Universidade de São Paulo

Escola de Engenharia de São Carlos

Departamento de Transportes

Portos e Vias Navegáveis

Notas de Aula

Antônio Nélson Rodrigues da Silva

serviço gráfico - eesc - usp - 1995

São Carlos, maio de 2013

reimpressão

Código 05033

SUMÁRIO

1 GENERALIDADES SOBRE O TRANSPORTE MARÍTIMO E FLUVIAL 1.1
1.1 INTRODUÇÃO 1.1
1.2 COMPARAÇÃO DE DIVERSAS MODALIDADES DE TRANSPORTE 1.2
1.3 TRANSPORTE FLUVIAL 1.6
1.4 TRANSPORTE MARÍTIMO 1.10
1.4.1 Tendências Modernas 1.11
1.4.2 Conceitos Básicos 1.13

2 CARGAS E EMBARCAÇÕES 2.1
2.1 TIPOS DE CARGAS 2.1
2.2 DIMENSÕES CARACTERÍSTICAS DOS NAVIOS 2.2
2.3 EMBARCAÇÕES MARÍTIMAS 2.4
2.4 EMBARCAÇÕES FLUVIAIS 2.7

3 HIDRÁULICA FLUVIAL E REGULARIZAÇÃO DE CANAIS 3.1
3.1 NOÇÕES DE HIDROGRAFIA 3.1
3.2 NOÇÕES DE HIDROLOGIA 3.3
3.3 MORFOLOGIA FLUVIAL 3.5
3.4 DIMENSÕES DESEJÁVEIS PARA OS CANAIS DE NAVEGAÇÃO 3.14
3.5 MELHORAMENTOS DOS CURSOS D'ÁGUA PARA NAVEGAÇÃO 3.15
3.5.1 Melhoramentos Gerais ou Normalização 3.16
3.5.2 Regularização 3.20
3.5.3 Canalização 3.22

4 OBRAS DE TRANSPOSIÇÃO DE DESNÍVEL 4.1
4.1 SISTEMAS MECÂNICOS 4.1
4.2 SISTEMAS HIDRÁULICOS 4.4

5 VENTOS E ONDAS 5.1
5.1 INTRODUÇÃO 5.1
5.2 VENTOS 5.2
5.3 ONDAS 5.4
5.3.1 Elementos Característicos das Ondas 5.6

6 MARÉS E CORRENTES 6.1
6.1 INTRODUÇÃO 6.1
6.2 MARÉS 6.2
6.2.1 Teorias de Marés 6.4
6.3 CORRENTES 6.6
6.3.1 Correntes de Gradiente 6.7
6.3.2 Correntes de Deriva 6.8
6.3.3 Circulação Litorânea 6.8
6.3.4 Correntes de Maré 6.9

7 MOLHES E QUEBRA-MARES 7.1
7.1 OBRA DE PARAMENTO VERTICAL 7.2
7.2 OBRA DE PARAMENTO INCLINADO 7.3

8 OBRAS COSTEIRAS 8.1
8.1 BERÇOS 8.3
8.2 CAIS 8.4
8.2.1 Estrutura de Paramento Fechado 8.5
8.2.1.1 Cortinas Atirantadas 8.5
8.2.1.2 Cortinas com Plataforma de Alívio 8.6
8.2.1.3 Muros de Gravidade 8.6
8.2.2 Estrutura de Paramento Aberto 8.7
8.3 PIERS 8.8
8.4 DOLFINS 8.9
8.5 DEFENSAS 8.9

9 ESTRUTURAS E EQUIPAMENTOS PORTUÁRIOS 9.1
9.1 DIMENSIONAMENTO GERAL DE UM PORTO 9.2
9.1.1 Influência dos Navios 9.2
9.1.2 Sistemas de Armazenagem e Carga e Descarga 9.3
9.2 TERMINAIS PARA CARGA GERAL 9.4
9.3 TERMINAIS DE CONTAINERS 9.6
9.4 TERMINAIS RO-RO 9.7
9.5 TERMINAIS PARA CARGAS LÍQUIDAS 9.9
9.6 TERMINAIS PARA CARGAS SECAS 9.9
9.7 OUTROS TERMINAIS 9.10

PREFÁCIO

Essas *Notas de Aula* foram preparadas para serem utilizadas como texto teórico básico pelos alunos dos cursos *Portos de mar, rios e canais* e *Aeroportos, portos e vias navegáveis*, disciplinas de graduação oferecidas pelo Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

Esse material é, na realidade, uma coletânea de diversos textos reunidos pelo autor, pela primeira vez, em 1990. A apresentação é feita no formato de módulos, em que cada capítulo trata de um assunto específico. Nem todos os capítulos foram integralmente escritos pelo autor, sendo alguns deles transcrições e/ou traduções (casos em que os autores originais são citados), geralmente complementados ou comentados pelo autor.

Esse material não pretende esgotar o assunto a ser abordado nos cursos citados, mas pode servir como ponto de partida para um trabalho mais abrangente.

O AUTOR

1 GENERALIDADES SOBRE O TRANSPORTE MARÍTIMO E FLUVIAL

Nesse capítulo, após uma breve introdução em que se menciona possibilidades de atuação do Engenheiro Civil nessa área, são apresentadas algumas características do transporte hidroviário, tanto marítimo como fluvial. São destacadas as vantagens e desvantagens do modo, quando comparado a outros modos de transporte, e sua situação geral no Brasil. Ao final do capítulo são comentadas as tendências e alguns conceitos relativos ao transporte marítimo internacional.

1.1 INTRODUÇÃO

Transporte pode ser definido como o conjunto de meios que possibilitam o deslocamento de bens e de pessoas. É fundamental para a reunião de matérias-primas, mão-de-obra e demais meios capazes de viabilizar a produção de bens, assim como a distribuição desses produtos acabados para diferentes mercados. Além disso, o transporte pode diminuir a defasagem entre o subdesenvolvimento e o desenvolvimento, sendo, por esse motivo, essencial para consolidar o pleno desenvolvimento de qualquer nação.

Os principais modos de transporte podem ser, de forma simplificada, assim classificados:

- Marítimo - longo curso
  - cabotagem (ao longo da costa)
- Fluvial
- Ferroviário
- Rodoviário
- Dutoviário
- Aéreo

Os modos hidroviários (marítimo e fluvial) serão aqui abordados de forma mais detalhada, enquanto que os demais modos serão mencionados apenas para fins comparativos. Assim, para que ocorra o transporte marítimo ou fluvial as seguintes técnicas são empregadas:

- Construção das embarcações;
- Condução das embarcações;

- Aproveitamento, adaptação e construção de vias navegáveis.

Os dois primeiros ítens não apresentam interesse específico para a Engenharia Civil, estando mais ligados à Engenharia Naval. A Engenharia Civil se faz presente e necessária, no entanto, no aproveitamento, adaptação e construção de vias navegáveis, ou seja, viabilizando a *navegação* em determinado trecho ou região. Entendendo aqui *navegação* com um significado restrito às técnicas de melhoramento, construção, conservação, aparelhagem e exploração comercial das vias navegáveis e dos portos, a navegação marítima envolve:

- O melhoramento das barras;
- Construção, melhoramento e aparelhamento dos portos;
- Sua exploração econômica.

No que diz respeito à navegação interior, os pontos de maior interesse para a Engenharia Civil são:

- Construção dos canais de navegação interior;
- Construção dos portos fluviais;
- Exploração comercial das redes de navegação interior.

1.2 COMPARAÇÃO DE DIVERSAS MODALIDADES DE TRANSPORTE

Mais do que tentar definir uma modalidade de transporte como superior às demais, o importante é identificar as potencialidades de cada uma dessas modalidades, de forma a se obter o máximo de todo o conjunto. Assim:

- O modo AÉREO oferece rapidez e conforto;
- O modo RODOVIÁRIO permite o transporte porta-a-porta;
- O modo FERROVIÁRIO desloca grandes quantidades de mercadorias com velocidades razoáveis;
- Os modos HIDROVIÁRIOS são, por natureza, adequados para o transporte de cargas grandes e pesadas a longas distâncias, e que podem permanecer longo tempo sendo transportadas (pois as velocidades de operação são, em geral, baixas). As cargas que se adaptam bem a essas condições são combustíveis líquidos, carvão, cereais, minérios, fertilizantes etc., para as quais o tempo de transporte não é problema.

A constante procura e criação de sistemas de transportes que possam tornar a circulação de bens, econômica e tecnologicamente mais adequadas, é de vital importância para o desenvolvimento do país. É justamente nesse contexto que se defende hoje em todo mundo a intermodalidade, ou seja, a utilização plena e integrada dos aspectos mais vantajosos de cada modo de transporte. Sem um maior

aprofundamento, algumas relações mostram as potencialidades dos diversos transportes de superfície (VERAS JR., 1974):

a) Capacidade de carga

Capacidade de carga pode ser considerada a relação entre o peso da carga transportada e o peso total do veículo carregado, como mostra a expressão a seguir:

$$C_c = \frac{P_c}{P_c + P_p}$$

Onde:
C_c = Capacidade de carga;
P_c = Deslocamento devido à carga;
P_p = Deslocamento devido ao peso próprio.

Um barco que desloca 1.000 toneladas e tem $C_C = 0,75$, pode transportar 750 toneladas de mercadorias. A capacidade de carga das embarcações fluviais varia entre 0,75 e 0,85, sendo semelhantes aos valores das ferrovias (em um vagão com lotação de 48.000 kg e tara de 17.500 kg, $C_C = 0,73$). Já um caminhão de 5.670 kg com tara de 2.830 kg, apresenta Cc = 0,67.

Em termos gerais (considerando as diversas categorias existentes nos diversos modos), é possível afirmar, segundo W. Geile, antigo Presidente do Comitê Central de Navegação da Alemanha (apud VERAS JR., 1974), que, para cada tonelada transportada:

- O caminhão desloca um peso morto de cerca de 700 kg:
- O trem desloca um peso morto de cerca de 800 kg;
- O barco desloca um peso morto de cerca de 300 kg.

b) Aproveitamento da potência do motor

Uma experiência muito interessante para demonstrar a resistência ao movimento de uma carga, em diversos tipos de vias, foi feita na França, no século XIX. Com um burro atrelado a uma carroça, verificou-se o máximo de carga que ele podia puxar em três condições diferentes:

- Estrada sem pavimentação - 750 kg;
- Estrada pavimentada - 1.500 kg;
- Navegação de Sirga (navegação em certos canais, onde a força de tração é proporcionada por um animal que caminha ao lado do mesmo) - 5.000 kg.

As cargas são transportadas nos rios através de barcaças auto propulsoras ou comboios atrelados a um veículo propulsor que pode rebocar ou empurrar o conjunto. Quando rebocado, o consumo de energia é da ordem de 0,5 HP/tonelada, e

quando empurrado cai para 0,2 ou 0,3 HP/tonelada. Uma locomotiva necessita de algo em torno de 2 HP/tonelada e um caminhão de 25 HP/tonelada.

Para fins de comparação, o consumo de energia nas diferentes modalidades de transporte pode ser assim sintetizado:

Modo	BTU/tonelada.milha	Índice
Hidrovia	500	1,0
Ferrovia	750	1,5
Dutovia	1.850	3,7
Rodovia	2.400	4,8
Aerovia	63.000	126,0

Tabela 1.1 - Consumo de energia nas diferentes modalidades de transportes (PORTOBRAS, 1981, p. 76).

c) Transporte de grande quantidade de carga por viagem

A capacidade de carga dos diferentes modos de transporte poderia ser classificada nas seguintes faixas (excluindo o avião que não se caracteriza pelo transporte de grandes massas, mas pela sua velocidade):

- Caminhões - de 1 a 20 toneladas;
- Vagões - de 12 a 100 toneladas;
- Embarcação fluvial - de 150 a 3.000 toneladas;
- Embarcação marítima - de 25.000 a 450.000 toneladas.

d) Custo

Em termos de custo, em livre competição, a relação entre os modos é a seguinte:

- Hidroviário - 1
- Ferroviário - 5
- Rodoviário - 20
- Aéreo - 70

A velocidade operacional nas hidrovias, no entanto, é da ordem de 10 km/h, baixa se comparada com outros modos. Esse fato, sozinho, pode inviabilizar o transporte fluvial, dependendo das características dos produtos transportados.

Considerando-se as características de transporte doméstico de cargas, pode-se ver que os modos que apresentam maior potencial para o transporte de carga (não considerando aqui as cargas que precisam ser transportadas com extrema rapidez, que praticamente estão restritas ao modo aéreo), são o rodoviário, o ferroviário e o

hidroviário. A Tabela 1.2 mostra uma comparação entre esses modos, em condições ideais, quanto aos aspectos potência do motor e consumo de combustível, para uma situação específica, descrita na legenda da tabela.

Meio de transporte	Potência (CV)	Consumo de combustível (l/km)
Hidrovia	1.800	50
Ferrovia	7.000	75
Rodovia	46.000	250

Tabela 1.2 - Potência e combustível necessários para o transporte de cinco mil toneladas de mercadorias, em condições ideais (FONTE: BAHIA, 1980).

Apesar de todas as vantagens dos modos de transporte hidroviários, a distribuição modal do transporte de carga no país era, em 1990, a seguinte (RIVA, 1990):

- Rodoviário - 65 %
- Ferroviário - 18 %
- Hidroviário - Marítimo - 13 %
- - Navegação Interior - 1 %
- Outros - 3%

Se considerados apenas os modos rodoviário, ferroviário e hidroviário (navegação interior), essa participação seria de 77,4%, 21,4% e 1,2%, respectivamente. Analisando-se dados de 1993 publicados pelo Ministério dos Transportes (Tabela 1.3), verifica-se que os modos ferroviário e hidroviário aumentaram a sua participação, mas a divisão modal do transporte de carga no Brasil ainda é muito diferente daquela adotada em países desenvolvidos.

A pouca utilização dos modos hidroviários no Brasil se deve a uma série de fatores, que sem dúvida nenhuma esbarram no aspecto político. Nos próximos tópicos serão apresentadas as principais características dos modos hidroviários e qual a sua situação no país.

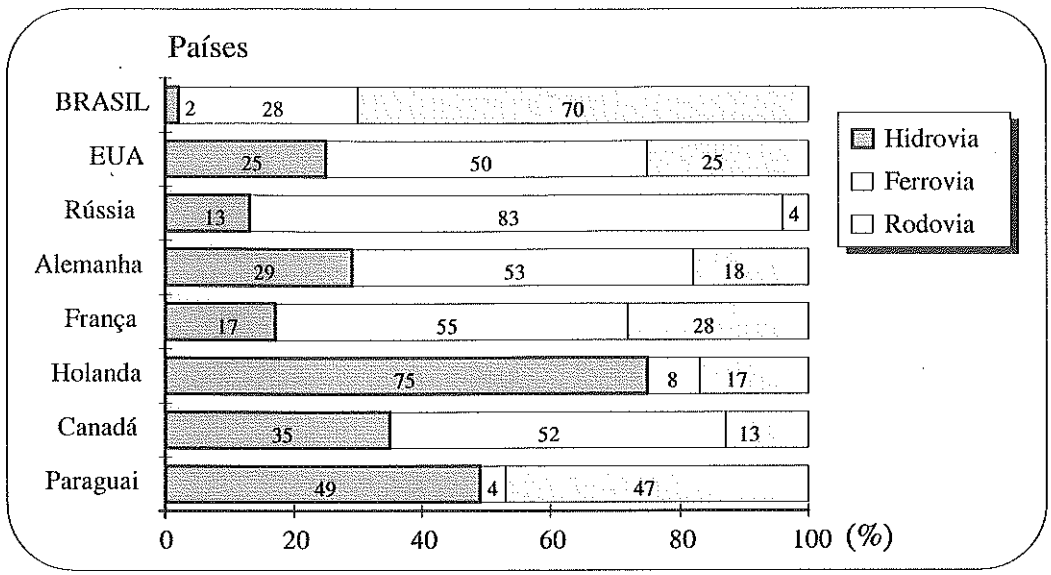


Tabela 1.3 - Distribuição de carga pelos diferentes meios de transporte em alguns países. (FONTE: EMPRESA BRASILEIRA DE PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES - GEIPOT, 1993).

1.3 TRANSPORTE FLUVIAL

Embora a navegação tenha sido fundamental no processo de desenvolvimento do homem ao longo do tempo, convém lembrar que as hidrovias sempre necessitaram, no entanto, de obras para a sua plena utilização. No Brasil, a primeira obra desta natureza que se tem notícia é o canal entre Macaé e Campos (RJ), de 1844, no qual foi construída a primeira eclusa do país, para vencer um desnível de pouco mais de 1 metro. Hoje já temos eclusas bem mais arrojadas, como a de Sobradinho, vencendo um desnível superior a 30 metros.

Um fato interessante é que a construção de eclusas em obras destinadas ao aproveitamento energético, além de muito importante para a navegação interior, representa uma parcela de 3 a 5 % do custo total destas obras, o que é visivelmente interessante, em face do benefício que pode gerar (PORTOBRAS, 1981, p. 6).

A rede hidroviária brasileira, com mais de 40.000 km de extensão, ainda hoje apresenta enorme potencial de utilização. Os estados que tem um relevo muito acentuado próximo à costa (da Bahia à Santa Catarina), embora possuindo grandes portos marítimos, não conseguiram fazer uma ligação entre as hidrovias interiores e a costa, o que fez com que a navegação interior não tivesse grande desenvolvimento. Já o Rio Grande do Sul, através da Lagoa dos Patos, conseguiu desenvolver um sistema de interligação bastante interessante entre a costa e o interior, através de hidrovias, contando com algumas obras para melhorar as condições de navegabilidade dos rios Taquari e Jacuí. O resto do país conta com importantes rios, que constituem diversas bacias. Algumas das mais importantes são:

Bacia Amazônica

O rio *Amazonas* permite o acesso de navios marítimos até Iquitos, no Peru, a cerca de 3.750 km (2.000 milhas) da costa. A bacia toda apresenta cerca de 20.000 km de rede navegável natural, cobrindo imensa extensão territorial.

O rio *Madeira* faz a ligação entre Porto Velho e Manaus, o que permite até mesmo a chegada de carros provenientes do sul do país. A ligação entre Manaus e Santos recebe hoje 80 % das cargas por via rodofluvial (cerca de 12 dias de viagem), 10 % por cabotagem (cerca de 16 dias) e 10 % por modo aéreo.

Os rios *Negro e Branco* permitem o acesso à Roraima, enquanto os rios *Purus e Juruá* garantem o acesso ao Acre. Os rios *Tocantins* e *Araguaia* ligam o Planalto Central à foz do *Amazonas* e podem se constituir em um importante eixo de integração entre o norte e o sul do país. A efetiva ligação depende das eclusas de Tucuruí e Santa Isabel. A área compreendida pela bacia tem uma capacidade de produção agrícola estimada em 40 milhões de toneladas/ano, além de recursos minerais abundantes.

Bacia do Meio Norte

Entre a Amazônia e a região Nordeste encontram-se alguns rios com expressivas extensões navegáveis como o *Mearim*, o *Grajaú*, o *Pindaré*, o *Itapicuru* e o *Parnaíba*, totalizando cerca de 5.300 km. O *Mearim* e o *Pindaré* convergem para o porto marítimo de *Itaqui*. A barragem de Boa Esperança, no Rio Parnaíba, obrigou a construção de duas eclusas para vencer um desnível de 47 m, mas as obras estão paralizadas desde 1982.

Bacia do São Francisco

Apresenta 1.371 km navegáveis entre Pirapora e Juazeiro, além de 200 km no *Baixo São Francisco* e mais 120 km no *Alto São Francisco* (lago de Três Marias).

Os rios *Grande, Paracatu, Correntes, Das Velhas* e outros afluentes do *São Francisco* são também parcialmente navegáveis.

Bacia da Costa Leste

Alguns rios têm condições de navegabilidade, mas em trechos relativamente curtos. Os rios *Doce* e *Paraíba do Sul* justificariam investimentos para torná-los navegáveis em maiores extensões do que hoje se encontram, em virtude da potencialidade econômica das regiões por eles atravessadas.

Bacia do Paraná

A hidrovia *Tietê-Paraná,* embora ainda com poucos anos de operação da navegação comercial de longa distância, já apresenta projetos de mais de 20 comboios graneleiros, totalizando uma capacidade dinâmica de mais de dois milhões de toneladas anuais. O projeto prevê uma capacidade final de 15,9 milhões de toneladas.

Com uma área de abrangência de 70 milhões de hectares, a hidrovia *Tietê-Paraná* prevê a utilização de 2.300 km de rios, sendo 1.800 em hidrovia principal.

O rio *Tietê* poderia ainda servir à região metropolitana de São Paulo, atendendo ao deslocamento de cargas urbanas nos municípios de Osasco, Guarulhos, Mogi das Cruzes, Itaquaquecetuba, Santo André, São Bernando do Campo e São Paulo, de acordo com um projeto proposto pelo Engenheiro Arnaldo Giraldo, da CESP. Pelo projeto, os rios *Tietê* e *Pinheiros* e as represas *Billings, Guarapiranga* e *Taiaçupeba* formariam o que se poderia chamar de anel hidroviário, com aproximadamente 200 km de extensão, envolvendo a Grande São Paulo, se um trecho de cerca de 20 km (ao longo de um córrego já existente) promovesse uma ligação efetiva entre as represas de *Guarapiranga* e *Taiaçupeba* (GIRALDO, 1990)

Só as usinas de concreto às margens dos rios *Tietê* e *Pinheiros* movimentam, anualmente, de 0,7 a 1,0 milhão de toneladas de cimento (a maior distribuidora do produto na região encontra-se na marginal do rio *Pinheiros*), além de 1,5 milhões de toneladas de areia e cascalho. O transporte de cargas na região metropolitana, através dos rios, promoveria o descongestionamento das avenidas marginais, além de garantir uma redução substancial nos custos de transportes das cargas que pudessem utilizar o modo hidroviário (além das já citadas, que são bastante expressivas, podem ser mencionadas: lixo, frutas, legumes, o próprio material proveniente de dragagens etc.).

O rio *Paraguai* é um dos poucos rios do mundo que, em estado natural, permite a utilização de grandes comboios de empurra nos 1540 km que vão de Corumbá até a confluência com o rio *Paraná*.

O rio *Uruguai* não é totalmente navegável, mas seria possível ligá-lo da Bacia do *Prata* até a *Lagoa dos Patos*, através dos rios *Ibicuí e Jacuí*, após vencer um desnível na barragem de São Pedro.

Bacia da Lagoa dos Patos

Esta Bacia, com 1.400 km de extensão, apresenta intenso tráfego de cargas (carvão e cereais). Os principais rios são o *Jacuí*, o *Taquari* e o *Guaíba*, que, através da *Lagoa dos Patos*, permitem alcançar o porto marítimo de *Rio Grande*. A hidrovia do *Jacuí* dispõe de três barragens com eclusas, que garantem condições permanentes de navegação para embarcações com calado de até 2,50 metros.

A interligação de várias destas bacias é tecnicamente possível e muito ansiada por inúmeros setores, mas envolve custos elevados. Por este motivo, é fundamental implementar, de forma racional, primeiramente as hidrovias que hoje não requerem muitos recursos, por serem as que necessitam de obras mais simples, e que apresentariam um retorno rápido para o capital investido.

O transporte hidroviário interior vêm, gradativamente, ganhando expressão no cenário nacional. Aumentou, no período de 1977 a 1986, em 150% a sua

participação no transporte de carga, seguido de perto pela navegação de cabotagem, com 120% de aumento. Ainda assim, o modo rodoviário domina o transporte de cargas no interior do país, representando 56% do total de cargas transportadas em 1986. A Figura 1.1 mostra a evolução dos diferentes modos no transporte nacional de cargas até aquele ano. Os modos aquaviários representam somente 17% neste contexto, sendo apenas 1% relativo ao transporte por rios (o restante utiliza a navegação de cabotagem). Nos Estados Unidos, só o transporte por rios representa 12% da carga total transportada no país.

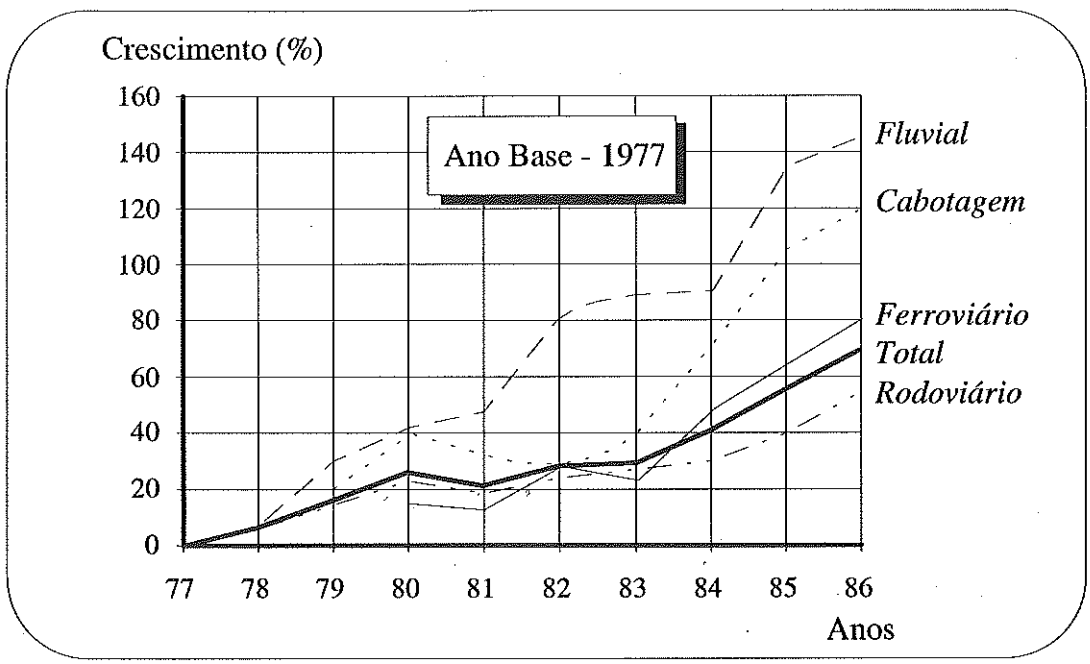


Figura 1.1 - Evolução da produção de transporte de carga no Brasil, no período de 1977 a 1986 (FONTE: RIVA, 1990).

Na Europa, o transporte utilizando os rios é muito importante. Isso fica evidente quando se analisa os investimentos que são feitos para ampliar e manter os rios e canais em condições plenas de utilização, como no caso do canal artificial de 171 km inaugurado na Alemanha em 1992. Esse canal, que interliga os rios Meno e Danúbio, permite a ligação entre o Mar do Norte e o Mar Negro, totalizando 677 km de extensão. Sua construção demorou, no total, 71 anos e consumiu recursos superiores a 4 bilhões de dólares.

Como já mencionado anteriormente, no entanto, mais importante do que a utilização isolada de um ou outro modo de transporte é uma utilização integrada, privilegiando a intermodalidade. É importante lembrar que cada modo possui uma faixa de utilização mais interessante, como mostra o exemplo apresentado na Figura 1.2, e essas faixas de utilização devem ser exploradas da melhor forma possível.

