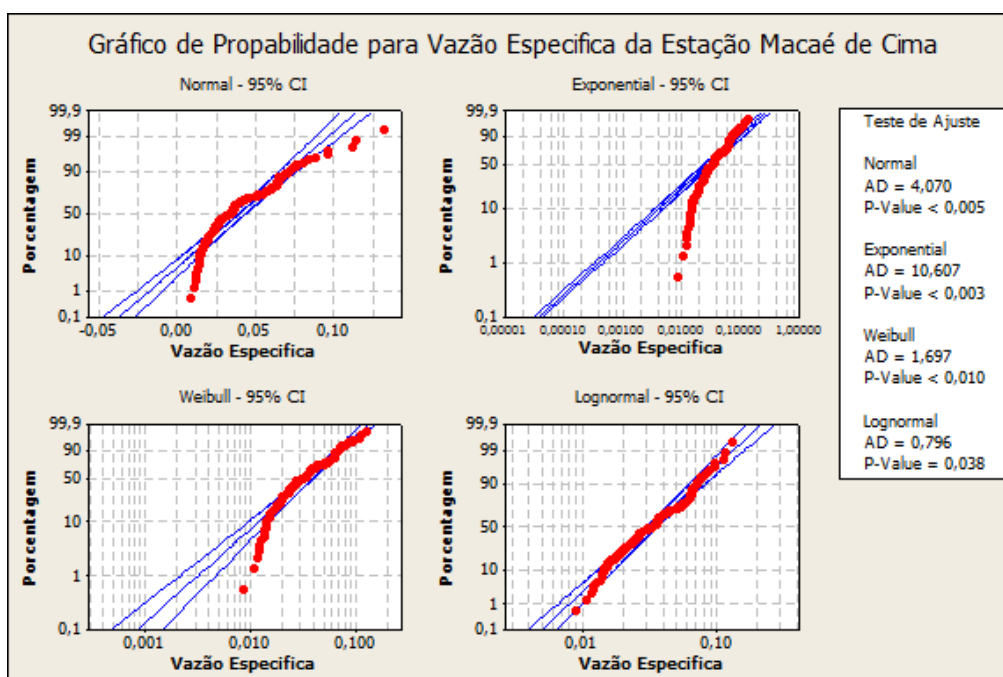
4.2 Análise da série temporal.

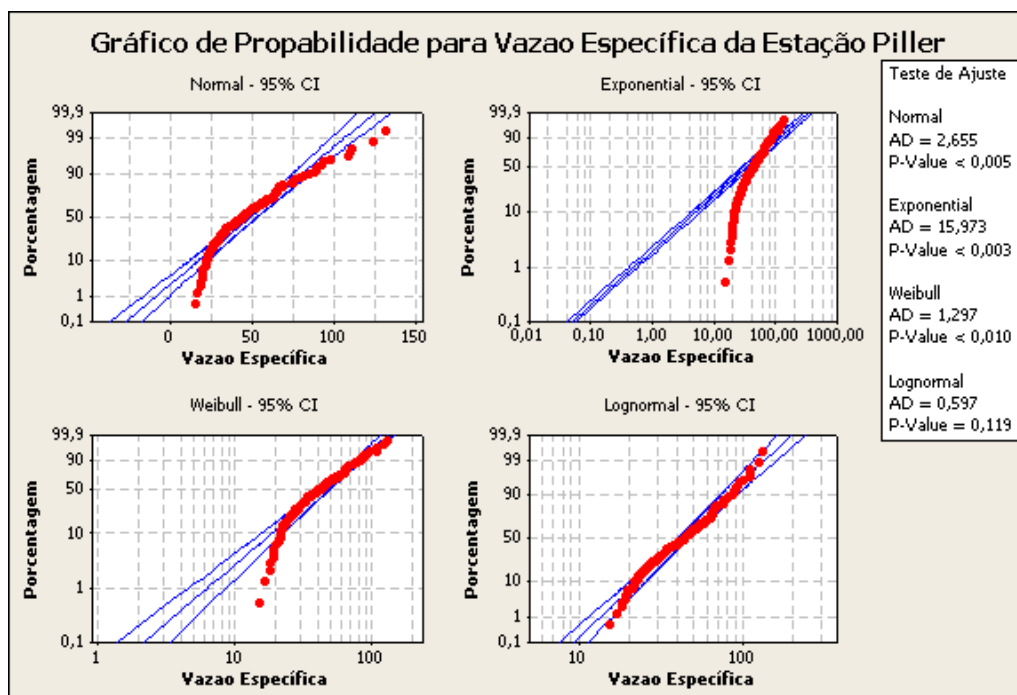
A segunda etapa é responsável por verificar a ergodicidade da série, através de identificação do tipo de função densidade de probabilidade que melhor se adapta aos dados que se dispõe. Para tal, foi utilizado a Identificação de Distribuição Individual que avalia a distribuição ótima para seus dados baseando-se nos gráficos de probabilidade e em testes de ajuste (*goodness-of-fit*). O teste de ajuste é feito a partir do método estatístico de *Anderson-Darling*, que mede quão bem os dados seguem uma distribuição particular. Quanto melhor a distribuição se ajustar aos dados, menor será o valor do parâmetro de *Anderson-Darling* (AD), utilizado para comparar o ajuste de várias distribuições e descobrir qual é a melhor ou para testar se uma amostra de dados vem de uma população com uma distribuição especificada. Se o valor-p para o teste de *Anderson-Darling* for menor que o nível de significância escolhido (normalmente 0,05 ou 0,10), deve se concluir que os dados não seguem a distribuição especificada. O valor-p representa a probabilidade de se rejeitar incorretamente a hipótese nula quando ela é verdadeira (Erro tipo I) (CPRM, 2007). As Figuras 18, 19 e 20 apresentam a

representação gráfica da Identificação de Distribuição Individual para cada uma das estações, comprovando o comportamento da distribuição LogNormal da série.



* Intervalo de Confiança





Figuras 19, 20 e 21: Identificação de Distribuição Individual das estações analisadas no alto curso da Bacia do Rio Macaé. Fonte: Elaboração Própria, 2009.

