

A watercolor illustration of a ship's bow, painted in shades of blue and green, with a large, dark, textured lifebuoy in the foreground. The background shows a yellowish sky and a building on the right. The overall style is soft and painterly.

Paolo Alfredini
Emilia Arasaki

Engenharia **PORTUÁRIA**

Blucher

ENGENHARIA PORTUÁRIA



Capa:
Croquis de cais de embarcação com navio. Aquarela sobre papel do Engenheiro Guilherme Arruda Nogueira Cesar.

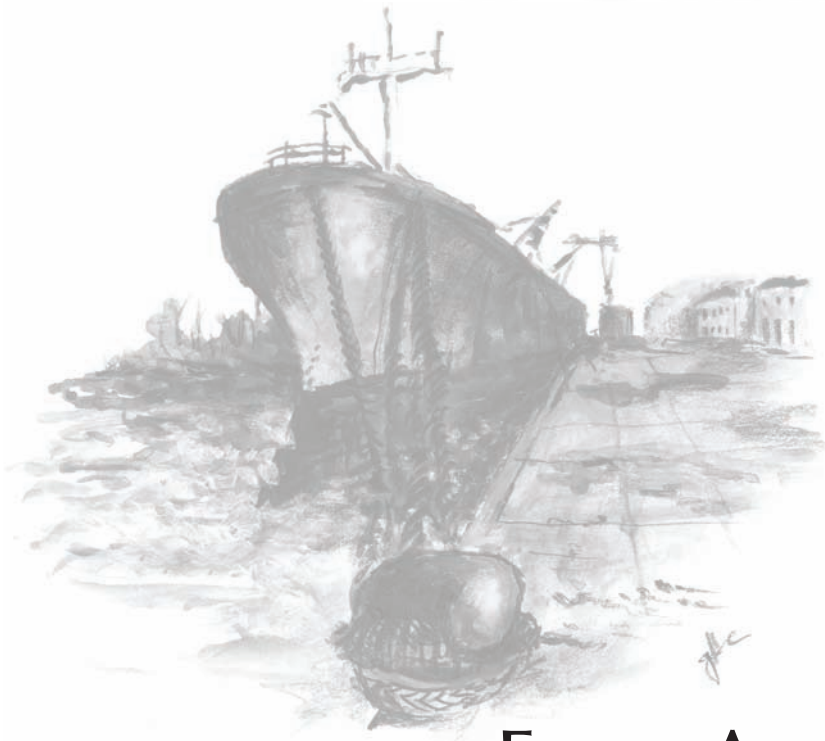


Pier IV da Vale no Terminal Marítimo de Ponta da Madeira, em São Luis (MA).

Blucher

PAOLO ALFREDINI

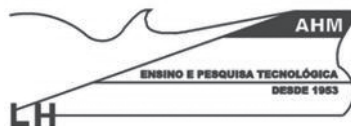
ENGENHARIA PORTUÁRIA



EMILIA ARASAKI



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO



Engenharia portuária: a técnica aliada ao enfoque logístico

© 2013

Paolo Alfredini

Editora Edgard Blücher Ltda.

Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar
04531-012 - São Paulo - SP - Brasil
Tel.: 55 11 3078-5366

contato@blucher.com.br
www.blucher.com.br

Segundo Novo Acordo Ortográfico, conforme 5. ed.
do *Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa*,
Academia Brasileira de Letras, março de 2009.

É proibida a reprodução total ou parcial por quaisquer meios sem
autorização escrita da editora.

Todos os direitos reservados pela Editora Edgard Blücher Ltda.

FICHA CATALOGRÁFICA

Alfredini, Paolo
Engenharia portuária / Paolo Alfredini; Emilia Arasaki
– São Paulo: Blucher, 2014.

Bibliografia
ISBN 978-85-212-0811-2

1. Portos – projetos e construção 2. Portos – Engenharia
3. Hidrovias – obras I. Título II. Arasaki, Emilia

14-0022

CDD 627.2

Índices para catálogo sistemático:

1. Portos – Engenharia

GRATIA

O primeiro reconhecimento é em razão da completa e sólida formação para a Engenharia Civil que recebi da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, *Universitas* de vanguarda no cenário internacional e singular paradigma do Ensino Público Universal mantido pelo Governo do Estado de São Paulo. A tradição da Escola Polytechnica de São Paulo, pioneira no país em ensino tecnológico sob a égide de Minerva, da urbanidade e da ética da *Rex Publica*, incute em seus egressos, desde sua fundação, em 1893, os fundamentais princípios para o exercício da profissão da *Ars Ingeniaria pro Humanitatis*. Seus centros de excelência ombreiam-se com os mais avançados do cenário mundial. Nessa *Schola*, em que se aprende a ser verdadeiramente *Ingeniarius Magister*, encontro-me já há 39 anos, sendo este livro de Engenharia Portuária um *tributum* aos colegas profissionais da Engenharia e aos mais de seis mil alunos que, ao longo de 35 anos de profissão e 26 anos de docência, contribuíram para a formação deste acervo de conhecimento.

Particular agradecimento à Editora Edgard Blucher, por ter acreditado no trabalho, acolhendo-o no portfólio de suas publicações há uma década.

À Vale, cuja parceria, desde 2005, tem tornado a disseminação deste conhecimento mais acessível à comunidade técnico-científica nacional.

À Construtora Andrade Gutierrez, cuja sensibilidade para o desenvolvimento da tecnologia portuária nacional levou-a a associar-se para viabilizar esta edição.

Finalmente, à minha paciente colaboradora especial, Prof.^a Dr.^a Emilia Arasaki, esposa e incentivadora de todas as horas.

Eng.º Paolo Alfredini

Aos colaboradores:

Mikaela Ignez
Agatha Crocknek
Manoel de Araújo (*in memoriam*)
Sansão de Oliveira (*in memoriam*)
Theophylo Colombo
Sophya Laranjeira
Benito Teodoro Vieira
Sarita Mamonna
Benedito Flor da Rosa
Hanna Cambacica
Pietro Riccò
Benedetto Büyük Kuroy
Karenina Blüvdrowsk

e a Okasan (*in memoriam*),
que permitiu a esta faina chegar a Bom Porto.

SOBRE OS AUTORES

PAOLO ALFREDINI

Engenheiro Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1979

Ingegnere Civile Idraulico della Facoltà d'Ingegneria
dell'Università degli Studi di Padova

Mestre em Engenharia Civil-Hidráulica pela Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo, 1983

Doutor em Engenharia Civil-Hidráulica pela Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo, 1988

Livre-Docente em Obras Hidráulicas Fluviais e Marítimas pela Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo, 1992

Professor Titular da Universidade de São Paulo, 2008

EMILIA ARASAKI

Bióloga pela Universidade de Santo Amaro, 1986

Mestre em Ciências – Oceanografia Biológica pelo Instituto Oceanográfico da
Universidade de São Paulo, 1987

Doutora em Engenharia Civil-Hidráulica pela Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo, 2004, com Estágio Doutoral na
Universidade de Karlsruhe, Alemanha

Pós-Doutorado em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo, 2005

Professora Colaboradora do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil da Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo

Pós-Doutorado em Engenharia Civil pelo
Instituto Tecnológico da Aeronáutica, 2010

Pós-Doutorado no
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2013

APRESENTAÇÃO

Esta obra do Prof. Paolo Alfredini se enquadra entre aquelas que marcam a Engenharia nacional. Um conteúdo de alta densidade intelectual e atualidade tecnológica, fruto de uma vida dedicada à hidráulica da natureza presente nos mares e rios, emerge neste documento.

Como todo trabalho de Alfredini, *Engenharia portuária* foi testado intensamente com seus alunos privilegiados da Escola Politécnica da USP, que o ajudaram a refiná-la até a perfeição.

A erudição do autor se mostra logo na Introdução, quando apresenta o Panorama Aquaviário do Brasil. Esta visão precisa, de uma área estratégica para o nosso país, pela primeira vez apresentada em livro, mostra o horizonte de atuação da obra e prepara o leitor para a riqueza que está por vir.

O núcleo duro de Engenharia Portuária, no qual o Engenheiro Paolo Alfredini se destaca internacionalmente, está apresentado nas três primeiras partes do livro. A precisão científica com que são tratadas a Hidráulica Marítima, Estuarina e Fluvial se assemelha a uma obra de literatura clássica, que gera paradigmas e padrões que serão referências dos trabalhos futuros de outros autores, que seguirão a rota desta via traçada e demarcada com o rigor e competência de um dos mais produtivos pesquisadores da Universidade de São Paulo.

Engenharia Portuária brilha nas duas últimas partes do livro, quando todo o conhecimento apresentado nas três primeiras partes é aplicado no projeto das obras portuárias, costeiras e hidroviárias.

Dimensões de canais, quebra-mares e métodos construtivos aplicados em portos modernos do Brasil e do exterior são os destaques das obras portuárias e costeiras, enquanto as eclusas são o destaque das obras hidroviárias.

Como um engenheiro completo, acima de tudo, Paolo Alfredini toca nos aspectos econômicos discutindo a capacidade de tráfego em hidrovias e no papel da aquavia na economia contemporânea e das próximas décadas.

Uma pérola está reservada para o final. A apresentação de uma rica bibliografia, que atesta a erudição do Prof. Paolo Alfredini, mostra os traços iniciais desta obra de arte da Engenharia Hidráulica.

Dezembro de 2013
Prof. José Roberto Cardoso
Diretor da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

FOREWORD

The issues of the new century are focalized on the climate change, coastal zone management and their integration with risk assessment and transport planning.

This book is a deeper analysis of these issues and it is developed with a very high quality thanks to the dedication and expertise of the two Authors.

Prof. Alfredini, Civil Engineering of the São Paulo University (Brazil) and of the Padua University (Italy), MSc and Ph.D. in Hydraulic Engineering, has an extensive experience on the problem correlated with the harbor design as well as the coastal management. He is Full Professor in Maritime Hydraulics in the Polytechnic School of the São Paulo University and renowned researcher in the Maritime Construction. He was responsible for several national and international research projects.

Ph.D. Emilia Arasaki, Biologist of the Santo Amaro University (Brazil), has a M.Sc. in Oceanography of the São Paulo University (Brazil) and a Ph.D. in Hydraulic Engineering of the São Paulo University (Brazil). She worked as researcher in the most important Research Centres in Brazil and she has a very extensive expertise in oceanography, sustainable development, environmental management policy and climate change.

I had the pleasure to collaborate with both the Authors in the past four years during my activity as Researcher and Visiting Professor. We spent many hours to debate about the effect of the climate change on the coastal zone and our conversations were always fruitful and plenty of innovative idea.

The multidisciplinary approach at the research of Prof. Alfredini and Ph.D. Arasaki is the best guarantee that the book can be useful for both the researchers and the students as well as for the professionals involved in fluvial and coastal management.

Looking the Table of Contents of this book, I can emphasize as this work is extensively developed with a first part focusing on the Maritime Hydraulic and a second part focusing on the Fluvial Hydraulic. Complete the book two parts where the Authors analyze the Maritime and Fluvial Constructions with a particular attention to the Coastal Area Management and the Waterway Constructions.

The real innovation in this book is the multidisciplinary approach and, in the all Chapters, we note a link between the engineering issues and the environmental issues. This assumption is particularly clear in the renewed Chapter 20 where the Authors study the problems connected with submarines emissaries, effluent dispersion and environmental management policy. An attention to different countries (U.S.A., Europe, China etc...) and to the related policy, open the book to internationalization making it useful for the worldwide researchers. They can

use this Chapter to understand the approach to the environmental management in different areas of the world.

It is an honor for me to read this book and to prepare the foreword as I am strongly convinced that only the diffusion of the knowledge can help the humanities to improve the quality of the life. I thank personally the Authors for this effort and for allowing to us, through this book, the sharing of their knowledge.

Prof. Dr. Alessandro Pezzoli, AFRIN

Adjoint Professor (Senior Lecturer) in Meteo-Hydrology & Weather Risk
Management
Turin Polytechnic & University of Turin (Italy)
World Habitat Cooperation Centre – WHCC
InterUniversity Department of Regional and Urban Studies and Planning
Turin Polytechnic & University of Turin (Italy)

CONTEÚDO

INTRODUÇÃO

PANORAMA AQUAVIÁRIO.....	31
1 Panorama Hidroviário Nacional.....	33
2 Panorama do Gerenciamento Costeiro Nacional.....	57
3 Fundamentos sobre Porto Concentrador de Carga e Cabotagem.....	64
3.1 Introdução.....	64
3.1.1 Sustentabilidade da cabotagem.....	73
4 Marinhas e Atracadouros Pesqueiros.....	83
5 Sistemas Oceânicos.....	88

PARTE 1

HIDRÁULICA MARÍTIMA.....	95
1 Hidrodinâmica e Estatística das Ondas Curtas Produzidas pelo Vento.....	99
1.1 Introdução sobre Ondas de Oscilação.....	100
1.2 Ondas Monocromáticas e Ondas Naturais.....	106
1.3 Dispersão da Onda e Velocidade de Grupo.....	108
1.4 Energia da Onda.....	111
1.4.1 Pressão subsuperficial.....	111
1.4.2 Energia e potência das ondas.....	112
1.5 Características Estatísticas das Alturas das Ondas Oceânicas.....	113
1.5.1 Distribuição das alturas de ondas em uma tempestade.....	113
1.5.2 Distribuição estatística de longo período.....	115
1.6 Efeitos de Águas Intermediárias e Rasas.....	121
1.6.1 Empolamento e refração.....	121
1.6.2 Arrebentação.....	133
1.7 Difração.....	138
1.8 Reflexão.....	144
1.9 Correntes Longitudinais Produzidas pela Arrebentação.....	144
1.9.1 Considerações gerais.....	144
1.10 Variabilidade do Clima de Ondas.....	146
2 Dinâmica das Ondas Longas de Maré em Embocaduras Marítimas.....	149
2.1 Dinâmica da Maré Estuarina.....	150
2.1.1 Considerações gerais sobre a maré astronômica.....	150
2.1.2 Considerações gerais sobre a maré meteorológica.....	156

	2.1.3	Descrição matemática das marés astronômicas	158
	2.1.4	A maré astronômica real em estuários.....	165
	2.1.5	Modificações dinâmicas da maré astronômica em estuários	165
	2.1.6	Efeitos das larguras e profundidades nas massas estuarinas	166
	2.1.7	Previsão da maré astronômica por análise harmônica.....	167
2.2		Propagação da Maré em Estuários	177
	2.2.1	Circulação e misturação	177
	2.2.2	Tipos de circulação	187
	2.2.3	Variação relativa do nível médio do mar e seus impactos	188
3		Transporte de Sedimentos Litorâneo e Morfologia Costeira	211
	3.1	Introdução	212
	3.2	Origens e Características dos Sedimentos de Praia	215
		3.2.1 Considerações gerais	215
		3.2.2 Balanço sedimentar	216
		3.2.3 Características dos sedimentos de praia	221
	3.3	Circulação Induzida pelas Ondas junto à Costa	223
		3.3.1 Considerações gerais	223
		3.3.2 Ataque frontal	223
		3.3.3 Ataque oblíquo	224
	3.4	Descrição do Transporte de Sedimentos Litorâneo	226
		3.4.1 Considerações gerais	226
		3.4.2 Ao largo da arrebentação	227
		3.4.3 Região de arrebentação	228
	3.5	Perfis de Praia e Formações Costeiras Típicas	232
		3.5.1 Perfis transversais de praia	232
		3.5.2 Formações costeiras típicas	236
	3.6	Análise Quantitativa do Processo de Transporte Litorâneo	255
		3.6.1 Início do movimento de sedimentos não coesivos e conformações de fundo	255
		3.6.2 A estimativa da vazão do transporte litorâneo	260
4		Hidrossedimentologia, Dinâmica Halina e Morfológica em Embocaduras Marítimas	267
	4.1	Descrição Geral das Embocaduras Marítimas	268
		4.1.1 Definição generalizada de estuário e a importância do seu estudo	268
		4.1.2 Classificação dos estuários	270
		4.1.3 Características gerais dos processos estuarinos	275
	4.2	Intrusão Salina em Estuários	279
		4.2.1 Descrição da dinâmica da intrusão salina	279
		4.2.2 Mecanismo de uma cunha salina estacionária	281
		4.2.3 Análise de estuários misturados	282
	4.3	Processos Sedimentológicos	283
		4.3.1 Fontes sedimentares	283
		4.3.2 Dinâmica do transporte de sedimentos	286
	4.4	Processos Morfológicos	301
		4.4.1 Considerações gerais	301

4.4.2	Conceito de equilíbrio dinâmico ou de regime em estuários	301
4.4.3	Conceito de estuário ideal	302
4.4.4	Processos morfológicos em deltas	303
4.4.5	Processos morfológicos em embocaduras de maré	308
4.5	Estudos de Casos.....	311
4.5.1	Aspectos relativos à dinâmica hidráulico-salina do Baixo Rio Cubatão (SP).....	311
4.5.2	Modelo analítico para vazão de barreira hidráulica no Rio Cubatão (SP)	317
4.5.3	Impacto da vazão da Barragem do Valo Grande na distribuição de salinidade no Complexo Estuarino-Lagunar de Iguape-Cananeia (SP).....	319
4.5.4	O Terminal Marítimo de Ponta da Madeira (MA)	323
4.5.5	Estudo da dispersão de efluentes de emissários submarinos na Baixada Santista (SP).....	332

PARTE 2

	HIDRÁULICA FLUVIAL	339
5	Transporte de Sedimentos Fluvial	343
5.1	Introdução	344
5.1.1	Considerações gerais	344
5.1.2	Condicionantes do transporte de sedimentos	344
5.1.3	A erosão por ação hidráulica	345
5.1.4	A viabilidade de obras de Engenharia Hidráulica e o transporte de sedimentos	353
5.2	Modalidades do Transporte Sólido	358
5.3	Equilíbrio dos Escoamentos com Fundo Móvel	359
5.4	Curva-chave Sólida	359
5.5	Distribuição de Tensões de Arrastamento na Fronteira	364
6	Início do Movimento Sedimentar e Rugosidades no Leito Fluvial	365
6.1	Hidráulica dos Escoamentos com Fundo Móvel	366
6.1.1	Lei de distribuição de velocidades	366
6.1.2	Perdas de carga nos escoamentos com fundo móvel .	366
6.1.3	Turbulência	367
6.2	Propriedade dos Sedimentos	367
6.2.1	Caracterização	367
6.2.2	Origem	368
6.3	Início do Transporte Sólido por Arrastamento	368
6.3.1	Considerações gerais	368
6.3.2	Início do transporte	369
6.4	Conformações de Fundo	373
7	Quantificação do Transporte de Sedimentos Fluvial	377
7.1	Capacidade de Transporte por Arrastamento de Fundo	378
7.2	Transporte Sólido em Suspensão	379
7.2.1	Distribuição da concentração de sedimentos transportados em suspensão	379
7.2.2	Determinação da vazão sólida em suspensão	381
7.3	Transporte Sólido Total	381

7.3.1	Transporte sólido efetivo	381
7.3.2	Vazão sólida total	382
7.4	Fluxos de Transporte de Sedimentos e Detritos em Erosões por Remoção em Massa	384
7.4.1	Caracterização e classificações	384
7.4.2	As três zonas que compõem o processo das erosões por remoção em massa	386
7.4.3	Estudo de caso da corrida de detritos de 18 de março de 1967, em Caraguatatuba (SP)	397
8	Morfologia Fluvial e Teoria do Regime	401
8.1	Introdução	402
8.2	Teoria do Regime	405
8.2.1	Geometria hidráulica	405
8.2.2	Resposta fluvial	406
8.3	Evolução dos Cursos d'Água	407
8.3.1	Princípios fundamentais que regem a modelação do leito	407
8.3.2	Perfis longitudinais fluviais	412
8.3.3	Efeito dos filetes líquidos no processo hidrossedimentológico	412
9	Características Planialtimétricas Fluviais em Planície Aluvionar	417
9.1	Leis de Fargue	418
9.2	Meandros Divagantes	422

PARTE 3

	OBRAS PORTUÁRIAS E COSTEIRAS	425
10	Tipos do Portos	427
10.1	Classificação dos Tipos de Portos	428
10.1.1	Definição	428
10.1.2	Natureza dos portos	428
10.1.3	Localização	429
10.1.4	Utilização	429
10.2	Obras de Melhoramento dos Portos	429
10.3	Arranjo Geral das Obras Portuárias	430
10.3.1	Obras portuárias encravadas na costa ou estuarinas	430
10.3.2	Obras portuárias salientes à costa e protegidas por molhes	430
10.3.3	Obra portuária ao largo protegida por quebra-mar ..	430
10.3.4	Outros tipos de arranjos gerais	449
10.4	Localização de Quebra-mares	451
10.5	Marinas ou Portos de Recreio e Lazer	455
10.6	Questões Fundamentais do Projeto das Obras Portuárias ..	459
10.7	Ações em Estruturas Portuárias Marítimas ou Fluviais	459
10.8	Revitalização Urbanística de Antigas Áreas Portuárias	461
11	Dimensões Náuticas Portuárias	467
11.1	Canais de Acesso	468

11.1.1	Aspectos relacionados à profundidade de canais de acesso portuários	468
11.1.2	Aspectos relacionados à largura de canais de acesso portuários	473
11.1.3	Exemplos de canais de acesso portuários	496
11.2	Bacias Portuárias	498
11.2.1	Bacias de evolução	498
11.2.2	Bacias de espera ou fundeio	501
11.2.3	Bacias do berço	501
11.3	Profundidades em Áreas Lamosas: A Abordagem no Fundo Náutico	503
11.3.1	Considerações gerais	503
11.3.2	Determinação prática do fundo náutico (PIANC, 1997)	504
12	Tipo de Obras de Abrigo Portuárias	513
12.1	Considerações Gerais sobre as Obras de Abrigo	514
12.1.1	Função	514
12.1.2	Finalidades	515
12.2	Tipos Convencionais de Obras de Abrigo	515
12.3	Tipos Não Convencionais de Obras de Abrigo	521
12.4	Escolha do Tipo de Obra	527
12.5	Instalações para Pré-fabricação, Transporte, Assentamento e Superestrutura de Caixões de Concreto Armado	543
12.5.1	Características gerais das instalações para pré-fabricar os caixões de concreto armado	543
12.5.2	Transporte dos caixões	555
12.5.3	Assentamento dos caixões	556
12.5.4	Execução da superestrutura	558
13	Dimensionamento de Obras de Abrigo Portuárias	563
13.1	Anteprojeto de Quebra-mar de Talude	564
13.1.1	Características gerais da seção transversal	564
13.1.2	Composição do maciço	566
13.1.3	Equipamentos e métodos construtivos	567
13.1.4	Fatores de projeto	567
13.1.5	Pré-dimensionamento da armadura	567
13.1.6	Pré-dimensionamento da seção transversal	568
13.1.7	A onda de projeto	571
13.2	Metodologia de Projeto de um Quebra-mar de Berma	575
13.3	Diagrama de Pressões sobre uma Parede Vertical	578
13.4	Dimensionamento do Peso dos Blocos de Espigões de Enrocamento	579
13.5	Exemplos de Obras de Quebra-Mares de Talude	581
13.5.1	Molhes de Rio Grande (RS)	581
13.5.2	Molhe de Punta Riso no Porto de Brindisi (Itália)	583
13.5.3	Molhe do Porto de Riposto, em Catania (Itália)	585
13.6	Exemplo de Obras de Quebra-Mar de Parede Vertical	585
13.6.1	Obras de abrigo no Porto de Genova (Itália)	585
13.6.2	Obra de abrigo e contenção no Porto de Savona (Itália)	590
13.6.3	Obra de abrigo e contenção no Estaleiro Naval de Castellammare di Stabia (Itália)	590

	13.6.4 Obras de abrigo em Punta Riso e Costa Morena no Porto de Brindisi (Itália)	590
	13.6.5 Quebra-mar externo a oeste do Porto Industrial de Taranto (Itália)	590
	13.6.6 Molhes espanhóis no Mediterrâneo	595
	13.6.7 Obras de abrigo no Japão	595
	13.6.8 Obras de abrigo em marinas no Mar Mediterrâneo ...	598
	13.6.9 Porto Pesqueiro de Terrasini em Palermo (Itália) ...	601
	13.7 Exemplo de Obra de Quebra-Mar Flutuante	602
14	Estruturas e Equipamentos de Acostagem	607
14.1	Características Gerais, Classificação e Tipos Principais das Obras Acostáveis	608
14.2	Ação das Embarcações nas Obras Acostáveis	616
	14.2.1 Considerações gerais	616
	14.2.2 Defensas	618
	14.2.3 Cabos de amarração	634
	14.2.4 Equipamento de amarração baseado em terra	649
14.3	Elementos Básicos no Projeto Estrutural das Obras de Acostagem	657
	14.3.1 Considerações gerais	657
	14.3.2 Classificação do tipo estrutural	658
14.4	Portos Fluviais	676
	14.4.1 Considerações gerais	676
	14.4.2 Acesso e abrigo	677
	14.4.3 Obras de acostagem	677
14.5	Descrição de Métodos Construtivos de Obras Estaqueadas	684
	14.5.1 Construção do Pier I do Complexo Portuário de Ponta da Madeira (1980-1985)	684
	14.5.2 Construção do Berço Sul do Pier IV do Complexo Portuário de Ponta da Madeira (2010-2012)	694
	14.5.3 Construção do Berço 2 do Porto da Alumar em São Luís (MA) (2007-2009)	706
	14.5.4 Construção do Terminal da BTP no Porto de Santos (SP) (2010-2013)	709
14.6	Descrição de Métodos Construtivos de Obras em Parede Vertical	726
	14.6.1 Construção do Berço 1 do Porto da Alumar em São Luís (MA) (1981-1984)	726
	14.6.2 Construção dos cinco salientes da Bacia Portuária de Sampierdarena no Porto de Genova (Itália) (1930-1937)	729
	14.6.3 Construção do píer para atracação de navios carvoeiros e petroleiros de porto bruto até 60 mil tpb no Porto de La Spezia (Itália) (1960-1962 e 1969-1971)	730
	14.6.4 Construção de cais no Porto de Pasajes (Espanha) (1955-1959)	731
	14.6.5 Construção de cais no Porto de Barcelona (Espanha) (1965-1969)	731
	14.6.6 Construção de salientes no Porto Industrial de Taranto (Itália) (1962-1964 e 1970-1974)	731

14.6.7	Construção da tomada d'água para o resfriamento dos condensadores da Usina Termelétrica de Brindisi (Itália) (1966-1968 e 1972-1975)	737
14.7	Construção de Diques Secos para Construção e Carenagem em Estaleiros Navais	738
14.7.1	Diques secos	738
14.7.2	Exemplos de obras de diques secos	740
14.7.3	Carreiras	748
14.7.4	Cais e píeres de acabamento e reparos	749
14.7.5	Carreiras para lançamento lateral de cascos.....	756
14.8	Recuperação e Reforço Estrutural em Cais	757
14.8.1	Considerações gerais	757
14.8.2	Inspeção visual subaquática	758
14.8.3	Estudos geotécnicos	758
14.8.4	Cálculo das estruturas	760
14.8.5	Execução das obras	760
14.8.6	Logística da execução	761
14.8.7	Cuidados ambientais	762
15	Equipamentos de Movimentação e Instalações de Armazenamento de Cargas	763
15.1	Introdução	764
15.2	Berços para Carga Geral	766
15.2.1	Cota	766
15.2.2	Larguras das plataformas	766
15.2.3	Largura total da área no tardo da frente do cais	768
15.2.4	Armazenamento coberto das cargas	768
15.2.5	Pátios de estocagem	770
15.2.6	Equipamento para movimentação de carga	770
15.3	Terminais de Contêineres	780
15.3.1	Considerações gerais	780
15.3.2	Cota e largura da plataforma	781
15.3.3	Pátio de contêineres e equipamento	781
15.3.4	Terminais mistos de carga geral e contêineres	788
15.4	Terminais <i>Roll-on/Roll-off</i>	788
15.5	Terminais para Granéis Líquidos	789
15.5.1	Considerações gerais	789
15.5.2	Berços convencionais para óleo cru e derivados de petróleo	790
15.5.3	Estocagem de granéis líquidos	792
15.5.4	Terminais convencionais para gases liquefeitos refrigerados e/ou comprimidos	794
15.5.5	Instalações de estocagem para gases liquefeitos	794
15.5.6	Terminais operando com boias	794
15.6	Terminais para Granéis Sólidos	797
15.6.1	Considerações gerais	797
15.6.2	Terminais convencionais de exportação	798
15.6.3	Terminais convencionais de importação	810
15.7	Terminais e Portos Fluviais	815
15.8	Estaleiros Navais	823
15.9	Bases de Apoio Logístico <i>Offshore</i>	826
15.10	Porto Ilha	829

16	Políticas e Operações Portuárias	833
16.1	Modelos de Política Portuária	834
16.1.1	Considerações gerais	834
16.1.2	Modelos de controle portuário	838
16.1.3	Atividade portuária	840
16.2	Mão de obra	850
16.3	Tarifas Portuárias	851
16.4	A Política de Gestão Integrada	852
16.5	Considerações sobre Anteprojeto de Dimensionamento Operacional	854
16.5.1	Aspectos básicos	854
16.5.2	Dimensionamento do número de berços	855
16.5.3	Dimensionamento de instalações de armazenagem para granéis	856
16.5.4	Estudo logístico comparativo de embarque de soja ..	857
16.6	Centro Integrado de Operação Logística	860
16.7	Controle de Tráfego Aquaviário	862
17	Tipos de Obras de Defesa dos Litorais	865
17.1	Introdução	866
17.1.1	Erosão costeira	866
17.1.2	Obras de defesa dos litorais	866
17.1.3	Intervenções não estruturais	866
17.2	Levantamento de Dados para o Projeto	867
17.3	As Obras de Defesa	867
17.3.1	Classificações genéricas	867
17.4	Obras Longitudinais Aderentes	868
17.4.1	Descrição	868
17.4.2	Funções	868
17.4.3	Limitações	869
17.4.4	Parâmetros funcionais do projeto	869
17.4.5	Materiais empregados	870
17.4.6	Modelos de obras longitudinais aderentes	870
17.5	Espigões	876
17.5.1	Descrição	876
17.5.2	Funções	876
17.5.3	Limitações	876
17.5.4	Utilização de espigão isolado	877
17.5.5	Utilização de um campo de espigões	877
17.5.6	Parâmetros funcionais do projeto	880
17.5.7	Materiais empregados	881
17.6	Quebra-mares Costeiros	881
17.6.1	Descrição	881
17.6.2	Função	882
17.6.3	Funcionamento	882
17.6.4	Limitações	882
17.6.5	Parâmetros funcionais de projeto	883
17.6.6	Indicações para o estudo preliminar de um sistema de quebra-mares costeiros	884
17.6.7	Materiais empregados	884
17.7	Alimentação Artificial das Praias	884

17.7.1	Descrição	884
17.7.2	Funções	885
17.7.3	Limitações	885
17.7.4	Parâmetros funcionais de projeto	886
17.7.5	Modelos de engordamentos artificiais de praias	887
17.8	Obras de Proteção contra Inundações e Ação do Vento	889
17.8.1	Diques	889
17.8.2	Fixação das dunas de areia	891
17.9	Materiais Não Convencionais de Contenção com Geosintéticos	894
17.9.1	Geotube	894
17.9.2	Bolsacreto	896
18	Efeito das Obras Costeiras sobre o Litoral	899
18.1	Espigões	900
18.1.1	Descrição conceitual do impacto sobre a linha de costa	900
18.1.2	Exemplificação de obras de campos de espigões	902
18.2	Quebra-mares Costeiros	910
18.2.1	Descrição conceitual do impacto sobre a linha de costa	910
18.2.2	Características funcionais de quebra-mar emerso costeiro	914
18.2.3	Características funcionais de quebra-mares emersos segmentados	916
18.3	Alimentação Artificial de Praias	917
18.4	Instalação de Comportas e Solução Integrada	919
18.5	Soluções Analíticas do Modelo de Uma Linha para as Mudança da Linha de Costa	920
18.5.1	Considerações gerais	920
18.5.2	Descrição da teoria de uma linha	921
18.5.3	Soluções para a evolução de linha de costa no tempo sem a presença de estruturas costeiras	923
18.5.4	Soluções para a evolução de linha de costa no tempo com a presença de estruturas costeiras rígidas	928
18.6	Projeto de Alimentação Artificial de Praia com Função Protetiva	942
18.6.1	Considerações gerais	942
18.6.2	Fator de sobre-enchimento R_A	943
18.6.3	Fator de realimentação R_j	943
18.7	Arenoduto	946
18.7.1	Descrição dos objetivos da instalação do “Sabbiodotto di Riccione” na Itália	946
18.7.2	Premissas	946
18.7.3	As obras	949
19	Tipos de Obras em Embocaduras Marítimas	955
19.1	Princípios das Obras de Controle e Aproveitamento dos Estuários	956
19.1.1	Princípios gerais	956
19.2	Métodos de Controle	958

19.3	Controle Hidráulico	958
19.3.1	Revestimentos de margem	958
19.3.2	Diques direcionadores	958
19.3.3	Espigões.....	962
19.3.4	Aumento do volume do prisma de maré.....	964
19.3.5	Alterações da defasagem entre variações de níveis e velocidades.....	964
19.3.6	Delimitações lagunares	965
19.4	Controle do Transporte de Sedimentos.....	966
19.4.1	Controle do fluxo de sólidos	966
19.5	Exemplos de Obras em Embocaduras Estuarinas e seus Impactos	967
19.6	Eventos Extremos	974
19.7	Obra de Transpasse de Areias (<i>Sand by-pass</i>)	980
20	Dispersão Aquática de Efluentes Leves	987
20.1	Emissários Submarinos	988
20.2	Conceituação sobre o Comportamento de Vazamentos de Óleo	994
20.3	Processo de Licenciamento Ambiental.....	1006
20.4	Impacto Ambiental e Gerenciamento Ambiental Integrado ..	1006
20.4.1	Impacto ambiental causado por emissário submarino.....	1006
20.4.2	Critérios de emissão de cargas poluentes	1009
20.4.3	Brasil.....	1009
20.4.4	China.....	1014
20.4.5	Escócia.....	1016
20.4.6	Estados Unidos.....	1019
20.4.7	Comunidade Europeia	1023
20.4.8	A problemática do Mar Mediterrâneo.....	1025
20.4.9	Padrões e parâmetros recomendados	1027
20.4.10	Características ambientais	1030
20.4.11	Alternativas de pré-tratamento para efluentes de emissários.....	1033
20.4.12	Principais procedimentos a serem considerados no projeto de emissários.....	1036
20.4.13	Monitoramento de emissários submarinos	1037
20.4.14	Precauções na construção e manutenção	1038
20.4.15	Estações de tratamento de esgoto na região do Mar Mediterâneo	1040
20.4.16	Gerenciamento ambiental sugerido para o Mar Mediterrâneo	1044
20.4.17	O processo para a emissão de critérios e licenças ..	1048
20.5	Considerações finais.....	1055

PARTE 4

	OBRAS HIDROVIÁRIAS	1057
21	Obras de Escavação Submersas.....	1059
21.1	Dragagem	1060
21.1.1	Introdução	1060
21.1.2	Dragas mecânicas	1062

21.1.3	Dragas hidráulicas	1070
21.1.4	Medições dos volumes dragados	1088
21.2	Derrocamento	1088
21.2.1	Considerações gerais	1088
21.2.2	Métodos de derrocagem	1089
21.3	Gestão Ambiental de Dragados Não Inertes	1092
21.4	Estudo de Caso da Avaliação do Processo de Assoreamento no Canal de Acesso e Bacia de Evolução do Porto da Alumar em São Luís (MA)	1097
21.4.1	Considerações gerais	1097
21.4.2	Histórico das dragagens na Alumar	1097
21.4.3	Dragagem de manutenção	1100
21.4.4	Levantamento de dados	1101
21.4.5	Metodologia	1103
21.4.6	Resultados	1104
21.4.7	Evolução dos fundos	1106
21.4.8	Taxas de sedimentação	1106
21.4.9	Volumes sedimentados	1106
21.4.10	Dragagem de manutenção	1109
21.4.11	Conclusões	1110
22	Dimensões Náuticas Hidroviárias	1113
22.1	Embarcações Fluviais	1114
22.1.1	Características das embarcações fluviais	1114
22.1.2	Automotores	1114
22.1.3	Empurradores	1115
22.1.4	Chatas	1118
22.1.5	Comboios de empurra	1122
22.1.6	Embarcações especializadas	1124
22.2	Dimensões Básicas das Hidrovias	1124
22.2.1	Considerações gerais	1124
22.2.2	Profundidade mínima	1124
22.2.3	Largura mínima	1125
22.2.4	Área mínima da seção molhada	1125
22.2.5	Raio de curvatura	1125
22.2.6	Vão e altura livres nas pontes	1126
22.2.7	Velocidade máxima das águas	1127
22.2.8	Gabaritos propostos pelo Ministério dos Transportes	1127
22.3	Estruturas Especiais de Canais Artificiais para a Navegação	1132
22.4	Obras de Melhoramento Hidroviário para a Navegação	1132
22.5	Sinalização Hidroviária	1136
23	Obras de Melhoramento Hidroviário para a Navegação	1139
23.1	Obras de Normalização	1140
23.1.1	Considerações gerais	1140
23.1.2	Desobstrução e limpeza	1140
23.1.3	Limitação dos leitos de inundação	1140
23.1.4	Bifurcação fluvial e confluência de tributários	1140
23.1.5	Obras de proteção de margens	1141
23.1.6	Retificação de meandros	1155
23.1.7	Obras de proteção de pilares de pontes	1159

23.2	Obras de Regularização do Leito	1165
23.2.1	Considerações gerais.....	1165
23.2.2	Regularização em fundo fixo.....	1165
23.2.3	Regularização em fundo móvel.....	1166
23.3	Intervenções para Prevenir e Conter as Erosões por	
	Remoção em Massa	1181
23.3.1	Considerações gerais	1181
23.3.2	Medidas e obras na zona de formação.....	1182
23.3.3	Medidas e obras na zona de movimentação.....	1188
23.3.4	Medidas e obras na zona de depósito	1192
23.3.5	Exemplo de arranjo de obras na zona de movimentação e deposição	1195
24	Obra de Transposição de Desnível com Eclusas e Capacidade de Tráfego em Hidroviário	1197
24.1	Princípio de Funcionamento das Eclusas de Navegação	1198
24.1.1	Considerações gerais.....	1198
24.1.2	CrITÉRIOS de projeto.....	1216
24.2	Dimensões TÍPICAS das Eclusas Brasileiras.....	1220
24.3	Segurança nas Eclusagens.....	1222
24.4	Equipamentos das Eclusas de Navegação	1226
24.4.1	Considerações gerais.....	1226
24.4.2	Portas	1226
24.4.3	Válvulas	1232
24.4.4	Equipamentos complementares de controle e segurança.....	1232
24.5	Funcionamento Hidráulico das Eclusas	1232
24.5.1	Considerações gerais.....	1232
24.5.2	Descrição do escoamento de enchimento	1233
24.5.3	Condições de aproximação ao emboque da tomada d'água.....	1235
24.5.4	Condições de escoamento nos aquedutos das válvulas	1235
24.5.5	Condições de distribuição das vazões nos aquedutos de alimentação	1235
24.5.6	Manobras das válvulas	1241
24.5.7	Economizadores de água.....	1242
24.6	Capacidade de Tráfego das Eclusas.....	1242
24.6.1	Considerações gerais.....	1242
24.6.2	Estimativa da capacidade de tráfego das eclusas	1243
24.6.3	Fatores a considerar no tempo de transposição total	1244
24.6.4	Estimativa do esforço em um cabo de amarração	1245
24.6.5	Pré-dimensionamento de frota em uma hidrovia	1245
25	Paradigmas do Transporte Aquaviário	1247
25.1	Considerações Gerais.....	1248
25.2	A Aquavia como Instrumento de Transporte.....	1249
25.3	O Vetor d'Água.....	1250
25.4	A Luta contra as Inundações	1250
25.5	Atividades Relativas à Aquavia	1250
25.6	O Papel da Aquavia no Desenvolvimento Territorial Sustentável.....	1251

25.7	O Exemplo das Hidrovias Europeias Consolidadas	1252
25.8	Paradigmas Contemporâneos	1265
25.8	Adaptação às Mudanças Climáticas, seus Indutores, Impactos e Mitigação na Infraestrutura Aquaviária Marítima, Portuária e Hidrovia Interior	1281
25.9.1	Alterações climáticas globais.....	1281
25.9.2	Potenciais impactos sobre a navegação e os portos marítimos.....	1282
25.9.3	Navegação hidroviária interior	1282
25.9.4	Perspectivas de oportunidades para a navegação e a atividade portuária em termos de adaptação às mudanças climáticas.....	1286
25.9.5	As diretrizes	1286
Bibliografia		1291



O Cairo (Egito), no extremo sul do Delta do Rio Nilo. A civilização egípcia, que floresceu a partir do Quarto Milênio A. C., organizou sua logística comercial a partir desta importante artéria de navegação, que a pôs em comunicação com o Mar Mediterrâneo, tendo sido durante o Império Romano a Província considerada como celeiro de grãos do Império.

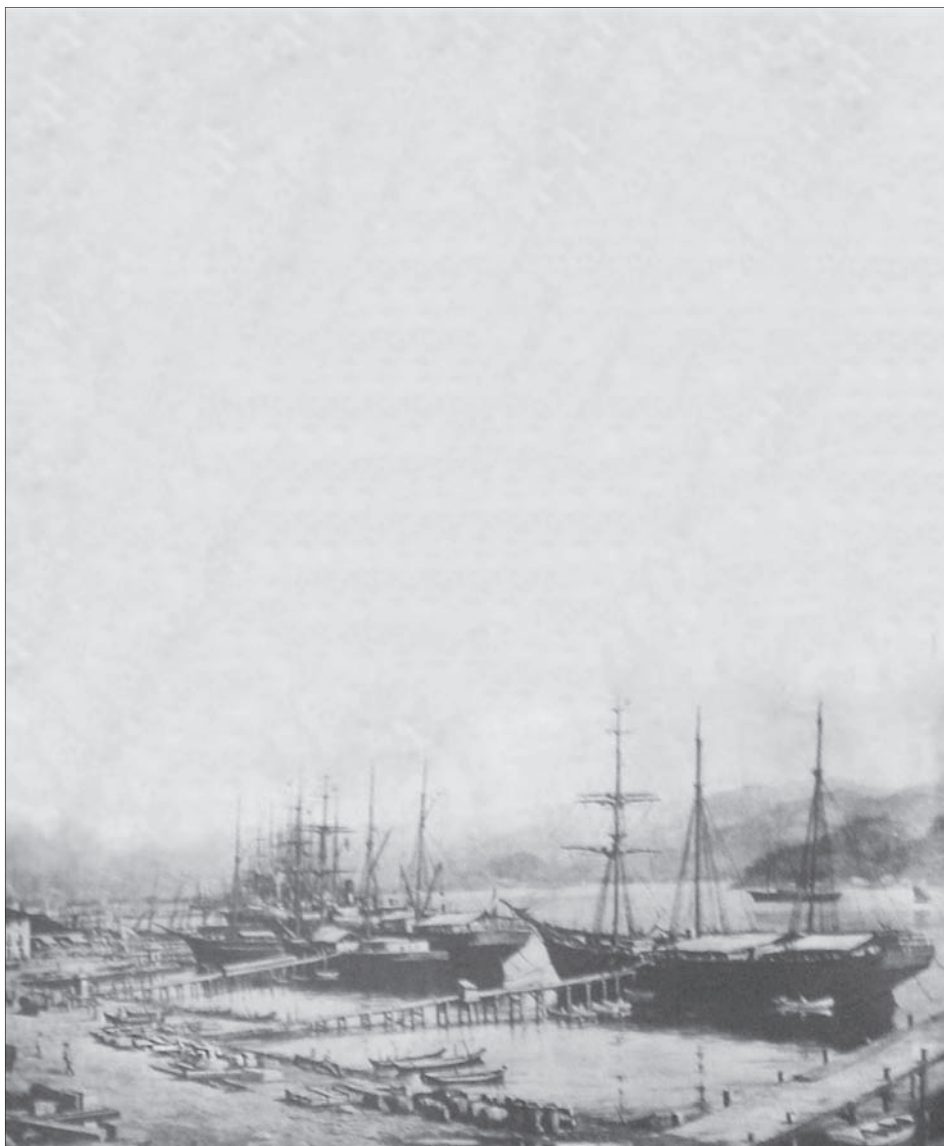


Estreito de Bósforo em Istambul (antiga Bizâncio e Constantinopla), entre o Continente Europeu (à esquerda) e o Asiático (à direita), localização estratégica de comércio marítimo desde a Antiguidade, como *Hub Port* dos impérios Macedônio, Romano, Bizantino e Otomano.

Navigare necesse est

PANORAMA AQUAVIÁRIO

Introdução



1	Panorama Hidroviário Nacional	33
2	Panorama do Gerenciamento Costeiro Nacional	57
3	Fundamentos sobre Porto Concentrador de Carga e Cabotagem	64
4	Marinas e Atracadouros Pesqueiros	83
5	Sistemas Oceânicos	88

Porto de Santos (SP), trapiches na Praia do Consulado em 1882. Com a conclusão da ferrovia São Paulo Railway, em 1867, o porto passou a crescer em importância no cenário nacional e internacional, inaugurando em 1892 seu primeiro trecho de cais. Em importância econômica é o primeiro porto do Hemisfério Sul e o quarto da América, destacando-se a expansão da movimentação de contêineres que o situará entre os 30 maiores do mundo, nesta década, permitindo a escala de navios Porta-Contêineres de 9.000 TEUs.

*“Se marcares ao largo um lampejo
De um Farol a mostrar o caminho,
Saberás ser o nosso desejo
Que jamais tu navegues sozinho.”*

(Trecho da *Canção do Hidrógrafo*, do C. M. G. Antônio Sepulveda)



Figura 1
Mapeamento dos principais portos marítimos brasileiros.

1 PANORAMA HIDROVIÁRIO NACIONAL

A globalização da economia, associada ao aumento da competitividade internacional, está se fazendo presente de maneira incontestável, pressionando e descartando os concorrentes que têm seus custos internos elevados para o transporte e movimentação de matérias-primas e produtos acabados. Neste contexto, o transporte aquaviário constitui-se como fator indutor do desenvolvimento planejado e abrangente, interligando regiões e proporcionando a movimentação, de maneira segura e econômica, de insumos, produtos e pessoas.

A Autoridade Marítima, cuja atribuição é zelar pela segurança da navegação do tráfego aquaviário, é a Diretoria de Portos e Costas¹ (DPC) da Marinha do Brasil, sendo responsável pelo exercício da sinalização náutica, cujo serviço é subordinado aos Distritos Navais, nos quais é regionalizado o país, ficando a cargo das Capitânias

¹ Cabe à DPC normatizar o tráfego aquaviário, as obras de dragagem, os serviços de praticagem, as fiscalizações às embarcações visando a segurança, entre outras questões. As principais atribuições da DPC estão definidas na Lei nº 9.537/1997, a qual também é conhecida como Lei de Segurança do Tráfego Aquaviário – LESTA.

dos Portos e de suas delegacias e agências a manutenção e fiscalização dos sinais de auxílio à navegação:

Faróis;	Barcas faróis;	DGPS;
Radiofaróis;	Boias de luz;	Placas.
Faroletes;	Boias cegas;	
Balizas;	Refletores de radar;	

O Brasil possui mais de 8.500 km de linha costeira considerando os recortes litorâneos. Dezesete estados da Federação compõem essa linha de costa, contando com portos marítimos, estuarinos e lagunares, pelos quais se movimenta a quase totalidade do comércio exterior do país (navegação de longo curso), além da navegação de cabotagem entre os portos nacionais. Aos mais de 60 principais portos comerciais marítimos brasileiros (ver Figura 1 e Tabelas 1A a 1F), agregam-se mais de 60 portos fluviais ou terminais hidroviários (Figura 2), compondo um conjunto de mais de uma centena de polos multimodais de transporte públicos e privados. Segundo Antaq (2013), entre os maiores portos marítimos brasileiros em 2012, destacaram-se o Complexo de Tubarão (ES) (110 milhões de toneladas anuais movimentadas, ou MTPA), o Complexo de Ponta da Madeira (MA) (105 MTPA), Porto de Santos (SP) (91 MTPA), Porto de Itaguaí-Sepetiba (RJ) (57 MTPA), e Tebar de São Sebastião (SP) (51 MTPA). O maior porto fluvial em movimentação de cargas foi o de Manaus. Segundo a mesma fonte, a distribuição por tipos principais de cargas foi de: 61,32% em termos de granéis sólidos (minérios e grãos), 24,03% em termos de granéis líquidos (fundamentalmente hidrocarbonetos, derivados e produtos químicos) e 14,65% em termos de carga geral (de alto valor agregado), sendo 4,99% solta e 9,66% containerizada.

A Lei nº 8.630/93², que estabeleceu de forma clara a distinção entre porto organizado e instalação portuária de uso privativo, estabelece que:

- Porto organizado é o porto público, à disposição do público, aberto a todos que dele necessitem, sob a jurisdição de uma autoridade portuária. Em 2012, movimentaram 35% do total das cargas portuárias em 34 portos.
- Instalação portuária de uso privativo é explorada por pessoa jurídica de direito público ou privado e utilizada na movimentação e/ou armazenagem de mercadorias destinadas a ou provenientes de transportes aquaviários. Em 2012, movimentou-se 65% do total das cargas portuárias nos terminais de uso privativo (TUPs) em 130 terminais.

A lei vigente estabelece a livre concorrência dos serviços portuários, dando liberdade aos terminais privativos de operarem cargas de terceiros, e quebrando o monopólio dos sindicatos de mão de obra avulsa. Em 1992, ano anterior à vigência da lei, que flexibilizou a operação portuária com relação aos monopólios, o Brasil era, apesar dos citados entraves institucionais, o terceiro país em movimentação mundial de cargas (cerca de 350 milhões de toneladas por ano ao valor de US\$ 54 bilhões).

A navegação aquaviária subdivide-se em longo curso, entre portos de diferentes nações; cabotagem, entre portos nacionais; interior, na rede fluvial; de apoio portuário e de apoio marítimo. Em 2012, a navegação de longo curso representou 74% da carga movimentada, a navegação de cabotagem 22% e a interior apenas 3,3%. Em 2011, ocorreram 60.337 atracações, sendo 5.767 somente no Porto de Santos (SP).

² Em 05 de junho de 2013, a Lei nº 12.815 revogou a Lei nº 8.630/93, aprimorando a legislação até então em vigor para aumentar a competitividade dos Portos, atrair investimentos privados e baratear custos.

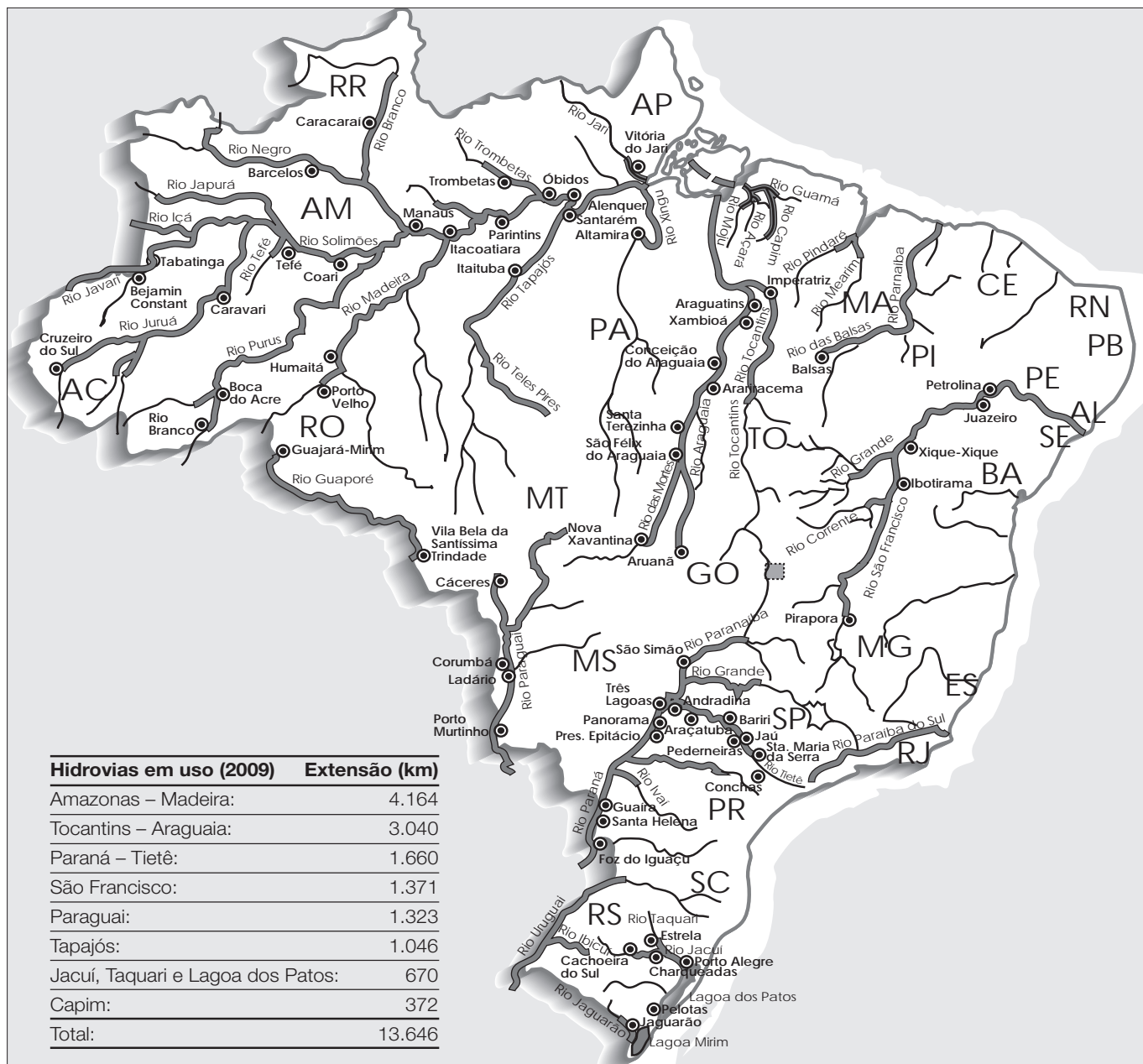


Figura 2
Mapeamento das hidroviáveis e terminais hidroviários brasileiros.