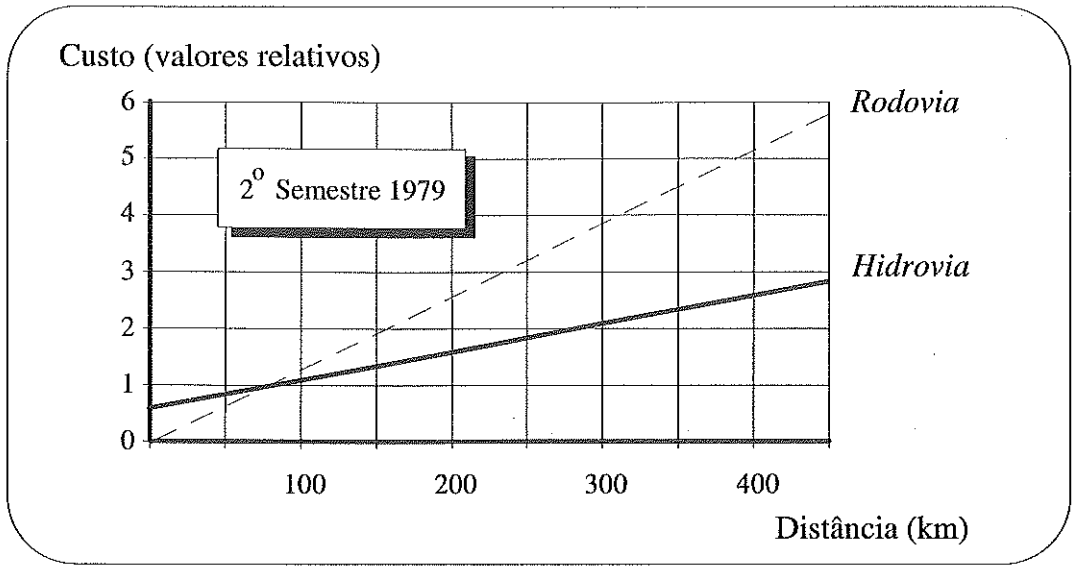


Figura 1.2 - Comparação entre os custos de transporte de gado na região de influência da Hidrovia Tietê-Paraná, em 1979 (PORTOBRAS, 1981, p. 278).

1.4 TRANSPORTE MARÍTIMO

Assim como os rios (Nilo, Tigre e outros), os mares sempre tiveram papel de destaque na evolução do homem, embora não possam ser considerados o único fator responsável pela evolução dos povos que deles se serviram. O mar sempre foi muito importante para a humanidade, pois representa uma fonte preciosa de alimentos, além de servir como via de transporte. Foi justamente a busca do alimento que motivou o homem a iniciar suas viagens marítimas, que posteriormente vieram a ter objetivos comerciais e bélicos. Já há 6.000 anos existem registros de viagens marítimas no sul do Pacífico e no Índico.

Após um período de declínio com os gregos e romanos, a navegação ocidental voltou a crescer, no Renascimento, com os portugueses, espanhóis e outros povos europeus. A análise da história mostra que, a partir desta época, o avanço da navegação foi muito rápido: o homem levou 5.000 anos para chegar à caravela, mais 400 para fabricar o navio a vapor e, em apenas 100 anos, chegou ao navio atômico.

O vapor, embora tenha sido muito importante para a navegação, apresentava sérios problemas de transporte do combustível, que ocupava grandes volumes e não era encontrado em qualquer lugar. O óleo Diesel minimizou sensivelmente estes problemas, na medida em que podia ser transportado com maior facilidade, pois não ocupava volume muito grande. Nos navios nucleares modernos, o volume e o peso do combustível são tão pequenos, que chegam a ser desprezíveis em relação à capacidade de transporte.

Todo tipo de transporte deve oferecer algumas condições para atender às inúmeras exigências do mercado ao qual vai servir. O transporte marítimo oferece

algumas destas condições: fretes baixos, boa segurança, mas, por outro lado, tempo de viagem relativamente longo e disponibilidade variável.

Quando as cargas devem transpor oceanos, os meios de transporte disponíveis são apenas o aéreo e o marítimo. Dois motivos tornam os custos do transporte marítimo mais baixos: a necessidade de potência muito menor do que em outros modos para deslocar a mesma massa, e a característica do meio em que se realiza o transporte (a água), que dispensa manutenção (no caso do avião isto também ocorre, mas em rodovias e ferrovias os gastos com manutenção das vias são consideráveis).

Nos Estados Unidos, por exemplo, mais de 95% do peso total transportado para comércio externo é efetuado através de navios. Ao avião cabe o transporte de cargas perecíveis ou valiosas. No Brasil, o transporte rodoviário suplanta o transporte marítimo (e fluvial), o que pode ser justificado por algumas distorções: normalmente o transporte marítimo depende também de um transporte terrestre nos trechos inicial e final da viagem, o que acaba elevando o custo global, uma vez que surgem algumas etapas de transbordo e armazenamento que não acontecem no modo terrestre direto. Essas etapas intermediárias aumentam o tempo, os riscos de roubos e avarias e a documentação necessária.

O Brasil, poderia ser considerado uma potência emergente no transporte marítimo internacional no início dos anos 80, mas o final da década não foi dos mais promissores, como pode ser visto nas Figuras 1.3 e 1.4. Enquanto que em 1982 o país dispunha de 93 embarcações de longo curso (1.134.200 tpb - toneladas de porte bruto), em 1988 a frota já estava reduzida a 51 embarcações (com 791.500 tpb). Além disso, dois fatores críticos atingem a frota nacional: a idade média elevada (em 1988, estava em 9,9 anos, quando o padrão aceito internacionalmente como vida útil é de 15 anos) e o pequeno porte das embarcações (a maior parte abaixo de 15.000 tpb), contrário a tendência mundial de aumento das dimensões dos navios.

1.4.1 Tendências modernas

As embarcações modernas apresentam duas características evolutivas:

a) Aumento das dimensões;
b) Especialização.

O crescimento da capacidade total de transporte marítimo tem sido muito mais significativo do que o aumento do número de embarcações, refletindo a tendência de aumento no tamanho médio, como pode ser visto na Tabela 1.4 (embora tenha praticamente se estabilizado no período 1978-1985).

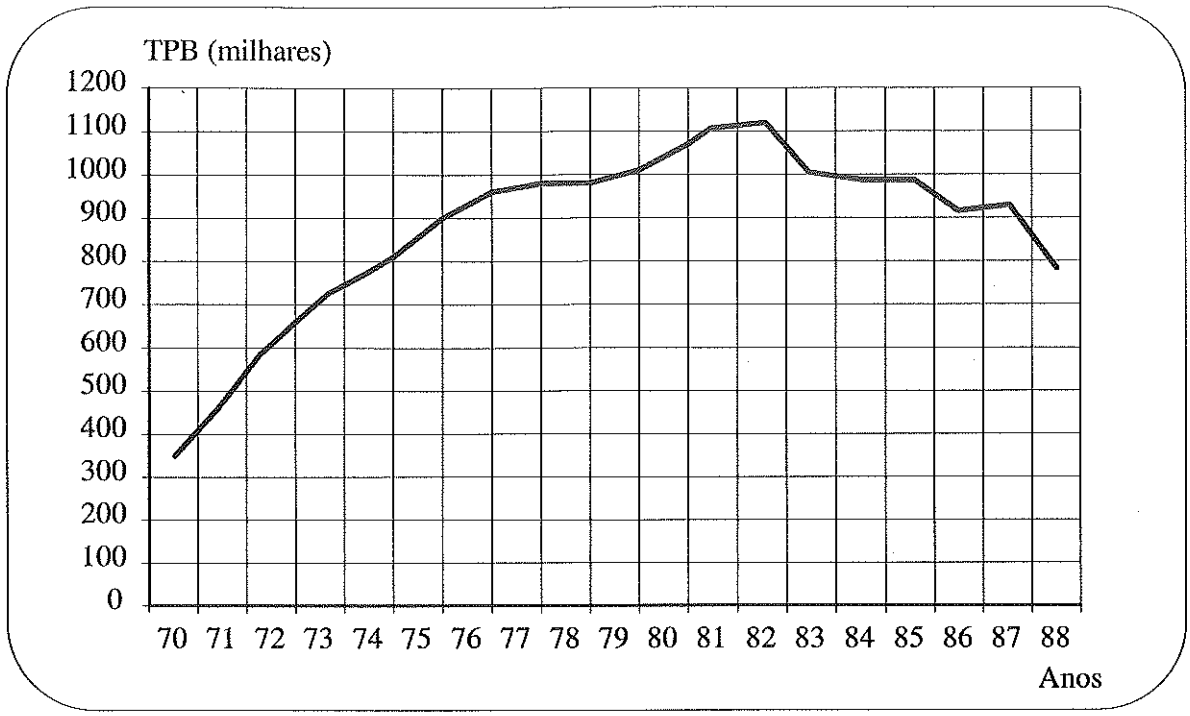


Figura 1.3 - Toneladas de porte bruto transportadas pela frota dedicada à carga geral, no transporte marítimo internacional do Brasil (FONTE: MENDES, 1990).

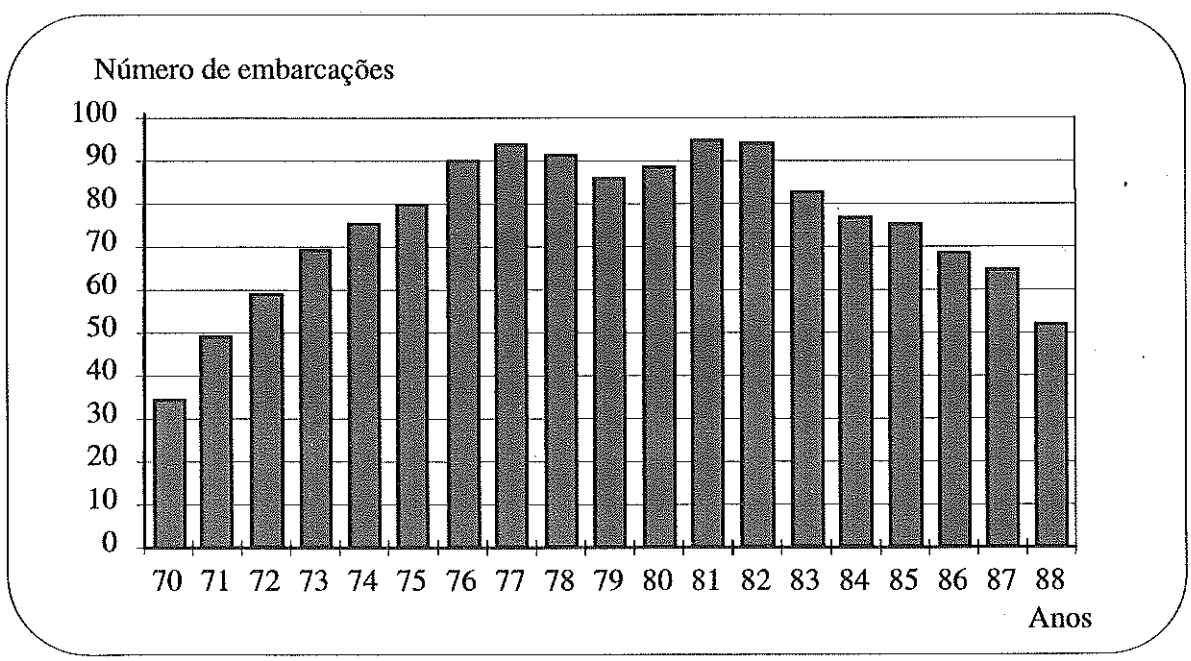


Figura 1.4 - Evolução da frota dedicada à carga geral, no transporte marítimo internacional do Brasil (FONTE: MENDES, 1990).

Ano	Número de embarcações	Volume total disponível para transporte (x 1.000 m^3)	Volume médio disponível para transporte (m^3)
1958	16.966	318.037	18.745
1968	19.361	521.715	26.947
1978	24.512	1.072.951	43.772
1985	25.424	1.109.961	43.658

Tabela 1.4 - Características da frota mundial de navios com volume individual disponível para transporte acima de 2.800 m^3 (FONTE: adaptado de WRIGHT & ASHFORD, 1989).

Estas tendências causam inúmeros problemas de adaptação nos portos. Os portos novos já estão tentando absorver essas características, mas as alterações não cessam. Os administradores dos portos e os armadores ainda não chegaram a um acordo quanto às dimensões ideais para os navios, mas já existe um projeto de um navio capaz de transportar 1.000.000 de toneladas de petróleo, com calado entre 19 e 20 metros. Isto mostra que navios cada vez maiores são apenas uma questão de tempo. Assim, equipamentos especiais de carga e descarga, armazéns, canais de acesso e sistemas de embarque e desembarque precisam adaptar-se quase que permanentemente às novas embarcações. Em Roterdam, por exemplo, o canal de acesso ao porto, com 23 km de comprimento, foi aprofundado de 12 para 15 metros, com elevados custos.

1.4.2 Conceitos Básicos

O transporte marítimo apresenta uma terminologia bastante específica, com muitos termos em língua inglesa, em virtude da característica internacional do modo. Seguem conceitos básicos, com alguns dos termos usuais (GOMES, 1978):

Tráfego Marítimo

Movimento de mercadorias nas diversas linhas ou vias marítimas. O movimento de passageiros também se inclui nesta definição, embora o transporte de cargas seja muito mais significativo.

Linha Marítima/Serviço Marítimo

Linha marítima é o caminho percorrido pelos navios que transportam mercadorias entre uma zona de exportação e outra de importação. Serviço é o conjunto de navios que operam em uma linha, efetuando o transporte de bens e/ou passageiros.

As linhas marítimas podem ser classificadas de acordo com:

- O aspecto geográfico:
  Locais - de cabotagem

Gerais - de longo curso

- O elemento transportado:
  Carga
  Passageiros
  Misto
- O ritmo:
  Regular - itinerários e horários fixos, (em zonas de comércio estável e ativo)
  Irregular - embora não sejam contínuos, apresentam uma certa regularidade (safras etc)
  Ocasional - nenhuma regularidade.

No Brasil, o elemento transportado é predominantemente carga, composta de granéis líquidos (mais de 50 %) e carga seca.

Operações com Navios

As operações com navios apresentam três características básicas, no que diz respeito ao comércio:

a) LINER TRADE - comércio marítimo efetuado com navios ligados a uma CONFERÊNCIA DE FRETE (conjunto de Companhias de Navegação que exploram determinadas linhas e que estabelecem fretes uniformes), ou que percorrem sempre as mesmas linhas;
b) TRAMP TRADE - comércio com navios não conferenciados, logo não usufruem das vantagens que as Conferências oferecem (granéis e cargas de baixo frete);
c) PRIVATE TRADE - tráfego de empresas que produzem e transportam suas próprias cargas (exemplo: PETROBRAS).

As empresas de navegação podem prestar os seguintes tipos de serviços:

a) LINER SERVICE - Companhias de linhas regulares, cujos navios operam com rotas e datas marcadas (as tarifas de fretes têm prazos determinados - geralmente três meses);
b) TRAMP SERVICE - serviço de Companhias de linhas não regulares (agem no mercado de fretes, com base na lei da oferta e da procura), chamadas de OUTSIDERS (assim como seus navios).

O navio OUTSIDER pode ter linha regular, mas sempre age no mercado de fretes. Um navio TRAMP é um OUTSIDER que não tem linha regular. Estima-se que 60 % do comércio marítimo seja feito por navios TRAMPS.

Os navios podem ser classificados de acordo com a sua bandeira (de bandeira nacional ou de terceira bandeira). No Brasil, 40 % do comércio internacional do país deve ser realizado por navios brasileiros, 40 % por navios do país com que se negocia (ambos de bandeira nacional), e 20 % por navios de terceira bandeira. A

Constituição Federal de 1988 preceitua, em seu artigo 178, que a participação de navios brasileiros no comércio marítimo internacional deve ocorrer de acordo com os índices acima citados, mas a participação dos navios de bandeira e registro brasileiros, no entanto, caiu sensivelmente nos anos 80 (ver Figura 1.5). Isso aumenta os gastos em divisas do país, além de colocar o seu comércio exterior praticamente nas mãos de operadores estrangeiros, comprometendo inclusive a segurança do país. A situação é tão séria que, para que os índices previstos na Constituição fossem atingidos no ano de 1990, seria preciso que tivessem sido incorporadas nada menos que 233 novas embarcações às 51 existentes em 1988.

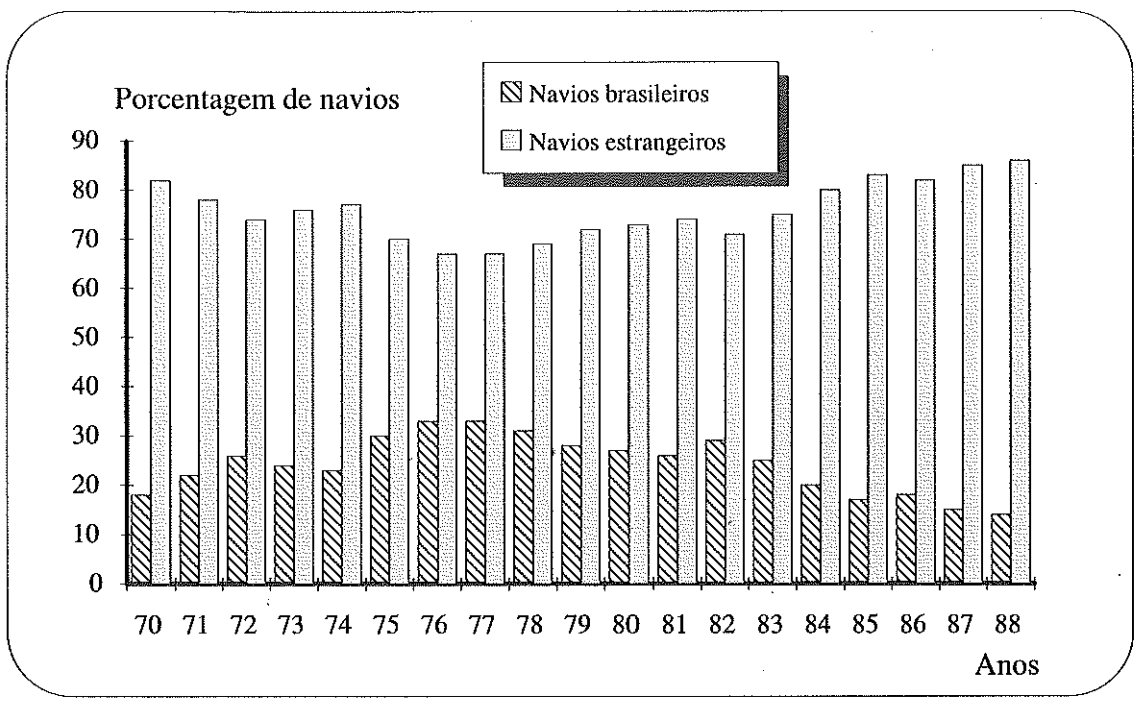


Figura 1.5 - Participação dos navios brasileiros nos fretes do transporte marítimo internacional do Brasil (FONTE: MENDES, 1990).

Outras definições:

a) COMMON CARRIER - é a pessoa (ou grupo de pessoas) que se oferece ao público em geral, para efetuar transporte de qualquer mercadoria, em troca de uma compensação (frete). A carga não pode ser recusada e as tarifas são fixas;
b) CONTRACT CARRIER - neste caso as mercadorias podem ser recusadas e o transporte é efetuado mediante um contrato denominado CHARTER PARTY (Carta Partida). É estabelecido apenas um frete mínimo;
c) PRIVATE CARRIER - empresa engajada no transporte como parte de um outro negócio. O transporte não é sua principal atividade.

2 CARGAS E EMBARCAÇÕES

O planejamento e construção de qualquer obra destinada a garantir a operação do transporte hidroviário depende das características de dois elementos fundamentais: os veículos e os objetos neles transportados.

Nesse capítulo são apresentadas algumas características das cargas mais comuns ao modo e seus processos de manuseio, bem como das embarcações. São descritos diferentes tipos de navios para transporte marítimo e comentados aspectos gerais das embarcações destinadas ao transporte fluvial.

2.1 TIPOS DE CARGAS

As cargas podem ser classificadas, para fins de transporte em navios, em:

- a) Carga geral
- b) Carga a granel
  - seca
    - minérios
    - grãos
      - leves
      - pesados
  - líquida

A carga geral, até algum tempo atrás, era embarcada individualmente, ou seja, volume por volume, o que fazia com que os custos referentes a carga e descarga chegassem a representar mais de 30% do custo total para o transporte. Inúmeras técnicas foram desenvolvidas para unificar as cargas e assim diminuir o tempo de manuseio, o que, adicionalmente, ainda protege o conteúdo da unidade de unitização de roubos e avarias. Algumas das técnicas utilizadas para agilizar o processo de carga e descarga são:

a) CARGA PRÉ-LINGADA (*pre-slung cargo*) - as cargas permanecem presas dentro das lingas, que viajam junto com os navios. É o método mais simples e barato para se aumentar a produtividade da estiva em um navio de carga geral;
b) BANDEJA (*pallet*) - trata-se de um estrado, de madeira ou metal, sobre o qual as cargas são depositadas e transportadas. Existem *pallets* de várias dimensões, embora ocorram freqüentes tentativas para

padronizá-los, sendo o tamanho 40 x 48 polegadas (100 x 120 cm) um dos mais usados (bem como seus múltiplos e sub-múltiplos);

c) CONTENTORES (*containers*) - os contentores são recipientes fechados, para transporte de inúmeros produtos, sendo o material de sua fabricação (alumínio, aço, fibra de vidro etc.) compatível como o produto que irá conter. São também chamados cofres de carga ou contenedores e podem ser transportados, além dos navios, em caminhões, trens e aviões. Podem conter três tipos básicos de mercadorias: cargas secas, cargas líquidas e mercadorias a granel, bem como cargas que requerem características especiais, tais como câmaras frigoríficas.
Atualmente os contentores são padronizados pela ISO (*International Standards Organization*) e variam de 10 ton (contentor mais carga), com (10 x 8 x 8) pés, até 30 ton, com (40 x 8 x 8) pés, com empilhamento máximo possível de 6 unidades. Existem ainda, também padronizados, contentores menores, mas cujo empilhamento não ultrapassa três unidades.
A contentorização é, sem dúvida, o método de unitização atualmente mais usado em todo o mundo, sendo utilizados no seu transporte, especialmente os navios porta contentores (*Container Ships*) e RO-RO (*Roll-On/Roll-Off*);

d) *ROLL-ON/ROLL-OFF* - neste caso o contentor é um trailer que é carregado para o navio (RO-RO) por meio de tratores, que penetram no porão através de portas laterais ou na popa, sendo descarregados da mesma maneira no local de destino, com tratores deste porto;

e) CARGA EMBARCADA EM BARCAÇAS - existem navios que içam barcaças carregadas diretamente de dentro d'água. A carga destas barcaças pode ser dos mais diversos tipos, sendo o seu modelo compatível com a carga que transporta (refrigeradas, para líquidos etc.). Dois tipos de navios efetuam este tipo de transporte: *LASH* e *SEABEE*, cada um deles com características especiais de carregamento.

2.2 DIMENSÕES CARACTERÍSTICAS DOS NAVIOS

As dimensões características das embarcações são identificadas na Figura 2.1. Dos componentes dos barcos não citados na Figura, PROA é a parte anterior da embarcação, POPA é a parte posterior, BOMBORDO é o lado esquerdo e ESTIBORDO o lado direito (no Brasil, a Marinha de Guerra adotou o termo BORESTE, em 1884, para substituir a palavra estibordo, de forma a não confundir as vozes de comando).

As embarcações têm características construtivas diferenciadas para operar nos rios ou no mar (Figura 2.2). A proa e a seção transversal apresentam diferentes formatos. Nos barcos marítimos as formas são mais afiladas, para obter maior velocidade e se adaptarem aos movimentos do mar. Nos barcos fluviais, o calado

é pequeno para permitir uma melhor adaptação dos mesmos aos rios, não exigindo profundidades elevadas (daí o nome de chatas, ou seja, de fundo chato). Já nos barcos marítimos, o calado deve ser maior para garantir maior estabilidade, uma vez que o barco tem que enfrentar ondas.

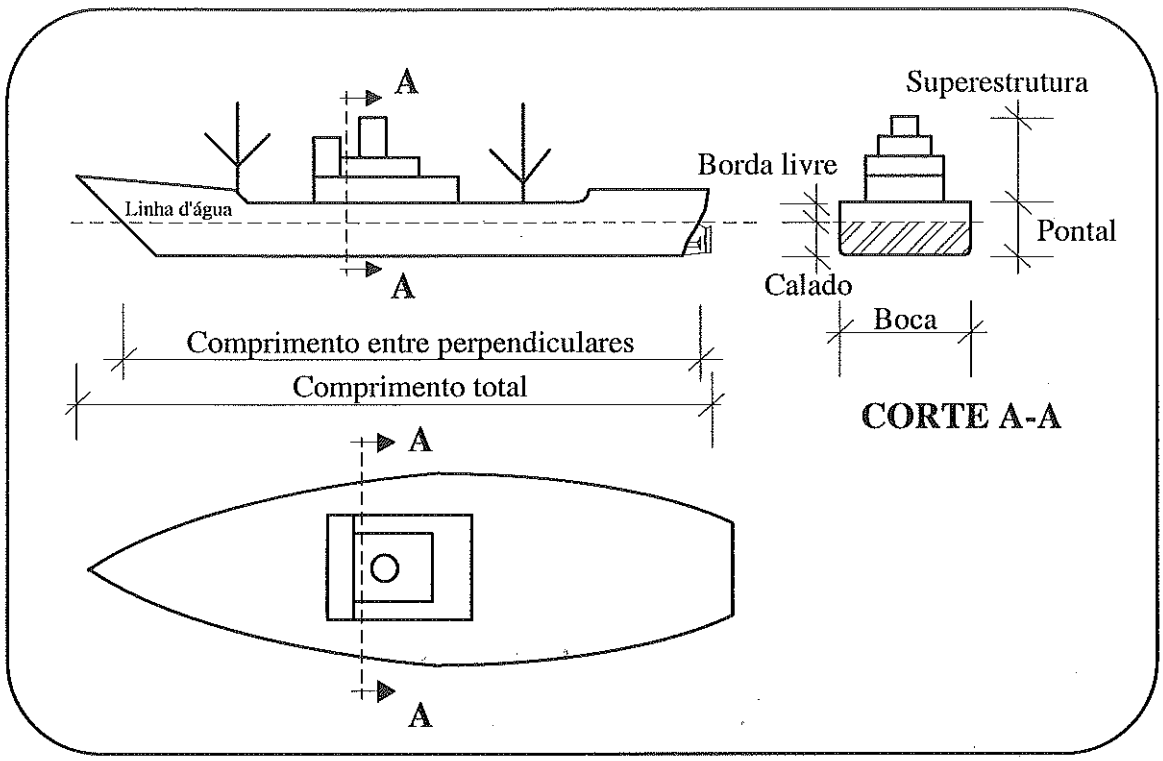


Figura 2.1 - Principais dimensões de uma embarcação (FONTE: WIDMER, J. A. - Apostila 3 - STT-134 Transportes I).

