

## PREPARO DE BASES BATIMÉTRICAS E DE AGITAÇÃO DIGITALIZADAS PARA O LITORAL DO ESTADO DE SÃO PAULO

Patrícia Dalsoglio Garcia<sup>1</sup>; Rodrigo Nogueira de Araújo<sup>2</sup>; Guilherme da Costa Silva<sup>3</sup>; Paolo Alfredini<sup>4</sup>.

<sup>1</sup> Engenheira Civil, Laboratório de Hidráulica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Av. Professor Lúcio Martins Rodrigues, 120 – Cidade Universitária

Fone: +55 11 3039-3244. e-mail: [patricia.garcia@poli.usp.br](mailto:patricia.garcia@poli.usp.br)

<sup>2</sup> Mestre em Engenharia Civil na área de Hidráulica Marítima pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
e-mail: [rodrigo.araujo@poli.usp.br](mailto:rodrigo.araujo@poli.usp.br)

<sup>3</sup> Doutor em Engenharia Civil na área de Hidráulica Marítima pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
e-mail: [guilherme.silva@poli.usp.br](mailto:guilherme.silva@poli.usp.br)

<sup>4</sup> Professor Livre-Docente da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
e-mail: [alfredin@usp.br](mailto:alfredin@usp.br), [paolo.alfredini@poli.usp.br](mailto:paolo.alfredini@poli.usp.br)

### RESUMO

O conhecimento das deformações produzidas pela batimetria e pelos obstáculos do litoral sobre a agitação ondulatória são de grande importância para a Engenharia Costeira e Portuária. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo a preparação de uma base digitalizada de dados batimétricos e de agitação em águas profundas para posterior aplicação em projetos de obras costeiras e portuárias.

### ABSTRACT

The knowledge of wave deformations induced by bathymetry and coastal obstacles is of great importance for Coastal and Port Engineering. Therefore, this work had the purpose of presenting a digitalized bathymetry and deep water wave climate database for use in coastal projects and port works.

Palavras-Chave: hidráulica marítima, base batimétrica, agitação de ondas

### 1. INTRODUÇÃO

Há grande importância no conhecimento das deformações causadas pela batimetria e pelos obstáculos do litoral sobre a agitação ondulatória, que atua sobre as obras de Engenharia Costeira e Portuária. Este trabalho sintetiza o projeto de pesquisa desenvolvido para apresentar a base digitalizada de dados batimétricos e de agitação em águas profundas para todo o litoral paulista. A partir destas bases podem ser executados estudos de propagação de ondas para posterior aplicação em projetos de obras costeiras e portuárias.

O projeto foi dividido fundamentalmente em dois grandes blocos, a saber:

- digitalização de folhas de bordo e cartas náuticas da DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil - para dados batimétricos;

- preparação de dados de agitação em águas profundas;

As bases de dados em águas profundas foram preparadas a partir de medições por ondógrafos, por visadas a bóia e visuais.

A Figura 1 representa a região de estudo com as áreas das folhas de bordo e cartas náuticas e as bases de dados de agitação, as quais foram incorporadas em CDr disponível no LHEPUSP – Laboratório de Hidráulica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

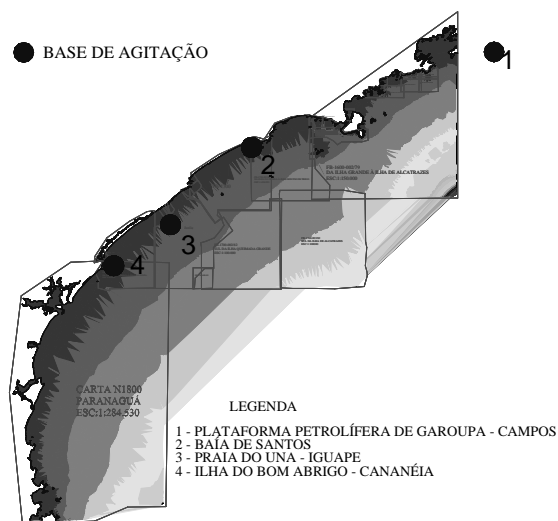


Figura 1: Bases de dados de batimetria e agitação

### 2. BASE DIGITALIZADA DE DADOS BATIMÉTRICOS

Utilizando-se de uma mesa digitalizadora foi feita a digitalização das folhas de bordo da DHN e das cartas náuticas. Toda a batimetria digitalizada foi incorporada em um CDr (ver Figura 2) que está sendo divulgado pela Internet, no site da Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH) – [www.abrh.org.br](http://www.abrh.org.br) - e no site da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – [www.poli.usp.br](http://www.poli.usp.br), sendo disponibilizado pelo LHEPUSP para estudos de obras costeiras e portuárias.