Em 2012, de acordo com Antaq (2013), a movimentação anual de cargas portuárias foi de 904 MTPA, correspondendo em tonelagem a 95% da corrente de comércio exterior brasileira. O potencial operacional superou 1 BTPA em 2012 e o BNDES projeta uma demanda de 1,8 BTPA em 2031. Em 2012, a corrente de comércio exterior brasileira totalizou 688 MTPA. Em valores US\$FOB³, os portos representaram 80% do total de US\$FOB 466 milhões da corrente de comércio exterior brasileiro.

O Brasil possui uma das maiores redes fluviais do mundo, com cerca de 14 mil km em condições de navegação (ver Figura 2), sendo a malha navegável to-

³ FOB: Frete Free on Board, em que o comprador assume todos os riscos e custos com o transporte da mercadoria, assim que ela é colocada no navio. Por conta e risco do fornecedor fica a obrigação de colocar a mercadoria a bordo.

TABELA 1 A
Movimentação de cargas nos principais portos brasileiros em 2012 (em t)

Navegação	Sentido	Granel sólido	Granel líquido	Carga geral		Subtotal
				Solta	Conteinerizada	
PORTOS ORGANIZADOS						
Longo curso	Desembarque	36.916.987	13.131.474	4.149.444	27.385.848	81.583.753
	Embarque	134.020.384	6.324.970	6.444.451	32.067.468	178.857.273
	Subtotal	170.937.371	19.456.444	10.593.895	59.453.316	260.441.026
Cabotagem	Desembarque	6.739.753	14.237.920	1.585.129	5.034.141	27.596.943
	Embarque	1.445.997	9.975.111	399.768	7.087.450	18.908.326
	Subtotal	8.185.750	24.213.031	1.984.897	12.121.591	46.505.269
Navegação interior	Desembarque	2.230.419	781.531	386.188	8.350	3.406.488
	Embarque	3.641.966	915.734	182.929	3.770	4.744.399
	Subtotal	5.872.385	1.697.265	569.117	12.120	8.150.887
Apoio marítimo	Desembarque	-	-	4.319	-	4.319
	Embarque	-	4.595	9.709	-	14.304
	Subtotal	-	4.595	14.028	-	18.623
Apoio portuário	Desembarque	1.027.649	-	24.639	-	1.052.288
	Embarque	-	214	20.094	-	20.308
	Subtotal	1.027.649	214	44.733	-	1.072.596
Total	Desembarque	46.914.808	28.150.925	6.149.719	32.428.339	113.643.791
	Embarque	139.108.347	17.220.624	7.056.951	39.158.688	202.544.610
	Geral	186.023.155	45.023.549	13.206.670	71.587.027	316.188.401
TERMINAIS DE USO PRIVATIVO						
Longo curso	Desembarque	25.818.149	29.223.443	1.321.657	6.875.119	63.238.368
	Embarque	303.881.779	22.812.687	15.038.772	4.841.054	346.574.292
	Subtotal	329.699.928	52.036.130	16.360.429	11.716.173	409.812.660
Cabotagem	Desembarque	10.336.957	95.647.768	3.330.801	2.202.753	111.518.279
	Embarque	16.394.391	19.713.132	5.115.338	1.769.498	42.992.359
	Subtotal	26.731.348	115.360.900	8.446.139	3.972.251	154.510.638
Navegação interior	Desembarque	3.958.413	2.250.325	2.860.477	-	9.069.215
	Embarque	7.711.799	1.714.239	3.248.727	-	12.674.765
	Subtotal	11.670.212	3.964.564	6.109.204	-	21.743.980

(continua...)

TABELA 1 A (continuação)
Movimentação de cargas nos principais portos brasileiros em 2012 (em t)

Navegação	Sentido	Granel sólido	Granel líquido	Carga geral		Subtotal
				Solta	Conteinerizada	
TERMINAIS DE USO PRIVATIVO						
Apoio marítimo	Desembarque	180	148.324	87.359	-	235.863
	Embarque	103.340	271.411	899.002	-	1.273.753
	Subtotal	103.520	419.735	986.361	-	1.509.616
Apoio portuário	Desembarque	-	42	-	-	42
	Embarque	-	137	-	-	137
	Subtotal	-	179	-	-	179
Total	Desembarque	40.113.699	127.269.902	7.600.294	9.077.872	184.061.767
	Embarque	328.091.309	44.511.606	24.301.839	6.610.552	403.515.306
	Subtotal	368.205.008	171.781.508	31.902.133	15.688.424	587.577.073
TOTAL						
Longo curso	Desembarque	62.735.136	42.354.917	5.471.101	34.260.967	144.822.121
	Embarque	437.902.163	29.137.657	21.483.223	36.908.522	525.431.565
	Subtotal	500.637.299	71.492.574	26.954.324	71.169.489	670.253.686
Cabotagem	Desembarque	17.076.710	109.885.688	4.915.930	7.236.894	139.115.222
	Embarque	17.840.388	29.688.243	5.515.106	8.856.948	61.900.685
	Subtotal	34.917.098	139.573.931	10.431.036	16.093.842	201.015.907
Navegação interior	Desembarque	6.188.832	3.031.856	3.246.665	8.350	12.475.703
	Embarque	11.353.765	2.629.973	3.431.656	3.770	17.419.164
	Subtotal	17.542.597	5.661.829	6.678.321	12.120	29.894.867
Apoio marítimo	Desembarque	180	148.324	91.678	-	240.182
	Embarque	103.340	276.006	908.711	-	1.288.057
	Subtotal	103.520	424.330	1.000.389	-	1.528.239
Apoio portuário	Desembarque	1.027.649	42	24.639	-	1.052.330
	Embarque	-	351	20.094	-	20.445
	Subtotal	1.027.649	393	44.733	-	1.072.775
Total	Desembarque	87.028.507	155.420.827	13.750.013	41.506.211	297.705.558
	Embarque	467.199.656	61.732.230	31.358.790	45.769.240	606.059.916
	Geral	554.228.163	217.153.057	45.108.803	87.275.451	903.765.474

Fonte: Sistema de informações Gerenciais da Antaq.

TABELA 1B
Movimentação portuária de contêineres nos principais portos brasileiros em 2012

Contêineres			Desembarque						
			Cheio		Vazio		Total		
Navegação	Tipo	Tamanho	Unidade	Peso (t)	Unidade	Peso (t)	Unidade	Peso (t)	
Longo curso	Convencional	20'	635.245	12.569.233	63.542	152.693	698.787	12.721.926	
		40'	760.074	14.084.098	110.246	468.858	870.320	14.552.956	
		Outros	221	4.021	98	368	319	4.389	
		Subtotal		1.395.540	26.657.352	173.886	621.919	1.569.426	27.279.271
	Refrigerado	20'	5.048	63.620	3.821	11.245	8.869	74.865	
		40'	65.368	1.428.604	108.557	474.922	173.925	1.903.526	
		Outros	152	4.239	-	-	152	4.239	
		Subtotal		70.568	1.496.463	112.378	486.167	182.946	1.982.630
	Outros	20'	104.352	2.118.180	25.324	55.288	129.676	2.173.468	
		40'	148.725	2.553.503	42.474	176.737	191.199	2.730.240	
		Outros	4.633	94.963	101	395	4.734	95.358	
		Subtotal		257.710	4.766.646	67.899	232.420	325.609	4.999.066
Cabotagem	Convencional	20'	94.215	2.490.082	92.000	226.541	186.215	2.716.623	
		40'	141.574	3.313.773	85.948	344.483	227.522	3.658.256	
		Outros	11	285	93	336	104	621	
		Subtotal		235.800	5.804.140	178.041	571.360	413.841	6.375.500
	Refrigerado	20'	129	1.881	682	1.962	811	3.843	
		40'	12.807	395.831	21.971	84.778	34.778	480.609	
		Outros	-	-	2	6	2	6	
		Subtotal		12.936	397.712	22.655	86.746	35.591	484.458
	Outros	20'	3.753	86.199	35.631	76.322	39.384	162.521	
		40'	2.798	64.850	35.403	144.589	38.201	209.439	
		Outros	55	1.780	817	3.196	872	4.976	
		Subtotal		6.606	152.829	71.851	224.107	78.457	376.936
Navegação interior	Convencional	20'	-	-	1.018	3.122	1.018	3.122	
		40'	-	-	842	3.640	842	3.640	
		Outros	-	-	7	228	7	228	
		Subtotal		-	-	1.867	6.990	1.867	6.990
	Refrigerado	20'	-	-	-	-	-	-	
		40'	-	-	20	95	20	95	
		Outros	-	-	-	-	-	-	
		Subtotal		-	-	20	95	20	95
	Outros	20'	-	-	-	-	-	-	
		40'	-	-	-	-	-	-	
		Outros	-	-	65	1.265	65	1.265	
		Subtotal		-	-	65	1.265	65	1.265
TOTAL GERAL			1.979.160	39.275.142	628.662	2.231.069	2.607.822	41.506.211	

(continua...)

TABELA 1 B (continuação)
Movimentação portuária de contêineres nos principais portos brasileiros em 2012

Contêineres			Desembarque						Total geral		
			Cheio		Vazio		Total				
Navegação	Tipo	Tamanho	Unidade	Peso (t)	Unidade	Peso (t)	Unidade	Peso (t)	Unidade	Peso (t)	
Longo curso	Convencional	20'	493.844	11.428.908	178.708	431.188	672.552	11.860.096	1.371.339	24.582.022	
		40'	525.784	12.765.903	271.271	1.067.235	797.055	13.833.138	1.667.375	28.386.094	
		Outros	183	4.270	157	598	340	4.868	659	9.257	
		Subtotal		1.019.811	24.199.081	450.136	1.499.021	1.469.947	25.698.102	3.039.373	52.977.373
	Refrigerado	20'	6.856	130.201	2.274	6.400	9.130	136.601	17.999	211.466	
		40'	173.094	5.091.784	11.062	46.983	184.156	5.138.767	358.081	7.042.293	
		Outros	12	198	1	3	13	201	165	4.440	
		Subtotal		179.962	5.222.183	13.337	53.386	193.299	5.275.569	376.245	7.258.199
	Outros	20'	121.794	2.754.817	12.601	30.465	134.395	2.785.282	264.071	4.958.750	
		40'	127.564	2.951.296	32.290	153.308	159.854	3.104.604	351.053	5.834.844	
		Outros	1.487	33.872	2.795	11.093	4.282	44.965	9.016	140.323	
		Subtotal		250.845	5.739.985	47.686	194.866	298.531	5.934.851	624.140	10.933.917
Cabotagem	Convencional	20'	106.380	2.542.603	111.165	250.282	217.545	2.792.885	403.760	5.509.508	
		40'	186.154	4.094.795	93.186	378.054	279.340	4.472.849	506.862	8.131.105	
		Outros	32	1.002	-	-	32	1.002	136	1.623	
		Subtotal		292.566	6.638.400	204.351	628.336	496.917	7.266.736	910.758	13.642.236
	Refrigerado	20'	217	2.861	850	2.411	1.067	5.272	1.878	9.115	
		40'	7.009	198.848	19.233	95.953	26.242	294.801	61.020	775.410	
		Outros	-	-	8	28	8	28	10	34	
		Subtotal		7.226	201.709	20.091	98.392	27.317	300.101	62.908	784.559
	Outros	20'	29.426	760.949	8.002	19.202	37.428	780.151	76.812	942.672	
		40'	15.894	376.665	25.455	109.026	41.349	485.691	79.550	695.130	
		Outros	817	18.854	1.209	5.415	2.026	24.269	2.898	29.245	
		Subtotal		46.137	1.156.468	34.666	133.643	80.803	1.290.111	159.260	1.667.047
Navegação interior	Convencional	20'	9	149	130	309	139	458	1.157	3.580	
		40'	118	3.088	19	85	137	3.173	979	6.813	
		Outros	-	-	-	-	-	-	7	228	
		Subtotal		127	3.237	149	394	276	3.631	2.143	10.621
	Refrigerado	20'	-	-	-	-	-	-	-	-	
		40'	-	-	-	-	-	-	20	95	
		Outros	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Subtotal		-	-	-	-	-	20	95	
	Outros	20'	-	-	-	-	-	-	-	-	
		40'	-	-	-	-	-	-	-	-	
Outros		-	-	58	139	58	139	123	1.404		
	Subtotal		-	-	58	139	58	139	123	1.404	
TOTAL GERAL			1.796.674	43.161.063	770.474	2.608.177	2.567.148	45.769.240	5.174.970	87.275.451	

TABELA 1 C
Movimentação por tipo de cargas em 2012 nos portos organizados brasileiros (em t)

Porto	UF	Granel sólido	Granel líquido	Carga geral		Total
				Solta	Containerizada	
Porto de Maceió	AL	1.986.580	907.713	106.579	-	3.000.872
Porto de Macapá	AP	502.651	630.798	42.548	1.043	1.177.040
Porto de Aratu	BA	1.698.295	4.114.467	1.250	-	5.814.012
Porto de Ilhéus	BA	392.931	-	67.010	-	459.941
Porto de Salvador	BA	316.763	66.954	227.767	2.812.603	3.424.087
Porto de Fortaleza	CE	1.250.932	2.235.790	215.948	707.034	4.409.704
Porto de Vitória	ES	1.752.598	745.844	1.164.674	3.168.454	6.831.570
Porto de Itaquí	MA	7.896.585	7.554.711	158.338	90.465	15.700.099
Porto de Belém	PA	590.466	2.062.534	212.378	224.309	3.089.687
Porto de Santarém	PA	3.207.210	130.863	40.294	43.692	3.422.059
Porto de Vila do Conde	PA	11.814.441	2.021.927	964.047	347.527	15.147.942
Porto de Cabedelo	PB	1.102.035	744.856	60.547	-	1.907.438
Porto de Recife	PE	1.463.016	19.396	197.084	36.536	1.716.032
Porto de Suape	PE	623.644	5.647.906	180.485	4.545.650	10.997.685
Porto de Antonina	PR	1.161.547	-	99.454	-	1.261.001
Porto de Paranaguá	PR	29.874.837	3.120.028	874.145	6.572.802	40.441.812
Porto de Angra dos Reis	RJ	31.998	31.950	23.136	-	87.084
Porto de Forno	RJ	153.828	-	6.160	1.712	161.700
Porto de Itaguaí	RJ	52.795.310	-	130.566	4.155.726	57.081.602
Porto de Niterói	RJ	-	64	62.010	-	62.074
Porto do Rio de Janeiro	RJ	1.309.053	22.006	777.671	5.649.619	7.758.349
Porto de Areia Branca	RN	1.995.945	-	-	-	1.995.945
Porto de Natal	RN	153.322	154	39.361	250.960	443.797
Porto de Porto Velho	RO	2.797.578	2.511	470.335	2.823	3.273.247
Porto de Estrela	RS	7.244	-	-	-	7.244
Porto de Pelotas	RS	13.331	-	-	-	13.331
Porto de Porto Alegre	RS	898.803	-	5.848	-	904.651
Porto de Rio Grande	RS	7.117.292	2.840.122	944.814	6.170.583	17.072.811
Porto de Imbituba	SC	1.549.205	106.378	137.005	263.025	2.055.613
Porto de Itajaí	SC	-	-	-	3.913.188	3.913.188
Porto de S. F. do Sul	SC	7.011.807	158.000	2.411.912	1.352.785	10.934.504
Porto de Santos	SP	43.949.695	12.206.577	3.309.254	31.271.803	90.737.329
Porto de São Sebastião	SP	604.213	-	276.050	4.688	884.951
Total		186.023.155	45.371.549	13.206.670	71.587.027	316.188.401

Fonte: Sistema de Informações Gerenciais da Antaq.

TABELA 1 D
Movimentação por tipo de cargas em 2012 nos principais Terminais de Uso Privativo brasileiros (em t)

Terminal	UF	Granel sólido	Granel líquido	Carga geral		Total
				Solta	Containerizada	
Tup Braskem Alagoas	AL	-	1.020.067	-	-	1.020.067
Etc Itacal	AM	16	-	-	-	16
Tup Chibatão	AM	-	-	-	2.996.859	2.996.859
Tup Chibatão 2	AM	-	-	883.085	-	883.085
Tup Cimento Vencemos	AM	327.810	-	-	-	327.810
Tup Hermasa Graneleiro	AM	4.947.193	130.987	-	-	5.078.180
Tup Ibepar Manaus	AM	-	-	810.802	-	810.802
Tup J. F. Oliveira Manaus	AM	-	-	475.140	-	475.140
Tup Manaus	AM	12.490	6.581.433	-	-	6.593.923
Tup Moss	AM	-	-	173.766	-	173.766
Tup Navecunha	AM	-	4.855	-	-	4.855
Tup Ocrim	AM	69.301	-	-	-	69.301
Tup Sanave	AM	7.019	50	18.166	-	25.235
Tup Solimões	AM	4.009	2.088.133	-	-	2.092.142
Tup Super Terminais	AM	-	-	-	2.025.025	2.025.025
Tup Transporte Carinhoso	AM	-	-	180.887	-	180.887
Etc Bertolini Santana	AP	-	-	146.532	-	146.532
Tup Terminal de Minério e Metálicos Amapá	AP	6.463.087	-	-	-	6.463.087
Tup Cotegipe	BA	3.205.036	-	-	-	3.205.036
Tup Dow Aratu	BA	-	679.427	-	-	679.427
Tup Fibria	BA	-	-	2.179.533	-	2.179.533
Tup Gerdau Salvador	BA	357.979	-	-	-	357.979
Tup Madre de Deus	BA	-	21.658.012	-	-	21.658.012
Tup Marítimo de Belmonte	BA	-	-	1.119.160	-	1.119.160
Tup Ponta de Laje	BA	-	-	156.331	-	156.331
Tup Pecém	CE	1.406.511	521.072	836.413	1.614.036	4.378.032
Tup CVRD Praia Mole	ES	10.088.117	-	-	-	10.088.117
Tup CVRD Tubarão	ES	109.505.815	828.708	-	-	110.334.523
Tup Norte Capixaba	ES	-	913.034	-	-	913.034
Tup Ponta de Ubu	ES	23.385.128	94.632	32.829	-	23.512.589
Tup Portocel	ES	-	-	9.027.901	-	9.027.901
Tup Praia Mole	ES	267.871	-	5.200.433	-	5.468.304
Tup T. M. Barcaças Oceânicas	ES	-	-	553.397	-	553.397
Tup Vila Velha	ES	26.558	195.464	107.568	-	329.590
Tup Alumar	MA	11.996.074	778.158	-	-	12.774.232
Tup Ponta da Madeira	MA	105.033.621	-	-	-	105.033.621

(continua...)

TABELA 1 D (continuação)
Movimentação por tipo de cargas em 2012 nos principais Terminais de Uso Privativo brasileiros (em t)

Terminal	UF	Granel sólido	Granel líquido	Carga geral		Total
				Solta	Containerizada	
Tup Braskem Alagoas	AL	-	1.020.067	-	-	1.020.067
Etc Itacal	AM	16	-	-	-	16
Tup Chibatão	AM	-	-	-	2.996.859	2.996.859
Tup Chibatão 2	AM	-	-	883.085	-	883.085
Tup Cimento Vencemos	AM	327.810	-	-	-	327.810
Tup Hermasa Graneleiro	AM	4.947.193	130.987	-	-	5.078.180
Tup Ibepar Manaus	AM	-	-	810.802	-	810.802
Tup J. F. Oliveira Manaus	AM	-	-	475.140	-	475.140
Tup Manaus	AM	12.490	6.581.433	-	-	6.593.923
Tup Moss	AM	-	-	173.766	-	173.766
Tup Navecunha	AM	-	4.855	-	-	4.855
Tup Ocrim	AM	69.301	-	-	-	69.301
Tup Sanave	AM	7.019	50	18.166	-	25.235
Tup Solimões	AM	4.009	2.088.133	-	-	2.092.142
Tup Super Terminais	AM	-	-	-	2.025.025	2.025.025
Tup Transporte Carinhoso	AM	-	-	180.887	-	180.887
Etc Bertolini Santana	AP	-	-	146.532	-	146.532
Tup Terminal de Minério e Metálicos Amapá	AP	6.463.087	-	-	-	6.463.087
Tup Cotegipe	BA	3.205.036	-	-	-	3.205.036
Tup Dow Aratu	BA	-	679.427	-	-	679.427
Tup Fibria	BA	-	-	2.179.533	-	2.179.533
Tup Gerdau Salvador	BA	357.979	-	-	-	357.979
Tup Madre de Deus	BA	-	21.658.012	-	-	21.658.012
Tup Marítimo de Belmonte	BA	-	-	1.119.160	-	1.119.160
Tup Ponta de Laje	BA	-	-	156.331	-	156.331
Tup Pecém	CE	1.406.511	521.072	836.413	1.614.036	4.378.032
Tup CVRD Praia Mole	ES	10.088.117	-	-	-	10.088.117
Tup CVRD Tubarão	ES	109.505.815	828.708	-	-	110.334.523
Tup Norte Capixaba	ES	-	913.034	-	-	913.034
Tup Ponta de Ubu	ES	23.385.128	94.632	32.829	-	23.512.589
Tup Portocel	ES	-	-	9.027.901	-	9.027.901
Tup Praia Mole	ES	267.871	-	5.200.433	-	5.468.304
Tup T. M. Barcaças Oceânicas	ES	-	-	553.397	-	553.397
Tup Vila Velha	ES	26.558	195.464	107.568	-	329.590
Tup Alumar	MA	11.996.074	778.158	-	-	12.774.232
Tup Ponta da Madeira	MA	105.033.621	-	-	-	105.033.621

(continua...)

TABELA 1 D (continuação)
Movimentação por tipo de cargas em 2012 nos principais Terminais de Uso Privativo brasileiros (em t)

Terminal	UF	Granel sólido	Granel líquido	Carga geral		Total
				Solta	Containerizada	
Etc Porto Murtinho	MS	3.974	-	-	-	3.974
Tup Granel Química	MS	1.794.465	-	6.515	-	1.800.980
Tup Gregório Curvo	MS	1.913.012	-	-	-	1.913.012
Tup Porto Sobramil	MS	648.173	-	-	-	648.173
Tup Agropalma	PA	-	201.296	-	-	201.296
Tup Bertolini Belém	PA	-	-	1.055.306	-	1.055.306
Tup Bertolini Santarém	PA	-	-	142.373	-	142.373
Tup Caulim da Amazônia (Cadam)	PA	221.164	40.566	18.803	-	280.533
Tup DNP Base de Distribuição Secundária de Santarém	PA	478	27.285	-	-	27.763
Tup J. F de Oliveira Belém	PA	-	-	949.147	-	949.147
Tup Mungaba	PA	-	15.425	279.914	-	295.339
Tup Omnia	PA	4.352.467	-	-	-	4.352.467
Tup Ponta da Montanha	PA	29.974	280.309	20.014	-	330.297
Tup Porto Crai	PA	-	71.903	-	-	71.903
Tup Porto Murucupi	PA	806.787	653.669	1	-	1.460.457
Tup Porto Trombetas	PA	16.391.516	-	-	-	16.391.516
Tup Estaleiro Atlântico Sul	PE	-	-	1.990	-	1.990
Tup Cattalini	PR	-	1.562.447	-	-	1.562.447
Tup Almirante Maximiano Fonseca	RJ	430.886	36.610.276	-	-	37.041.162
Tup Almirante Tamandaré (Ilha d'Água)	RJ	629.886	13.088.518	-	-	13.718.404
Tup Brasfels	RJ	-	-	18.210	-	18.210
Tup de GNL da Baía de Guanabara	RJ	-	2.264.523	-	-	2.264.523
Tup Estaleiro Mauá	RJ	-	-	10.799	-	10.799
Tup Icolub	RJ	-	58.313	-	-	58.313
Tup Ilha do Governador	RJ	-	277.175	-	-	277.175
Tup Ilha Redonda	RJ	-	172.935	-	-	172.935
Tup Tig	RJ	39.818.902	-	-	-	39.818.902
Tup Terminal Marítimo de Duque de Caxias	RJ	-	105.468	-	-	105.468
Tup Terminal Portuário TKCSA	RJ	3.427.849	-	3.424.121	-	6.851.970
Tup UTC Engenharia	RJ	-	-	9.319	-	9.319
Tup Wellstream	RJ	-	-	36.081	-	36.081
Tup Dunas	RN	-	280.008	-	-	280.008

TABELA 1 D (continuação)
Movimentação por tipo de cargas em 2012 nos principais Terminais de Uso Privativo brasileiros (em t)

Terminal	UF	Granel sólido	Granel líquido	Carga geral		Total
				Solta	Containerizada	
Tup Guamaré	RN	-	2.848.890	-	-	2.848.890
Tup Belmonte	RO	-	-	122.329	-	122.329
Tup Caima	RO	-	-	80.197	-	80.197
Tup Cargill Agrícola	RO	1.176.964	2.345	-	-	1.179.309
Tup Fogás	RO	-	44.693	-	-	44.693
Tup Ipiranga Base de Porto Velho	RO	-	188.777	-	-	188.777
Tup Passarão	RO	-	-	286.721	-	286.721
Tup Almirante Soares Dutra	RS	-	11.060.986	-	-	11.060.986
Tup Aracruz Guaíba	RS	-	-	323.500	-	323.500
Tup Bianchini	RS	4.794.471	295.656	-	-	5.090.127
Tup Ceval	RS	1.009.386	148.466	-	-	1.157.852
Tup Cimbagé	RS	408.112	-	-	-	408.112
Tup Copelmi	RS	264.684	-	-	-	264.684
Tup Mita	RS	328.004	-	-	-	328.004
Tup Moinho Taquariense	RS	-	-	-	-	-
Tup Niterói	RS	-	299.072	-	-	299.072
Tup Oleoplan	RS	347.994	2.509	-	-	350.503
Tup Rio dos Sinos	RS	502.486	68.837	-	-	571.323
Tup Santa Clara	RS	-	16.547	581.234	-	597.781
Tup SHV	RS	-	46.616	-	-	46.616
Tup Tergasul	RS	-	80.008	-	-	80.008
Tup Terminal Marítimo Luiz Fogliatto	RS	1.632.097	-	317	-	1.632.414
Tup Yara Brasil Fertilizantes	RS	2.054.392	148.979	-	-	2.203.371
Tup Braskarne	SC	-	-	176.878	-	176.878
Tup Porto Itapoá	SC	-	-	-	3.131.798	3.131.798
Tup Portonave	SC	-	-	-	5.920.600	5.920.600
Tup São Francisco do Sul	SC	-	10.274.072	-	-	10.274.072
Tup Teporti	SC	-	-	183.007	106	183.113
Tup Carmópolis	SE	-	2.744.668	-	-	2.744.668
Tup Terminal Marítimo Inácio Barbosa	SE	958.722	86	878.716	-	1.837.524
Tup Almirante Barroso	SP	-	50.541.216	-	-	50.541.216
Tup Dow Brasil Guarujá	SP	-	711.672	-	-	711.672
Tup Sucocítrico Cutrale	SP	577.573	675.118	-	-	1.252.691
Tup Ultrafertil	SP	2.244.128	378.147	-	-	2.622.275
Tup Usiminas	SP	4.332.827	-	1.394.698	-	5.727.525
Total		368.205.008	171.781.508	31.902.133	15.688.424	587.577.073

Fonte: Sistema de Informações Gerenciais da Antaq.

TABELA 1 E
Movimentação por tipo de navegação em 2012 nos portos organizados brasileiros (em t)

Porto	UF	Longo curso	Cabotagem	Navegação interior	Apoio marítimo	Apoio portuário	Total
Porto de Maceió	AL	2.172.714	828.158	-	-	-	3.000.872
Porto de Macapá	AP	394.403	252.543	530.094	-	-	1.177.040
Porto de Aratu	BA	4.101.404	1.712.608	-	-	-	5.814.012
Porto de Ilhéus	BA	459.941	-	-	-	-	459.941
Porto de Salvador	BA	2.530.663	893.424	-	-	-	3.424.087
Porto de Fortaleza	CE	1.821.426	2.588.120	-	-	158	4.409.704
Porto de Vitória	ES	5.767.068	1.064.502	-	-	-	6.831.570
Porto de Itaqui	MA	12.770.456	2.929.643	-	-	-	15.700.099
Porto de Belém	PA	828.660	1.730.668	528.487	1.000	872	3.089.687
Porto de Santarém	PA	1.731.653	-	1.690.406	-	-	3.422.059
Porto de Vila do Conde	PA	8.689.515	6.361.877	96.550	-	-	15.147.942
Porto de Cabedelo	PB	1.156.958	750.480	-	-	-	1.907.438
Porto de Recife	PE	1.661.872	54.160	-	-	-	1.716.032
Porto de Suape	PE	5.612.988	5.384.697	-	-	-	10.997.685
Porto de Antonina	PR	1.251.948	9.053	-	-	-	1.261.001
Porto de Paranaguá	PR	37.659.570	2.782.242	-	-	-	40.441.812
Porto de Angra dos Reis	RJ	4.098	77.889	-	5.097	-	87.084
Porto de Forno	RJ	159.988	1.712	-	-	-	161.700
Porto de Itaguaí	RJ	55.077.050	2.004.367	-	-	185	57.081.602
Porto de Niterói	RJ	5.816	-	-	12.526	43.732	62.074
Porto do Rio de Janeiro	RJ	6.995.178	763.171	-	-	-	7.758.349
Porto de Areia Branca	RN	115.160	853.136	-	-	1.027.649	1.995.945
Porto de Natal	RN	383.774	60.023	-	-	-	443.797
Porto de Porto Velho	RO	287.866	324	2.985.057	-	-	3.273.247
Porto de Estrela	RS	-	-	7.244	-	-	7.244
Porto de Pelotas	RS	-	-	13.331	-	-	13.331
Porto de Porto Alegre	RS	457.347	93.639	353.665	-	-	904.651
Porto de Rio Grande	RS	12.756.556	2.370.202	1.946.053	-	-	17.072.811
Porto de Imbituba	SC	1.901.436	154.177	-	-	-	2.055.613
Porto de Itajaí	SC	3.629.245	283.943	-	-	-	3.913.188
Porto de S. F. do Sul	SC	8.880.854	2.053.650	-	-	-	10.934.504
Porto de Santos	SP	80.343.280	10.394.049	-	-	-	90.737.329
Porto de São Sebastião	SP	832.139	52.812	-	-	-	884.951
Total		260.441.026	46.505.269	8.150.887	18.623	1.072.596	316.188.401

Fonte: Sistema de Informações Gerenciais da Antaq.

TABELA 1 F
Movimentação por tipo de navegação em 2012 nos principais Terminais de Uso Privativo brasileiros (em t)

Terminal	UF	Longo curso	Cabotagem	Navegação interior	Apoio Marítimo	Apoio portuário	Total
Tup Braskem Alagoas	AL	55.537	964.530	-	-	-	1.020.067
Etc Itacal	AM	-	-	16	-	-	16
Tup Chibatão	AM	924.457	2.072.402	-	-	-	2.996.859
Tup Chibatão 2	AM	-	-	883.085	-	-	883.085
Tup Cimento Vencemos	AM	327.810	-	-	-	-	327.810
Tup Hermasa Graneleiro	AM	2.496.827	-	2.581.353	-	-	5.078.180
Tup Ibepar Manaus	AM	-	-	810.802	-	-	810.802
Tup J. F. Oliveira Manaus	AM	-	-	475.140	-	-	475.140
Tup Manaus	AM	924.628	3.515.301	2.153.994	-	-	6.593.923
Tup Moss	AM	-	-	173.766	-	-	173.766
Tup Navecunha	AM	-	1	4.854	-	-	4.855
Tup Ocrim	AM	69.301	-	-	-	-	69.301
Tup Sanave	AM	-	-	25.235	-	-	25.235
Tup Solimões	AM	-	1.199.848	892.294	-	-	2.092.142
Tup Super Terminais	AM	1.659.679	365.346	-	-	-	2.025.025
Tup Transporte Carinhoso	AM	-	-	180.887	-	-	180.887
Tup Bertolini Santana	AP	-	-	146.532	-	-	146.532
Tup Terminal de Minério e Metálicos Amapá	AP	6.418.359	-	44.728	-	-	6.463.087
Tup Cotegipe	BA	3.205.036	-	-	-	-	3.205.036
Tup Dow Aratu	BA	107.262	572.165	-	-	-	679.427
Tup Fibria	BA	-	2.179.533	-	-	-	2.179.533
Tup Gerdau Salvador	BA	212.943	145.036	-	-	-	357.979
Tup Madre de Deus	BA	3.354.534	18.231.040	-	72.438	-	21.658.012
Tup Marítimo de Belmonte	BA	-	1.119.160	-	-	-	1.119.160
Tup Ponta de Laje	BA	156.331	-	-	-	-	156.331
Tup Pecém	CE	3.700.893	677.139	-	-	-	4.378.032
Tup CVRD Praia Mole	ES	9.807.375	280.742	-	-	-	10.088.117
Tup CVRD Tubarão	ES	109.298.031	1.036.492	-	-	-	110.334.523
Tup Norte Capixaba	ES	-	913.034	-	-	-	913.034
Tup Ponta de Ubu	ES	22.487.772	891.556	-	133.261	-	23.512.589
Tup Portocel	ES	5.854.559	3.173.342	-	-	-	9.027.901
Tup Praia Mole	ES	4.199.551	1.268.753	-	-	-	5.468.304
Tup T. M. Barçaças Oceânicas	ES	-	553.397	-	-	-	553.397
Tup Vila Velha	ES	-	-	-	329.431	159	329.590
Tup Alumar	MA	3.883.714	8.890.518	-	-	-	12.774.232
Tup Ponta da Madeira	MA	104.861.266	172.355	-	-	-	105.033.621

(continua...)

TABELA 1 F (continuação)
Movimentação por tipo de navegação em 2012 nos principais Terminais de Uso Privativo brasileiros (em t)

Terminal	UF	Longo curso	Cabotagem	Navegação interior	Apoio Marítimo	Apoio portuário	Total
Etc Porto Murtinho	MS	-	-	3.974	-	-	3.974
Tup Granel Química	MS	-	-	1.800.980	-	-	1.800.980
Tup Gregório Curvo	MS	-	-	1.913.012	-	-	1.913.012
Tup Porto Sobramil	MS	-	-	648.173	-	-	648.173
Tup Agropalma	PA	66.991	-	134.305	-	-	201.296
Tup Bertolini Belém	PA	-	-	1.055.306	-	-	1.055.306
Tup Bertolini Santarém	PA	-	-	142.373	-	-	142.373
Tup Caulim da Amazônia (Cadan)	PA	212.119	68.414	-	-	-	280.533
Tup DNP Base de Distribuição Secundária de Santarém	PA	-	-	27.763	-	-	27.763
Tup J. F de Oliveira Belém	PA	-	-	949.147	-	-	949.147
Tup Munguba	PA	295.339	-	-	-	-	295.339
Tup Omnia	PA	-	4.352.467	-	-	-	4.352.467
Tup Ponta da Montanha	PA	330.297	-	-	-	-	330.297
Tup Porto Crai	PA	-	-	71.903	-	-	71.903
Tup Porto Murucupi	PA	1.428.932	31.525	-	-	-	1.460.457
Tup Porto Trombetas	PA	6.713.026	9.518.713	159.777	-	-	16.391.516
Tup Estaleiro Atlântico Sul	PE	1.990	-	-	-	-	1.990
Tup Cattalini	PR	1.388.451	173.996	-	-	-	1.562.447
Tup Almirante Maximiano Fonseca	RJ	20.273.183	16.767.979	-	-	-	37.041.162
Tup Almirante Tamandaré (Ilha d'Água)	RJ	1.420.843	12.235.336	-	62.225	-	13.718.404
Tup Brasfels	RJ	13.396	4.814	-	-	-	18.210
Tup de GNL da Baía de Guanabara	RJ	2.254.320	10.203	-	-	-	2.264.523
Tup Estaleiro Mauá	RJ	10.799	-	-	-	-	10.799
Tup Icolub	RJ	58.313	-	-	-	-	58.313
Tup Ilha do Governador	RJ	272.195	4.980	-	-	-	277.175
Tup Ilha Redonda	RJ	29.818	143.117	-	-	-	172.935
Tup Tig	RJ	39.524.189	294.713	-	-	-	39.818.902
Tup Terminal Marítimo Duque de Caxias	RJ	-	105.468	-	-	-	105.468
Tup Terminal PortuárioTKCSA	RJ	6.725.622	126.348	-	-	-	6.851.970
Tup UTC Engenharia	RJ	-	9.319	-	-	-	9.319
Tup Wellstream	RJ	1.016	35.065	-	-	-	36.081
Tup Dunas	RN	-	280.008	-	-	-	280.008
Tup Guamaré	RN	-	2.806.273	-	42.617	-	2.848.890

(continua...)

TABELA 1 F (continuação)
Movimentação por tipo de navegação em 2012 nos principais Terminais de Uso Privativo brasileiros (em t)

Terminal	UF	Longo curso	Cabotagem	Navegação interior	Apoio Marítimo	Apoio portuário	Total
Tup Belmonte	RO	-	-	122.329	-	-	122.329
Tup Caima	RO	-	-	80.197	-	-	80.197
Tup Cargill Agrícola	RO	-	-	1.179.309	-	-	1.179.309
Tup Fogás	RO	-	44.693	-	-	-	44.693
Tup Ipiranga Base Porto Velho	RO	-	-	188.777	-	-	188.777
Tup Passarão	RO	-	-	286.721	-	-	286.721
Tup Almirante Soares Dutra	RS	5.723.015	5.337.971	-	-	-	11.060.986
Tup Aracruz Guaíba	RS	-	-	323.500	-	-	323.500
Tup Bianchini	RS	4.439.371	27.883	622.873	-	-	5.090.127
Tup Ceval	RS	978.708	8.000	171.124	-	20	1.157.852
Tup Cimbagé	RS	-	-	408.112	-	-	408.112
Tup Copelmi	RS	-	-	264.684	-	-	264.684
Tup Mita	RS	-	-	328.004	-	-	328.004
Tup Moinho Taquariense	RS	-	-	-	-	-	-
Tup Niterói	RS	-	-	299.072	-	-	299.072
Tup Oleoplan	RS	-	-	350.503	-	-	350.503
Tup Rio dos Sinos	RS	-	-	571.323	-	-	571.323
Tup Santa Clara	RS	106.660	31.582	459.539	-	-	597.781
Tup SHV	RS	-	23.335	23.281	-	-	46.616
Tup Tergasul	RS	-	49.364	30.644	-	-	80.008
Tup Terminal Marítimo Luiz Fogliatto	RS	1.438.339	-	194.075	-	-	1.632.414
Tup Yara Brasil Fertilizantes	RS	1.642.857	-	560.514	-	-	2.203.371
Tup Braskarne	SC	176.878	-	-	-	-	176.878
Tup Porto Itapoá	SC	2.570.084	561.714	-	-	-	3.131.798
Tup Portonave	SC	5.592.616	327.984	-	-	-	5.920.600
Tup São Francisco do Sul	SC	2.684.864	7.589.208	-	-	-	10.274.072
Tup Teporti	SC	176.185	6.910	-	18	-	183.113
Tup Carmópolis	SE	-	2.744.668	-	-	-	2.744.668
Tup Terminal Marítimo Inácio Barbosa	SE	967.898	-	-	869.626	-	1.837.524
Tup Almirante Barroso	SP	10.015.467	40.525.749	-	-	-	50.541.216
Tup Dow Brasil Guarujá	SP	106.999	604.673	-	-	-	711.672
Tup Sucocitríco Cutrale	SP	1.252.691	-	-	-	-	1.252.691
Tup Ultrafertil	SP	2.622.275	-	-	-	-	2.622.275
Tup Usiminas	SP	4.291.049	1.436.476	-	-	-	5.727.525
Total		409.812.660	154.510.638	21.743.980	1.509.616	179	587.577.073

Fonte: Sistema de Informações Gerenciais da Antaq.

tal estimada em 43 mil km, destacando-se as hidrovias dos rios Madeira-Amazonas, Araguaia-Tocantins, São Francisco, Paraguai-Paraná e Tietê-Paraná. As principais hipóteses de transposições dos divisores por canais de partilha navegáveis entre bacias hidrográficas estudadas pelo extinto Departamento de Portos e Vias Navegáveis estão apresentadas na Figura 3(A), destacando-se a chamada Hidrovia de Contorno, que poderia ligar a Bacia Amazônica à do Prata, sendo que o trecho Amazonas-Solimões permite o acesso de navios marítimos até cerca de 2 mil milhas náuticas da costa (em Iquitos no Peru), podendo ser considerado prolongamento da via marítima. A outra vertente que pode-se vislumbrar em escala metropolitana é o Hidroanel da cidade de São Paulo (Figura 3(B)). Esta alternativa logística, perfazendo 186 km, poderá contribuir para aliviar o tráfego na metrópole, tanto em termos de cargas, como de passageiros. Para tanto, será necessário concluir a despoluição do Rio Tietê, bem como adaptações em pontes, eclusas e a construção de um canal artificial entre os reservatórios de Taiaçupeba e Billings. Na Figura 3(C) salientam-se as conexões multimodais na futura Macrometrópole de São Paulo.

O transporte hidroviário interior é, indiscutivelmente, o mais econômico para deslocamento de grandes volumes de carga com baixo valor unitário entre os modais competidores diretos, a ferrovia e a rodovia, desde que ressalvados alguns pressupostos. Assim, os polos de origem ou destino das cargas deverão situar-se próximos a uma hidrovia, o que estimula o armazenamento e a produção de mercadorias nas faixas marginais, agregando densidade econômica ao sistema. Sempre que houver a participação conjugada de outro modal de transporte, torna-se indispensável que as distâncias percorridas no modal hidroviário sejam bem superiores às demais. Em decorrência, o aproveitamento hidroviário deve estar inserido em programas mais amplos, considerando a exploração dos recursos minerais, o desenvolvimento agrícola, industrial ou de planejamento estratégico.

A possibilidade de navegação cria uma alternativa de transporte de baixo custo para granéis sólidos, como minérios (ferro, bauxita, manganês) e grãos (soja, milho, trigo), granéis líquidos, como combustíveis (álcool, gasolina, diesel), materiais de construção, cana-de-açúcar, madeiras e outras cargas gerais, como contêineres, entre o interior do país e as principais áreas de consumo e exportação.

O frete é fator fundamental nas análises logísticas de transportes das matrizes de custos das empresas e, portanto, a hidrovia, integrada a outros modais de transporte (multimodalidade), pode concorrer com redução de frete de até 50%, principalmente em trechos longos, colaborando, indubitavelmente, para a modernização da economia nacional. Assim, estudos do Departamento Hidroviário de São Paulo, considerando-se o desempenho de um caminhão graneleiro de 27 toneladas de capacidade nominal, uma composição ferroviária com capacidade para 2 mil toneladas e um comboio Tietê (ver Figura 4(A)) (empurrador de 850 HP e duas chatas de 1.150 toneladas cada uma de capacidade de carga), constata-se a proporção aproximada de 1:2:5 na composição dos custos modais por t-km, em um percurso estimado de 1.000 km. Outra comparação semelhante, na Figura 4(B), apresenta a equivalência para granéis no transporte hidroviário.

Apesar de uma série de implicações para a sua realização, como a necessária intermodalidade, ou seja, a conexão com outro modal de transporte, como o transbordo de cargas (elevação de carga ao se passar de um modal para outro) ou transposições de desnível, o transporte hidroviário é o de menor gasto energético. De fato, estudos divulgados pelo Ministério dos Transportes mostram que a energia específica consumida pelo modal hidroviário é da ordem média de 0,6 MJ

por t-km, enquanto, em condições semelhantes, a ferrovia consome de 0,6 a 1 MJ por t-km e os caminhões pesados, de 0,96 a 2,22 MJ por t-km, sem considerar os custos ambientais decorrentes (Figura 4(C)). Quanto ao último aspecto, deve-se considerar que o modal hidroviário é o de menor imposição de custos ambientais, ou seja, de menores quantidades de energia necessárias para a recomposição ambiental na obtenção do menor afastamento do equilíbrio pré-existente. Basta pensar que a área a ser desmatada para a sua implantação é praticamente nula, enquanto para uma rodovia desmata-se 4 ha/km e para ferrovia 3,8 ha/km.

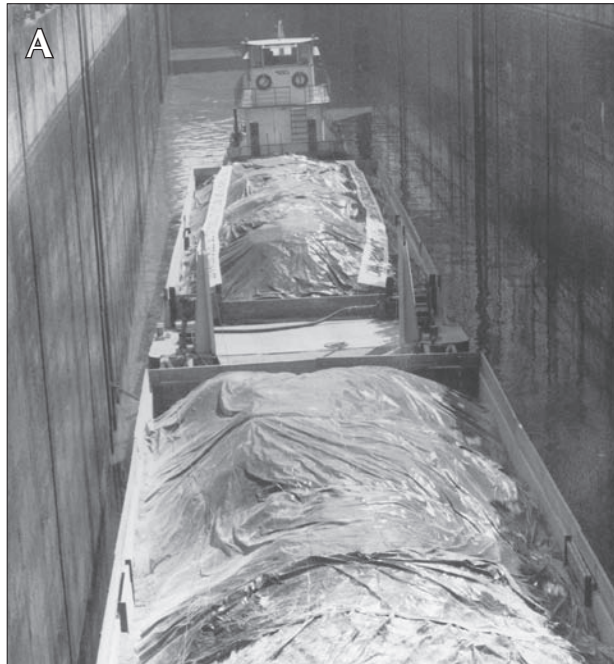


Figura 4

(A) Comboio Tietê na Eclusa de Ibitinga (SP).
 (B) Capacidade de carga e ocupação de espaço físico.

B CAPACIDADE DE CARGA E OCUPAÇÃO DE ESPAÇO FÍSICO			
Modais	Hidroviário	Ferrovário	Rodoviário
Capacidade de carga	1 comboio duplo Tietê (4 chatas e empurrador) 6.000 t	2,9 comboios Hopper (88 vagões de 70 t)	172 carretas de 35 t Bi-trem Graneleiras
	Comprimento 150 m	Comprimento 1,7 km	Comprimento 3,5 km (26 km em movimento)

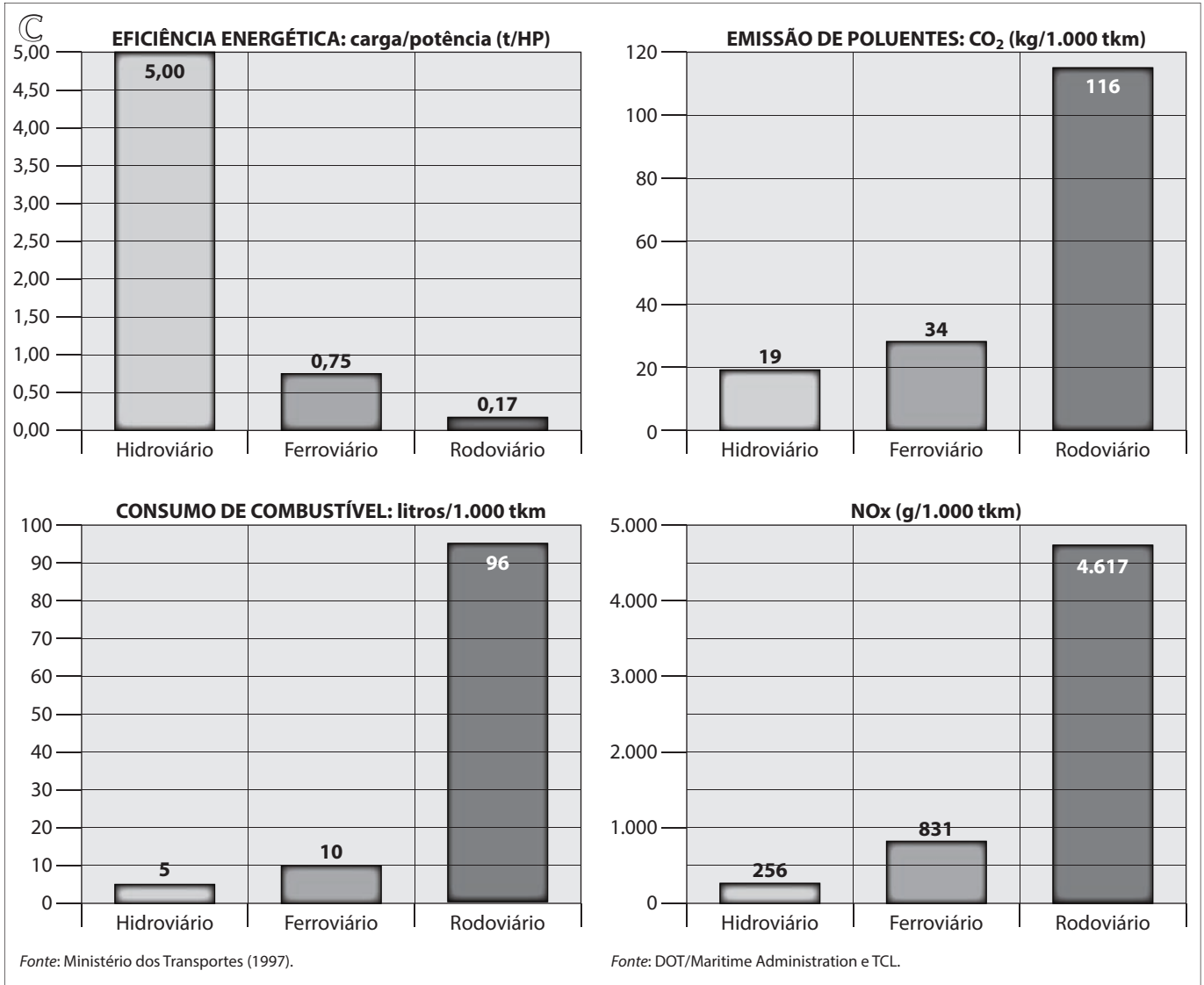


Figura 4
(C) Eficiência energética, consumo de combustível e emissão de gases de efeito estufa.

O transporte hidroviário interior no Brasil movimentou, em 2012, cerca de 30 milhões de toneladas, e os principais produtos transportados foram os granéis sólidos (minérios, soja e derivados e trigo), seguidos de granéis líquidos, sendo incipiente a movimentação de carga geral (Antaq, 2013).

Nas Figuras 5 a 10 estão apresentadas algumas das possibilidades de a rede hidroviária integrar-se aos planos de desenvolvimento do país, conforme os comentários a seguir.

Os polos de desenvolvimento geradores de transportes na região da Amazônia Legal Brasileira são classificados em urbanos, agroflorestais, de mineração e de fronteira (ver Figura 5). A conexão desses polos entre si e com a rede básica de transportes dos países que integram a Bacia Amazônica, a adoção do transporte hidroviário como referência, ao qual os outros modais devem integrar-se, complementando-o, a integração nacional no exercício da soberania brasileira e a



Figura 5
 Mapeamento de polos de desenvolvimento da Amazônia Legal Brasileira.

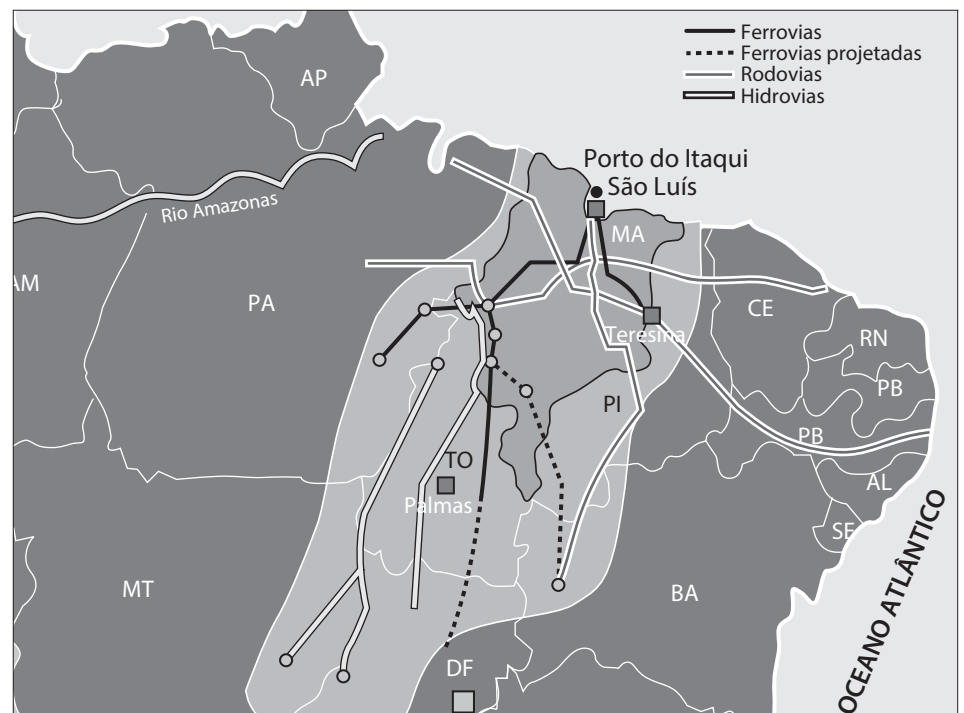
integração comercial e econômica com os países limítrofes, são os critérios que se complementam e interagem na configuração do sistema básico de transportes da Amazônia Legal Brasileira. Os pressupostos para o desenvolvimento da Amazônia Legal Brasileira estão na possibilidade de oferecimento de três acessos às rotas comerciais marítimas (Pacífico, Atlântico e Caribe), nas estratégias de penetração fluvial e expansão da fronteira agrícola (ver Figuras 6 e 7) e na questão da preservação ambiental. De fato, os corredores de transporte da Amazônia Legal Brasileira e as ligações com o exterior até o ano 2020 estão delineados na Figura 8, podendo ser subdivididos em: consolidados (Araguaia-Tocantins, Amazonas-Solimões e Fronteira Noroeste), em vias de consolidação, em formação, e de integração continental. A rede hidroviária da região continuará a exercer influência preponderante, devendo o transporte deste modal receber maior prioridade, com maior volume de investimentos, para ter maior eficiência. Os principais portos marítimos e flúvio-marítimos brasileiros, que deverão capacitar-se para a movimentação de cargas da Amazônia, são Manaus (AM), Itacoatiara (AM), Santarém (PA), Macapá (AP), Belém (PA), Vila do Conde (PA) e Ponta da Madeira-Itaqui (MA), cuja *hinterland* encontra-se delineada na Figura 7.

