Sistemas de Informação Geográfica e a classificação de corpos hídricos: o caso de Macaé (RJ, Brasil)

Geographic Information System and the classification of water bodies: Macaé's Study Case (RJ, Brazil)

Carlos André Luz Jeronymo
Bacharel em Ciências Biológicas, Mestre em Engenharia Ambiental (PPEA-IFF)
Dourotando em Meio Ambiente na Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Brasil
carlosjeronymo@gmail.com

Elmo Rodrigues da Silva
Doutor em Saúde Pública (FIOCRUZ)
Professor Associado da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Brasil
elmorodrigues@yahoo.com.br

Kenny Tanizaki Fonseca
Doutor em Geociências
Professor Adjunto da Universidade Federal Fluminense (UFF), Brasil
kenny.fonseca@gmail.com

Maria Inês Paes Ferreira
Doutora em Ciência e Tecnologia de Polímeros
Professora Titular do Instituto Federal de Educação, Ciência
e Tecnologia Fluminense (IF Fluminense), RJ, Brasil
ines_paes@yahoo.com.br

Resumo
A área ripária dos corpos hídricos naturais e o entorno das suas nascentes são protegidos pela legislação brasileira. Todavia, muitas vezes a classificação inadequada dos corpos hídricos dificulta ou impede sua conservação, além de prejudicar o processo de licenciamento ambiental. O objetivo deste trabalho foi propor um procedimento para a classificação de corpos hídricos. Para isso buscou-se em um estudo de caso no distrito sede do município de Macaé estado do Rio de Janeiro (cidade de Macaé): (i) identificar as classes de corpos hídricos; (ii) verificar casos onde a classificação está em desacordo com o uso e cobertura do entorno; e (iii) averiguar se o procedimento proposto é adequado ao caso em estudo. A metodologia proposta foi usar de forma integrada cartas-topográficas e séries históricas de sensores remotos, em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas, livre e grátis, como base para classificação manual de corpos hídricos. A área de estudo é a cidade Macaé (RJ, Brasil), especificamente a sua parte coberta pela hidrografia da Bacia Hidrográfica do rio Macaé. A bacia hidrográfica do rio Macaé abrange quatro municípios (Nova Friburgo, Macaé, Casimiro de Abreu e Carapebus) e abastece três deles com água (Rio das Ostras, Casimiro de Abreu e Macaé). Essa bacia possui ainda oito Unidades de Conservação da Natureza e abastece cerca de 78% da produção de petróleo no Brasil. No caso estudado, os resultados alcançados por meio da metodologia proposta foram eficazes: as classes de corpos hídricos foram diferenciadas, e os procedimentos propostos auxiliaram em casos onde o reconhecimento como natural ou artificial eram equivocados.

Palavras-chave: geoprocessamento; gestão integrada de recursos hídricos; sensoriamento remoto; gestão ambiental.

Abstract
Natural water bodies ripparian areas and their springs's surroundings are protected by Brazilian law and are considered Permanent Preservation Areas. However, the inadequate classification of water bodies often hinders or prevents their conservation, and also negatively affects the environmental licensing process. The objective of this study was to propose a procedure for the classification of water bodies. For Thus, this case case study focused on the urban district of Macaé municipality, state of Rio de Janeiro (city of Macaé) and aims to: (i) identify the classes of water bodies; (ii) verify cases where the classification is at odds with the use and land cover of the surroundings; and (iii) determine whether the proposed procedure is appropriate to the study case. The proposed methodology was to integrate topographic-charts with time series of remote sensing data by the use of free Geographic Information Systems as a basis for manual classification of water bodies. The study area is the city of Macaé (RJ,Brazil), specifically its portion covered by Macaé River watershed, which covers four municipalities (Nova Friburgo, Macaé, Casimiro de Abreu and Carapebus) and supplies three with water (Rio das Ostras, Casimiro de Abreu and Macaé). Moreover, this watershed supplies water to more than 80% of oil production in Brazil. In the case studied, the results achieved through the proposed methodology were effective : the water bodies were differentiated in class groups, and the proposed procedures helped in cases where the recognition as natural or artificial were wrong.

Keywords: geoprocessing; integrated water resources management; remote sensing; environmental management;

1. INTRODUÇÃO

A água doce é um recurso natural limitado no mundo. Apenas 3% da água do planeta é própria para as atividades e consumo humano e menos de 0,3% estão facilmente acessíveis. O Brasil possui por volta de 12% dessa água, entretanto, sua distribuição em seu território é irregular (BRAGA et al., 2007).

A água de boa qualidade e com uma vazão adequada ao abastecimento humano encontra-se cada dia mais escassa no país e no mundo. Dessa forma, têm havido um encarecimento nos processos de tratamento e distribuição da água potável. Os motivos são degradações do ambiente natural (desmatamento, aterramentos, canalizações, entre outros), que vêm promovendo a redução da qualidade da água e de sua oferta em termos quantitativos. Como consequência têm havido um aumento de corpos hídricos (lênticos e lóticos) contaminados e/ou com sua vazão reduzida (TUNDISI, 2006).

Nesse contexto, foi promulgada a Política Nacional dos Recursos Hídricos - PNRH (BRASIL, 1997) como tentativa de auxiliar na gestão e o planejamento das águas do Brasil e com o objetivo de reverter esse quadro. A PNRH institui domínio público das águas e seu uso múltiplo, ou seja, todos têm o direito de acessá-la e utilizá-la. Em situação de escassez, seu uso é prioritário é o consumo humano.

Com a PNRH, a gestão das águas no Brasil passou a ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e comunidades. O principal objetivo desse modelo participativo é garantir a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, a fim de assegurar sua disponibilidade em padrões adequados de qualidade aos seus usos múltiplos, de forma perene (BRASIL, 1997).

A unidade territorial adotada para gestão e o planejamento das águas no Brasil é a Bacia Hidrográfica, em função da dinâmica do ciclo hidrológico (BRASIL, 1997). O conceito está genericamente relacionado à uma porção da superfície terrestre que é separada entre si topograficamente de modo a concentrar a vazão da água em um único vertedouro. Com isso, a área funciona como receptor natural das águas (precipitação, evapotranspiração e degelo), o volume captado, escoa por uma rede de drenagem das áreas mais altas (montante) às mais baixas (jusante), conforme uma hierarquia da rede fluvial, até se encontrarem na porção mais baixa e formarem o curso hídrico principal, ou infiltram no solo para formação de nascentes e lençol freático (recarga). Uma bacia hidrográfica também pode receber contribuição de áreas de descarga, que são porções do lençol freático onde a água brota para superfície (olhos de água ou nascentes) (BARRELA et al., 2000).