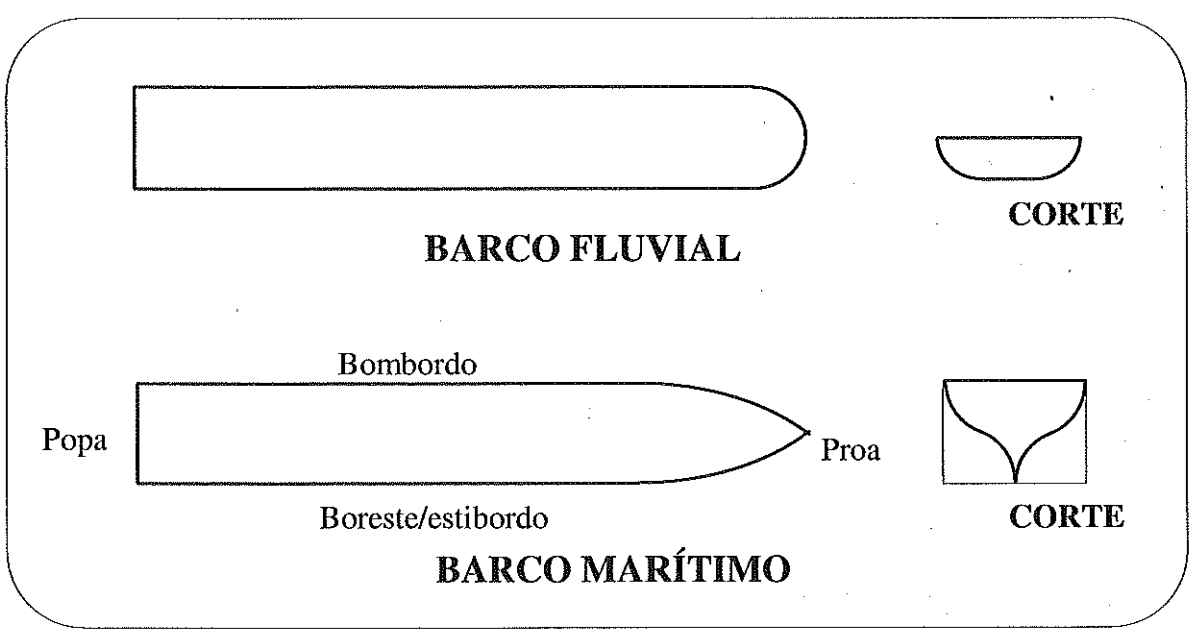


Figura 2.2 - Principais características das embarcações marítimas e fluviais (FONTE: VERAS JR., M. S. Portos, rios e canais. Vol. I, p.9.).

Qualquer que seja a embarcação, no entanto, é importante que o profissional que vai projetar e construir canais de navegação, portos e outra obras civis indispensáveis para a operação do modo hidroviário, saiba o que acontece (ou pode acontecer) aos barcos nesses locais. Todo barco está sujeito a seis tipos de movimento, sendo três de translação e três de rotação, como se pode observar no esquema da Figura 2.3. Esses movimentos devem ser considerados em toda instalação fixa a ser construída, pois um projeto que não os leve em conta pode produzir acidentes e danos consideráveis (principalmente quando se está lidando com navios de grande porte).

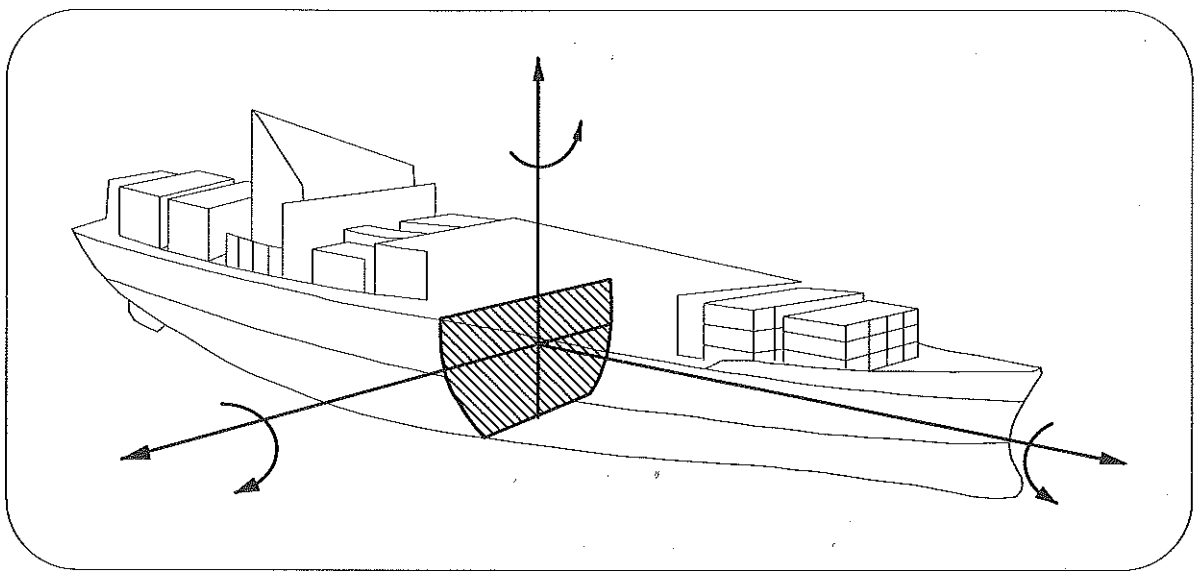


Figura 2.3 - Movimentos a que está sujeita uma embarcação (FONTE: REVISTA COMÉRCIO EXTERIOR, 1977).

2.3 EMBARCAÇÕES MARÍTIMAS

Os navios possuem características diferenciadas, de acordo com o tipo de carga que transportam e com os portos em que operam:

a) NAVIO CONVENCIONAL PARA CARGA GERAL

Apresentam algumas características específicas, de acordo com a forma de operação. Se o navio opera como TRAMP, transporta basicamente granéis sólidos mais simples (minérios, carvão etc.), cujo frete é baixo, o que faz com que o navio seja projetado de forma a minimizar os custos. Assim, apresentam baixa potência propulsora e baixa velocidade, praticamente não possuem equipamentos de carga e descarga (utilizam os de terra), os porões não são muito divididos, possuindo uma só coberta e apresentam baixo fator de estiva (relação entre a capacidade cúbica e o peso bruto). Alguns navios TRAMPS, quando projetados para utilização por companhias de linhas regulares, através de afretamento, são mais sofisticados, com características mais próximas dos LINERS.

Ao operar de fato como LINER, os navios de carga geral realizam um serviço regular, com datas e locais pré-determinados, carregando diversos produtos, geralmente de alto fator de estiva. Nestas condições, os navios são projetados para apresentar elevada potência, alta velocidade, possuem diversos porões que permitem uma maior divisão das cargas (geralmente com duas cobertas), equipamentos de carga e descarga capazes de operar com grandes pesos e instalações especializadas para transporte de cargas frigorificadas e líquidos a granel.

b) NAVIOS PARA BANDEJAS (*Pallets Ships*)

Apresentam aberturas laterais que permitem o acesso de empilhadeiras aos porões (internamente existem rampas de acesso aos diversos conveses).

c) NAVIOS RO-RO (*Roll-On/Roll-Off*)

Como os *Pallets Ships*, apresentam aberturas laterais (além de outras na proa e/ou na popa) que permitem o acesso de trailers carregados e veículos ao interior do navio. Pode ainda ser projetado com instalações para o transporte de outros tipos de carga, tais como contentores e líquidos a granel.

d) NAVIOS PORTA-CONTENTORES (*All Container Ship*)

São utilizados exclusivamente para o transporte de contentores, com instalações específicas para este fim. São navios de grande capacidade e alta velocidade, que operam geralmente entre grandes portos, onde transbordam parte da carga diretamente para navios de menor tamanho (*Feeder Ships*), os quais podem penetrar em portos com canais menos profundos.

Um navio que se destina exclusivamente ao transporte de contenedores é geralmente mais caro que um navio convencional, o que representa um investimento inicial elevado (considerando-se também a compra dos contentores), mas que é rapidamente compensado pela sua grande rotatividade. Alguns navios chegam a transportar mais de 2.000 contentores de 20 pés, por viagem (o Japão já iniciou a construção de um navio para 3.100 contentores).

e) NAVIOS PORTA-BARCAÇAS (*Barge Carriers*)

Estes navios são capazes de içar barcaças carregadas diretamente de dentro d'água, com equipamento próprio. Os tipos mais usuais são os *LASH* (*Lighter Aboard Ship*), cujo guindaste de pórtico é capaz de içar barcaças de até 500 toneladas, e o *SEABEE*, que opera com elevadores submergíveis para até duas barcaças de 1.000 toneladas cada.

A operação do guindaste de pórtico sobre trilhos, no sistema *LASH*, permite que a carga e a descarga sejam realizadas por um só operador, que é capaz de colocar todas as barcaças empilhadas, bem como manipular as tampas das escotilhas (podem transportar até 90 chatas). No sistema *SEABEE*, as barcaças são elevadas ao nível do convés e macacos hidráulicos elevam e deslocam estas chatas até um sistema de trilhos, que as conduz ao local definitivo onde ficarão estivadas.

Os navios porta-barcaças apresentam muitas vantagens: possuem grande capacidade e alta velocidade; suas barcaças podem ser rebocadas diretamente para vias navegáveis interiores, evitando um transbordo adicional; podem transportar ainda contentores; não ocupam um lugar no cais para carregar ou descarregar; e efetuam estas operações com extrema rapidez (em uma linha típica, um porta barcaças gastaria 7 dias nos portos de origem e destino, enquanto um navio de carga geral convencional, de mesma tonelagem, gastaria, na melhor das hipóteses, 40 dias). O principal inconveniente deste tipo de navio é a obrigatoriedade de transportar permanentemente um equipamento de elevada capacidade de carga.

f) NAVIOS *CONTAINER-FEEDERS*

Estes navios têm a finalidade de realizar viagens entre os portos maiores, onde recebem diretamente a carga dos navios porta-contentores, e os portos menores, onde conseguem navegar sem problemas de profundidade dos canais. Alguns destes navios operam também no sistema RO-RO, o que faz com que a sua capacidade de transporte de contentores seja muito menor do que a de um navio que transporta exclusivamente contentores (podem transportar perto de 1.800 contentores).

g) PETROLEIROS

Os petroleiros eram inicialmente construídos com grande quantidade de tanques, cujas separações serviam como peças de reforço estrutural. O aumento no porte dos navios obrigou a utilização de anteparos longitudinais corrugados. A evolução deste sistema, com a utilização de peças de reforço (*Stiffners*), permitiu a construção de navios V.L.C.C. (*Very Large Crude Carriers*), com capacidade acima de 200.000 toneladas e um número não muito grande de tanques. O crescimento no porte dos navios provocou um aumento também dos calados, que passaram de cerca de 30 pés (cerca de 9 metros) para valores próximos de 90 pés (cerca de 27 metros). Esse aumento provocou enormes problemas para acesso a vários portos importantes, o que acabou gerando um outro tipo de navio, de menor calado, mas com maior boca, denominado V.L.C.C. *With Restricted Draught*, ou simplesmente *RD-Tanker*.

O crescimento dos petroleiros foi muito grande a partir de 1945. O primeiro petroleiro do mundo, de 1886, tinha apenas 2.307 tpb. Em 1945, alcançou-se as 16.000 tpb e, 25 anos depois, já existiam navios de quase 500.000 tpb.

h) GRANELEIROS (*Bulk Carriers*)

Possuem grandes porões (para cargas de baixa densidade), com escotilhas que cobrem praticamente toda a área do mesmo, além de tanques laterais que recebem grãos, carga a granel ou lastro de água. Alguns destes navios são equipados para realizarem a própria carga ou descarga.

i) MINERALEIROS (*Ore Carriers*)

Navios específicos para o transporte de minérios, com pequenos porões centrais de alto fundo duplo e estrutura reforçada, além de tanques laterais que carregam água quando os porões centrais estão carregados, de forma a evitar que o centro de gravidade fique muito baixo (o que aumenta o desconforto a bordo).

j) *ORE-OIL* (O/O)

Navio combinado para o transporte de minério e petróleo, aproveitando a ida e a volta das viagens. Existem vários tipos deste navios, com dois sistemas principais: um em que os mesmos tanques são usados para transportar os dois produtos (um de cada vez, evidentemente), e outro em que os tanques centrais levam minério e os laterais levam óleo (de qualquer maneira, nunca são carregados juntos para evitar o risco de uma explosão).

k) *ORE/BULK/OIL* (OBO)

Graneleiro de múltipla finalidade, não possui anteparos longitudinais, mas geralmente os porões são estanques, possuindo também tanques elevados para reduzir a altura metacêntrica.

l) UNIVERSAL BULK SHIP (UBS)

Este navio tem como característica especial, uma série de tanques elevados, cujo formato permite a sua fácil utilização para a carga e descarga de grãos. Trata-se também de um graneleiro de múltipla finalidade.

m) NAVIOS TIPO *PANAMAX*

Podem ser, ou de múltiplo uso, ou para granéis líquidos ou sólidos, mas apresentam uma característica especial: suas dimensões permitem atravessar o canal do Panamá, ou seja, têm calado menor que 38 pés (11,6 metros) e boca menor que 32,2 metros (situam-se na faixa de 60.000 tpb).

n) PROBO (*Product/Oil/Bulk/Ore*)

É um navio combinado, para produtos refinados de petróleo, óleo cru, granéis leves e minérios. *PROBO* é uma marca registrada dos estaleiros *AB GOTAVERKEN*, da Suécia.

o) OUTROS

Existem diversos tipos de navios com finalidades específicas, tais como navios propaneiros (para transporte de GLP - Gás Liquefeito de Petróleo), para produtos químicos, para carvão, para vinho, álcool, e muitos outros.

2.4 EMBARCAÇÕES FLUVIAIS

As embarcações fluviais devem ser adaptadas, de uma maneira geral, às possibilidades de navegação da hidrovia onde irão operar. Estudos individuais para cada hidrovia, em particular, se fazem necessários. Entretanto, algumas características desejáveis para qualquer tipo são gerais, estando abaixo relacionadas:

- Calado compatível com a mínima lâmina d'água normalmente encontrada na hidrovia;
- Dimensões adequadas aos raios de curvatura da hidrovia;
- Proteção adequada para os apêndices do casco (lemes, hélices etc);
- Boas características de manobra;
- Ampla visibilidade do passadiço;
- Recursos para desencalhe por seus próprios meios;
- Capacidade adequada de armazenagem de combustível e recurso para tratamento da água do rio;
- Disponibilidade de radar com grande poder de discriminação em distância;
- Disponibilidade de holofote com foco de luz direcional, concentrado, sem formação de halo;
- Disponibilidade de ecobatimento capaz de determinar profundidades muito pequenas.

As embarcações fluviais pertencem a duas categorias: com ou sem propulsão. As primeiras compreendem as automotoras, as empurradoras e as rebocadoras. No segundo grupo estão as jangadas e as chatas (ou barcaças).

3 HIDRÁULICA FLUVIAL E REGULARIZAÇÃO DE CANAIS

Para a execução de qualquer obra destinada a promover a navegação em cursos d'água é preciso conhecer e observar o seu comportamento natural. Para isso, é preciso ter noções de hidrografia e de hidrologia, bem como conhecer alguns estudos que permitam prever o comportamento dos cursos d'água e os eventuais impactos causados pelas alterações a eles impostas.

Além de noções básicas dos tópicos citados, são apresentadas nesse capítulo algumas técnicas destinadas a melhorar as condições de navegação, seja através de obras de melhoramentos gerais, de regularização ou de canalização.

3.1 NOÇÕES DE HIDROGRAFIA

A Hidrografia tem por objetivo realizar uma representação (em última análise, gráfica) de aspectos reais envolvendo áreas marítimas ou fluviais. São elementos característicos de um estudo hidrográfico, no caso de rios ou canais:

a) Levantamento das seções transversais;
b) Determinação das vazões;
c) Levantamento das velocidades;
d) Determinação do transporte de material sólido;
e) Qualidade da água.

Os rios têm suas características influenciadas por uma série de elementos gerais da bacia hidrográfica (área com caimento superficial para determinada seção transversal de um curso d'água) tais como:

- ÁREA - influi diretamente na alimentação dos cursos d'água: quanto maior a área de uma bacia, maior a sua contribuição para o rio;
- FORMA - influi no tempo de chegada das últimas partículas de água superficial no rio;
- GEOLOGIA - a maior ou menor permeabilidade do solo pode aumentar ou diminuir a quantidade de água superficial que se desloca para o rio;
- DECLIVIDADE - influencia diretamente a velocidade da água que segue para o rio, bem como a própria velocidade do rio;

- VENTOS E CHUVAS - os ventos podem deslocar as chuvas de uma bacia para outra, reduzindo os volumes d'água incidindo sobre cada bacia. As chuvas são, na realidade, o principal elemento na formação dos rios. Elas influem na bacia hidrográfica, de acordo com a intensidade e a duração da precipitação.

As características acima, sendo conhecidas, permitem um conhecimento satisfatório do comportamento do curso d'água estudado. Uma representação gráfica capaz de conter estes elementos deve constar, no mínimo, de:

a) Planta (da região e das margens dos rios);
b) Perfil longitudinal
   - Fundo do álveo (pelo eixo ou pelo talvegue)
   - Linha d'água (curva de remanso)

Nesta representação, os pontos a seguir merecem referência, em virtude das técnicas utilizadas para a obtenção de dados.

GEODÉSIA/TOPOGRAFIA

A Geodésia é utilizada para a determinação das medidas de grandes extensões de terra, pois considera os efeitos da curvatura da superfície terrestre. Como os rios podem apresentar extensões consideráveis, a Geodésia é utilizada na determinação de grandes áreas triangulares, que são detalhadas posteriormente através da Topografia, que possibilita a representação cartográfica definitiva.

ALTIMETRIA FLUVIAL

Este procedimento tem por objetivo definir as seções em cada ponto, bem como os níveis instantâneos do rio (para se ter uma idéia da curva de remanso). Para determinar os níveis são utilizados aparelhos conhecidos como limnígrafos ou limnímetros, que medem a variação do nível d'água. A seção transversal é determinada, através de levantamento batimétrico, utilizando: sonda hidrográfica, vara hidrográfica, sonda e guincho, sonar ou ecobatímetro. O ecobatímetro, que baseia-se na avaliação do tempo que ondas de ultra-som levam para percorrer a distância do barco até o fundo do rio e retornar ao barco, é o sistema mais preciso. A determinação da cota do fundo é obtida com a leitura conjunta do limnígrafo. Deve ser feita ainda, na mesma ocasião, a locação do ponto sondado, utilizando telêmetros ou teodolitos (neste caso, é preciso haver um sistema de comunicação entre o barco e as margens, para que a visada seja feita no instante desejado).

VAZÃO/VELOCIDADES

A vazão pode ser obtida de várias maneiras, dependendo das características do rio. Para pequenos córregos, a avaliação da vazão pode ser feita através de vertedouros, enquanto que, em grandes rios, a determinação é indireta,

através da medição da velocidade média. A forma mais simples de obter a velocidade de um rio é através de um objeto capaz de flutuar, medindo-se a velocidade que ele leva para percorrer determinada distância. Pode-se estimar que a velocidade superficial representa 80 % da velocidade máxima. Devem ser feitas avaliações em diferentes pontos da seção, para obter o valor médio da velocidade, com o que, conhecido o perfil da seção, é possível obter a vazão.

Em rios de montanha, sujeitos à correntezas, é utilizado um método químico para a determinação da vazão. Em determinado ponto do rio é lançado um produto químico, misturado á propria água do rio. É então recolhida uma amostra a jusante, onde é medida a nova concentração. Como é necessária uma determinada quantidade de água para chegar-se à nova concentração, e o tempo entre o lançamento e a coleta é conhecido, é possível obter a vazão.

3.2 NOÇÕES DE HIDROLOGIA

A Hidrologia é o estudo da água nos estados líquido, sólido e gasoso, da sua ocorrência, distribuição e circulação na natureza.

As águas existentes na terra encontram-se, na natureza, em uma das três situações: evaporando e indo para a atmosfera para voltarem como chuvas, infiltrando no solo para formar lençóis superficiais ou profundos, ou escoando superficialmente e indo para os rios (na realidade, parte da água infiltrada também segue para os rios). O conhecimento do "coeficiente de escoamento" (R, de "run-off"), que é a relação entre o volume de água que escoa superficialmente no limite inferior de uma bacia (V) e o total de água que se precipitou nesta mesma bacia (P), é fundamental para qualquer trabalho de hidráulica fluvial, seja: irrigação, aproveitamento energético, navegação, abastecimento ou obras de proteção contra inundações.

A distribuição das parcelas de água que se evaporam, escoam ou se infliltram, depende de alguns fatores fixos para cada bacia, tais como: a natureza do terreno (mais ou menos permeável), a cobertura vegetal que retarda o escoamento e favorece a infiltração, a existência de depressões retentoras de água, assim como declives mais ou menos acentuados. Depende também de fatores variáveis como: a umidade do ar; a freqüência, intensidade e direção dos ventos; e a distribuição das precipitações no tempo e no espaço.

Um valor médio para o coeficiente de escoamento foi obtido por John Murray, ao estudar 33 bacias significativas de diversas regiões da terra, tendo concluído que cerca de 22,2 % da água que se precipita, escoa pelos rios. O restante evapora, se infiltra, ou se perde em reações químicas de decomposição das rochas. Esse valor, no entanto, é muito variável, mesmo dentro de uma mesma bacia. A Tabela 3.1 mostra alguns valores de R, de acordo com as características específicas de cada superfície, considerando uma chuva com intensidade i = 45 mm/h.

TIPO DE SUPERFÍCIE	R
Telhados	0,70 a 0,95
Pavimentos	0,40 a 0,90
Vias e passeios de pedra	0,15 a 0,30
Áreas não pavimentadas, quintais e lotes vazios	0,10 a 0,30
Parques, jardins, gramados (dependendendo da declividade e do subsolo)	0,00 a 0,25

Tabela 3.1 - Valores de coeficientes de escoamento (R) para diferentes tipos de superfície.

PRECIPITAÇÃO

Precipitação atmosférica é o fenômeno pelo qual a nebulosidade atmosférica se transforma em água, formando o orvalho, a neve, o granizo e a chuva. Todas as formas de precipitação contribuem para a formação dos rios, mas as chuvas são as principais responsáveis por este processo.

As precipitações se formam a partir da ascenção de massas de ar, seja por convecção térmica, relevo ou ação frontal de outras massas, provocando um resfriamento que conduz ao ponto de saturação do ar, formando gotas que, ao atingirem um determinado peso, caem sob a forma de chuva.

A quantidade de chuva é medida em aparelhos pluviômetros ou pluviógrafos, sendo o segundo aparelho capaz de registrar as quantidades ao longo do tempo. O que se busca medir é a quantidade de água caída e acumulada em uma superfície plana e impermeável. A determinação da chuva caída em um período de tempo conhecido, fornecida pelos pluviógrafos, caracteriza a intensidade da chuva, que é um dado muito importante para o estudo das características de uma bacia.

INFILTRAÇÃO

A infiltração é o fenômeno da penetração da água nas camadas permeáveis do solo, que se processa por ação da gravidade, até atingir uma camada impermeável, quando se formam então os lençóis freáticos.

Se a água do lençol freático encontra uma fenda na primeira camada impermeável e desce até outra camada, também impermeável, forma-se um lençol artesiano (ou cativo). Esse tipo de lençol se encontra em um regime de escoamento forçado entre duas camadas impermeáveis, razão pela qual, quando é aberto um poço, a água aflora sem necessidade de bombeamento. Admite-se que o fenômeno da infiltração ocorra continuamente até uma profundidade máxima de 12 km abaixo da

superfície da terra, onde a pressão e a temperatura (cerca de 365 ^{o}C) correspondem às condições críticas de existência de água.

Embora a superfície livre dos lençóis acompanhe, de maneira geral, as ondulações da superfície dos terrenos, pode ocorrer destes lençóis aflorarem à superfície em alguma depressão ou vale. Desta forma, parte da água da chuva que havia se infiltrado no solo, retorna ao leito dos rios. Como a infiltração é decorrente da permeabilidade dos solos, pode ocorrer o fenômeno oposto, ou seja, ao invés do lençol contribuir para o rio, o rio pode infiltrar-se parcial, ou até mesmo totalmente, no terreno (os chamados rios sem foz).

É imprescindível o perfeito conhecimento do processo de infiltração da bacia a ser estudada, pois ele permite saber qual é a quantidade de água precipitada que irá de fato contribuir para os rios, seja através do escoamento superficial, seja retornando dos lençóis subterrâneos.

O fenômeno da evaporação não será aqui abordado, mais cabe mencionar que a sua avaliação é bastante imprecisa.

3.3 MORFOLOGIA FLUVIAL

O estudo da morfologia fluvial busca a explicação para a conformação dos cursos d'água que evoluem livremente na natureza. Nesse contexto, as águas da terra apresentam duas características diferentes. Na região das cabeceiras das bacias hidrográficas as águas não conseguem percorrer um leito definido, em virtude da declividade acentuada, descendo de forma aleatória, sendo chamadas ÁGUAS LIVRES. A medida que a declividade vai diminuindo, as águas perdem velocidade e passam a percorrer um caminho mais definido, seguindo os talvegues naturais, sendo denominadas ÁGUAS SUJEITAS.

As ÁGUAS LIVRES dependem das precipitações e apresentam um regime descontínuo, realizando intensa erosão e arrastando obstáculos que se interpõem no seu caminho. Estas águas violentas e temporárias, ocorrem em declividades acima de 2 $\%_{o}$ e constituem a parte superior de um curso d'água, sendo também chamadas de TORRENTES.

Os RIOS são, pelo contrário, as partes inferiores das bacias, onde correm as ÁGUAS SUJEITAS. Estas águas fluem em uma calha denominada ÁLVEO ou LEITO e são limitadas por MARGENS ou RIBAS, que, por sua vez, podem ser: PRAIAS, quando têm baixa declividade, ou RIBANCEIRAS, quando escarpadas. Os extremos das descargas dos rios se chamam CHEIAS (ou ENCHENTES) e VAZANTES (ou ESTIAGENS). O leito dos rios apresenta três limites para as seções: o LEITO MENOR, que é a seção de concentração de águas de estiagem, o LEITO MAIOR,

onde correm as águas de enchente, e o LEITO MÉDIO, que é a seção ocupada pelas "águas médias" do rio (Figura 3.1).

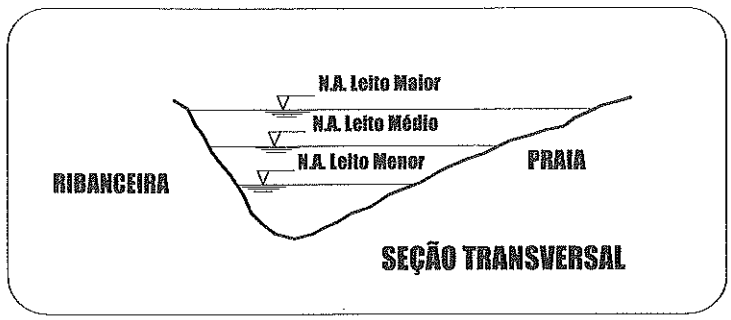


Figura 3.1 - Características da seção transversal de um rio.

Outro conceito importante é o de TALVEGUE (do alemão TALWEG - caminho do vale), que é o lugar geométrico dos pontos de maior profundidade ao longo de um rio. Nem sempre o talvegue coincide com o eixo do rio, ou seja, é equidistante das margens. O talvegue é, juridicamente, a linha divisória em Estados separados pelo rio.

Os rios podem ser ainda: ESTÁVEIS ou ERRANTES (ou DIVAGANTES). Nos rios ESTÁVEIS, a corrente de água não tem, praticamente, poder erosivo, pois a declividade é muito baixa (inferior a 1 $\%_0$). Entre 1 e $2\%_0$ de declividade, a água ainda consegue, em planícies de aluvião, moldar continuamente o solo, alterando a posição do leito, e formando os rios ERRANTES.

O trecho navegável do leito dos rios é chamado de CANAL, e pode variar, dependendo do calado das embarcações a serem utilizadas. Quanto ao regime, que é o modo de variação dos níveis, descargas e velocidades, e que depende principalmente da forma de alimentação dos rios, pode ser:

a) PLUVIAL - depende principalmente das precipitações;
b) NIVAL - depende do degelo em regiões montanhosas;
c) NIVO-PLUVIAL - é alimentado por precipitações e por degelo (como o rio Amazonas).

EVOLUÇÃO DOS CURSOS D'ÁGUA

Surel estudou as torrentes dos Alpes e, em 1938, enunciou as leis abaixo que, segundo seus estudos, regem a evolução dos cursos d'água:

1) A erosão natural dos cursos d'água é retrógrada, ou seja, ocorre de jusante para montante;
2) Os rios escavam o leito de forma que o perfil longitudinal tende para uma curva contínua, de concavidade voltada para o zênite, tangente na parte inferior a uma horizontal (Figura 3.2).