O transporte hidroviário interior é utilizado, em escala comercial, no escoamento de produtos agrícolas nas seguintes hidrovias: Madeira, Tietê-Paraná, Paraguai-Paraná e Jacuí-Taquari-Lagoa dos Patos. Na safra 2011/2012, o Brasil exportou

Figura 6
Mapeamento das estratégias de ocupação da Amazônia Legal Brasileira.



Figura 7
Mapeamento da área de influência logística do Complexo Portuário do Maranhão (Ponta da Madeira-Itaqui - Alumar).



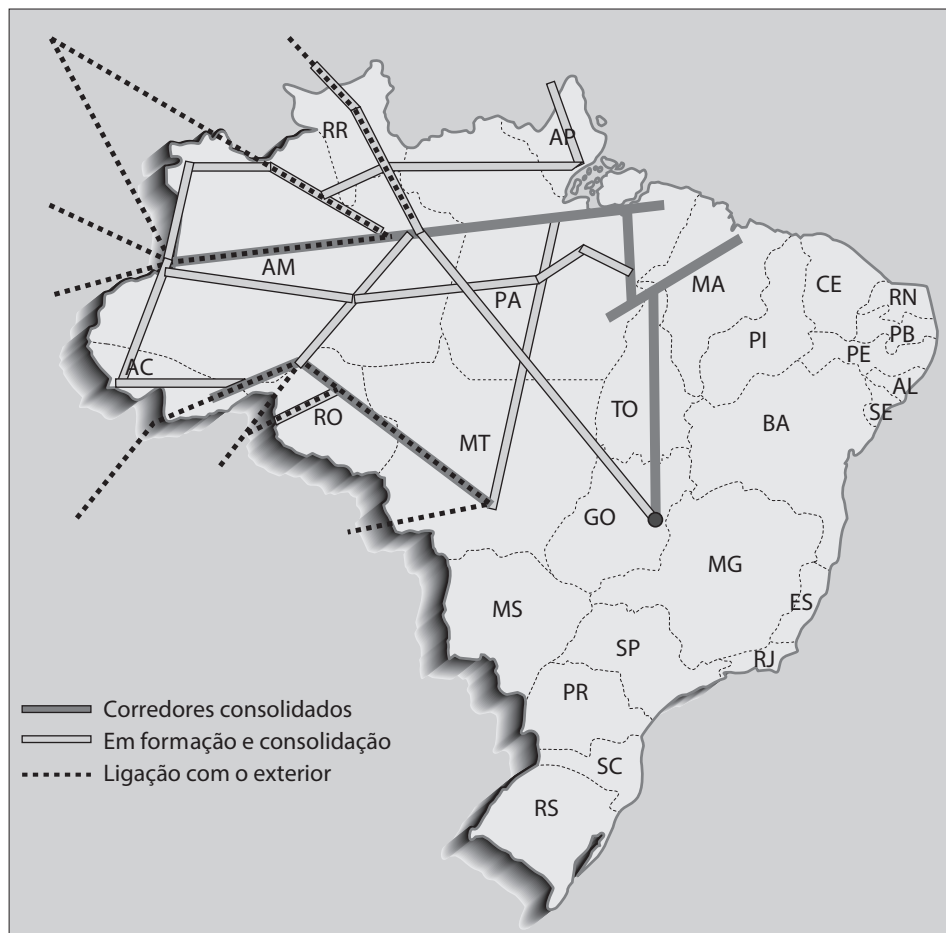


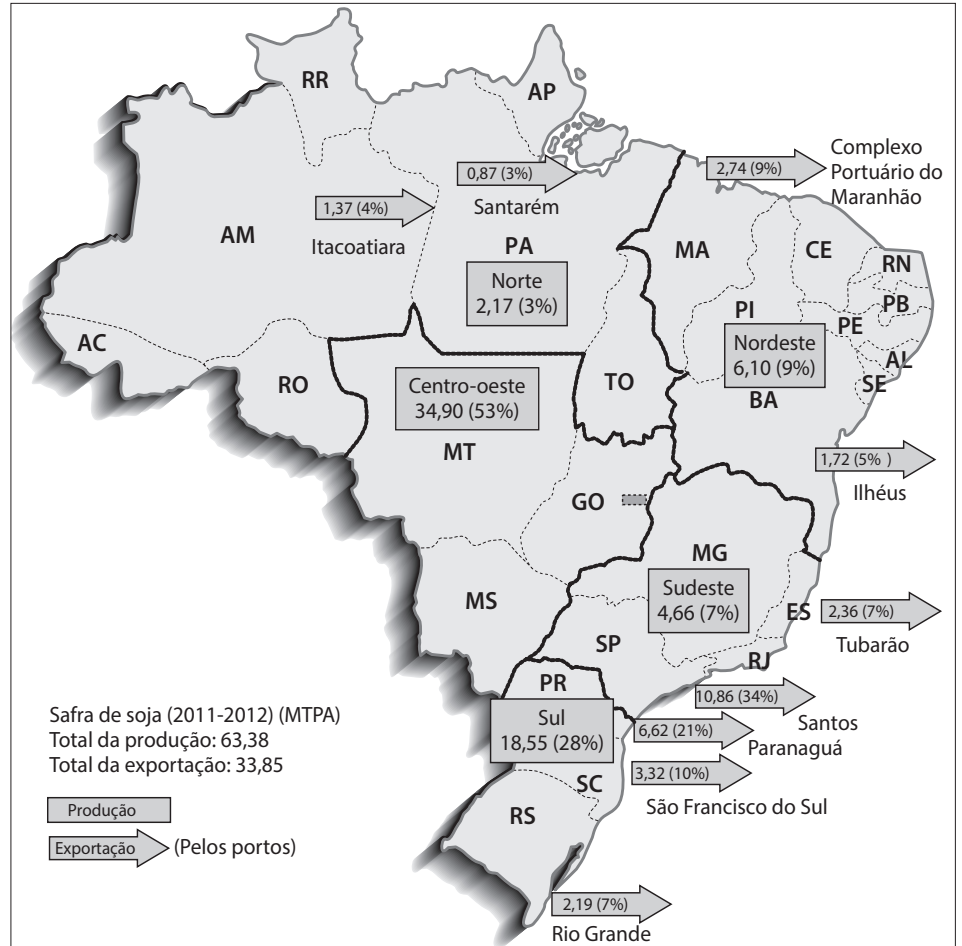
Figura 8
Mapeamento de corredores de transporte da Amazônia Legal Brasileira e as ligações com o exterior.

34 milhões t de soja principal produto do agronegócio nacional. O Centro-Oeste possui a maior área potencial (52% da área potencial nacional) na soja do cerrado. A receita obtida com a comercialização das safras por região mostra a importância da logística do transporte interno às regiões de trituração e/ou exportação na definição dos ganhos dos produtores, sendo que o país exporta o grão *in natura*, farelo e óleo. A Figura 9 mostra esquematicamente a produção nacional e o volume de exportação por porto na safra 2011/2012. A safra 2012/2013 de grãos do Brasil atingiu 185 milhões de toneladas, no entanto, o predomínio do frete rodoviário sobre o hidroviário torna-o 3,4 vezes mais caro do que o predominante frete hidroviário utilizado no transporte de grãos dos EUA.

A utilização de sistemas multimodais de transporte, com ênfase no transporte hidroviário, aliada ao posicionamento da carga em portos exportadores capazes de receber navios graneleiros Panamax ou Capesize mais próximos ao destino final do produto, trará uma redução do custo total de transporte até o consumidor, e aumentará a competitividade do produto brasileiro a nível internacional, como já foi conseguido com o produto da região Sul. Esta concepção beneficiará fundamentalmente as novas fronteiras, penalizadas atualmente pelas grandes distâncias entre as áreas de produção e os portos de exportação e pela utilização, quase que exclusiva, do modal rodoviário. Assim, nas próximas décadas, as hidrovias do Araguaia-Tocantins, São Francisco, Tapajós-Teles Pires e Capim e os portos de Itacoatiara

Figura 9

Mapeamento da produção e exportação de soja na safra 2011-2012 (grãos, em milhões de toneladas) e percentuais em relação à produção nacional e exportação total pelos principais portos e terminais.



(AM), Santarém (PA), Santana (AP), Vila do Conde (PA) e Ponta da Madeira-Itaqui (MA) terão importância crescente no sistema logístico de tornar cada vez mais competitiva a comercialização da produção de soja do Cerrado brasileiro, que se constituirá na principal região produtora do país. A movimentação por modais da produção de soja é de: 10% pela hidrovía (a mais barata), 35% pela ferrovia e 55% pela rodovia.

As distâncias internas no Sistema Hidroviário do Mercosul são relativamente reduzidas e, por isso, o uso da integração intermodal dos transportes é de difícil aplicação. Os custos dos transbordos acabam absorvendo as vantagens proporcionadas pelo menor frete oferecido pelo transporte hidroviário interior. Por isso, é indispensável que sejam incentivados os empreendimentos localizados junto às hidrovias, e que possam servir-se das hidrovias para escoamento da produção ou para se suprirem de matérias-primas, reduzindo seus custos de compras e distribuição. É importante destacar que as hidrovias, os portos organizados e terminais de uso privativo do Sistema Hidroviário do Mercosul (ver Figura 10) formam atualmente o mais importante sistema de transporte aquaviário do Brasil, abrangendo o Sistema Hidroviário do Rio Grande do Sul (Jacuí-Taquari-Lagoa dos Patos, Ibicuí e Uruguai), a Hidrovia Tietê-Paraná e a Hidrovia Paraguai-Paraná. Com a integração do Sistema Hidroviário do Rio Grande do Sul à Hidrovia do Rio Paraná, de

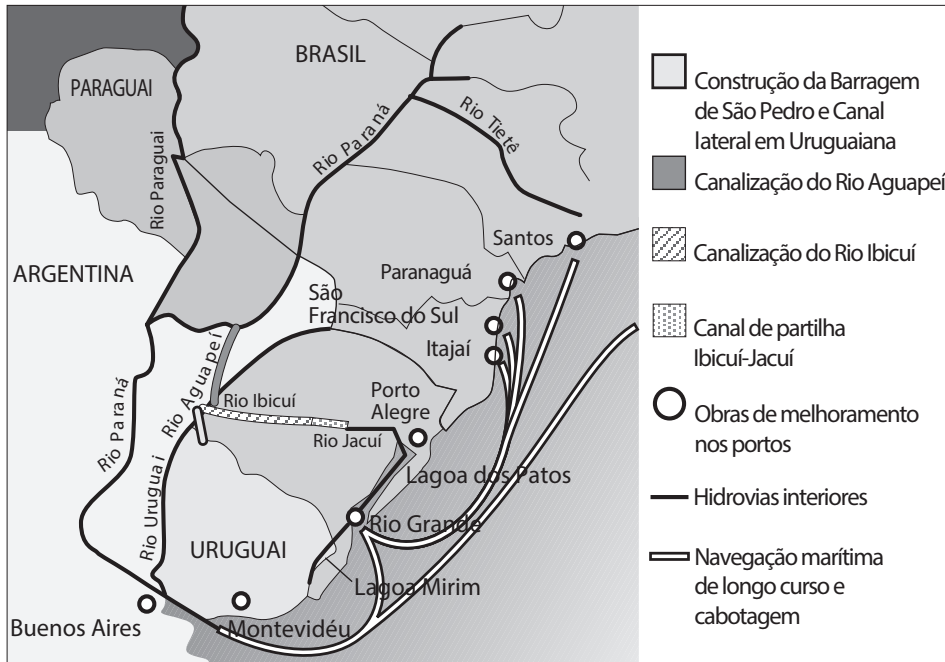


Figura 10
Mapeamento do sistema Hidroviário do Mercosul.

acordo com as etapas apresentadas na Figura 10, haverá a garantia de continuidade de 10 mil km de hidrovias interiores, com acesso aos portos de Rio Grande (calado de 16 m), Buenos Aires (calado de 10 m) e Montevideú (calado de 10 m).

2 PANORAMA DO GERENCIAMENTO COSTEIRO NACIONAL

Em 1988, a Lei nº 7.661 instituiu o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro, e foi seguida pelas legislações estaduais, visando estabelecer diretrizes quanto ao uso e à ocupação das áreas costeiras brasileiras, que abrangem 17 estados da Federação.

A zona costeira brasileira abriga uma grande diversidade de ecossistemas de alta relevância ambiental, alternando: mangues, marismas, restingas, campos de dunas, estuários, lagunas, deltas, recifes de corais, costões, além de outros ambientes, com significativa riqueza natural e ambiental (Figura 11), o que exige uma ordenação no processo de ocupação, gestão e controle (Figuras 11 a 13). Como exemplo de áreas em que a ocupação urbana da costa gerou fortes erosões, segundo o Ministério da Integração Nacional, apresentam-se nas Figuras 14 três situações em localidades com praias conhecidas do litoral brasileiro. Segundo Brasil/Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal (1996), as áreas de risco ambiental envolvem, quanto à sua origem, vulnerabilidade dos sistemas naturais, densidade da estrutura produtiva e criticidade das condições de habitabilidade, associadas às escalas local, regional e nacional.

As questões mais relevantes no âmbito deste texto referem-se à aceleração da erosão de nossas costas e à sua deterioração, bem como à gestão de áreas estuárias, por se constituírem em berçários da vida marinha.



Figura 11

Ecosistemas brasileiros

A) Mangue alto do Rio Preguiças (MA).

B) Marismas ou pântano salgado.

C) Campo de dunas dos Lençóis Maranhenses (MA).

D) Costão da Ilha do Cardoso (SP).

Muitas atividades antrópicas, como as obras de regularização e estabilização de rios e a mineração em áreas fontes de sedimentos, privam as costas de seu natural suprimento de areias. Agregam-se, ainda, as obras portuárias, de melhoramento de embocaduras e dragagens de manutenção. Com a redução do estoque de areia, as praias anteriormente estáveis emagrecem ou desaparecem. Como exemplo, podem ser citados:

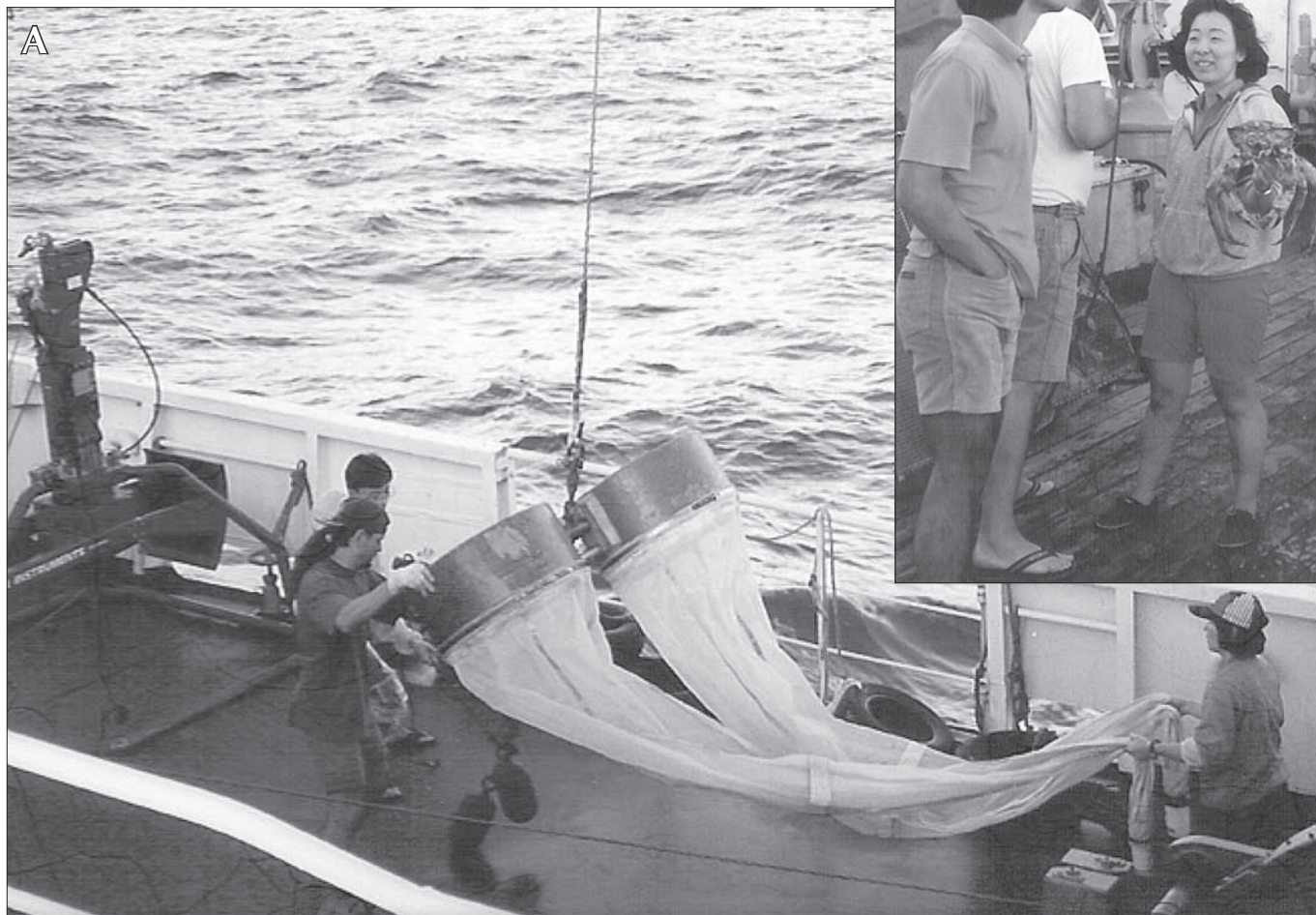
- As áreas deltaicas dos rios Paraíba do Sul (RJ) e São Francisco (SE/AL), que estão sofrendo processo erosivo em virtude das obras fluviais implantadas na década de 1950.
- Os processos erosivos nas praias da Região Metropolitana de Fortaleza (CE), após a construção do Molhe do Titã para a implantação do Porto de Mucuripe na década de 1940, os processos erosivos nas praias de Olinda (PE) em função das obras portuárias no Recife (PE), a erosão nas praias de São José do Norte nas décadas subsequentes à de 1910, após a implantação dos molhes de Rio Grande (RS), e a erosão na Ilha do Mel (PR) com o aprofundamento por dragagem do Canal Galheta para acesso ao Porto de Paranaguá (PR), na década de 1970.

Figura 12

Coletas de biota na Plataforma Continental Norte do Estado de São Paulo.

A) Rede bongo para coleta de plâncton.

B) Caranguejo *Chaceon ramosae* (caranguejo real).

**Figura 13**

Equipamentos em laboratório de Análise Micro Paleontológica (São Paulo, Estado/DAEE/SPH/CTH).



Figura 14

(A) Erosão da Avenida Beira-Mar em Balneário Piçarras (SC) após as tempestades ocorridas em meados de 2011. Em 1999 a praia havia sido alimentada artificialmente com cerca de 880.000 m^3 ao longo de 2.200 m. A partir de 2006, 70% deste estoque foi perdido. Sua perda de areia em média é de 15 m^3 por metro de praia, por ano, mas em anos como 2009 e 2010 a perda aumentou para $50 \text{ m}^3/\text{m}$.

(B) Trechos do calçadão da Praia de Ponta Negra em Natal (RN) após os efeitos da ressaca de meados de 2012. Solapamento do muro e perda do material de aterro, danificando as redes de água, esgoto e eletricidade.



**Figura 14**

(C) A construção de 1.370 m de barra-mar dissipador de energia tipo "bagwall" foi concluída em 2012 na Praia de Icarai, em Caucaia (CE). Em 1/3/2013 forte ressaca destruiu cerca de 50 m da estrutura, devido à fuga de material do aterro e à força das ondas que tombaram a estrutura.

A falta de planejamento sustentável em muitos casos permitiu o avanço da urbanização muito próximo das linhas de costa, desencadeando ou agravando o problema erosivo. Como exemplo, podem ser citadas:

- A impermeabilização ou remoção dos campos de dunas, como no caso de Fortaleza (CE) e de muitas outras localidades costeiras, como Saquarema (RJ) e Itanhaém (SP).
- A implantação de edificações e avenidas beira-mar nas áreas de pós-praia, como em São Vicente (SP), Itanhaém (SP) e Caiobá (PR) e em várias outras localidades à beira-mar.

O chamado efeito estufa é um problema global, que no futuro próximo agravará as questões relacionadas à erosão costeira pela gradual elevação do nível médio do mar, além de anomalias climáticas naturais de longo período que afetam a dinâmica costeira.

Questões ambientais ligadas à gestão estuarina dizem respeito à alteração do prisma de maré, reduzindo as correntes de maré e a capacidade de renovação das águas, ou à alteração da mistura das águas doces e salgadas (intrusão salina). Como exemplo, podem ser citadas:

- A construção da Barragem do Bacanga no Estuário de São Luís (MA) na década de 1960, que interceptou considerável volume do prisma de maré e promoveu o entulhamento dos canais navegáveis do antigo Porto de São Luís e de sua embocadura.
- A construção do Valo Grande em Iguape (SP), que a partir de 1840 pôs em comunicação as águas doces do Rio Ribeira do Iguape com o Mar Pequeno, e as vazões das Usinas Henry Borden em Cubatão (SP), que descarregam as vazões de água doce do Alto Tietê no Estuário Santista.

A questão da gestão da água de lastro dos navios é uma grande preocupação global, em virtude de ser o lastro transportador de espécies biologicamente exóticas e outros contaminantes. Essas espécies exóticas podem ser infectantes, como o vibrião do cólera e algas venenosas, ou invasoras, predadoras da fauna e flora aquáticas (bentos, plâncton, nécton e vegetação de terras úmidas), em outras áreas portuárias em que o navio descarregará o lastro (ver Figuras 15(A) e (B)), reduzindo a biodiversidade. A disposição costeira dos efluentes por emissários submarinos e a avaliação da dispersão de efluentes, em situações de acidentes por derramas de produtos contaminantes, estão abrangidas nas preocupações ambientais do gerenciamento costeiro.

A legislação em vigor exige a apresentação de Estudo de Impacto Ambiental para os projetos costeiros e a implantação de medidas mitigadoras ou de remediação incluídas no projeto, se forem identificados impactos negativos. No Brasil há uma crescente pressão para o desenvolvimento das atividades costeiras, mas também um desejo preservacionista, o que cria uma situação conflitiva, a qual somente pode ser solucionada por uma política sustentável de gerenciamento costeiro.

A condução de uma política sustentável de gerenciamento costeiro tem de considerar os processos marítimos, as estratégias de gerenciamento visando atingir a meta almejada e as possibilidades e soluções gerenciais. Nesse contexto, é funda-

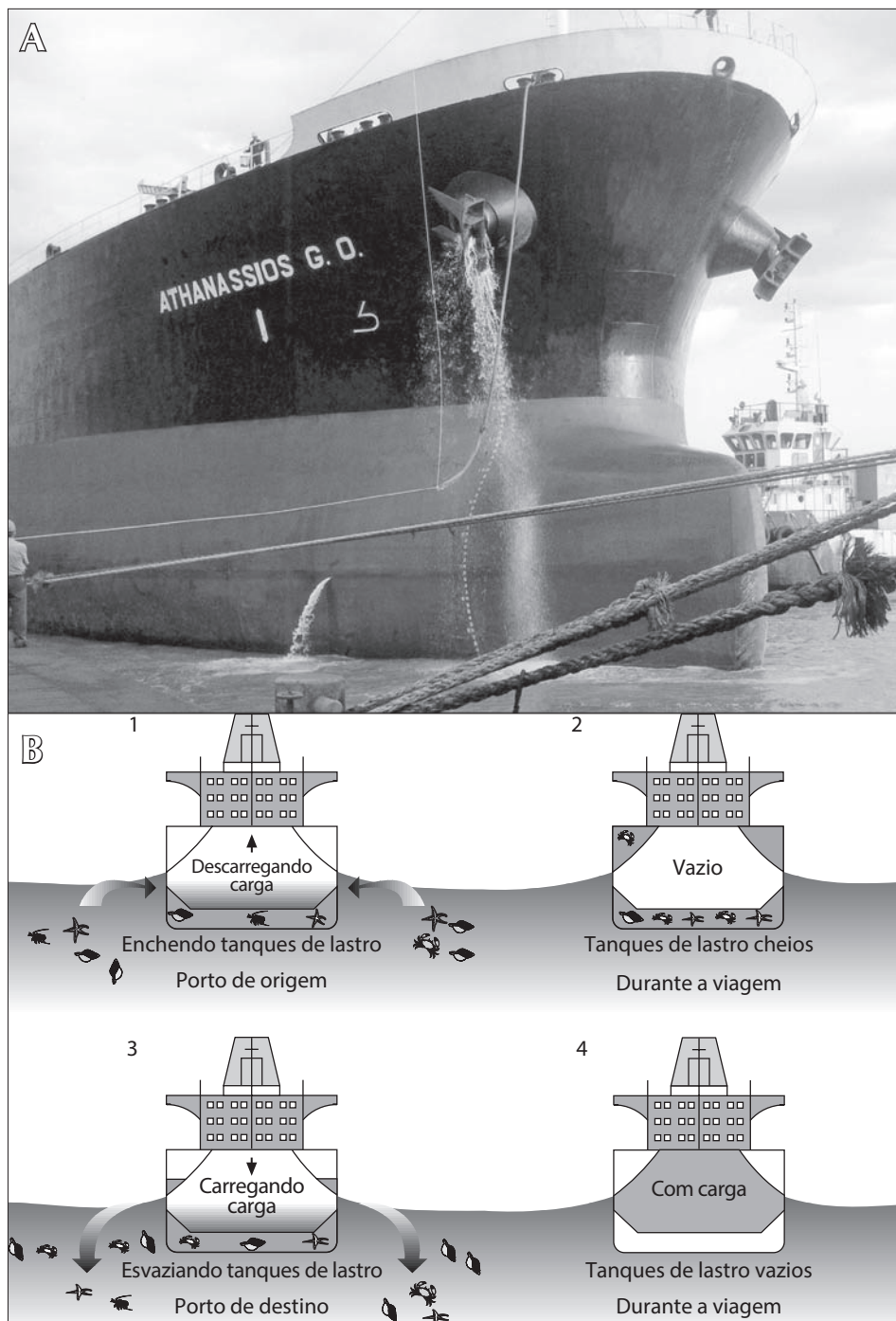


Figura 15

(A) Navio descarregando lastro no Complexo Portuário de Ponta da Madeira da Vale em São Luís (MA).
(B) Etapas de contaminação por água de lastro.

mental que os planejadores e tomadores de decisão estejam assessorados pelo profissional especialista em Hidráulica Marítima, cujo conhecimento deve ser transmitido, de forma objetiva, para a opinião pública.

A gestão integrada da costa brasileira deve nortear-se nos próximos anos pelas seguintes recomendações:

- Estabelecimento de níveis de criticidade de gestão a partir do zoneamento ecológico-econômico, permitindo a instituição de normas reguladoras do uso dos terrenos.
- Os grandes problemas ambientais decorrem, sobretudo, de ocupações e obras inadequadas. A maior vulnerabilidade corresponde às metrópoles e ilhas costeiras, e tende a acentuar-se em função dos projetos de infraestrutura. Assim, o elemento primordial para a gestão é a prevenção, sem prejuízo das ações de recuperação já iniciadas. No caso das regiões metropolitanas, é recomendável definir sua capacidade de suporte e estabelecer as exigências e normas para novas implantações. No caso das áreas não comprometidas, o ecoturismo regulamentado parece uma boa alternativa, quando associado a opções de exploração sustentável dos recursos naturais em escala artesanal.
- É fundamental integrar as ações, articulando o gerenciamento costeiro com a das bacias hidrográficas, em nível continental, e com o programa Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva – REVIZEE, em nível marítimo.
- Monitoramento em tempo real, integrando sensoriamento remoto provindo de redes telemétricas, radar meteorológico e imageamento de satélite (Figura 16).

3 FUNDAMENTOS SOBRE PORTO CONCENTRADOR DE CARGA E CABOTAGEM

3.1 Introdução

São conhecidas as dificuldades do intercâmbio comercial dos países do Atlântico Sul com os demais continentes, e a maior é a chamada distância econômica aos principais polos comerciais globais do Hemisfério Norte, motivo de eleição de poucos portos, quicá um, concentradores (*hub port*) no Atlântico Sul para alcançar os

Figura 16
Sala de Situação do CEMADEN
(Centro de Monitoração Ambiental
de Desastres Naturais).



objetivos de reduzir o tempo de viagens internacionais – dos navios de longo curso –, reduzir fretes, atrair linhas de navegação, ganhar em economia de escala e aumentar negócios de exportação e importação. Essa conduta tem exemplos bem-sucedidos em países geopoliticamente estratégicos com estrutura portuária avançada (Figura 17(A)), conhecimento e respeito às condicionantes de logística, economia estável, entre outras situações favoráveis: os Complexos Portuários de Rotterdam (Europor- to), que em 2010 movimentou mais de 430 MTPA e o Porto de Shanghai, que em 2011 movimentou 31,5 milhões de TEUs⁴, cada um deles sendo modelo do estado da arte portuária do mundo globalizado. Tais terminais conseguem movimentar quase 300 TEU/h. Em 2012 o Brasil movimentou 5,2 milhões de TEUs, e uma movimentação total de 904 MTPA. Em movimentação de carga total a China é o primeiro país do mundo, com 6 BTPA em cerca de 2 mil portos.

As premissas necessárias para atender os requisitos de porto concentrador de carga são de ordem geoeconômica, geoestratégica, de estrutura portuária e logística, considerando uma Política de Gestão Integrada – PGI, que vise harmonizar e integrar os Sistemas de Normalização, Gestão de Qualidade – SGQ, Gestão de Saúde e Segurança Ocupacional – SGSS e Gestão Ambiental – SGA para propiciar sus-

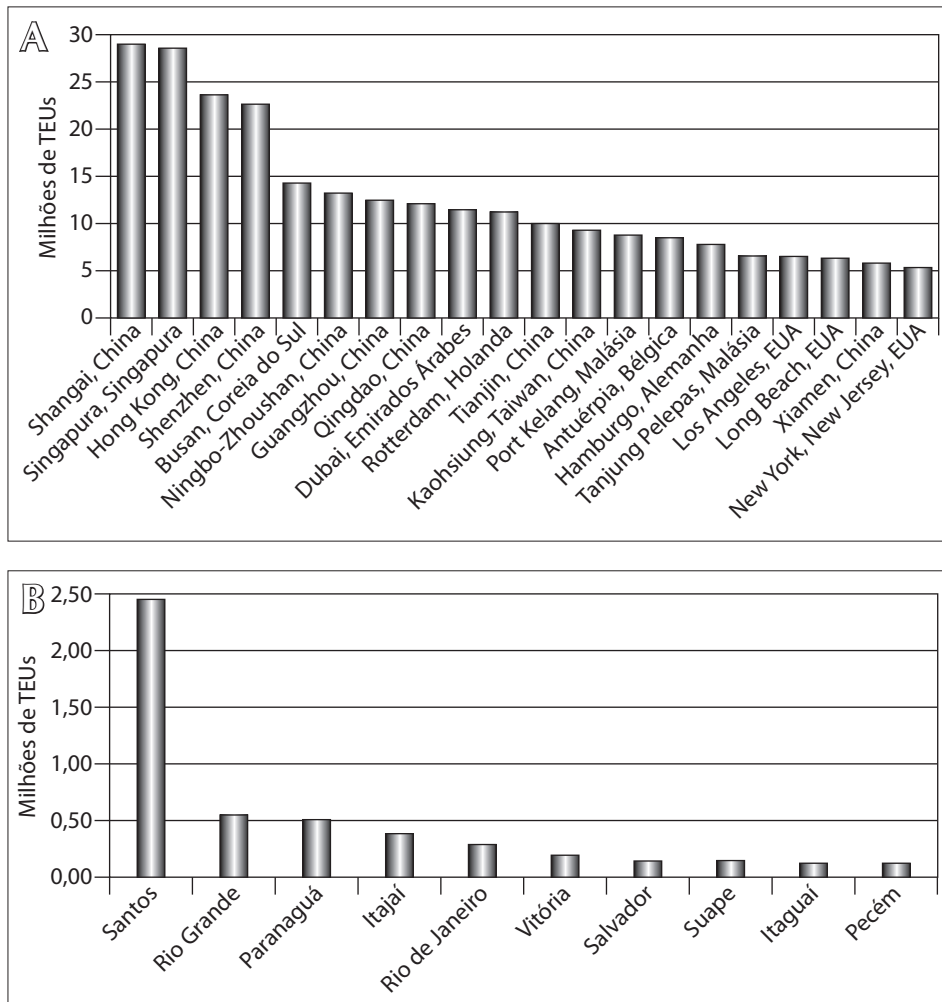


Figura 17

(A) Maiores portos em movimentação de contêineres do mundo em 2010.

(B) Maiores TECONs brasileiros em 2010.

4 TEU – Unidade equivalente a contêiner de 20 pés (*Twenty-feet equivalent unity*).

tentabilidade ao fomento econômico e ao desenvolvimento social requerido pelos grandes importadores, como a União Europeia e os Estados Unidos, e as barreiras norte-americanas contra o terrorismo.

No âmbito das premissas estabelecidas, deve-se avaliar a área econômica de influência, a concorrência, a profundidade de projeto dos canais, os acessos viários terrestres, o suporte intraportuário (recepção/pulmão/expedição) duto, rodo e ferroviário, as configurações de zoneamento e operações que considerem boas profundidades e retroárea ou retroporto, reduzindo congestionamentos e conflitos na área de circulação. Para as distâncias continentais de transporte entre regiões do Brasil, em especial aquelas com potencial marítimo, é fundamental promover a sustentabilidade da navegação de cabotagem, gerando o aumento e a consistência para o serviço de distribuição (*feeder*) com programas imediatos, de médio e longo prazo, projetando e consolidando o porto concentrador do Atlântico Sul.

Os *hub ports* devem atender à navegação de longo curso, distribuindo ou recebendo cargas de portos de menores dimensões (*gateways*), os quais operam no atendimento à demanda interna dos países.

De acordo com o conceito internacional e a definição legal, cabotagem é o transporte de carga realizado pelo sistema aquaviário entre portos nacionais. Pelo fato de tais conceito e definição não discriminarem a condição aduaneira da carga – nacional, nacionalizada ou em trânsito –, os transbordos, de ou para portos nacionais, são operações de cabotagem, independentemente do seu porto de destino ou origem. O conceito internacional dos portos que realizam as operações de transbordo (*transshipment*) é definido como concentrador (*hub port*).

Uma comparação de capacidade de transporte de contêineres entre os diversos modais leva à seguinte equivalência:

- 1 Porta-contêiner de longo curso (60 mil tpb) de 6 mil TEUs;
- 2 *Feeders* de longa cabotagem (30 mil tpb) de 3 mil TEUs;
- 12 *Feeders* de curta cabotagem (5 mil tpb) de 500 TEUs;
- 100 composições ferroviárias de 60 TEUs;
- 3. mil carretas rodoviárias de 2 TEUs.

Para ter uma ideia do crescimento do porte dos navios conteneiros em 60 anos (1956 a 2013) tivemos as seguintes gerações:

- 1.^a Navios adaptados para 1.000 TEUs (200 m × 25 m × 10 m);
- 2.^a Navios celulares para 2.500 TEUs (215 m × 25 m × 11 m);
- 3.^a Navios Panamax para 4 mil TEUs, 50 mil tpb (290 m × 32 m × 12 m);
- 4.^a Navios Post Panamax para 5 mil TEUs, 65 mil tpb (305 m × 42 m × 14 m);
- 5.^a Navios Post Panamax Plus para 9 mil TEUs, 115 mil tpb (335 m × 46 m × 15 m);
- 6.^a Navios NPX New Panamax para 11 mil a 15.500 TEUs, até 180 mil tpb (400 m × 56 m × 16 m).
- 7.^a Navios EEE e Ultra Large Container para 18 mil a 22 mil TEUs, até 250 mil tpb (470 m × 59 m × 17 m).

A sexta geração de navios conteneiros tem como maior navio o Emma Maersk de 15.200 TEUs, 175 mil tpb e dimensões de 397 m × 56,4 m × 16,0 m. A sétima

geração extrapola as dimensões do novo Canal do Panamá (366 m × 49 m), sendo que o primeiro contêiner da classe EEE de 18 mil TEUs foi lançado em 2013⁵. Os contêineres NPX de 12.500 TEUs serão os grandes utilizadores do Canal do Panamá em eclusas maiores.

Essa análise está focada no mercado de carga de alto valor agregado definida como carga geral, solta e containerizada. A matriz de transporte desse tipo de carga encontra-se significativamente deformada no Brasil, mas o atual momento dá indicações de recuperação, de acordo com os dados da Agência Nacional de Transportes Aquaviários – Antaq e da Companhia Docas do Estado de São Paulo, administradora do Porto de Santos.

De forma abrangente, à cabotagem pura associam-se o serviço de distribuição (*feeder* da carga de longo curso) e o serviço de transbordo (*transshipment*, descarga e carregamento de longo curso), resultando em um modelo de porto concentrador (*hub port*) do Atlântico Sul: Costa Leste Sul-Americana e África.

Pelo menos quatro portos no Brasil, Santos, Itaguaí, Suape e Rio Grande, além dos portos de Montevideu (Uruguai) e Buenos Aires (Argentina), apresentam credenciais a concentradores de carga no Atlântico Sul, notadamente para carga geral, solta e containerizada. O Porto de Santos detém o melhor resultado na soma dos requisitos de porto concentrador de carga do Atlântico Sul, atingindo, em 2013, 3.448.879 TEUs, sendo o principal porto em movimento de contêineres do Hemisfério Sul, o quarto das Américas e entre os 40 maiores do mundo. A sua movimentação total em 2013 superou 114 MTPA.

Balança comercial

Em 2012 a participação cambial financeira do Porto de Santos na Balança Comercial brasileira representou 26% de todo o volume financeiro do país. O valor FOB em 2012 foi de US\$ 120 bilhões (Tabela 2), com um movimento médio diário de US\$ 329 milhões, que pode dobrar em épocas de pico.

Essa participação, nas exportações brasileiras chegou a 27,3% (US\$ 64 bilhões). Já nas importações foi de 23% (US\$ 56,2 bilhões).

A Tabela 3 apresenta um resumo das características gerais do Porto de Santos.

Movimento do Porto de Santos por natureza de carga

No Porto de Santos, por natureza de carga, a composição movimentada em 2010 está apresentada na Tabela 4, sendo que da carga geral 31% foi containerizada e 69% solta (segundo a CODESP).

A Tabela 5 apresenta o elenco das principais cargas movimentadas no Porto de Santos entre 2007 e 2010 (segundo a CODESP).

Movimentação de veículos no Porto de Santos

A movimentação de veículos no Brasil teve início de forma pioneira na década de 1980 no Porto de Santos por navios *roll on-roll off*. A Tabela 6 apresenta a evolução dos dados (segundo a CODESP).

⁵ Em 21 de agosto de 2013 o MV Maersk Mc-Kinney Møller, o maior contêiner do mundo, fez sua primeira atracação no Porto de Gdansk (Polônia). Ele custou US\$ 185 milhões.

TABELA 2
Participação dos portos na Balança Comercial Brasileira

Portos	2007		2008		2009		2010	
	US\$ bi	Part. %	US\$ bi	Part. %	US\$ bi	Part. %	US\$ bi	Part. %
Santos	71,5	25,4	91,7	24,7	74,0	26,4	95,8	25,0
Vitória	20,6	7,3	28,9	7,8	19,6	7,0	33,1	8,6
Itaguaí	14,0	5,0	19,7	5,3	15,5	5,5	25,1	6,5
Paranaguá	18,0	6,4	24,0	6,5	19,2	6,8	24,4	6,4
Rio de Janeiro	13,0	4,6	17,3	4,7	12,6	4,5	16,3	4,3
Rio Grande	13,7	4,9	17,5	4,7	14,0	5,0	15,8	4,1
Itaquí	8,2	2,9	13,1	3,5	8,3	3,0	15,6	4,1
Itajaí	8,9	3,2	11,3	3,0	7,9	2,8	14,1	3,7
Manaus	4,9	1,7	7,3	2,0	5,1	1,8	7,6	2,0
São Francisco do Sul	5,8	2,1	8,8	2,4	6,1	2,2	7,3	1,9
Outros portos e aeroportos	102,7	36,5	131,4	35,4	98,3	35,0	128,4	33,5
BRASIL	281,3	100,0	371,0	100,0	280,6	100,0	383,5	100,0

TABELA 3
Características gerais do Porto de Santos (SP) em 2010

Área total do porto organizado	7,7 milhões de m ² .
Administração	Companhia Docas do Estado de São Paulo – Codesp.
Movimentação de cargas – 2012	91,0 milhões de toneladas.
Acessos	Rodoviário: Anchieta-Imigrantes, Cônego Domênico Rangoni, Rio-Santos e Padre Manoel da Nóbrega. Ferroviário: MRS Logística S.A., América Latina Logística – ALL, Malha Paulista e Ferrovia Centro Atlântico – FCA.
Extensão do cais	13 km.
Área de influência primária	São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás.
Principais cargas movimentadas	Contêineres, veículos automotores, produtos siderúrgicos, papel, açúcar, soja, café, milho, trigo, fertilizantes, algodão, carne bovina, carvão mineral, combustíveis derivados do petróleo, álcool e suco de laranja.
Número de berços	53 berços públicos. 11 berços privados.
Profundidade do canal de acesso	13,3 m/12,2 m.
Profundidade dos berços	Entre 7,3 m e 15,0 m.
Horário de funcionamento	24 horas por dia, durante sete dias da semana.
Capacidade de armazenamento	700 mil m ³ de granéis líquidos (tancagem). 2,5 milhões de toneladas de granéis sólidos (estática).
Área de pátio	981 mil m ² .

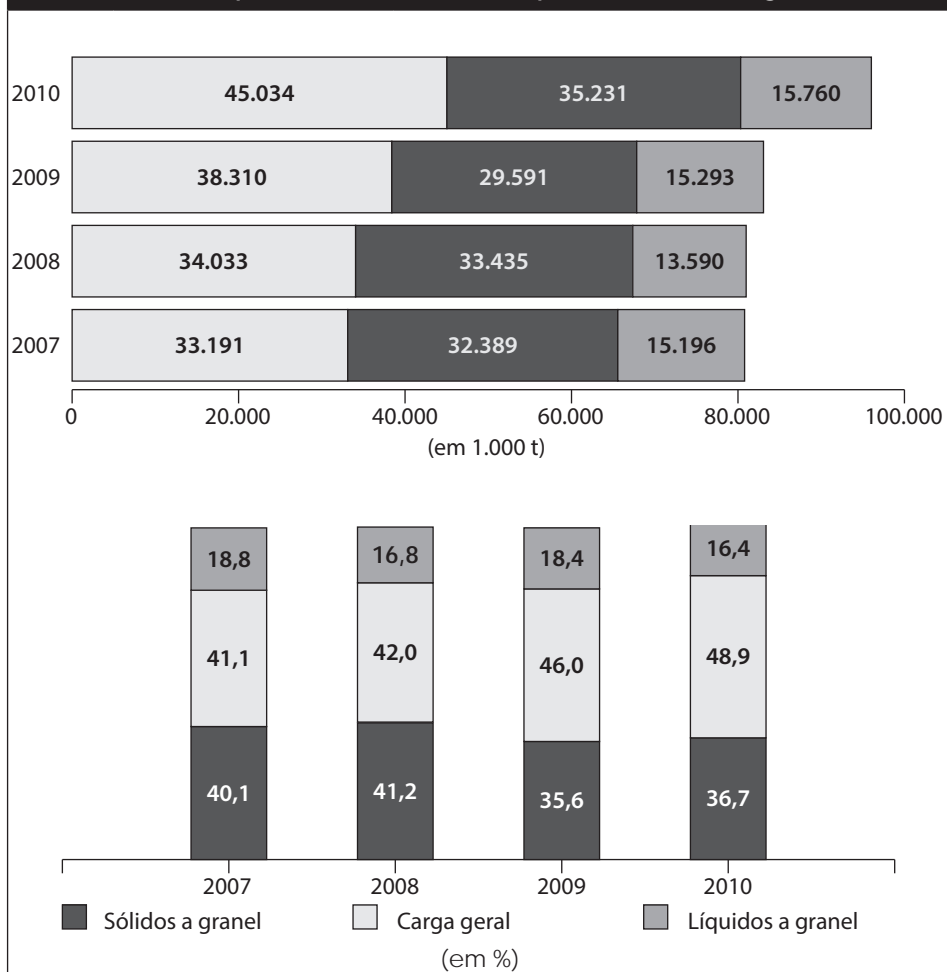
(continua...)

TABELA 3 (continuação)
Características gerais do Porto de Santos (SP)

Equipamentos	<p>45 pás carregadeiras com capacidade entre 1,9 a 3,0 m³. 12 guindastes do tipo automóvel com capacidade entre 5,0 a 140,0 t. 4 guindastes elétricos com capacidade entre 15,0 a 30,0 t. 9 caminhões. 58 veículos do tipo carro-trator. 13 vagões do tipo fechado com capacidade entre 26,0 a 30,0 t. 71 vagões do tipo raso com capacidade entre 30,0 a 55,5 t. 63 vagões do tipo plataforma com capacidade entre 40,0 a 55,0 t.</p> <p>Para movimentação e transporte de cargas em pátios e armazéns nos terminais especializados: 3 transtêineres sobre trilhos com capacidade de 20,0 unid./h. 2 transtêineres sobre pneus com capacidade de 20,0 unid./h. 2 guindastes sobre pneus com capacidade de 5,0 t. 5 <i>stackers</i> com capacidade de 40,0 t. 14 empilhadeiras do tipo especial com capacidade entre 30,0 a 37,0 t. 21 empilhadeiras do tipo comum com capacidade entre 3,0 a 10,0 t. 4 empilhadeiras para <i>clip-on</i>. 2 empilhadeiras para bobinas com capacidade entre 1,2 a 2,0 t. 11 empilhadeiras para desova com capacidade de 2,0 t. 33 veículos do tipo carro-trator. 1 equipamento do tipo pá carregadeira com capacidade de 2,0 m³. 4 equipamentos do tipo pá carregadeira com capacidade de 3,5 m³.</p> <p>Para movimentação de carga na linha do cais comercial: 96 guindastes elétricos com capacidade entre 1,5 a 40,0 t. 4 descarregadores de trigo com capacidade entre 150,0 a 700,0 t/h. 5 embarcadores de cereais com capacidade entre 600,0 a 1.500,0 t/h. 10 esteiras com capacidade entre 300,0 a 900,00 t/h. 2 guindastes do tipo cábreá com capacidade entre 150,0 a 250,0 t/h. 3 portêineres (terminal 37) com capacidade entre 20 a 30 unid./h.</p> <p>Para movimentação de carga nos terminais especializados: 6 portêineres com capacidade entre 20 e 30 unid./h. 10 guindastes elétricos com capacidade de 10,0 t. 1 guindaste elétrico com capacidade de 6,3 t. 52 esteiras com capacidade de 300,0 t/h. 26 esteiras com capacidade de 1.210,0 t/h.</p> <p>Para movimentação e transporte de cargas em pátios e armazéns do cais comercial: 2 transtêineres com capacidade entre 20 a 30 unid./h. 90 empilhadeiras comuns com capacidade entre 3,0 e 30,0 t. 6 empilhadeiras para contêineres com capacidade entre 30,5 a 42,0 t. 18 empilhadeiras para bobinas com capacidade entre 1,2 a 2,0 t. 20 empilhadeiras para desova com capacidade de 2,0 t.</p>
--------------	---

TABELA 4
Composição da carga movimentada no Porto de Santos

Participação na movimentação por natureza da carga



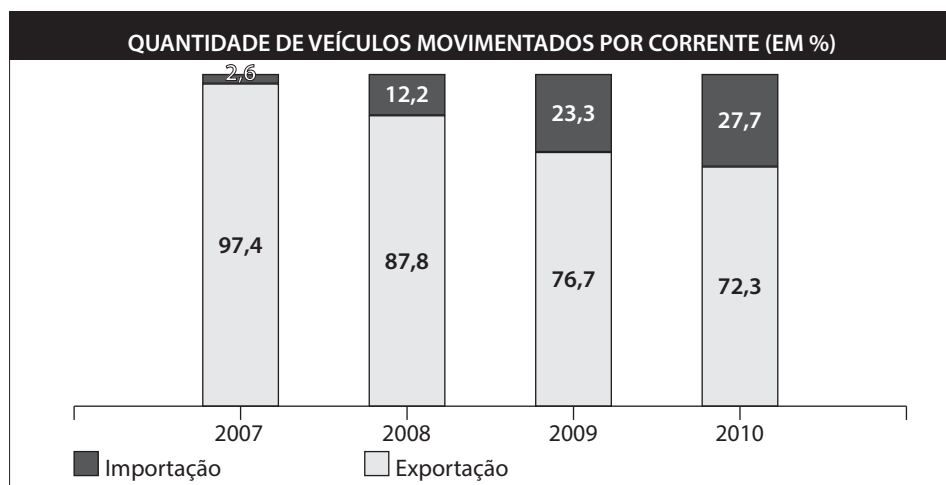
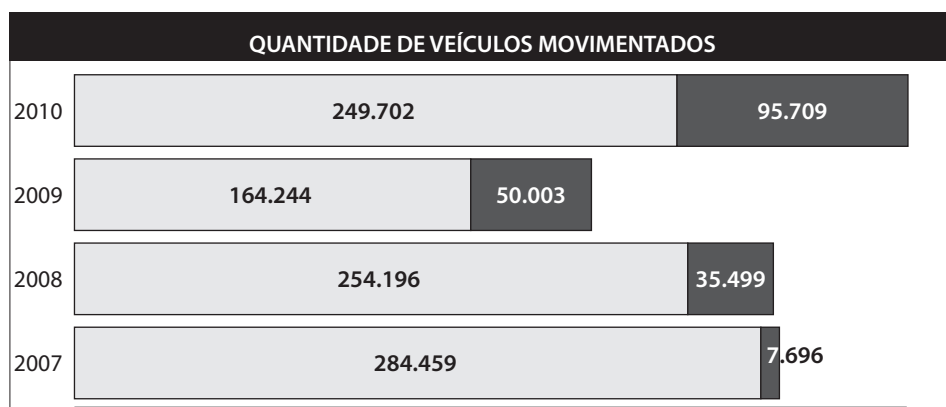
Quantidade de contêineres em TEUs

Ano	Longo curso	Cabotagem	Total
2007	1.489.503	165.210	1.654.713
2008	1.580.113	163.299	1.743.412
2009	1.328.720	142.647	1.471.367
2010	1.612.876	149.329	1.762.205

TABELA 5
Principais cargas movimentadas (em 1.000 t) no Porto de Santos

Principais cargas	2007	2008	2009	2010
Total das cargas contêinerizadas	27.387	29.422	25.006	29.923
Outras cargas contêinerizadas	24.829	24.086	21.980	25.462
(-) Açúcar em contêineres	1.018	1.621	1.530	2.249
(-) Milho em contêineres	-	937	53	26
(-) Produtos siderúrgicos em contêineres	1.346	1.761	1.312	2.026
(-) Suco cítrico em contêineres	194	1.017	131	159
Açúcar	13.236	13.009	16.908	19.452
- Em contêineres	1.018	1.621	1.530	2.249
- Em sacas	1.632	1.187	1.475	1.005
- A granel	10.586	10.201	13.904	16.199
Soja	7.360	10.102	10.635	9.754
- Soja em grãos	5.318	8.404	8.665	8.371
- Soja peletizada	2.042	1.698	1.970	1.383
Milho	2.973	3.270	3.550	5.558
- Em contêineres	-	937	53	26
- A granel	2.973	2.333	3.497	5.532
Carvão	3.367	3.455	2.688	3.928
Produtos siderúrgicos	2.959	2.760	2.582	3.492
- Em contêineres	1.346	1.761	1.312	2.026
- Não contêinerizados	1.613	999	1.270	1.466
Adubo	3.321	3.529	2.516	2.261
Óleo combustível	2.455	1.262	2.258	2.033
Sucos cítricos	1.952	2.783	1.925	1.964
- Em contêineres	194	1.017	131	159
- A granel	1.758	1.766	1.794	1.805
Enxofre	2.009	1.996	1.414	1.852
Óleo Diesel	1.931	1.436	1.686	1.662
Trigo	1.618	1.340	1.242	1.527
Gasolina	954	911	1.357	1.425
Álcool	2.010	2.876	2.071	1.257
Café em grãos	900	959	1.099	1.193
Sal	804	737	962	981
Farelo de arroz	6	448	548	916
Soda cáustica	988	988	767	836
Carnes	771	893	691	699
Sub-total	74.442	76.841	76.879	86.253
Participação %	92,2	94,8	92,4	89,8
Demais cargas	6.334	4.218	6.315	9.772
Total do porto	80.776	81.058	83.194	96.025

TABELA 6 Movimentação de veículos no Porto de Santos				
Ano	2007	2008	2009	2010
Exportação	284.459	254.196	164.244	249.702
Importação	7.696	35.449	50.003	95.709
Total	292.155	289.645	214.247	345.411

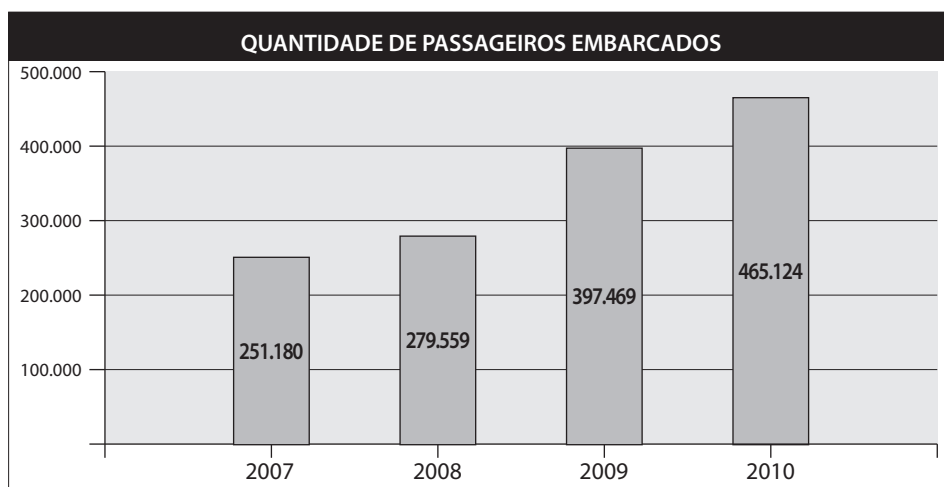


Movimentação de passageiros no Porto de Santos

A Tabela 7 apresenta a evolução da movimentação de passageiros no Porto de Santos (segundo a CODESP). Esta atividade é específica do Terminal de Passageiros para Viagens de Cruzeiro, que vem, consistentemente, crescendo na última década.