Outros regulamentos também foram instituídos a fim de conservar os recursos hídricos brasileiros. Um destes regulamentos é o Código Florestal e suas alterações (BRASIL, 2012). Nele se instituiu as Áreas de Preservação Permanente (APP), que tem como uma de suas funções a manutenção do ciclo hidrológico. Dentre as categorias de APP existem àquelas relacionadas especificamente a conservação de corpos hídricos naturais (cursos hídricos, lagos, lagoas, nascentes e olhos d' água).

No Estado do Rio de Janeiro existe a Lei Estadual n ° 1.130/87, que determina outra modalidade de área protegida, a Faixa Marginal de Proteção (FMP). A FMP têm um conceito e objetivos semelhantes às APPs de corpos hídricos. Todavia, seus critérios técnicos de demarcação são diferentes, e a dominialidade é da esfera estadual (RIO DE JANEIRO, 1987).

Com base no Código Florestal, acredita-se que a classificação de corpos hídricos (natural ou artificial) é fundamental para a gestão dos recursos hídricos, pois um corpo hídrico natural e seu entorno são áreas protegidas. Enquanto as restrições de uso e cobertura da terra dos corpos hídricos artificiais são menos restritivas, ou inexistentes.

Tundisi (2006) relata que a intensa urbanização e o aumento pela demanda hídrica estão entre as principais causas para a alteração ou supressão de corpos hídricos naturais e suas APPs, em áreas urbanas e rurais. Segundo o autores essas alterações provocam diversos impactos ambientais negativos. Dentre eles podemos citar o assoreamento, a alteração da qualidade e da vazão hidrológica.

O município de Macaé não difere desse cenário de degradação dos corpos hídricos. Canalizações, represamentos, manilhamentos, aterramentos e desmatamentos são comumente observados nos corpos hídricos na região, o que têm provocado a degradação da Bacia Hidrográfica do rio Macaé. Segundo CBH RH-VIII (2013) o rio Macaé é responsável por abastecer três municípios (Macaé, Rio das Ostras e Casimiro de Abreu) e cerca de 78% da cadeia petrolífera do país (ANP, 2014). Dessa forma, a gestão das águas dessa bacia é fundamental para as pessoas da região e a economia do país. Assim, é primordial que os corpos hídricos sejam caracterizados de forma adequada (CBH RH-VIII, 2013).

O problema de classificação, em Macaé, teve início com as intervenções históricas dos cursos hídricos realizadas pelo extinto Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS). Na década de 1960, o DNOS promoveu uma série de retilinizações nos cursos hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Macaé, a fim de diminuir as enchentes e as áreas úmidas. Como consequência, os cursos hídricos naturais retilinizados passaram a ser historicamente reconhecidos como canais artificiais. O fato têm ocasionado um sério problema de gestão ambiental, pois existe uma confusão entre quais cursos hídricos são naturais, ou seja protegidos, e quais são artificiais.

A classificação inadequada de corpos hídricos é um fato comum, mas com consequências graves à gestão, e ele ocorre com frequência no município de Macaé. Nesse, caso o processo de licenciamento ambiental pode ser prejudicado, pois licenças ambientais podem ser concedidas em desacordo com regulamentos legais relacionados. Ainda podem ser solicitadas erroneamente demarcações de FMPs no entorno de corpos hídricos artificiais e, por vezes, as mesmas podem não ser solicitadas em corpos hídricos naturais. Notificações e multas também podem ser emitidas ou não de forma equivocada. Por fim, corpos hídricos naturais podem ser canalizados, aterrados e manilhados caso confundidos com artificiais, o que ocorre de forma indiscriminada na cidade de Macaé (distrito sede).

Assim, objetiva-se por meio desse trabalho propor um procedimento para a classificação de corpos hídricos. Para alcançar esse objetivo procurou-se identificar as classes de corpos hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Macaé na cidade de Macaé, verificar os casos onde a classificação oficial está em desacordo e as limitações do procedimento proposto. As limitações são fundamentais a extrapolação do procedimento a outros casos.

A justificativa do presente estudo é que o erro de classificação dos recursos hídricos prejudica a gestão nos processos de planejamento, manejo e fiscalização de APPs e FMPs. A metodologia aplicada foi usar de forma integrada cartas-topográficas e séries históricas de sensores remotos, em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) livre e grátis, como base para classificação manual de corpos hídricos. A área de estudo é o município de Macaé (RJ, Brasil),

principalmente a cidade de Macaé, pois o município em questão abrange a maior porção do território da bacia hidrográfica.

O software livre QGIS e as bases de dados geográficas grátis são fundamentais a proposta, em virtude desses facilitarem o acesso a informação e ao procedimento proposto para os gestores públicos. Muitas vezes os órgãos executores ambientais responsáveis pelo processo de licenciamento ambiental carecem de recursos (humanos, financeiros e tecnológicos) suficientes para execução desses procedimentos.

2. METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos envolveram o método hipotético-dedutivo e seus desdobramentos: pesquisa exploratória de gabinete por meio da revisão bibliográfica e pesquisa documental. O presente trabalho envolveu um estudo de caso no Município de Macaé, principalmente em seu distrito sede (cidade de Macaé). O estudo de caso abarcou uma análise da morfologia e escoamento em meio SIG dos corpos hídricos da região de estudo, e visitas de campo para validação das informações produzidas.

Os materiais utilizados neste trabalho foram cedidos pela Prefeitura Municipal de Macaé, Comitê de Bacia Hidrográfica da Região Hidrográfica VIII (CBH Macaé e das Ostras) e também adquiridos nas bases de dados geográficas on-line do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Dentre eles: a) ortofotos 1:10.000 da Prefeitura Municipal de Macaé (MACAÉ, 1956; 1966; 1976; 1989; 1999; 2001; 2010); b) ortofotomosaico 1:25.000 do IBGE (BRASIL, 2005); c) cenas do satélite *Rapideye* (MACAÉ, 2013); d) rede hidrográfica 1:25.0000 do INEA/IBGE (RIO DE JANEIRO, 2010); e) cartas-topográficas 1:50.0000 do IBGE (BRASIL, 1977); e, f) *software QGIS* e seu módulo *Open Layers*;

Os procedimentos da análise em meio SIG foram resumidos, a seguir:

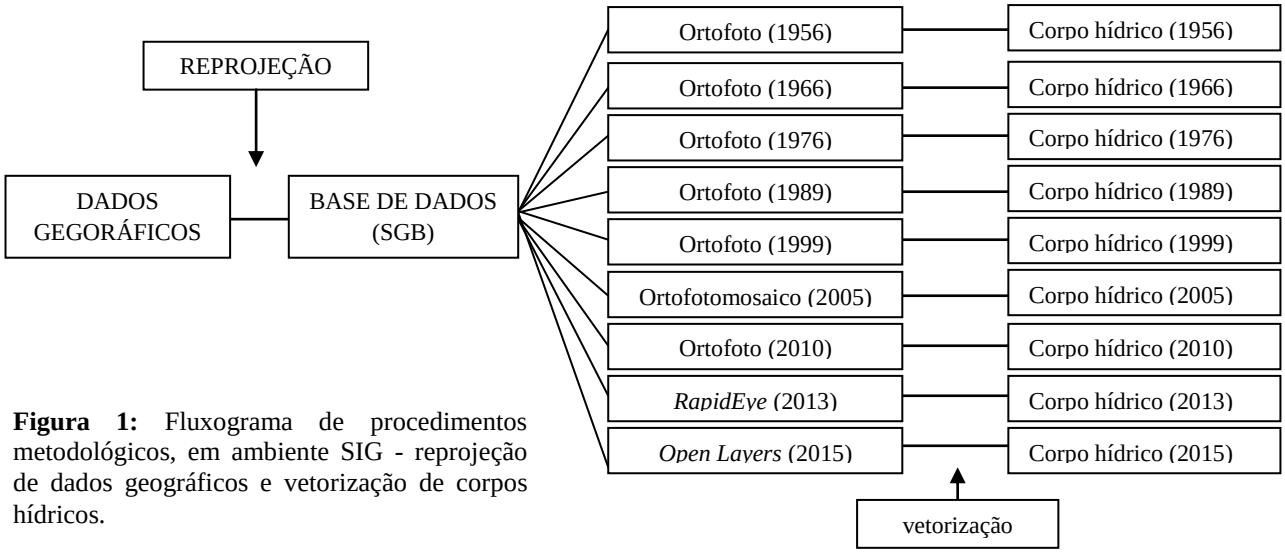

Figura 1: Fluxograma de procedimentos metodológicos, em ambiente SIG - reprojeção de dados geográficos e vetorização de corpos hídricos.

i. os dados geográficos adquiridos foram reprojetados para Sistema Universal Transverso de Mercator (UTM), *datum SIRGAS 2000* e fuso 23 K (Sistema Geodésico Brasileiro - SGB) e, depois organizados em uma base de dados no *software QGIS* (Figura 1)

ii. uma série temporal de imagens foi composta por meio da sobreposição em tela, na escala 1:50.000: a) de imagens da base de dados grátis *Open Layers* (módulo do QGIS, ano 2015); (b) de composições coloridas do tipo *Red*, *Green* e *Blue* (RGB) e *Ifra-Red*, *Redeye* e *Red* (IF, RE e R) das cenas do satélite *Rapideye* (2013); (c) do ortofotomosaico 1:25.000 do IBGE (2005); e, (d) das ortofotos 1:10.000 históricas do município de Macaé (1956; 1966; 1976; 1989; 1999; 2001; 2010) (Figura 1)

iii. foi executada uma vetorização em tela dos corpos hídricos, na escala 1:50.000, para cada imagem da série temporal, com apoio das redes hidrográficas do IBGE (1977) e INEA/IBGE (2010) (Figura 1)

iv. a sobreposição em tela das redes hidrográficas (IBGE e INEA/IBGE) com os vetores de corpos hídricos elaborados e a série histórica de imagens teve o objetivo de evidenciar as mudanças no percurso e, na forma dos corpos hídricos (morfologia), conforme a escala proposta e a resolução temporal disponível (Figura 2);

Figura 2: Desenho esquemático da sobreposição em tela no QGIS.

v. os vetores (redes hidrográficas e corpos hídricos) também foram comparados com a topografia do terreno. A topografia foi utilizada para verificar se o curso das redes hidrográficas e corpos hídricos correspondiam ao escoamento do terreno, ou se houveram modificações no seus traçados ao longo do período temporal analisado (Figura 3)

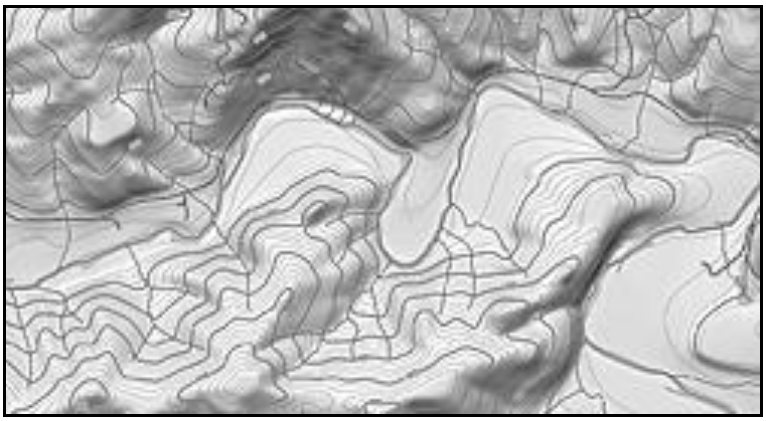

Figura 3: Desenho esquemático da sobreposição em tela de rede hidrográfica e topografia.
Fonte: adaptado de ensri.com.

vi. também foram verificadas se houveram movimentações de terra (corte, retilinização, canalização e aterro) no entorno dos corpos hídricos e redes hidrográficas ao longo da série temporal de imagens;

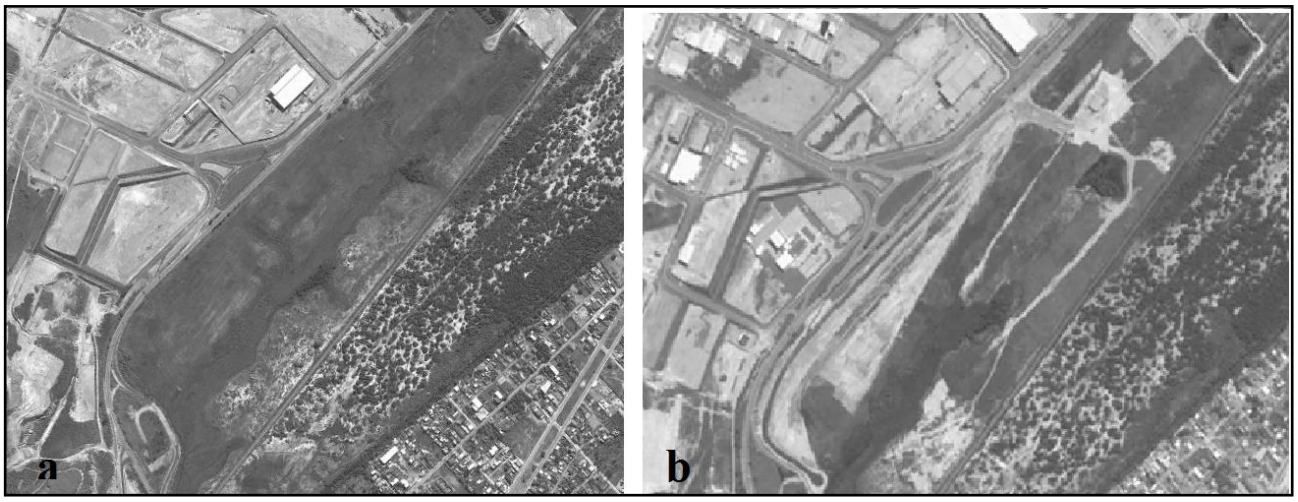

Figura 4: Comparação entre os usos e coberturas da terra do entorno de um curso hídrico na: (a) Ortofoto de Macaé (2010); e (b) Openlayer (2015).