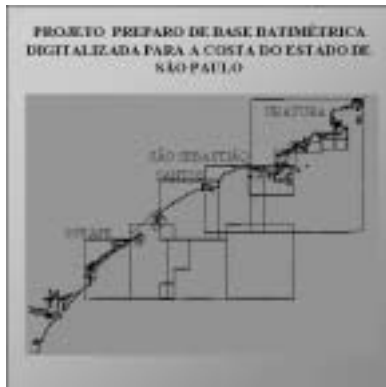


Figura 2: Capa do CD de batimetrias

### 3. BASE DE DADOS DE AGITAÇÃO

#### 3.1. Dados do BNDO

Inicialmente foi feita uma análise estatística dos dados do BNDO - Banco Nacional de Dados Oceanográficos - da DHN, referentes aos subquadrados Marsden 37634, 37644, 37645, 37646, 37656 e 37657 (ver Figura 3). Estes dados correspondem a observações visuais de navios da agitação de vagas e marulhos. Pela falta de maior informação assumiu-se que estes dados correspondem a condições de águas profundas.



Figura 3: Subquadrados Marsden da costa do Estado de São Paulo

Tendo como base os dados do BNDO, foram obtidas as médias do rumo, do período e da altura em cada ano. Tomando-se como exemplo os dados do subquadrado 37646 foi apresentada no Gráfico 1 a variação de longo período, entre 1965 e 1990.

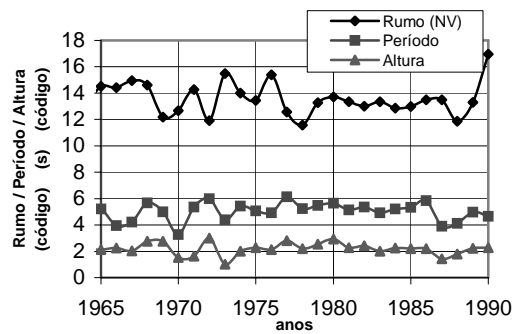


Gráfico 1: Variação do Rumo, Período e Altura no subquadrado 37646

No Gráfico 1 o rumo é dado seguindo a seguinte convenção: o código 11 representa o setor de 105 – 114° NV, o código 12, o setor 115 – 124°, e assim por diante.

#### 3.2. Dados de campanhas hidrográficas de registro de ondas.

Foi feito um levantamento bibliográfico sobre as regiões com registros de ondas adequados para a preparação da base de dados de ondas e um resumo sobre os procedimentos para sua obtenção. As regiões estudadas foram: Plataforma Petrolífera de Garoupa, Baía de Santos, Praia do Una e Ilha do Bom Abrigo. Na Tabela 1 foi apresentada a síntese da medição na Baía de Santos.

Tabela 1: Estudo da Baía de Santos (outubro de 1972 a setembro de 1973)

Campanha de medições na Baía de Santos –1972/73					
Rumo	Média do Período - Tz	Média da Altura - Hs	Média do Rumo	Número de dados	Frequência
(°NV)	(s)	(m)	(°NV)		(%)
140-144	10.00	0.49	141.00	1	0.21
145-149	11.91	1.02	146.23	32	6.82
150-154	10.00	0.80	152.60	26	5.54
155-159	11.65	0.84	157.07	120	25.59
160-164	11.73	0.99	161.63	146	31.13
165-169	11.07	1.26	166.22	75	15.99
170-174	10.16	1.05	171.34	25	5.33
175-179	9.12	1.16	175.86	25	5.33
180-184	11.11	1.32	181.67	9	1.92
185-189	12.00	1.35	185.00	3	0.64
190-194	15.50	1.41	190.00	2	0.43
195-199	9.00	1.18	195.00	4	0.85
200-204	12.00	0.80	200.00	1	0.21

#### 3.3. Retro-refração e refração de ondas

Excetuando os dados de Garoupa, os demais não estavam em águas profundas, sendo necessário proceder a retro-refração. Para tanto, foram utilizados dois programas: IERAD e MIKE21-módulo NSW. Inicialmente foi feita a análise com o programa IERAD e, posteriormente, foi utilizado o programa MIKE 21-módulo NSW.