Para representar o gráfico da distribuição LogNormal, a Figura 21 mostra o histograma da estação Macaé de Cima. A distribuição LogNormal representa bem o comportamento de uma vazão em determinado dia que seria composto por fração da vazão no dia anterior (fator de acumulação, regularização ou amortecimento em uma bacia hidrográfica) e outra parte decorrente de eventos mais recentes como, por exemplo, precipitações em área de contribuição da bacia de drenagem da seção observada.

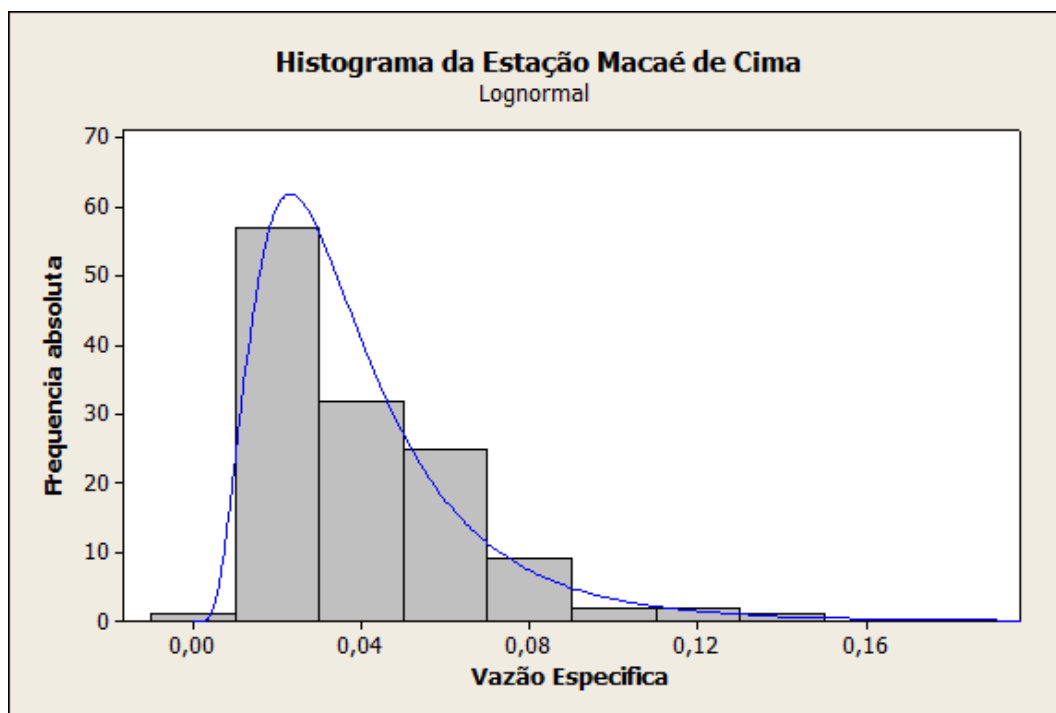


Figura 22: Histograma da distribuição de frequências da estação Macaé de Cima. Fonte: Elaboração Própria, 2009.

4.3 Cálculo da entropia e hierarquização das estações.

A etapa seguinte processa o cálculo da entropia própria de cada série (ou estação):

- a) para distribuições multivariadas Normal ou Log-Normal, calcular a entropia própria de cada estação pela equação 3.1;
- b) numerar as estações em ordem crescente, de 1 a 3, definindo a de maior entropia própria como número 1. O Quadro 9 lista os resultados dessa etapa.

Hierarquia Inicial	Estação	Intervalo Amostral Relativo	Variância	Entropia Própria 1998 a 2008
1	Galdinópolis	1	697,14	4,12
2	Piller	1	606,06	4,05
3	Macaé de Cima	1	596,43	4,04

Quadro 9: Hierarquia de estações pela entropia própria. Fonte: Elaboração própria.

4ª etapa - hierarquização das estações pelo cálculo da entropia condicional:

- a) calcular o menor transporte de informações (TR), por intermédio da equação 3.5, entre a estação de maior entropia (número 1) e cada uma das demais estações, utilizando-se o conceito de entropia condicional:

$$\min \{TR (X_1, X_j)\} = \min \{ H (X_1) - [\ln (2 \pi) + (1/2) \ln |C| + 1 - 2 \ln (\Delta X) - H (X_j)] \} \quad 3.5$$

b) renumerar as estações, classificando a estação cujo par com a n° 1 apresenta o menor transporte de informações como novo número 2.

c) Repetir a equação 3.5 associando a estação número 2 do item b com a estação seguinte da nova hierarquização.

Esse procedimento resulta na hierarquização final das estações utilizando-se os conceitos de entropia própria e condicional. Fisicamente, o significado desse transporte de informação é a dependência de uma estação de monitoramento com relação à informação gerada pela outra, ou seja, quanto maior o transporte de informação entre as estações, quando estas se associam, mais redundante ou desnecessária será a informação. Quando o valor do transporte de informações for negativo estará identificado que a estação é muito necessária para a produção das informações relevantes na rede (GONTIJO Jr., 2007). A Figura 22 apresenta os resultados dessa etapa, com a hierarquia final das estações, entropia própria de cada série (EP) e o menor transporte de informação (TR) de cada estação condicionada à outra.

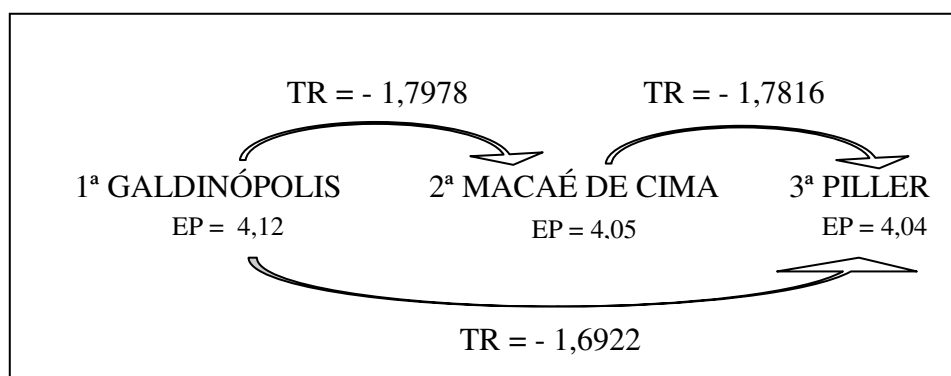


Figura 23: Hierarquização final das estações, com o mínimo transporte de informações.
Fonte: Elaboração Própria, 2009.