Como o destino final de todos os rios é o mar, um lago ou outro rio, este ponto é denominado PONTO FIXO (Surel) ou NÍVEL DE BASE (Morris Davis), a partir do qual o rio começa a modelar o seu leito.

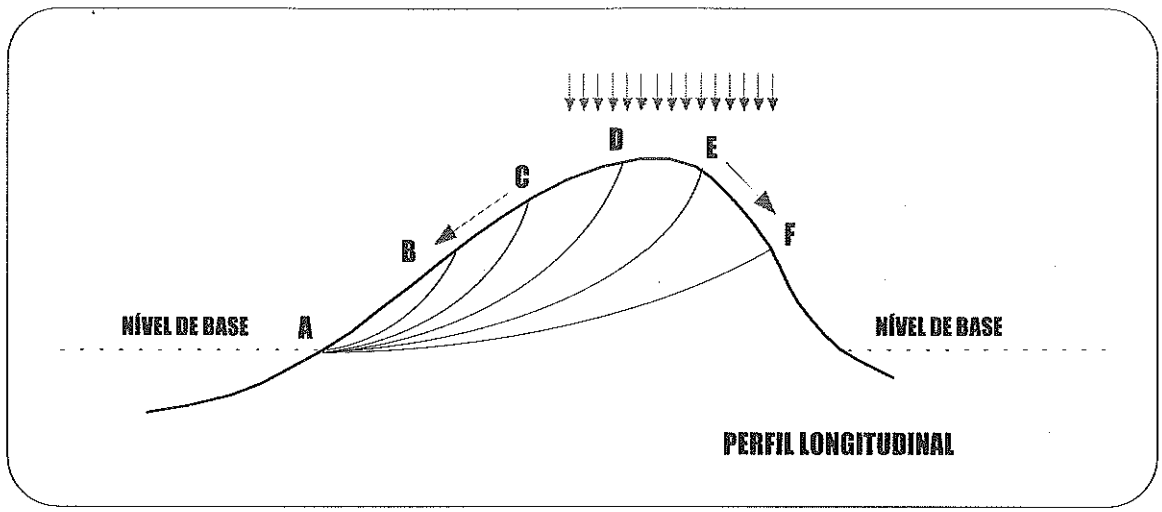


Figura 3.2 - Representação da evolução do perfil longitudinal de um rio, segundo Surel.

Este processo de construção do leito pode ultrapassar o ponto D, ou seja, alterar a posição do divisor de águas, invadindo a bacia oposta (fenômeno denominado MIGRAÇÃO DA LINHA DE PARTILHA). Desta forma, um rio pode passar a contribuir para outra bacia, ficando o seu leito original seco. Na América do Sul, este fenômeno ocorre na Cordilheira dos Andes, onde rios que originalmente drenavam para o Atlântico foram "capturados" por outros rios que seguem para o Pacífico.

Um aspecto que pode questionar a segunda lei de Surel, é a existência de quedas d'água. Este fenômeno, no entanto, ocorre simplesmente porque no talvegue encontram-se alguns veios de rocha mais resistente, que só retardam o processo de evolução do rio, impedindo que se forme uma curva contínua desde o início da existência do curso d'água. Com o tempo, a queda d'água acaba desaparecendo, e o rio atinge um perfil de equilíbrio.

Ao contrário do que pode parecer a primeira vista, os rios não são elementos estáveis da crosta terrestre. William Morris Davis, geógrafo americano, comparou o ciclo vital dos rios ao dos animais, dividindo-o em quatro fases:

a) MOCIDADE - Nesta fase as águas escavam desordenadamente o terreno, em um regime de torrentes, buscando estabelecer um talvegue definitivo;
b) MATURIDADE - Aqui já existe um talvegue definido, e o rio trabalha seu leito para alcançar um perfil de equilíbrio;
c) VELHICE - Com o perfil já estabilizado, começam a ocorrer acúmulos de matéria sólida oriundos de afluentes, que formam várzeas de

sedimentação e reduzem a declividade do rio, fazendo com que o traçado original seja alterado nos trechos de jusante.

d) MORTE - Ocorre quando a posição do divisor de águas se altera, com a migração da linha de partilha, e a mudança da bacia para qual o rio concorre.

O material sólido que é trazido pela água vai depositar-se nas partes mais baixas dos rios (ou antes de um gargalo), nos chamados CONES DE DETEÇÃO, formando grandes PLANÍCIES DE SEDIMENTAÇÃO. Nessas planícies, a baixa velocidade da corrente e as características do solo fazem com que o leito do rio altere a sua posição em face de qualquer obstáculo, formando inúmeras curvas, denominadas MEANDROS (Figura 3.3).

A erosão provocada pelas águas tende a deslocar os meandros, alargando continuamente estas alças dos rios (como em E_1, na Figura a seguir). Outro fenômeno comum nesta áreas é, em épocas de cheia, a água alterar o seu curso, procurando caminhos mais curtos e com maior declividade (A-C, por exemplo). O meandro anterior acaba por se tornar uma lagoa, chamada de SACADO ou TIPISCA.

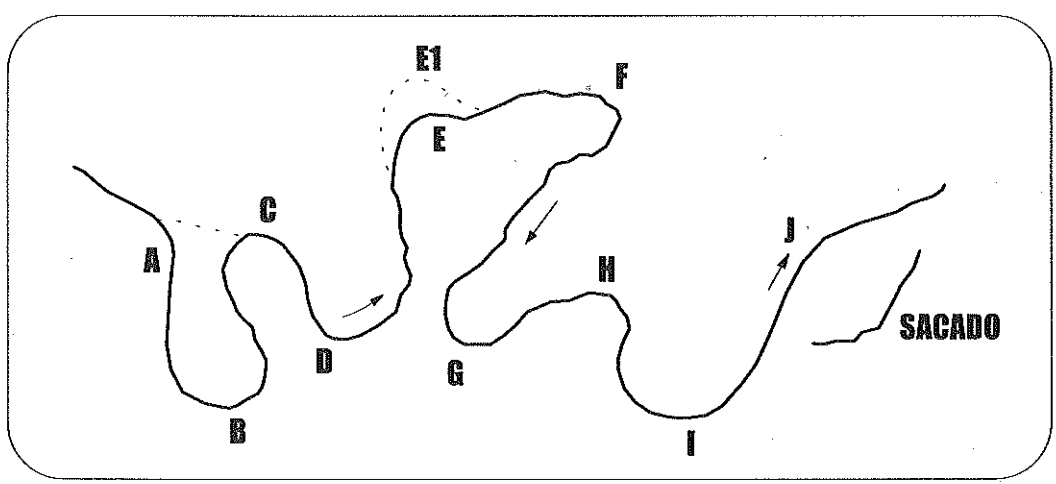


Figura 3.3 - Vista em planta de um rio meândrico.

Se considerada a influência destes rios sinuosos para a navegação, é possível identificar aí alguns problemas. A princípio, estas curvas representam um acréscimo na distância total a ser percorrida, além de uma maior dificuldade à navegação. A solução para estes problemas seria a retificação dos meandros, o que, no entanto, requer inúmeros cuidados para a sua realização. Se o trecho a ser retificado fosse o trecho A-F, por exemplo, e se a distância atual fosse de 300 metros, a retificação poderia reduzir esta distância, talvez para 100 metros. Como as cotas dos pontos A e F permaneceriam as mesmas, isto significa que a declividade iria aumentar. Se o rio já apresentava um perfil de equilíbrio com a declividade anterior, a busca de um novo perfil vai provocar um processo de erosão, capaz de escavar fundações de pontes e deixar portos acima da linha d'água, a montante. Além disso, ocorreria um assoreamento exagerado a jusante, em busca de um novo perfil de equilíbrio.

A forma do leito de um curso d'água é determinada pela erosão. O processo de erosão pode começar no fundo do rio, a partir do momento em que a força erosiva ultrapassa a resistência de um determinado ponto do fundo, o que concentra uma parte ainda maior da corrente neste ponto, aumentando o desgaste da seção. Com a nova seção que surge, os filetes d'água deixam de estar paralelos entre si e às margens, passando a incidir com um certo ângulo sobre uma das margens, que passa a ser também erodida. Os filetes da água que se chocam com uma das margens, "refletem" e tendem a dirigir-se para a outra margem, provocando nova erosão e repetindo o processo. Isto acaba por fazer com que os rios moldem inúmeras curvas, até que adquiram o perfil de equilíbrio.

A formação de bancos nas curvas pode gerar dois tipos de situações, conforme mostra a Figura 3.4. Por outro lado, se o rio não for suficientemente largo para que os sedimentos atravessem a corrente e cheguem à margem oposta, formar-se-ão bancos no meio do canal.

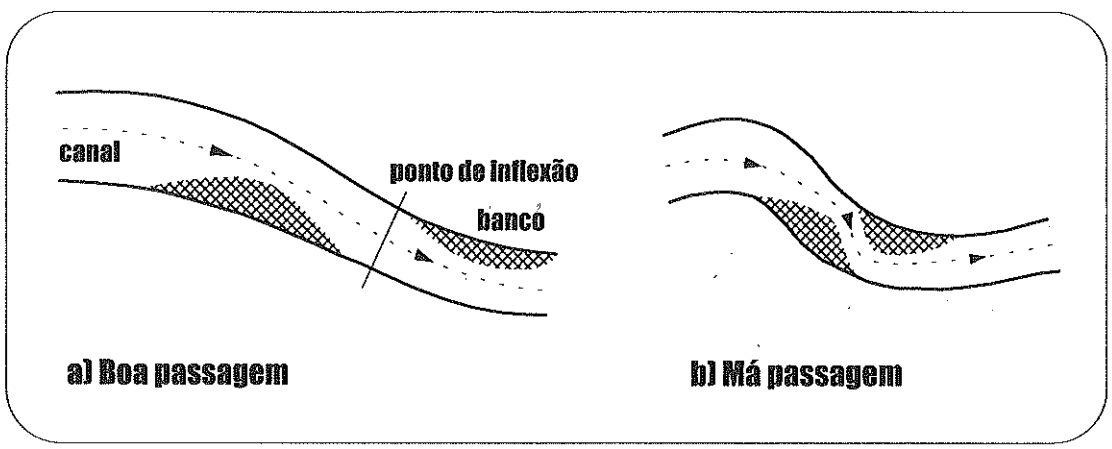


Figura 3.4 - Vista em planta de bancos nas curvas de rios.

No caso **a**, o canal de navegação permite uma passagem no sentido da corrente, considerada propícia a navegação. No caso **b**, a passagem pelo canal passa a ser transversal à corrente e, portanto, imprópria a navegação. A regularização dos cursos d'água tem, na transformação das passagens más em boas, um dos seus pontos importantes.

H. Girardon, engenheiro francês, conseguiu reunir os princípios gerais que regem a formação dos cursos d'água, e que permitem que as obras de melhoramentos apenas induzam o comportamento natural do rio, ao invés de contrapor-se ao mesmo:

1) A forma de todos os cursos d'água é sinuosa em planta, com curvas se alternando em ambos os lados, unidas por concordâncias ligeiramente abruptas;
2) O perfil transversal não apresenta profundidades uniformes, sendo mais profundo onde o leito apresenta menor resistência ao

arrastamento. Os obstáculos, bancos e curvas côncavas aumentam as profundidades;

3) O perfil longitudinal do talvegue não apresenta um declive uniforme, nem tampouco contínuo, mas variações, em função do tipo de solo que encontra. De uma maneira geral, os declives e aclives oscilam em torno de uma linha de declive médio da região.
4) O leito é constituído de uma série de fossas, separadas por bancos, formando inúmeros patamares;
5) Cada cheia renova os materiais que revestem o leito, modificando a forma do curso d'água. A nova forma, no entanto, se assemelha bastante à anterior quanto à disposição geral, sinuosidade das margens e perfil do talvegue.

Fargue, também engenheiro francês, conseguiu estabelecer algumas correlações entre os acidentes em planta e perfil. Concluiu ele que as profundidades variam ao longo do rio, segundo uma lei periódica geral, crescendo a partir de um ponto de menor profundidade (BANCO, BAIXO ou RASO) até um ponto de máxima profundidade (FOSSA, POÇO, PERAU ou CALDEIRÃO), para baixar novamente no banco a seguir.

Para estudar esta correlação foi idealizado um diagrama que registrava cada ponto, de acordo com sua distância e origem, sua cota de fundo e a curvatura quilométrica, ou seja, o inverso do raio de curvatura (do ponto considerado), em quilômetros. O rio foi estudado a partir de uma divisão do trecho em análise em várias seções, compreendidas entre os pontos de inflexão, ou seja, os pontos médios dos trechos retos (na Figura 3.5, os pontos 1,3,5 e 7).

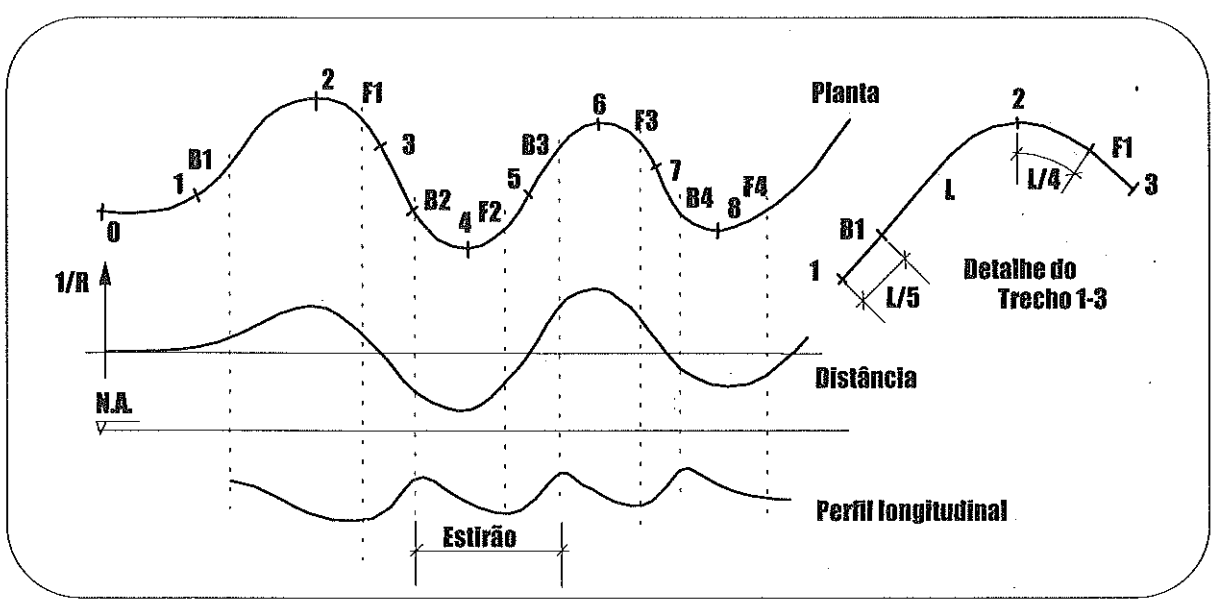


Figura 3.5 - Características gerais de um rio, segundo estudo realizado por Fargue.

A análise do diagrama mostra que, sendo L o comprimento da curva considerada, os bancos se formam a L/5 a jusante do ponto de inflexão, e as fossas a

L/4 a jusante do vértice da curva (na Figura 3.5, os pontos 2,4,6 e 8). A comparação dos valores estudados por Fargue (17 pontos) permitiu obter uma relação numérica entre as grandezas:

$$C = 0{,}03.H^3 - 0{,}23.H^2 + 0{,}78.H - 0{,}76$$

Onde:
C = curvatura quilométrica (inverso do raio de curvatura);
H = profundidade máxima da fossa (em metros).

Ao comparar o desenvolvimento das curvas com os estirões (trechos entre dois bancos consecutivos), verificou ainda que a maior profundidade do estirão não corresponde (considerado um único raio), nem ao grande desenvolvimento, nem ao pequeno, mas a um valor médio, ótimo para cada rio, o que veio a se tornar uma de suas leis.

As conclusões obtidas permitiram a formulação de seis leis, de caráter geral, e de base empírica:

1) LEI DOS AFASTAMENTOS - As profundidades máximas e mínimas correspondem aos vértices e inflexões, respectivamente, ligeiramente deslocadas para jusante (Figura 3.5);
2) LEI DAS FOSSAS (ou da maior profundidade) - A profundidade de uma fossa é tanto maior, quanto maior a curvatura dos vértices correspondentes (Figura 3.6). A existência de zonas muito profundas implica em profundidades muito pequenas, próximas dos pontos de inflexão. Assim, o trabalho de regularização de canais deve buscar uma homogeneidade das profundidades, para tentar obter a profundidade média máxima.

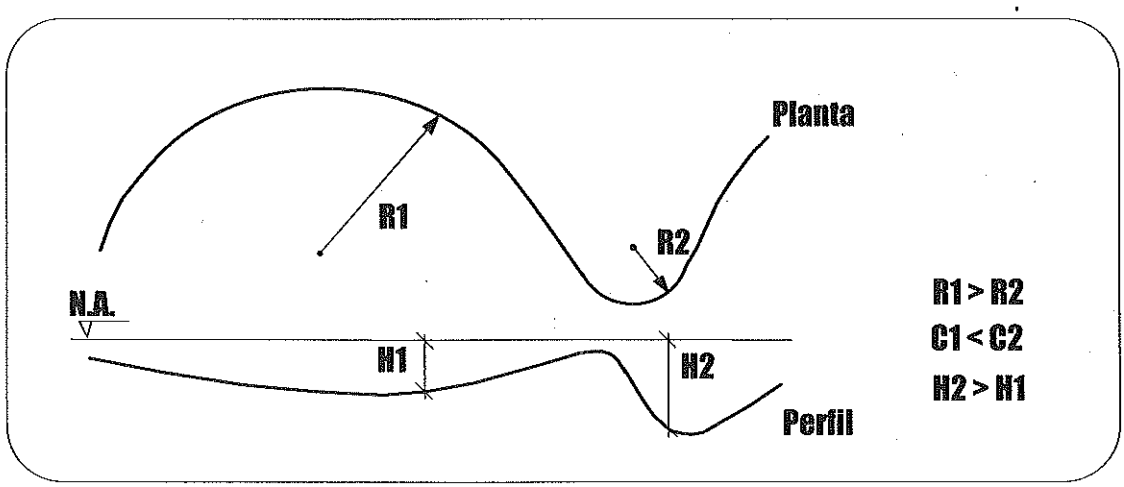


Figura 3.6 - Lei das fossas, de Fargue.

3) LEI DOS DESENVOLVIMENTOS - Para que as profundidades máxima e média sejam as maiores possíveis, o desenvolvimento das curvas deve ter um valor médio entre as curvaturas, específicas para cada rio.

4) LEI DOS ÂNGULOS - Para desenvolvimentos iguais de curvas, a profundidade média é tanto maior, quanto maior o ângulo externo formado pelas tangentes (Figura 3.7).

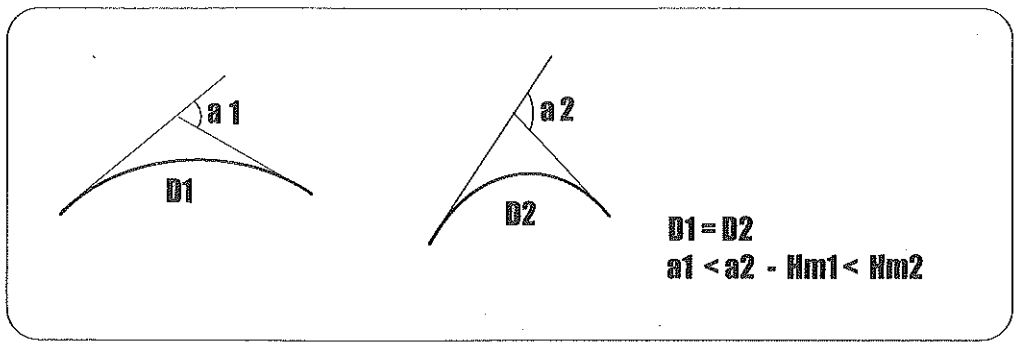


Figura 3.7 - Lei dos ângulos, de Fargue.

5) LEI DA CONTINUIDADE - Toda a mudança brusca de curvatura produz uma redução brusca de profundidade. O perfil de fundo de um curso não é regular, senão quando a curvatura varia de maneira contínua.

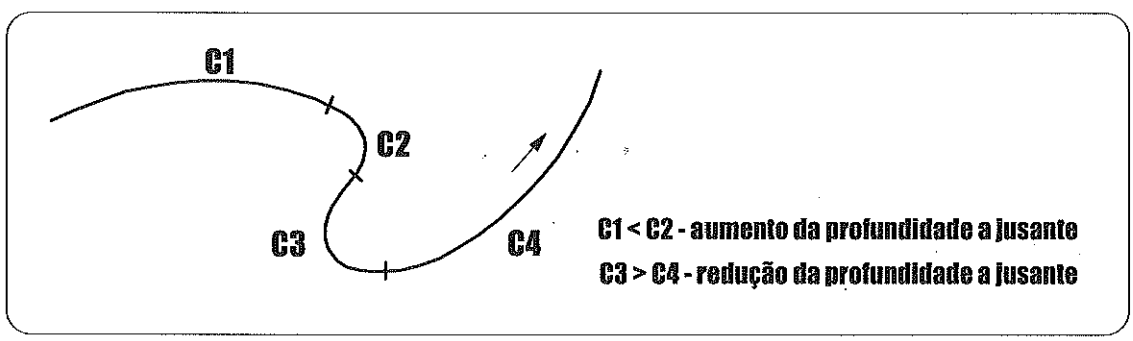


Figura 3.8 - Lei da continuidade, de Fargue.

6) LEI DA INCLINAÇÃO DOS FUNDOS - Se a curvatura varia de maneira contínua, a inclinação da tangente à curva das curvaturas (inverso do raio) determina, em qualquer ponto, a declividade do fundo.

Esta última lei mostra que a concordância de trechos retos com raios de curvatura constante, não se aplica a projetos de regularização de cursos d'água, pois a descontinuidade da curvatura ocasiona mudanças bruscas do perfil de fundo e a formação de bancos. Analisando o exemplo da Figura 3.9 (parte A), em que os trechos retos AB e CD não concordam com o arco BOC, é possível verificar que a curvatura nos trechos retos é igual a zero, e no trecho de arco, é constante e igual a 1/R. Segundo Fargue, este arranjo provoca enorme descontinuidade nas declividades do fundo, com inúmeras variações do perfil.

O traçado ideal seria aquele em que o rio não teria trechos retos, sendo então uma seqüência de curvas e contra-curvas com curvatura igual a zero no ponto de inflexão, crescendo continuamente até atingir o valor máximo no vértice da curva. O exemplo B ilustra o caso em que o perfil do fundo seria constituído de rampas contínuas, unindo o topo dos bancos ao fundo das fossas (nesse caso, a declividade do

perfil do fundo, que é definida pela inclinação da tangente à curva de curvaturas, é constante). Para esta situação, a curva usada por Fargue para definir o traçado em planta foi uma "espiral voluta".

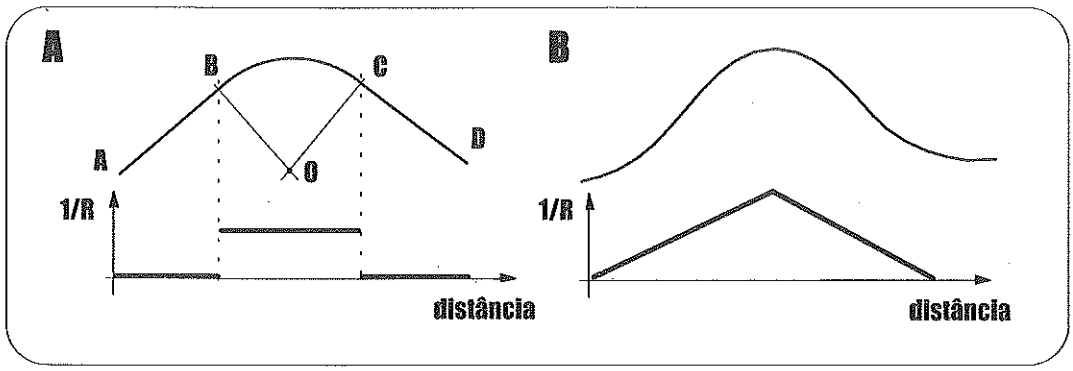


Figura 3.9 - Implicações, sobre o perfil longitudinal, de diferentes traçados em planta.

Fargue estabeleceu ainda algumas regras complementares, que devem ser seguidas para a elaboração de um projeto:

1) O afastamento das margens artificiais deve variar com a curvatura, do seguinte modo (Figura 3.10):
   A. Entre dois pontos de inflexão consecutivos, a largura deve crescer junto com a curvatura, com o valor máximo no vértice da curva;
   B. As larguras dos pontos de inflexão sucessivos crescem de montante para jusante.

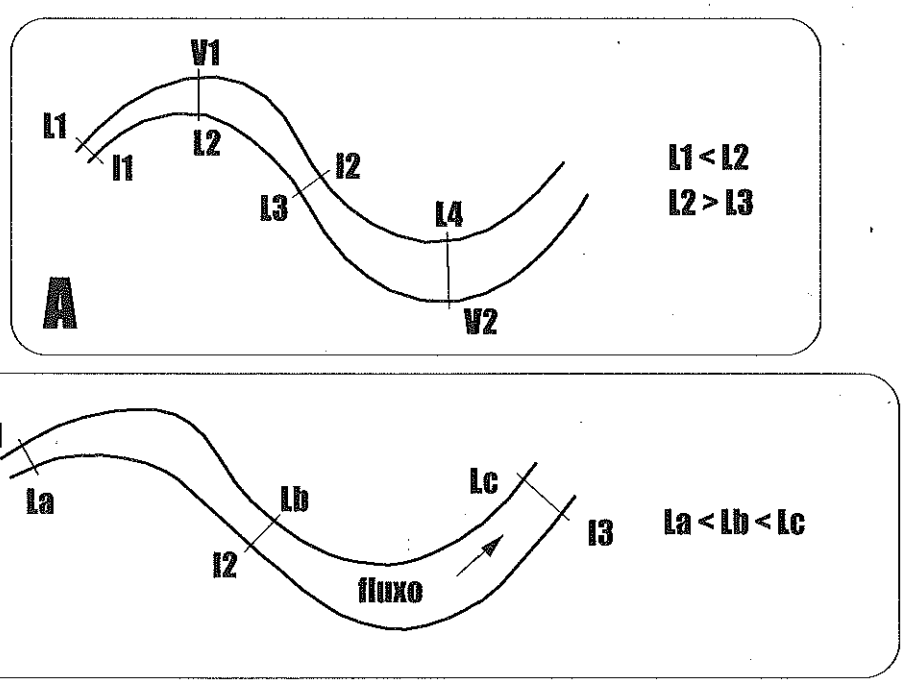


Figura 3.10 - Primeira regra complementar de Fargue.

2) As margens côncavas devem ter um desenvolvimento notavelmente superior ao das margens convexas (Figura 3.11).

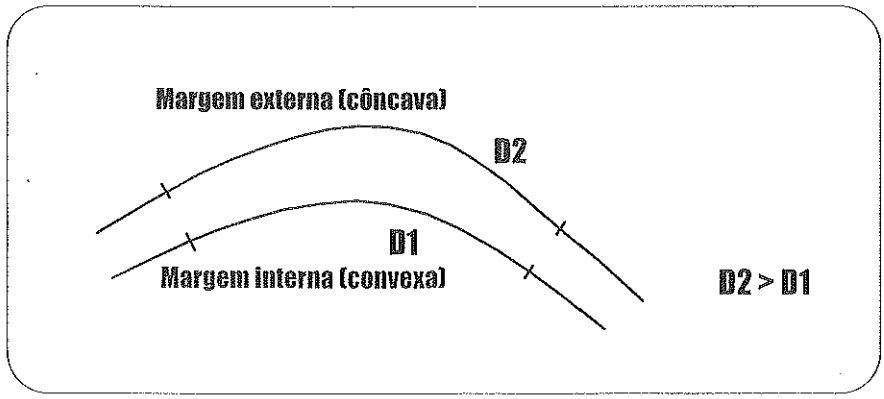


Figura 3.11 - Segunda regra complementar de Fargue.