No presente trabalho a região cujos dados serão retro-refratados é a Ilha de Bom Abrigo.

### 3.3.1. IERAD

No programa IERAD os dados de entrada são a batimetria da região e as características das ondas na bóia (período, altura e rumo). Sobre a batimetria é colocada uma grade constituída de uma rede de triângulos equiláteros associada a um sistema de eixos oblíquos (ângulo de  $60^\circ$ ). Estes, por sua vez, estão associados a um sistema de eixos ortogonal, de modo que um dos eixos deste seja paralelo ao eixo do sistema oblíquo. Esta rede de triângulos tem sua densidade definida de acordo com a precisão que se deseja. Quanto menor o tamanho dos triângulos (menor espaço entre os pontos da malha), maior a precisão. Nos vértices da malha são calculadas as profundidades por interpolação. Com isso é possível calcular em cada ponto as celeridades.

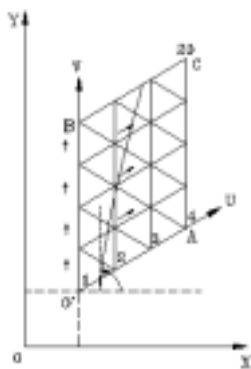


Figura 4: Rede de Triângulos – malha IERAD

Nas saídas são apresentadas as trajetórias das ortogonais, rumo de propagação, celeridades, altura da onda, coeficientes de empolamento e refração, profundidade da transição entre a teoria linear e de onda solitária. Devido a que o programa IERAD, no caso da base de dados da Ilha do Bom Abrigo, não apresentou resultados satisfatórios, foi necessária a utilização de um programa mais refinado.

### 3.3.2. MIKE 21 NSW

O MIKE 21 é um programa de modelação numérica que foi adquirido pelo LHEPUSP em 2000 com licença educacional. O programa é de autoria do DHI - Danish Hydraulic Institute.

Este programa apresenta vários módulos e o NSW (Near Shore Waves) é o recomendado para cálculo de propagação de ondas em costas abertas. A partir de parâmetros básicos, o NSW executa o cálculo de refração, empolamento e arrebentação. Como o desejado era a retro-refração dos dados, foi necessário realizar um cálculo interativo. A princípio, apontam-se os principais parâmetros necessários para o cálculo da refração:

- Batimetria;
- Rumo, período médio ( $T_z$ ) e altura das frentes de ondas em águas profundas;
- Localização do(s) ponto(s) em que se deseja saber as características das ondas refratadas;

O programa faz os cálculo por diferenças finitas e, para isso, discretiza os dados de entrada a partir da batimetria (dado de  $\Delta x$  metros seguindo a direção das isóbatas por  $\Delta y$  metros na direção ortogonal à anterior).

#### 3.3.2.1. Batimetria

A batimetria é o mais importante parâmetro para o cálculo. Quanto mais precisa melhores os resultados. Foi preciso avaliar qual a melhor área a ser incorporada de forma a garantir estabilidade do programa e as saídas necessárias para as entradas previstas. Para isso é necessário saber que o programa somente calcula ondas com direções máximas de  $60^\circ$  em relação à direção ortogonal à linha de costa, ou seja, alguns dados não seriam calculados devido a esta restrição. Buscou-se o maior conjunto de cartas náuticas e folhas de bordo de forma a se ter abrangência do maior ângulo previsto.

