

MODELAGEM MATEMÁTICA (MOHID) APLICADA PARA SIMULAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA DA LAGOA DE IMBOASSICA NO RIO DE JANEIRO

Luiza Cunha de Menezes^{1} & Cassius Marcelo Dutra Pessanha² & Jader Lugon Junior³ & Maria Ines Paes Ferreira⁴ & Pedro Paulo Watts Rodrigues⁵*

Resumo – Este trabalho apresenta a metodologia e os resultados alcançados pela modelagem matemática aplicada para previsões de cenários sobre a qualidade das águas na Lagoa de Imboassica em Macaé, Rio de Janeiro. O objetivo principal seria subsidiar tecnicamente as ações de planejamento e gestão dos interessados em prognósticos deste importante corpo hídrico. Foram implementados modelos matemáticos, tomando partido do conhecimento acumulado pelos grupos de pesquisa do Instituto Federal Fluminense campus Macaé, do Instituto Superior Técnico pertencente à Universidade Técnica de Lisboa - IST/UTL e do Instituto Politécnico do Rio de Janeiro da UERJ.

Palavras-Chave – Modelagem; Lagoa de Imboassica; Macaé.

MATHEMATICAL MODELING (MOHID) APPLIED TO SIMULATE WATER QUALITY FOR THE IMBOASSICA LAGOON AT RIO DE JANEIRO

Abstract – This work presents the methodology and results obtained using mathematical modelling applied to forecast scenarios on water quality in order to technically on water quality for the Imboassica lagoon in Macae, Rio de Janeiro. The main objective is supply technical information for planning and management actions to professionals interested in prognostic for this important hydro body Mathematical models have been implemented, taking advantage of the knowledge accumulated by research groups from Instituto Fedeval Fluminense campus Macaé, Instituto Superior Técnico (Technical University of Lisbon - IST / UTL) and the Instituto Politécnico do Rio de Janeiro (UERJ).

Keywords – Modeling; Imboassica lagoon; Macae.

INTRODUÇÃO

A água é tida como um recurso finito, de domínio público e valor econômico definido, devendo a sua gestão ter a participação de toda a sociedade (Kelman, 1999). A modelagem matemática pode oferecer informações fundamentais para gestão ambiental, cabendo citar requisitos e critérios presentes na resolução CONAMA número 357, de 17 de março de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento e estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, (Amaral, 2003, Rodrigues, Lugon e Tavares, 2008; Telles et al., 2008).

¹ Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação pelo Instituto Federal Fluminense Campus Macaé, luizamenezes13@hotmail.com

² Mestre em Engenharia Ambiental pelo Instituto Federal Fluminense Campus Macaé, cassiusmarcelo@ymail.com.

³ Instituto Federal Fluminense Campus Macaé, jljunior@iff.edu.br.

⁴ Instituto Federal Fluminense Campus Macaé, ines_paes@yahoo.com.br.

⁵ Instituto Politécnico da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, pwatts@iprj.uerj.br.

Os pesquisadores participantes do presente projeto têm atuado na temática do projeto desenvolvendo estudos sobre a dispersão de poluentes em rios e estuários desde 2007 e as atividades foram intensificadas com o apoio da FAPERJ. O grupo de pesquisa do NUPERN (IF Fluminense), aliado ao LEMA (IPRJ UERJ) e também contando com contribuições da equipe liderada pelo Prof. Ramiro Neves do IST UTL (Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa) vem desenvolvendo atividades conjuntas com participação de alunos de mestrado utilizando o sistema de modelagem hídrica MOHID (<http://www.mohid.com>) e outros aplicativos próprios (LIMA et al., 2013, HORA et al., 2012, TAVARES et al., 2012). Durante o III Seminário Regional de Recursos Hídricos e no IV Fórum Ambiental Alberto Ribeiro Lamago, em novembro de 2012, foram apresentados os resultados das pesquisas e as necessidades de aprofundamento nas questões ambientais da região, dentre os quais os estudos realizados pela equipe de pesquisadores do presente projeto. Cabe também destacar a importante participação dos órgãos fiscalizadores e o interesse dos gestores ambientais das empresas locais nos debates realizados durante o evento.