A observação do rio (principalmente das seções estabilizadas, onde existem condições favoráveis à navegação) em que se pretende realizar obras de melhoramento, é fundamental para a obtenção dos elementos necessários ao projeto, identificando as características próprias do curso d'água em questão.

3.4 DIMENSÕES DESEJÁVEIS PARA OS CANAIS DE NAVEGAÇÃO

As dimensões das embarcações que serão utilizadas em uma determinada região são definidas, a princípio, segundo critérios econômicos. No entanto, as seguintes características do canal navegável devem ser observadas:

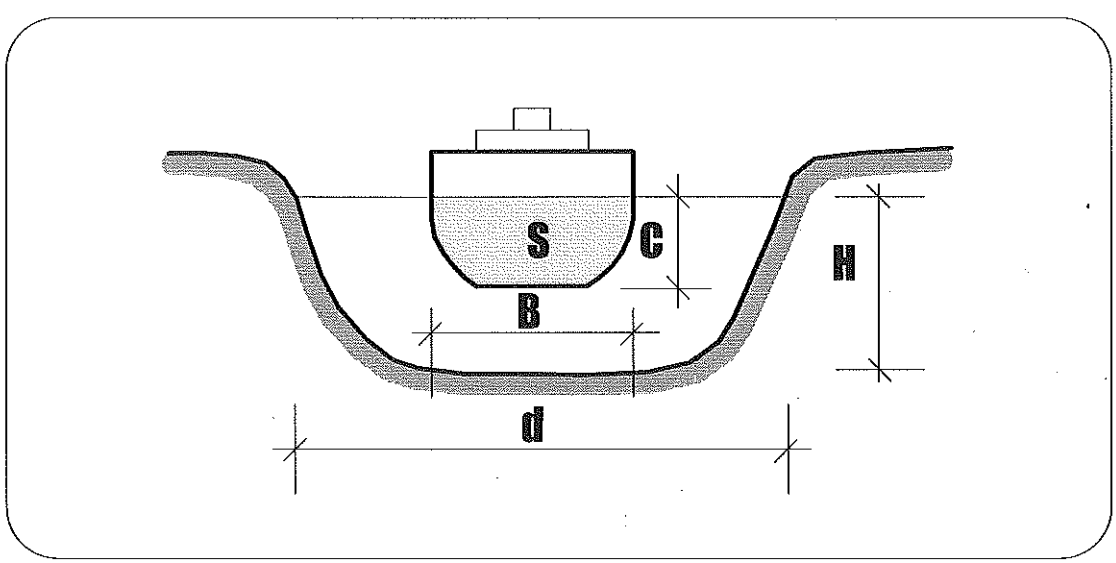


Figura 3.12 - Algumas dimensões que devem ser observadas ao se definir uma hidrovia.

- PROFUNDIDADE

  $h_{min} = C + 0,5$ metros

  $h_{desejável} = 1,5.C$

- LARGURA

$d_{min} = 4.B$
$d_{desejável} = 10.B$

- ÁREA DA SEÇÃO MOLHADA (SEÇÃO DO CANAL)
  $A_{min} = 6.S$
  $A_{desejável} = 15.S$

- RAIO DE CURVATURA (EM FUNÇÃO DO COMPRIMENTO DA EMBARCAÇÃO - L)
  $R_{min} = 10.L$
  Raios menores podem ser admitidos, desde que a largura seja acrescida de uma superlargura (s), igual a:

$$s = \frac{L^2}{2.R}$$

3.5 MELHORAMENTOS DOS CURSOS D'ÁGUA PARA NAVEGAÇÃO

Para que os cursos d'água apresentem condições de navegação adequadas, é preciso que algumas obras sejam realizadas, com o objetivo de corrigir processos naturais que dificultam a utilização plena destes rios. Os problemas mais comuns que se apresentam são:

- Ocorrência de obstáculos (naturais ou acidentais);
- Desbarrancamentos;
- Irregularidade das vazões;
- Instabilidade do canal (o talvegue pode se alterar após uma enchente, fazendo com que as embarcações encalhem ao tentar percorrer o antigo canal);
- Pluralidade de canais (a energia do rio é melhor aproveitada se atuar somente sobre um talvegue);
- Corredeiras e quedas.

De uma maneira geral, as soluções para estes problemas se concentram em três tipos de obras:

- MELHORAMENTOS GERAIS OU NORMALIZAÇÃO;
- REGULARIZAÇÃO;
- CANALIZAÇÃO.

3.5.1 Melhoramentos Gerais ou Normalização

Estas obras são as mais baratas, bem como as mais simples, exatamente por isso necessitam de grande manutenção, apresentando menor vida útil. São realizadas pelo homem, que não se utiliza, para isso, da energia natural do rio. Algumas destas obras são:

LIMITAÇÃO DO LEITO DE INUNDAÇÃO

Tem por objetivo a limitação exata do leito do rio, protegendo os terrenos ribeirinhos através de barragens longitudinais, localizadas no leito maior. As obras que limitam os leitos dos rios podem ser DIQUES ou MUROS. Os DIQUES são barragens de terra ou enrocamento, geralmente de gravidade, e por isso mesmo não necessitam de ferragens, enquanto que os MUROS são estruturas esbeltas, em geral de concreto armado. Estas barragens limitam as águas nas cheias, prevenindo as inundações (Figura 3.13).

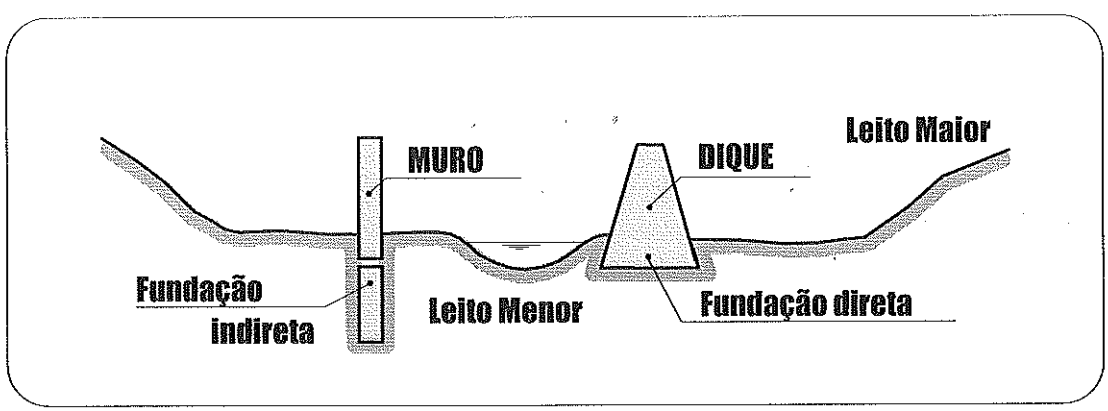


Figura 3.13 - Seção transversal de um rio em que aparecem dois tipos de obras para limitação do leito de inundação.

Os diques devem ser costruídos com materiais de características impermeáveis, podendo ser de solo local ou gabiões, com um núcleo impermeável (argila). O coroamento de um dique deve ter largura maior que 5 metros, de forma a ser utilizado como estrada, sendo os taludes protegidos com vegetação (grama). Os muros podem ser de concreto armado, alvenaria de pedra rejuntada com argamassa e toras de madeira.

REMOÇÃO DE OBSTÁCULOS

Estas obras se constituem simplesmente na retirada de material sólido do leito do rio, podendo ser um obstáculo ocasional (árvore, pedra, etc.), rochas permanentes, ou os sedimentos que se depositam no fundo do canal, trazidos pela corrente. O processo de retirada, transporte e deposição dos sedimentos do fundo do canal constitui a DRAGAGEM, que pode ser efetuada com equipamentos mecânicos ou hidráulicos.

As dragagens normalmente exercem pouca influência no regime hidráulico dos rios, exceto quando ocorrem algumas erosões localizadas. Mesmo assim, é comum ocorrer uma sedimentação do canal dragado, em virtude de ser praticamente impossível coincidir o novo canal com a posição determinada pelas correntes existentes.

O material dragado pode ser removido do leito ou deixado no mesmo, seja em local que não influencie o canal dragado, seja em posições estratégicas para orientar os filetes d'água, favorecendo o escoamento (prática muito perigosa se não for bem executada, pois o material pode voltar a obstruir o canal). A profundidade a ser obtida deve ser estabelecida de forma a permitir a navegação na época da estiagem.

Os equipamentos de dragagem podem ser mecânicos ou hidráulicos, sendo os primeiros, contínuos (ALCATRUZES) ou descontínuos (COLHER, CONCHA ou PÁ-DE-ARRASTO). As ALCATRUZES (Figura 3.14) são equipamentos capazes de remover continuamente os sedimentos do fundo dos rios, dependendo a sua capacidade, do comprimento da elinda, da velocidade da lagarta e do ângulo α.

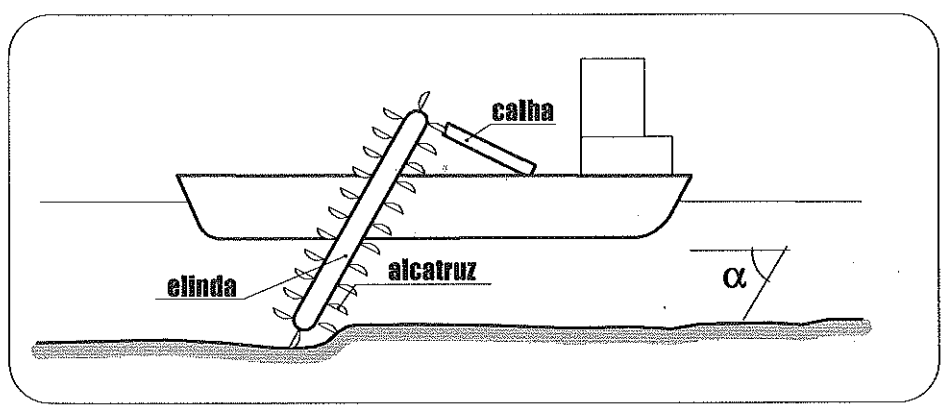


Figura 3.14 - Draga de alcatruzes.

Os equipamentos descontínuos (Figura 3.15), a saber, COLHER (*SHOVEL*), CONCHA (*CLAMSHELL*) e PÁ-DE-ARRASTO (*DRAG-LINE*), apresentam baixo rendimento em relação ao seu custo, e somente são empregados em casos especiais.

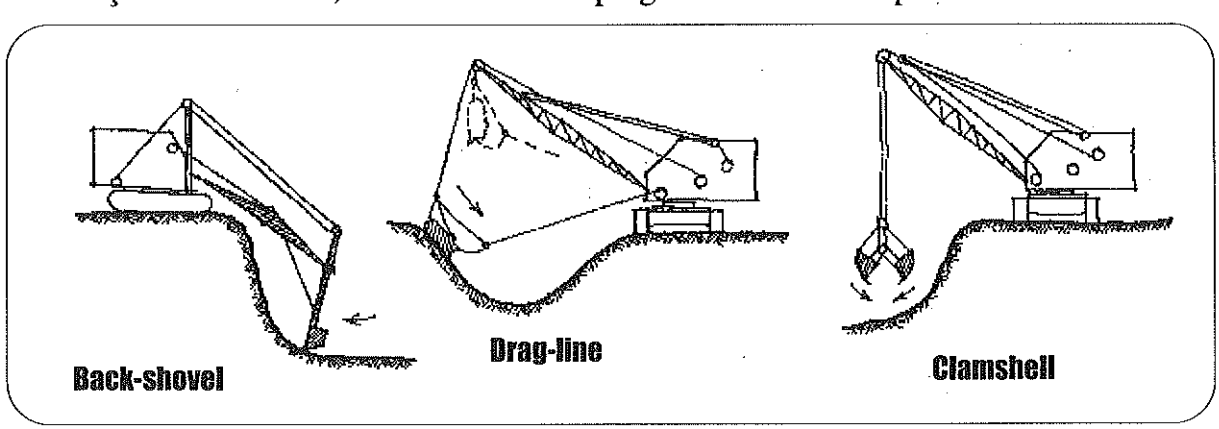


Figura 3.15 - Equipamentos de dragagem descontínuos.

Quanto aos equipamentos hidráulicos, que são as dragas de sucção, podem ser: SIMPLES, com DESAGREGADOR GIRATÓRIO ou com PÁ DE SUCÇÃO. No primeiro caso, o arrancamento das partículas é provocado somente pela força erosiva da corrente e pela sucção da boca do equipamento. O DESAGREGADOR GIRATÓRIO, por ser uma espécie de broca, aumenta a força de arrancamento, ao permitir a sucção do solo já desagregado. A PÁ DE SUCÇÃO provoca a suspensão das partículas do fundo através de jatos d'água que são lançados contra o leito. Em todos os equipamentos hidráulicos, a água é succionada junto com o material sólido e despejada de uma das seguintes maneiras: em depósitos nas próprias dragas (autotransportadoras), em batelões, lançada fora do canal (na própria corrente) ou recalcada por tubulação (mais comum).

Quando ocorrem materiais rochosos submersos, a simples dragagem não pode ser utilizada. É realizado então um processo de DERROCAMENTO FLUVIAL, que consiste no desmonte da rocha, retirada, transporte e deposição do material desagregado. A derrocagem pode ser feita por explosivos ou por percussão, sendo este segundo tipo realizado pela queda livre de uma haste de derrocagem, ou através de marteletes pneumáticos.

PROTEÇÃO DAS MARGENS

Tem por objetivo a fixação do canal navegável, a redução do transporte de sólidos, a obtenção de equilíbrio da seção transversal e a proteção de terrenos ribeirinhos.

O desgaste das margens pode ser provocado pelo arrancamento (oriundo da erosão), pelo escorregamento da ribanceira (provocado por erosão no pé das margens ou pelo escoamento das águas de infiltração), pela ação das ondas (provocadas pelo vento ou embarcações), além de outros fatores.

As obras de proteção podem ser:

a) DIRETAS OU CONTÍNUAS - São realizadas diretamente sobre as margens, em extensões consideráveis, e sem interrupção. Podem ser:

- Taludamento em ângulo conveniente;
- Revestimento simples - utilização de material mais resistente (como pedras, pedregulhos, etc), plantação de grama e revestimentos asfálticos;
- Proteção com enrocamentos, alvenaria de pedra e cortinas contínuas (estacas prancha e paredes diafragma).

B) INDIRETAS OU DESCONTÍNUAS - São obras localizadas, feitas a curta distância das margens, que tem por objetivo desviar o curso d'água e provocar a deposição do material sólido transportado pela corrente. Podem ser:

• Espigões isolados - Procuram afastar os filetes de água das margens, sendo usados apenas em casos especiais (pontes, etc), pois provocam erosão nas margens a jusante (podendo surgir daí novos meandros) (Figura 3.16).

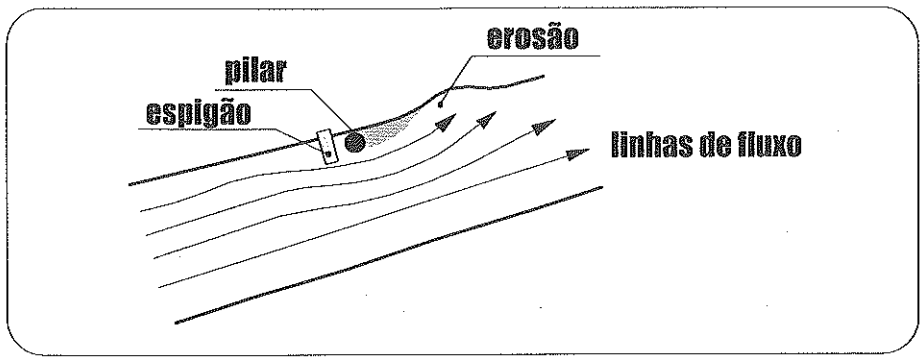


Figura 3.16 - Vista em planta de um espigão isolado e seu efeito na margem a jusante.

• Espigões de Repulsão - São vários espigões impermeáveis, distantes entre si de uma distância igual ao seu comprimento, em cujo intervalo permanece um colchão líquido estático, que separa a margem da corrente fluvial (Figura 3.17). É um processo caro, que procura miniminizar os efeitos da erosão a jusante, podendo ser até mesmo mais caro que uma proteção contínua.

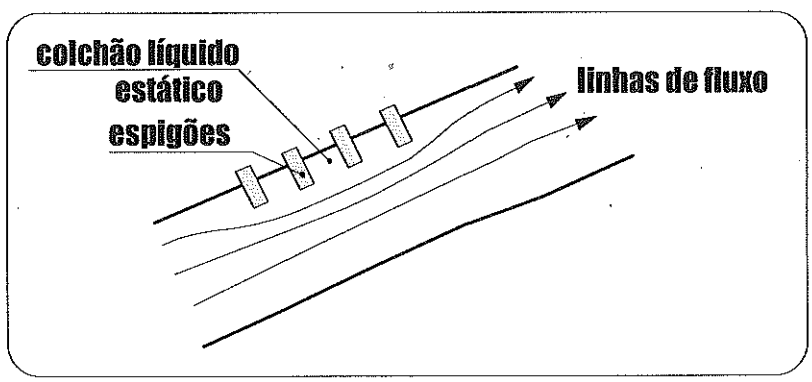


Figura 3.17 - Vista em planta de um trecho de rio com espigões de repulsão.

• Espigões de Sedimentação - São permeáveis, devendo proteger o pé da margem, razão pela qual permanecem abaixo do nível da água. Com isso reduzem os turbilhões e provocam um depósito de material sólido junto à margem, através da diminuição da velocidade da corrente naquele ponto. São utilizados em rios com grande transporte de material sólido.

FECHAMENTO DE BRAÇOS SECUNDÁRIOS

Em regiões onde ocorre a formação de ilhas no meio do rio, pode ser interessante fechar os braços secundários, de forma a promover um aprofundamento do canal principal (Figura 3.18). O aumento de vazão no canal principal pode, no entanto, provocar problemas de deposição dos materiais sólidos transportados, a jusante.

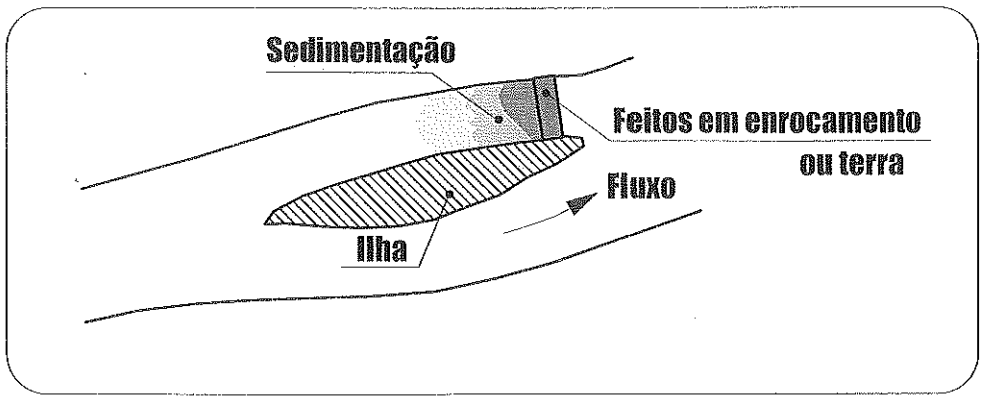


Figura 3.18 - Vista em planta de um rio onde foi realizado fechamento de um canal secundário.

RETIFICAÇÃO DE MEANDROS

Os meandros podem provocar alongamentos consideráveis na distância entre dois pontos de um curso d'água, podendo este acréscimo chegar a mais de 100 % do traçado em linha reta.

Apesar de reduzir o percurso para a navegação, a retificação de meandros pode ocasionar alguns problemas, como já foi visto (página 3.8). Para evitar que o rio consiga refazer o meandro (que é a sua tendência natural para obter o perfil de equilíbrio), a embocadura do novo canal deve estar situada próxima do vértice da curva, onde a erosão está mais avançada e o transporte de sedimentos é pequeno, o que evita a deposição de matéria sólida no novo trecho.

O novo canal pode ser totalmente aberto através de dragagem, ou a seco, preservando-se as extremidades como ensecadeiras até a abertura definitiva. Um outro processo muito usado, por ser mais simples e econômico, é a abertura de um canal piloto, que vai sendo alargado aos poucos pela própria ação do rio. Neste caso, é preciso controlar a abertura do novo canal e o assoreamento do meandro, de forma que a quantidade de matéria sólida carregada pela corrente não sofra muita alteração.

3.5.2 Regularização

Se as obras de normalização são insuficientes para melhorar as condições de navegabilidade, são necessárias obras de regularização. Estas obras utilizam a energia do próprio rio para promover as alterações necessárias, sendo que o homem apenas induz o processo. Normalmente os custos destas intervenções são bastante elevados, mas os resultados são permanentes, exigindo pequena manutenção.

Nos rios de fundo móvel, três processos podem ser executados, isoladamente ou em conjunto. Um dos processos é a regularização por SIMPLES CONTRAÇÃO, ou seja, a largura da seção é reduzida, de forma a provocar um aprofundamento, tal como demonstrado na Figura 3.19.

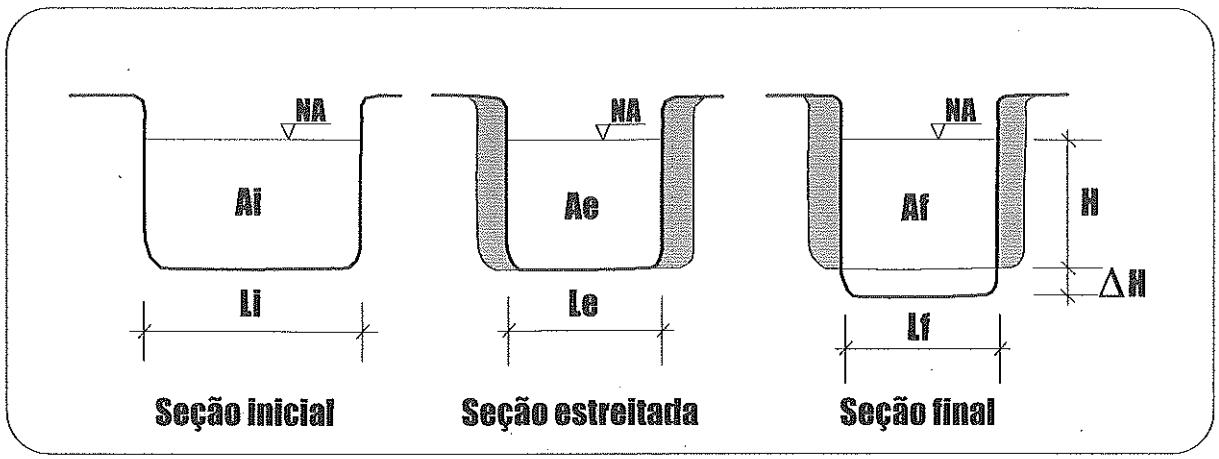


Figura 3.19 - Processo de regularização de um rio por simples contração da seção transversal.

O método de Girardon ou de CONSERVAÇÃO DE SOLEIRAS interfere na planta, nos perfis transversais e no perfil longitudinal, eliminando as más passagens. A utilização correta de DIQUES e ESPIGÕES permite transições suaves entre as seções assimétricas das curvas e as seções trapezoidais dos pontos de inflexão (Figura 3.20). É importante que as leis de Fargue sejam observadas e que haja uma variação contínua da curvatura das margens no traçado em planta.

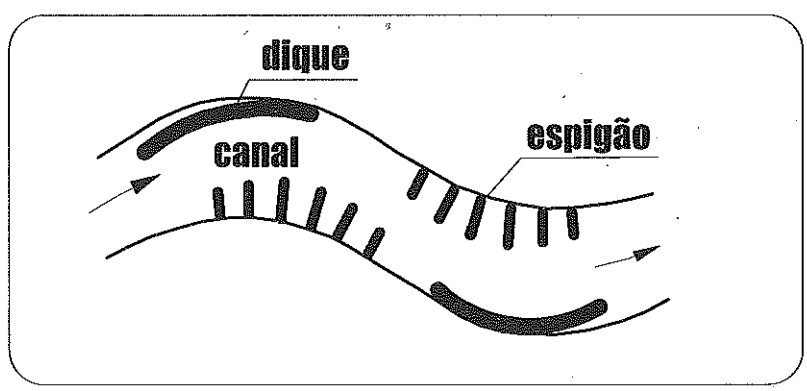


Figura 3.20 - Trecho em planta de um rio onde é utilizado o método de Girardon para a sua regularização.

Os espigões, diques e soleiras de fundo são importantes instrumentos para definir as condições desejadas para o canal. Os espigões podem ser perpendiculares às margens, ou ligeiramente inclinados para jusante ou para montante. Já os diques são obras longitudinais e podem ser reforçados por espigões colocados entre os mesmos e as margens. De maneira geral, os espigões são obras mais baratas, além de poderem ser aumentados facilmente. Por outro lado, representam um constante perigo para a navegação e exigem cuidados permanentes de fiscalização e manutenção.

É comum a construção de um prolongamento dos espigões e diques, formando soleiras de fundo, que tem por objetivo fornecer uma proteção ao pé das margens. Estas soleiras podem reduzir ainda a erosão das fossas, não permitindo assim o aumento dos bancos.

A regularização pode ser feita também pelo método das CORRENTES HELICOIDAIS, que é relativamente recente. Este método baseia-se no grande poder erosivo de uma corrente helicoidal, ou seja, a corrente formada pela composição de filetes d'água desviados por painéis e filetes não desviados. Estes painéis podem ser flutuantes ou de fundo. Os painéis de superfície são utilizados nas cheias, de forma a escavar o canal que virá a ser usado para navegação nas estiagens (Figura 3.21). É, no entanto, uma obra temporária, pois o canal tende a se assorear novamente, uma vez retirados os painéis.

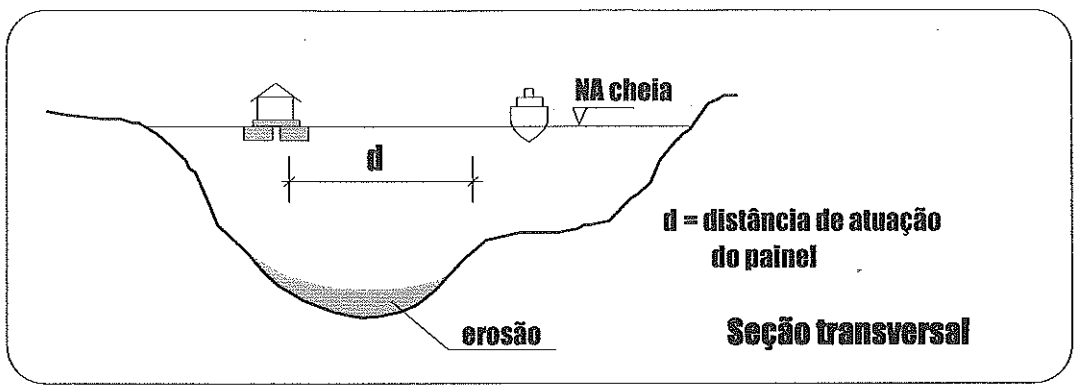


Figura 3.21 - Método das correntes helicoidais para regularização de rios.