Outro problema relativo ao programa foi à transformação da batimetria existente na forma discretizada. Foi utilizado para isto o programa Softdesk, juntamente com o AutoCad14. Este programa cria uma superfície de nível e calcula as profundidades de uma malha pré-estabelecida, a partir de um ponto inicial. Foi escolhida a discretização em x de 1000 metros e a discretização em y de 200 metros, sendo x a direção paralela à linha de costa e a direção y a direção perpendicular a x, com sentido positivo para a costa. Esta discretização diferenciada foi feita a partir do critério de estabilidade do programa.

Na Figura 5 está apresentada a batimetria da região da Ilha do Bom Abrigo compreendendo uma área de 176000m x 82200m.

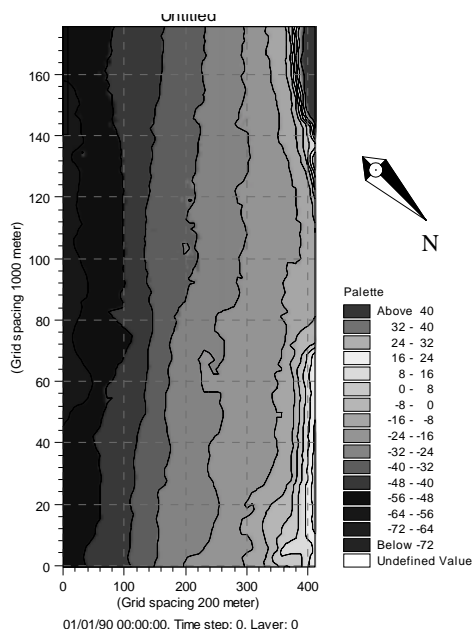


Figura 5: Grade rotacionada (costa à direita)

#### 3.3.2.2. Dados de ondas

Em princípio vale destacar que o MIKE 21 tem como dado de entrada o período médio e não o significativo. Cabe aqui uma explicação de como foram processados os dados para que se possa entender melhor como foi feito a

arquivo de entrada de dados de ondas. O MIKE 21 não faz o cálculo da retro-difração. Para tanto, se faz necessário um cálculo interativo, como sugere ARAÚJO 2000. Na Figura 6 foi apresentado um exemplo da saída do programa para um período médio de 11 s.

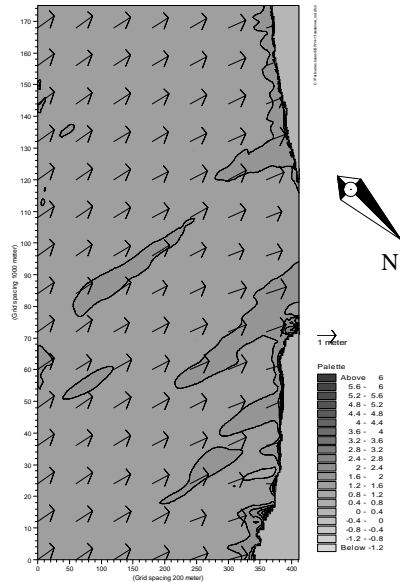


Figura 6: Apresentação dos dados de saída de rumo e altura

A seguir encontra-se uma tabela resumo com todos os dados retro-refratados.

Tabela 2: Dados Finais retro-refratados.

Dados medidos			Dados em Água Profunda		Frequência de ocorrência
Hs	Tz	Rumo	Hs	Rumo	
(m)	(s)	(°NV)	(m)	(°NV)	(%)
1,23	11,0	92,46	2,09	46,00	6.833
1,22	11,0	97,02	1,74	65,00	8.750
1,24	10,7	101,92	1,55	78,37	7.583
1,32	11,0	106,89	1,39	89,58	6.083
1,25	11,1	111,98	1,29	99,74	6.083
1,41	10,9	116,87	1,37	109,37	5.750
1,36	10,7	121,75	1,30	118,34	5.833
1,34	11,1	126,76	1,28	126,63	4.250
1,31	11,1	131,97	1,26	134,37	5.167
1,43	11,0	137,03	1,38	141,43	5.583
1,43	10,8	142,10	1,40	148,62	3.250
1,36	11,1	147,26	1,35	156,78	3.333
1,31	11,4	151,96	1,32	166,53	3.833
1,44	11,2	156,96	1,63	178,59	4.167
1,45	10,9	162,20	2,12	196,41	3.333
1,40	10,9	166,90	2,97	217,49	3.000

3.4. Comparação dos dados do BNDO com os dados de campanhas hidrológicas

Nos subquadrados 37634 e 37644 do BNDO foi feita a comparação destes dados com os obtidos com ondógrafo na Plataforma Petrolífera de Garoupa, em Campos (RJ). No subquadrado 37646 foi feita a comparação destes dados com os obtidos com ondógrafo na Praia do Una, em Iguape.