O resultado apresentado na Figura 22 comprova a importância das três estações de medição instaladas no alto curso da bacia, contrariando a hipótese inicialmente estabelecida. Alinhado ao resultado apresentado, Martins (1967) apud Gontijo Jr. (2007) afirmam que as variações das vazões instantâneas serão tanto maiores e dependerão tanto das chuvas de alta intensidade quanto maior a declividade do terreno, configurando-se como uma das razões da relevância dos dados para a região.

Tucci (2002) afirma que a tendência natural é de que a vazão específica reduza-se com o aumento da área de drenagem. Essa regra geral é mais visível para vazões altas e médias,

como no alto curso e se explica graças às razões a seguir:

a) à medida que o escoamento caminha para jusante, maior é o seu amortecimento em função do efeito de armazenamento e do atrito com o leito do curso d'água, reduzindo as vazões específicas.

b) na cabeceira das bacias se concentram as maiores precipitações e, também, as maiores declividades dos rios, gerando maiores velocidades de fluxo e, conseqüentemente, maiores variações das vazões;

Assim, atrelado à importância das estações para o monitoramento das vazões está o monitoramento das chuvas no alto curso, representado pela Estação Faz. São João, Estação de Galdinópolis e Estação de Piller.

Tucci (2007) afirma que é mais prático associar à régua (linímetro) um aparelho automático, chamado linígrafo, que grava continuamente ao longo do tempo as variações do nível. Isto permite registrar os eventos significativos de curta duração ocorrendo especialmente em bacias (ou sub-bacias) de pequenas áreas, como no caso do alto curso. Na visita à estação Macaé de Cima, o leitor dos registros do linímetro, morador local, relatou que a enchente carregou o sensor do linígrafo (Figura 23), fator que retrata os problemas com manutenção que a operadora CPRM enfrenta. Ressalta-se que a manutenção das estações merece especial atenção na gestão da bacia, principalmente quando relacionada aos custos que a operação e sua respectiva manutenção geram. Tucci (2007) também diz que a frequência de amostragem às 7 e às 17 horas, conforme ocorre na bacia do rio Macaé, é adequada.



Figura 24: Problemas com o sensor automático na estação Macaé de Cima.
Fonte: Elaboração Própria, 2009.

As regiões com mesma vazão específica podem ser chamadas de regiões hidrologicamente homogêneas. Nos processos de regionalização de vazões, a homogeneidade tem como critério principal a semelhança da resposta representada nas funções regionais, sendo estas definidas pelas curvas de probabilidade adimensional que caracterizam o comportamento regional de mesma tendência em cada posto fluviométrico. Ou seja, a análise das séries de dados de postos fluviométricos seqüenciais pode indicar que as informações coletadas a jusante trazem forte correlação com aquelas observadas a montante, podendo ser tão semelhantes que, regionalizada a vazão com relação a algumas variáveis da bacia, possa ser estimada com grande precisão a vazão em qualquer ponto deste trecho da rede de drenagem. Essa dependência espacial é muito importante para a definição de áreas mínimas a serem monitoradas. Um estudo de modelos de regionalização de vazões pode ser desenvolvido com vistas a suprir a falta de dados no médio curso da bacia, de forma que os dados gerados pela atual estação da Termoelétrica Norte Fluminense, em Severina, avaliando-se a consistência da curta série histórica dessa estação, ao serem interpolados aos dados das estações no alto curso possam gerar informações em quaisquer outros pontos na bacia, permitindo que se possa planejar e executar obras de aproveitamento, mesmo que não se disponha de séries com a extensão estatisticamente representativa para caracterizar o regime hidrológico de uma determinada região.

Outra alternativa para o monitoramento da vazão no médio curso é instalar uma estação simples, composta pelo linímetro, determinando uma relação biunívoca entre a vazão e o nível, através de uma série de medições de vazões no local e os correspondentes níveis (curva-chave), de forma a simplificar e baratear o custo. Essa estação pode ser instalada a montante da captação de água utilizado pelo Sistema Intermunicipal Casimiro/ Rio das Ostras, próximo à antiga Estação Ponte do Baião, no qual o objetivo principal seria a avaliação da disponibilidade hídrica e também serviria de referência para as análises qualitativas. A Coleta dos dados deve também obedecer uma frequência diária, às 7 e às 17 horas.

Em sua dissertação, Gontijo Jr. consorciou o método Sharp (1971) e o método Dixon (1994), descritos na seção 2.4.3 dessa dissertação, ao conceito de entropia na elaboração de seu procedimento proposto para avaliar a macrolocalização da rede de monitoramento. O método Sharp consiste na análise topológica da rede de drenagem e de sua magnitude para a definição da seqüência ótima de amostragem e configura-se também como excelente alternativa para proposta de adensamento da rede existente na bacia do rio Macaé.

A aquisição integrada e automática de dados de qualidade e quantidade da água e de chuvas permite um permanente ajuste e calibração de modelos de simulação da disponibilidade hídrica e qualidade da água.

Quando a bacia hidrográfica não dispõe de dados de qualidade da água também pode-se definir os pontos de monitoramento segundo as fontes de poluição e postos fluviométricos já implantados ou utilizar as suas características de drenagem para auxiliar a definição dos trechos a serem monitorados, ou ainda integrar as informações geradas pelos usuários que captam água bruta que devem realizar análises para verificação dos parâmetros de qualidade previstos na legislação. A estimativa do número mínimo de estações de monitoramento e a frequência de amostragem podem ser adotados em função da hidrologia, da área e da declividade da bacia hidrográfica. Na literatura, basicamente são abordadas a macrolocalização baseada em critérios de julgamento, nas equações baseadas no trabalho de Pomeroy e Orlob (1967), nas diretrizes da OMM, no conceito de entropia, no método Sharp, dentre outros.