3.5.3 Canalização

Transforma o rio em uma série de patamares, por meio de barragens, cujos desníveis são vencidos por obras de transposição, criando condições para a navegação em toda a extensão do curso d'água (Figura 3.22).

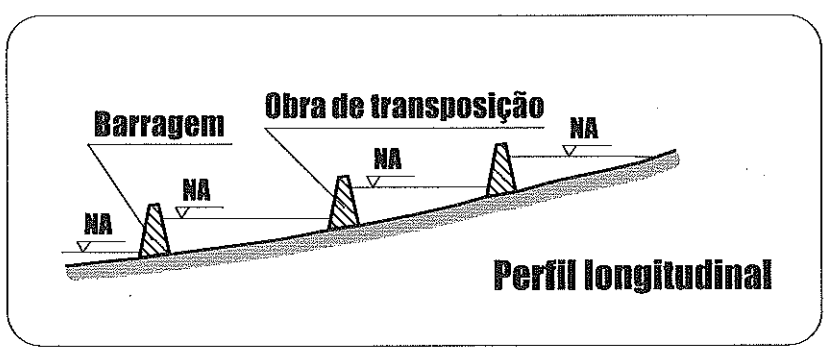


Figura 3.22 - Processo de canalização de um rio.

A canalização apresenta inúmeras vantagens: pode ser executada em qualquer rio; as profundidades aumentam, permitindo maiores calados; menor velocidade das águas, reduzindo os tempos de viagem; menor percurso pela retificação por recobrimento; possibilidade de controle da vazão na estiagem; facilidade para construção de portos; aproveitamento hidrelétrico, irrigação e outros.

Algumas desvantagens podem ser observadas, tais como: o alto custo das obras; a inundação de áreas ribeirinhas; a limitação do tráfego nas obras de

transposição de desnível, bem como o tempo perdido nestes pontos e ainda problemas ecológicos etc.

As barragens podem ser FIXAS ou MÓVEIS, e a diferença entre as duas reside no fato de que as primeiras constituem um obstáculo permanente à passagem das águas, permitindo o aproveitamento hidrelétrico. As MÓVEIS são desarmadas durante as cheias, de forma a evitar inundações. As fixas são de terra, enrocamento ou concreto e as móveis, em geral, de madeira.

Os principais componentes das barragens podem ser vistos na Figura 3.23, assim como dois diferentes tipos de localização possível para estes componentes:

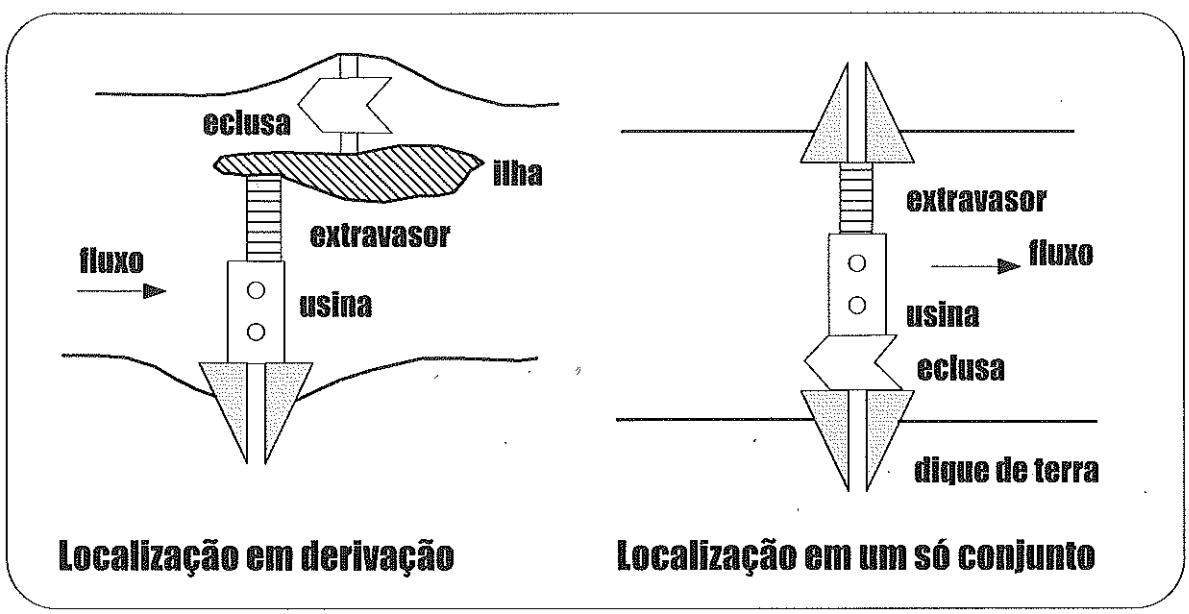


Figura 3.23 - Principais componentes em duas diferentes configurações de uma barragem.

4 OBRAS DE TRANSPOSIÇÃO DE DESNÍVEL

São obras indispensáveis para a viabilização de um sistema de hidrovias, onde existam barragens ou quaisquer tipos de desníveis ao longo do curso d'água, efetivando uma canalização (tal como visto no ítem 3.5.3). As obras de transposição de desníveis são classificadas em duas categorias, de acordo com o tipo de equipamento que utilizam:

- SISTEMAS MECÂNICOS
- SISTEMAS HIDRÁULICOS

4.1 SISTEMAS MECÂNICOS

Os sistemas mecânicos, conhecidos como ASCENSORES, são obras que fazem com que as embarcações ultrapassem os desníveis, flutuando dentro de uma cuba, que é movimentada por esforços externos. Podem ser de três tipos:

a) ELEVADORES VERTICAIS

Os elevadores verticais, por sua vez, também podem ser de três tipos:

- SISTEMA CLARK (HIDRÁULICO OU DE PISTÃO) - A primeira obra deste tipo é de 1875, na Inglaterra, e seu funcionamento é semelhante ao de um elevador de carros. Dois pistões ligados por circuitos hidráulicos suportam cubas de mesmo peso. Os dois poços são interligados com água sob pressão, mantendo uma cuba elevada e a outra na parte inferior. A introdução de água na cuba elevada faz com que ela desça, erguendo a outra simultaneamente.

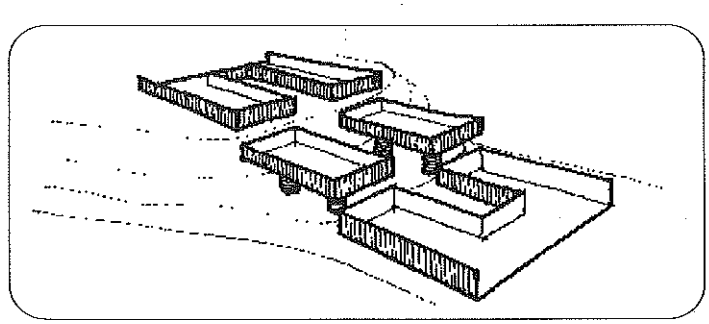


Figura 4.1 - Elevador vertical com o sistema CLARK para transposição de desníveis em hidrovias.

- SISTEMA FLUTUANTE - A cuba é suportada por flutuadores que submergem em poços cheios de'água. Os flutuadores tem deslocamento igual ao peso da cuba, o que faz com que a cuba desça, no caso de admissão de água no seu interior, e suba, no caso de retirada da água.

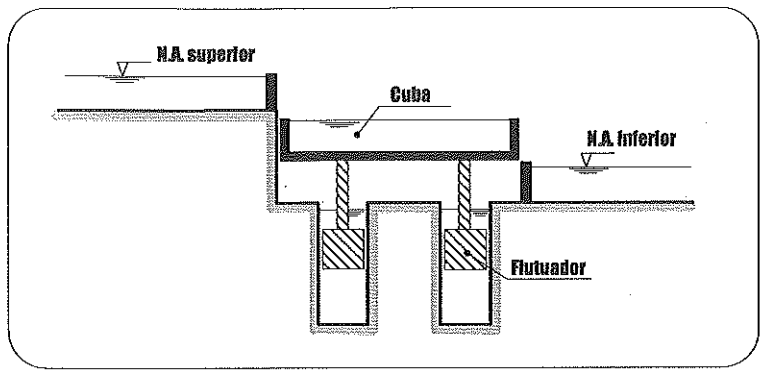


Figura 4.2 - Elevador vertical com o sistema flutuante para transposição de desníveis em hidrovias.

- SISTEMA FUNICULAR - A cuba é suportada por contrapesos, ligados à mesma por cabos de aço, de forma semelhante aos sistemas utilizados nos elevadores de edifícios. É o sistema que melhor se adapta a desníveis superiores a 30 metros, e a cubas de grandes dimensões.

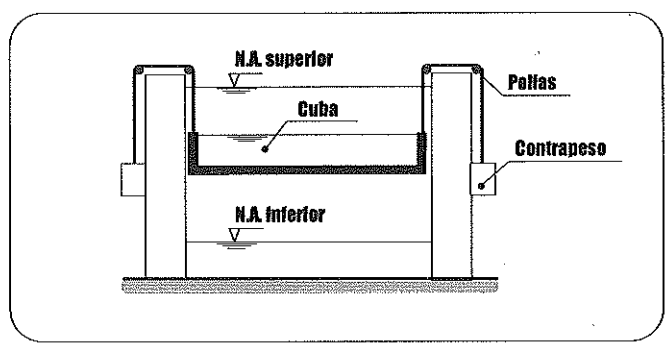


Figura 4.3 - Elevador vertical com o sistema funicular para transposição de desníveis em hidrovias.

Os elevadores verticais admitem, no máximo, embarcações de 1.350 ton, que são menores que os comboios em operação na maioria das hidrovias. Isto faz com que a principal vantagem deste sistema, que é a rapidez em vencer os desníveis (14,4 m/min contra 3,7 m/min das eclusas), seja perdida com as operações de desmembramento e remembramento dos comboios.

b) PLANOS INCLINADOS

Nesse sistema a embarcação sobe um plano inclinado dentro de uma cuba, podendo ser, este plano, transversal ou longitudinal, em relação aos canais de acesso. São dois os sistemas de plano inclinado:

- FUNICULAR - A cuba, com rodas, é movimentada sobre trilhos, sendo ligada por cabos a um contrapeso. O sistema é controlado por motores ligados às polias. No sistema longitudinal, o transporte da embarcação é feito na direção da maior dimensão do barco, o que obriga a uma baixa inclinação na rampa, de forma a limitar a altura da cuba a jusante. Isto leva a grandes extensões de trilhos e cabos, encarecendo o sistema. O funicular transversal apresenta algumas vantagens sobre o anterior, a começar pela possibilidade de uma maior inclinação da rampa.

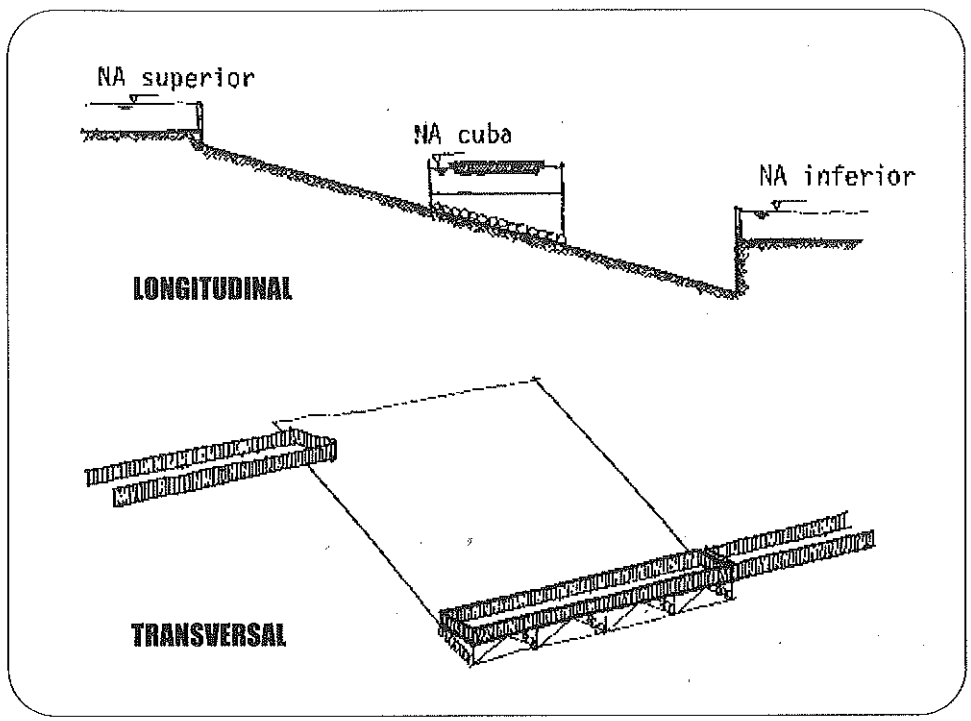


Figura 4.4 - Planos inclinados com sistema funicular para transposição de desníveis em hidrovias.

- AUTOMOTOR - O deslocamento das cubas é possível através de motores. Os planos inclinados são sempre longitudinais e a cuba, graças a uma cunha giratória, penetra na água sempre através de uma rampa descendente, sendo o embarque e o desembarque realizados através da mesma porta.

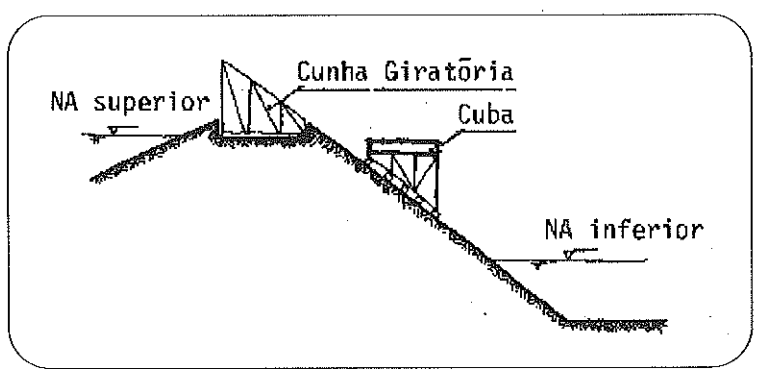


Figura 4.5 - Planos inclinados com sistema automotor para transposição de desníveis em hidrovias.

Os planos inclinados permitem vencer grandes desníveis (67,55 metros na Bélgica - funicular longitudinal e 101,00 metros na URSS - automotor), com velocidades de deslocamento bem elevadas, mas as grandes dimensões das cubas tornam pouco interessante o uso do sistema.

c) RAMPAS HIDRÁULICAS

É um sistema de concepção recente, constituído por um canal inclinado, de seção retangular, fechado por uma *máscara* empurrada por um trator, que desloca o barco dentro de uma cunha líquida. Não vence desníveis muito elevados (os hoje existentes sobem cerca de 13,50 metros).

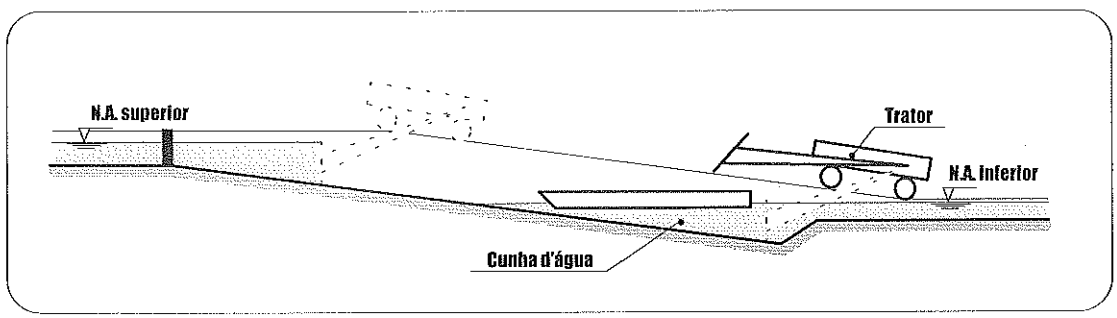


Figura 4.6 - Sistema de rampa hidráulica para transposição de desníveis em hidrovias.

4.2 SISTEMAS HIDRÁULICOS

É basicamente a ECLUSA, que consiste em uma câmara com dois muros laterais, limitados nas extremidades por duas comportas e no fundo por um piso ou soleira. As eclusas enchem e esvaziam utilizando o princípio dos vasos comunicantes, através do piso da câmara. A operação ocorre como ilustrado na Figura 4.7.

As eclusas podem ser:

- SIMPLES - São constituídas por uma única câmara.
- DE CÂMARA MÚLTIPLA - Usada em desníveis muito grandes, ou em canais com pouca água. Neste caso, cada porta de montante da câmara inferior é a mesma porta de jusante da câmara superior (Figura 4.8).
- ESCADA DE ECLUSAS - É um canal com várias eclusas independentes, situadas muito próximas (Figura 4.9).
- ECLUSAS GEMINADAS - Duas eclusas paralelas, construídas de tal forma que o esvaziamento de uma permite o enchimento da outra, economizando até 50 % da água do sistema.

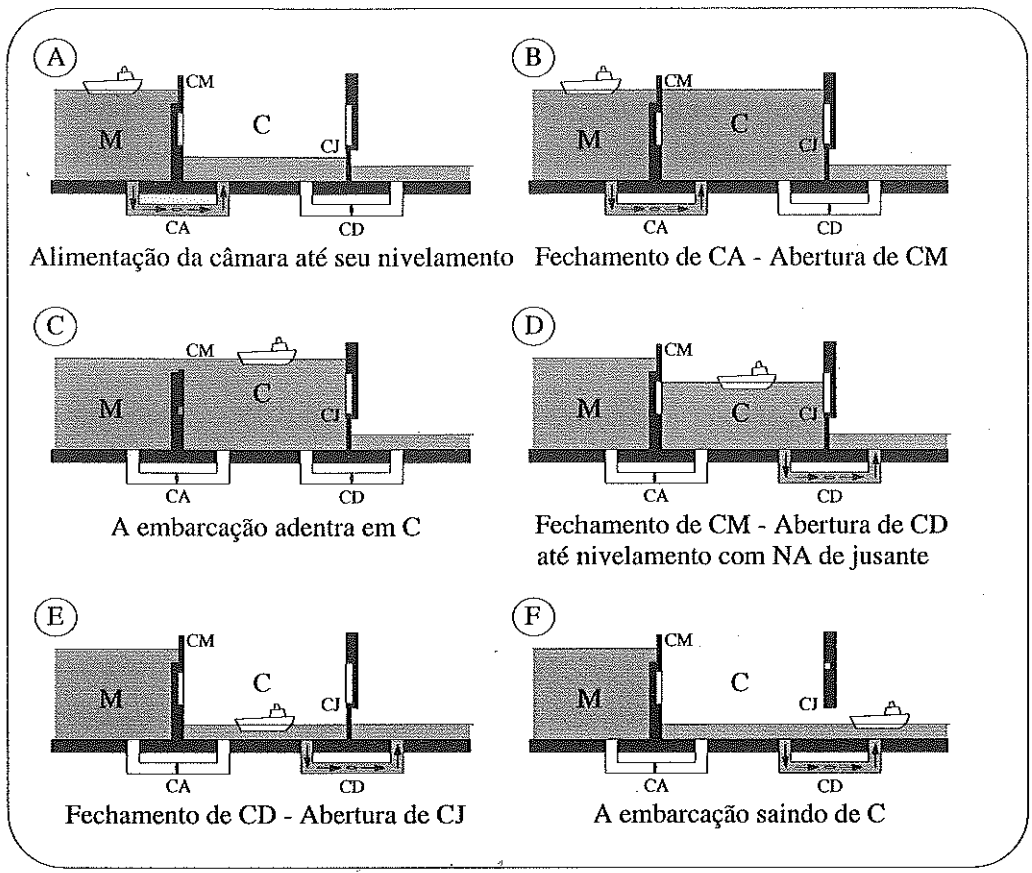


Figura 4.7 - Operação de descida em uma obra de transposição de desnível do tipo eclusa.

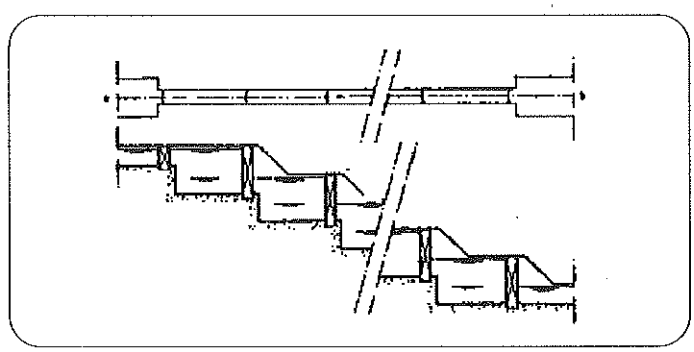


Figura 4.8 - Eclusa de câmara múltipla.

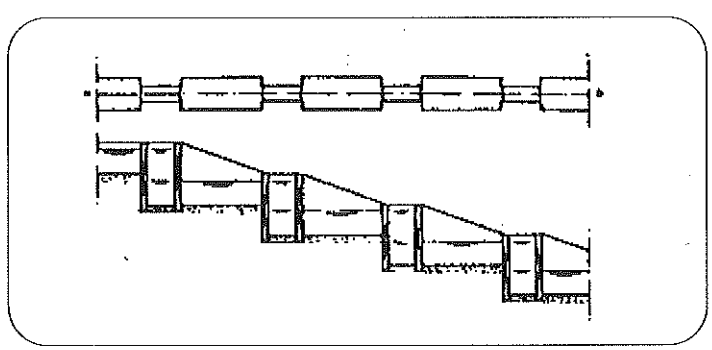


Figura 4.9 - Escada de eclusas.

As eclusas devem ter as câmaras com tamanho suficiente para receber as embarcações-tipo, com as seguintes folgas mínimas: de 5 a 10 metros no comprimento, de 1 metro na largura e de 0,3 a 0,5 metros na profundidade.

Até 1987, existiam em operação cerca de 5.000 eclusas, 14 ascensores mecânicos e 2 rampas hidráulicas, em todo o mundo. A preferência pelas eclusas é uma conseqüência direta da sua simplicidade, sendo os demais sistemas somente utilizados em regiões com problemas específicos, tais como grandes desníveis ou pouca disponibilidade de água. Em qualquer dos sistemas, no entanto, um problema sempre aparece, que é o estrangulamento do tráfego de embarcações no ponto onde se localizam as obras de transposição de desnível. Por este motivo, devem ser previstas áreas de espera, tanto a jusante quanto a montante, sempre o mais próximo possível das portas.

Os acessos devem contar ainda com dois muros: um MURO DE GUARDA, para proteger as embarcações de correntes e ondas (provocadas pelo vento) e um MURO GUIA, alinhado com um dos muros de ala, para balizar a entrada e ajudar no alinhamento dos comboios. Próximo às portas deve existir um equipamento para uso temporário, denominado de *STOP-LOG*, que nada mais é que um conjunto de portas removíveis, utilizadas para manutenção da área interna das eclusas, inclusive das portas, tal como mostrado na Figura 4.10.

A determinação da melhor estratégia operacional para a totalidade das embarcações que operam em determinado trecho, envolve um conhecimento razoável do tráfego previsto (variável), do tempo de operação das eclusas (previsível), além da eventual ocorrência de interrupções não previstas (enchentes, etc.), sendo este um tema que possibilita alguns estudos muito interessantes.

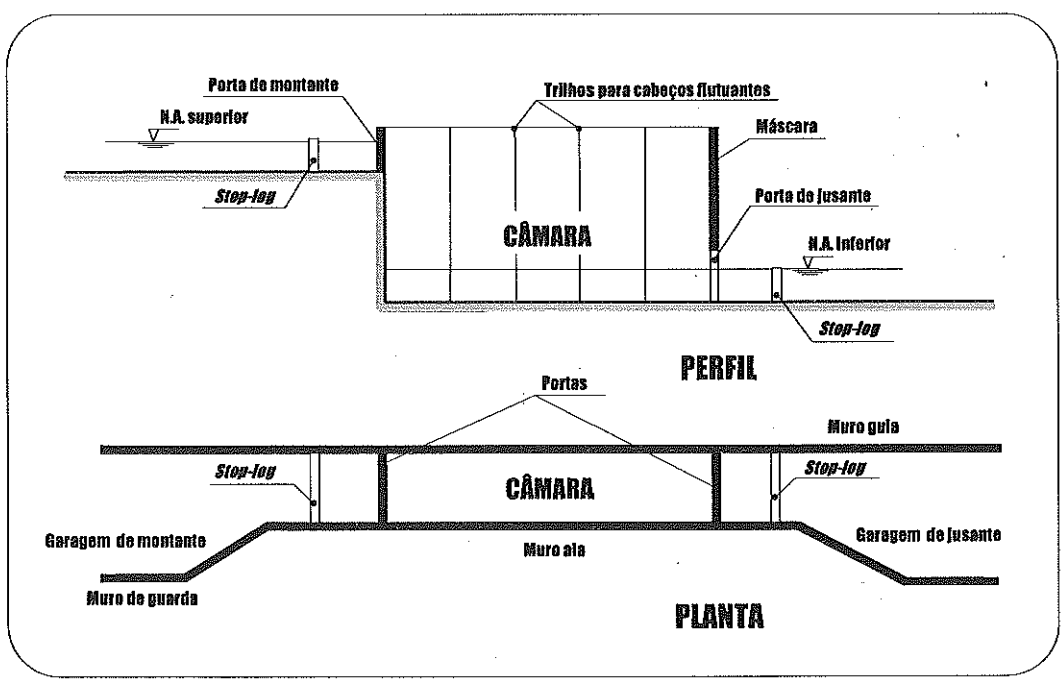


Figura 4.10 - Principais elementos de uma eclusa.

5 VENTOS E ONDAS

Alguns fenômenos naturais exercem grande influência na implantação de qualquer obra costeira, tal como é o caso dos portos marítimos. São eles: os VENTOS, as ONDAS, as MARÉS e as CORRENTES. Neste capítulo são apresentadas algumas das características dos dois primeiros, os quais influenciam decisivamente na conformação das costas, além de interferirem na construção, operação e manutenção de obras costeiras.

5.1 INTRODUÇÃO

Os oceanos ocupam 70,8 % da superfície da Terra e, por este motivo, exercem grande influência no clima, na conformação das costas, na geologia, na biologia, e em muitos outros aspectos do planeta.

A Oceanografia é a ciência que estuda os mares e oceanos, seus relevos, seus movimentos e sua influência direta na vida do homem. Essa influência é expressiva, principalmente se for considerada a imensa fonte de recursos naturais em que os oceanos se constituem. Os oceanos produzem alimentos, abrigam jazidas de recursos minerais (petróleo e gás, hoje largamente explorados), permitem a geração de energia (marés e ondas, diferença de temperatura entre a superfície e o fundo), recebem detritos, são usados para fins de lazer e constituem uma importante via de transporte (ponto de interesse principal do curso).

Uma das características importantes dos oceanos, para utilização como via de transporte, é a conformação das costas. A Figura 5.1 mostra a terminologia usual para indicar as diferentes partes de um trecho litorâneo.

- ESTIRÂNCIO é a faixa de oscilação da maré;
- BEIRA-MAR é a faixa limite do oceano, atingida pelo movimento das ondas;
- ANTIPRAIA é uma faixa na qual ainda ocorre movimentação dos sedimentos pelas ondas, situada abaixo da baixa-mar mínima.

Os projetos de obras ao longo das costas (dentre as quais estão incluídos os portos) são extremamente complexos, tendo em vista a quantidade e a magnitude dos elementos agressivos às estruturas litorâneas. Os ventos, ondas, marés e correntes impõem enormes esforços a essas obras, além dos problemas característicos de cada

um dos materiais empregados, tais como fungos e insetos, que destroem a madeira e a corrosão, que compromete as estruturas de aço e de concreto armado.