vii. e, por último, foi feita a verificação de campo dos corpos hídricos onde a classificação em tela não foi suficiente para validar as informações produzidas. A vistoria consistiu em uma avaliação no local das características do corpo hídrico e do terreno, e a coleta de relatos com atores-chave, como agentes do poder público, moradores e proprietários.

O produto gerado foi uma base de dados geográficos com os dados adquiridos e os vetores elaborados para verificação das classes de corpos hídricos da área de estudo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicabilidade do uso integrado das cartas-topográficas, séries históricas de sensores remotos e composições coloridas de imagens de satélite, em ambiente SIG, como suporte para classificação de corpos hídricos foi confirmada. No entanto, houve casos onde a classificação somente em ambiente SIG não pode ser realizada com segurança. Nesses casos, a verificação de campo complementar foi suficiente para validação das informações.

O impasse ocorreu quando alguns dos corpos hídricos estudados apresentaram o mesmo padrão morfológico em toda linha temporal, e ao mesmo tempo esses padrões ainda correspondiam aos vetores de escoamento do terreno. Inicialmente, o indicativo desse tipo de comportamento é de que o corpo hídrico é natural.

Todavia, atentou-se que em algumas áreas em análise houve alterações humanas na topografia do terreno (movimentações de terra, como corte de morros ou aterros) e na forma de alguns corpos hídricos (retilinizações e canalizações), e essas eram anteriores a série temporal

disponível. Por isso, não havia segurança na classificação dos corpos hídricos, somente em ambiente SIG, nessas situações. Portanto, a vistoria de campo se fez necessária, a fim de averiguar evidências no terreno ou relatos com atores-chave sobre os corpos hídricos avaliados, com essas características, o que foi eficaz em todos os casos.

As classes de corpos hídricos propostas por este trabalho e encontradas na região de estudo foram: curso hídrico natural (1), natural retilinizado (2), natural represado (3), natural manilhado (4), natural aterrado (5) canal artificial (6); corpo hídrico lêntico natural (7), natural aterrado (8) (Figura 5; 6; 7; 8; 9). A classificação teve como base os corpos hídricos: i) serem lênticos, de águas paradas ou de pouca movimentação (lagos, lagoas, charcos e reservatórios), e lóticos, de águas com movimento (rios e córregos). Nesse caso os corpos hídricos lóticos também são conhecidos como cursos hídricos (BRAGA et al., 2007); ii) serem naturais ou artificiais; iii) terem sofrido alguma intervenção humana, como canalização, retilinização, aterramento, manilhamento ou represamento.

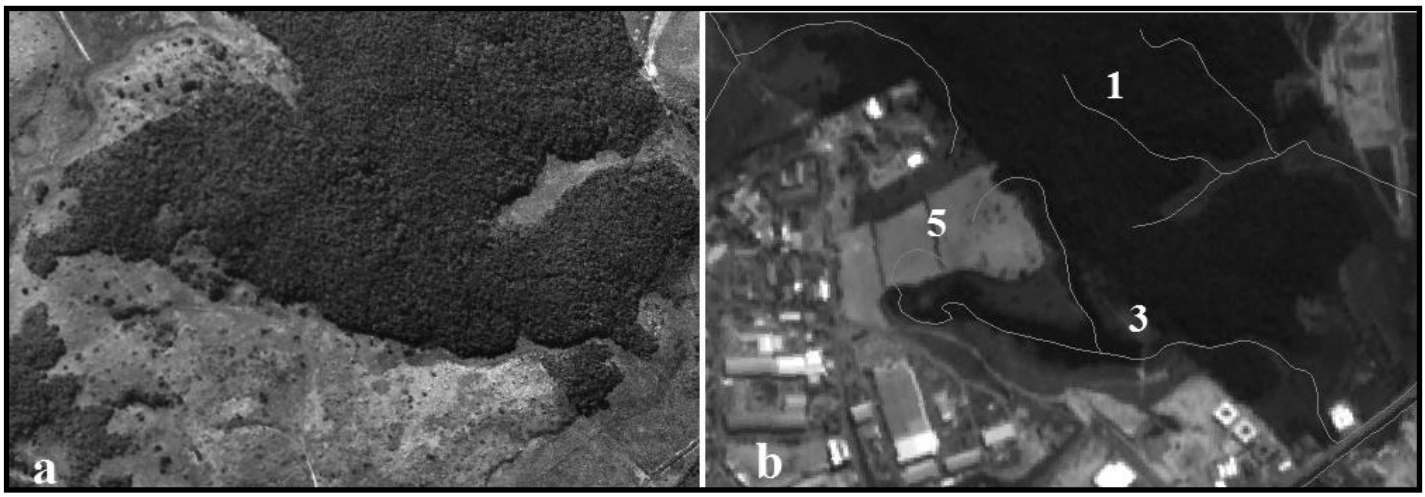

Figura 5: a. Ortofotomosaico 1:10.000 (MACAÉ, 1956); b. RapidEye (MACAÉ, 2013). 1. Curso hídrico natural na floresta da PESAGRO; 3. Cursos hídricos naturais represados em duas lagoas; 5.Cursos hídricos naturais aterrados.

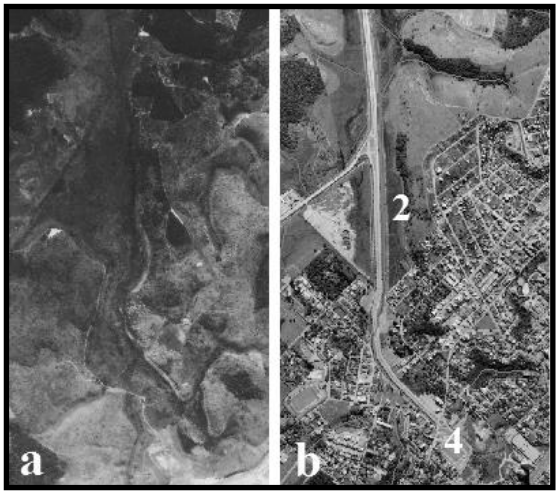

Figura 6: a. Ortofotomosaico 1:10.000 (MACAÉ, 1956); b. Ortofotomosaico 1:25.000 (BRASIL, 2005). 2. Rio Capote natural trecho retilinizado; 4. Rio Capote natural trecho manilhado.