O objetivo central deste trabalho é contribuir com soluções de modelagem matemática aplicada à lagoa de Imboassica para simular cenários de interesse ambiental. A lagoa está situada na proximidade do Parque de Tubos da Petrobras em Macaé. Recebe esgoto sanitário de bairros próximos e também efluentes industriais (BARRETO, 2007, PALMA-SILVA, 2007, TERRA, 2010). Tendo em vista a recente implantação da Estação de Tratamento de Esgoto e a recuperação do canal extravasor, o foco do modelo foi a qualidade de água em relação aos parâmetros DBO e oxigênio dissolvido. Durante este estudo, foram identificados oito pontos de despejo de esgotos. Uma breve descrição de cada um deles é apresentada abaixo.



Ponto 1. Situado na localidade de Morada das Garças, em frente a um conhecido hotel da cidade chamado “Du Lac”.



Ponto 2. Situado na localidade de Morada das Garças, próximo ao ponto 1. Nota-se a presença de taboas no entorno.



Ponto 3. Canal com origem na localidade Novo Cavaleiros, onde empresas do ramo *offshore* estão instaladas.



Ponto 4. Localidade de Fazenda Mutum (à direita). Rodovia RJ-106 ao centro.



Ponto 5. Área residencial, na localidade de Mirante da Lagoa.



Ponto 6. Localizado no Mirante da Lagoa, efluentes do bairro Imboassica.

Figura 1. Pontos de 1 a 6. Fonte: Elaboração própria, 2012.



Ponto 7. Lagoa Imboassica à esquerda e RJ-106 à direita.



Ponto 8. Rio Imboassica, em trecho próximo à rodovia RJ-106, em junho de 2012 (“a”) e julho de 2011 (“b”).

Figura 2. Pontos de 7 a 8. Fonte: Elaboração própria, 2012.

METODOLOGIA

Neste estudo, considerou-se o rio Imboassica como o único contribuinte da lagoa, por ser o mais representativo. Para a medição da vazão, primeiramente, uma seção transversal do rio foi dividida em três partes, e a área de cada uma delas foi calculada. Determinou-se a velocidade, com o auxílio de um molinete fluviométrico.

Substituindo os valores encontrados na equação abaixo, foi possível calcular a velocidade:

$$E_H = (-0,01857193) + 0,29542909 \cdot N \quad (1)$$

onde E_H é a velocidade em m/s, e N é o número de rotações por segundo (rps)

Por fim, a vazão foi dada pela soma dos resultados das três seções, que foram obtidos multiplicando-se a velocidade de cada subseção por sua respectiva área. Ou seja:

$$Q = (E_{HA} \cdot A_A) + (E_{HB} \cdot A_B) + (E_{HC} \cdot A_C) \quad (2)$$

onde Q é a vazão do rio em m^3/s , e A é a área em m^2 .

A batimetria da lagoa Imboassica e do seu canal extravasador foi obtida com o equipamento GPSMAP 521s, do fabricante Garmin. Nas amostragens *in situ* feitas entre os dias 22 e 23 de dezembro de 2011, foram medidas as profundidades (em metros) dos pontos marcados. Com o mesmo instrumento foram também coletadas informações sobre salinidade, temperatura e localização geográfica, em coordenadas cartesianas. Neste último caso, foi necessário converter os dados coletados para a forma UTM, usada no modelo. Para isso, utilizou-se o software MSP GEOTRANS 3.2. Informações sobre radiação solar, velocidade e direção do vento foram obtidas através do sítio eletrônico do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Para a representação das marés, foram obtidos dois marégrafos em locais próximos à área de estudo ($22^{\circ}27'33''S - 41^{\circ}49'56''O$ e $22^{\circ}25'09''S - 41^{\circ}46'31''O$). Nestes foram inseridas as constantes harmônicas referentes à estação Porto Macaé (tabela 1), contidas no Catálogo de Estações Maregráficas brasileiras (FEMAR, 1974 apud PESSANHA, 2012)

Tabela 1. Período e amplitude das componentes de maré da estação Porto Macaé.