O arcabouço legal que visa assegurar a qualidade em relação à potabilidade, balneabilidade e ao enquadramento possui como objetivo resguardar a saúde pública de seus usuários. A Portaria nº 518 de 2004 estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e à vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade dentre outras providências e prevê que aos responsáveis pela operação do sistema de abastecimento de água incube realizar análises laboratoriais da água (a Portaria especifica os parâmetros a serem analisados), em amostras provenientes das diversas partes que compõe o sistema de abastecimento e que as coletas de água bruta, junto ao ponto de captação, devem ser semestrais. Aplicando-se esse procedimento aos pontos de captação de água para consumo humano na bacia do rio Macaé, como pode ser observado na Figura 7, na página 38, obtêm-se uma gama de pontos de monitoramento semestral de qualidade da água. A Resolução CONAMA 274/00 também contribui para o controle da qualidade da água, no que tange a balneabilidade (recreação de contato primário), estabelecendo critérios para classificar a água como própria ou imprópria, utilizando um indicador microbiológico para tal finalidade. A frequência de amostragem mencionada nessa Resolução abrange um período de amostragem de 5 semanas, podendo abranger períodos menores, desde que cada um desses períodos seja especificado e tenham sido colhidas e examinadas, pelo menos, cinco amostras durante o tempo mencionado, com intervalo mínimo de 24 horas entre as amostragens. A aplicação desta Resolução compete aos órgãos de controle ambiental, e na sua ausência, o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis atuará em caráter supletivo. Em função da balneabilidade são sugeridos pontos de monitoramento no distrito de Lumiar, no arraial do

Sana e no distrito de Glicério, pois são pontos de alto índice de recreação de contato primário e são pontos que de acordo com o trabalho de Pinheiro (2008) apresentaram IQA entre médio e bom, acusando pontos de poluição.

Já a Resolução CONAMA nº 357 de 2005 dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. A análise e a validação dos valores dos parâmetros de qualidade da água de que trata esta Resolução, a fim de subsidiar a proposta de enquadramento realizada por Pinheiro (2008), devem ser realizadas pelo Poder Público. Esta Resolução também preconiza que os valores máximos estabelecidos para os parâmetros relacionados em cada uma das classes de enquadramento deverão ser obedecidos nas condições da vazão de referência. As amostragens de que trata esta Resolução devem ser bimestrais.

Diante desses procedimentos, dos resultados e da classificação dos usos da água na bacia do rio Macaé, tendo em vista que o objetivo da rede de monitoramento proposta é de gestão, no que tange principalmente à disponibilidade hídrica e ao acompanhamento da condição e controle da qualidade do corpo hídrico, propõe-se a seguinte espacialização dos pontos já monitorados e dos pontos propostos, conforme Quadro 10 e Figura 25:

Tipo	Pontos	Frequência	Responsável pela Operação
Fluviométrico	Macaé de Cima	a cada 15 minutos / diariamente às 7 e às 17 horas	CPRM
Fluviométrico	Galdinópolis	a cada 15 minutos / diariamente às 7 e às 17 horas	CPRM
Fluviométrico	Piller	a cada 15 minutos / diariamente às 7 e às 17 horas	CPRM
Fluviométrico	Captação Ponte do Baião	diariamente às 7 e às 17 horas	Sistema Intermunicipal Casimiro / Rio das Ostras
Fluviométrico	Severina	a cada 15 minutos	CPRM
Pluviométrico	Faz. São João	a cada 15 minutos	CPRM
Pluviométrico	Galdinópolis	a cada 15 minutos	CPRM
Pluviométrico	Piller	a cada 15 minutos	CPRM
Pluviométrico	Faz. Oratório	a cada 15 minutos	CPRM
Qualidade	Severina	Semestral	CEDAE – Macaé
Qualidade	Severina	Semestral	PETROBRAS
Qualidade	Severina	Semestral	TERMO Mário Lago
Qualidade	Severina	Semestral	TERMO Norte Fluminense
Qualidade	Córrego Atalaia	Semestral	CEDAE – Macaé
Qualidade	Rio do Ouro	Semestral	EMHUSA
Qualidade	Córrego Roncador	Semestral	EMHUSA
Qualidade	Rio Tapera	Semestral	CAENF
Qualidade	Córrego Sibéria	Semestral	CAENF

Qualidade	Córrego Santa Margarida	Semestral	CAENF
Qualidade	Córrego Bananal	Semestral	CAENF
Qualidade	Córrego Tenal	Semestral	SAAE
Qualidade	Córrego Pai João	Semestral	SAAE
Qualidade	Córrego Ribeirão da Luz	Semestral	SAAE
Qualidade	Córrego Matumbo	Semestral	SAAE
Qualidade	Captação Ponte do Baião	Semestral / Bimestral	Sistema Intermunicipal Casimiro e Rio das Ostras / INEA ou CPRM
Qualidade	Lumiar	Bimestral	INEA ou CPRM
Qualidade	Sana	Semestral	INEA ou CPRM
Qualidade	Glicério	Semestral	INEA ou CPRM

Quadro 10: Estações da rede de monitoramento proposta para a bacia do rio Macaé.

Fonte: Elaboração Própria, 2009.