Nos Gráficos 2, 3, 4 e 5 foram apresentados os resultados para o ano de 1983 da comparação entre dados estimados visualmente e registrados. Para o período foi considerado  $T_c$ , período entre cristas e para as alturas a média ( $H_{méd}$ ) e a significativa ( $H_s$ ).

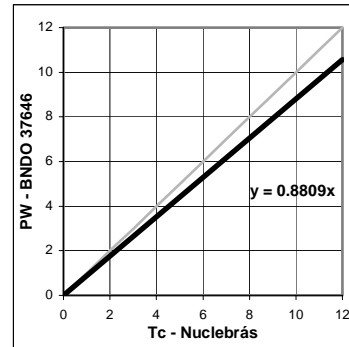


Gráfico 2: Comparação do período BNDO e do período  $T_c$  Nuclebrás – Subquadrado 37646 – ano 1983

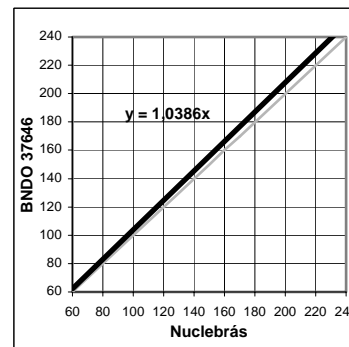


Gráfico 3: Comparação dos rumos (°NV) BNDO e Nuclebrás – Subquadrado 37646 – ano 1983

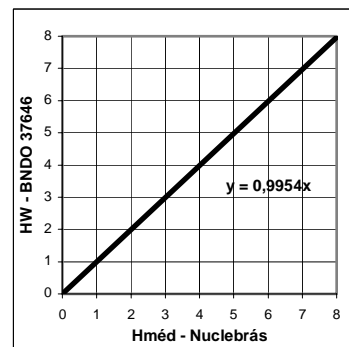


Gráfico 4: Comparação da altura BNDO e da altura média ( $H_{méd}$ ) Nuclebrás – Subquadrado 37646 – ano 1983

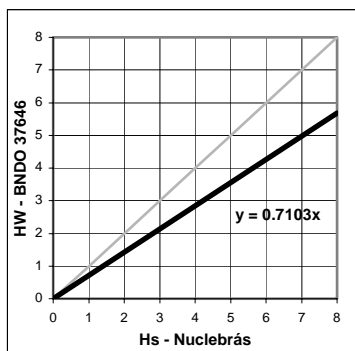


Gráfico 5: Comparação da altura BNDO e da altura significativa ( $H_s$ ) Nuclebrás – Subquadrado 37646 – ano 1983

#### 4. DISCUSSÃO

Analisando os dados do BNDO notou-se que eles não são adequados para caracterizar totalmente o clima da região, pois há meses e anos com muitos dados, enquanto outros com muito poucos. Além disso, os dados disponíveis têm mais informações de vagas do que de marulhos. Os dados da Tabela 3 mostram esta análise feita nos subquadrados 37634 (foi feita também para as demais quadrículas já citadas).

Tabela 3: Freqüência de vagas e marulhos no subquadrado 37634

	Freqüência (%)
Marulhos	14
Vagas	86

Além disso, a comparação dos dados do BNDO com os dados de Praia do Una e de Garoupa evidenciou ainda mais as dificuldades em se utilizar os dados do BNDO. Essa conclusão pode ser obtida graças à análise dos Gráficos de comparação dos dados do BNDO versus os dados dos ondógrafos, provenientes do mesmo ano, mês, dia e hora. O esperado seria que os dados formassem uma reta média com inclinação de  $45^\circ$  ( $y = x$ ), o que corresponde aos dados serem aproximadamente iguais. Isso não foi constatado e, além disso, a discrepância foi grande, evidenciando ainda mais os cuidados a tomar ao se utilizar os dados do BNDO.