Componente	Período (s)	Amplitude (m)	Componente	Período (s)	Amplitude (m)
M2	44714,16	0,369	MN4	22569,03	0,012
S2	43200,00	0,191	MS4	21972,02	0,011
O1	92949,63	0,100	2N2	46459,35	0,010
K1	86164,09	0,059	M1	89399,69	0,009
K2	43082,05	0,054	M3	29809,44	0,004
N2	45570,05	0,046	MO3	30190,69	0,003
Q1	96726,08	0,026	MK3	29437,70	0,002
M4	22357,08	0,024	SN4	22176,69	0,002
P1	86637,21	0,021			

Fonte: Elaboração própria, 2012.

Após inserção dos dados de batimetria na interface gráfica GIS (MARETEC, 2012), discretizou-se o domínio da área de estudo com duas malhas, uma de 50 m x 50 m e outra de 10 m x 10 m. Para a representação das descargas de efluentes, utilizou-se o modelo de Streeter-Phelps, que relaciona as variáveis Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Oxigênio Dissolvido (OD). Com isso pretendeu-se simular a variação no consumo de oxigênio, e, por sua vez, a capacidade de depuração do ecossistema aquático frente à entrada excessiva de nutrientes de origem antrópica.

A carga de efluentes lançados na lagoa Imboassica foi estimada com base em uma população de 10.000 pessoas. Para obtenção desse quantitativo, foram utilizados como referência dados da “Pesquisa Domiciliar do Programa Macaé Cidadão 2006-2007” da prefeitura municipal de Macaé, e do Censo 2010 do IBGE (IBGE, 2011). A DBO e a carga de esgoto produzida por pessoa foram baseadas na DZ-215.R-4 (RIO DE JANEIRO, 2007). Por fim, foi elaborada a seguinte equação para cálculo da vazão de efluentes produzidos em cada ponto:

$$C_P = Q_P \cdot P_P / (1000 \cdot 86400) \quad (3)$$

onde C_P é a carga de esgoto produzido num ponto P (em m^3/s) e, Q_P e P_P são a vazão de efluentes per capita (em L/dia) e o quantitativo populacional no mesmo ponto P (em unidades), respectivamente. Os resultados encontrados estão sintetizados na tabela 2.

Tabela 2. Estimativa de carga de efluentes (vazão e DBO) lançados na lagoa Imboassica

Ponto	Vazão (m^3/s)	DBO (mg/L)
1	0,001038333	310
2	0,001038333	310
3	0,005064815	310
4	0,005064815	310
5	0,001851852	310
6	0,002496852	310
7	0,000982037	310
8	0,000982037	310

Fonte: Elaboração própria, 2012.

No que diz respeito às concentrações de OD nos pontos de lançamento de esgotos, foram usados como referência resultados de análises da água da mesma lagoa, realizadas pela secretaria de ambiente de Macaé, nos meses de agosto e setembro de 2011, (MACAÉ, 2011).

RESULTADOS ALCANÇADOS

Os valores de profundidade registrados na lagoa e no canal extravasor durante os trabalhos de campo variaram entre 0,8 m e 3,8 m (figura 3), com uma média de 1,5 m.

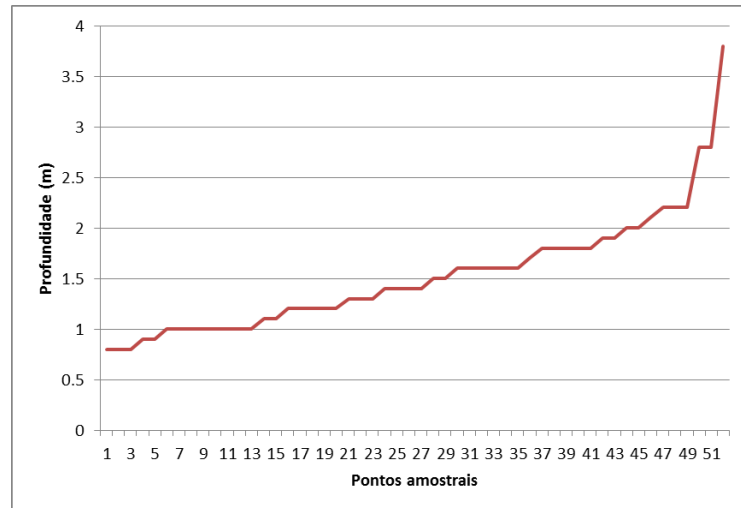


Figura 3. Valores de profundidade da lagoa Imboassica obtidos por amostragem *in situ*.
Fonte: Elaboração própria, 2012.