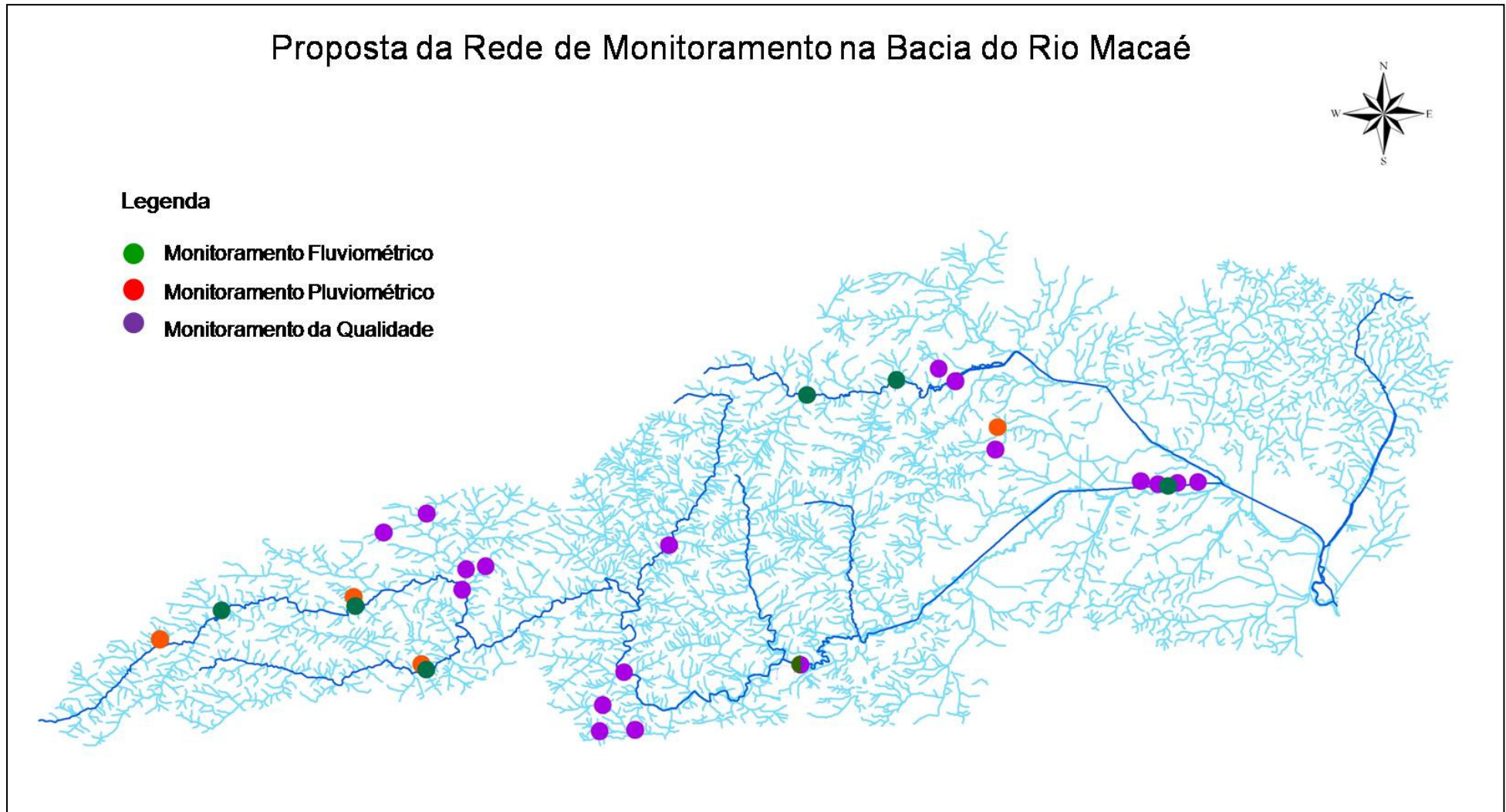


Figura 25: Cartograma da Rede de Monitoramento proposta para a bacia do rio Macaé. Fonte: Elaboração Própria, 2009.

Foi observado que além da geração e tratamento dos dados, o compartilhamento de dados e informações torna-se premissa ao bom encaminhamento da gestão da bacia hidrográfica e principalmente ao entendimento do comportamento dos fenômenos hídricos pelos gestores e representações do Comitê de Bacia do Rio Macaé, facilitando a articulação e a comunicação entre esses atores, de forma a fortalecer a gestão integrada e descentralizada dos recursos hídricos da bacia em estudo.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Contrariando a hipótese inicialmente estabelecida de que na região do alto curso há redundância de informações pela proximidade das estações, os resultados da avaliação das séries históricas das vazões específicas comprovaram a relevância das informações geradas pelas três estações existentes, atendendo inclusive aos objetivos de gestão para a referida bacia.

O monitoramento e a avaliação dos aspectos climáticos são fundamentais para um melhor entendimento da dinâmica dos fenômenos hídricos e da relação chuva-descarga da bacia.

Faz-se presente a necessidade de desenvolvimento de diretrizes para o planejamento e operação de um sistema de aquisição, integração, interpretação, compartilhamento e disponibilização dos dados de chuvas, vazão e qualidade. A análise consorciada desses dados permite a interpretação uniforme das informações necessárias ao perfeito entendimento dos processos e fatores que afetam a distribuição espacial, temporal e de qualidade dos recursos hídricos na bacia, inclusive com a adoção e definição de programas e modelos computacionais que auxiliem as tomadas de decisão. Cabe ressaltar aqui a urgência em elaborar o Plano de Bacia do Rio Macaé para atendimento desta demanda e de outras mais.

Os resultados do presente trabalho conduzem ao entendimento que o Comitê deve instituir uma entidade, que poderá ser de ensino, pesquisa e extensão; de prestação de serviços ou mesmo a própria agência de bacia, por exemplo, a fim de dinamizar e operar essa rede de monitoramento quanti-qualitativo, de forma a captar os dados brutos, trabalhá-los e disponibilizá-los em linguagem acessível aos gestores, representações e sociedade em geral.

Para alcançar essa finalidade, deve-se formar um grande banco de dados da região hidrográfica em estudo, com vistas à Implantação do Sistema de Informações Ambientais e de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Macaé, com coordenação unificada, mas que seja descentralizado na alimentação de dados e informações, georreferenciado, de acesso amplo pela sociedade e que dê suporte à tomada de decisões ambientais. Assim como, disponibilização das informações geradas pelo monitoramento ambiental da bacia em sites, observatórios e relatórios ou boletins da qualidade ambiental da mesma. Tais ações irão possibilitar ao Comitê maior integração com a sociedade, no tocante à comunicação e à mobilização social.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABERS, R., JORGE, k. **Descentralização da Gestão da Água: Por que os comitês de bacia estão sendo criados?** Ambiente & Sociedade – Vol. VIII n°. 2 jul./dez. 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Inventário das Estações Pluviométricas**, Brasília, v. 1, n. 1. 2006a.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Inventário das Estações Fluviométricas**, Brasília, v. 1, n. 1. 2006b.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – Hidroweb. Disponível em <http://hidroweb.ana.gov.br>. Acesso em: 30 de setembro de 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO - ANP. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2006**. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em http://www.anp.gov.br/conheca/anuario_2006.asp. Acesso em: 04 de novembro de 2008.