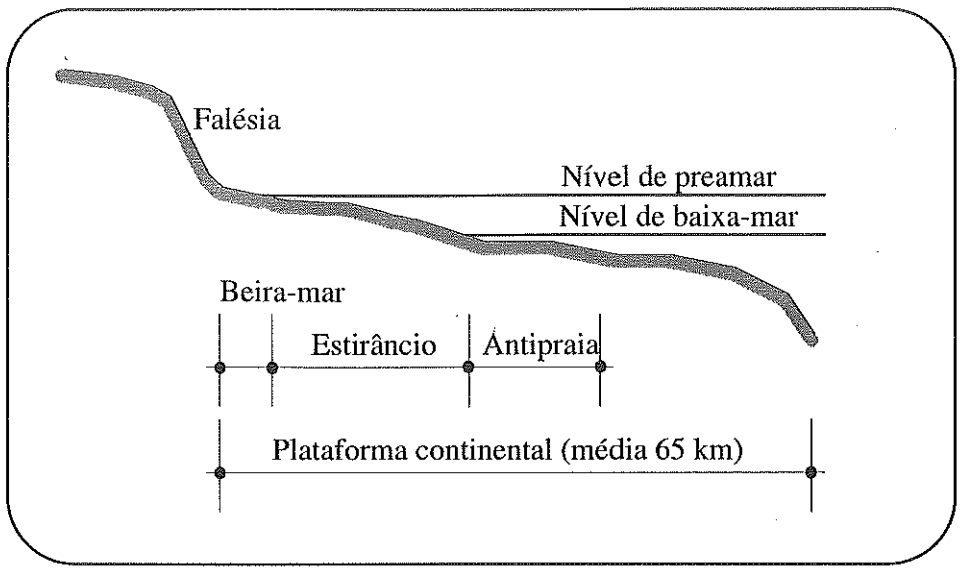


Figura 5.1 - Elementos componentes de um trecho litorâneo.

As águas do mar, permanentemente em movimento, e os ventos intensos que sopram sobre as extensões livres dos oceanos, estão continuamente modificando a conformação dos litorais. Estas modificações processam-se a longo prazo, nas idades geológicas, nas formações rochosas mais resistentes e a curto prazo, nas formações menos resistentes, constituídas pelos aluviões marinhos (areias, cascalhos, vazas). Do ponto de vista da engenharia, são estas modificações rápidas que têm maior interesse.

Os aluviões marinhos sofrem um caminhamento constante devido a ação das ondas, das correntes e dos ventos, sendo sobretudo a ação das ondas, a causa mais importante nas praias de areia. Podem provocar sérios problemas, como o assoreamento dos acessos aos portos, erosão das praias, formações e movimentações de restingas etc.

5.2 VENTOS

Vento é o deslocamento de massas de ar, decorrente de alterações na temperatura da atmosfera, as quais, por sua vez, provocam alterações na densidade do ar. O vento exerce uma pressão direta sobre qualquer objeto que esteja no seu caminho. Essa pressão varia com a velocidade do vento, tal como mostra a expressão a seguir.

$$p = k.V^2$$

Onde:
p = pressão do vento;
v = velocidade do vento.

O fator k depende, principalmente, do formato do objeto que recebe a pressão do vento, assumindo, para velocidades em milhas por hora (e pressões em lb/ft^2), valores entre 0,0025 e 0,0040.

O vento age de duas formas: indiretamente, dando origem às ondas e certos tipos de correntes (correntes de deriva, correntes de circulação litorânea), e diretamente, por abrasão das rochas (desgaste por fricção) e deflação (transporte das partículas por correntes aéreas).

Em geral, a abrasão das rochas, que pode inclusive produzir areia, é pouco sensível a curto prazo, só tendo importância em considerações geológicas. Os volumes de areia transportados por deflação são também normalmente menores que os movimentados pelos agentes marítimos propriamente ditos. Em certos casos, porém, chegam a ser importantes por quebrarem o equilíbrio dos sistemas, já que as partículas movimentadas podem ser afastadas diretamente de uma unidade morfológica (região em que há transporte de sedimentos sem trocas importantes com as regiões vizinhas).

A principal ação dos ventos nos litorais é a formação e deslocamento de dunas de areia. As dunas são formadas pela retirada de areia do estirâncio, permanentemente alimentado pelas ondas. Na maré baixa, as areias secas pelo sol são facilmente levadas para a beira-mar pelos ventos que sopram do mar para o continente. Acumulam-se sob a forma de "*montículos*" com perfil característico: talude mais suave (formando ângulo da ordem de 7° com a horizontal) a barlavento, e abrupto (ângulos de 20 a 35°) a sotavento. As partículas são arrastadas a barlavento, subindo o talude, e caem a sotavento, por ação da gravidade, ficando retidas pelas partículas superiores, até serem de novo descobertas a barlavento.

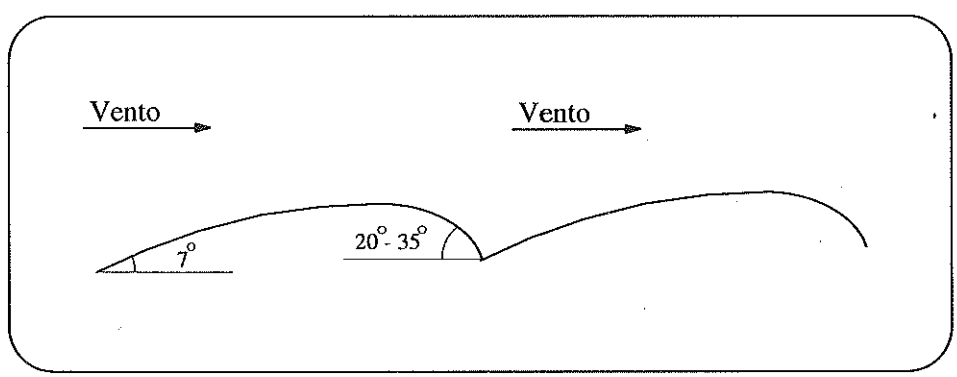


Figura 5.2 - Conformação típica das dunas.

Desta forma as dunas caminham com velocidades variáveis, em função da velocidade do vento e da granulometria das partículas, formando-se regularmente novas dunas nas zonas de beira mar. Há dunas que chegam a atingir dezenas de metros de altura e caminhar centenas de metros por mês ("*dunas vivas*").

As dunas podem causar sérios problemas, tais como interrupções de estradas, invasão de terrenos agrícolas, destruição de construções e assoreamento de portos (exemplos típicos os ocorridos no porto de Laguna, estado de Santa Catarina). A costa dunífera do Brasil extende-se do Maranhão a Pernambuco e, no sul, de Santa

Catarina ao Rio Grande do Sul. Mesmo no restante da costa, como por exemplo no estado de São Paulo, encontram-se algumas áreas restritas de dunas. As dunas da costa brasileira têm pequena altura, dificilmente ultrapassando uma dezena de metros. Podem, porém, caminhar com grande velocidade.

É importante observar que o vento pode influenciar decisivamente as operações portuárias, uma vez que os equipamentos de carga e descarga geralmente não são utilizados se a velocidade do vento for superior a 25 km/h. Além disso, sob fortes tempestades, os barcos não devem permanecer junto ao cais.

Além da pressão que exerce sobre as obras civis e do seu papel como elemento modelador do litoral, o vento é também muito importante por ser responsável pela formação das ondas.

5.3 ONDAS

As ondas são geralmente formadas pela ação do vento, representando a transferência direta de energia cinética da atmosfera para a superfície oceânica. Ao se mover sobre um corpo d'água, o vento exerce uma força tangencial sobre a superfície da água, provocando pequenas ondulações. Essas ondulações, por sua vez, alteram as condições de pressão do ar junto a superfície da água, fazendo com que essa superfície se ondule ainda mais. Se o vento persiste, o processo continua, produzindo ondas cada vez maiores.

Quanto maior a velocidade do vento, a sua duração e a extensão da área sob a influência eólica, maiores serão as ondas. Calcula-se que as maiores ondas são atingidas quando a extensão do *FETCH* (extensão da superfície sob a ação do vento) aproxima-se de 100 milhas náuticas.

Os movimentos ondulatórios que ocorrem no mar podem ser classificados de acordo com os seus períodos e causas:

Tipo de onda	Período	Origem
Ondas capilares	menor que 0,1 seg	Vento local
Ondas de gravidade	1 a 20 seg	Vento
Seixes	5 a 30 min	Diversas
Tsunami	15 a 60 min	Sísmica
Ondas de maré	6 a 24 horas	Astronômica

- ONDAS CAPILARES - Suas origens são as forças capilares decorrentes da tensão superficial, provocadas pelos ventos. Têm comprimentos de alguns centímetros e se propagam com velocidades de até 20 cm/seg, sendo percebidas apenas como cintilamentos na superfície do mar.

- ONDAS DE GRAVIDADE - São assim chamadas por serem influenciadas predominantemente pela gravidade, independendo das outras forças externas, quando fora das zonas de ação dos ventos. Têm períodos de 1 a 20 segundos, com amplitudes de 1 a 5 metros e comprimentos de 100 a 200 metros (na costa brasileira). São também geradas pela ação do vento na superfície do mar (na região onde o vento atua, as ondas são denominadas VAGAS).

Estes dois tipos de ondas são chamadas DE SUPERFÍCIE, pois apenas a parte superficial líquida participa do movimento oscilatório.

- SEIXES - São ondas de pequenas amplitudes e períodos de 5 a 30 minutos, observadas em enseadas e portos, fora da ação direta das ondas de gravidade. Sua origem é a ressonância entre a freqüência de oscilação normal das ondas e o período próprio da bacia. Provocam grandes deslocamentos horizontais de massa líquida.

- TSUNAMI (nome japonês) ou RAZ-DE-MARE (nome francês) - São ondas solitárias, com amplitudes que podem atingir de 35 a 45 metros, em períodos de 15 a 60 minutos. Podem causar verdadeiras devastações, mesmo a milhares de metros do epicentro do abalo sísmico que as provocou.

- ONDAS DE MARÉ - O período destas ondas está ligado ao tempo de rotação da Terra e aos seus movimentos em relação ao Sol e a Lua, ou seja, sua origem é regida por fenômenos astronômicos.

No caso das ONDAS DE MARÉ e TSUNAMI, toda a massa líquida participa do movimento, e não apenas a superfície.

É muito importante, no projeto de obras marítimas, o perfeito conhecimento da ação das ondas, tanto pela sua ação direta, como pela indireta, na formação de correntes especiais e no transporte de material sólido ao longo da costa.

O movimento das ondas é difícil de ser estabelecido, tanto teórica, como praticamente. Os estudos matemáticos sobre as ondas são extremamente complicados, afastando-se, na maioria dos casos, das situações reais. Atualmente são desenvolvidos modelos reduzidos nos laboratórios de Hidráulica, para avaliação dos efeitos das ondas sobre as obras a serem realizadas. Entretanto, mesmo nesses casos, é necessário o conhecimento das características de geração destas ondas, para que seja possível reproduzí-las de maneira satisfatória.

5.3.1 Elementos Característicos das Ondas

A análise das ondas requer o conhecimento dos seus principais elementos característicos (Figura 5.3):

- AMPLITUDE DA ONDA (2H) - Altura que vai da crista da onda ao fundo do cavado consecutivo;
- COMPRIMENTO DA ONDA (2L) - Distância entre dois pontos consecutivos em igualdade de fase (crista a crista, por exemplo);
- PERÍODO DA ONDA (2T) - Tempo de passagem, pelo mesmo lugar, de dois pontos consecutivos em igualdade de fase;
- PROFUNDIDADE DA ÁGUA (h) - Contada a partir do nível médio em movimento;
- CRISTA - Ponto mais alto atingido pelo nível d'água na passagem da onda;
- FUNDO - Ponto mais baixo atingido pelo nível d'água na passagem da onda;
- INTUMESCÊNCIA - Parte da onda, acima do nível médio em movimento;
- CAVADO - Espaço vazio, não ocupado pela água, abaixo do nível médio em movimento.

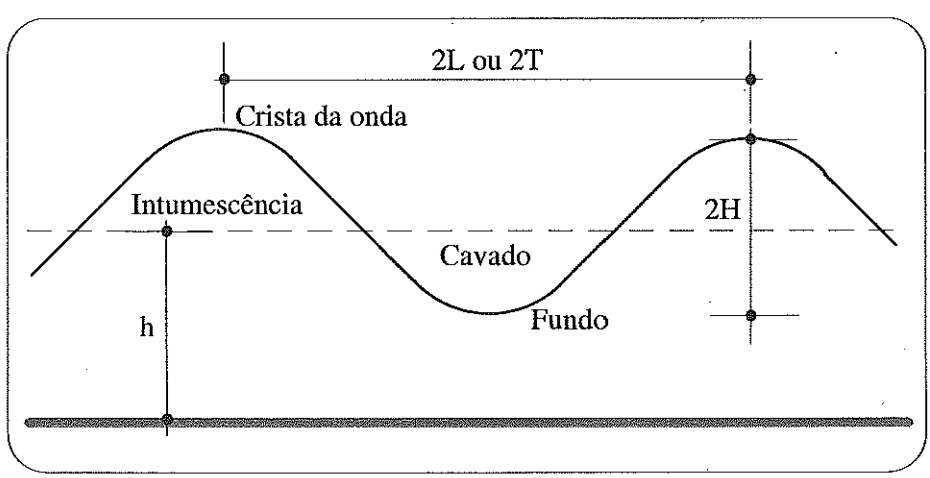


Figura 5.3 - Elementos característicos de uma onda.

As ondas podem ser classificadas em duas categorias:

- As de TRANSLAÇÃO, que não são periódicas, e cujas velocidade e componente horizontal do movimento são constantes da superfície ao fundo (se observados ao longo de uma vertical - é o caso das marés fluviais)
- e as de OSCILAÇÃO, que podem ser PROGRESSIVAS ou ESTACIONÁRIAS. Nas ondas PROGRESSIVAS, a velocidade e o componente horizontal do movimento vão diminuindo à medida que se afastam da superfície (são as observadas em alto-mar, provocadas pelo vento). Já as ondas

ESTACIONÁRIAS são criadas pela reflexão total de uma onda progressiva, devido a existência de um obstáculo vertical paralelo à frente da onda (são chamadas CLAPOTIS).

As ondas de oscilação progressivas podem, em baixas profundidades, transformar-se em ondas de translação. No entanto, para efeito de dimensionamento de obras marítimas, é fundamental o conhecimento dos fundamentos da teoria clássica elaborada por GERSTNER, em 1804, constituída de leis válidas para profundidades teoricamente indefinidas, ou seja, alto-mar:

- A superfície da onda é gerada por uma partícula que se desloca com movimento angular constante, solidária a um círculo que gira sem escorregar sobre um plano horizontal, acima do nível de repouso da água, traçando neste deslocamento uma curva denominada TROCÓIDE. O diâmetro do círculo mencionado corresponde a altura da onda. Um outro círculo, concêntrico com o primeiro, embora com maior raio, possui circunferência de tamanho igual ao comprimento da onda (Figura 5.4).

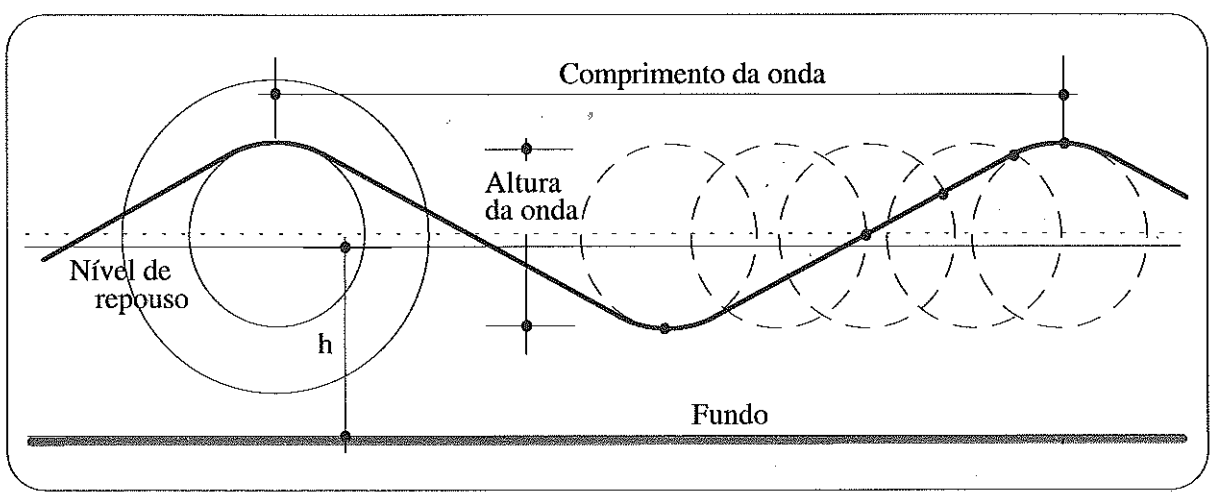


Figura 5.4 - Representação do movimento de uma onda de oscilação na superfície.

- É bastante utilizada a teoria trocoidal para descrever as ondas em águas profundas, nas quais não ocorre interferência do fundo (quando a profundidade é maior que a metade da amplitude da onda) (Figura 5.5). Nessa teoria, cada partícula gira em um plano vertical, ao redor de um eixo horizontal, o que pode ser comprovado por objetos que executam movimentos de sobe-desce em águas profundas, e não de translação. A onda é produzida por um movimento circular das moléculas d'água, que descrevem círculos cada vez menores, progressivamente e a medida que a profundidade cresce, até cessar, a uma **profundidade L/2**. O raio das órbitas decresce em progressão geométrica, enquanto a profundidade cresce em progressão aritmética.

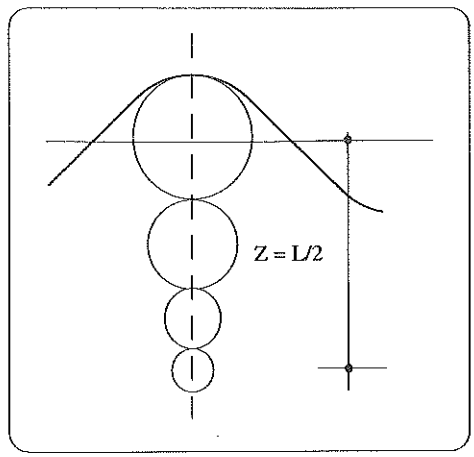


Figura 5.5 - Movimento circular das moléculas d'água em uma onda de oscilação.

- A velocidade das ondas em águas profundas é aproximadamente igual à velocidade de um corpo em queda livre, a partir de uma altura equivalente à metade do raio do círculo cuja circunferência descreve a amplitude da onda. Se a circunferência é igual a 2L, o raio desse círculo é L/π.

$$\frac{mv^2}{2} = mgh \Rightarrow v = \sqrt{2gh}$$

$$v = c = \sqrt{2g\frac{1}{2}\frac{2L}{2\pi}} = \sqrt{g\frac{L}{\pi}} \qquad g = \text{aceleração da gravidade} = 9{,}801\ m/s^2$$

- A velocidade c (celeridade), o comprimento L e o período T guardam as seguintes relações:

$$L = \frac{g.T^2}{\pi} \qquad \pi,\ g = \text{constantes}$$

$$T = \sqrt{\frac{\pi.L}{g}}$$

$$c = \frac{L}{T} = \frac{g.T}{\pi} = \sqrt{\frac{g.L}{\pi}} = 1{,}77\sqrt{L} = 3{,}12.T$$

A celeridade é, portanto, proporcional a raiz quadrada do comprimento da onda.

Quando as ondas de profundidade do alto-mar se aproximam da zona litorânea, sofrem alterações. Junto à costa, devido à influência do fundo, as ondas têm o movimento de oscilação transformado em movimento de translação, o que faz com passem a exercer grandes esforços sobre as obras costeiras. RANKINE estudou as ondas em profundidade limitada (finita) e demonstrou que as órbitas das moléculas são elípticas e não circulares. Se achatam, quando a profundidade decresce, até o limite (praia), onde a elipse se reduz a uma reta (movimento de vaivém). Os sedimentos do

fundo do mar se movem para frente e para trás, absorvendo energia da água em movimento e reduzindo a velocidade das ondas pelo atrito com o fundo.

Para estimar a velocidade das ondas nessas condições, em que o fundo faz com as órbitas das moléculas fiquem elípticas, pode ser empregada a equação $C = \sqrt{gh}$, onde h é a profundidade (em metros), desde que seja menor que L/25. Se h é maior que L/25, mas ainda menor que L/2, pode ser usada a expressão de SAINT-VENANT e FLAMANT para o cálculo da celeridade das ondas:

$$c = \sqrt{\frac{g.L}{\pi}.\mathrm{tgh}\left(\frac{\pi.h}{L}\right)}$$

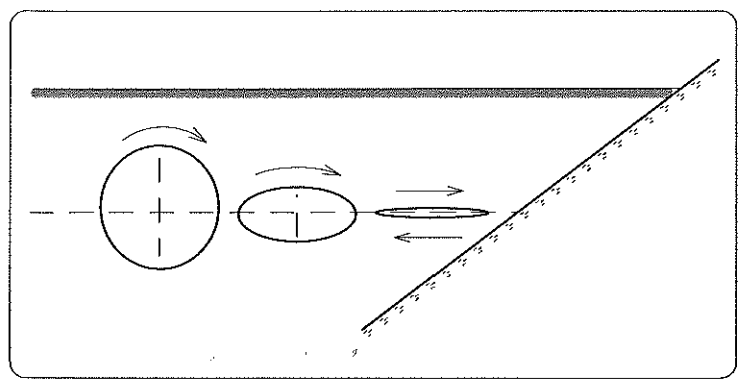


Figura 5.6 - Comportamento das moléculas d'água em regiões de profundidade limitada.

Outros dados importantes para a construção de obras marítimas são a altura (2H) e o comprimento (2L) das ondas. STEVENSON demonstrou que estes elementos podem ser definidos através de funções do tipo $k(F)^{1/n}$, onde F é o *FETCH*. SIANO admite o uso dos seguintes valores médios:

$$2H = 1,2\sqrt[4]{F}$$
$$2L = 31\sqrt[3]{F}$$

Este tipo de fórmula, no entanto, só tem significado para as condições especiais em que foi deduzida e serve apenas para uma primeira estimativa.

Como é difícil medir as ondas máximas, é comum a utilização, em projetos, da onda significativa, que é definida com a média das alturas das ondas que compõem a terça parte com as maiores alturas de uma amostra obtida em um período de tempo pré-determinado. A onda máxima equivale a 1,87 vezes a onda assim calculada. Vários pesquisadores desenvolveram equações empíricas, que relacionam a altura da onda significativa à extensão do *fetch* e a velocidade do vento. O Corpo de Engenheiros dos EUA publicou diversos ábacos para facilitar esses cálculos, que consideram inclusive o efeito do fundo em regiões de baixa profundidade. Nesse ábacos, ao invés de se considerar diretamente a velocidade do vento, é usado um fator de correção (WRIGHT & ASHFORD).

De acordo com o tipo de obra que será executado, pode ser importante conhecer a onda máxima e não apenas as ondas significativas. A altura da plataforma de um cais ou certos tipos de quebra-mares que devem impedir totalmente a passagem de água, são obras dessa natureza. Essa previsão de onda máxima pode ser feita, empiricamente, a partir de registros das caracteristicas das ondas que atingem determinado ponto da costa, com observações de pelo menos 1 ano. Para períodos de recorrência de 10 anos, por exemplo, $h_{max} = h\sqrt{2}$.

O outro tipo de onda de oscilação, já mencionado, é a onda do tipo estacionário ou CLAPOTIS. Este tipo de onda surge pela reflexão de uma onda progressiva, ao incidir sobre um obstáculo perpendicular à direção da mesma, gerando um segundo sistema de ondas (se o obstáculo estiver inclinado, o sistema resultante constituirá um GAUFRAGE) (Figura 5.7).

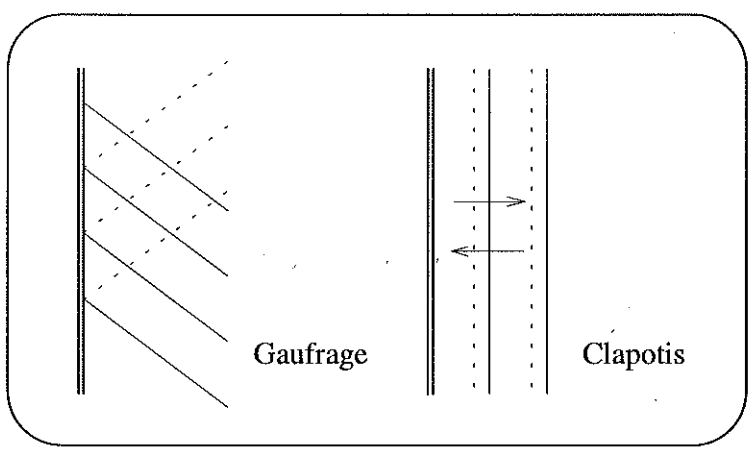


Figura 5.7 - Tipos de ondas de reflexão.

As condições mais desfavoráveis ocorrem para as paredes verticais, nas quais a reflexão é total. À medida que a inclinação das paredes vai diminuindo, a reflexão também diminui, até chegar a ser nula, com a arrebentação das ondas semelhante a ocorrida nas praias.

Características dos CLAPOTIS:

- A amplitude é praticamente nula em pontos fixos denominados nós;
- A amplitude é máxima em pontos fixos denominados ventres. Seu valor depende, até certo ponto, da rugosidade da parede vertical. Se esta for lisa, a amplitude do ventre será praticamente igual a 2 x (2H), ou seja, o dobro da amplitude da onda incidente, pois não há quase perda de energia;
- Devido a não simetria da onda estacionária em relação a um plano horizontal de referência, o nível médio da mesma está acima do de repouso de:

$$\Delta h = \frac{4.\pi.H^2}{2.L}.\cot gh\left(\frac{\pi.h}{L}\right)$$

O fenômeno da reflexão é importante para o projeto de quebra-mares de parede vertical. A reflexão das ondas pode ser também importante para a navegação, devido aos grandes valores das amplitudes das ondas resultantes da superposição das ondas incidentes e refletidas.

Dois outros fenômenos que provocam deformação das ondas são a REFRAÇÃO, causada pela variação de profundidade, e a DIFRAÇÃO, provocada por obstáculos. Na REFRAÇÃO, uma determinada frente de onda que se encontra, em um dado instante, em profundidades diferentes, terá, no instante seguinte, uma celeridade menor nas profundidades menores e maior nas profundidades maiores. A velocidade das ondas diminui em águas rasas. Se a onda se aproxima obliquamente em relação à costa, a parte mais próxima do litoral perde velocidade e a onda tende a ficar paralela à costa, devido à refração.

A refração das ondas sobre um fundo raso, irregular, apresenta importante ação morfogenética. As linhas paralelas do sistema de ondas em movimento, ao encontrarem um esporão avançando para o mar e que se torna submarino, terão seus movimentos retardados pelo atrito do fundo. A crista da onda, nas águas mais fundas de ambos os lados do esporão, continua se mover para a frente sem alterar a velocidade, de modo que a frente da onda se torna côncava para a terra e a energia da onda converge para a ponta rochosa emersa. A refração da onda sobre um baixio submarino concentra a energia contra as escarpas do esporão, como se pode ver na Figura 5.7. Inversamente, quando a onda se aproxima de um vale submarino, a energia da mesma diverge do eixo do vale. Assim, as saliências iniciais da costa para o mar tendem a se erodir mais rapidamente do que as enseadas adjacentes.