#### 5. CONCLUSÃO

Através da preparação da base de dados batimétrica digitalizada para o Estado de São Paulo foi possível a preparação da base de dados de agitação em águas profundas para os dados da Ilha do Bom Abrigo e da Praia do Una, respectivamente representativos do clima ondulatório dos litorais extremo sul e central do Estado de São Paulo.

Considerando o que foi apresentado na discussão, fica evidente que os dados do BNDO não são plenamente confiáveis para fins de estudos de obras costeiras e portuárias por vários motivos, tais como:

- Caracterização incompleta do clima da região;
- Pouca informação sobre marulhos;

-Comparações com dados obtidos por ondógrafos apresentaram discrepâncias.

Portanto, a utilização destes dados deve ser evitada ficando restrita apenas em locais onde não existam outros dados disponíveis. Mesmo nestes casos deve se atentar para o fato de que estes dados podem não representar a real situação da região, ficando o estudo com uma confiabilidade, muitas vezes, prejudicada.

Além disso, pode ser constatado que o programa IERAD deve ser utilizado de maneira cuidadosa, pois utiliza métodos simplificados, e nem sempre apresenta soluções condizentes com a realidade. Para se obter respostas adequadas deve-se analisar a região de estudo e verificar se esta apresenta situações coerentes com as hipóteses simplificadoras adotadas pelo programa. Caso contrário, deve se buscar outro tipo de software que adote outros métodos mais complexos, e que caracterizem melhor a situação desejada.

Nos cinqüenta anos da Área de Hidráulica Marítima do LHEPUSP, estão sendo disponibilizados um conjunto de CDr que abrangem a documentação digitalizada da Costa Paulista para batimetria, aerofotogrametria, agitação e circulação.

#### AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste trabalho contou com o apoio de bolsas de estudos de Iniciação Científica do CNPq e FAPESP no período de 2000 a 2002.

Os autores agradecem Ao Almirante Alberto dos Santos Franco pela cessão do código fonte do programa Refronda ao LHEPUSP.

Agradecimento especial é devido ao Comandante Reinaldo Antônio Ferreira de Lima da Marinha do Brasil, pelo empenho que dispensou no fornecimento da documentação das sondagens das Folhas de Bordo da Diretoria de Hidrografia e Navegação, bem como dos dados do BNDO.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, R. N. A. – “O cálculo do transporte de sedimentos litorâneo: Estudo de caso das praias de Suarão e Cibratel, Município de Itanhaém, São Paulo”. Dissertação de Mestrado apresentada ao Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2000.
- BRASIL; MINISTÉRIO DA MARINHA, Diretoria de Hidrografia e Navegação - "Dados de vagas e marulhos do Banco Nacional de Dados Oceanográficos dos subquadrados de MARSDEN da costa paulista de 1956 a 1996".
- \_\_\_; \_\_\_ - "Folhas de Bordo das cartas náuticas da costa paulista". Niterói.
- \_\_\_; MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis, Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias - "Campanha de Medições na Baía de Santos". Rio de Janeiro (RJ), 1974.
- DANISH HYDRAULIC INSTITUTE SOFTWARES – Módulos do software MIKE 21.
- NUCLEBRÁS/CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR – “Relatórios trimes-

trais de progresso da campanha de medições oceanográficas na região das praias do Una e do Rio Verde, no Litoral Sul do Estado de São Paulo”. Belo Horizonte, 1982 a 1985.

SÃO PAULO, DAEE, SPH - “Campanha de medições da Missão Hidrográfica de Cananéia”. São Paulo, 1968-1969.

SILVA, G. C. - “Análise comparativa de metodologias de modelagem numérica da propagação de ondas aplicada à Engenharia Costeira e Portuária”. Tese de Doutorado apresentada ao Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2003.

SOUZA, M. H. S. - “Clima de ondas ao norte do Estado do Rio de Janeiro”. Dissertação de Mestrado apresentada a COPPE – UFRJ, Rio de Janeiro, 1988.