ALPINO, S.O., PEREIRA, F C., ROCHA, L.O. **Parâmetros Morfométricos do Alto Curso da Bacia do Rio Macaé (RJ): subsídios ao entendimento da dinâmica geomorfológica**. Julho/ Dezembro-Ano IV, n° 2, 2007.

ARNÉZ, F.A. **Análise de critérios de outorga do uso da água na bacia do rio Santa Maria, RS**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. UFRGS. 2002

ASSUMPCAO, A. P. ; MARÇAL, M. S. **Levantamento das Alterações Morfológicas na Rede de Drenagem da Bacia do Rio Macaé (RJ): Avaliação Preliminar do Processo de Retificação**. In: XII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2007, Natal/ RN. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2007.

BRASIL. **Decreto n° 24.643, de 10 de julho de 1934**. Decreta o Código das Águas. Rio de Janeiro: Governo Provisório da República dos Estados Unidos do Brasil, 1934.

BRASIL. **Lei das Águas – Lei n° 9.433, de 8 de Janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1° da Lei 8.001, de 12 de Março de 1990, que modificou a Lei n°7.990 de 28 de dezembro de 1989. Brasília. DOU 09.01.1997.

BRASIL. **Lei n. 9.984 de 17 de julho de 2000**. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Brasília. DOU 18.07.2000.

BRASIL. **Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) Resolução n. 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

CARVALHO, V.M. **Quantificação dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio do Meio, em Itajaí, SC: Avaliação da Vazão.** Centro de Ensino Superior de Ciências. Universidade do Vale Do I Tajaí. 2006

CHAPMAN, D. **Water quality assessments: a guide to the use os biota, sediments and water in environmental monitoring.** London, 1992.

CBH MACAÉ E DAS OSTRAS. **Resolução n. 02 de 04 de março 2008.** Institui Nova Câmara Técnica e altera a denominação das existentes no âmbito do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Macaé e das Ostras. Rio das Ostras, 2008a.

CBH MACAÉ E DAS OSTRAS. **Resolução n. 04 de 04 de março 2008.** Aprova Plano de Investimentos e realização de Convenio com Órgão Gestor de Recursos Hídricos do Governo do Estado do Rio de Janeiro. Rio das Ostras, 2008b.

CBH MACAÉ E DAS OSTRAS. **Resolução n. n° 07 de 4 de março de 2008.** Aprova o Termo de Referência para Elaboração do Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Macaé e das Ostras. Rio das Ostras, 2008

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Geomorfologia.** Editora: Edgard Blucher, São Paulo, 2º edição, 1980.

CRUZ, J.C. **Disponibilidade hídrica para outorga: avaliação de aspectos técnicos e conceituais.** Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. UFRGS.2001.

DANTAS, M.E. **Mapa Geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro.** Brasília: CPRM. Escala 1:250.000. 2000.

DANTAS, M.E. **Mapa Geomorfológico de Macaé.** Brasília: CPRM. Escala 1:250.000. 2001.

FARIAS, M. **Monitoramento da Qualidade da Água na Bacia Hidrográfica do Rio Cabelo.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande, PR. 2006.

FGV – Fundação Getúlio Vargas. **Plano Preliminar de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Macaé: diagnóstico da situação dos recursos hídricos.** SEMADUR/SERLA/UTE Norte-Fluminense, Rio de Janeiro-RJ, 2002.

FGV – Fundação Getúlio Vargas. **RELATÓRIO DE SISTEMATIZAÇÃO DOS DADOS E ESTUDOS EXISTENTES NA BACIA.** SEMADUR/SERLA/UTE Norte-Fluminense, Rio de Janeiro-RJ, 2003.

GALVÃO, W. S. **Uso de SIG na geração de modelos de potencial à locação de estações fluviométricas e de regiões geoambientais homogêneas na bacia do rio São Francisco.** 2004. 302. p. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

GALVÃO, W. S., MENESES, P. R. **Avaliação dos sistemas de classificação e codificação das bacias hidrográficas brasileiras para fins de planejamento de redes hidrométricas.** Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, INPE, 2005.

GONTIJO JR., W.C. **Avaliação e redimensionamento de redes para o monitoramento fluviométrico utilizando o método Sharp e o conceito de entropia.** Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF. (2007).

GONTIJO JUNIOR, W. C. ; KOIDE, S. . **Análise das metodologias para avaliação e dimensionamento de redes fluviométricas.** In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2007, São Paulo. Anais do XVII Simpósio Brasileiro de recursos Hídricos. Porto Alegre : ABRH, 2007. v. 1. p. 1-20.

GUIVANT, J.S., JACOBI, P. **Da Hidro-Técnica à Hidro-Política : Novos Rumos Para a Regulação e Gestão dos Riscos Ambientais no Brasil.** Cadernos de Desenvolvimento e Meio Ambiente, n.1. (2003).

HARMANCIOGLU, S.D.; OZKUL, S.D.; ALPASLAN,M.N. **Water quality monitoring and network desing.** In: Environmental data management. 1998.

HORTON, E. R. **Erosional development of streams.** Geological Society American Bulletin, v. 56, p. 275-370, 1945.

IBIAPINA, A. V. *et al.* **Evolução da Hidrometria no Brasil.** In: FREITAS, M. A. V. de (org) *et al.* O estado das águas no Brasil – 1999. 2ª ed. Brasília: ANEEL, SIH; MMA, SRH; MME, 1999.

KOIDE, S., SOUZA, M. **Monitoramento da Qualidade da Água.** In: PAIVA, J.B.F., PAIVA, E.M.C. (Org). Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. Ed. Evangraf, ABRH, 2003.

LANNA, A. E. Gestão dos Recursos Hídricos. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação.** 3. ed. Porto Alegre: UFRGS: ABRH, 2004.

LIMA, J. B. M. **Estudo de Redes de Monitoramento de Qualidade das Águas Superficiais – o Caso da Bacia do Rio Descoberto.** Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF. (2004).

LIMA, R. N. S. ; ASSUMPCAO, A. P. ; MARÇAL, M. S. . **Análise dos Perfis Longitudinais e Transversais do Rio Macaé (RJ): Contribuição para o Estudo da Dinâmica de Drenagem.** In: XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2005, São Paulo. XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2005. v. 1. p. 1336-1346.