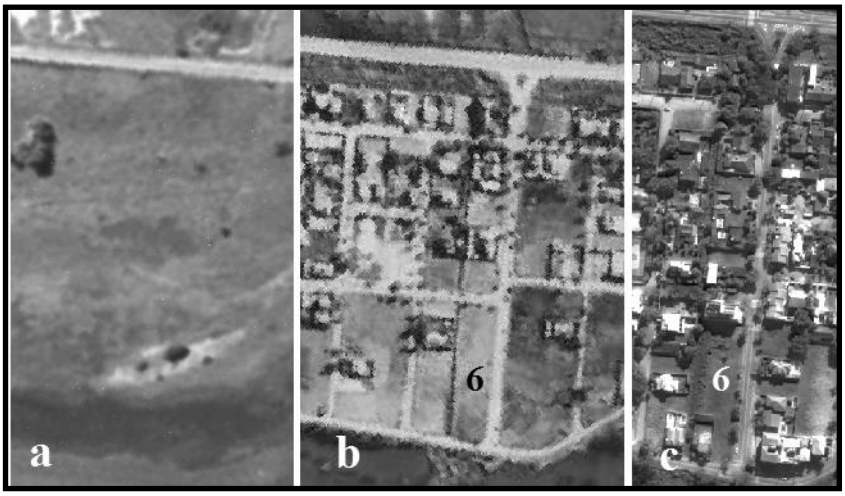

Figura 7: a. Ortofotomosaico 1:10.000 (MACAÉ, 1966); b. Ortofotomosaico 1:10.000 (MACAÉ, 1989); c. Ortofotomosaico 1:10.000 (MACAÉ, 2010). 6. Canal artificial no loteamento Mirante da Lagoa.

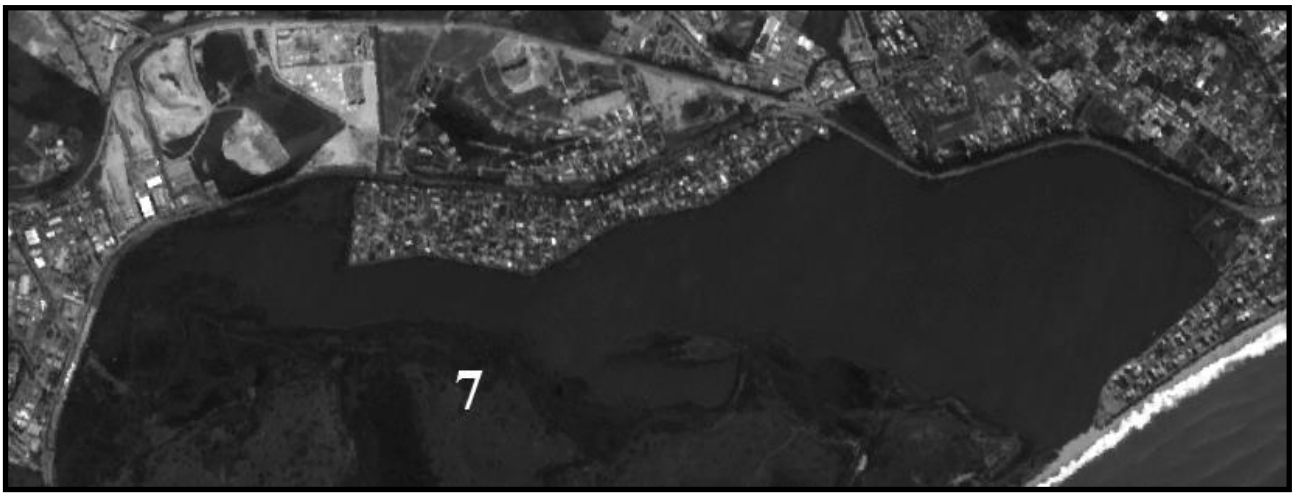

Figura 8: Rapideye (MACAÉ, 2013). 7. Lagoa de Imboacica corpo hídrico lêntico natural.

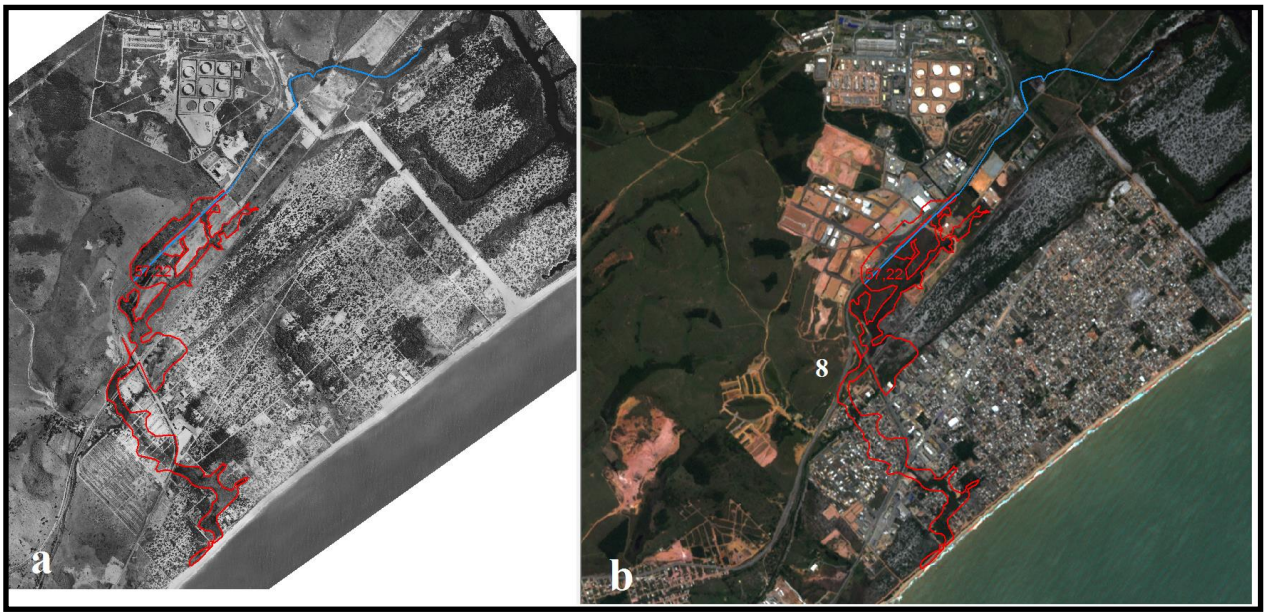

Figura 9: Ortofotomosaico 1:10.000 (MACAÉ, 1989); RapidEye (MACAÉ, 2013). 8. Lagoa do Baixio da Grande Rã corpo hídrico lêntico natural aterrado.