No que se refere à construção do terreno digital da batimetria no MOHID GIS, os resultados são mostrados a seguir na Fig. 4.

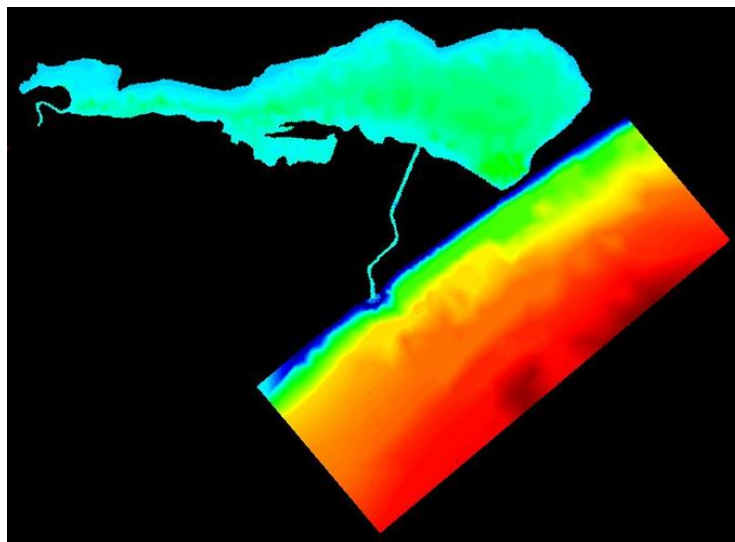


Figura 4. Representação do terreno digital produzido para lagoa Imboassica, via interface GIS do MOHID.

Foi usada uma malha de 10 m x 10 m e o canal extravasor foi considerado fechado.
Fonte: Elaboração própria, 2012.

Com a estação maregráfica utilizada (Porto Macaé) foi possível gerar séries temporais. Foi modelado um período de quatorze dias, considerando-se tanto marés de sizígia quanto de quadratura. Registros foram feitos a cada 10 minutos. O resultado está sintetizado na figura 5.

Nota-se que durante cada dia de simulação (1440 minutos) ocorreram dois ciclos de maré, ou seja, as marés são semidiurnas, com desigualdades diurnas. As maiores amplitudes (considerando-se 0,8 m como o nível de referência, ou seja, o “zero” do eixo das ordenadas) situaram-se na ordem de 0,7 m para a maré de sizígia. Esse resultado corrobora com o encontrado por Guerreiro (2003).

Além disso, de acordo com informações da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) para a Ponta de Imbetiba, em Macaé, a variação de maré naquela região alcança 1,3 m em sizígia (BASTOS e SILVA, 2000), o que resultaria em uma amplitude de 0,65 m, bem próximo ao resultado encontrado neste estudo.