LIMA, L. D. M. **Suscetibilidade à Erosão dos Solos nas Sub-bacias do médio e alto cursos da Bacia do Rio Macaé / RJ.** Instituto de Geociências – UFRJ. M.S.c., Programa de Pós-graduação em Geografia, 2008). Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro / PPGG, 2008.

LLAMAS, J. **Curso intensivo de planejamento e projeto de redes meteorológicas e hidrométricas.** Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, 1996.

LUCHINI, A.M.; SOUZA, M. D.; PINTO, A. L. **Aportes e limites da perspectiva de redes de políticas públicas: o caso da gestão da água.** Caderno de Pesquisas em Administração, São Paulo, v. 10, n. 2. 2003.

LUZ, L. M. Suscetibilidade da paisagem na zona costeira do município de Macaé e indicadores de qualidade ambiental da orla marítima – litoral norte fluminense. Dissertação de Mestrado. Instituto de geociências Rio de Janeiro. UFRJ/PPGG, 2003.

MAGALHÃES Jr., A. **A situação do monitoramento das águas no Brasil - Instituições e iniciativas.** RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol.5, nº3. Porto Alegre/RS:ABRH, 2000.

MARÇAL, M. S. ; LUZ, L. M. **Geomorfologia Aplicada a Classificação de Unidades de Paisagem na Bacia do Rio Macaé - Litoral Norte Fluminense.** In: X Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2003, Rio de Janeiro. Anais do X Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Rio de Janeiro : UERJ, 2003.

MARTINS, J. A. **Escoamento superficial.** In: PINTO, N. L., HOLTZ, A. C., MARTINS, J. A. Hidrologia de Superfície. Curitiba: Organização Pan-Americana de Saúde (OPS/OMS) e Universidade Federal do Paraná, 1967.

MILARÉ, E. **Direito do Ambiente: Doutrina, Prática, Jurisprudência.** São Paulo. Ed. Revista dos Tribunais. 2000.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Panorama e estado dos recursos hídricos do Brasil: Volume 1.** Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília: MMA, 2006. 4 v.

MIRANDA, T. X. G. ; VILLAS BOAS, G. H. ; FREITAS, D. R. ; BRANDÃO, E. F. A. ; MARÇAL, M. S. **Monitoramento de Unidades Geomorfológicas no Médio e Baixo Curso do rio Macaé (RJ).** In: VII Simpósio Nacional de Geomorfologia SINAGEO/ II Encontro Latino-Americano de Geomorfologia, 2008, Belo Horizonte. Anais do VII Simpósio Nacional de Geomorfologia SINAGEO/ II Encontro Latino-Americano de Geomorfologia, 2008.

OLIVEIRA, F. L. ; ASSUMPCAO, A. P. ; LIMA, R. N. S. ; VILLAS BOAS, G. H. ; MARÇAL, M. S. ; GUERRA, Antonio Jose Teixeira **Monitoramento dos Sistemas de Drenagem da Bacia do rio Macaé (RJ).** In: VII Simpósio Nacional de Geomorfologia SINAGEO/ II Encontro Latino-Americano de Geomorfologia, 2008, Belo Horizonte. Anais do VII Simpósio Nacional de Geomorfologia SINAGEO/ II Encontro Latino-Americano de Geomorfologia, 2008.

PAIVA, J.B.F., PAIVA, E.M.C **Rede de Monitoramento Hidrológico.** In: _____. (Org). Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. Ed. Evangraf, ABRH, 2003.

PAIVA, E. M. C. D. (2001). **Rede de Monitoramento Hidrológico.** In: PAIVA, J. B. D. & E. M. C. D. Orgs. **Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas.** USP, ABRH, Porto Alegre – RS, Cap.17, p493-506.

PEREIRA, D.S., JOHNSSON, R. M. F. **Descentralização da gestão dos recursos hídricos em bacias nacionais no Brasil.** REGA – Vol. 2, no. 1, p. 53-72, jan./jun. 2005

PINHEIRO, M.R. **Avaliação de usos preponderantes e qualidade da água como subsídios para os instrumentos de gestão dos recursos hídricos aplicada à bacia hidrográfica do Rio Macaé.** Dissertação de mestrado. Centro Federal de Educação Tecnológica de Campos. Campos do Goytacazes. 2008.

PINHEIRO, M. R. C.; WERNECK, B. R.; OLIVEIRA, A. F. ; MOTE, F. O. ; MARÇAL, M. S. ; SILVA, J. A. F.; FERREIRA, M. I. P. **Geoprocessamento aplicado à gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Macaé-RJ.** In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009, Natal. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009.

PORTELA, N.F. **O Arcabouço Jurídico do Estado Brasileiro e o Processo de gerenciamento dos Recursos Hídricos: Perspectivas para a Gestão das Águas na Bacia do Rio Macaé.** Dissertação de Mestrado. Universidade Cândido Mendes, Campos dos Goytacazes, RJ. 2005.

PORTELA, N. F.; BRAGA, T. M. **Conflitos federativos em gestão de recursos hídricos no Brasil: reflexões a partir do caso da bacia do rio Macaé (RJ).** Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego. Campos dos Goytacazes: Essentia Ed. v. 1, n. 2., 2007.

RIO DE JANEIRO. **Decreto n. 15.159, de 24 de julho de 1990.** Transforma, mediante autorização do Poder Legislativo, a Superintendência Estadual de Rios e Lagoas - SERLA, entidade autárquica, na Fundação Superintendência Estadual de Rios e Lagoas -SERLA, aprova os seus estatutos e da outras providencias.

RIO DE JANEIRO. **Lei n. 3.239, de 02 de agosto de 1999.** Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos; cria o sistema estadual de gerenciamento de recursos hídricos; regulam a Constituição Estadual em seu artigo 261, 1º parágrafo, inciso VII; e de outras providências.

RIO DE JANEIRO. **Lei n. 4.247, de 16 de dezembro de 2003.** Dispõe sobre a cobrança pela utilização dos recursos hídricos de domínio do Estado do Rio de Janeiro e dá outras providências.

RIO DE JANEIRO. Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERHI) **Resolução nº 18, de 08 de novembro de 2006.** Aprova a definição das Regiões Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro.