Os cursos hídricos naturais no município são córregos ou rios de diferentes extensões e vazões. Os cursos naturais retilinizados são, no geral, os modificados pelas obras do DNOS, na década de 1960. A maioria destes encontram-se assoreados pela retilinização associada ao desmatamento das APPs.

Como exemplo alarmante, a captação de água da CEDAE e a da PETROBRAS, no trecho retilinizado do rio Macaé, encontra-se atualmente captando água em lâmina zero, ou seja, na superfície. Relatos coletados em reuniões de órgãos colegiados ambientais da temática em questão vêm alertando para esse evento, que têm se agravado com o longo período de estiagem. As informações mostram que mesmo em lâmina zero há uma grande adução de areia.

Outro problema relatado é a intrusão salina no rio Macaé, que nos períodos secos atinge a adutora que está a mais de 11 km da sua foz. O motivo para esses dois fenômenos é a diminuição da disponibilidade hídrica ocasionada pelo desmatamento, alterações morfológicas de cursos hídricos, represamentos, manilhamentos e aterramentos. A intrusão salina além de prejudicar os equipamentos das estações de captação de água encarece o processo de tratamento de água por tornar a água salobra. Pode ainda salinizar os solos do entorno, o que prejudica a prática da agricultura e as formações vegetacionais não adaptadas a ambientes salobros ou salinos, acarretando danos ecossistêmicos, além de problemas para o abastecimento público (SEA, 2014).

Os cursos hídricos naturais represados são muito comuns na região rural do município, principalmente, nos distritos serranos. No distrito do Sana, que é uma Área de Proteção Ambiental (APA), foram observados, em 2011, 183 lagos artificiais escavados Esses lagos artificiais são formados a partir do barramento, total ou parcial, dos córregos e rios com intuito de captar a água para irrigação, consumo humano, aquicultura, lazer e dessedentação (consumo) de animais.

Os barramentos provocam alterações negativas na vazão desses cursos e na sua qualidade da água, em virtude do aumento da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), nos lagos artificiais. Além disso, os cursos represados também podem estar sendo contaminados pelos dejetos de animais que chegam a sua margem para beber a água. Outro problema observado é a aquicultura de espécies exóticas agressivas, que podem prejudicar a biodiversidade das águas da bacia hidrográfica no qual o curso hídrico está inserido.

Os cursos hídricos naturais manilhados também são comuns na área rural de Macaé em virtude da edificação de estradas e vias de acesso. Na área urbana muitos cursos hídricos naturais também foram manilhados para edificação de vias, loteamentos e construções, assim como parte de obras de drenagem. O manilhamento é uma alteração que dependendo da magnitude da intervenção prejudica a vazão e a disponibilidade hídrica do curso manilhado. Outro problema grave e recorrente observado no distrito sede do município, área urbana, é o aterramento de corpos hídricos naturais, realizado de forma indiscriminada, para edificação de loteamentos (residenciais, industriais e comerciais) e outros tipos de construções (FIGURA 10). Como já mencionado o aterramento e o manilhamento provocam uma redução da disponibilidade hídrica, além de problemas de engenharia das edificações, como por exemplo afundamento de construções e vias.

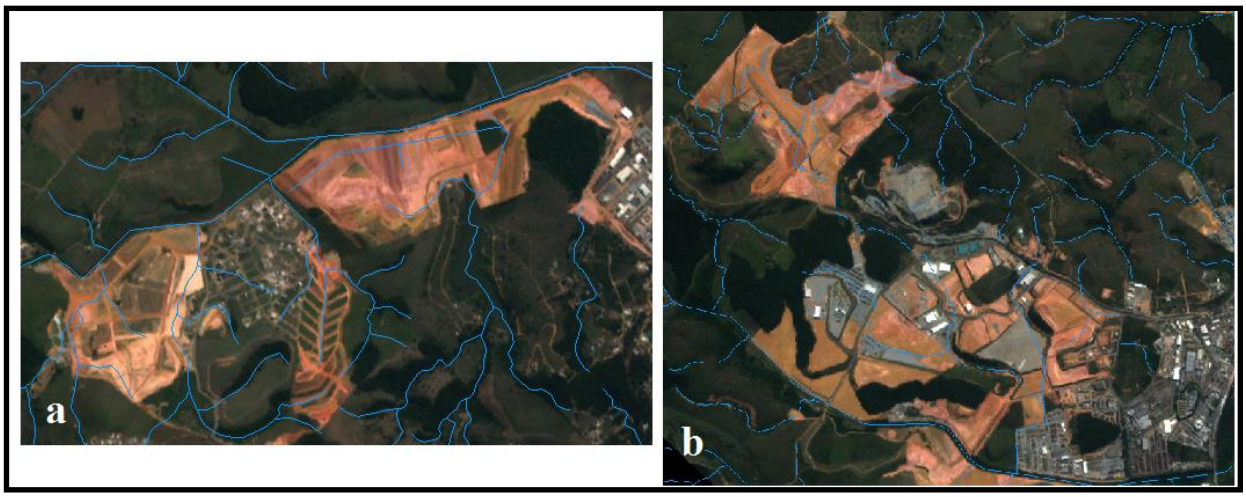

Figura 10: RapidEye (MACAÉ, 2013). a. Cursos hídricos naturais aterrados para loteamentos residenciais a esquerda e meio e loteamento industrial a direita, na Área de Relevante Interesse Ambiental do Vale Encantado; b. Cursos hídricos naturais aterrados e manilhados para loteamentos industriais na Zona Industrial I localizada na Bacia Hidrográfica da Lagoa de Imboacica.

Os corpos hídricos artificiais na cidade de Macaé são no geral canais artificiais escavados para drenagem das águas ou dessedentação de animais. A canalização pode ser um problema grave se realizada de forma indiscriminada, como no caso do município de Macaé. Diversos canais são escavados ilegalmente, a fim de drenar as águas com intuito de diminuir áreas úmidas para cultivos, edificações ou para dessedentação de animais. Entretanto, quando feita inadequadamente, sem acompanhamento ou em feita em excesso, ela pode provocar a redução da disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica, e com isso favorecer a intrusão salina. Ainda, o desvio das águas podem inclusive provocar inundação em outras áreas, afetando a biodiversidade e provocando o risco a vida humana.