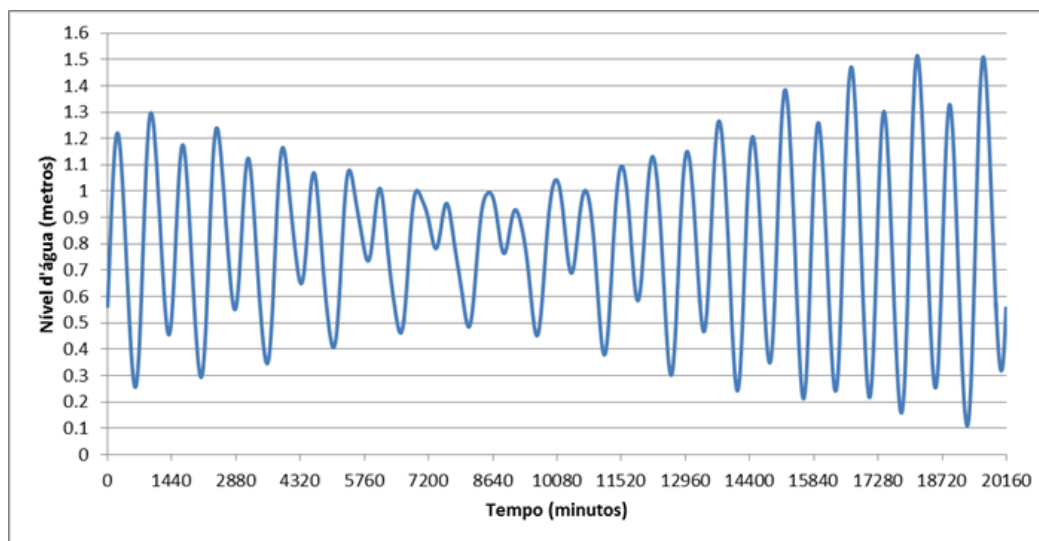


Figura 5. Variação da maré na região de estudo conforme série temporal produzida a partir do Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras.

Fonte: Elaboração própria, 2012.

Com aplicação da metodologia citada anteriormente para o cálculo da vazão do rio Imboassica, obteve-se um resultado na ordem de 0,04 m³/s. Ou seja, este corpo lótico possui uma vazão muito baixa (pelo menos no período estudado), assemelhando-se a um sistema lântico. Isto foi constatado visualmente durante a saída de campo. Além disso, há um registro fotográfico do Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS) do ano de 1957 que retrata a pujança do referido rio naqueles tempos. Segundo Soffiati (2010), o rio encontra-se no estado atual devido a intervenções antrópicas. A diminuição da vazão deste corpo lótico, no decorrer dos anos, pode estar contribuindo para o aumento da vegetação no local, visto que um maior tempo de residência da água geralmente favorece o desenvolvimento de plantas aquáticas. Somado a isso, ocorre ainda o despejo de efluentes no rio, o que poderia ser considerado como um agravante.

Em relação à DBO, não houve diferença significativa nos valores encontrados, comparando-se os cenários de barra do canal extravasor aberta e barra do canal extravasor fechada. Desta forma, durante o período simulado (30 dias) houve variação da DBO somente nos pontos 3 (canal Novo Cavaleiros) e 8 (rio Imboassica) representados nas Figs. 6 e 7.

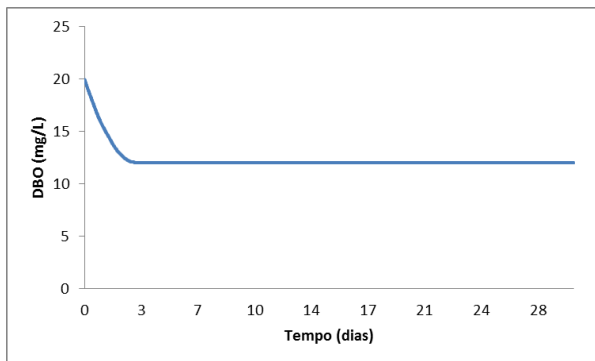


Figura 6. Simulação da variação da DBO no ponto 3 (canal Novo Cavaleiros) no período de 30 dias.

Fonte: Elaboração própria, 2012.

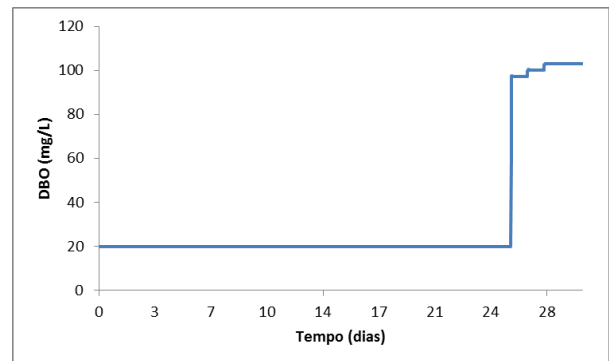


Figura 7. Simulação da variação da DBO no ponto 8 (rio Imboassica) no período de 30 dias.

Fonte: Elaboração própria, 2012.

Em ambos os casos, a DBO ficou bem acima do recomendável para um corpo hídrico de classe 2 (5 mg/L). Vale ressaltar que no modelo construído foram consideradas apenas as variáveis DBO e OD, sem a influência da biota e de outros parâmetros físico-químicos. Além disso, as condições iniciais estabelecidas para OD (8mg/L) e, principalmente, para DBO (20 mg/L), podem ter influenciado nos resultados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da FAPERJ Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo a Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro para realização do projeto de pesquisa.