RIO DE JANEIRO. Fundação Superintendência de Rios, Lagos e Lagoas (SERLA). **Portaria SERLA n. 567, de 07 de maio de 2007.** Estabelece critérios gerais e procedimentos técnicos e administrativos para cadastro, requerimento e emissão de Outorga de Direito de Uso de recursos hídricos de domínio do Estado do Rio de Janeiro, e dá outras providências.

RIO DE JANEIRO. Conselho Estadual de Meio Ambiente (CONEMA). **Decreto n. 40.744, de 25 de abril de 2007.** Dispõe sobre a organização, competência e funcionamento do CONEMA.

RIO DE JANEIRO. **Lei n. 3.239, de 02 de agosto de 1999.** Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos; cria o sistema estadual de gerenciamento de recursos hídricos; regulam a Constituição Estadual em seu artigo 261, 1º parágrafo, inciso VII; e de outras providências.

SANDERS, T.G. *et al.* **Design of Network for monitoring water quality**. 4^a ed. Michigan: Water Resources Publications, 1983.

SALGUEIRO, J.H.P. **Avaliação de rede pluviométrica e análise de variabilidade espacial da precipitação: estudo de caso na Bacia do Rio Ipojuca em Pernambuco**. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco. 2005.

SHARP, W. E. **Stream order as a measure of sample source uncertainty**. Water Resources Research, v. 6, n. 3, p. 919-926, 1970.

SOARES, P.F. **Projeto e avaliação de desempenho de redes de monitoramento de qualidade da água utilizando o conceito de entropia**. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. USP. São Paulo, 2001.

_____. **Variáveis e desafios do processo decisório no contexto dos Comitês de Bacia Hidrográfica no Brasil**. Ambiente & Sociedade, n.8, Campinas. 2001.

_____. **A topologically optimum water-sampling plan for rivers and streams**. Water Resources Research, v. 7, n. 6, p. 1641-1646, 1971.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Desenvolvimento dos Recursos Hídricos no Brasil**. Global Water Partnership South America. UFRGS/Comité Técnico Asesor Sud América, 2004.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Mudanças climáticas e impactos sobre os recursos hídricos no Brasil**. Ciência & Ambiente. Santa Maria, RS, v. 34, jan/jul 2007.

TUCCI, C.E.M. (Org). **Hidrologia – Ciência e Aplicação**. 4^a.e.d. Porto Alegre, Ed. da UFRGS/ABRH, 2007.

TUNDISI, José Galizia. **Água no século XXI: Enfrentando a escassez**. São Carlos, SP: Editora RiMa/IIE, 2003.

VIEIRA, Paulo Freire. Gestão de recursos comuns para o ecodesenvolvimento. In: _____. **Gestão integrada e participativa de recursos naturais**. Conceitos, métodos e experiências. Florianópolis: Secco/APED, 2005. 333-374p.

VILLAS BOAS, G. H. ; MIRANDA, T. X. G. ; MARÇAL, M. S. ; OLIVEIRA, A. F. . **Caracterização Morfométrica da Bacia do rio Macaé (RJ)**. In: VII Simpósio Nacional de Geomorfologia SINAGEO/ II Encontro Latino-Americano de Geomorfologia, 2008, Belo Horizonte. Anais do VII Simpósio Nacional de Geomorfologia SINAGEO/ II Encontro Latino-Americano de Geomorfologia, 2008.

WMO. **Guide to hydrological practices – data acquisition and processing, analysis, forecasting e others applications**. 15^o ed. 1994. World Meteorological Organization n^o 168. 1994.

APÊNDICE A

Questionário sobre Redes de Monitoramento na Bacia do Rio Macaé:

1. Qual sua área de atuação? _____
2. A qual instituição você está vinculado(a)? _____
3. Há quanto tempo estuda ou se dedica há essa temática? _____
4. Está desenvolvendo algum trabalho no Rio Macaé atualmente?
() SIM () NÃO

Em caso afirmativo responda 5 e 6, caso não pule para 7:

5. O trabalho é de pesquisa ou de extensão? _____
6. Qual objetivo do trabalho? _____

7. Em trabalhos realizados ou propostos por sua equipe de trabalho, foi ou está sendo realizado algum tipo de monitoramento?
() SIM () NÃO

Em caso afirmativo responda de 8 a 14, caso não pule para 15 :

8. O monitoramento está estruturado em que tipo de rede ou está estruturado em pontos de amostragem? _____
9. Aonde se localizam os pontos de amostragem (estações)?

10. Qual método/critério utilizado para escolha dos pontos?

11. Que dados são monitorados?

12. Qual a frequência de amostragem?

13. Qual o método/critério utilizado para a definição da frequência?

14. Qual o período de amostragem? _____

15. Você conhece algum monitoramento ou de redes de monitoramento na bacia além daqueles relacionados ao seu trabalho?
() SIM () NÃO

Em caso afirmativo responda de 16 a 19, caso não pule para 20:

16. O monitoramento está estruturado em?
() PONTOS () REDES
17. Em caso de Rede de monitoramento, qual tipo? _____
18. Você sabe qual é instituição responsável? _____
19. Você teve acesso aos dados?
() SIM () NÃO
20. Você conhece algum especialista da área ou grupos de pesquisa sobre redes de monitoramento na região?
() SIM () NÃO
21. Quais dados são relevantes para o seu trabalho?

22. Como os dados de redes de monitoramento podem contribuir em seu trabalho?

23. Como a indisponibilidade de dados de monitoramento dificulta o seu trabalho?

24. Classifique em ordem de prioridade os tipos de monitoramento que você julga ideal para a Bacia do Rio Macaé:
() Qualidade da água
() Fluviométrico(vazão)
() Meteorológico
() Sedimentos
() Biota
25. Em sua opinião, como a indisponibilidade de dados de monitoramento dificulta o processo de gestão dos recursos hídricos na bacia?

26. Como as informações coletadas na rede poderão ser disponibilizadas ao grande público?

27. Como os resultados de seu trabalho contribuem no apoio a tomadas de decisão pelos gestores?

28. Como os dados de seu trabalho podem estar relacionados a outros trabalhos desenvolvidos na bacia?