O uso de sensores remotos de forma integrada às cartas topográficas, em ambiente SIG, além de possibilitarem uma classificação de cursos hídricos podem proporcionar informações (como área, extensão, perímetro, tipo, entre outras) relativas aos passivos ambientais dos corpos hídricos e suas APPs. Os resultados alcançados com métodos de monitoramento em ambiente SIG, podem auxiliar os gestores na tomada de decisão que envolve os processos de planejamento, licenciamento, fiscalização, controle, manejo, recuperação e preservação ambiental de forma mais confiável e célere.

A implantação das geotecnologias nos órgãos públicos de gestão do território e ambiente possui um custo inicial moderado, mas o retorno é rápido para os tomadores de decisão. Atenta-se que um SIG para funcionar de forma adequada deve possuir todos seus elementos formadores: bases de dados georreferenciadas adequadas ao objetivo proposto, recursos humanos com expertise nas temáticas abordadas (geotecnologias e tema avaliado), *softwares* de geotecnologia e *hardware*

adequados. Além disso, existem equipamentos para geoprocessamento necessários à aquisição e à avaliação de dados tais como: *GPS*, *GPS* geodésico, estação total, clinômetro digital, entre outros.

No caso do município de Macaé há uma demanda urgente de informações geoespaciais aplicadas ao ambiente para auxiliar a tomada de decisão dos gestores públicos, em virtude dos impactos associados à crescente implantação de empreendimentos relacionados à economia do petróleo. O município é um dos pólos da cadeia logística do petróleo. Como consequência, inúmeras empresas do ramo petrolífero e outras da cadeia logística tem sido atraídas a se instalar no município, e a grande maioria promovem alterações negativas de significativa magnitude e extensão no ambiente natural.

Dentre, os impactos ambientais negativos observados, os mais comuns e de maior magnitude no município são: desmatamento, contaminação, aterramento, assoreamento, desvio e manilhamento de corpos hídricos, provocados pela instalação e operação destas empresas, além do avanço da malha urbana, principalmente na forma de loteamentos residenciais, com a consequente impermeabilização dos solos. Também é frequente no município o aterramento de áreas úmidas, que além de serem fundamentais para dinâmica hídrica regional e conservação da biodiversidade, normalmente não são áreas adequadas para instalação desses tipos de empreendimentos, devido suas características geológicas, pedológicas e geomorfológicas.

Portanto, a sistematização dados geográficos em SIG podem trazer celeridade ao processo de licenciamento ambiental, além de facilitar o planejamento, monitoramento e fiscalização do ambiente. Sem uma base de dados geográficos adequada a realidade do município não há como executar um controle adequado do território municipal, visto que seus gestores não tem como monitorar as terras e os recursos naturais em sua totalidade, com precisão, celeridade e eficiência, pois demandaria um grande contingente de recursos humanos e de mobilidade.

Um bom exemplo para ilustrar a gravidade da incipiência das geotecnologias aplicadas ao ambiente no município em estudo é a possibilidade de concessão da licença ambiental para a implantação do projeto do Terminal Portuário de Macaé (TEPOR). O projeto possui uma série de problemas levantados pelos atores locais relacionados com a temática ambiental, nas Audiências Públicas do empreendimento (INEA, 2014 a; b) e nos Fóruns Municipais de Controle Social (Conselho Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável e CBH Macaé e das Ostras) Parte desses relatos poderia ter sido verificada pelo órgão executor ambiental competente por meio do uso de geotecnologias. Como exemplo têm-se alguns problemas relacionados à temática de recursos hídricos relatados durante esses eventos e informações oriundas de estudos do processo de licenciamento ambiental do empreendimento:

I. A maior parte da área do projeto é formada por um complexo de lagoas costeiras e brejos com espécies endêmicas e ameaçadas de extinção (Núcleo em Ecologia e Desenvolvimento Sócio-Ambiental de Macaé - NUPEM/UFRJ)

II. A foz da lagoa do Baixio da Grande Rã está na área em questão e esta lagoa é um contribuinte hídrico da bacia da Lagoa de Jurubatiba localizada no Parque Nacional de Jurubatiba, Unidade de Conservação de Proteção Integral, localizada a menos de 2 km do empreendimento (estando dentro da Zona de Amortecimento) (Secretaria de Ambiente - SEMA/MACAÉ)

III. A área possui altíssimo grau de risco de inundação e nenhum estudo hidrológico foi realizado e consequentemente uma proposta de obra de drenagem (EIA/RIMA)

IV. O porto pode influenciar negativamente a corrente marinha responsável pela formação do assoalho marinho no mar territorial de Macaé, que pode vir a prejudicar o fundeio na região e a formação do pontal da foz do rio Macaé (NUPEM/UFRJ)

V. O empreendimento irá necessitar da água da bacia hidrográfica do rio Macaé, o qual já se encontra com uma vazão reduzida. O plano diretor de recursos hídricos (RIO DE JANEIRO, 2013a; RIO DE JANEIRO, 2013b) prevê: para o crescimento populacional projetado para as próximas décadas ser compatibilizado com o abastecimento humano, num cenário de crescimento econômico moderado, será necessária uma transposição do rio São Pedro para o rio Macaé. Esse fato evidencia a possibilidade de conflitos ambientais relativos ao uso da água, uma vez que o abastecimento do terminal portuário não seria prioritário em situação de escassez hídrica, mas sim o abastecimento humano e a dessedentação de animais, conforme estabelecido pela PNRH (BRASIL, 1997). Ainda, o rio São Pedro encontra-se com os mesmos problemas ambientais do rio Macaé, rio principal ao qual ele é contribuinte hídrico.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de sensores remotos de forma integrada a cartas topográficas em ambiente SIG mostrou-se adequado para a caracterização de corpos hídricos, em praticamente todos os casos avaliados. As dificuldades encontradas são relacionadas à carência de dados para a avaliação e aos atributos dos vetores das redes hidrográficas não terem indicativos se um corpo hídrico é natural ou artificial. A carência de dados envolve seu elevado custo, sua escala inadequada ou até mesmo sua inexistência. Entretanto, nos casos em estudo as dúvidas puderam ser solucionadas com uma vistoria em campo. Dessa forma, o procedimento metodológico proposto pode ser útil a gestão ambiental pública de recursos hídricos, desde que os conhecimentos locais sejam considerados no processo.

Para isso, o Poder Público deve elaborar, manter e atualizar bases de dados geográficas adequadas à gestão ambiental, a fim de dar maior segurança, confiabilidade e celeridade aos processos de planejamento, licenciamento, fiscalização, controle, manejo, recuperação e preservação ambiental.

Por fim, as bases de dados geográficas devem possuir uma escala e uma temporalidade adequada aos fenômenos avaliados. No caso da gestão e do planejamento municipal aconselha-se a escala 1:1.000 para áreas urbanas e 1:25.000 para áreas rurais, conforme as recomendações do Cadastro Mutifinalitário (BRASIL, 2009) e do Cadastro Ambiental Rural (BRASIL, 2012a; 2012b, 2014a; 2014b). Ainda é fundamental ao procedimento a manutenção de uma série histórica de sensores remotos.