REFERÊNCIAS

BARRETO, Guilherme Sardenberg. *Mapeamento ambiental da bacia hidrográfica da lagoa Imboacica*: subsídio para a construção de planos de bacia. 2009. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental modalidade profissional) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Macaé, 2009.

BRASIL. Lei n. 11.445 de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Brasília. DOU 088.01.2007 e ret 11.01.2007.

HORA, H. M. C., TAVARES, J. H. S., RODRIGUES, P. P. G. W., FERREIRA, M. I. P., LUGON, J. JR., Estudo sobre disponibilidade hídrica na Bacia do Rio Macaé com uso de ferramental de modelagem matemática In: VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica - CONEM2012, 2012, São Luis. VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica - CONEM2012. Rio de Janeiro: ABCM, 2012.

IBGE. *Pesquisa nacional por amostra de domicílios*. Rio de Janeiro, 2011. v.31, 135p. ISSN 0101-6822.

MACAÉ, Lei complementar n° 076 de 28 de dezembro de 2006, Institui o plano diretor do município de Macaé, 2006.

MACAÉ, Planejando Macaé, Relatório de saneamento básico do município de Macaé, Novembro 2011.

MARETEC, LUGON, J. JR., RODRIGUES, P. P. G. W., NASCIMENTO, E. C., Descrição do MOHID. ISBN 978-85-99968-20-8, Campos dos Goytacazes: Editora Essentia, 2012.

LIMA, E. B., RODRIGUES, P. P. G. W., SILVA NETO, A. J., LUGON, J. JR., MESA, M. I., SANTIAGO, O. L., Coupling MOHID with optimization algorithms: perspectives on the development of automatic calibration tools In: OCEAN MODELLING for coastal management | Case studies with MOHID.1 ed.Lisboa : IST Press - Editora Universitária do Instituto Superior Técnico, 2013, p. 1-276.

PALMA-SILVA, Cleber *et al.* Efeito de perturbações antrópicas sobre as comunidades de macrófitas e de macroinvertebrados associados (Lagoa Imboassica-RJ). *Brazilian Journal of Ecology*, v. 1/2, p. 26-32, 2007.

PESSANHA, Cássius Marcelo Dutra. *Modelagem computacional aplicada à gestão sanitário-ambiental da lagoa Imboassica-RJ*. 2012. 69 f. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia Ambiental modalidade profissional) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Macaé, 2012.

PESSANHA, C. M. D. *et al.* Uso de modelagem computacional aplicada à gestão sanitário-ambiental: uma proposta de adaptação da plataforma MOHID Water para corpos lânticos aplicada à lagoa Imboassica, Macaé-RJ. *Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego*, Campos dos Goytacazes: Essentia Editora, v. 5, n. 2, p. 45-70, 2011.

SILVA, É. T., *Desenvolvimento local e criminalidade urbana em Macaé/RJ*. 2003. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Sociais) – Centro de Ciências do Homem, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2003.

SOFFIATI, Arthur. Macaé em quatro tempos. In: OFICINA SOBRE IMPACTOS, SOCIAIS, AMBIENTAIS E URBANOS DAS ATIVIDADES PETROLÍFERAS - O CASO DE MACAÉ (RJ), 2007, Niterói. *Anais...* Niterói: Universidade Federal Fluminense, 2010. p.130-148.

TAVARES, J. H. S., LUGON, J. JR., HORA, H. M. C., RODRIGUES, P. P. G. W., FERREIRA, M. I. P., Modelagem Matemática como Ferramenta de Gerenciamento de Recursos Hídricos: Uma alternativa de Abordagem para Problemas de Usos Múltiplos, XV SILUBESA - Simpósio Luso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, Belo Horizonte, 2012.

TERRA, Denise Cunha Tavares; RESSIGUIER, José Henrique. Mudanças no espaço urbano de Macaé: 1970-2010. In: OFICINA SOBRE IMPACTOS, SOCIAIS, AMBIENTAIS E URBANOS DAS ATIVIDADES PETROLÍFERAS - O CASO DE MACAÉ (RJ), 2007, Niterói. *Anais...* Niterói: Universidade Federal Fluminense, 2010. p.149-168.