TABELA 7
Movimentação de passageiros no Porto de Santos

Ano	Quantidade
2007	251.180
2008	279.559
2009	397.469
2010	465.124



Rotas marítimas de cabotagem e de longo curso

O Porto de Santos é o que no Brasil apresenta a mais completa rede de escalas de longo curso e cabotagem (Figura 18(B)), permitindo movimentação de cargas com todos os continentes e os principais portos comerciais brasileiros.

3.1.1 Sustentabilidade da cabotagem

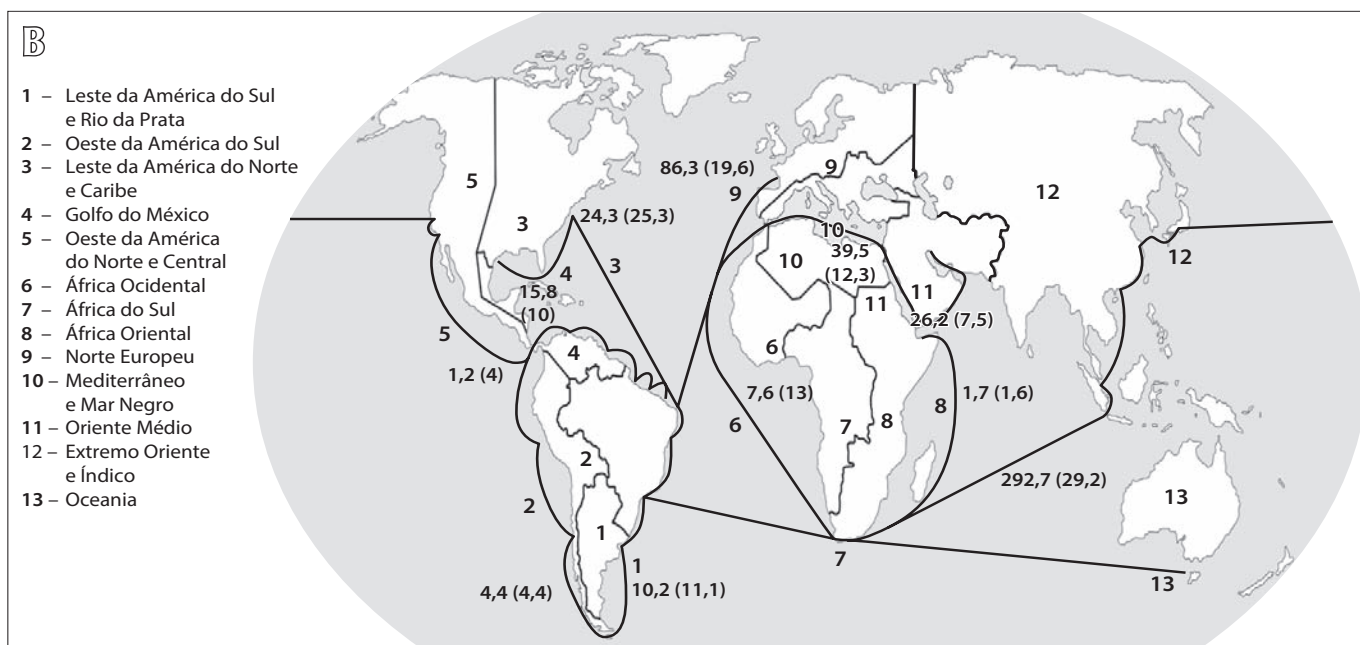
A partir de pesquisas de transbordo e tonelagens movimentadas comparativamente entre os portos (ver Figura 19), é possível evidenciar as potencialidades de cada estrutura e logística portuárias. De fato, as pesquisas de janeiro a junho de 2003, em linhas de navegação, confirmaram o potencial do Porto de Santos como porto concentrador de carga, com 5.659 transbordos – 53% do total de 10.827 TEU – dessa operação realizados entre os portos de Fortaleza e Buenos Aires. Na mesma figura, apresentam-se os dados de pesquisa sobre movimentação de contêineres pelas linhas de navegação que operaram no Porto de Santos em janeiro de 2004, cuja operação consegue atingir até 100 TEU/h. Os navios para efetuarem essa operação poderiam situar-se entre 500 e 2.500 TEU (em média, 15 t/TEU), enquanto os de longo curso situam-se acima de 3.500 TEU, até os maiores de mais de 8 mil TEUs. Em 2012 o Porto deteve 25% da cabotagem de contêineres do Brasil

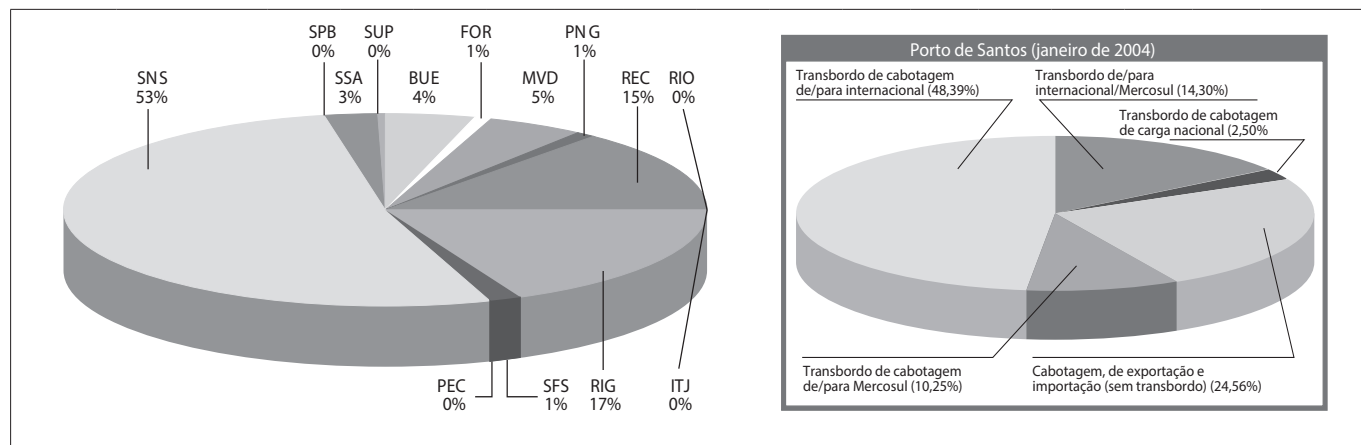


Figura 18
(A) Fotografia de trecho do Porto de Santos (SP).

Figura 18

(B) Rotas marítimas de cabotagem e longo curso a partir do Porto de Santos e tonelage exportada (importada) por vias marítimas de acordo com as rotas oceânicas em 2011 (milhões de toneladas) pelo Brasil.





Mês	Atividade	BUE	MVD	RIG	ITJ	SFS	PNG	SNS	SSA	SPB	RIO	SUP	REC	FOR	PEC	Total global
Janeiro de 2003	Exportação	-	-	94	-	-	-	131	4	-	5	-	-	19	-	253
	Importação	18	2	33	-	-	-	77	3	-	1	31	17	-	1	183
	Total	18	2	127	-	-	-	208	7	-	6	31	17	19	1	436
Fevereiro de 2003	Exportação	1	-	197	-	-	1	430	17	-	-	-	-	90	-	736
	Importação	37	4	59	-	37	-	189	-	-	-	-	128	-	-	454
	Total	38	4	256	-	37	1	619	17	-	-	-	128	90	-	1.190
Março de 2003	Exportação	-	-	282	1	-	7	448	54	-	1	-	-	-	-	793
	Importação	90	3	116	-	8	-	242	-	-	-	-	527	-	-	986
	Total	90	3	398	1	8	7	690	54	-	1	-	527	-	-	1.779
Abril de 2003	Exportação	-	44	227	-	72	21	663	48	-	1	-	2	-	-	1.078
	Importação	145	5	90	-	-	5	171	-	-	-	-	260	-	-	676
	Total	145	49	317	-	72	26	834	48	-	1	-	262	-	-	1.754
Maio de 2003	Exportação	-	109	304	-	-	46	954	67	-	1	-	-	-	-	1.481
	Importação	83	87	103	-	1	13	285	-	-	-	-	259	-	-	831
	Total	83	196	407	-	1	59	1.239	67	-	1	-	259	-	-	2.312
Junho de 2003	Exportação	-	172	313	-	19	11	1.656	103	1	2	-	-	-	-	2.277
	Importação	96	122	34	-	-	1	413	-	-	-	-	413	-	-	1.079
	Total	96	294	347	-	19	12	2.069	103	1	2	-	413	-	-	3.356
Total exportação (unid)		1	325	1.417	1	91	86	4.282	293	1	10	0	2	109	0	6.618
Total importação (unid)		469	223	435	0	46	19	1.377	3	0	1	31	1.604	0	1	4.209
Total global (unid)		470	548	1.852	1	137	105	5.659	296	1	11	31	1.606	109	1	10.827

Figura 19

Pesquisa de transbordo de contêineres nos principais portos brasileiros, em Montevideú (Uruguai) e em Buenos Aires (Argentina).

Regiões

BUE: Buenos Aires (Argentina)
MVD: Montevideú (Uruguai)
RIG: Rio Grande (RS)
ITJ: Itajaí (SC)

SFS: São Francisco do Sul (SC) RIO: Rio de Janeiro (RJ)
PNG: Paranaguá (PR) SUP: Suape (PE)
SNS: Santos (SP) REC: Recife (PE)
SSA: São Sebastião (SP) FOR: Fortaleza (CE)
SPB: Sepetiba (RJ) PEC: Pecém (CE)

Em 2004 havia no mundo 3.300 navios porta-contêineres em operação, totalizando capacidade global para 7,2 MTEUs, com crescimento acentuado de encomendas de navios acima de 8 mil TEUs, o que agregou neste período mais 1 MTEU ao total global. Assim, as exigências de profundidades de 14,5 a 16 m em canais, bacias e berços, bem como largura de retroárea mínima de 500 m, passam a ser mandatórias para os portos concentradores. Na atualidade, as rotas de longo curso de mínimo frete serpenteiam em torno do Trópico de Câncer, já com o Canal do Panamá ampliado para receber tal aumento de calado.

Em cada situação, devem ser consideradas as políticas de sustentabilidade da navegação de cabotagem, conforme elencado a seguir:

- vinculação das linhas de cabotagem às expressas de longo curso;
- consequente redução de até 50% do tempo de viagem dos navios do Atlântico Norte com a redução de escalas;
- crescimento do faturamento e consequente absorção da perna de cabotagem dentro do frete de longo curso;
- favorecimento para implantação e crescimento do *Feeder Service*;
- implementação do porto concentrador e distribuidor de carga;
- atração de incentivos: cais preferenciais, redução de tarifas, aumento de produtividade, simplificação do trânsito aduaneiro;
- facilidades dos processos de rebocadores e práticos;
- favorecimento de acordos para esse mercado (em 2003, o mercado era inferior a 10% do seu potencial), de modo a melhorar a qualidade e reduzir o custo;
- políticas governamentais equilibradas quanto a subsídios fiscais e tarifas para os modais terrestres e o aquaviário;
- desenvolvimento de intercâmbio entre os portos e demais segmentos com os objetivos anteriores.

A progressiva containerização da carga geral no Porto de Santos, agregando açúcar, suco de laranja, algodão e produtos siderúrgicos, exige, além do aumento de área de pátios e empilhamentos limites, um aumento da rotatividade. Esse último processo requer a desobstrução das artérias dos modais terrestres, segregando-os, e a revalorização da capacidade ferroviária; bem como contar com uma cadeia logística que não considere o porto como depósito da indústria ou do agronegócio. De fato, no Porto de Santos, em 2012, a contribuição dos modais terrestres foi de: rodoviário, 68%; ferroviário, 24%; e dutoviário, 8% (Tabelas 8 a 10, segundo CO-DESP); e no Brasil a silagem portuária foi de cerca de 40% da produção.

A componente dutoviária limita-se às operações com derivados de petróleo. Por outro lado, a componente ferroviária apresenta muito pouca participação entre carga containerizada e mesmo nas *commodities* que têm perfil ferroviário apresenta pouca concentração, pois nas décadas de 1970 e 1980 já chegou a alcançar em torno de 80%. Conclui-se que a concentração no modal rodoviário também domina a cadeia logística portuária em Santos, devendo-se esperar por uma desconcentração.

Estima-se que mais de 35 milhões t de carga geral, solta e containerizada, estão sendo transportadas por via terrestre junto à costa brasileira por ano. O foco deste negócio é o cliente, o dono da mercadoria, o exportador e importador, as

linhas de navegação (os operadores de transporte multimodal) e os operadores de unitização de carga em contêineres sem navio, que promovem a unitização e logística do porta a porta.

A área de influência do Porto de Santos, *hinterland* que detém mais de 70% do PIB do Brasil, pode possuir mais de 10 milhões t/ano deste mercado, abrangendo, principalmente, a exportação para as regiões Norte, Nordeste e Sul, inclusive a chamada longa cabotagem do Mercosul. Além disso, CODESP-USP (2009) estimam que os sistemas ferroviário, dutoviário e hidroviário da Baixada Santista apresentem capacidade física superior a 300 MTPA.

TABELA 8
Movimentação (t) de granel sólido pelo modal rodoviário no Porto de Santos em 2012

Mercadoria	Rodovia	Total Porto	%
Granel sólido	22.432.161	40.838.557	54,9
Contêiner	32.721.526	33.342.714	98,1
Outros	9.812.849	22.050.174	50,3
Total	64.966.536	96.231.445	67,5

Fonte: CODESP.

TABELA 9
Movimentação (t) de granel sólido pelo modal ferroviário no Porto de Santos em 2012

Mercadoria	Ferrovia	Total Porto	%
Açúcar	5.696.580	14.277.517	39,9
Milho	6.264.248	9.962.798	62,9
Soja	5.536.842	11.212.835	49,4
Adubo	432.252	2.714.791	15,9
Enxofre	182.705	470.868	38,8
Trigo	112.419	1.249.423	9,0
Sal	181.351	950.325	19,1
Subtotal	18.406.396	40.838.557	45,1
Contêiner	621.188	33.342.714	1,9
Outros	4.130.322	22.050.174	18,7
Total	23.157.907	96.231.445	24,1

TABELA 10 Movimentação (t) de granel líquido pelo modal dutoviário no Porto de Santos em 2012	
Óleo diesel marítimo	466.636
Óleo combustível marítimo (bunker)	1.308.427
Estireno	122.636
GLP	645.075
Gasolina	1.060.466
Nafta	198.730
Óleo combustível	2.413.349
Óleo diesel e gasóleo	1.847.264
Xilenos	44.420
Total por dutovia	8.107.003
Suco cítrico	1.846.753
Outros	1.301.906
Total movimentação granel líquido	11.255.662
Participação dutoviária no movimento do líquido	72%
Movimento geral da área do Porto Organizado	96.231.445
Participação duto/movimento geral do Porto	8,4%
Participação do líquido no movimento geral	11,70%

O Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – Ipea publicou um levantamento do comércio interestadual de mercadorias que, contados somente os estados do litoral, dá alguns indícios do total de volume de carga que poderia migrar para a cabotagem. Em 1998, o valor total dessas transações interestaduais chegou a US\$ 70 bilhões. Considerando-se que cada contêiner carrega em média US\$ 50 mil, uma fórmula simples indica que o mercado potencial da cabotagem é de 1,4 milhão de TEUs por ano.

A cabotagem transporta carga entre, pelo menos, dois portos nacionais, promovendo:

- Aumento do mercado de trabalho nos segmentos portuários, marinha mercante e indústria naval;
- Redução de 20% dos custos de transporte;
- Aumento da densidade do modal rodoviário, do comércio e dos serviços no entorno do porto;
- Maior segurança;
- Menor consumo de óleo;

- Minimização da emissão de gases e partículas nocivas ao meio ambiente, com o benefício da redução desses impactos provocados pelo óleo combustível dos navios, viabilizando a obtenção dos créditos do Protocolo de Kioto em prol de incremento da cabotagem;
- Desafogo das estradas rodoviárias.

Essa regra também se aplica à conhecida “costa oeste” brasileira, formada pelos grandes rios, que estão sendo dotados da indispensável infraestrutura, como a recente eclusa de Jupuí, que estendeu a hidrovia Tietê-Paraná a 2.400 km de rota navegável, favorecendo significativamente a economia de importantes estados e países do Mercosul.

Nos países com potencial aquaviário, a cabotagem, por ser reconhecida pelo seu relevante valor socioeconômico e ambiental, se insere no conceito do desenvolvimento sustentável. Além de regras e estímulos dedicados, esse transporte é amplamente aplicado e amparado por normas e leis de proteção próprias. Destaca-se a Lei de Jones – *Jones Act* –, dos Estados Unidos, que desde 1910 protege os segmentos da cabotagem, fomentando e privilegiando o mercado interno norte-americano.

A quantidade de linhas de navegação para a cabotagem está aumentando, o que gera:

- Maior oferta de navios: em 2004, operavam no Brasil somente 12 navios de cabotagem de carga geral, enquanto nos Estados Unidos contavam-se cerca de 1.000;
- Maior quantidade de escalas;
- Menor tempo de trânsito;
- Maior competitividade;
- Redução de custos, inclusive com a possibilidade de medidas da Agência de Transportes Aquaviários do Ministério dos Transportes que sejam sustentáveis, de modo a desonerar a cabotagem e estimular o transbordo/baldeio, em especial de contêineres em portos nacionais;
- Integralização entre os modais de transporte;
- serviço porta a porta e credibilidade para o consumidor.

Segundo os dados do Ministério dos Transportes, com base em dados de 2007, a Figura 20(A) evidencia as distorções na matriz de transporte no Brasil, aumentando os custos logísticos e reduzindo a competitividade do país. Considera-se, de um modo geral, que o transporte rodoviário seja mais competitivo até 400 km de distância, o ferroviário entre 400 e 1.500 km e o aquaviário para distâncias maiores. A comparação foi efetuada considerando os países emergentes e os EUA, todos estados com dimensões continentais. As porcentagens são estimadas em carga transportada. Na Figura 20(B) apresenta-se a previsão da evolução da matriz de transportes brasileira até 2025, segundo o Plano Nacional de Logística de Transportes, do Ministério dos Transportes. Evidencia-se, nesse planejamento, uma adequação à harmonização entre os diferentes modais, buscando a meta sintetizada na Figura 20(C).

Figura 20

(A) Matriz de transporte de diferentes países sem considerar oleodutos e transporte aéreo. Na segunda coluna do Brasil, não é considerado o transporte de minério de ferro.

Fonte: CIA Factbook 2007; Ministério dos Transportes; ANTT.

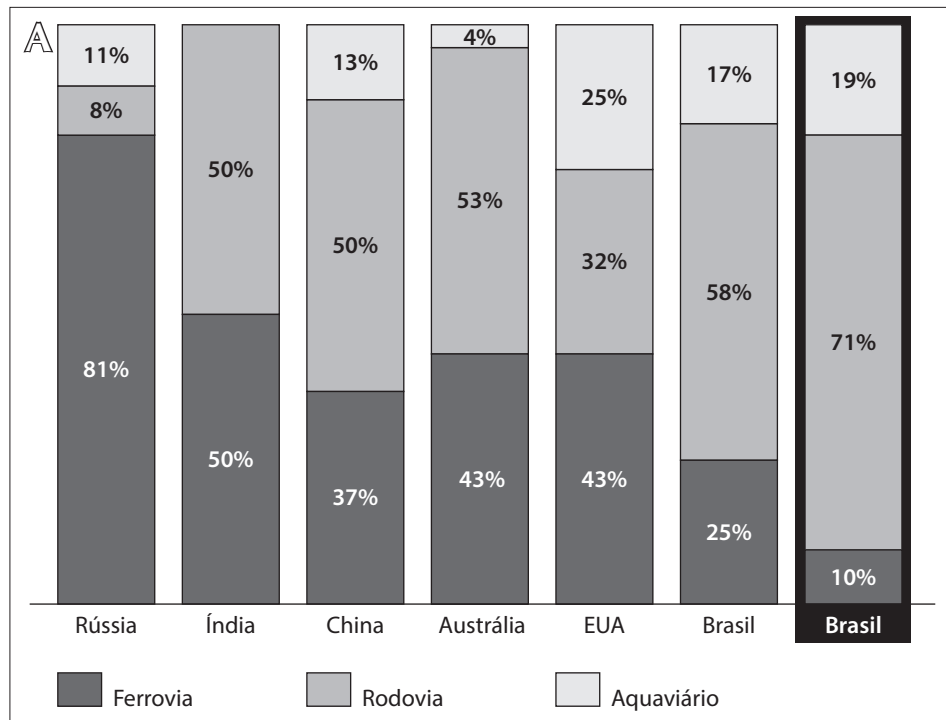
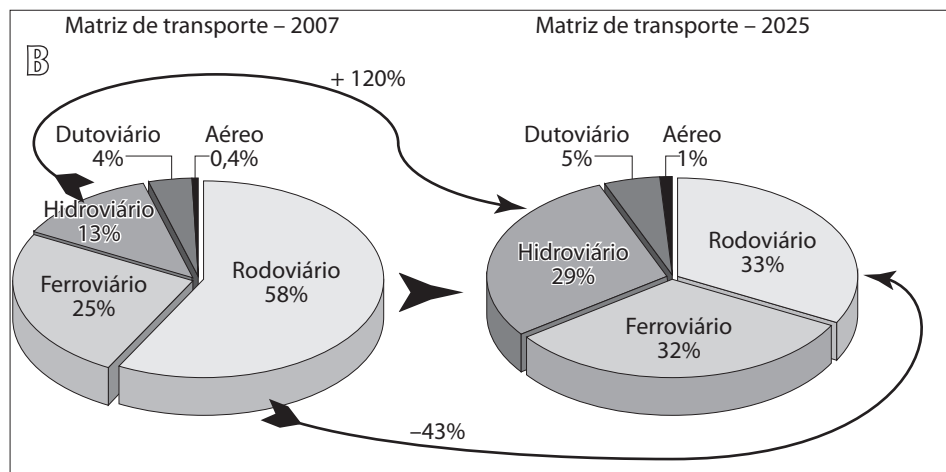


Figura 20

(B) Migração prevista pelo PNLT na matriz de transportes brasileiros.



Nas Figuras 21 a 23 pode-se comprovar as vantagens do transporte de cabotagem e do conceito porto-indústria adotado no Porto de Suape (PE) (ALIANÇA, 2009).

Em contraponto, a Figura 24 apresenta dados do Porto de Hamburgo como tradicional *Hub Port* da Liga Hanseática desde a Idade Média, com conexões *feeder* por todo o Mar Báltico e Mar do Norte. Hamburgo e Lübeck constituem-se no centro das cidades Hanseáticas.

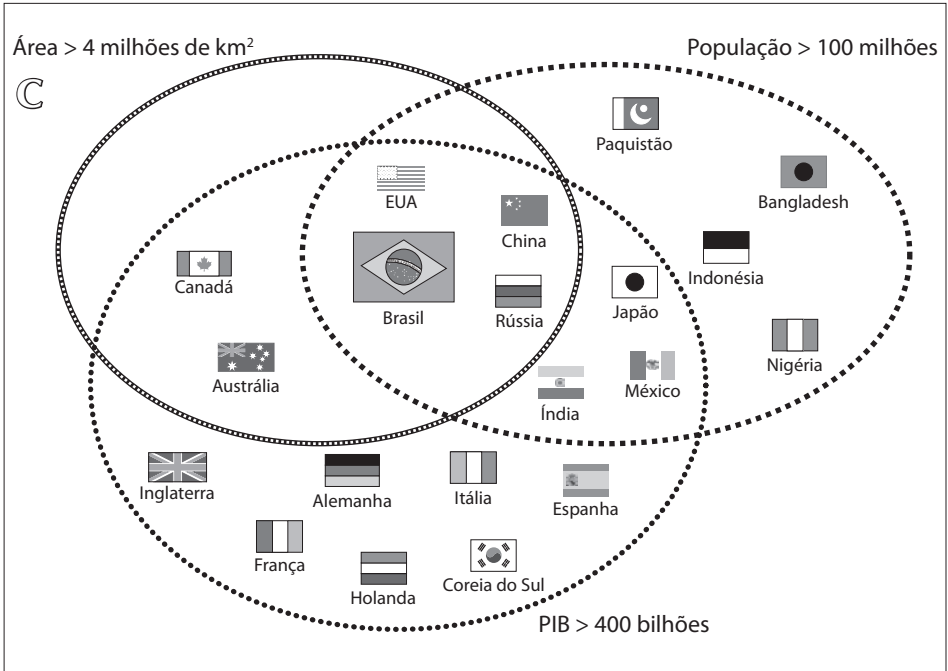


Figura 20
(C) A logística como fator crítico para alcançar o desenvolvimento.

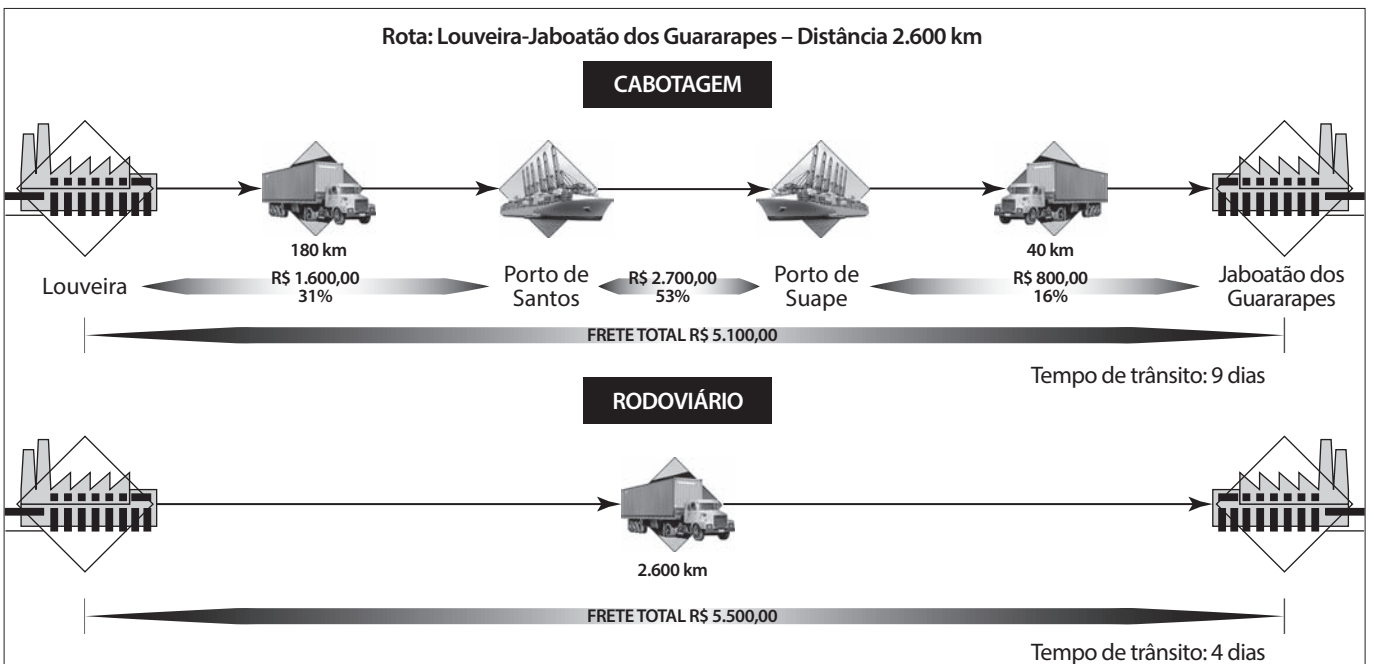


Figura 21
Cabotagem x Rodoviário (do Sudeste para o Nordeste).

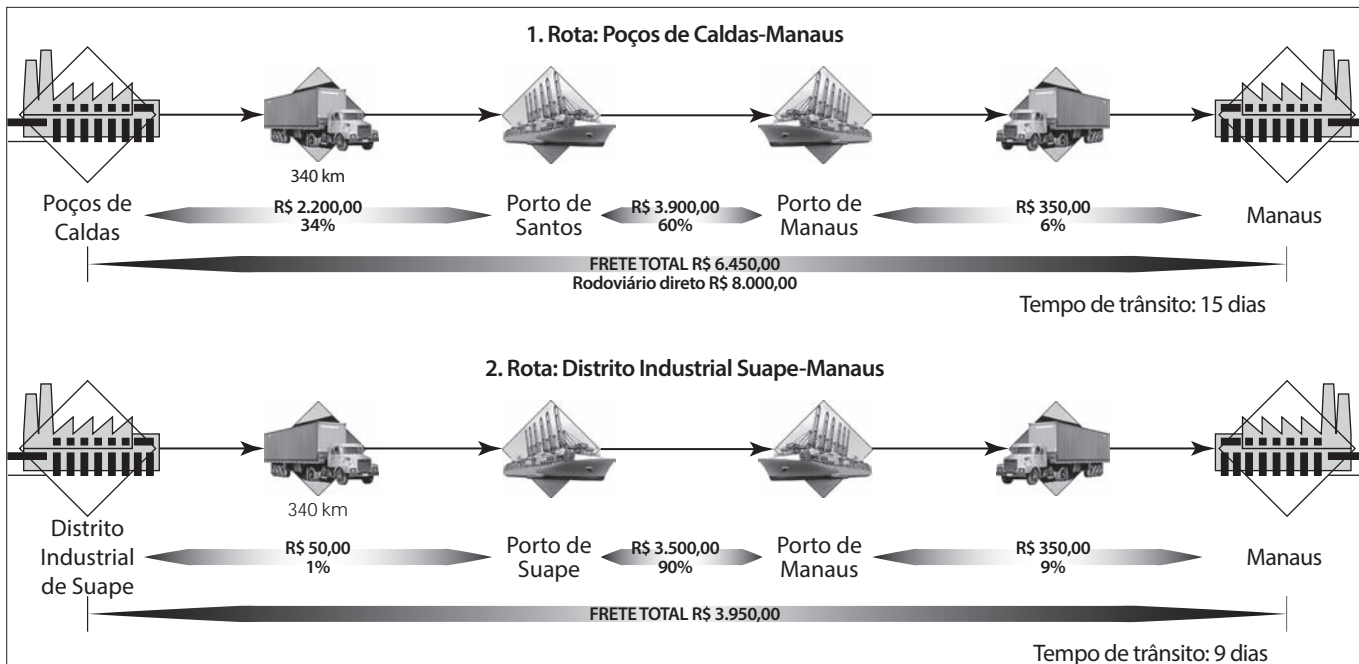


Figura 22
Exemplo da vantagem do conceito "porto-indústria".

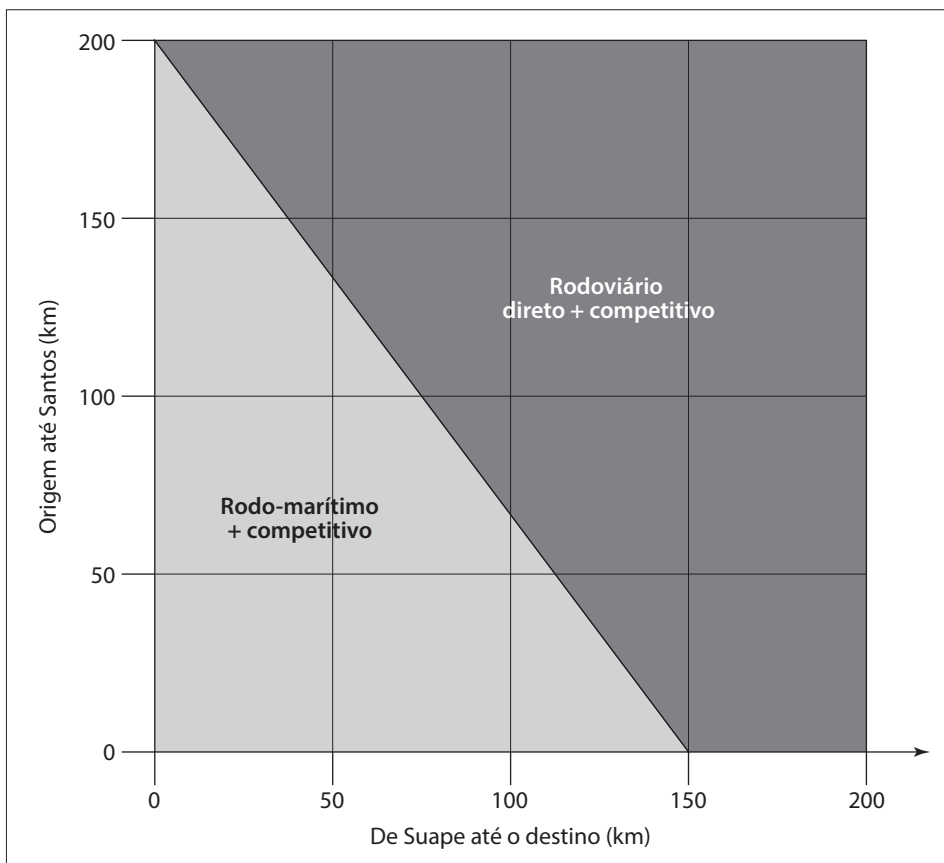


Figura 23
Exemplo: competitividade do rodo-marítimo x rodoviário direto – carga do Estado de São Paulo para Pernambuco.

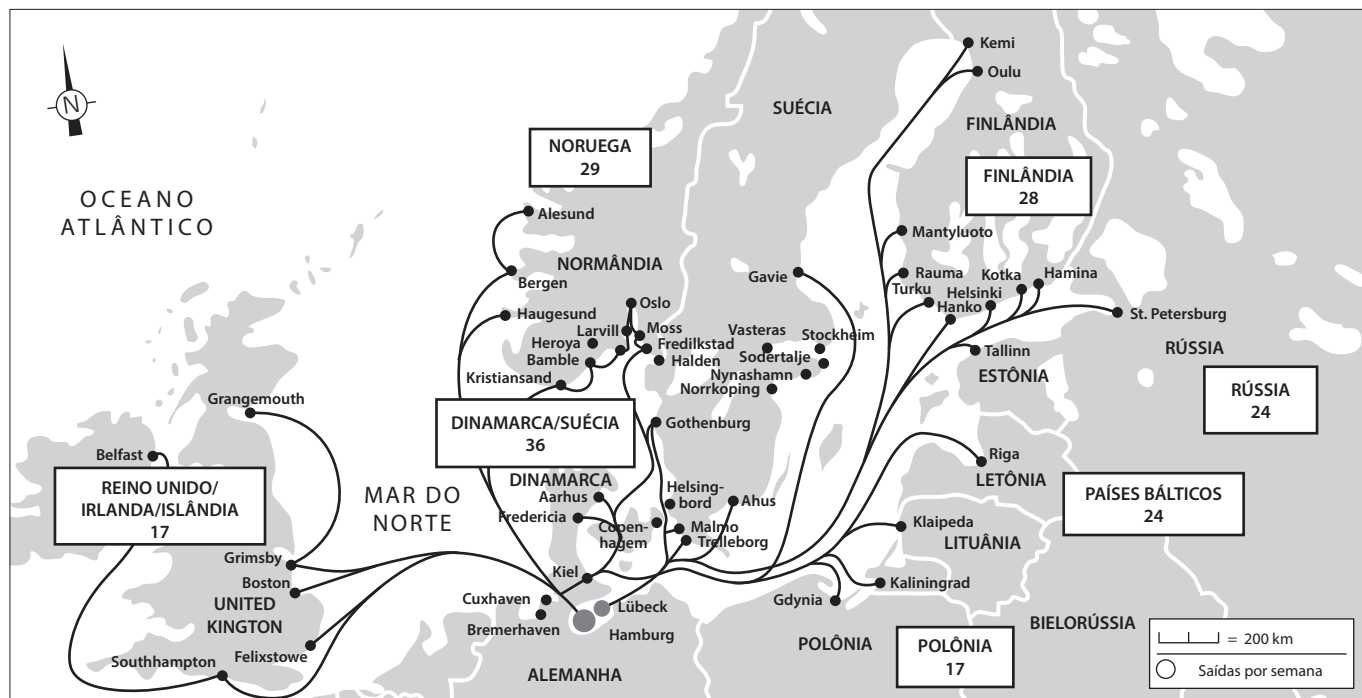


Figura 24

Rede logística do Porto de Hamburgo – Conexões Feeder/Costa do Norte da Europa, 2007, aproximadamente 175 saídas por semana com $\pm 3,5$ milhões TEUs/ano.

4 MARINAS E ATRACADOUROS PESQUEIROS

A atividade turística ligada às marinas, ou portos de recreio, que correspondem a um conjunto de instalações à beira-mar necessárias aos usuários de pequenas e médias embarcações destinadas ao esporte náutico e ao lazer (ver Figura 25), é responsável atualmente no Brasil por mais de 10 mil empregos diretos. Em 1995, havia 110 marinas marítimas e fluviais operando no Brasil, sendo que, das marítimas, mais da metade se concentra nos litorais dos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro, com capacidade para abrigar 5 mil barcos de uma demanda de mais de 50 mil.

Nos últimos anos, houve um sensível incremento nos projetos de marinas no Brasil, contando-se com grandes empreendimentos completos para mais de 900 vagas molhadas. Nestas instalações, devem ser considerados os aspectos de apoio náutico: auxílio rádio/navegação, ancoragem/poitas, docagem e desembarque; bem como o apoio e informação de terra: comunicação, abastecimento, assistência técnico-mecânica, reparos, água, suprimentos, hospedagem, restaurantes, assistência à saúde, bancos e seguradoras. Somente como exemplo, nas marinas do Estuário do Rio Itanhaém (SP) contavam-se cerca de 200 barcos em estatística feita em 1998.

No Brasil, a Zona Econômica Exclusiva – ZEE, que corresponde à faixa⁶ de mar entre o limite do mar territorial (12 milhas náuticas da linha de base) e 200 milhas náuticas da linha de base, é de 3,5 milhões de km², com potencial, sem comprometimento de estoques, de 1,5 milhão de t/ano. A pesca artesanal desenvolve-se no mar territorial, enquanto a pesca industrial estende-se pela ZEE. Em 2001, o Brasil retirou cerca de 470 mil t de pescado do seu mar com uma frota pesqueira de cerca de 40.000 barcos, desde as artesanais canoas a embarcações de grande porte, o que resultou em exportações no valor de US\$ 270 milhões, incluindo a aquicultura de

6 O mar territorial brasileiro compreende uma faixa de doze milhas náuticas de largura, medidas a partir da linha de baixa-mar do litoral continental e insular brasileiro. Nos locais em que a costa apresente recortes profundos e reentrâncias, ou que exista uma franja de ilhas ao longo da costa em sua proximidade imediata, é adotado o método das linhas de base retas, ligando pontos apropriados, para, o traçado da linha de base, a partir da qual é medido a extensão do mar territorial. A soberania do Brasil estende-se ao mar territorial. Na ZEE, o Brasil tem direitos de soberania com vistas à exploração e ao aproveitamento da zona para fins comerciais.

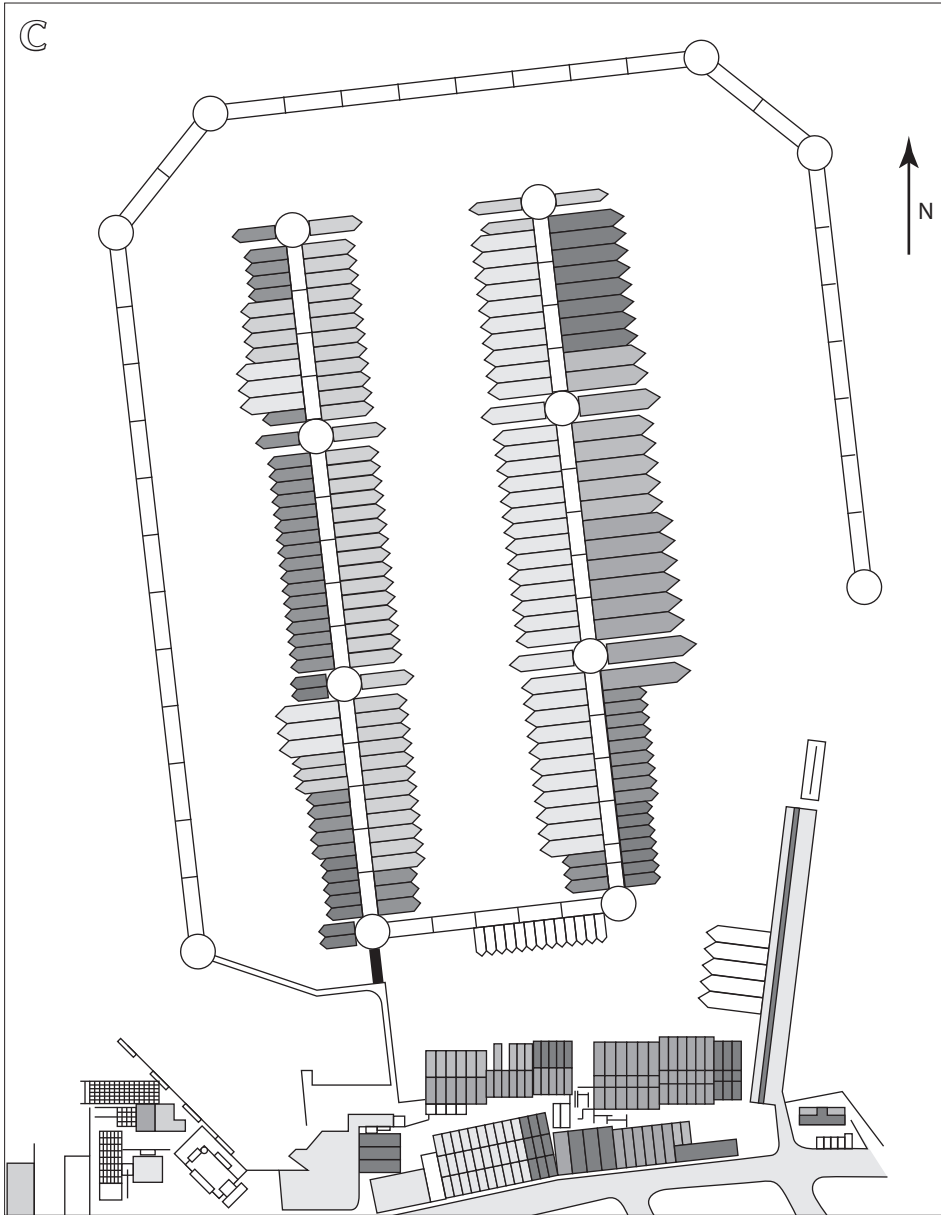
Figura 25

- (A) Marina Itanhaém (SP).
(B) Yacht Club Ilhabela (SP).
(C) Esquema planimétrico do Yacht Club Ilhabela (SP).



água doce e salgada e os recursos de origem fluvial (em 2003, chegou-se a US\$ 419 milhões). Cerca de 1 milhão de pessoas trabalham no setor pesqueiro brasileiro. A produção pesqueira nacional caracteriza-se pela proporção: 51% artesanal, 28% industrial e 21% aquicultura.

Como exemplo da importância desta atividade, cite-se o município de Cananeia (SP), que tem a pesca como base econômica. Em 2000, foram desembarcadas 2 mil t de pescado, movimentando-se US\$ 2 milhões no comércio direto de produtos costeiros, por mais de 300 barcos. A pesca artesanal e a comercial mecanizada (com autonomia de mar de cerca de 15 dias) apresentam potencial de desembarque de mais de 7 mil t/ano, como ocorreu em 1979. Na Figura 26 apresentam-se exemplos de algumas instalações pesqueiras.

**Figura 25**

(C) Esquema planimétrico do Yacht Club Ilhabela (SP).

(D) Marina Tedesco ou Camboriú (SC). Capacidade para 500 embarcações de 15 a 90 pés, sendo 400 vagas secas e 100 molhadas.



Figura 25

(E) Centro Náutico de Salvador (BA).
(F) Marina de Istambul (Turquia) no Estreito de Bósforo.

**Figura 26**

(A) Cais do Rio Preto em Peruibe (SP).
(B) Cais Guaraú no Rio Itanhaém (SP).



**Figura 26**

(C) Cais pesqueiro de Ilhabela (SP).
(D) Atracadouro pesqueiro no Rio Camboriú (SC).



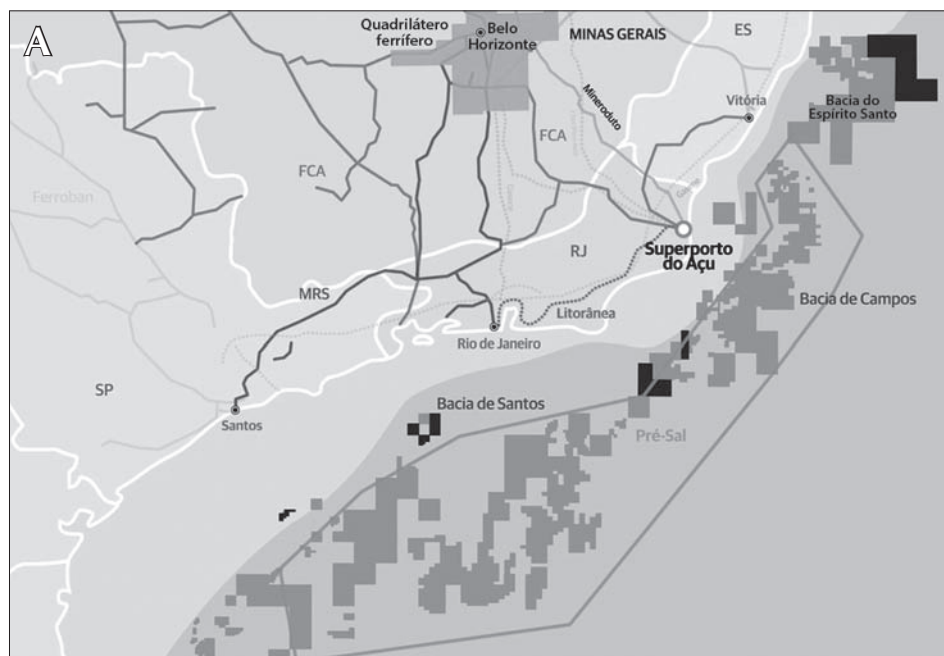
5 SISTEMAS OCEÂNICOS

Atualmente, o Brasil é líder mundial na exploração de óleo e gás natural em águas de lâmina d'água profundas (entre 400 e 1.000 m) e ultraprofundas (mais de 1.000 m), no talude continental de sua ZEE, especialmente nas Bacias de Campos e Santos. Como 75% das reservas de óleo brasileiras estão em lâminas d'água acima de 1.000 m, a Petrobras é hoje a empresa que tem o maior número de sistemas flutuantes. Nos 100 mil km² da Bacia de Campos, segundo a Petrobras, nos dias atuais operam 40 unidades de produção, atuando em 546 poços, com uma produção média diária de 1,265 milhão de barris⁷. Essas unidades subdividem-se em plataformas fixas, semissubmersíveis e FPSO (*Floating, Production, Storage and Offloading*). Campos petrolíferos como Espadarte, Marlim Sul, Albacora Leste e Roncador, situados entre lâminas d'água de 1.500 a 3.000 m (Figura 27), desafiam a Engenharia, exigindo estudos avançados de dinâmica oceânica, como os realizados pelo Tanque de Provas Numérico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

As plataformas fixas (*Rig Platform*) são estruturas, geralmente autônomas, apoiadas no fundo do mar por meio de estacas, sapatas, cascos inteiros (plataformas de concreto), permanecendo no local por muito tempo (Figura 28). Constam, em caso geral, de duas partes: jaqueta e convés. A jaqueta consta normalmente de vários módulos. Podem ser assentadas em lâminas d'água de até 300 m. As plataformas de concreto são também fixas. Todas as plataformas fixas têm árvores de natal, os equipamentos que controlam o fluxo nos poços, secas, ou seja, acima da linha d'água. Existem plataformas fixas duplas, instaladas sobre o mesmo conjunto de poços, ligadas por passarela, pois uma concentra os equipamentos para a produção e a outra tem os alojamentos e a administração.

As plataformas fixas são ligadas a gasodutos ou oleodutos submarinos, que são lançados por balsas guindaste lançamento, tipo BGL, que transportam, elevam e

Figura 27
(A) Mapa das bacias petrolíferas do Sudeste do Brasil.



⁷ O barril de petróleo corresponde a um volume de 159 L de petróleo cru.

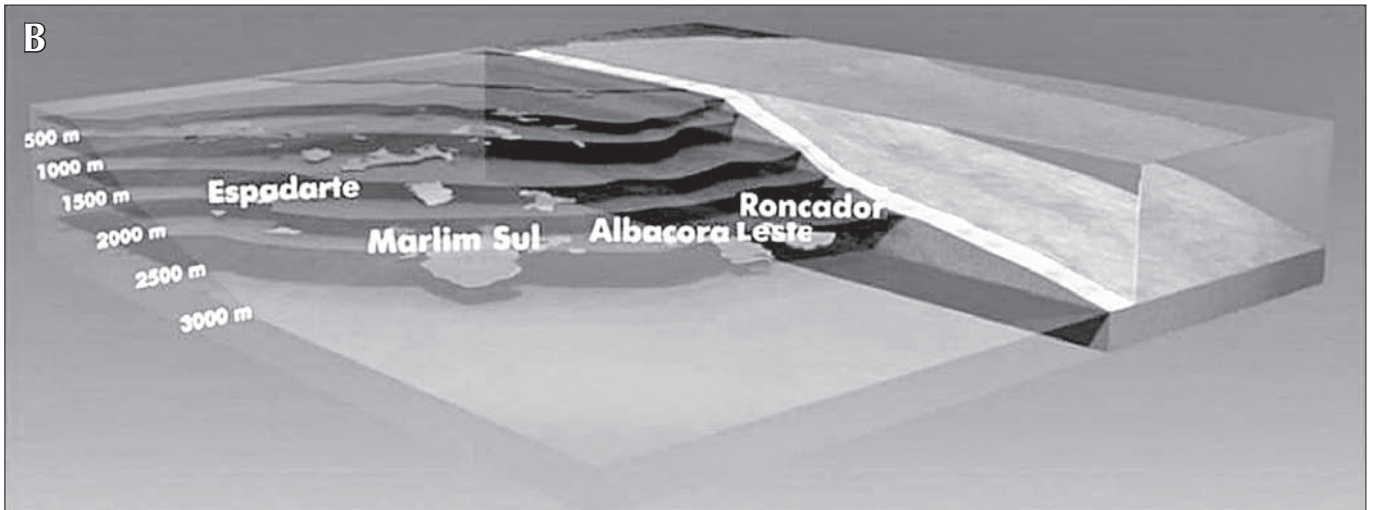


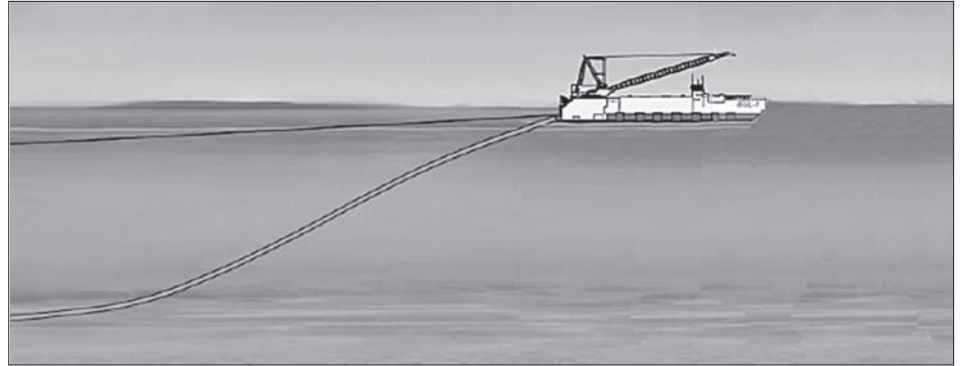
Figura 27
(B) Estratigrafia de campos em águas profundas e ultraprofundas na Bacia de Campos.

colocam esses dutos. Estas, além do içamento de cargas pesadas (até 1.000 tf) em sistemas oceânicos, destinam-se a instalações de dutos rígidos, plataformas e estruturas submarinas. O lançamento de dutos submarinos permite a interligação entre plataformas, entre plataforma e poços e entre plataformas e uma estação em terra. Os equipamentos BGL sem propulsão própria são posicionados por pelo menos dois rebocadores, que reposicionam âncoras ligadas a cabos de estaiamento. As tubulações a serem lançadas já são previamente revestidas por proteção anticorrosiva e concreto. O acoplamento dos tubos de 12 m e soldagem é feita em linha de montagem de sete estágios na barcaça, culminando com o revestimento das juntas com mantas a quente em várias camadas e resina de poliuretano para proteção contra a corrosão e lançamento (Figura 29).