REFERÊNCIAS

ANP, Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (2014). **Boletim da Produção de Petróleo e Gás Natural**. Superintendência de Desenvolvimento e Produção – SDP. Rio de Janeiro, Brasil.

BARRELLA, W., PETRERE JÚNIOR, M., SMITH, W.S. & MONTAG, L.F.A. 2000. As relações entre as matas ciliares, os rios e os peixes. In **Matas Ciliares: conservação e recuperação** (R.R. Rodrigues & H.F. Leitão Filho, eds.). EDUSP, São Paulo, p.187-207.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G; BARROS, M. T. L. DE; VERAS JUNIOR, M. S.; PORTO, M. F. DO A.; NUCCI, N. L. R; JULIANO, N. M. DE A; EIGER, S. **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo, Prentice Hall, 2007. 305 p.

BRASIL a. Ministério do Meio Ambiente. **Instrução Normativa nº 2, de 06 de maio de 2014**. Dispõe sobre os procedimentos para a integração, execução e compatibilização do Sistema de Cadastro Ambiental Rural-SICAR e define os procedimentos gerais do Cadastro Ambiental Rural-CAR. Disponível em: < http://www.car.gov.br/leis/IN_CAR.pdf>. Acesso em: 14/11/2014.

BRASIL b. Ministério do Meio Ambiente. **Decreto nº 8.235, de 05 de maio de 2014**. Estabelece normas gerais complementares aos Programas de Regularização Ambiental dos Estados e do Distrito Federal, de que trata o Decreto no 7.830, de 17 de outubro de 2012, institui o Programa Mais Ambiente Brasil, e dá outras providências. Disponível em: < http://www.car.gov.br/leis/DECRETO8235.pdf>. Acesso em: 14/11/2014.

BRASIL a. Ministério do Meio Ambiente. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm#art83 >. Acesso em: 14/11/2014.

BRASIL b. Ministério do Meio Ambiente. **Decreto nº 7.830, de 17 de outubro de 2012**. Dispõe sobre o Sistema de Cadastro Ambiental Rural, o Cadastro Ambiental Rural, estabelece normas de caráter geral aos Programas de Regularização Ambiental, de que trata a Lei n.12.651, de 25 de maio de 2012, e dá outras providências. Disponível em: < http://www.car.gov.br/leis/DECRETO7830.pdf>. Acesso em: 14/11/2014.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Portaria nº 511, de 08 de dezembro de 2009**. Diretrizes para a criação, instituição e atualização do Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) nos municípios brasileiros. Disponível em: < http://www.coad.com.br/busca/detalhe_1028/1442/Atos_Legais>. Acesso em: 14/11/2014

BRASIL, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Ortofotomosaico 1:25.000.** Arquivos *.asc* OFM_RJ25_27172so, OFM_RJ2527173ne, OFM_RJ25_27174ne, OFM_RJ25_27174no, OFM_RJ25_27174se e OFM_RJ25_27174so. Levantamento Topográfico. Rio de Janeiro, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o Art. 225°, par. 1º, incisos I, II, III E VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm>. Acesso em: 14/11/2014

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Lei nº 9.433, de 08 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. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm>. Acesso em: 14/11/2014

BRASIL, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cartas topográficas (1:50.000)**. Folhas de Casimiro de Abreu, Quartéis, Trajano de Morais, Macaé e Cabíunas. Levantamento Topográfico. Rio de Janeiro, 1969.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965**. Institui o novo Código Florestal. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L4771.htm>. Acesso em: 30 maio 2011.

INEA, Instituto Estadual do Ambiente. Audiência Pública do Processo de Licença Prévia do Terminal Portuário de Macaé, RJ. 2014a. Disponível em: http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mde4/~edisp/inea0018128.pdf. Consultado em: 04/01/2015.

INEA, Instituto Estadual do Ambiente. Transcrição Audiência Pública do Licenciamento Ambiental do Empreendimento TEPOR. 2014b. Disponível em: http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mdq3/~edisp/inea0047935.pdf. Consultado em: 04/01/2015.

INEA, Instituto Estadual do Ambiente. **Lei nº 1.130 de 1987**. Áreas de Interesse Especial do Estado. Disponível em: http://www.inea.rj.gov.br/recursos/fmp.asp >. Acesso em: 19/02/2013.

RIO DE JANEIRO a. Comitê de Bacia Hidrográfica da Região Hidrográfica VIII do Estado do Rio de Janeiro. **Plano de Recursos Hídricos**. Diagnóstico das Disponibilidades Hídricas da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras. 2013. Disponível em: < http://www.planomacaeostras.com/index.php?option=com_content&view=article&id=63&Itemid=55>. Acesso em: 14/11/2014.

RIO DE JANEIRO b. Comitê de Bacia Hidrográfica da Região Hidrográfica VIII do Estado do Rio de Janeiro. **Plano de Recursos Hídricos**. Relatório da Proposição de Programas, Projetos e Estratégias de Ação. 2013. Disponível em: < http://www.planomacaeostras.com/index.php?option=com_content&view=article&id=63&Itemid=55>. Acesso em: 14/11/2014.

RIO DE JANEIRO. Comitê de Bacia Hidrográfica da Região Hidrográfica VIII do Estado do Rio de Janeiro. **Plano de Recursos Hídricos**. Relatório de Caracterização da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras. 2012. Disponível em: <

http://www.planomacaeostras.com/index.php?option=com_content&view=article&id=63&Itemid=55>. Acesso em: 14/11/2014.

RIO DE JANEIRO, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e Instituto Estadual do Ambiente. **Rede Hidrográfica (1:25.000)**. Plano de Recursos Hídricos Bacia Hidrográfica da Região Hidrográfica VIII do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010.

SEA, Secretaria Estadual do Ambiente. **Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras:** relatório síntese. Rio de Janeiro: SEA, 2014. 181p.

TUNDISI, J. G. Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos. ***Revista USP***, (70), 24-35. (2006)

MACAÉ, Secretaria Municipal de Ambiente. **Cenas do Satélite Rapideye**. Macaé, 2013.

MACAÉ. Secretaria Municipal de Ambiente. **Lei Municipal n° 2.172, de 30 de novembro de 2001**. Cria a Área de Proteção Ambiental - APA do Sana. Mimeografado.

MACAÉ, Secretaria Municipal de Ambiente. **Ortofotomoisaco 1:10.000. Macaé, 1956; 1966; 1976; 1989; 1999; 2010**.

Trabalho enviado em março de 2016
Trabalho aceito em maio de 2016