Figura 28
Simulação de retirada de módulo de acomodação (com peso de 205 tf) de plataforma fixa no Campo de Cherne (Bacia de Campos) por guindaste Clyde (capacidade de içamento de até 1.000 tf) de balsa guindaste lançamento (BGL). Na simulação numérica o alcance horizontal foi de 42,7 m e a tração de içamento no cabo foi de 271,4 tf com ondas de altura 1 m, sem marulho.

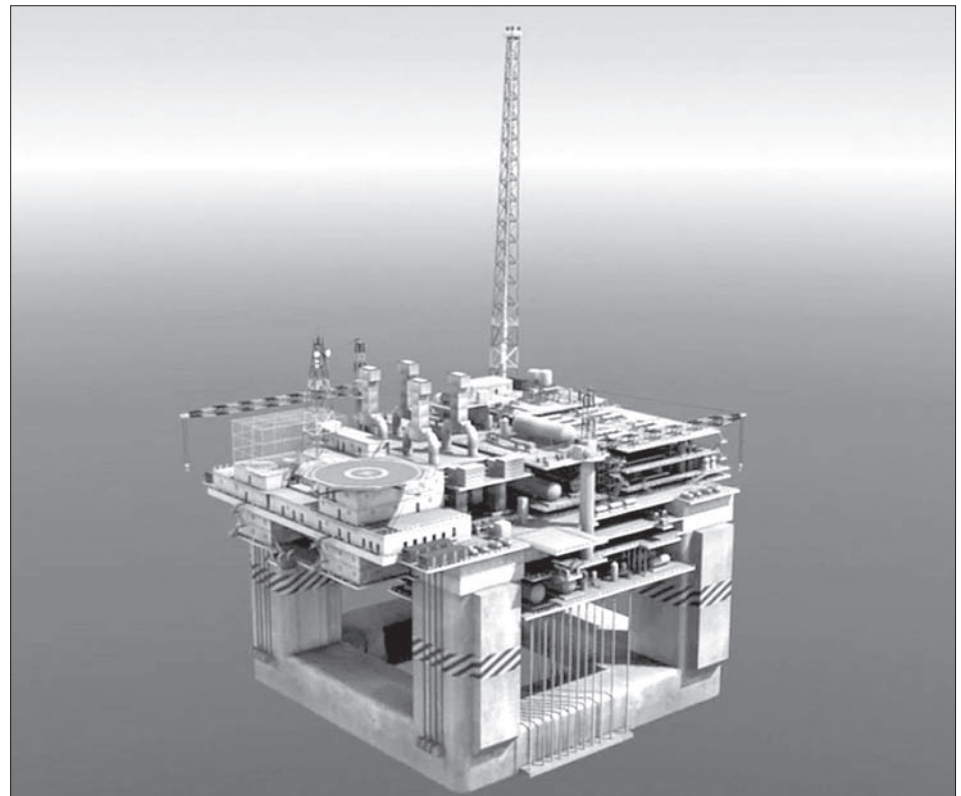
Figura 29
Lançamento de duto submarino
pela BGL.



Na Bacia de Campos há 16 plataformas semissubmersíveis (SS) (Figura 30). Para manter o posicionamento, em grandes profundidades, esses sistemas contam com linhas de amarração em oito âncoras especiais, oscilando como embarcações, e têm árvores de natal submersas, apoiadas sobre o fundo do mar. A extração do óleo é realizada por dutos denominados *risers*, que elevam o óleo e gás extraídos até a plataforma de produção, sendo que no caso do gás liquefeito são necessários mangotes criogênicos (para operar em temperaturas muito baixas). A P52 é a mais sofisticada destas plataformas, tendo as seguintes dimensões e características:

- 125 m × 110 m;
- Capacidade para 200 pessoas;

Figura 30
Plataforma tipo semissubmersível.



- Lâmina d'água: 1.800 m (Campo de Roncador);
- Deslocamento total: 45.800 t.
- Planta de processo:
 - Capacidade de óleo: 180 mil bpd (barris por dia);
 - Capacidade de gás: 9.300.000 m³ por dia;
 - Capacidade de injeção de água: 300 mil bpd;
 - Geração elétrica: 100 MW;
 - *Risers*: 68;
 - Número de poços: 19 produtores e 10 injetores;
 - Vida útil: 25 anos.

Atualmente, na Bacia de Campos, operam nove navios FPSO, sendo alguns capazes de armazenar até 2 milhões de barris, com capacidade de processamento de até 250 mil bpd vindos de plataformas semissubmersíveis. Na exploração oceânica profunda os FPSOs são preferidos pela facilidade de instalação, não requerendo instalações de dutos submarinos para o alívio. Frequentemente, resultam da conversão de navios petroleiros em desuso. Quando a embarcação somente é usada para estocagem, sem processamento, é denominada FSO. As embarcações que extraem e liquefazem o gás natural (GNL), que é o metano, são os FLNG (*Floating Liquid Natural Gas*). A Figura 31(A) ilustra o arranjo operacional de uma unidade FPSO produtora e processadora de óleo ancorada no leito marinho. Nas Figura 31(B) e (C) estão ilustradas embarcações adaptadas para FPSO, sendo a (C) correspondente à P31 da Petrobras.

Para o alívio dos FPSOs e FLNGs são utilizados navios aliviadores de óleo, usualmente da classe Suezmax (ver Capítulo 11), ou de gás liquefeito, conforme ilustrado na Figura 32.

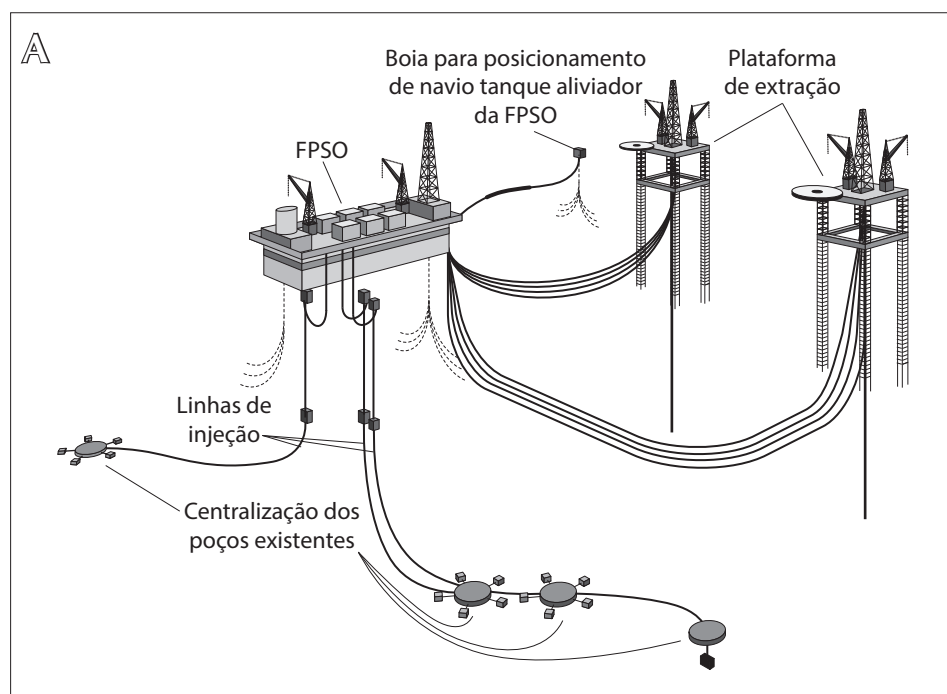


Figura 31
(A) Arranjo operacional de uma unidade FPSO. (B) e (C) FPSOs.

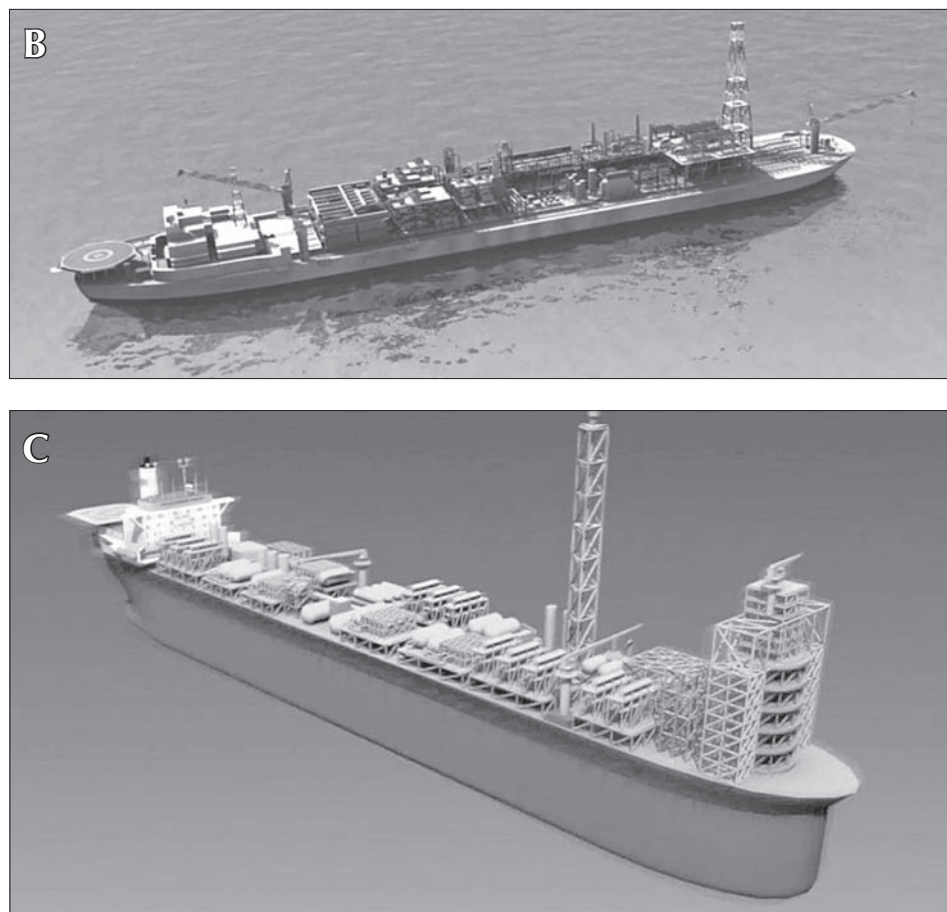
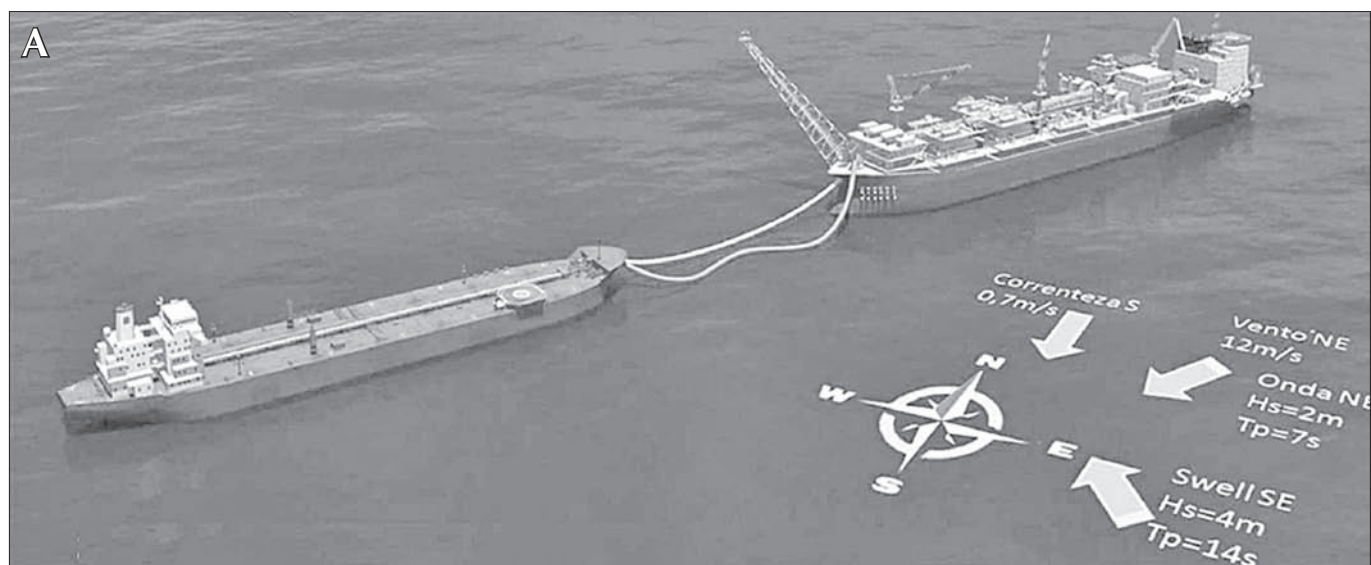


Figura 32
(A) Simulação de alívio de FPSO sob
ação de ondas, ventos e correntes.



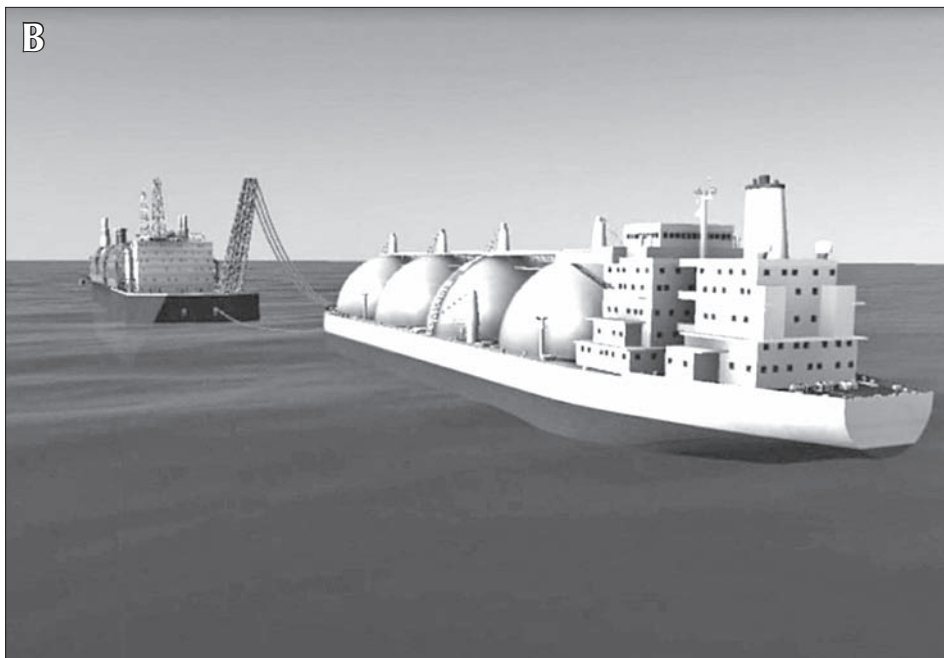


Figura 32
(B) Simulação de alívio de FLNG.

A exploração das jazidas na camada de pré-sal constitui-se em ulterior desafio para os sistemas oceânicos na ZEE brasileira. A Figura 33 ilustra um FPSO explorando esta camada e a Figura 34 com dois tipos de FPSO projetado para tanto.

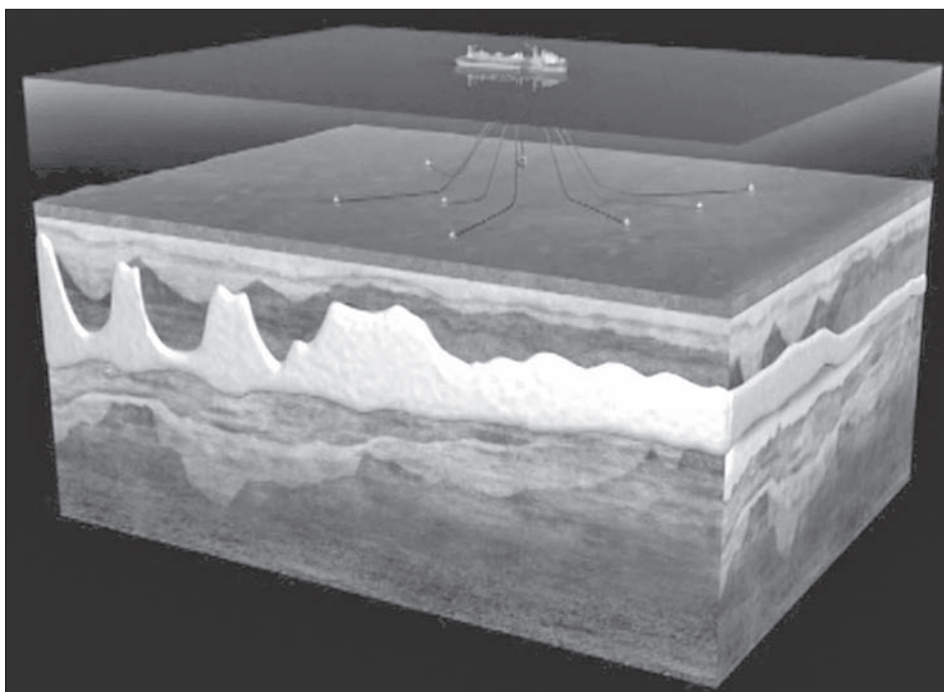
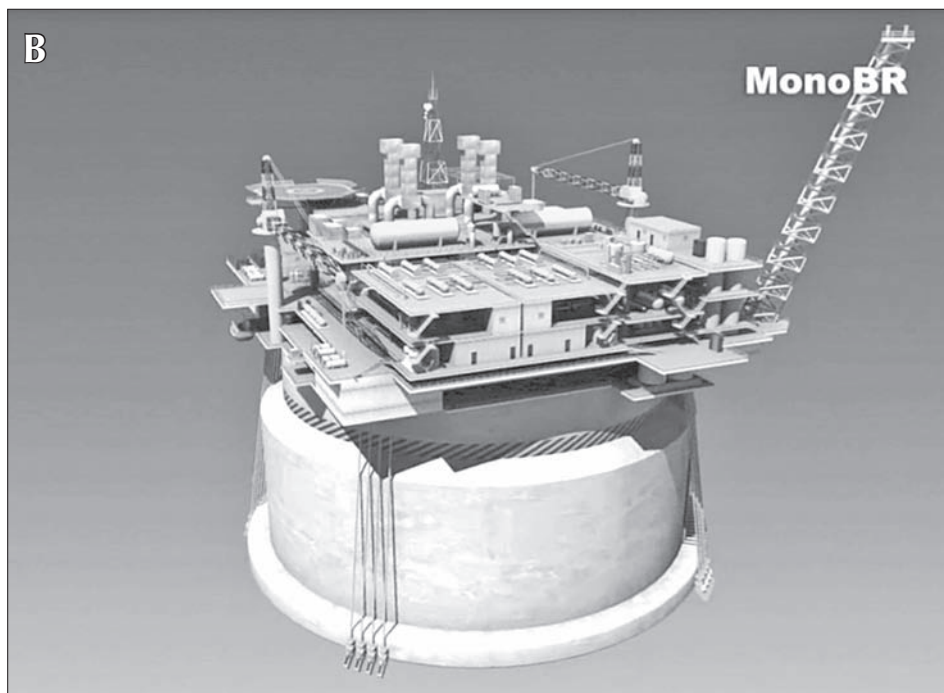
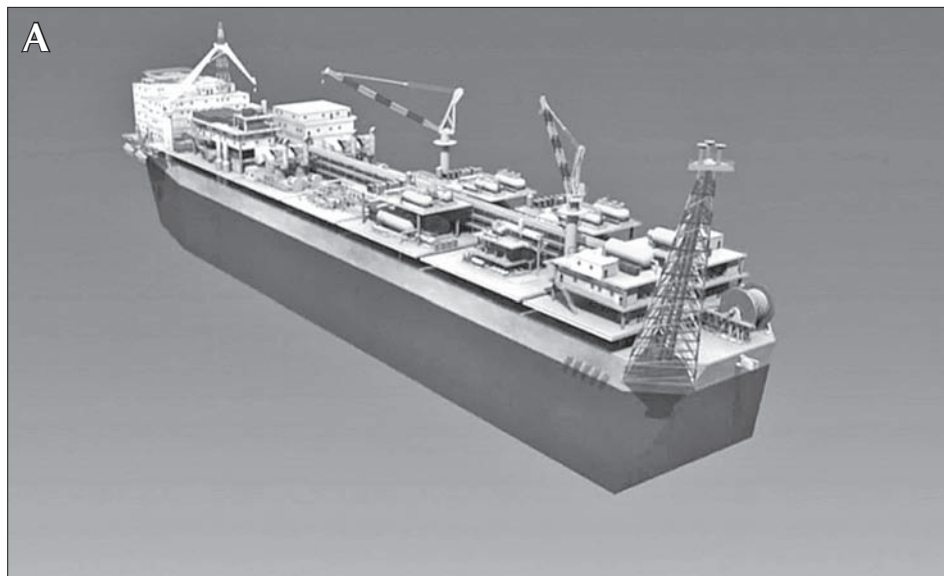


Figura 33
Exploração de óleo em grande profundidade na camada de pré-sal

Figura 34

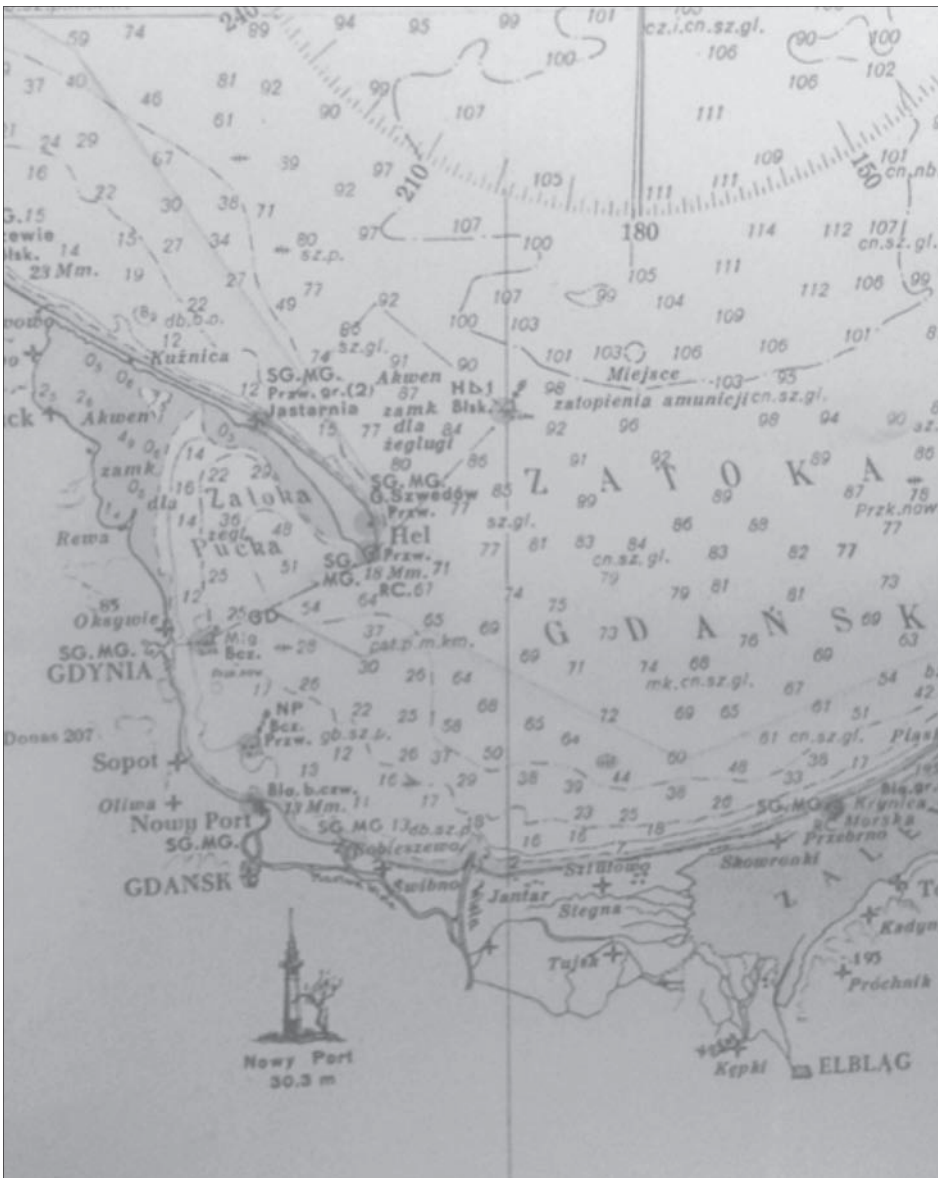
(A) FPSO embarcação para exploração de óleo na camada de pré-sal (Cortesia TPN USP).

(B) MonoBR, unidade flutuante FPSO com forma mergulhada cilíndrica para otimizar a passagem dos risers.



HIDRÁULICA MARÍTIMA

Parte 1



Baía de Gdansk (Polónia) no Mar Báltico e suas restingas.

- 1 Hidrodinâmica e Estatística das Ondas Curtas Produzidas pelo Vento 99
- 2 Dinâmica das Ondas Longas de Maré em Embocaduras Marítimas 149
- 3 Transporte de Sedimentos Litorâneo e Morfologia Costeira 211
- 4 Hidrossedimentologia, Dinâmica Halina e Morfológica em Embocaduras Marítimas 267

THE TEN COMMANDMENTS FOR COASTAL PROTECTION

- I Thou shalt love thy shore and beach.
- II Thou shalt protect it *gainst* the evils of erosion.
- III Thou shalt protect it wisely, yea, verily and work with nature.
- IV Thou shalt avoid that nature turns it full forte *gainst* ye.
- V Thou shalt plan carefully in thy own interest and in the interest of thine neighbour.
- VI Thou shalt love thy neighbour's beach as thou lovest thine own beach.
- VII Thou shalt not steal thy neighbour's property, neither shalt thou cause damage to his property by thine own protection.
- VIII Thou shalt do thy planning in cooperation with thy neighbour and he shalt do it in cooperation with his neighbour and thus forth. Sob be it.
- IX Thou shalt maintain what thou has built up.
- X Thou shalt show forgiveness for the sins of the past and cover them with sand. So help thee God.

LISTA DE SÍMBOLOS

a	amplitude da onda, aceleração centrípeta orbital	Q_s	vazão de transporte de sedimentos litorâneo longitudinal resultante
a_B	amplitude orbital (metade da excursão total) das partículas fluidas no topo da camada limite oscilatória (aproximadamente no fundo)	R	distância entre dois corpos que se atraem, vazão de água doce
a'	compacidade dos sedimentos	Re:	número de Reynolds densimétrico
A	semieixo horizontal do movimento orbital em onda de oscilação, distância vertical entre o <i>datum</i> e o nível médio do mar, parâmetro utilizado por Keulegan na análise de cunha salina estacionária em estuários	s	salinidade
B	semieixo vertical do movimento orbital em onda de oscilação, comprimento em baixa-mar para a máxima salinidade oceânica atingir a extremidade oceânica do estuário	S	área de seção transversal
c	celeridade, ou velocidade de propagação, ou velocidade de fase das ondas	t	ordenada temporal
c_g	celeridade de grupo de ondas, ou velocidade de propagação da energia total das ondas (no fluxo de energia)	T	período de onda curta ou de maré
C	coeficiente de Chézy	T_z	período médio de onda de oscilação
D_i	diâmetro de sedimento com $i\%$ em peso de diâmetro menor	u	componente horizontal da velocidade orbital da onda de oscilação, velocidade longitudinal
D'_0	coeficiente de difusão aparente	u_B	máximo valor da velocidade orbital das partículas fluidas no topo da camada limite oscilatória (aproximadamente no fundo)
E	energia contida em uma onda por unidade de área	U	velocidade de transporte de massa pelas ondas curtas
E_T	energia contida em uma onda por unidade de largura (comprimento de crista)	U_A	velocidade ajustada do vento a dez metros acima do nível do mar
f	frequência	V	velocidade da corrente litorânea longitudinal gerada na arrebentação das ondas
F	pista de sopro (<i>fetoh</i>)	V_r	velocidade de água doce
F_g	força gravitacional	V_Δ	velocidade densimétrica
F_0	parâmetro de queda de Dean	w	componente vertical da velocidade orbital da onda de oscilação
g	aceleração da gravidade	W	largura de estuário
G	constante universal de gravitação	x	ordenada horizontal
h	profundidade d'água	z	ordenada vertical
H	altura da onda	α	ângulo formado pelas cristas das ondas com a isóbata
k	número de onda	δ	esbeltez, ou encurvamento, ou declividade da onda
K_r	coeficiente de refração das ondas	Δ	fase de componente de maré
K_s	coeficiente de empolamento das ondas	γ	índice de arrebentação, peso específico da água
K_z	fator de resposta de pressão das ondas	γ_s, γ'_s	pesos específicos dos grãos pesados ao ar e submersos
l	comprimento de uma bacia portuária	η	ordenada da partícula d'água com referência ao nível médio da órbita da onda
L	comprimento da onda	λ	comprimento de onda de maré
L_0	comprimento de cunha salina	μ	viscosidade dinâmica
m	declividade da praia, momento espectral	ν	viscosidade cinemática do fluido
M	massa, transporte de sedimentos litorâneo longitudinal anual	θ	fase da onda de oscilação, defasagem angular entre o nível e a velocidade em uma onda de maré, rumo de propagação de onda, ângulo de atrito
n	relação entre a velocidade de grupo e a de fase das ondas, coeficiente de Manning	ρ	massa específica do fluido
N	parâmetro utilizado por Ippen na análise de estuários misturados	ρ_s	massa específica dos grãos pesados ao ar
p	pressão das ondas	σ	frequência angular da maré, desvio-padrão
P	potência contida em uma onda por unidade de largura	τ_s	tensão de arrastamento de estabilização sobre o fundo exercida pelas correntes
P_d	potência dissipada por atrito no leito na arrebentação das ondas e utilizada na geração das correntes litorâneas de arrebentação	ω	frequência angular das ondas
P_l	potência transmitida paralelamente à costa e por unidade de comprimento de praia na arrebentação	Ω	prisma de maré
Q	vazão líquida	SUBÍNDICES:	
Q_d	vazão de transporte de sedimentos litorâneo longitudinal rumando para a direita da praia	b	relativo à arrebentação
Q_e	vazão de transporte de sedimentos litorâneo longitudinal rumando para a esquerda da praia	c	assinala valor crítico quanto ao início de arrastamento dos sedimentos
Q_g	vazão de transporte de sedimentos litorâneo longitudinal global	o	indicativo das características das ondas em águas profundas, relativo à grandeza na embocadura oceânica de um estuário, momento de ordem zero do espectro em frequência
		RMS	raiz do valor quadrático médio na arrebentação
		s	indicativo de onda significativa

HIDRODINÂMICA E ESTATÍSTICA DAS ONDAS CURTAS PRODUZIDAS PELO VENTO

Capítulo 1



Lançamento em 1968 de boia para observação de ondas nas proximidades da Ilha do Bom Abrigo, em Cananeia (SP). Esta foi a primeira observação quantitativa do clima de ondas na Costa do Estado de São Paulo.

1.1 INTRODUÇÃO SOBRE ONDAS DE OSCILAÇÃO

A superfície livre do mar ou de grandes corpos d'água, como lagos ou reservatórios, apresenta-se, normalmente, ondulada em razão das perturbações no plano d'água em repouso originadas de diversas causas.

Os efeitos das ondas de superfície são de capital importância para o projeto de obras marítimas e lacustres, como portos, vias navegáveis, defesa dos litorais e de margens, obras *offshore* e na Engenharia Naval.

Um conhecimento adequado dos processos físicos fundamentais envolvidos com as ondas de superfície é muito importante para o planejamento e projeto das obras marítimas e lacustres.

As ondas de superfície da interface água-ar transferem energia da fonte que as gerou para alguma estrutura ou linha de costa (ou margem), que dissipa ou reflete uma significativa parcela dessa energia. Assim, as ondas constituem o principal agente modelador da costa, pelo transporte de sedimentos que promovem e produzem muitas das forças às quais as estruturas marítimas ou lacustres estão submetidas.

As ondas de oscilação são movimentos periódicos cuja propagação não envolve grande deslocamento de massas líquidas de sua posição inicial por ocasião de sua passagem.

As ondas de superfície geralmente derivam sua energia dos ventos que sopram sobre a superfície do mar e propagam-se, principalmente, no rumo em que sopram (convenciona-se indicar como rumo de propagação das ondas ou ventos o azimute da área de onde provêm).

Na área de influência do vento sobre a superfície da água, zona de geração das ondas, estas se apresentam com formas irregulares, denominadas vagas, e constantemente mutáveis por causa das irregularidades da ação do vento e da sua variabilidade no rumo de propagação (tridimensionalidade). A descrição da superfície do mar é dificultada pela interação das vagas individuais, podendo-se associar um rumo de propagação a uma média dos rumos das vagas individuais. As vagas mais rápidas sobrepõem-se e passam sobre as mais lentas vindo de diferentes rumos. Algumas vezes, essa interação é construtiva, e outras vezes, destrutiva. Quando as ondas movem-se para fora da zona em que são diretamente afetadas pelo vento, assumem um aspecto mais ordenado, e são denominadas ondulações, com a configuração de cristas e cavados definidos e com uma subida e descida mais rítmicas. Essas ondulações são aproximadamente paralelas e propagam-se de modo sensivelmente uniforme e sem grandes deformações em direção à costa ou às margens, sendo, portanto, ondas bidimensionais. Chegam à costa com intensidade variável em função das características adquiridas quando de sua geração. Tais ondas podem viajar centenas ou milhares de quilômetros, após deixarem a área em que foram geradas, sendo sua energia dissipada internamente ao fluido, pela interação com o ar, no leito em águas rasas e na arrebentação.

Na zona de geração das vagas, não é possível o estabelecimento de um equacionamento analítico do movimento, pois as rajadas da ação do vento são um fenômeno essencialmente aleatório, que deve ser tratado estatisticamente. Nesta zona, as vagas comportam-se como oscilações forçadas, em que a força perturbadora do vento é continuamente aplicada. Já as ondulações podem ser mais aproximadas ao

conceito de ondas cilíndricas (bidimensionais) simples, sucessivas, equidistantes e de formas idênticas que se propagam com celeridade constante e sem deformações em águas profundas, constituindo um trem de ondas. Neste caso, as ondulações comportam-se muito mais como oscilações livres, ou seja, sem a ação da força perturbadora do vento que as produziu e dependendo apenas da força da gravidade, o que permite o estabelecimento de formulações analíticas para o equacionamento do fenômeno.

As teorias formuladas para descrever analiticamente o mecanismo das ondas de oscilação são baseadas em ondas simples descritas por funções matemáticas elementares que podem ser usadas para descrever o movimento das ondas. Para muitas situações práticas, essas formulações simplificadas fornecem previsões confiáveis para as aplicações em Engenharia.

Em geral, o fenômeno das ondas de oscilação é complexo e difícil de ser descrito matematicamente em virtude das características de não linearidade, tridimensionalidade e aleatoriedade. Entretanto, há duas teorias clássicas, uma desenvolvida por Airy e outra por Stokes, que descrevem as ondas simples e que preveem bem o comportamento das ondas, principalmente em lâminas d'água maiores relativamente ao comprimento de onda. Entre as teorias de ordem superior, ou de amplitude finita, citam-se a de Stokes de ordem superior, a conoidal e a solitária.

A teoria de onda mais elementar, referida como de pequena amplitude ou linear, foi desenvolvida por Airy e é de fundamental importância, uma vez que não somente é de fácil aplicação, mas também confiável, abrangendo um grande campo de todo o regime de ondas. Matematicamente, essa teoria pode ser considerada como uma primeira aproximação de uma completa descrição teórica do comportamento da onda.

A observação de um flutuador na superfície das ondas revela que sua posição oscila horizontal e verticalmente em torno de uma posição fixa. Isso pode parecer paradoxal, já que o perfil das ondas move-se progressivamente junto ao flutuador com velocidade definida. Obviamente, a velocidade do flutuador, que corresponde à velocidade da partícula d'água, e a velocidade com que a crista da onda se propaga, que corresponde à velocidade de fase ou celeridade da onda, são muito diferentes. Assim, o conceito de ondas de oscilação ou quase oscilatórias pode ser entendido: corresponde àquelas ondas em que as trajetórias descritas pelas partículas são órbitas fechadas ou quase fechadas em cada período de onda.

Ondas sinusoidais ou harmônicas simples, como as tratadas neste capítulo, são ondas simples cujo perfil superficial pode ser descrito por uma única função seno ou cosseno. Elas são periódicas porque o seu movimento e o seu perfil superficial são recorrentes em iguais intervalos de tempo, definindo o período.

Por outro lado, uma forma de onda que se move relativamente a um ponto fixo, definindo um rumo de propagação, é denominada onda progressiva, que, portanto, reproduz-se no tempo e no espaço. E a onda é denominada de estacionária quando sua forma não tem rumo de propagação, e sua celeridade é nula.

A teoria linear de Airy descreve ondas puramente oscilatórias. Muitas teorias de ondas de amplitude finita descrevem ondas quase oscilatórias, já que, na realidade, o fluido desloca-se por um pequeno comprimento no rumo de propagação das ondas em cada passagem sucessiva de onda. É importante distinguir os vários tipos de ondas que podem ser gerados e propagados. Na classificação das ondas, o

período, intervalo de tempo que uma onda dispende para progredir uma distância de um comprimento de onda, ou o seu recíproco, a frequência, relacionam-se à quantidade relativa de energia contida nas ondas. As forças geradoras primárias e de restauração também caracterizam os tipos de ondas.

De primária importância são as ondas de gravidade geradas pelo vento, que têm períodos de 1 a 30 s – os períodos mais frequentes são de 5 a 15 s –, pois são normalmente as mais importantes nos estudos de Hidráulica Marítima e de grandes lagos. São denominadas ondas de gravidade porque a principal força restauradora é a da gravidade, ou seja, a força que tenta restabelecer o estado de equilíbrio em repouso da superfície da água. Esse tipo de ondas apresenta uma grande quantidade de energia a elas associada.

O espectro de energia de ondas genérico é essencialmente contínuo das ondas capilares (períodos menores a 1 s), passando pelas ondas gravitacionais, ondas de longo período (como as oscilações de superfície em bacias portuárias, tsunamis gerados por terremotos ou erupções vulcânicas submarinas, maremotos gerados por perturbações meteorológicas de grande escala como furacões), até as marés astronômicas. Entretanto, nem todos os períodos de ondas estão presentes em um dado local e em um determinado instante, embora usualmente coexistam diversos períodos diferentes, mesmo que somente com baixos níveis de energia. Por exemplo, a análise detalhada de uma série histórica de níveis d'água em um ponto de uma baía pode mostrar ondas de vento de 2 a 6 s, oscilações geradas pelo deslocamento de uma perturbação meteorológica com período de 1 h e uma maré com componentes de período de 12 a 24 h.

Como vimos, as ondas de gravidade podem ser subdivididas em vagas e ondulações. As primeiras são denominadas ondas de crista curta por conta das interseções de ondas que se propagam em diferentes rumos, e são usualmente compostas por ondas mais esbeltas (sua esbeltez ou encurvamento – relação entre a altura e o comprimento de onda – é maior) com períodos e comprimentos de ondas mais curtos e superfície d'água muito mais perturbada pela ação direta do vento. E as ondulações são denominadas de ondas longas e são muito mais regulares, pois não estão sujeitas à ação intensa do vento.

As principais características das ondas de gravidade podem ser resumidas como segue:

- a) São de períodos relativamente curtos, podendo-se citar as seguintes ordens de grandeza máxima:

	Oceano Pacífico	Mar do Norte	Mar Mediterrâneo	Cananeia (SP)
Período (s)	22	20	14	12
Comprimento (m)	900	500	300	170
Altura ^(*) (m)	25	20	10	7

(*) Altura máxima assinalada: 34 m no Oceano Pacífico.

Em águas rasas, os comprimentos das ondas – e, conseqüentemente, suas velocidades – reduzem-se até mesmo à metade. A amplitude também é reduzida.

- b) Em águas profundas, a sua influência está restrita a uma camada superficial e não a toda profundidade.
- c) Os movimentos das partículas d'água associadas são de magnitude semelhante nas direções vertical e horizontal.
- d) As acelerações verticais das partículas d'água são significativas e aproximam-se da ordem de magnitude da aceleração da gravidade (g), podendo atingir 0,1 a 0,2 (g) nas maiores ondas.

Já vimos que as ondas reais são complexas, entretanto, muitos aspectos da mecânica dos fluidos necessários para a discussão completa têm influência reduzida na solução da maioria dos problemas de Engenharia. Portanto, uma teoria simplificada que omita muitos dos fatores complicadores é útil. As hipóteses feitas no desenvolvimento da teoria simplificada apresentada devem ser entendidas porque nem todas são justificáveis em todos os problemas. Quando uma hipótese não for válida num problema particular, uma teoria mais completa deve ser empregada.

A mais restritiva das hipóteses comuns é a de que as ondas são pequenas perturbações da superfície da água em repouso. Isso conduz à teoria de onda genericamente denominada de pequena amplitude, linear, de Airy ou de Stokes de primeira ordem. Essa teoria fornece informações para o comportamento de todas as ondas periódicas e uma descrição da mecânica das ondas que é apropriada para a maioria dos problemas de Engenharia. Ela não permite levar em conta o transporte de massa por causa das ondas, ou o fato de que as cristas das ondas afastam-se mais do nível d'água em repouso do que os cavados, ou a própria existência da arrebentação das ondas, para cujas previsões são necessárias teorias mais gerais.

As principais hipóteses formuladas comumente no desenvolvimento da teoria de uma onda simples são:

- a) O fluido é homogêneo e incompressível, portanto, de massa específica (ρ) constante.
- b) A tensão superficial é negligenciável, o que é aceitável para comprimentos de onda superiores a 2 cm e períodos superiores a 0,1 s.
- c) Pode-se negligenciar o efeito da aceleração de Coriolis.
- d) A pressão na superfície livre é uniforme e constante (atmosférica).
- e) O fluido é ideal e não viscoso.
- f) A onda considerada não interage com as outras.
- g) O leito é horizontal, fixo, impermeável, e isso implica que a velocidade orbital vertical junto ao leito é nula.
- h) A amplitude da onda é pequena comparativamente com seu comprimento e a profundidade da água, e sua forma é invariante no tempo e no espaço.
- i) As ondas são planas (ou de crista longa ou bidimensionais), com forma lisa e regular, porque o movimento das partículas líquidas que formam a onda apresenta simetria cilíndrica, ou seja, repete-se identicamente em planos paralelos ao rumo de propagação.

Como veremos, as velocidades das partículas de água são relacionadas às amplitudes das ondas, e suas velocidades de fase ou celeridades são relacionadas com

a profundidade da água e o comprimento da onda. Isso implica, pela hipótese (h), que as velocidades das partículas são pequenas quando comparadas à velocidade de fase da onda.

De um modo geral, pode-se dizer que as três primeiras hipóteses são aceitáveis para virtualmente todos os problemas. As hipóteses (d), (e) e (f) somente não são consideradas em problemas muito específicos. Já as três últimas hipóteses não são consideradas em vários casos, principalmente em águas mais rasas e perto da arrebentação, em que as velocidades das partículas e a velocidade de fase da onda são próximas.

As características, definições e os equacionamentos básicos relacionados com uma onda oscilatória progressiva sinusoidal simples estão ilustrados nas Figuras 1.1(A) e 1.1(B).

A agitação das ondas de oscilação desempenha ação dominante em movimentar os sedimentos do fundo das áreas costeiras, bem como originando as correntes de arrebentação longitudinais, transversais e nas velocidades de transporte de massa, as quais transportam os sedimentos. A assimetria das velocidades sob a crista e o cavado das ondas é outra fonte geradora do transporte resultante de sedimentos.

As ondas podem ser geradas por efeito de ventos locais soprando sobre o mar em uma certa pista de sopro (*fetch*) em um determinado tempo, as vagas; ou ser produzidas por tempestades distantes, quando as ondulações (ou marulhos) têm maior período (digamos, certamente acima de 10 s) e, conseqüentemente, maior comprimento (digamos, acima de 200 m), com menor dispersão de períodos, rumos e alturas e, por isso, menor esbeltez ($\delta = H/L$) do que as vagas.



Figura 1.1
(A) Vistas do canal de ondas do LHEPUSP (São Paulo, Estado/DAEE/SPH/CTH).

B

Movimento orbital real com órbita não fechada (deriva resultante)

$$u = \frac{ag \cosh k(z+h)}{c \cosh(kh)} \cos\theta$$

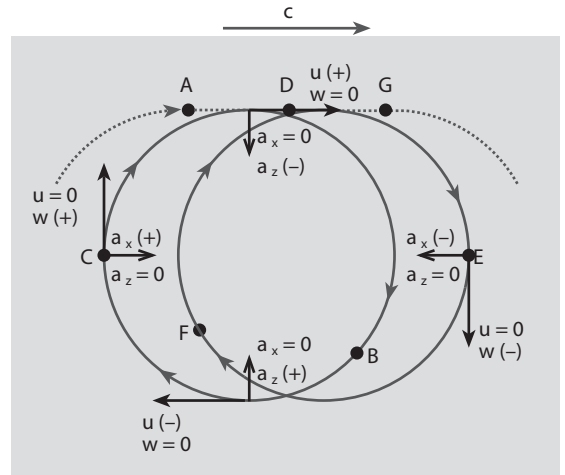
$$w = \frac{ag \sinh k(z+h)}{c \cosh(kh)} \sin\theta$$

u, w: componentes horizontal e vertical da velocidade orbital tangencial (Airy)

$$a_x = \frac{g\pi H \cosh k(z+h)}{L \cosh(kh)} \sin\theta$$

$$a_z = \frac{-g\pi H \sinh k(z+h)}{L \cosh(kh)} \cos\theta$$

a_x, a_z : componentes horizontal e vertical da aceleração centrípeta orbital (Airy)



Movimento orbital em águas profundas ($h > \frac{L}{2}$)

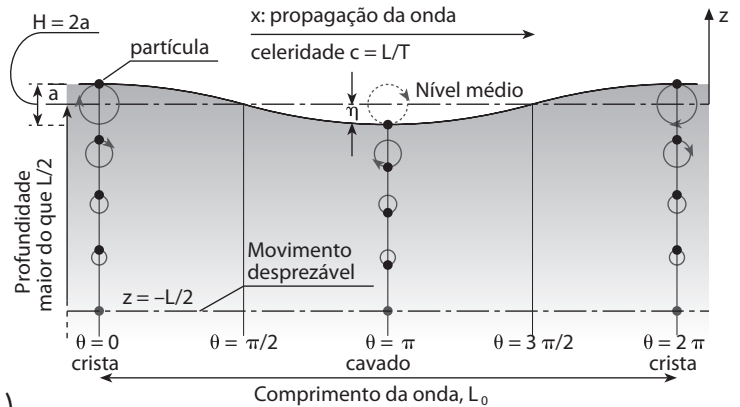
$$\eta = a \cos \left[\frac{2\pi}{L} x - \frac{2\pi}{T} t \right]$$

fase(θ)

η = ordenada da linha d'água
 $k = (2\pi/L)$ = número de onda
 $\omega = (2\pi/T)$ = frequência angular

$$L_0 = \frac{gT}{\omega}$$

Raio de órbita = $a \exp(kz)$



Movimento orbital em águas intermediárias e rasas ($h < \frac{L}{2}$)

$$\eta = a \cos \left[\frac{2\pi}{L} x - \frac{2\pi}{T} t \right]$$

fase(θ)

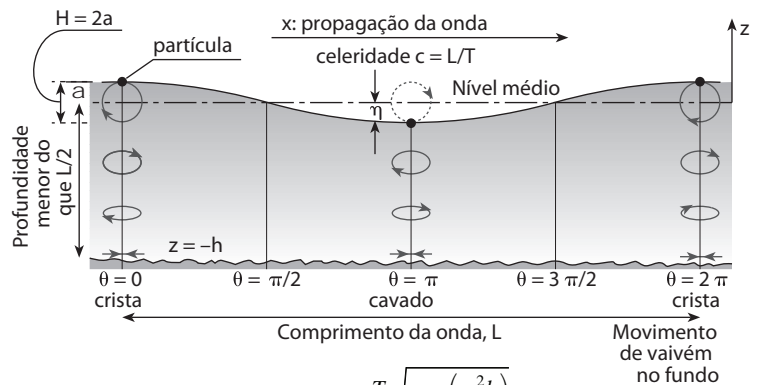
η = ordenada da linha d'água
 $k = (2\pi/L)$ = número de onda
 $\omega = (2\pi/T)$ = frequência angular

$$L = \frac{gT}{\omega} \tanh(kh)$$

Semieixos da elipse orbital:

$$A = \frac{a \cosh k(z+h)}{\sinh(kh)} \text{ (horizontal)}$$

$$B = \frac{a \sinh k(z+h)}{\sinh(kh)} \text{ (vertical)}$$



Simplificação de Eckart (erro em torno a 5%) $L = \frac{gT}{\omega} \sqrt{\tanh\left(\frac{\omega^2 h}{g}\right)}$

Figura 1.1
 (B) Definições e equacionamentos básicos de uma onda oscilatória progressiva sinusoidal simples, segundo Airy.

O monitoramento sistemático da agitação evidencia que os ventos locais e as vagas têm pouco efeito sobre as dimensões e propagação das ondulações, sendo mínima a interação, porque essas últimas ondas, deixando a área da tempestade geradora, têm sua energia atenuada, com conseqüente redução de altura a alguns centímetros e pouca área exposta ao vento.

1.2 ONDAS MONOCROMÁTICAS E ONDAS NATURAIS

A onda de oscilação do tipo mais simples é a monocromática (ou regular, ou de frequência única), que possui um único valor de altura, H e período, T , sendo cada onda idêntica às outras. Se a onda tem uma altura muito reduzida comparada com o seu comprimento, aproxima-se bem de uma oscilação do nível d'água senoidal, e seus parâmetros podem ser fornecidos pela teoria linear de ondas. As ondulações aproximam-se razoavelmente bem das ondas monocromáticas.

As ondas naturais no mar são randômicas e compreendem um espectro de períodos, rumos e alturas de ondas. O espectro de frequência, $E(f)$, fornece a distribuição da energia da onda como função da frequência angular f , independentemente do rumo de propagação. Este é o espectro unidimensional, ou escalar, utilizado como modelo de descrição do estado do mar. Ele determina a energia por unidade de superfície contida em cada uma das infinitas ondas monocromáticas de frequência diferenciada componentes da agitação.

A Figura 1.2 ilustra dados de mar, registrados por ondógrafo em 25, 26 e 27/01/1973 na Plataforma Marítima P-3 da Petrobras, no litoral do Estado do Espírito Santo. No dia 26, nota-se um deslocamento do sistema de alta pressão polar para NE. Como a alta do Atlântico Sul permanece na sua posição, gera-se uma linha de instabilidade estendendo-se na altura do litoral do Rio de Janeiro. Essa linha provoca um aumento na velocidade do vento na costa do Espírito Santo, atingindo às 9h GMT a máxima velocidade de N e NNE com intensidade de 15 nós. A frente fria passa pela área de interesse no dia 27, produzindo mudança na direção dos ventos para SW e SSW, influenciando diretamente na mudança da pista de sopro livre dos ventos sobre a superfície do mar. A costa do Espírito Santo nestas latitudes praticamente tem orientação N-S, resultando em uma pista de sopro livre de aproximadamente 40 MN, para os ventos de SW e SSW, enquanto para ventos de NE e NNE a pista é praticamente ilimitada. Os aspectos de distribuição de energia com a frequência evidenciam como a energia ondulatória atinge seu máximo na condição pré-frontal, pela intensificação dos ventos de N e NNE, reduzindo-se com a passagem da frente fria pela redução da extensão da pista de sopro livre e da velocidade dos ventos.

O momento de ordem zero do espectro em frequência é denominado de m_0 , correspondendo graficamente à área sob a curva espectral, estando assinalados na Figura 1.2(C). A energia média do registro de ondas é igual à variância espectral, ou seja:

$$m_0 = \sigma_n^2 = \int_1^{nf} E(f) df,$$

sendo nf o número de frequências componentes.

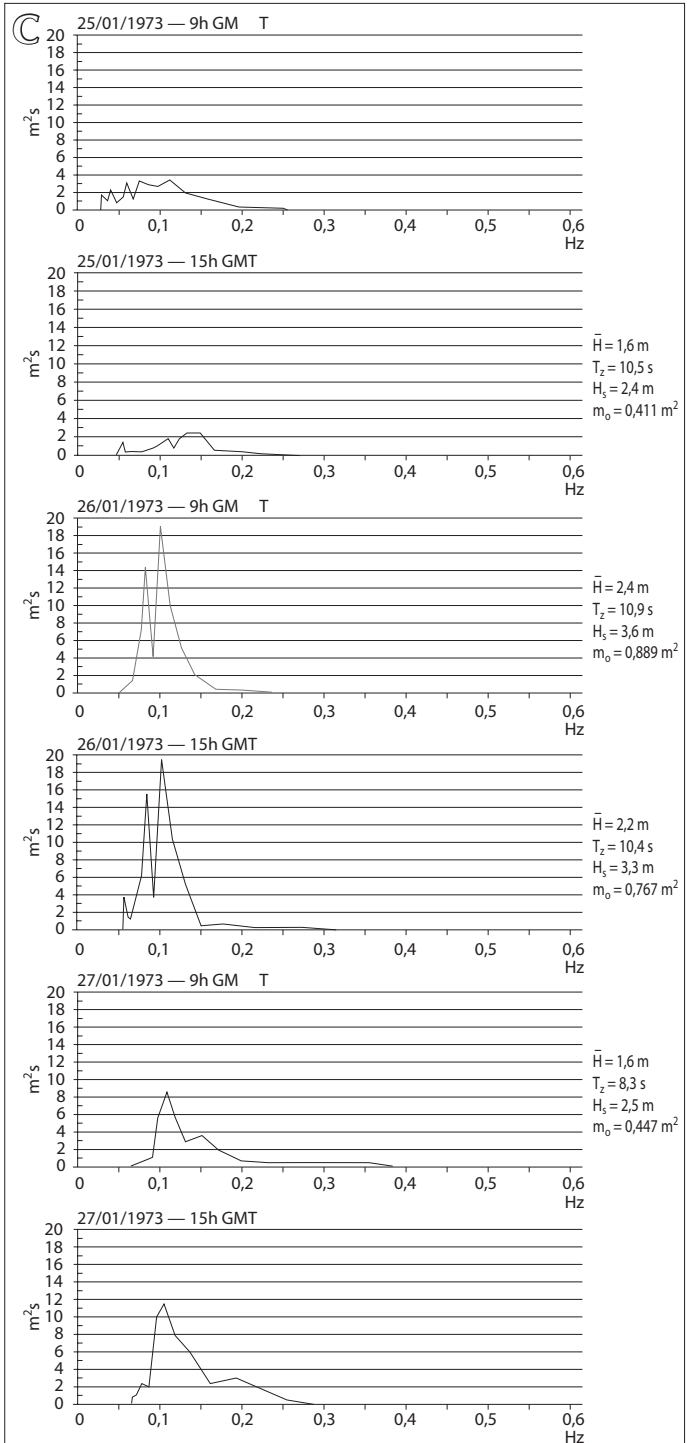
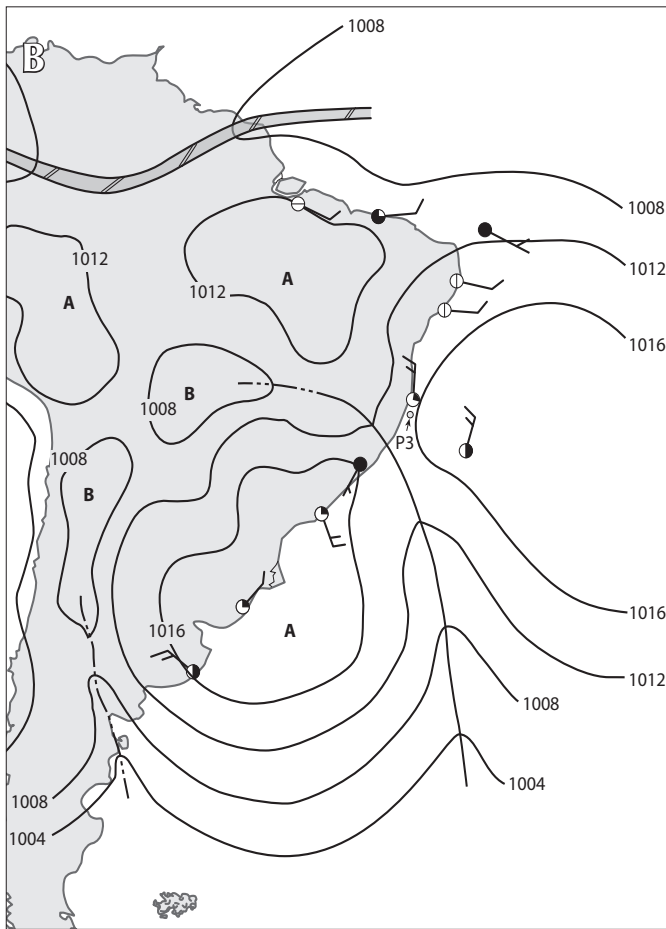


Figura 1.2

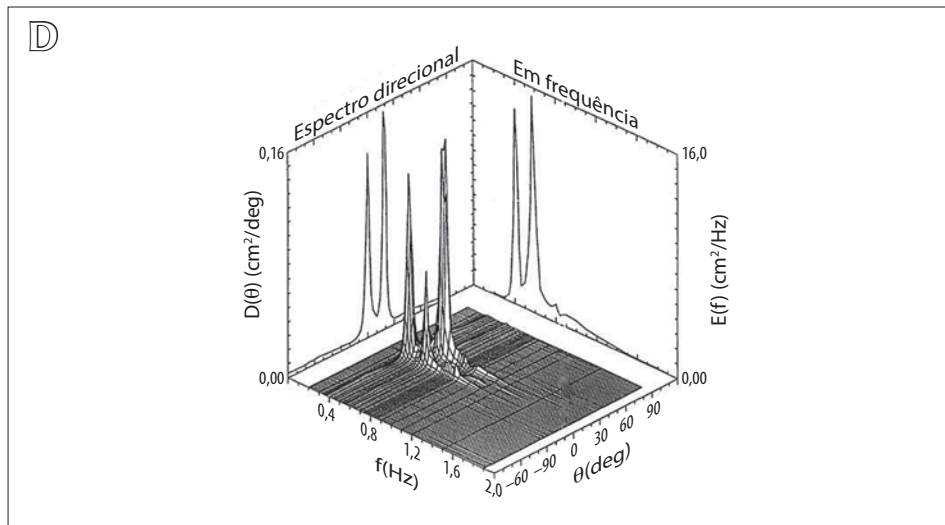
(A) Posição da plataforma P-3 (19°22' S; 39°12' W).

(B) Carta sinótica do dia 26/01/1973 às 9h GMT.

(C) Desenvolvimento do mar ilustrado pelos espectros de distribuição de energia pela frequência.

Figura 1.2

(D) Espectro direcional-exemplo.



A mais completa descrição do estado do mar, identificando as frequências e rumos proeminentes, deve descrever o espectro direcional, pois nem todas as ondas se propagam no mesmo rumo. Portanto, a energia total é obtida pela integração:

$$E = \int_0^{2\pi} \int_1^{n_f} E(\theta, f) df d\theta.$$

Na Figura 1.2(D) está exemplificado um espectro direcional pelos rumos θ em graus decimais.

A duração ideal para descrever corretamente o estado do mar deve permitir que o clima de ondas seja estatisticamente estacionário durante a amostra, pois na prática o mesmo evolui. Assim, para reduzir a dispersão estatística, o registro deve conter o maior número de ondas em torno da média. Sendo assim, a duração da amostragem que atende a ambas as condições é de 15 a 35 minutos.

As ondas naturais são frequentemente descritas somente pela sua altura significativa, H_s , correspondente à altura média do terço maior de ondas de um registro, e pelo seu período médio, T_z (Figura 1.3(D)) Ambas as grandezas são estatisticamente definidas por ondas correspondentes ao cruzamento ascendente ou descendente do zero (nível d'água em repouso), conforme mostrado na Figura 1.3(D). No *zero crossing method* a onda é definida como a porção do registro compreendido entre dois cruzamentos consecutivos do zero (linha do nível médio) no mesmo rumo, ou para cima, ou para baixo.

1.3 DISPERSÃO DA ONDA E VELOCIDADE DE GRUPO

Aquelas ondas em águas profundas que têm maiores períodos e, conseqüentemente, maiores comprimentos deslocam-se mais rapidamente, sendo as primeiras a atingir regiões afastadas da tempestade que as gerou. O registro em uma localidade de ondas provenientes de uma tempestade a grande distância (mais de 500 milhas náuticas, digamos) mostra ao longo do tempo que o pico do espectro de energia

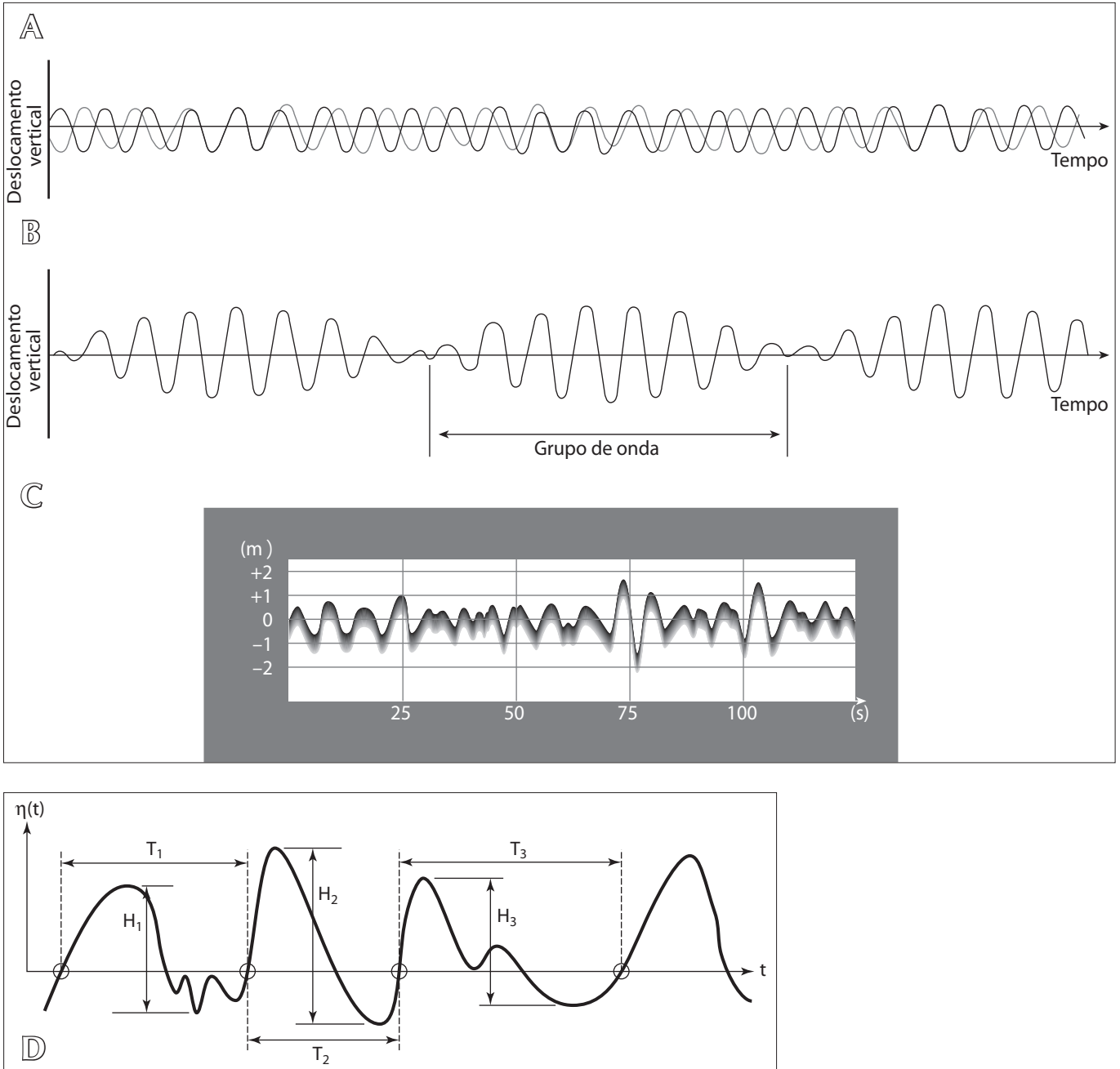


Figura 1.3

(A) e (B) A composição de dois trens de onda (mostrados em preto e cinza) de comprimentos ligeiramente diferentes (mas de mesma amplitude), formando grupos de ondas.

(C) Trecho de ondograma registrado com ondógrafo de ultrassom ao largo da Ilha da Moela em Santos (SP), em uma profundidade de 22 m no dia 18/01/1980.

(D) Exemplo do método do cruzamento ascendente do zero na definição das ondas individuais.

desloca-se progressivamente para as altas frequências, com o que é possível estimar as sucessivas celeridades e o tempo e local de sua origem.

Esta separação das ondas em razão das diferentes celeridades é conhecida como dispersão, característica que produz um fenômeno de interferência entre ondas que forma os chamados grupos de ondas, os quais apresentam uma celeridade de grupo.

As Figuras 1.3(A) e (B) evidenciam um simplificado e idealizado exemplo de interferência de dois trens de onda sinusoidais com pequena diferença de comprimento e, conseqüentemente, de período, e mesma altura das ondas (H), movendo-se no mesmo rumo. É possível proceder à soma dos dois trens, já que a superposição de soluções é permissível quando se usa a teoria linear. Nas posições em que as cristas dos dois trens de onda coincidem, estando completamente em fase, as amplitudes somam-se e a altura de onda observada é $2H$. Nas posições em que as cristas de um trem de onda coincidem com os cavados do outro, os dois trens de onda estão completamente em oposição de fase, a altura de onda resultante é nula, ou seja, as amplitudes cancelam-se e a superfície d'água tem mínimo deslocamento. Na Figura 1.3(C), apresenta-se um ondograma real.

Assim, os dois trens de ondas interagem, cada um perdendo sua identidade individual, combinando-se na formação de uma série de grupos de onda, separados por regiões quase ausentes de agitação. O grupo de onda avança mais lentamente do que as ondas individuais no grupo. A Figura 1.3(E) mostra a relação entre a celeridade da onda e a de grupo.

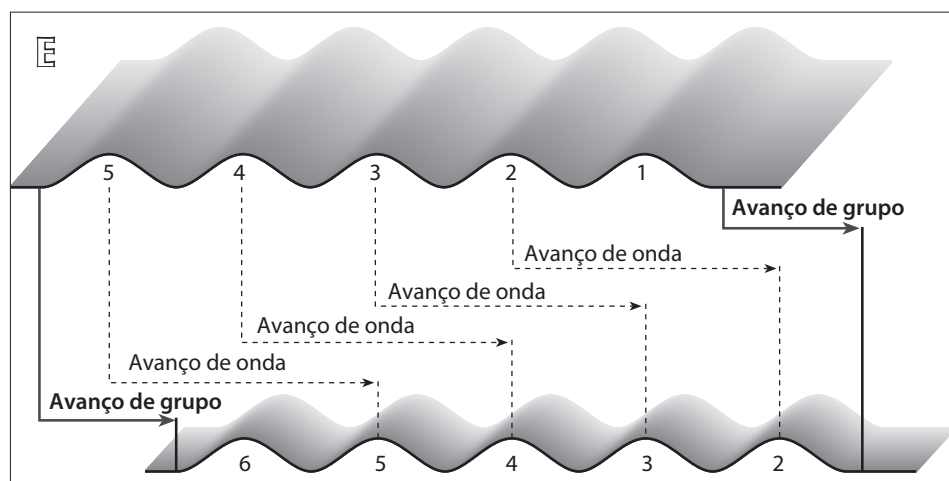
A celeridade com a qual um trem de ondas se propaga geralmente não é idêntica à celeridade com que as ondas individuais dentro do grupo se propagam. A celeridade – ou velocidade – de grupo (c_g) é inferior à celeridade – ou velocidade de fase – em águas intermediárias ou profundas.

A celeridade de grupo e o termo $n(c_g = nc)$, pela teoria linear de ondas, são dados por:

$$c_g = \frac{c}{2} \left(1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right)$$

Figura 1.3

(E) A relação entre celeridade de onda e celeridade de grupo. À medida que a onda avança da esquerda para a direita, cada onda move-se através do grupo para extinguir-se na frente (por exemplo, a onda 1), conforme novas ondas formam-se na retaguarda (por exemplo, a onda 6). Neste processo, a energia da onda encontra-se contida em cada grupo e avança com a velocidade de grupo.



sendo, em águas profundas,

$$c_{g_0} = \frac{c_0}{2}$$

$$n_0 = 0,5$$

e em águas rasas,

$$c_g = c$$

$$n = 1$$

Assim, excetuando a área de águas rasas em que cada onda representa seu próprio grupo, a celeridade das ondas é maior do que a celeridade de grupo. Dessa forma, um observador que segue um grupo de ondas com a sua velocidade nota que as ondas componentes surgem no ponto nodal da retaguarda do grupo e movem-se para a frente, através do grupo, viajando com a celeridade, e desaparecem no ponto nodal da vanguarda do grupo.

A celeridade de grupo é importante, porque é com essa velocidade que a energia das ondas se propaga.

1.4 ENERGIA DA ONDA

1.4.1 Pressão subsuperficial

A pressão subsuperficial efetiva sob a ação das ondas é dada por:

$$P = \frac{\gamma a \cosh[k(h+z)] \cos(kx - \omega t)}{\cosh(kh)} - \gamma z$$

sendo γ o peso específico da água.

O primeiro termo da equação representa a componente dinâmica em virtude da aceleração pela passagem da onda, enquanto o segundo termo é a componente hidrostática da pressão. Pode-se reescrever a equação como:

$$p = \gamma \eta K_z - \gamma z = \gamma (\eta K_z - z)$$

sendo:

$$K_z = \frac{\cosh[k(h+z)]}{\cosh(kh)}$$

O parâmetro K_z é denominado fator de resposta de pressão. Dois casos, particularmente, importantes ocorrem quando:

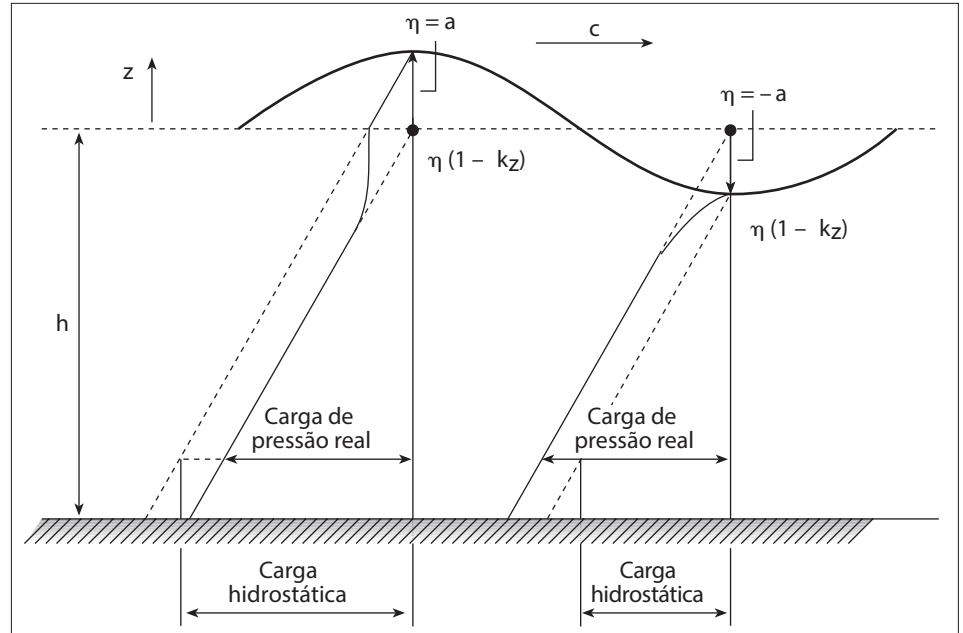
$$z = 0 \text{ (nível d'água em repouso),}$$

$$z = -h \text{ (no leito).}$$

Conclui-se que a pressão nas zonas de z positivo, com a passagem de uma crista de onda pela seção, pode ser considerada hidrostática, o que está representado na Figura 1.4. Por outro lado, no leito sob a crista da onda ($\eta > 0$), a pressão é inferior à hidrostática, enquanto sob o cavado, supera a hidrostática. A explicação

Figura 1.4

Elevação longitudinal dos diagramas de cargas de pressões pela passagem da crista e cavado da onda.



física para essas duas condições extremas é a seguinte: por ocasião da passagem de uma crista, as partículas apresentam aceleração centrífuga dirigida para cima, aliviando a gravidade, enquanto no cavado a aceleração centrífuga é dirigida para baixo no sentido da gravidade.

A definição dos diagramas de pressão causados pela passagem de ondas progressivas é importante para a determinação de esforços em elementos de obras vazadas, como estacas de plataformas.

1.4.2 Energia e potência das ondas

A energia total de um sistema de ondas é a soma de suas energias cinética e potencial. A primeira decorre das velocidades das partículas d'água associadas com o movimento. A segunda resulta da porção de massa fluida acima do cavado. De acordo com a teoria linear, as energias cinética e potencial componentes são iguais, e a energia total em um comprimento de onda por unidade de comprimento de crista é:

$$E_T = \frac{1}{8} \rho g H^2 L$$

onde ρ é a massa específica da água.

A energia total da onda por unidade de área superficial, denominada energia específica, é dada por:

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2$$

Obviamente, nenhuma energia é transmitida através das regiões com ausência das ondas, ou seja, entre os grupos de ondas. Por outro lado, a transmissão de energia

é máxima quando as ondas no grupo atingem a máxima dimensão. Em assim sendo, a energia está contida no grupo de onda e propaga-se com a velocidade de grupo.

O fluxo de energia da onda é a taxa pela qual a energia é transmitida no rumo de propagação da onda em um plano vertical perpendicular a esta e estendendo-se por toda a profundidade. A energia transmitida durante um período equivale à totalidade da energia contida em um comprimento de onda. O fluxo de energia médio por unidade de comprimento de crista é:

$$P = E c_g = E n c$$

sendo P também denominada de potência da onda.

Para águas profundas e águas rasas, têm-se respectivamente:

$$P_0 = E_0 n_0 c_0 = \frac{1}{8} \rho g H_0^2 \frac{1}{2} \frac{gT}{2\pi} = \frac{1}{32\pi} \rho g^2 H_0^2 T$$

$$P = Ec = \frac{1}{8} \rho g H^2 \sqrt{gh}$$

1.5 CARACTERÍSTICAS ESTATÍSTICAS DAS ALTURAS DAS ONDAS OCEÂNICAS

1.5.1 Distribuição das alturas de ondas em uma tempestade

A probabilidade de excedência de uma altura de onda H , ($P(H)$), em uma tempestade pode ser estimada pela distribuição de Rayleigh (ver Figura 1.5), que é a de melhor ajuste em águas profundas nesta estatística de curto período:

$$P(H) = e^{-2(H/H_s)^2} = e^{-(H/H_{RMS})^2}$$

correspondendo respectivamente a cálculos com a altura significativa H_s (média do terço maior de alturas das i ondas de um registro) e com a raiz do valor quadrático médio

$$H_{RMS} = \left(\sqrt{\overline{H_i^2}} \right)$$

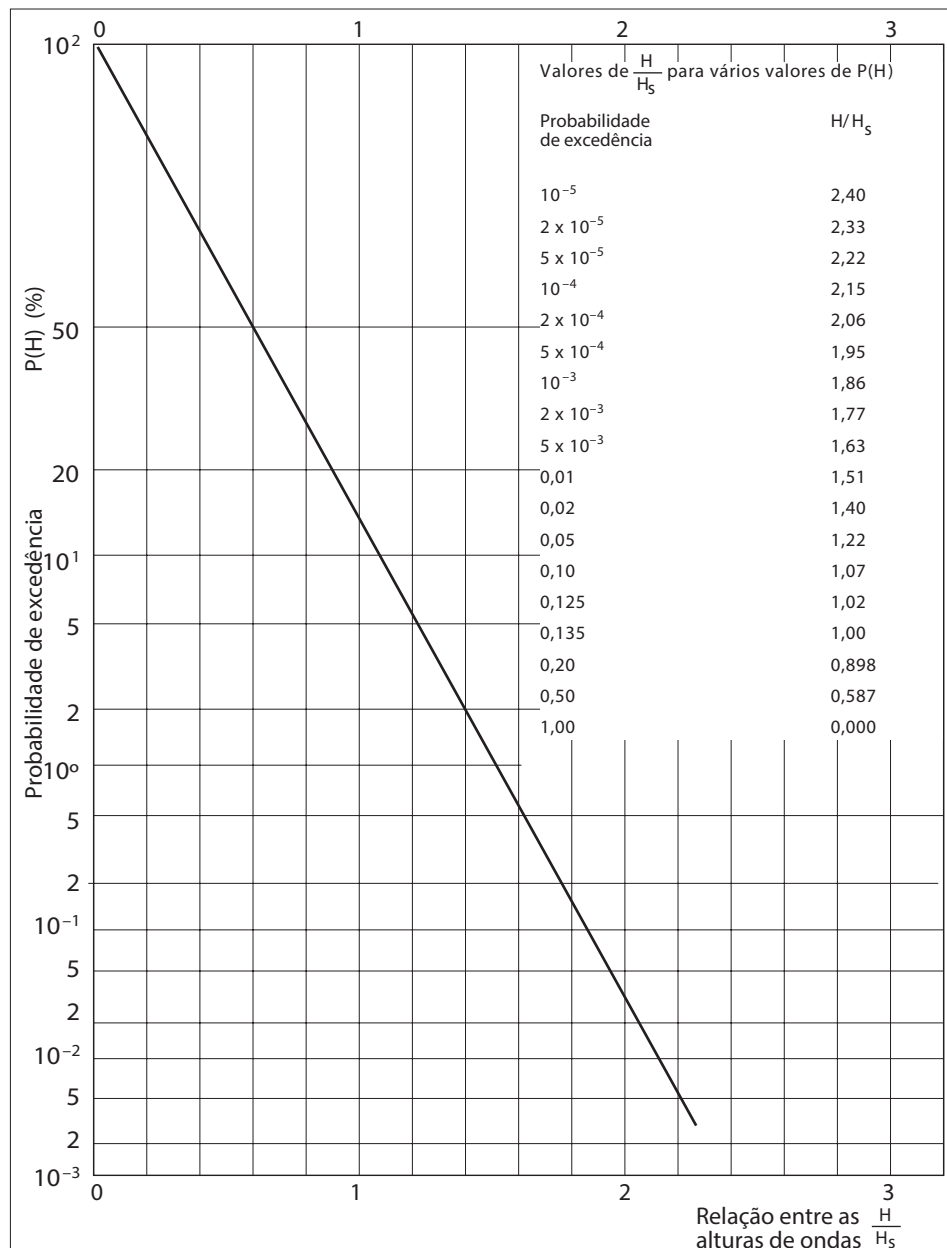
Para espectro estreito, isto é, com agitação composta por ondas monocromáticas com frequências muito similares entre si, podem ser obtidas as seguintes aproximações espectrais:

$$\begin{aligned} \bar{H} &= \sqrt{2\pi m_0} = 0,626 H_s = \sqrt{2\pi} H_{RMS}/2 \\ H_{RMS} &= \sqrt{8 m_0} = 0,706 H_s \\ H_s &= 4,005 \sqrt{m_0} = 1,416 H_{RMS}^* \\ H_{1/10} &= 5,091 \sqrt{m_0} = 1,271 H_s = 1,80 H_{RMS} \\ H_{1/100} &= 6,672 \sqrt{m_0} = 1,666 H_s = 2,359 H_{RMS} \\ H_{m\acute{a}x} &= 1,86 H_s \quad (P(H_{m\acute{a}x}) = 0,001) \end{aligned}$$

Cada onda é caracterizada pela porção do registro ondográfico contido entre dois cruzamentos sucessivos do nível médio do mar no período de registro (zero), podendo-se considerar o cruzamento ascendente ou descendente.

* O valor 4 é teórico, pois análises e registros reais apresentam valores inferiores a 3,6.

Figura 1.5
Distribuição de Rayleigh.



A caracterização de um registro de ondas naturais é frequentemente efetuada pelo fornecimento da altura de onda significativa e pelo período médio (T_z). Essa é a prática usual adotada nos estudos de Hidráulica Marítima, uma vez que são negligenciadas as ondas menores, cujos efeitos não são dominantes. Além disso, os registros hidrográficos mostram que a altura de onda significativa corresponde razoavelmente bem à percepção visual da média das maiores ondas que um observador experiente, fornecendo resultados muito próximos. Outro período também adotado na caracterização do registro de ondas é o período de pico do espectro (T_p), que, dependendo da forma do espectro, pode ser de 1,1 a 1,4 vezes o período médio.

Espectralmente, a altura significativa é definida como

$$H_{m_0} = H_S = 3,8 \sqrt{\int E(f) df} = 3,8 \sqrt{m_0}$$

onde $E(f)$ é o espectro em frequência da onda e o valor de 3,8, muitas vezes, é tomado como 4.

1.5.2 Distribuição estatística de longo período

A estimativa de longo período – acima de dez anos – da distribuição de alturas é efetuada com metodologias de distribuições estatísticas de fenômenos aleatórios (Weibull, Gumbel, Log-normal etc.) utilizando-se como parâmetro a altura de onda significativa ou máxima (ver Figura 1.6). Essas distribuições, associadas com a distribuição estatística de curto período, permitem estimativas de períodos de retorno para o projeto de obras costeiras.

A distribuição de Weibull é um dos métodos mais usuais na análise de valores extremos de altura significativa da onda para uma distribuição de longo período. Segundo esta distribuição a probabilidade de excedência de uma onda é expressa por:

$$p(H) = e^{-\left[\frac{H-A}{B}\right]^C}$$

sendo A , B e C , respectivamente, os parâmetros de locação, escala e forma.

A dispersão da previsão de uma altura de onda em função do período de retorno para diferentes distribuições estatísticas começa a ser muito grande quando o período de retorno supera de 3 a 4 vezes o período de observação da base de dados de ondas. Séries históricas contínuas de longo período de registros com ondógrafos no litoral brasileiro são poucas, e assim são usadas técnicas de reconstituição do estado do mar passado (*hindcasting*) a partir de dados meteorológicos para definir as distribuições de longo período, como apresentado no gráfico de Darbyshire e Draper na Figura 1.7(A), a partir da pista de sopro (*fetch*), velocidade do vento a 10 m acima do nível do mar e duração do vento para atingir o mar plenamente desenvolvido. Com os valores da velocidade e do *fetch*, verifica-se a duração para obter a condição para mar plenamente desenvolvido, e se avalia, para a mesma velocidade, se o caso é de limitação de *fetch* ou de duração.

Uma das primeiras aproximações teóricas determinísticas, a de Iribarren na década de 1930, fornece:

$$H = 1,2(F)^{1/4}; T = (62 \times \pi/g)^{1/2} \times (F)^{1/6}; L = 31 \times (F)^{1/3},$$

para H e L em m , F (*fetch*) em km , T em s e $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

Em profundidades reduzidas, pouco profundas ($< 15 \text{ m}$), ou intermediárias (entre 15 e 90 m):

$$H_s = 0,283 \times \frac{U_A^2}{g} \times \tanh \left[0,530 \times \left(\frac{g \times h}{U_A^2} \right)^{3/4} \right] \times \tanh \left[\frac{0,00565 \times \left(\frac{g \times F}{U_A^2} \right)^{1/2}}{\tanh \left[0,530 \times \left(\frac{g \times h}{U_A^2} \right)^{3/4} \right]} \right]$$

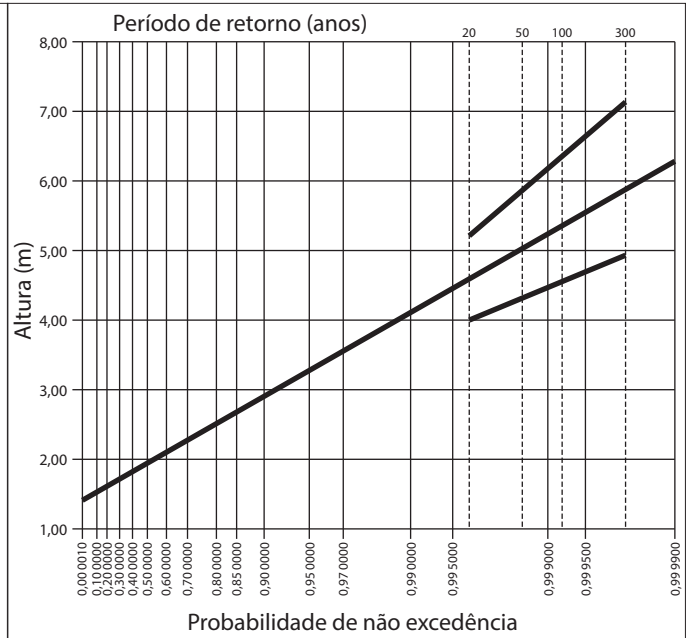
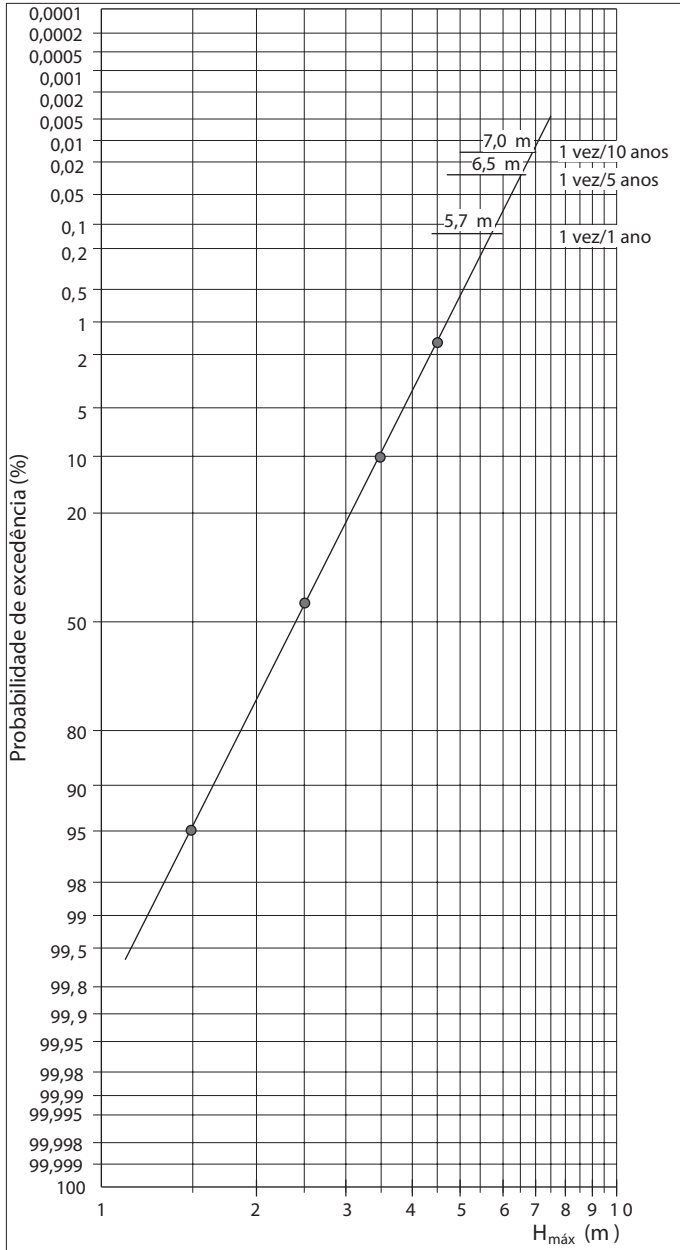


Figura 1.6

(A) Previsão de longo período com ajuste log-normal da altura de onda máxima na costa do Espírito Santo, na localidade assinalada na Figura 1.2(A) (São Paulo, Estado/DAEE/SPH/CTH).

(B) Previsão de longo período com ajuste pela distribuição de Weibull de altura significativa. Está estimada em função da probabilidade de não excedência com base em 16 anos de medições por ondógrafo. Os parâmetros da distribuição de Weibull são: A = 1,41, B = 0,73 e C = 1,17. Banda superior 90%.

$$T_p = 7,54 \times \frac{U_A}{g} \times \tanh \left[0,833 \times \left(\frac{g \times h}{U_A^2} \right)^{3/8} \right] \times \tanh \left[\frac{0,0379 \times \left(\frac{g \times F}{U_A^2} \right)^{1/3}}{\tanh \left[0,833 \times \left(\frac{g \times h}{U_A^2} \right)^{3/8} \right]} \right]$$

$$t = 5,37 \times 10^2 \times \left[\frac{g}{U_A} \right]^{4/3} \times (T_p)^{7/3}$$

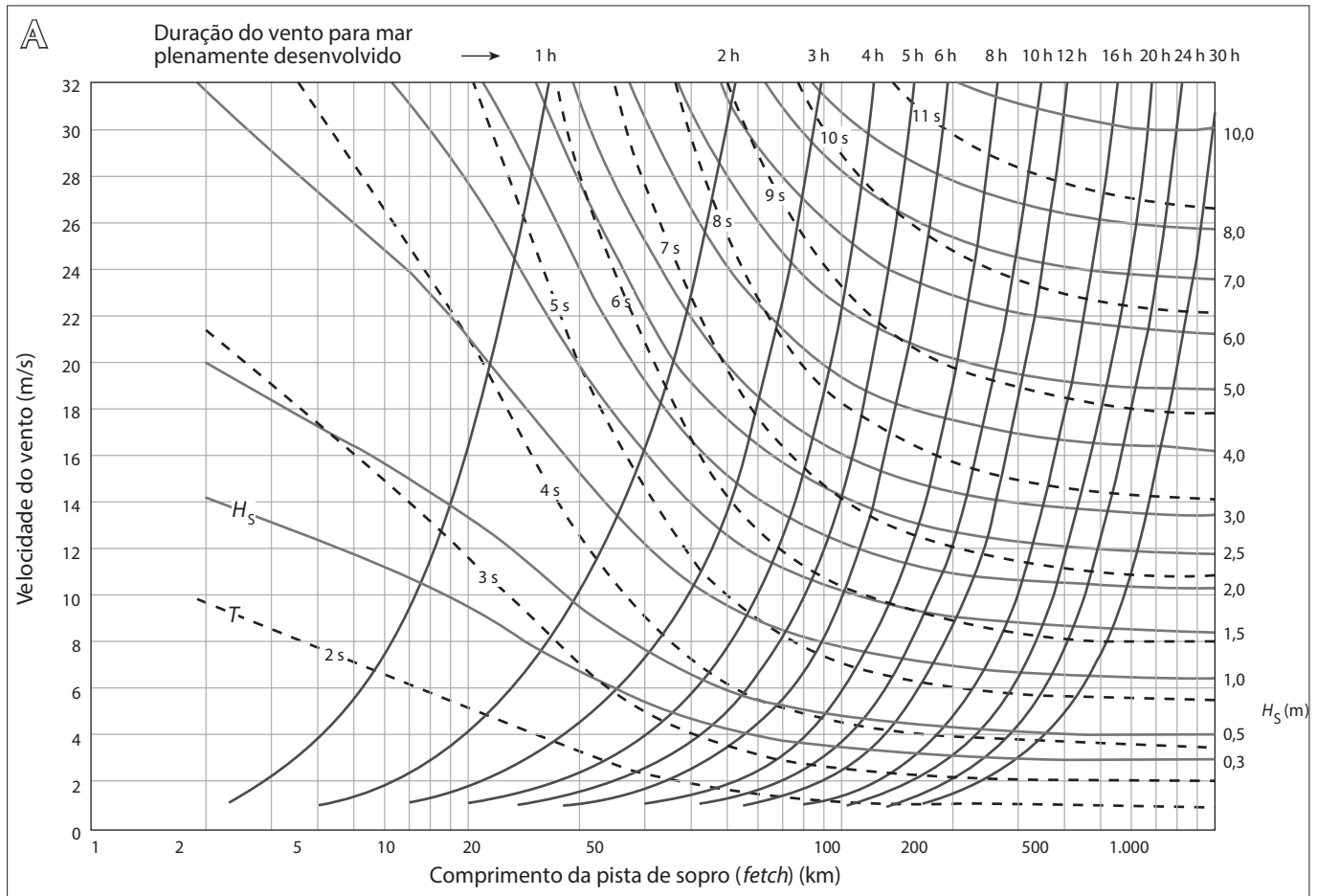
Sendo unidades métricas, t o tempo para mar plenamente desenvolvido e $U_A = 0,71 \times V_b^{1,23}$ a velocidade do vento corrigida para levar em conta a relação não linear entre a velocidade do vento e sua capacidade de arraste. Esta velocidade é conhecida como velocidade eficaz do vento. Na Figura 1.7(B) ilustra-se a obtenção do *fetch* equivalente com base no método da média aritmética das 9 radiais espaçadas angularmente por 3° .

Os projetos *Wave Watch III* (WWIII) do NCEP¹ da NOAA², norte-americano e ERA-40 do ECMWF³, europeu, são os mais utilizados na reconstituição *hindcasting*, sendo mais confiáveis os valores a partir de 1979.

Outra fonte de dados para o estabelecimento de séries de longo período é o recurso a observações visuais de ondas, a partir de navios hidrográficos. Nas Figuras 1.8 e 1.9(A) e Tabela 1.1 estão apresentados os dados de ondas do Banco Nacional de Dados Oceanográficos – BNDO, Marinha do Brasil, que cobrem os anos de 1965 a 1990 no subquadrado 46 do quadrado 376 de Marsden, que abrange as áreas costeiras de latitudes 24 e 25 °S e longitudes de 46 a 47 °W, correspondente ao litoral centro-sul do Estado de São Paulo. São dados de vagas e marulhos obtidos de observações visuais, a partir de navios hidrográficos em águas profundas. Na Tabela 1.2 estão apresentados os dados de ondas, já irradiada-

1 NCEP: National Centers for Atmospheric Research.
 2 NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration.
 3 ECMWF: European Centre for Medium Range Weather Forecasts.

Figura 1.7
 (A) (B) Geração de onda pelo vento, estimativa das características da agitação significativa em águas profundas gerada pelo vento.



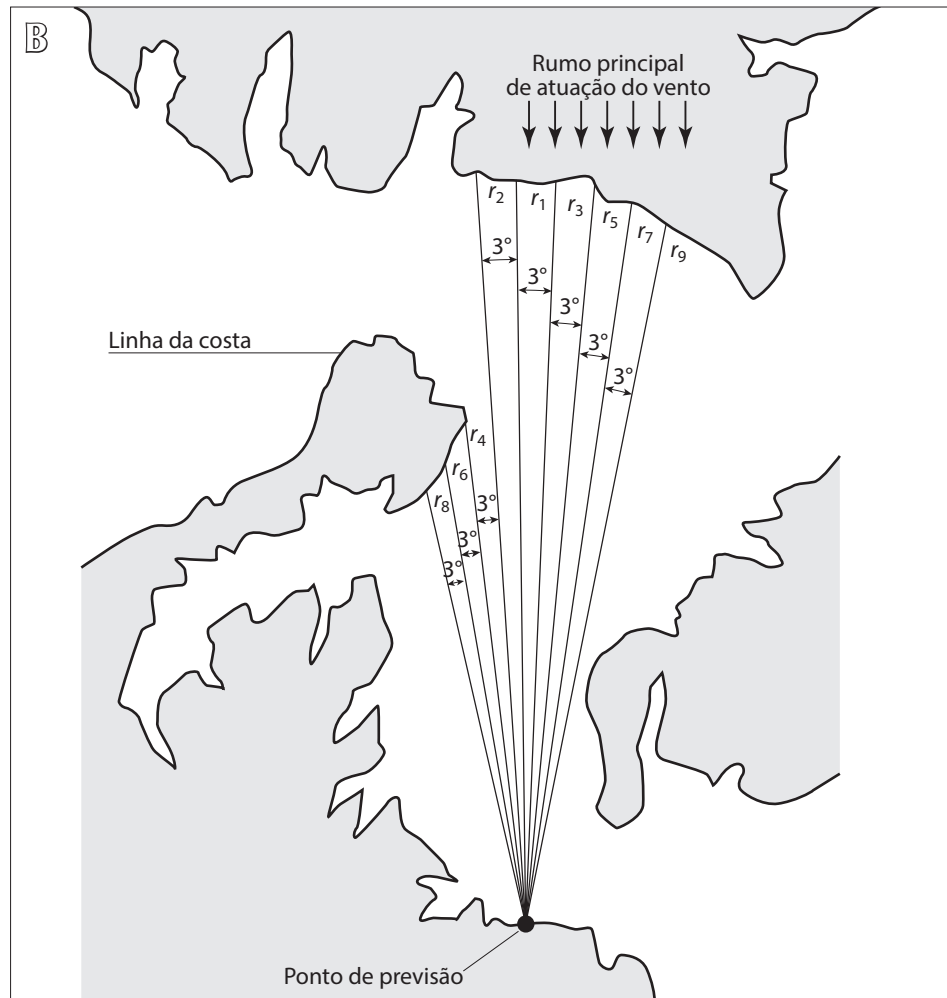
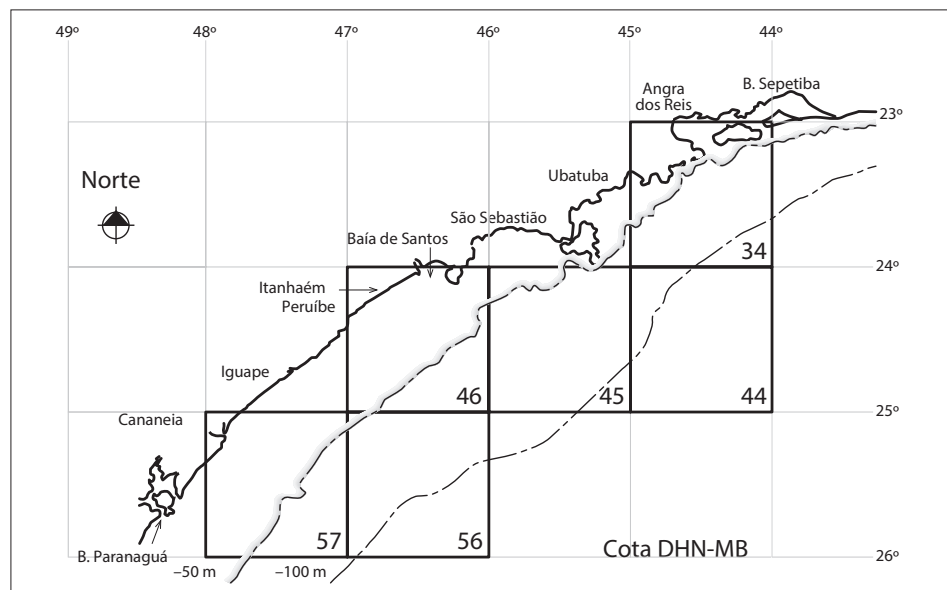


Figura 1.8
Planimetria dos subquadrados 34, 44, 45, 46, 56 e 57 do quadrado 376 de Marsden.



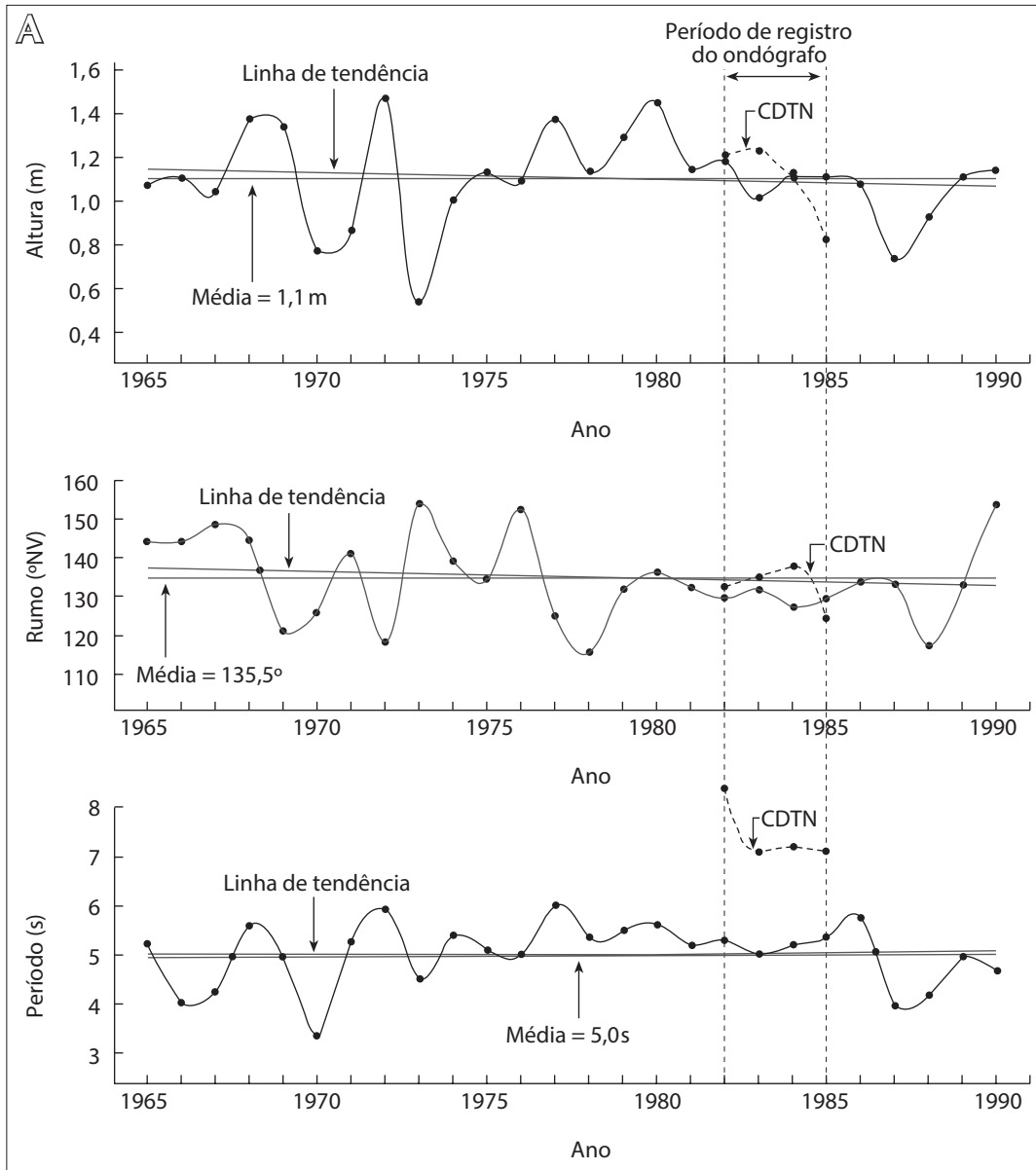


Figura 1.9
 (A) Média anual dos parâmetros de ondas obtidos dos dados do BNDO (Brasil/Marinha/DHN) e da Nuclebrás/CDTN (1982 a 1985) para o subquadrado 46 do quadrado 376 de Marsden. Região ao largo da Praia Grande (SP) (ARAÚJO e ALFREDINI, 2001).

dos para águas profundas, registrados com ondógrafo na Praia do Una em Iguape de 1982 a 1985 (Nuclebrás, 1982 a 1985), que é a mais extensa série de registro de agitação da costa do Estado de São Paulo e cujos dados representativos em águas profundas estão consolidados na Figura 1.9(B).

Figura 1.9

(B) Rosa de ondas representativas de um ano em água profunda a partir dos dados da Nuclebrás/CDTN (1982 a 1985) da Praia do Una, em Iguape (SP).

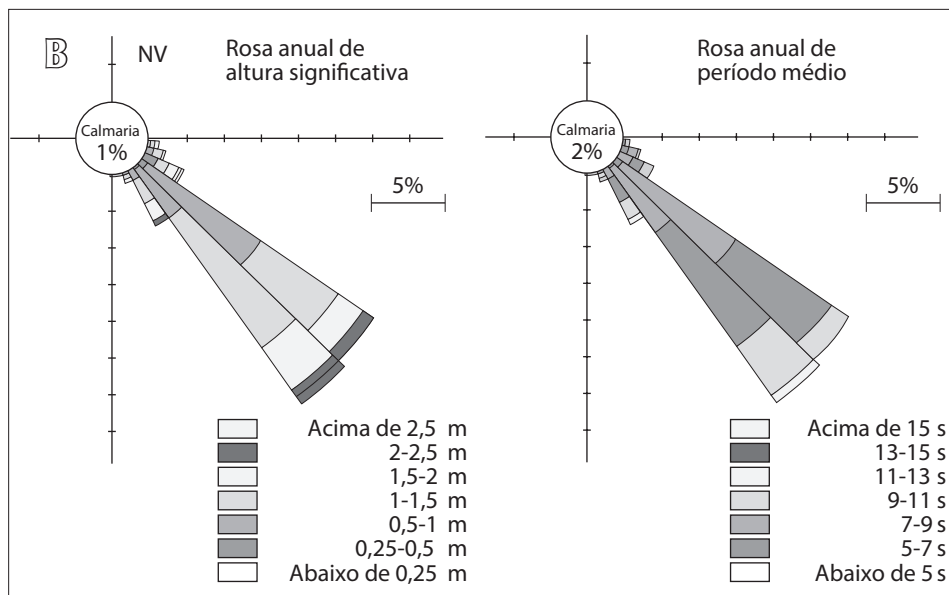


TABELA 1.1			
Dados de onda médios em água profunda calculados a partir dos dados do BNDO do subquadrado 46 do quadrado 376 de Marsden. Região ao largo da Praia Grande (SP)			
Ano	Rumo (°NV)	T_z (s)	H_{0s} (m)
1982	129,6	5,4	1,19
1983	132,9	4,9	1,00
1984	128,0	5,2	1,12
1985	129,4	5,4	1,11

A partir da década de 1990, a altimetria por radares acoplados em satélites, como o Topex/Poseidon, tem permitido obter dados com acurácia de poucos centímetros das oscilações de ondas e marés, principalmente nas grandes profundidades oceânicas, Piccinini (2007), com base em dados satelitais de setembro de 1992 a agosto de 2002, obteve para pontos oceânicos da costa brasileira valores extremos de ondas para 50 anos de período de retorno pela distribuição de Weibull, conforme segue em termos de altura significativa:

- 04°S 32°W — $H_{S50} = 3,69$ m
- 15°S 35°W — $H_{S50} = 4,78$ m
- 25°S 35°W — $H_{S50} = 7,17$ m
- 35°S 35°W — $H_{S50} = 11,43$ m
- 35°S 45°W — $H_{S50} = 11,85$ m

TABELA 1.2
Dados de onda médios em água profunda, calculados a partir dos dados da Nuclebrás/CDTN da Praia do Una em Iguape (SP)

Ano	Rumo (°NV)	T_z (s)	H_{0s} (m)
1982	132,7	8,3	1,21
1983	134,8	7,1	1,23
1984	137,9	7,2	1,10
1985	124,5	7,1	0,82

1.6 EFEITOS DE ÁGUAS INTERMEDIÁRIAS E RASAS

1.6.1 Empolamento e refração

1.6.1.1 Considerações gerais

O empolamento e a refração são deformações sofridas pela onda que resultam da redução da profundidade e da batimetria que ela encontra ao propagar-se rumo à costa em lâminas d'água $h < L/2$, dizendo-se que as ondas “sentem” o fundo.

São as deformações que alteram os parâmetros de ondas em trechos de costa abertos, desabrigados e sem obstáculos à incidência das ondas, como no caso da Praia Grande e de Peruíbe em São Paulo (ver Figura 1.10).

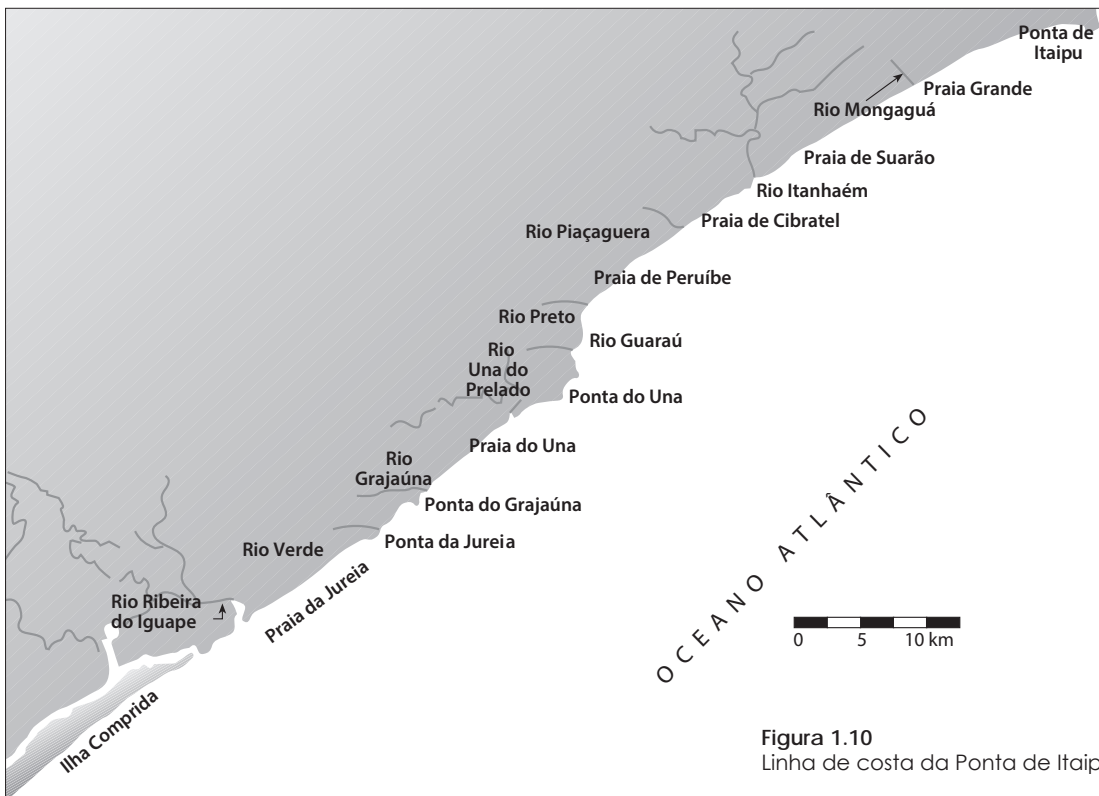


Figura 1.10
Linha de costa da Ponta de Itaipu à Ilha Comprida (SP).

1.6.1.2 Empolamento

O empolamento consiste na alteração da altura da onda que decorre somente da redução da profundidade, pouco antes da arrebentação a onda atinge sua altura máxima.

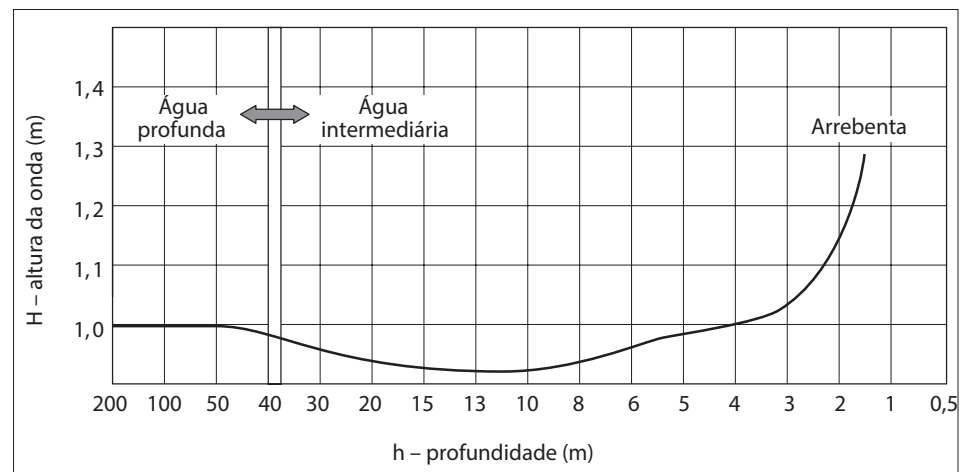
A Tabela 1.3 ilustra a variação do comprimento e da celeridade de uma onda de período $T = 7$ s para algumas profundidades segundo o cálculo da teoria linear de ondas. Pode-se notar que entre profundidades grandes há uma variação desprezível desses parâmetros e que essa variação torna-se grande quando se atingem profundidades pequenas.

Observa-se na Figura 1.11 uma curva característica do empolamento sem refração de uma onda, nesse caso para uma onda de período $T = 7$ s e altura unitária em água profunda.

TABELA 1.3 Variação do comprimento e celeridade de uma onda com período de 7 segundos			
h (m)	L (m)	c (m/s)	h/L
100	76,50	10,93	1,31
50	76,46	10,92	0,65
38,11	76,22	10,89	0,50
20	71,98	10,28	0,28
10	59,82	8,54	0,17
5	45,65	6,52	0,11

A partir da profundidade de 50 m, a altura da onda decresce e atinge um mínimo de 0,92 m, pois a perda de energia por atrito com o fundo supera o efeito de concentração da energia por elevação do fundo, e a partir deste ponto volta a au-

Figura 1.11
Elevação do perfil longitudinal do empolamento de uma onda com período $T = 7$ s e $H_0 = 1$ m rumando para a costa.



mentar continuamente, porque ocorre o efeito contrário ao anteriormente citado. A profundidade de transição entre a teoria linear e a teoria solitária foi calculada em 1,86 m. A partir dessa profundidade, o empolamento passa a ser calculado pela última teoria até a arrebentação, que acontece com $H_b = 1,29$ m e $h_b = 1,66$ m. Esse tipo de propagação sem o efeito da refração pode ocorrer quando a onda apresenta rumo coincidente com a ortogonal das isóbatas, e estas são paralelas entre si.

Considerando a situação em que as ondas aproximam-se de águas intermediárias e rasas com suas frentes formando ângulo com as isóbatas, as frentes tendem a se encurvar e reduzir esse ângulo. Tal fenômeno resulta de que a celeridade reduz-se com a redução da profundidade. Em águas profundas, não se produz refração, já que a celeridade independe da profundidade.

1.6.1.3 Refração e empolamento

As ondas refratam-se analogamente ao fenômeno da refração de outros tipos de ondas, por exemplo, das ondas sonoras e luminosas. Ao passar de um meio para outro com índice de refração diferente, ocorre uma variação na velocidade do som ou da luz, o que causa uma mudança angular em seu rumo de propagação.

No caso de a onda hidráulica encontrar uma variação da profundidade que não é ortogonal ao seu sentido de propagação, a mesma frente de onda encontra profundidades diferentes, e haverá para a mesma frente celeridades diferentes. A diferença de profundidade faz com que parte da frente de onda em água mais profunda tenha uma celeridade maior do que a parte em água mais rasa, causando a tendência de a frente atingir a praia paralelamente às curvas batimétricas (ver Figura 1.12). A esse efeito de curvatura chamamos refração.

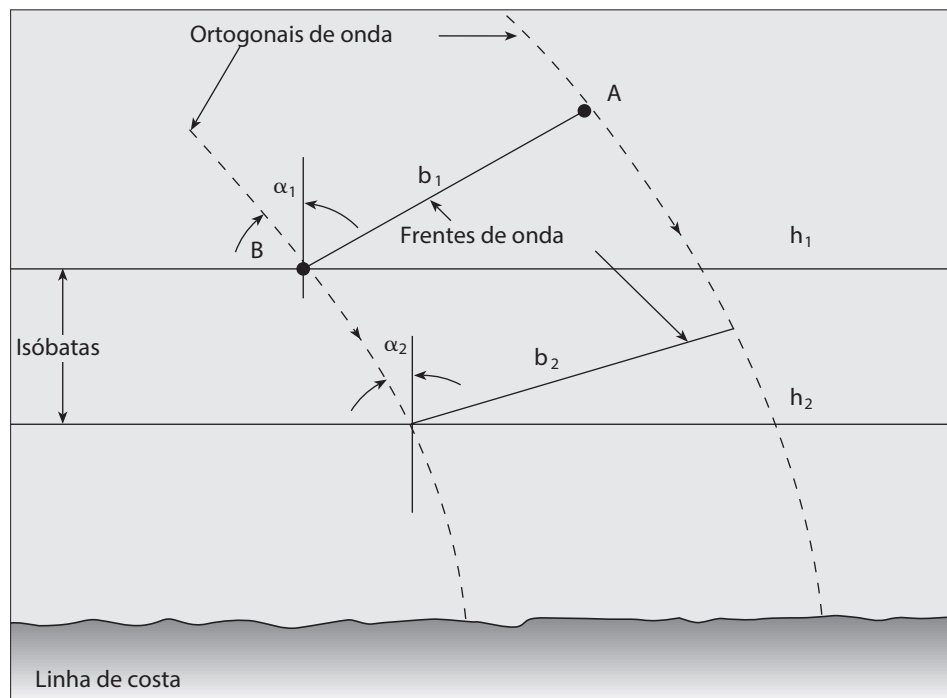


Figura 1.12
Vista planimétrica ilustrando a correlação entre ângulo (α) de aproximação da onda, profundidade (h) e comprimento da frente de onda (b). As ortogonais (linhas tracejadas) são normais às frentes de onda e são as trajetórias seguidas pelos pontos nas frentes de onda.

Assim, a onda refrata quando sua frente encontra isóbatas oblíquas à sua frente de propagação, ou, genericamente, quando em uma mesma frente de onda encontram-se profundidades diferentes.

A mudança de rumo pode ser assinalada pela curvatura das ortogonais, que são linhas imaginárias perpendiculares às cristas da onda e que se estendem no rumo em que a onda avança.

Além da mudança do rumo de propagação, a refração também causa alterações na altura da onda e, nesse caso, na mesma frente de onda, encontram-se alturas diferentes. Essa mudança de altura independe do fenômeno do empolamento e é causada pelo efeito de concentração ou desconcentração de energia que pode decorrer da refração.

Pode-se assumir que a energia entre duas ortogonais permanece constante e que o rumo em que a onda propaga-se é perpendicular às cristas das ondas. Assim, quando a onda refrata, a distância entre suas ortogonais varia, entretanto, a energia entre elas permanece a mesma.

Observa-se na Figura 1.13, pelas ortogonais, a refração sofrida pela onda ao longo de um trecho de linha de costa irregular. A distância entre as ortogonais torna-se grande na região da enseada, configurando uma região de desconcentração de energia e, conseqüentemente, de ondas de alturas inferiores.

Observando-se o pontal nota-se o inverso, ou seja, uma região de forte concentração de energia e alturas de onda maiores. Como consequência, é bem conhecido que, em uma linha de costa como esta, predominam areias nas enseadas e pontais rochosos, bem como a concentração de energia nos cabeços e cotovelos de quebra-mares e molhes.

Assim, a refração tem uma grande importância na distribuição da energia ao longo da costa.

A refração das ondas de oscilação em muito se assemelha ao fenômeno que ocorre na Óptica Geométrica, em que a lei de Snell descreve o comportamento de raios luminosos propagando-se de um meio para outro com diferentes velocidades

Figura 1.13 Planimetrias de
(A) Refração ao longo da linha de costa.
(B) Refração de onda com rumo sul em água profunda e período de 11 s na Baía de Santos.

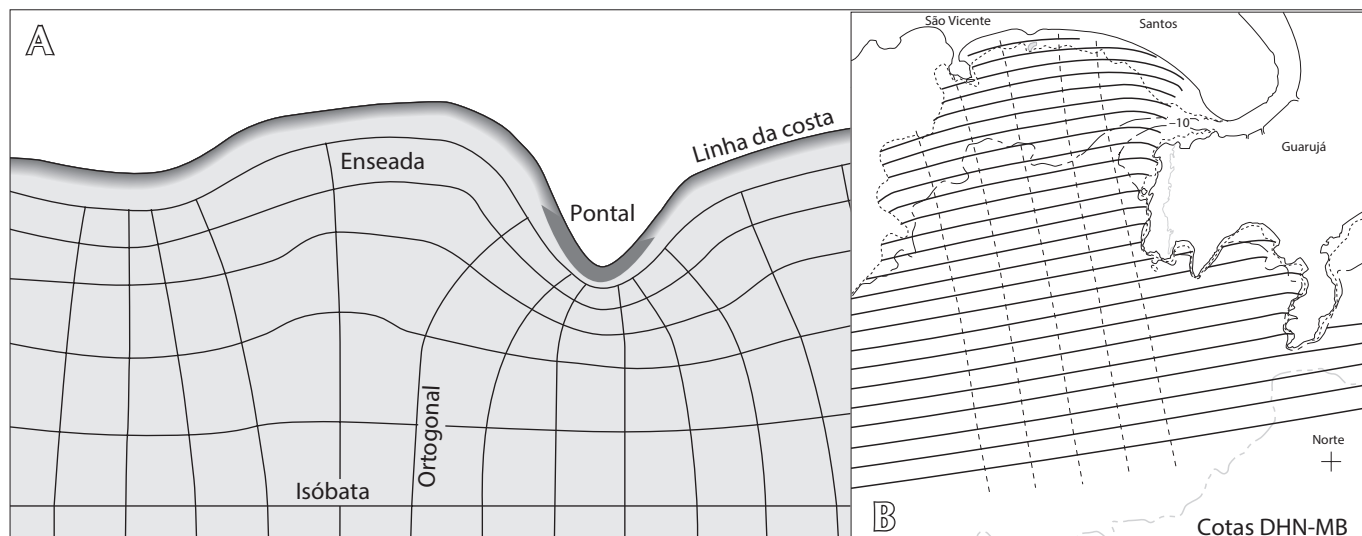




Figura 1.13
(C) Concentração de energia em Pontal na Costa dos Lençóis Maranhenses (MA).

de propagação. Nas ondas de oscilação, há uma mudança gradual na celeridade em vez de uma abrupta como na Óptica, o que leva às frentes encurvadas, conforme mostrado na Figura 1.13.

Existem diversas técnicas gráficas e numéricas para a análise da refração, mas, fundamentalmente, todos os métodos são baseados na lei de Snell (ver Figura 1.14).

Lei de Snell:

$$\frac{c}{c_1} = \frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen } \alpha_1}$$

sendo α o ângulo formado entre uma isóbata e a frente de onda, que também é igual ao ângulo formado entre a ortogonal da frente de onda e a normal da isóbata. O subíndice é usado para distinguir valores de parâmetros de mesmo significado.

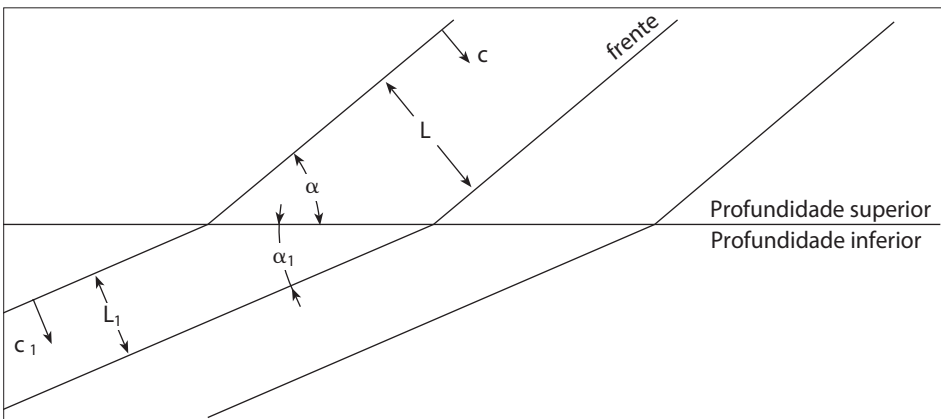


Figura 1.14
Lei de Snell aplicada, em planta, à frente de onda em refração.

Na Figura 1.13, as ortogonais da onda estão assinaladas, uma vez que, embora sejam linhas virtuais, são frequentemente mais úteis do que as frentes na determinação das áreas que apresentam maior ou menor concentração de energia das ondas, ou seja, menor ou maior espaçamento entre ortogonais. A mudança da celeridade e , conseqüentemente, do rumo das ondas (pela lei de Snell) produz a variação da altura da onda. De fato, o efeito da refração na altura da onda é calculado assumindo que a potência transmitida entre duas ortogonais adjacentes permanece constante:

$$P_1 b_1 = P_2 b_2$$

sendo b a distância entre ortogonais. Escolhendo um dos pontos de referência em águas profundas, temos:

$$\frac{H}{H_0} = K_s K_r$$

$$K_s = \frac{H}{H_0} = \sqrt{\frac{c_0}{c} \frac{1}{2n}} = \sqrt{\frac{1}{\operatorname{tgh} kh \left(1 + \frac{2kh}{\operatorname{senh} 2kh}\right)}}$$

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}}$$

Essas equações tornam possível o cálculo da refração e do empolamento que a onda sofre, a partir dos coeficientes respectivos (K_r e K_s).

Na Figura 1.15, observa-se graficamente a refração das ortogonais de uma onda de período $T = 7$ s e ângulo de incidência de 40° em relação à normal da linha de costa. Nota-se que os maiores desvios angulares ocorrem nas regiões de menores profundidades e que, em um caso como esse de isóbatas e linha de costa paralelas, não há diferenças de concentração de energia ao longo da linha de costa.

A Tabela 1.4 apresenta o exemplo de cálculo referente à Figura 1.16 para uma onda de período de 7 s e altura em água profunda de 2 m.

Figura 1.15
Planimetria de exemplo numérico de refração de onda.

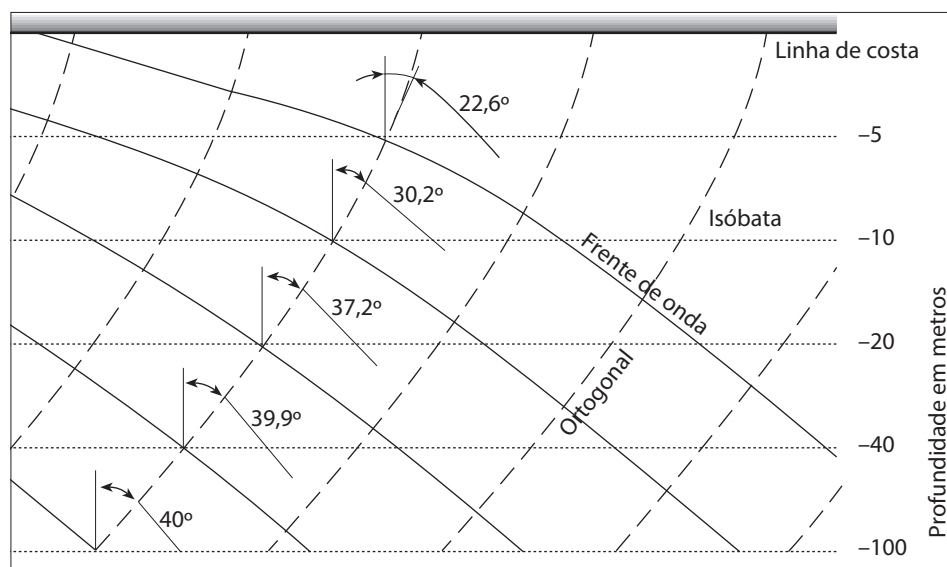


TABELA 1.4
Cálculos referentes à refração da onda apresentada na Figura 1.16

h (m)	L (m)	c/c_0	K_s	α (°)	n	K_r	H/H_0	H (m)	H' (m) ⁽¹⁾	b/b ₀
100	76,53	1,0000	1,0000	60,0	0,5000	1,0000	1,0000	2,00	2,00	1,00
15	67,63	0,8839	0,9172	49,9	0,6724	0,8815	0,8085	1,62	1,83	1,29
10	59,74	0,7824	0,9166	42,7	0,7606	0,8245	0,7558	1,51	1,83	1,47
5	45,70	0,5966	0,9808	31,1	0,8713	0,7642	0,7495	1,50	1,96	1,71
3	37,98	0,4968	1,0040	25,5	1	0,7442	0,7472	1,49	2,01	1,81
2 ⁽²⁾	31,01	0,4053	1,1110	20,5	1	0,7307	0,8118	1,62	2,22	1,87

⁽¹⁾ Altura da onda somente considerando o empolamento $T = 7$ s.

⁽²⁾ Arrebentação.

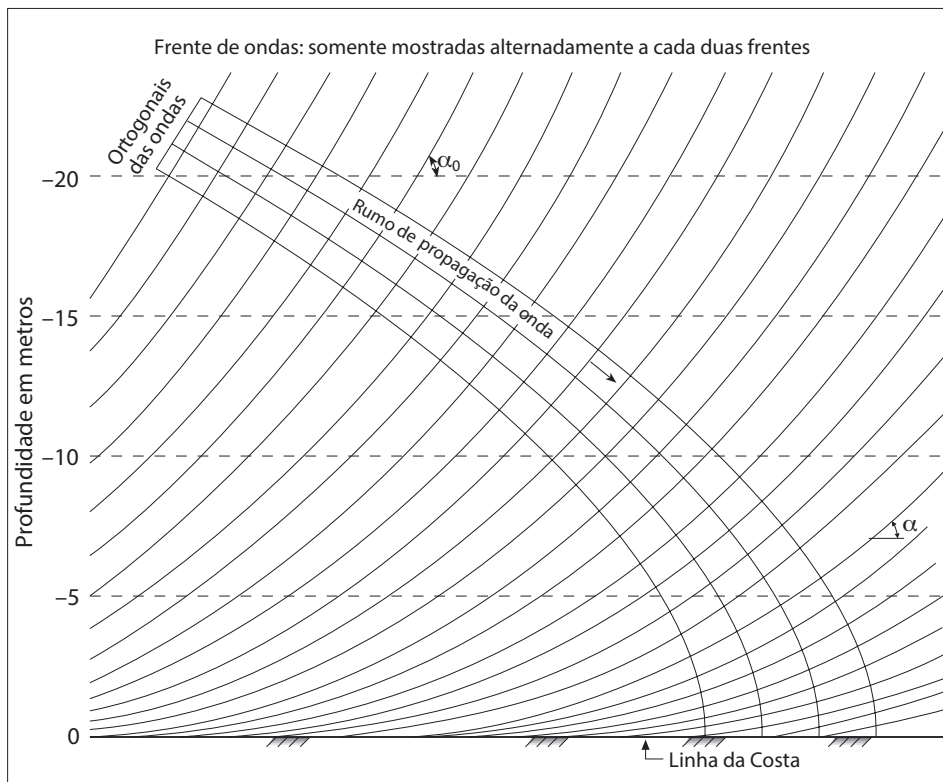


Figura 1.16
Planimetria do padrão de refração de onda com período de 7 s.

O procedimento simplificado, anteriormente, é válido quando for possível assumir contornos isobáticos sensivelmente paralelos. Nas Figuras 1.17 a 1.26, estão apresentados exemplos de cálculos numéricos de propagação de onda na costa do Estado de São Paulo.

Figura 1.17

Planimetria da irradiação de ortogonais de onda de período 7 s, a partir de boia posicionada na Praia do Una (Nuclebrás/CDTN, 1982 a 1985) em Iguape (SP) (ARAÚJO, 2000).

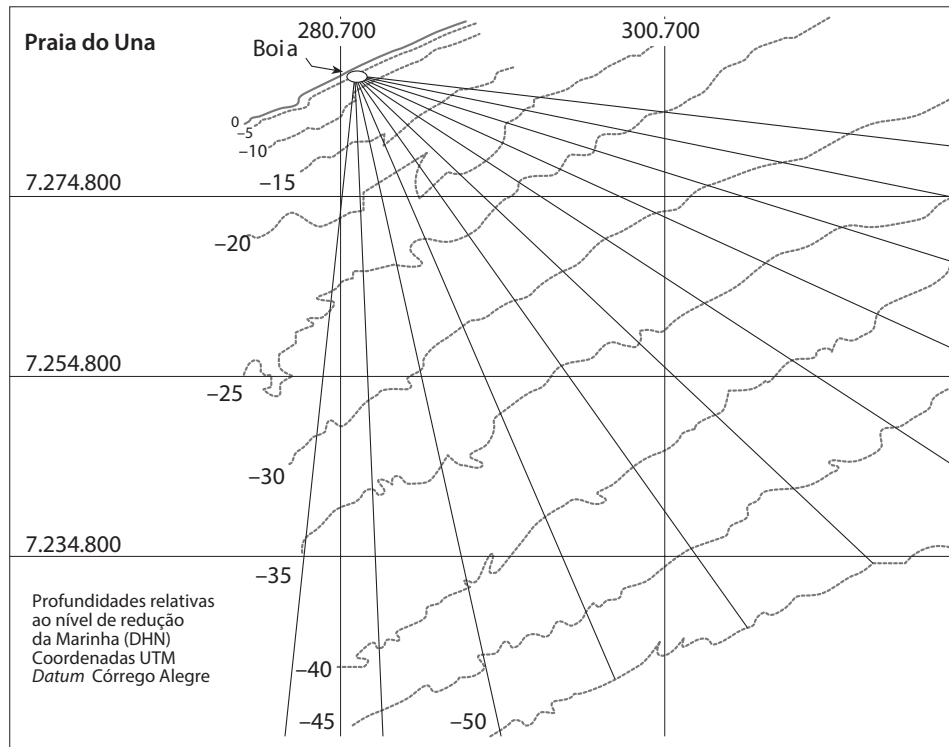
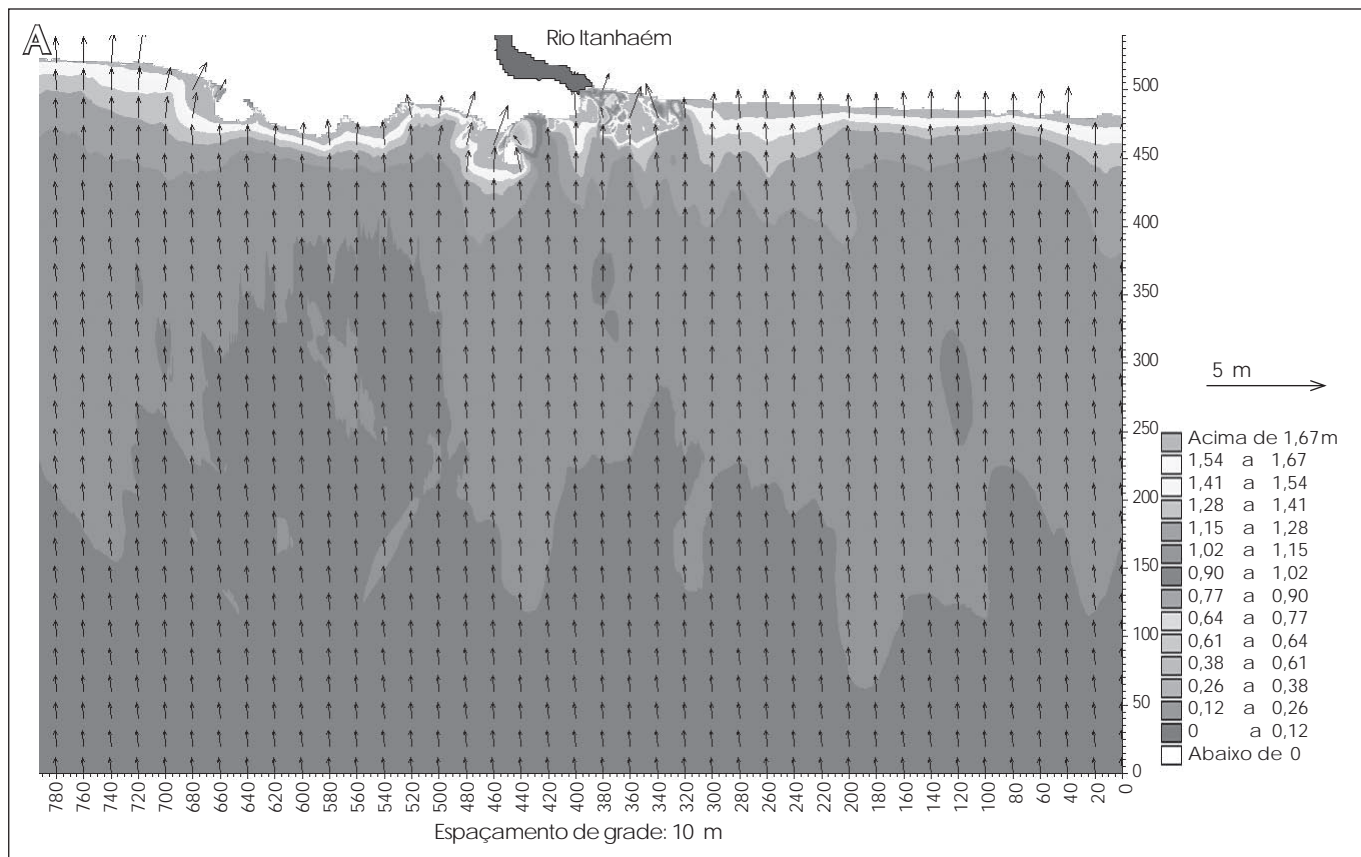


Figura 1.18

Planimetria de propagação de ondas.
 (A) Detalhe das alturas das ondas e rumos próximo à foz do Rio Itanhaém (SP) obtidas pelo software MIKE 21 NSW. $H_{0s} = 1\text{ m}$, $T_z = 7,7\text{ s}$ e $\alpha_0 = 135^\circ\text{ NV}$.



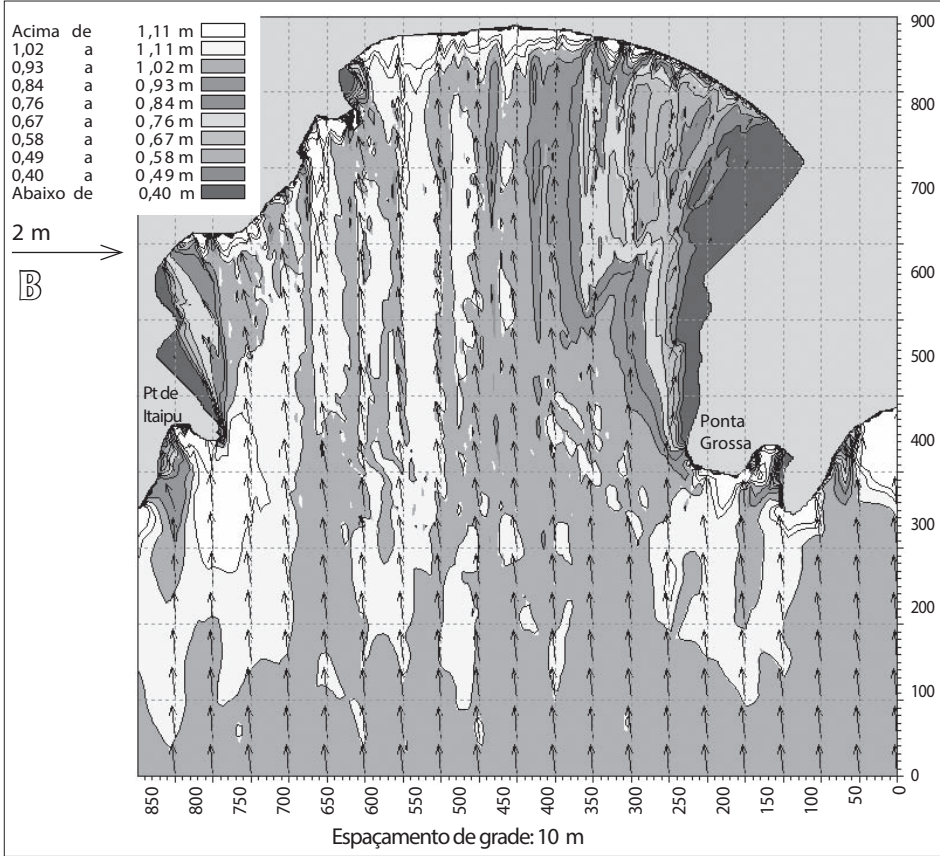


Figura 1.18
 Planimetria de propagação de ondas.
 (B) Direções e alturas de ondas obtidas pelo software MIKE 21 NSW (Onda Sul, $T = 9$ s) na Baía de Santos (SP).

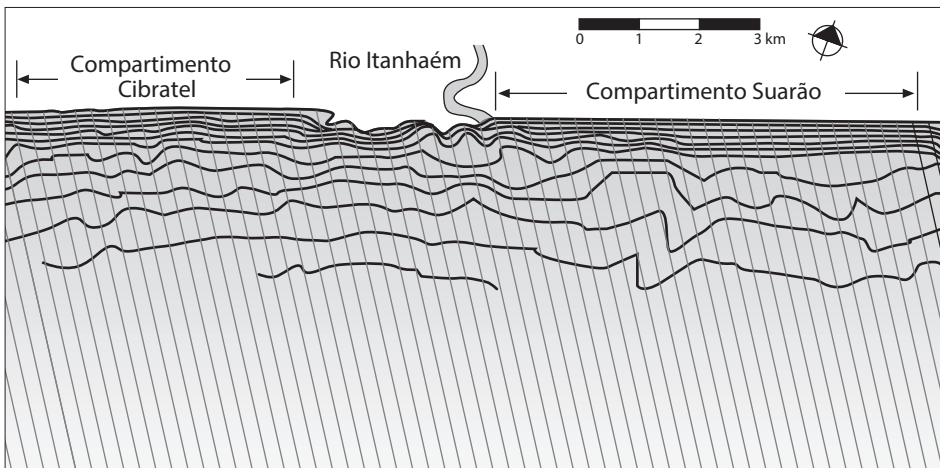
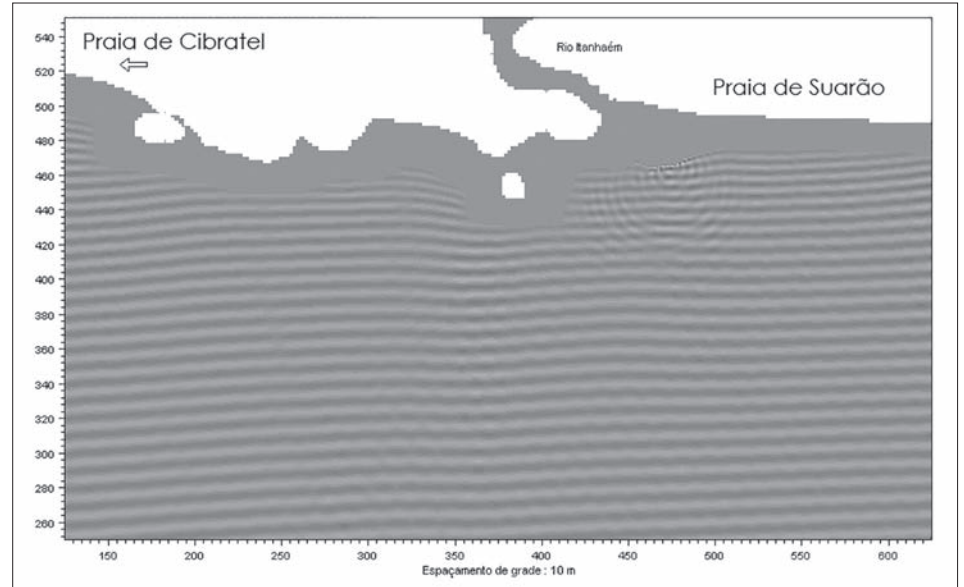


Figura 1.19
 Planimetria da refração de onda com $H_{0s} = 1$ m, $T_z = 7$ s e $\alpha_0 = 135^\circ$ NV incidindo nas praias de Itanhaém (SP) (ARAÚJO, 2000).

Figura 1.20

Planimetria de cristas de ondas obtidas pelo modelo EDS na Barra do Rio Itanhaém (SP) (São Paulo, Estado/DAEE/SPH/CTH).

**Figura 1.21**

Planimetria de cristas e ortogonais obtidas pelo programa IERAD na Barra de Cananeia (SP) (São Paulo, Estado/DAEE/SPH/CTH). $T_2 = 9$ s e rumo SE.



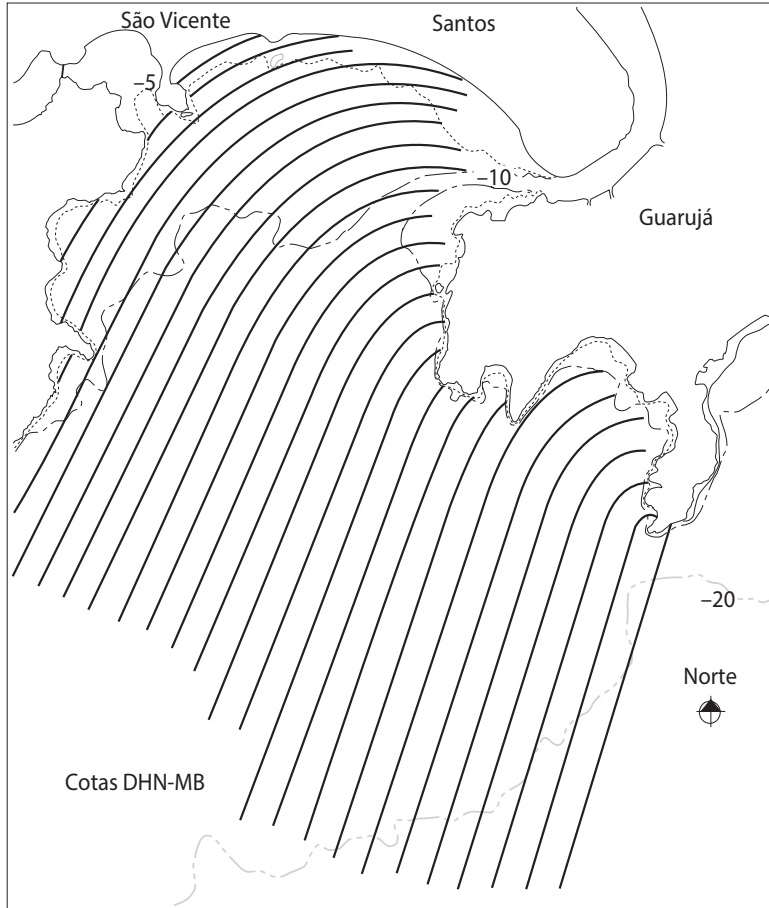


Figura 1.22

Planimetria da refração de onda de rumo leste em água profunda e período de 11 s, para a Baía de Santos (SP) (São Paulo, Estado/DAEE/SPH/CTH).

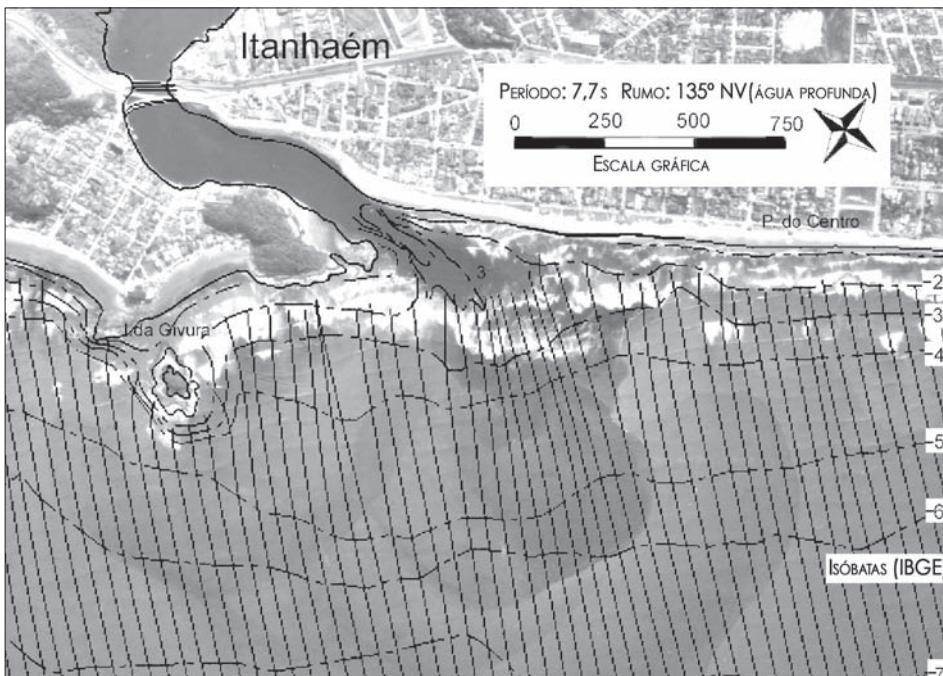
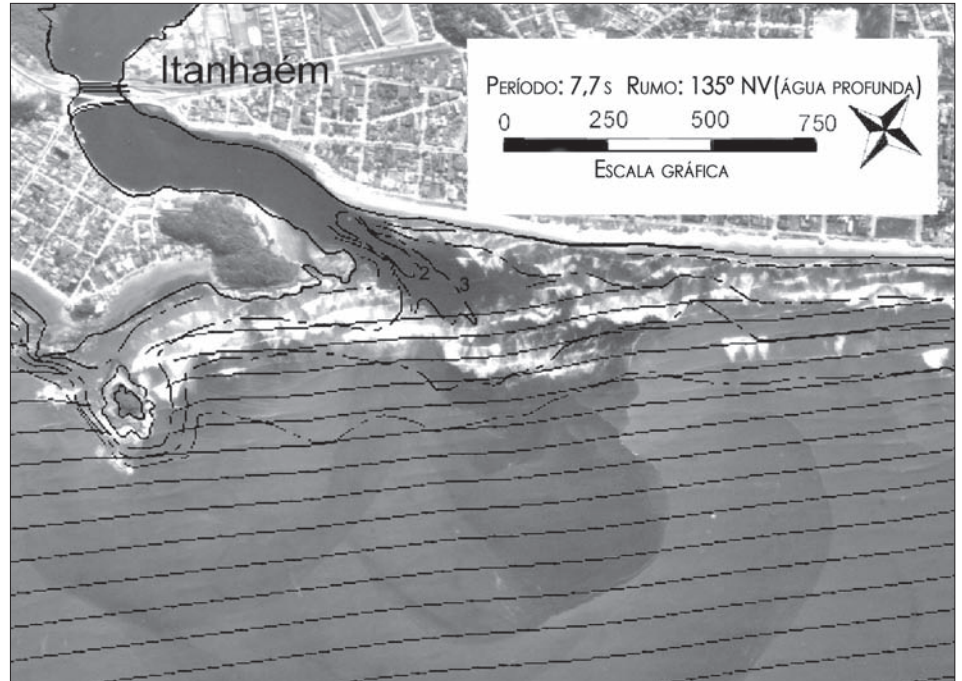


Figura 1.23

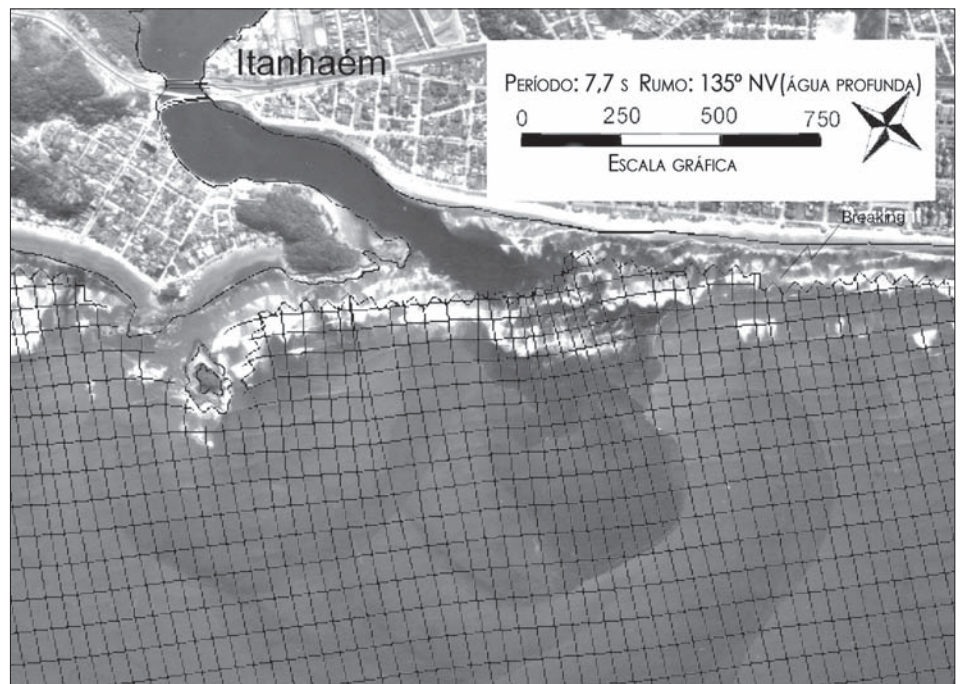
Planimetria de ortogonais de onda com período de 7,7 s e rumo de 135° NV em águas profundas incidindo na região costeira sob influência da foz do Rio Itanhaém (SP). Desenho sobre foto aérea de 1997 (Base) (SILVA e ALFREDINI, 1999).

Figura 1.24

Planimetria de frentes de onda com período de 7,7 s e rumo de 135° NV em águas profundas incidindo na região costeira sob influência da foz do Rio Itanhaém (SP). Desenho sobre foto aérea de 1997 (Base) (SILVA e ALFREDINI, 1999).

**Figura 1.25**

Planimetria de frentes e ortogonais de onda com período de 7,7 s e rumo de 135° NV em águas profundas incidindo na região costeira sob influência da foz do Rio Itanhaém (SP). Desenho sobre foto aérea de 1997 (Base) (SILVA e ALFREDINI, 1999).



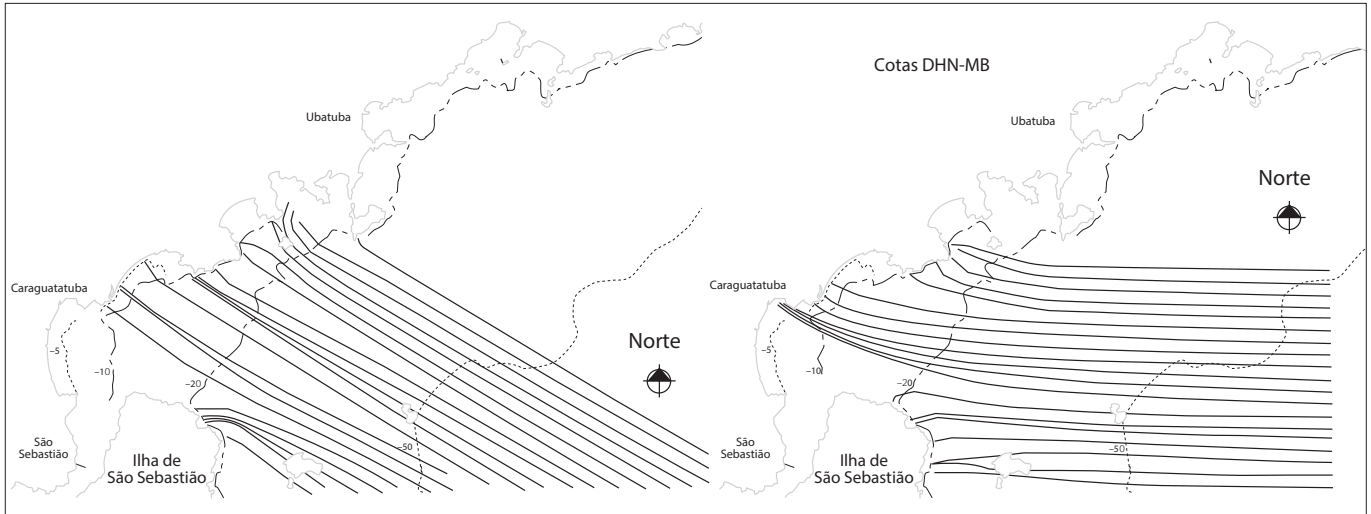


Figura 1.26
Planimetria da saída do programa REFRONDA de ortogonais de onda incidindo na região costeira de Caraguatatuba (SP) (São Paulo, Estado/DAEE/SPH/CTH). $T_z = 10$ s.

1.6.2 Arrebentação

A arrebentação ocorre em virtude da instabilidade que a onda sofre ao encontrar profundidades rasas. À medida que a onda propaga-se sobre fundos de profundidade decrescente, reduz o seu comprimento, ao mesmo tempo em que a altura aumenta, acarretando a redução da celeridade e o aumento da velocidade orbital horizontal. A onda torna-se cada vez mais esbelta e arrebenta.

O fenômeno da arrebentação das ondas é normalmente associado à desagregação da sua estrutura e ao aparecimento muito rápido de uma forte turbulência.

Quando ocorre a arrebentação, a energia que a onda recebeu do vento é dissipada. Alguma energia é refletida de retorno para o mar, tanto maior quanto maior a declividade (m) da praia (quanto mais suave, menor a reflexão). A maior parcela é dissipada no escoamento turbulento líquido e sólido. Alguma energia produz o fraturamento de rochas e minerais, e ainda mais produz alteração do perfil praiial. Quanto ao último aspecto, as ondulações tendem a empinar o perfil, engordando as praias, enquanto as vagas tendem a abater o perfil, erodindo-o.

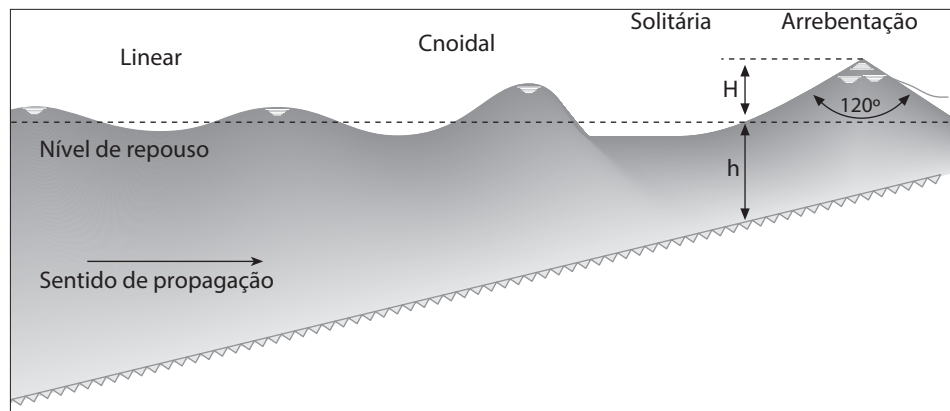
Esse fenômeno não pode ser traduzido pela teoria linear de ondas, e a teoria de onda solitária é que permite obter resultados analíticos sobre o fenômeno, pois considera amplitude finita da onda não linear em profundidade reduzida, sendo a onda longa de comprimento infinito (o nível de seu cavado é o da água em repouso) e, portanto, não periódica. Então, apresenta as características de onda de translação por promover o transporte de massa (ver Figura 1.27).

Antes de atingirem a arrebentação, as ondas podem ser representadas pela teoria linear em um bom trecho de seu percurso de propagação, conforme se verifica na Figura 1.27.

Ao atingirem regiões de menor profundidade, as ondas passam a ter outro comportamento, fugindo do padrão de movimento harmônico simples, caracterizando-se por cavado longo e achatado. A altura da onda aumenta progressivamente e as cristas tornam-se curtas e agudas (ver Figura 1.27).

Assim, são necessárias outras teorias para representar tal propagação, como a teoria cnoidal e a de onda solitária – essa última explica a arrebentação das ondas.

Figura 1.27
Elevação da alteração do perfil da onda com a profundidade.



Teoricamente, a forma de onda da onda solitária permanece totalmente acima do nível d'água em repouso e, matematicamente, seu comprimento de onda tende ao infinito.

É evidente que a mudança da forma de onda da teoria linear para a forma de onda da teoria da onda solitária não se dá bruscamente, existe uma zona de transição, que poderá ser mais ou menos extensa, quando outra teoria, por exemplo, a teoria cnoidal de ondas, estaria mais de acordo com a realidade.

A condição limite da arrebentação ocorre quando o ângulo interno das tangentes à crista da onda forma 120° (ver Figura 1.27). Esse limite de esbeltez ocorre quando a velocidade orbital horizontal da crista da onda iguala-se à celeridade da onda. Um aumento da esbeltez resultaria em uma velocidade da partícula da crista da onda superior à celeridade da onda e, conseqüentemente, instabilidade.

A condição de velocidade limite corresponde a uma forma limite do perfil da onda solitária e da dinâmica da onda que foram estudadas pelo matemático Mc Cowan (1891, apud CASTANHO, 1966). Segundo Mc Cowan, a velocidade das partículas da crista iguala a velocidade de propagação da onda quando a altura da onda propagando-se como onda solitária corresponde a 0,78 da profundidade. A partir dessa situação limite, a onda arrebentará parcialmente sob a forma de arrebentação progressiva ou se deformará para arrebentar mais tarde sob a forma mergulhante:

$$\gamma_{\text{máx}} = \frac{H}{h} = 0,78$$

sendo $\gamma_{\text{máx}}$ o índice limite de arrebentação.

Nas praias de declividade mais suave, normalmente, há dois tipos fundamentais de arrebentação das ondas: a progressiva e a mergulhante.

No primeiro, designado por arrebentação progressiva ou deslizante (ver Figura 1.28), a onda empola mantendo praticamente a sua forma simétrica até que uma pequena emulsão ar-água aparece na crista ou nas suas proximidades. Esse início da arrebentação progride até cobrir em geral toda a frente da onda, mantendo-se a zona turbulenta mais ou menos junto da superfície. Enquanto se processa o fenômeno da arrebentação, a onda continua a propagar-se, mantendo em grande parte seu perfil simétrico até a linha da costa (profundidade zero). As arrebentações observadas nas praias durante uma tempestade, quando as ondas são mais esbeltas (vagas), são deste tipo.



Figura 1.28
Arrebentação progressiva na Praia dos Pescadores em Itanhaém (SP).

No segundo processo de arrebentação, designado por arrebentação mergulhante ou em voluta, tem-se um processo muito mais rápido e violento de dissipação de energia (macroturbulência) (ver Figura 1.29). Com a diminuição de profundidade, há uma forte deformação do perfil da onda: a frente da onda encurta e torna-se cada vez mais inclinada (frente côncava), enquanto o tardo se alonga tornando-se cada vez mais suave (convexo). Em dado momento, a frente torna-se vertical e a parte superior da crista galga o corpo inferior da onda, caindo em voluta ou mergulho com considerável força, dissipando a energia em curta distância com grande turbulência. As arrebentações mergulhantes em praias de declividade suave estão usualmente associadas com as longas ondulações produzidas por tempestades distantes e caracterizam climas de ondas mais calmas. As vagas de tempestades locais raramente produzem arrebentações mergulhantes em praias de declividade suave, mas podem produzi-las em declividades mais íngremes.

Existem mais dois tipos de arrebentações que ocorrem em costas de declividades mais acentuadas: a arrebentação colapsante, que se assemelha à mergulhante mas não apresenta voluta, ocorrendo o colapso da frente da onda. E nas costas mais íngremes, incluindo os costões rochosos, outro tipo de arrebentação é produzido por ondas de baixa esbeltez, em que a frente permanece relativamente íntegra à medida que as ondas deslizam praia acima, sendo a zona de arrebentação muito estreita e, frequentemente, mais da metade da energia da onda é refletida de retorno para águas mais fundas.

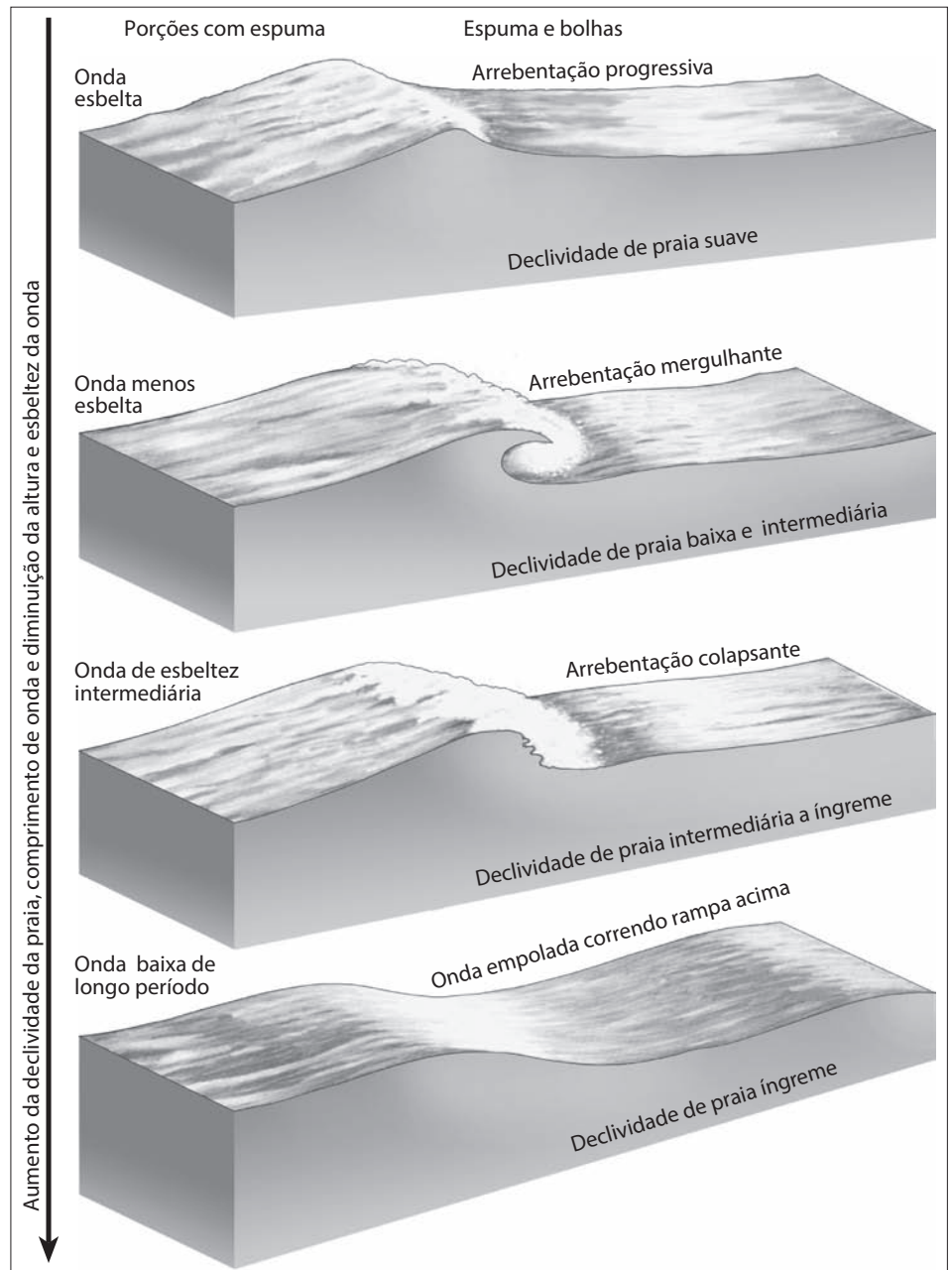


Figura 1.29
Arrebentação mergulhante na Praia de Massaguaçu em Caraguatatuba (SP).

O tipo de arrebentação é associado normalmente com a declividade da praia e a esbeltez da onda (ver Figura 1.30). Praias suaves são propícias à arrebentação progressiva, enquanto as praias mais íngremes, também chamadas reflexivas, favorecem a arrebentação mergulhante. Por outro lado, ondas de maior esbeltez favorecem a arrebentação progressiva, enquanto ondas de fraca esbeltez proporcionam a arrebentação mergulhante.

Em cada profundidade, a onda não pode transmitir uma quantidade de energia superior àquela que corresponde à onda limite relativa a essa profundidade. Sempre que houver essa tendência, a onda arrebenta parcialmente e perde energia, de

Figura 1.30
Quatro formas de arrebentação e suas relações com declividade da praia, período da onda, comprimento, altura e esbeltez.



modo que a sua altura desce para o valor correspondente à onda limite. No caso da arrebentação progressiva, existe uma contínua diminuição de altura da onda até se anular na linha da costa, mantendo em cada profundidade as características da onda limite do índice de arrebentação máximo, o que dá um aspecto mais agitado ao mar em razão do período mais extenso de arrebentação, havendo bem pouca reflexão de quantidade de movimento de retorno para o mar. No caso da arrebentação mergulhante, por causa do maior declive da praia, a perda de energia por unidade de comprimento percorrido pela onda na arrebentação é inferior à diferença entre as energias das ondas limites no trecho, havendo uma descontinuidade, que é o macaréu (onda de choque) que atinge a linha da costa com amplitude superior a zero, produzindo importante espreamento pelo estirâncio (que nas praias mais suaves é insignificante), com pouca reflexão de retorno para o mar.

A razão pela qual as ondas arrebentam pode ser explicada por dois critérios: o da velocidade limite e o da forma limite.

O primeiro critério estabelece que a arrebentação ocorre quando a velocidade orbital das partículas na crista atinge a celeridade da onda. Quando isso acontece, as partículas tendem a galgar o próprio perfil da onda, que, então, começará a entrar em colapso. Essa hipótese parece ser a que se verifica na arrebentação progressiva.

O segundo critério estabelece que a arrebentação começa quando alguma parte da frente da onda torna-se vertical. Pelo fato de a parte superior do perfil propagar-se com velocidade maior do que a parte inferior, o perfil torna-se fortemente assimétrico. A parte superior do perfil alcança a parte mais baixa, ficando a frente praticamente vertical, após o que a onda acaba por galgar a parte inferior, projetando-se em voluta sobre a massa d'água e constituindo o processo de arrebentação mergulhante.

As Figuras 1.31 e 1.32 apresentam os gráficos de Goda e Weggel que permitem classificar e prever as condições de arrebentação.

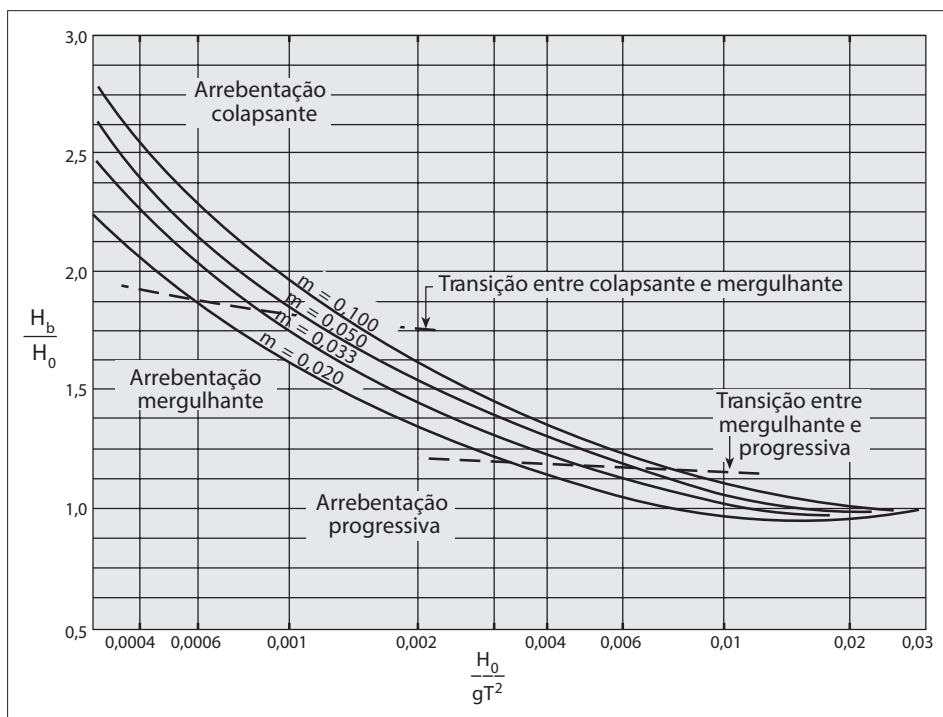
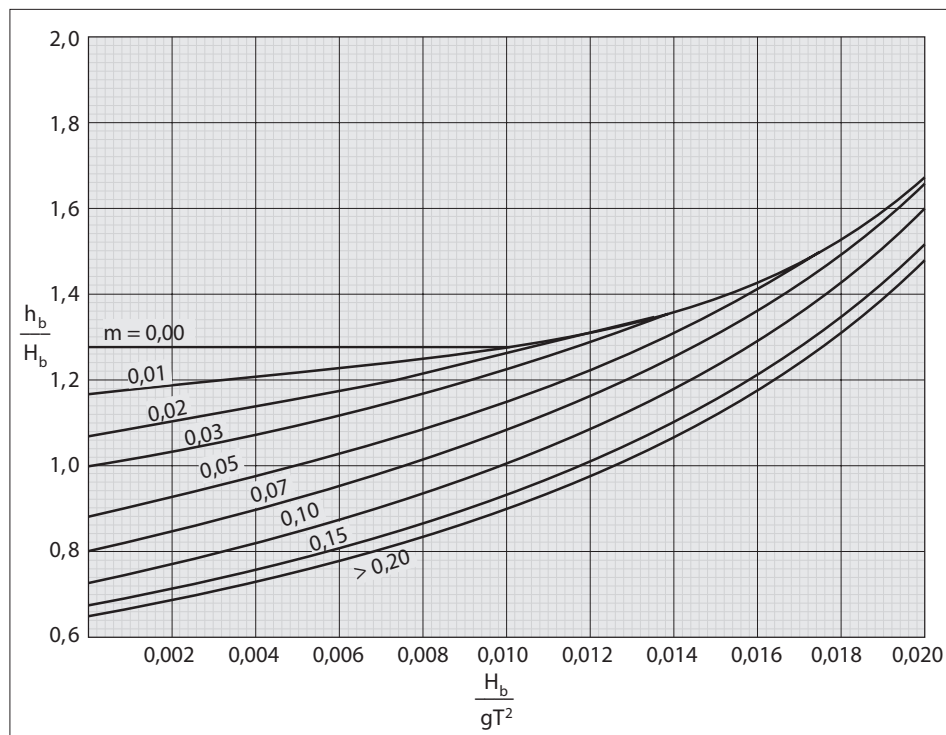


Figura 1.31

Altura de arrebentação adimensionalizada, em função de parâmetro ligado à esbeltez em água profunda.

Figura 1.32
Inverso do índice de arredondação,
em função de parâmetro de esbeltez
na arredondação.



1.7 DIFRAÇÃO

A difração é o fenômeno tridimensional oriundo do resultado de uma atenuação da agitação por causa da presença de um obstáculo, sendo responsável pela propagação das ondas nas zonas de sombra geométrica referidas ao rumo das ondas. Na difração, analogamente ao que se conhece com a propagação das ondas eletromagnéticas, a energia é transferida ao longo das frentes de ondas, transversalmente às ortogonais, com celeridade igual à da onda.

Quando uma onda passa do extremo de um obstáculo, como mostrado na Figura 1.33, esse extremo pode ser considerado como uma fonte de geração de ondas que se propagam progressiva e radialmente na zona de sombra no tardo do obstáculo, com mesmos período e fase da onda incidente. A altura da onda decresce à medida que se procede ao longo dos arcos das frentes de ondas na zona de sombra. Seguindo essa simplificada explicação física, a Figura 1.33(A) apresenta o processo simplificado de Iribarren para o cálculo da difração. Nesse processo, desprezam-se os efeitos de refração na zona de sombra e as reflexões nas faces externa e interna do obstáculo. Na Figura 1.33(B), apresenta-se cálculo numérico com o modelo EDS para o projetado molhe do Porto de Praia Mole (ES). Os gráficos nas Figuras 1.34 a 1.45 apresentam os gráficos de Wiegel da variação do coeficiente de difração (H/H_i) em torno da extremidade de obstáculo semi-infinito.

A Figura 1.36(B) apresenta um exemplo de aplicação prática de estudo para definição de locação de um molhe de abrigo de uma área portuária. Trata-se de uma incidência de onda a 45° . Por meio dessa avaliação, pode-se verificar a necessidade de implantação de um segundo molhe, o qual, por procedimento análogo, produzirá uma segunda difração, a qual proverá o abrigo necessário para a área portuária.

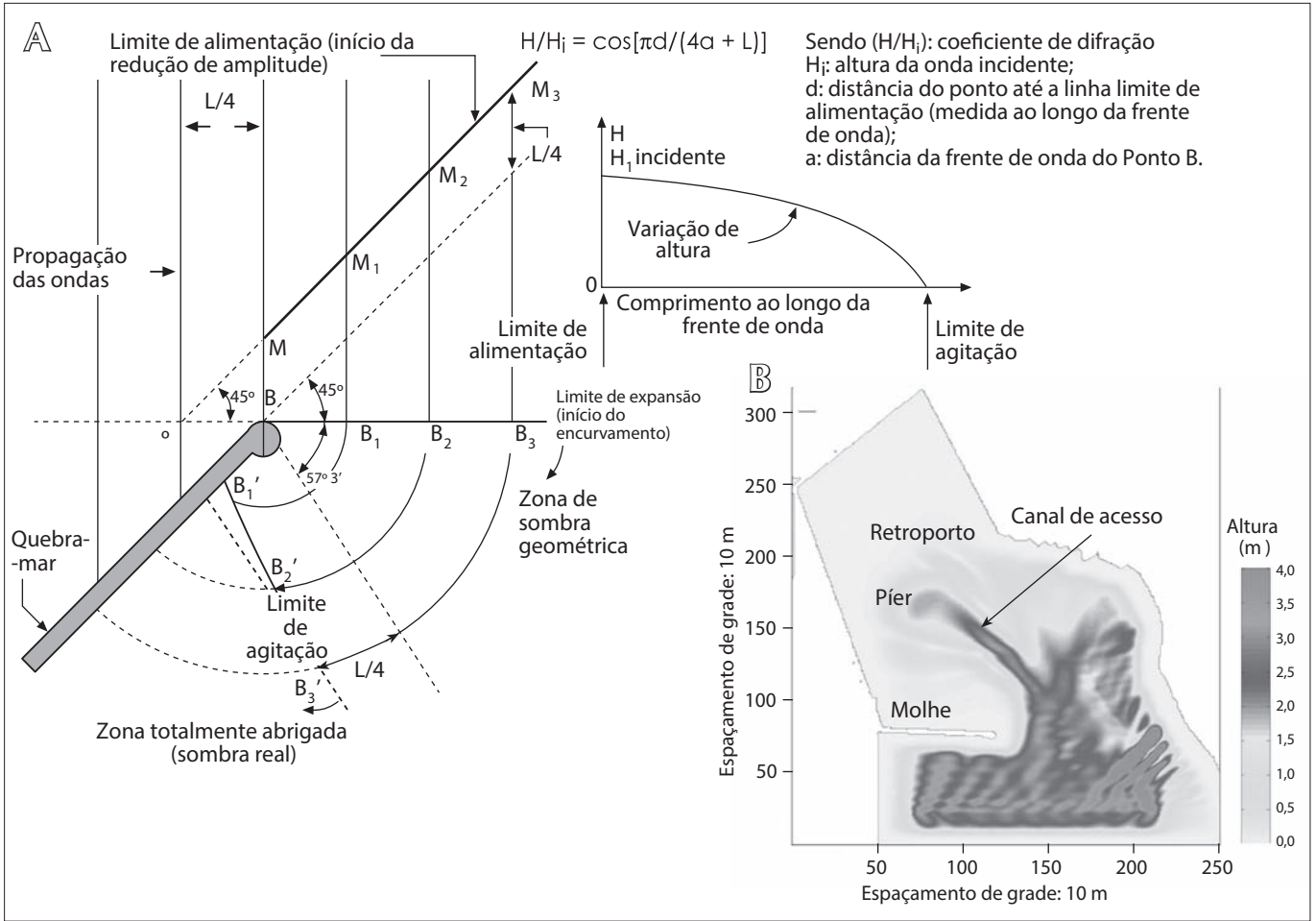


Figura 1.33 Planimetria de difração. (A) Método simplificado de Iribarren (1941) para cálculo de difração. (B) Alturas das ondas relativas obtidas pelo modelo EDS ($H_{inicial} = 1,58$ m; $T = 12$ s) no Porto de Praia Mole (ES).

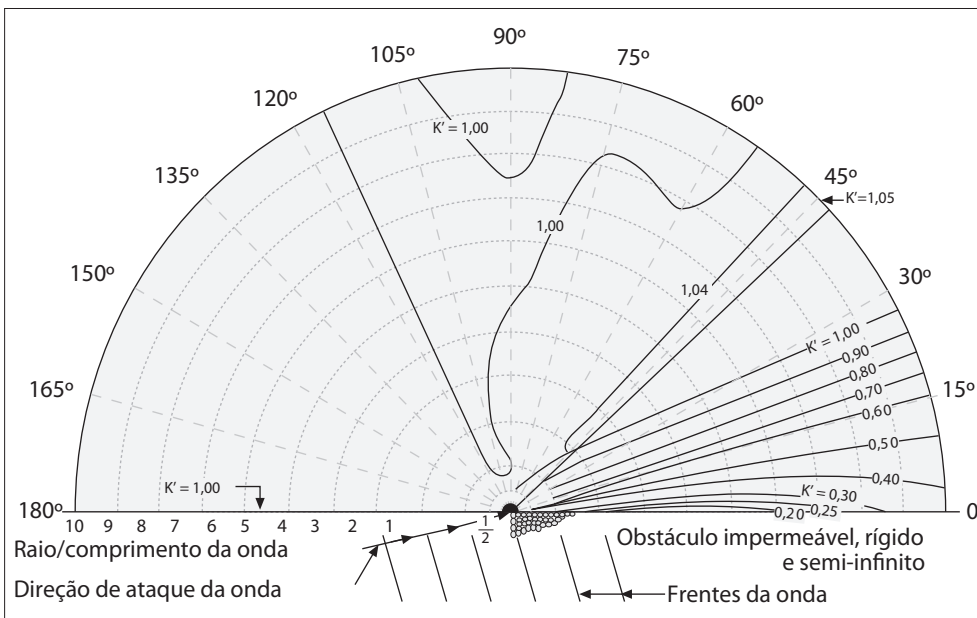


Figura 1.34 Planimetria de difração de onda com ataque de 15°.

Figura 1.35

Planimetria de difração de onda com ataque de 30°.

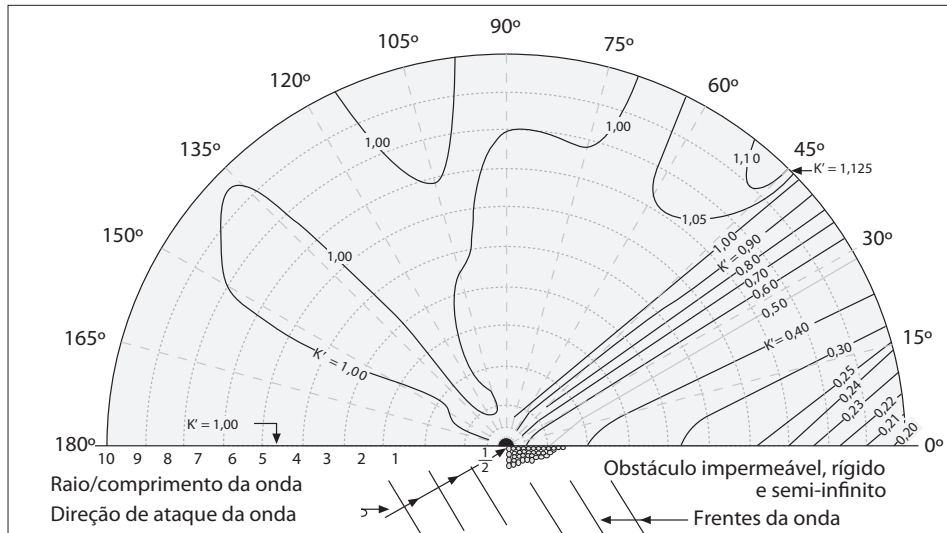
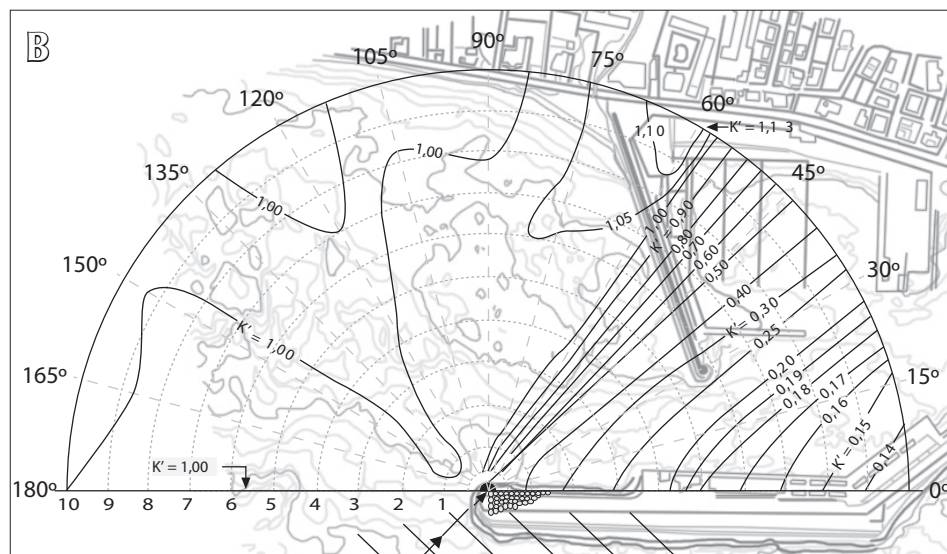
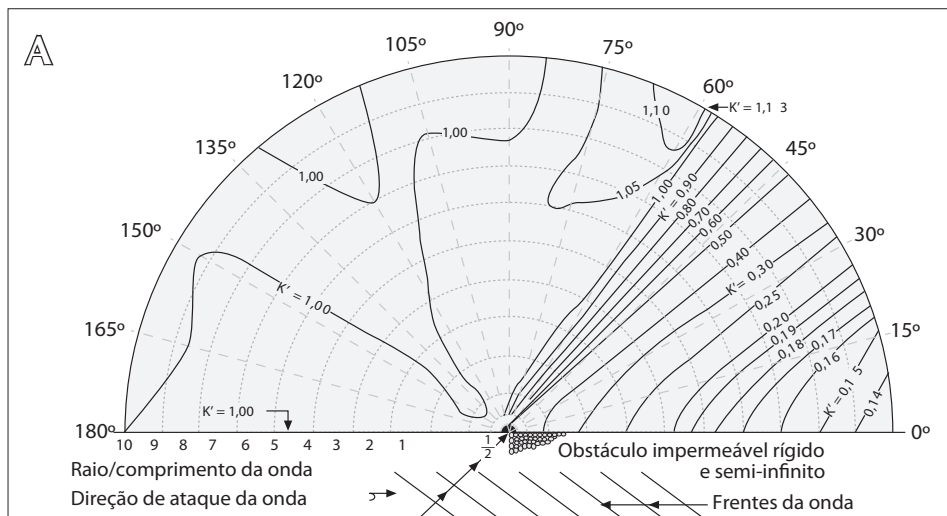


Figura 1.36

(A) Planimetria de difração de onda com ataque de 45°.
 (B) Aplicação prática em um estuário de abrigo portuário.



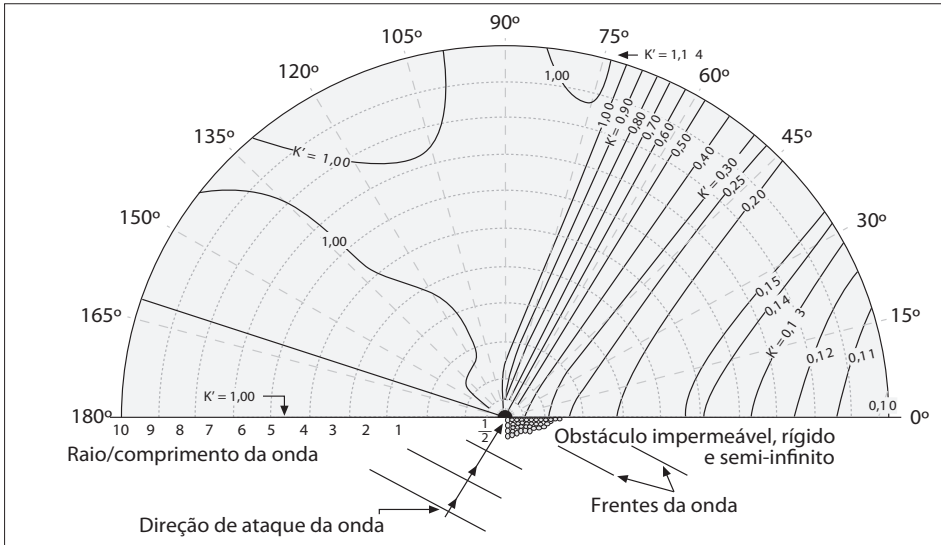


Figura 1.37
Planimetria de difração de onda com ataque de 60°.

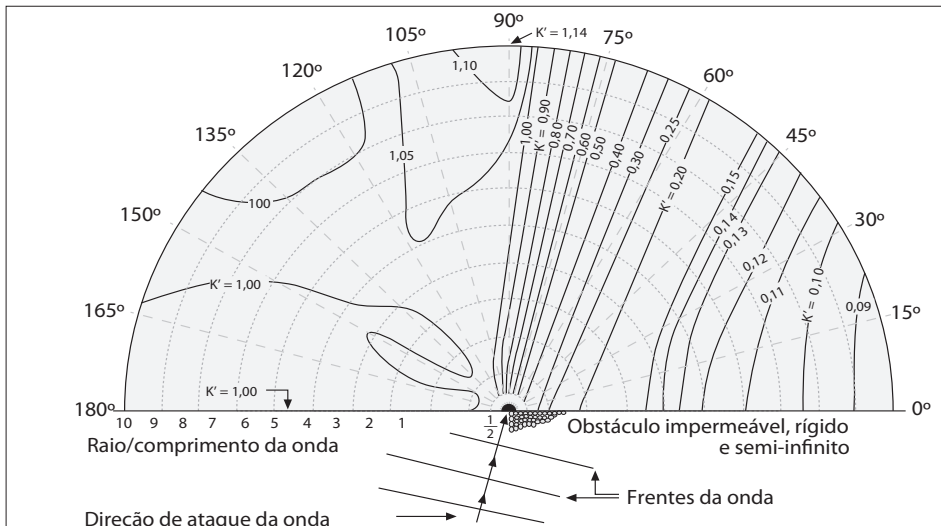


Figura 1.38
Planimetria de difração de onda com ataque de 75°.

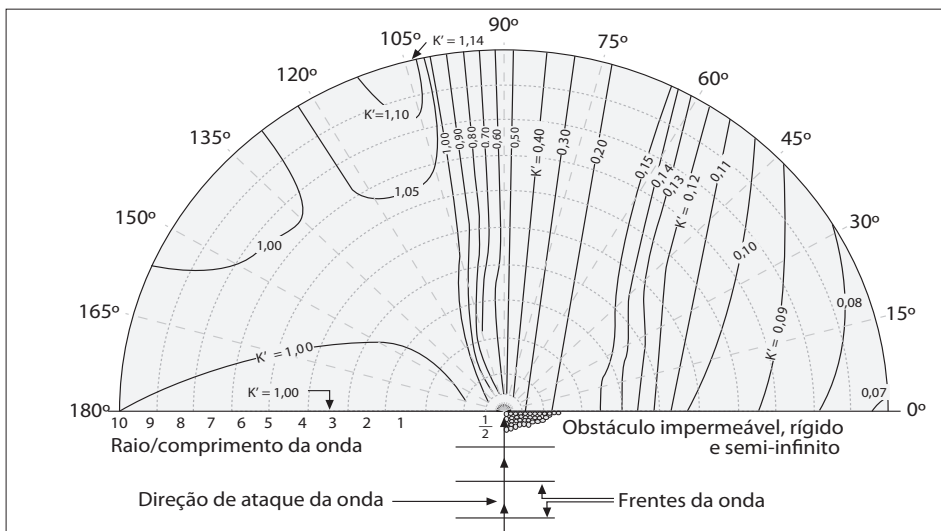


Figura 1.39
Planimetria de difração de onda com ataque de 90°.

Figura 1.40
Planimetria de difração de onda com ataque de 105°.

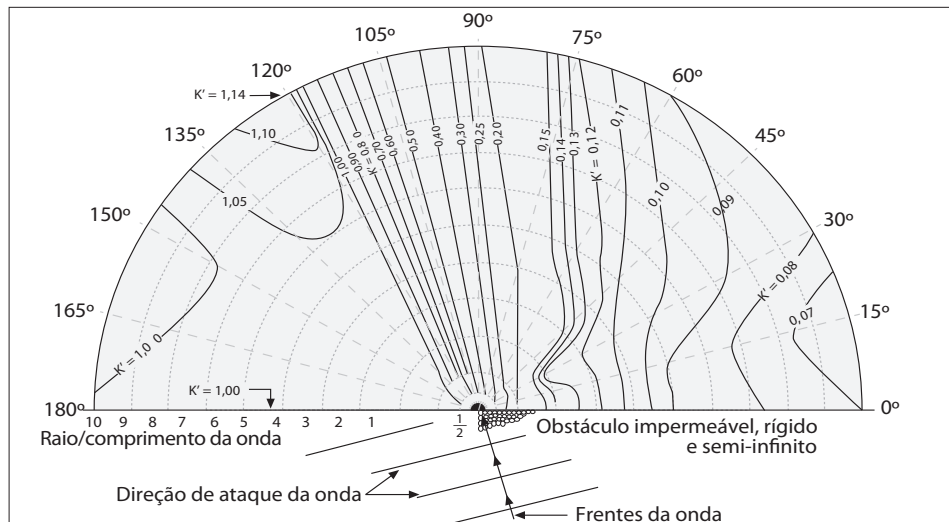


Figura 1.41
Planimetria de difração de onda com ataque de 120°.

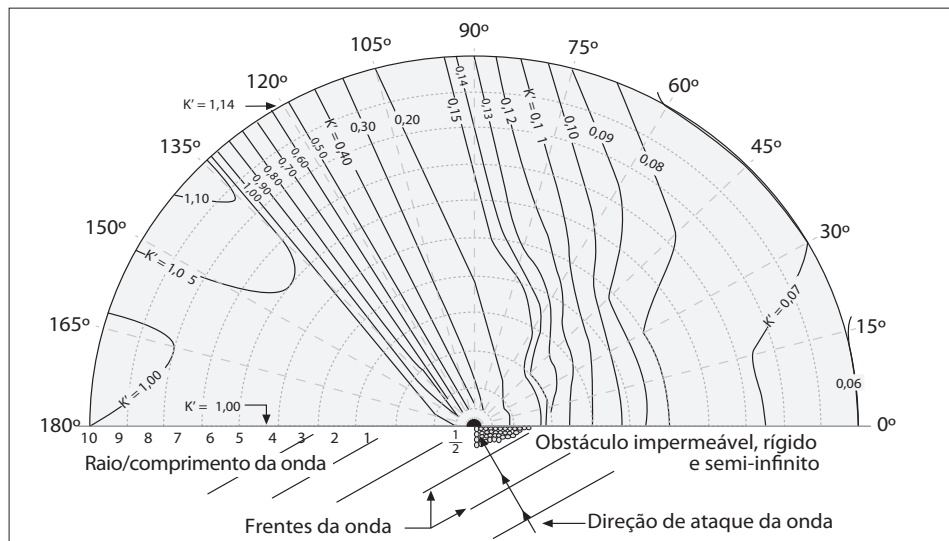
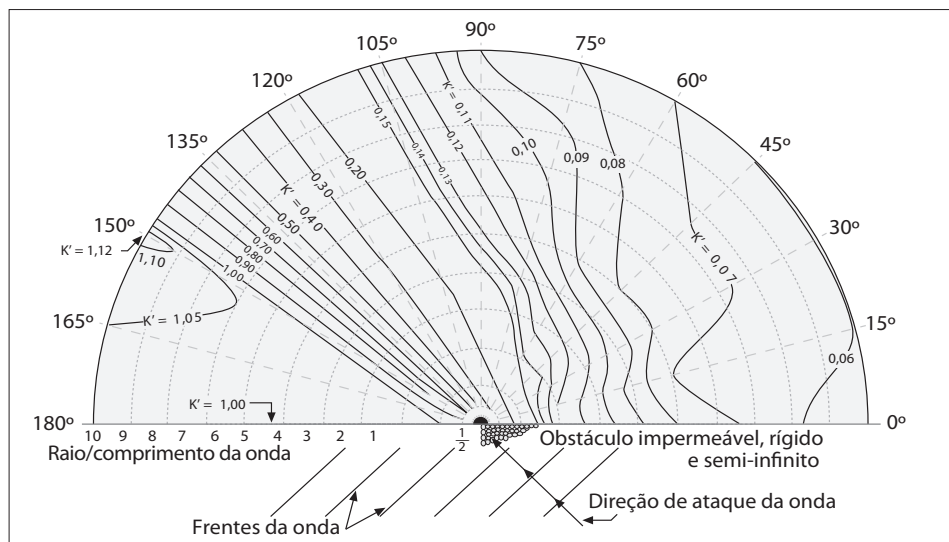


Figura 1.42
Planimetria de difração de onda com ataque de 135°.



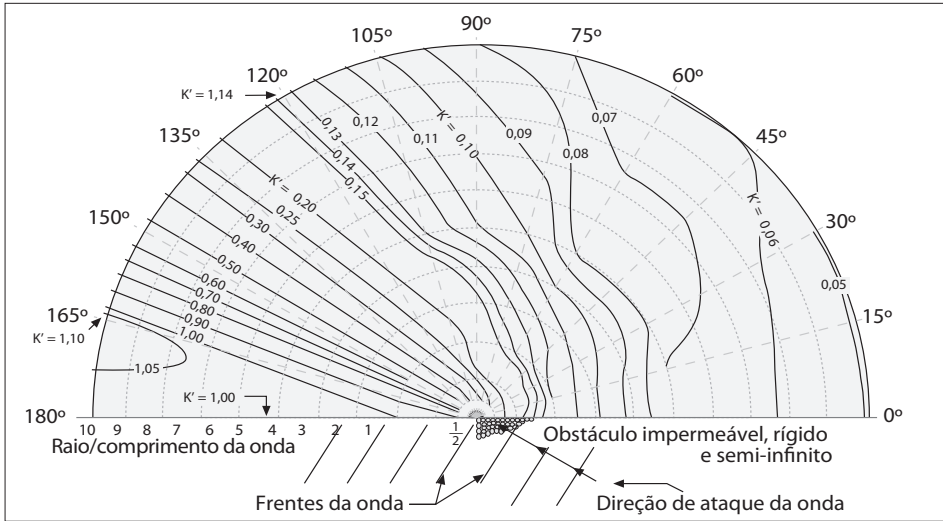


Figura 1.43
Planimetria de difração de onda com ataque de 150°.

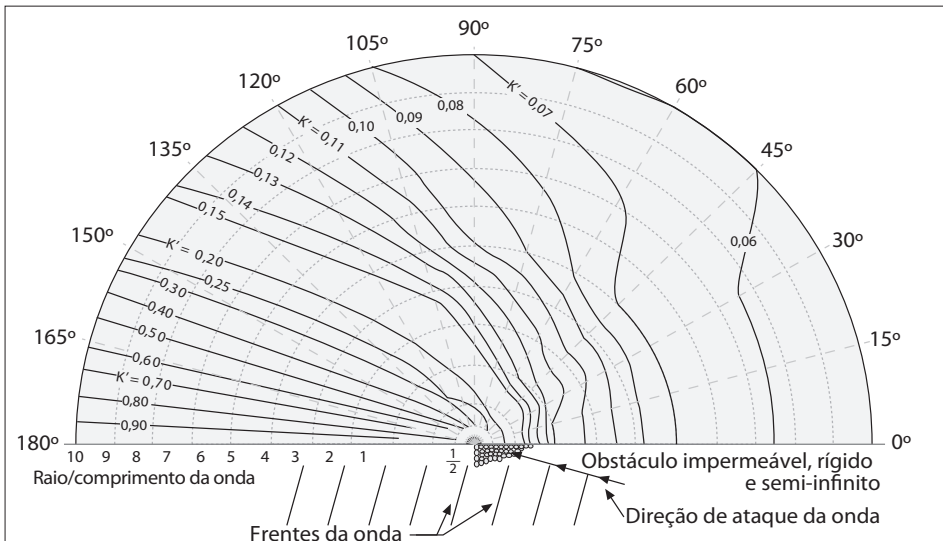


Figura 1.44
Planimetria de difração de onda com ataque de 165°.

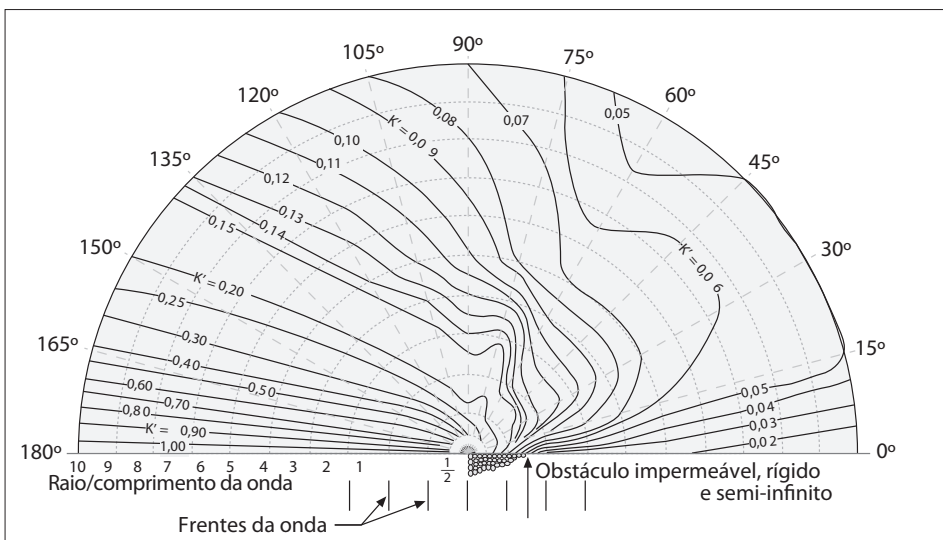


Figura 1.45
Planimetria de difração de onda com ataque de 180°.

1.8 REFLEXÃO

As ondas de oscilação, ao incidirem em obstáculos, estão sujeitas ao fenômeno da reflexão, produzindo-se ondas estacionárias puras ou parciais, também conhecidas como seiches ou *clapotis*.

A onda estacionária pode ser considerada a soma de duas ondas progressivas propagando-se em rumos opostos. As Figuras 1.46 e 1.47 apresentam o perfil vertical esquemático desse fenômeno. Nas posições em que o nível d'água é constante (nós), ocorre o máximo deslocamento oscilatório horizontal de vaivém de água, enquanto nas posições em que a flutuação do nível d'água é máxima (ventres ou antinós), o deslocamento oscilatório horizontal é desprezível. Nas fotografias apresentadas na Figura 1.47 pode-se observar como uma margem íngreme de um paredão de praia induz a reflexão da onda, com intensificação das velocidades orbitais, majorando o efeito erosivo sobre os sedimentos de praia.

A reflexão da onda corresponde a uma reflexão da energia e, como consequência de múltiplas reflexões e ausência de dissipação de energia em quantidade suficiente em bacias portuárias pode resultar em ressonância.

Em águas rasas confinadas (Figura 1.47(A), situação comum em muitas baías, estuários e portos, considerando o comprimento da bacia, os períodos capazes de entrar em ressonância são:

$$T = \frac{2\ell}{j\sqrt{gh}}$$

sendo $j = 1, 2 \dots$

Se a bacia for aberta em um extremo, como ilustrado na Figura 1.47(B), os períodos dos modos ressonantes são:

$$T = \frac{4\ell}{(2j-1)\sqrt{gh}}$$

Assim, o período do seiche é determinado pelo comprimento da bacia e pela profundidade da lâmina d'água. O período T também é conhecido como período de ressonância. Para a onda estacionária se desenvolver, o período de ressonância da bacia deve ser igual ao, ou um múltiplo inteiro (harmônicos), do período da onda. Desse modo, podem-se criar fenômenos ressonantes em bacias costeiras para determinadas frequências de ondas incidentes, o que é particularmente importante de ser verificado em áreas portuárias quanto às condições de atracação. Nas Figuras 1.47 (C) e (D) podem ser visualizadas ações de ondas extremas sobre estruturas costeiras de muros, produzindo reflexões.

1.9 CORRENTES LONGITUDINAIS PRODUZIDAS PELA ARREBENTAÇÃO

1.9.1 Considerações gerais

As ondas que se aproximam da costa transportam quantidade de movimento associado, cuja componente paralela à costa produz as correntes longitudinais [ver

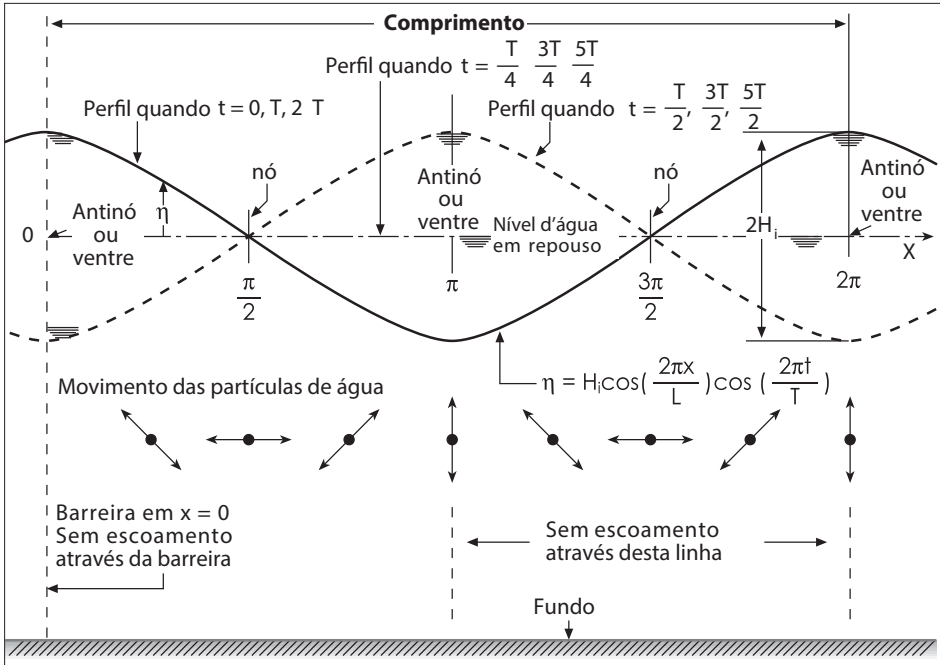


Figura 1.46

Elevação do perfil longitudinal de onda estacionária (*clapotis*) formada pela reflexão perfeita de uma barreira vertical, segundo a teoria linear.

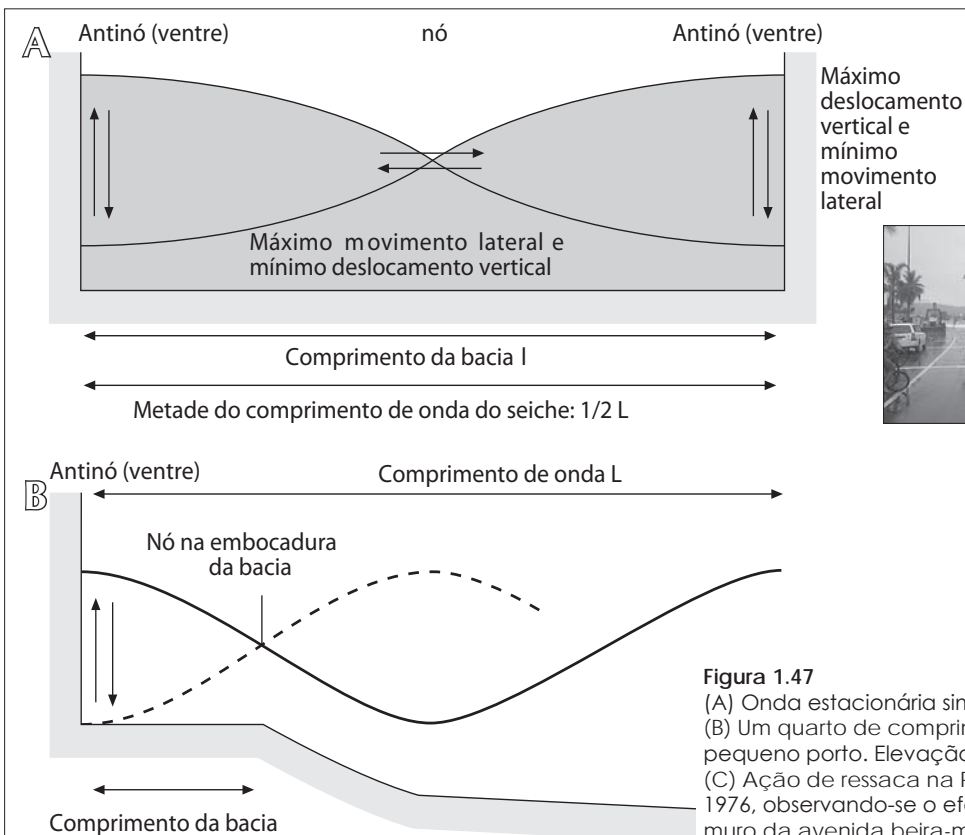


Figura 1.47

(A) Onda estacionária simples. Elevação do perfil longitudinal. (B) Um quarto de comprimento de onda estacionária em um pequeno porto. Elevação do perfil longitudinal. (C) Ação de ressaca na Praia de São Vicente (SP) em julho de 1976, observando-se o efeito da reflexão das ondas junto ao muro da avenida beira-mar (São Paulo, Estado/DAEE/SPH/CTH). (D) Ação de ressaca na Ponta da Praia, Santos (SP), em 26 de abril de 2005 (ondas de até 4 m).

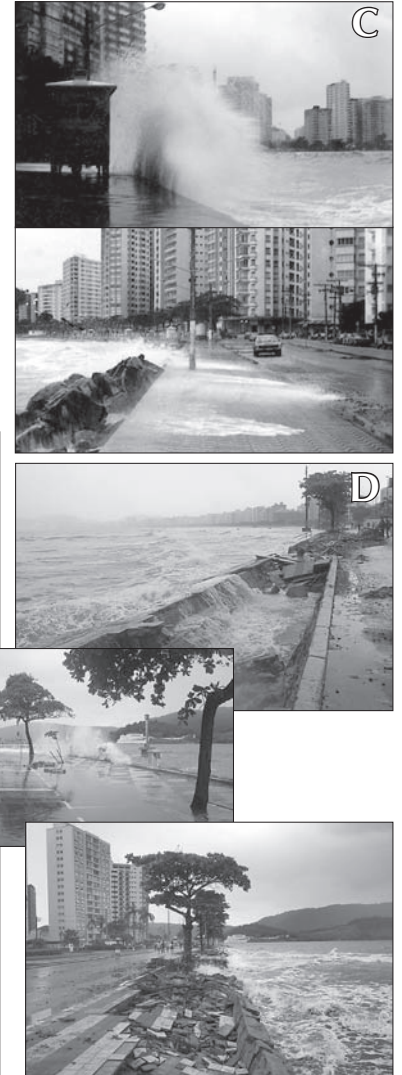


Figura 1.48(A)], que são de suma importância para o transporte de sedimentos na zona de arrebentação, até a profundidade de fechamento.

As correntes longitudinais produzidas pela arrebentação da onda desenvolvem-se paralelamente à linha de costa e as suas medições mostram que a onda é sensivelmente confinada à zona de arrebentação e que uma substancial variação na velocidade pode existir ao longo da onda. Apresentam tipicamente valores em torno de 30 cm/s, não sendo usuais valores acima de 90 cm/s, e velocidades mais altas já são também induzidas pela ação direta do vento. Embora sejam correntes de baixa velocidade, são importantes para o transporte litorâneo do conjunto de sedimentos mobilizados pela arrebentação das ondas, em razão do seu prolongado período de atuação.

Existe um grande número de expressões que tentam descrever, de forma empírica ou teórica, a velocidade das correntes longitudinais. As primeiras foram estabelecidas por meio de ajustes de dados de campo e laboratório, com o intuito de quantificar sem esclarecer o mecanismo físico, enquanto outras surgiram de uma análise mais aprofundada da descrição física do fenômeno. Há uma concordância geral de que essas correntes dependem, entre outros fatores, do ângulo de aproximação das ondas com a costa, da altura da onda na arrebentação e da declividade da praia, conforme apresentado na equação sugerida em U. S. Army (1984) para a velocidade máxima após arrebentação:

$$V_m = 41,4m\sqrt{gH_b}\sin\alpha_b\cos\alpha_b \quad (\text{unid. S.I.})$$

Na Figura 1.48(B) estão apresentadas trajetórias de derivadores na foz do Rio Itanhaém (SP). Este mapeamento evidencia o campo de correntes litorâneas induzidas por arrebentação das ondas, marés, vento e fluviáteis.

1.10 VARIABILIDADE DO CLIMA DE ONDAS

Em recente estudo, Alfredini et al. (2013), compilaram os dados do modelo meteorológico do Projeto ERA-40 de alturas significativas (H_s) e período de pico do espectro de energia (T_p) para a costa do Estado de São Paulo. Tal série estende-se de 1957 a 2002, tendo-se calibrado e validado os dados com observações por ondógrafos realizadas entre 1982 e 1984 e em 1972/1973 na costa do Estado de São Paulo.

A análise dos resultados encontra-se apresentada nas Figuras 1.49 e 1.50. Considerando situações de H_s superiores ou iguais a 3,0 m e períodos de pico espectrais superiores a 13 s, ou seja, eventos de tempestades extremas, verifica-se um incremento na tendência linear e na média móvel de cinco anos, cujas linhas encontram-se assinaladas nas figuras. Com a média móvel é possível especular sobre a influência de um episódio de aquecimento do ENSO (El Niño Southern Oscillation) nas águas do Oceano Pacífico (1991 a 1993), associado à erupção de grande magnitude do Vulcão Pinatubo nas Filipinas, com um episódio de resfriamento da La Niña nas águas do Oceano Pacífico.

Pela tendência verificada, projetar-se-ia um incremento da altura significativa média de 1,0 m para 1,4 m, entre 1957 e 2050. Também a frequência de ocorrência dos eventos extremos aumentaria em mais de cinco vezes. Lembrando-se que a energia das ondas é proporcional ao quadrado de sua altura, haveria uma elevação