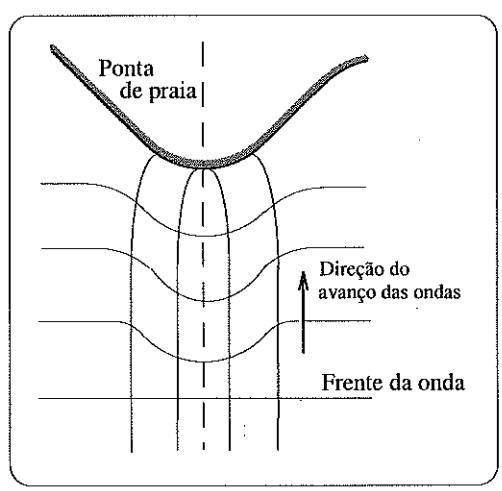


Figura 5.8 - Fenômeno da refração em uma saliência da costa.

Já a DIFRAÇÃO é a penetração da onda atrás dos obstáculos, mesmo quando não há variação de profundidade. É importante no projeto de portos, pois provoca agitação nos recintos abrigados por quebra-mares.

6 MARÉS E CORRENTES (*)

Além de VENTOS e ONDAS, outros dois elementos naturais que interferem nas obras costeiras são as MARÉS e as CORRENTES. O conhecimento do fenômeno das marés é importante para o estudo dos portos e do regime dos litorais. A partir do conhecimento da variação das marés em um determinado ponto da costa, é que são fixadas as cotas das cristas dos cais de atracação, bem como as cotas mínimas do fundo. O estudo das marés envolve uma área bastante ampla e complexa.

As correntes marítimas são movimentos de translação da água do mar que apresentam componentes verticais de velocidade desprezíveis em relação aos componentes horizontais. Para o engenheiro civil, o estudo das correntes é importante, sobretudo para problemas de morfologia costeira, de poluição (difusão de rejeitos de águas poluídas etc) e de interferência com o tráfego e a acostagem de navios.

6.1 INTRODUÇÃO

As marés são movimentos oscilatórios do nível do mar que se repetem com períodos longos. Esses movimentos são observados em quase todos os pontos dos oceanos e em bacias comunicantes. São provocadas pela ação da atração dos astros, principalmente do Sol e da Lua, que agem sobre a massa líquida dos mares. *As marés são uma forma de onda com um período muito longo, importante no projeto de obras costeiras, pois alteram constantemente a região (altura) da costa que é atingida pelas ondas de oscilação.*

As marés põem em movimento grandes massas de água, dando origem às correntes de maré, provocam a mudança da composição das águas dos estuários e podem provocar a movimentação de grandes massas de aluviões. As correntes provocadas pelas marés podem atingir velocidades que chegam a comprometer a navegação, mas, por outro lado, podem assegurar as profundidades necessárias em trechos menos profundos. A atividade de muitos portos, especialmente a entrada e saída, a atracação e as operações de carga e descarga podem depender das marés locais.

As correntes marítimas são movimentos de translação da água do mar que apresentam componentes verticais de velocidade desprezíveis em relação aos

(*) O conteúdo deste capítulo foi extraído das apostilas MARÉS e CORRENTES MARÍTIMAS do Prof. Carlos Eduardo de Almeida, da EPUSP.

componentes horizontais. Têm caráter semi-permanente, ou seja, as velocidades variam pouco com o tempo.

As forças que atuam nestes componentes são:

- FORÇAS EXTERNAS - devidas à atuação dos ventos na superfície livre; devidas às atrações astronômicas atuando em toda a massa líquida;
- FORÇAS INTERNAS - devidas à ação da gravidade; devidas à variações de pressões na massa líquida (conseqüentes das variações de densidade);
- FORÇAS INDUZIDAS - devidas à rotação da Terra (aceleração de Coriolis); devidas ao atrito no fundo (só significativas em pequenas profundidades) e na superfície (desprezível).

As forças internas dependem essencialmente do campo da gravidade e da repartição das massas. As distribuições das forças internas e a ação das forças externas são inseparáveis. As observações de temperatura, salinidade e pressão indicam as distribuições das forças internas que, no entanto, não devem ser consideradas causas básicas das correntes, já que resultam de fenômenos exteriores ao meio, mas também de fenômenos interiores (difusão de energia por convexão, condução e difusão salina, próprio movimento das águas etc). A ação das forças astronômicas é mais facilmente perceptível, já que, sendo pariódicas, os movimentos delas resultantes também o são, caracterizando as CORRENTES DE MARÉ.

A ação de todas as forças se faz sentir concomitantemente, tornando bastante complexo o estudo generalizado das correntes. Para simplificar o estudo, considera-se apenas a ação conjunta de algumas forças, de acordo com a predominância dos fenômenos, conforme o que se verifica na natureza.

As correntes marítimas são muito importantes, pois estão intimamente ligadas ao clima, aos recursos de pesca, aos problemas de poluição etc. A oceanografia física, por estes motivos, dá grande ênfase ao estudo das correntes. Para o engenheiro civil, o estudo das correntes é importante, sobretudo para problemas de morfologia costeira, de poluição (difusão de rejeitos de águas poluídas etc) e de interferência com o tráfego e a acostagem de navios. As correntes ao largo têm pequenas velocidades e pouco interessam sob estes aspectos e, por este motivo, serão abordadas de forma sumária, dando-se maior ênfase às correntes de maré e à circulação litorânea.

6.2 MARÉS

As marés são ondas de período muito longo, chegando a ter mais de doze horas, com um comprimento que alcança a metade da circunferência da terra. Registrando-se de forma contínua a variação lenta do nível do mar, é obtida uma curva sensivelmente senoidal, que se repete no tempo, com períodos e amplitudes bem definidos (Figura 6.1).

Quando a maré está subindo, diz-se que ela está na MONTANTE, no FLUXO ou na ENCHENTE. Quando atinge o nível máximo, diz-se que está na PREAMAR ou MARÉ-CHEIA e, quando está na descida, diz-se que está na VAZANTE ou no REFLUXO, até atingir o nível mínimo, que é a BAIXA-MAR ou MARÉ-BAIXA.

A oscilação observada entre a preamar e a baixa-mar é denominada AMPLITUDE DA MARÉ, e o tempo necessário entre duas preamares ou duas baixa-mares denomina-se PERÍODO DE MARÉ.

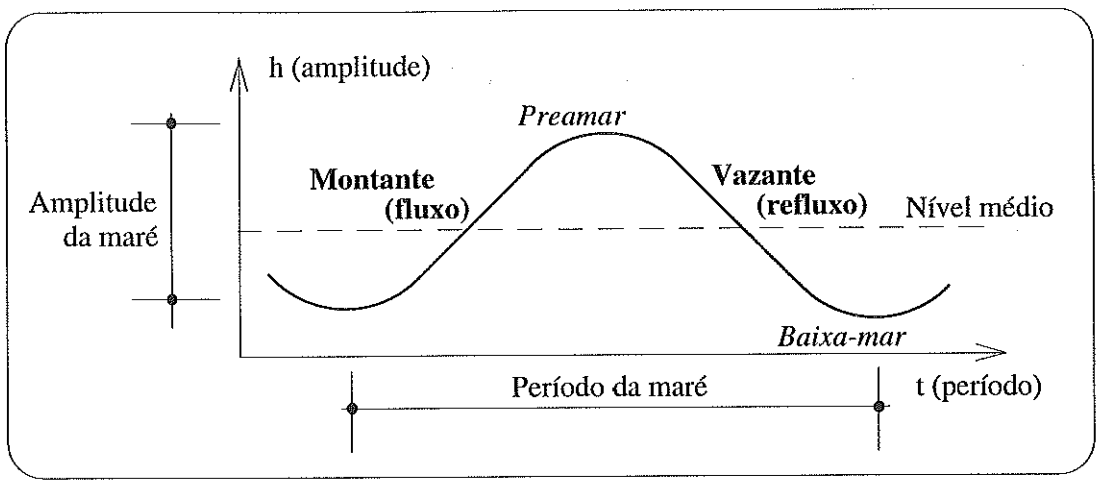


Figura 6.1 - Variação do nível do mar ao longo do tempo.

As marés resultam, principalmente, de variações nas atrações exercidas pela Lua e pelo Sol sobre as águas dos oceanos. A amplitude das marés será tanto maior quanto maior for a resultante da ação desses astros. A Lua tem maior efeito pois, apesar de sua menor massa, está ela mais próxima da Terra que o Sol. Na realidade, aplicando-se a expressão de Newton, verifica-se que a força de atração do Sol, apesar da distância, ainda é 150 vezes maior do que a da Lua. A Lua só tem maior influência nas marés porque, devido à sua proximidade, provoca uma grande diferença na força de atração exercida nos pontos mais próximos e mais distantes da Terra.

Sendo a ação das marés função direta da ação dos astros (Lua e Sol), a sua periodicidade será função dos movimentos de rotação aparentes destes astros em relação à Terra. Como resultado da força de atração dos astros, duas protuberâncias de água são produzidas na superfície da Terra, uma no ponto mais próximo da Lua (ou do Sol) e outra do lado oposto da Terra (Figura 6.2). Como a Terra gira em torno de seu eixo uma vez por dia, pode-se dizer que ela gira dentro de uma cápsula de água, de forma elíptica. Assim, cada ponto da Terra deveria ter duas marés altas e duas marés baixas por dia.

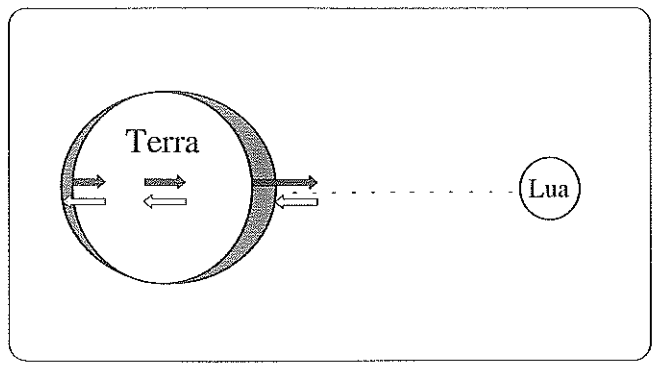


Figura 6.2 - Efeito da força de atração da lua sobre os oceanos na Terra.

Quando o Sol, a Terra e a Lua encontram-se alinhados, ocorre a maré de SIZÍGIA, e são observadas as amplitudes máximas das marés, que acontecem nas épocas de Lua Cheia ou Lua Nova (por ocasião dos equinócios, o Sol e a Lua estão no mesmo plano, ocorrendo as máximas marés de sizígia equinociais). Quando os astros não estão alinhados, ocorre a maré de QUADRATURA, e a soma de suas ações resulta em menores marés.

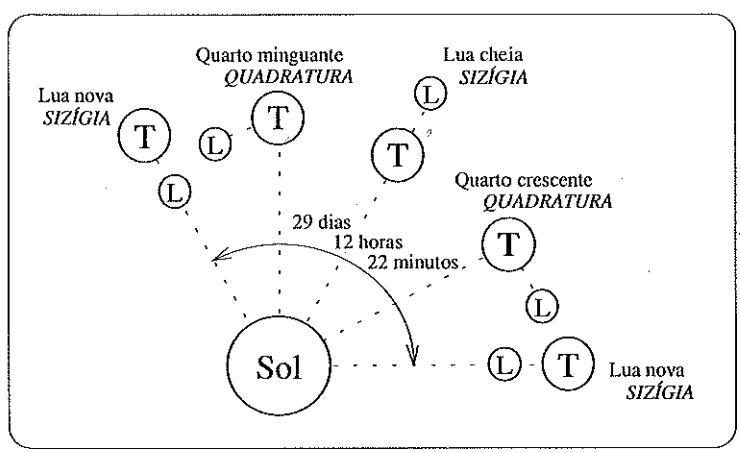


Figura 6.3 - Características das marés de acordo com as fases da lua.

6.2.1 Teorias de Marés

Apesar de ser do conhecimento geral que os astros são os responsáveis pelas marés, não existe uma teoria que seja válida para todos os pontos da Terra e que explique o fenômeno de maneira completa. Ainda assim, algumas das teorias existentes são bastante interessantes e úteis para uma representação aproximada do fenômeno. Eis algumas dessas teorias:

- *TEORIA ESTÁTICA DA MARÉ (Newton - 1687)*

É uma representação bastante simplificada da realidade, pois assume algumas hipóteses que não ocorrem de fato. Considera a Terra esférica, recoberta por uma camada líquida (líquido perfeito, com viscosidade nula) de espessura constante; ausência de inércia; Sol e Lua em órbitas circulares. A força de atração da Lua é compensada pelo movimento de rotação em torno de um eixo de "giração", que cria

uma força centrífuga. Estas duas forças deformam a camada líquida superficial, produzindo um elipsóide de revolução. A rotação dá em cada dia lunar duas passagens pela protuberância, resultando em duas marés.

- *TEORIA DINÂMICA (Laplace - 1802)*

Laplace admitiu que as águas dos oceanos estavam submetidas à ação de forças rítmicas e tentou determinar os tipos de movimentos que deviam surgir na água, sob essas ações. Os agentes provocadores das forças rítmicas são os astros, que, dependendo da configuração do litoral, podem modificar os seus efeitos. Laplace definiu a expressão matemática para o porto de Brest, que é utilizada até hoje. A expressão parte da decomposição das forças de atração, produzindo uma resultante normal (que modifica a gravidade) e uma resultante tangencial (que movimenta as partículas líquidas criando correntes e ondas progressivas). Através desta teoria foi possível estabelecer cartas de linhas cotidais, ou seja, lugar geométrico dos pontos em que a preamar se dá no mesmo instante.

- *SÍNTESE DE WHEWELL (1830)*

As enormes massas de água do Oceano Pacífico e Atlântico Sul dariam origem a ondas de translação que se propagariam pelos oceanos, a partir do Hemisfério Sul - as linhas cotidais deveriam crescer do Sul para o Norte (o que se dá com anomalias, na costa da América e da África). Esta teoria explica muitos fenômenos, tais como: deformação das marés em pequenos fundos, estuários, canais etc. Não explica porém outros, tais como a existência de marés com períodos diferentes (12 - 24h, que ocorrem no Cabo Horns, Indochina e Austrália), linhas cotidais que nem sempre crescem de Sul para Norte (Golfo do México, Canal da Mancha etc) e os pontos anfidrômicos (que são locais em que a amplitude da maré é nula e as cotidais giram em torno).

- *SÍNTESE DE ROLIN-HARRIS (1904) - REORIA DA ONDA ESTACIONÁRIA*

Esta teoria explica a formação dos pontos anfidrômicos. Se é oscilado um recipiente com água, forma-se uma onda estacionária. Com o tempo, esta onda desaparece por amortecimento. Se é dada uma oscilação periódica, tem-se uma perturbação forçada e a onda mantém-se no tempo. Segundo esta teoria, há nos oceanos, "*bacias*" com períodos próprios correspondentes aos períodos das forças de origem astronômica (6 sistemas lunar-semi-diurnos, 1 solar-semi-diurno na Austrália, e 2 lunar-diurnos) (Figura 6.4). Os pontos anfidrômicos seriam os cruzamentos das linhas nodais dos vários sistemas. A teoria explicou os pontos anfidrômicos já conhecidos na época e previu a existência de outros, que vieram a ser confirmados posteriormente.

Ocorrem ainda algumas variações acidentais do nível do mar (como as marés meteorológicas). Algumas dessas variações são previsíveis, tais como o efeito de pequenos fundos, duas baixa-mares e duas preamares consecutivas, ondas compostas, contorno de obstáculos etc; e outras não previsíveis, tais como a ação dos ventos, pressão atmosférica, cheias de rios etc.

HENRY POINCARÉ e alguns raros colaboradores tentaram considerar o fenômeno das marés em toda a sua complexidade matemática, mas, ainda hoje, não é possível calcular a variação da maré em um ponto qualquer, sem que tenham sido feitas algumas observações prévias.

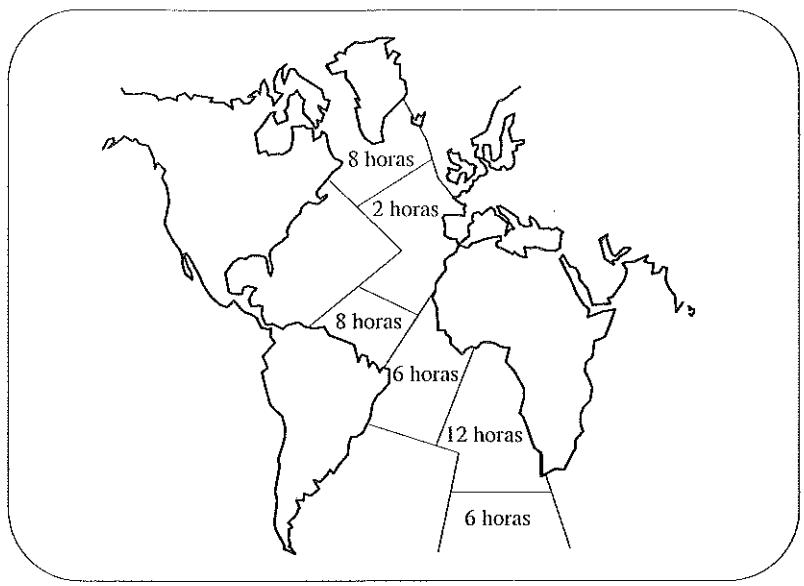


Figura 6.4 - Representação dos períodos das marés, segundo a síntese de ROLIN-HARRIS (as horas indicadas são aquelas da preamar em cada "*bacia*").

6.3 CORRENTES

As grandes correntes oceânicas têm origem básica nas diferenças de temperatura devido à variação de insolação na superfície do globo. Estas diferenças geram ventos regulares e gradientes de pressão (por causa das diferentes densidades da água). O movimento assim gerado é bastante estável, mas sofre mudanças, periódicas, com as estações do ano e acidentais, conseqüência de variações climáticas.

As principais correntes oceânicas têm andamento semelhante nos Oceanos Atlântico, Pacífico e Índico: formam circuitos fechados entre o Equador e a latitude aproximada de 40º, girando no sentido anti-horário no hemisfério Sul e horário no hemisfério Norte (Figura 6.5). Esta circulação dá origem a correntes secundárias ao Norte e ao Sul do Equador e nas regiões polares.

Ao largo da costa do Brasil a circulação geral se dá de Norte para o Sul, sendo portanto uma corrente de água quente (do Equador para o pólo). É conhecida como CORRENTE DO BRASIL, e atinge velocidades de menos de 1 nó (cerca de 0,5 m/s). O outro ramo deste circuito, ao largo da costa africana, de Sul para Norte, é conhecido como CORRENTE DE BENGUELA. A mais conhecida das grandes correntes oceânicas é a GOLF STREAM, no Atlântico Norte, que tem velocidades que atingem 5 nós (entre a Flórida e a Ilha de Cuba).

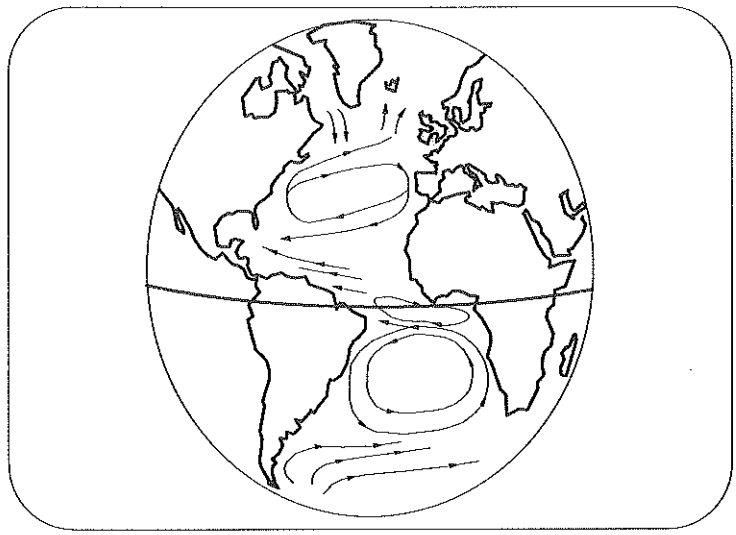


Figura 6.5 - Representação esquemática de algumas das principais correntes oceânicas.

As grandes correntes oceânicas só são sensíveis a distâncias de dezenas de milhas da costa e normalmente não ultrapassam 1 a 1,5 nós. Por estes motivos são difíceis de serem distinguidas as correntes principais, das devidas a causas acidentais.

6.3.1 Correntes de Gradiente

São assim denominadas as correntes que surgem sob o efeito das forças internas, ou seja, dos gradientes de pressão originados pelas diferenças de densidade da água do mar (inclinação das superfícies isobáricas).

Supõe-se que seja possível determinar, a partir de observações de temperatura, salinidade e pressão, as superfícies isobáricas. Porém, as profundidades são sempre referidas a superfície do mar, que é uma superfície isobárica, da qual não se conhece a "*topografia*" (tem inclinações, não sendo sempre perpendicular à gravidade). Só se pode, portanto, determinar "*diferenças de declividades*" das superfícies isobáricas em relação à superfície de pressão nula (superfície livre do mar), e desta forma, "*diferenças de velocidade*" em relação às velocidades superficiais. Para contornar esta dificuldade, admite-se que em grandes profundidades (superiores a 2 ou 3 mil metros) não haja correntes, logo, as superfícies isobáricas são horizontais. Usando-se estas superfícies como referência, pode-se ter velocidades absolutas. Nota-se então, que, na superfície livre do mar ocorrem inclinações que atingem até 1 cm/km, justificando as correntes superficiais.

6.3.2 Correntes de Deriva

O vento soprando na superfície arrasta as partículas líquidas superficiais. O movimento é transmitido às camadas inferiores pelo atrito interno da água. O estudo matemático destas correntes foi realizado por Ekman, a partir das observações que mostravam que os "icebergs" não caminhavam na direção do vento, mas segundo uma direção inclinada em relação à mesma (daí o nome de corrente de deriva). A conclusão de seus estudos mostra que a velocidade na superfície é inclinada de 45° com a direção do vento à esquerda, no hemisfério Sul, e à direita, no hemisfério Norte. O fluxo da massa de água, no entanto, é perpendicular à direção do vento com as mesmas orientações descritas acima.

6.3.3 Circulação Litorânea

Junto à costa, os fenômenos descritos anteriormente se complicam: o fluxo contra a costa cria uma acumulação de água e, conseqüentemente, uma inclinação da superfície líquida, "*subindo*" do mar para a costa. Se o fluxo é ao contrário, tem-se uma inclinação no sentido da costa para o mar.

A inclinação da superfície líquida, que pode ser devida também a causas externas (vento ou pressão atmosférica), cria um gradiente de pressões, normal às linhas de nível de superfície e uma "*corrente de declividade*", semelhante à causada pelos gradientes de pressão devidos às variações de densidade (correntes de gradiente).

Se considerarmos uma costa abrupta e o vento soprando contra ela (segundo uma direção não necessariamente normal à costa), ao fluxo formado pela corrente de deriva soma-se o da corrente de declividade, fazendo surgir uma corrente vertical (de cima para baixo). Se o vento sopra da terra para o mar, há uma circulação no sentido oposto (Figura 6.6). Explica-se assim o fenômeno das ressurgências em que a água mais profunda (fria e rica em nutrientes) é levada para a superfície. Este fenômeno é muito importante para a riqueza da pesca. O fenômeno oposto, da submergência, também ocorre com certa freqüência em costas abruptas.

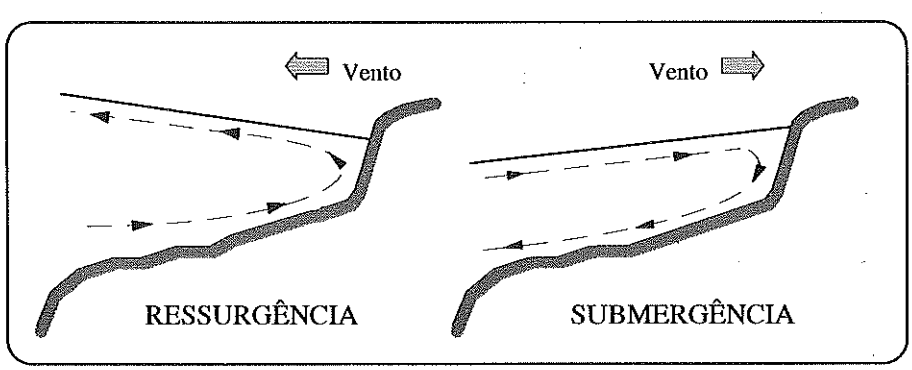


Figura 6.6 - Fenômenos da ressurgência e da submergência.

Nas costas de pequena declividade o vento tem, sobretudo, a capacidade de elevar ou abaixar o nível da água, podendo dar inclinações consideráveis à superfície líquida. Se a inclinação do fundo é muito pequena, as correntes tendem a ter a direção do vento e da linha de maior declive da superfície líquida.

6.3.4 Correntes de Maré

As variações de nível d'água são acompanhadas por correntes no plano horizontal. Essas correntes são, em geral, junto à costa, bem mais fortes que os outros tipos de correntes (em Itaqui, no Maranhão, chegam a atingir 7 nós, ou seja, cerca de 3,5 m/s).

A característica básica das correntes de maré é a periodicidade igual à da maré propriamente dita. Elas atingem toda a espessura da camada líquida, ao contrário das demais correntes. Normalmente estas correntes não tem uma direção fixa: a extremidade do vetor que as representa, em um ponto, descreve no tempo uma curva denominada ROSA DAS CORRENTES.

As correntes de maré podem ser ALTERNATIVAS ou GIRATÓRIAS. Serão ALTERNATIVAS quando a rosa de corrente é muito achatada. O escoamento é então praticamente bi-direcional, denominando-se fluxo a corrente que começa depois da baixa-mar, e refluxo a que começa depois da preamar. As ESTOFAS DE CORRENTE correspondem a anulação da corrente (passagem do fluxo ao refluxo e vice-versa). São GIRATÓRIAS quando, durante um ciclo de maré, tomam todas as direções possíveis. Se a rosa de corrente é achatada, ainda pode-se distinguir um fluxo e um refluxo. Se a rosa é quase circular, esta distinção não mais existe.

Ao largo dos oceanos, a maré coexiste com ondas progressivas puras. Próximo à costa ou em mares fechados, podem ocorrer reflexões da onda de maré, dando um caráter estacionário à mesma. Normalmente, há uma superposição de onda estacionária e onda progressiva, o que faz com que haja uma defasagem (diferente da anterior) entre a corrente e a altura da maré.

O caráter giratório das correntes de maré pode ter vários motivos:

- Superposição de ondas de maré de direções diferentes;
- Rotação do componente horizontal das forças astronômicas e força de Coriolis (os vetores velocidade giram no sentido anti-horário no hemisfério Sul e no oposto no Norte);
- Próximo à costa, superposição de corrente de maré a correntes de enchimento e esgotamento de praias, baías, estuários e outros acidentes do litoral.

A previsão das correntes de maré, especialmente junto à costa, é muito difícil de ser realizada, a partir de medições, em correlação com a maré.

7 MOLHES E QUEBRA-MARES

Uma vez que o porto é o espaço físico no qual é feita a ligação dos modos hidroviário e terrestre, ocorrendo a transferência de mercadorias e passageiros, é preciso que as obras portuárias estejam adequadamente protegidas dos efeitos das ondas e correntes (esses efeitos já foram analisados nos capítulos 5 e 6 com mais detalhes), de forma a garantir uma agitação tolerável das águas do porto.

As obras de proteção não serão tão importantes se o porto estiver em uma região da costa já protegida por obstáculos naturais, mas, caso contrário, são imprescindíveis. Os problemas básicos que devem ser considerados ao se projetar obras desta natureza são: o nível de agitação após a implantação da obra e a própria estabilidade destas obras. Em obras de grande envergadura, é necessária até mesmo a construção de modelos reduzidos para acompanhar as alterações que podem ocorrer.

As obras de proteção, também chamadas de obras externas ou de abrigo, podem ser classificadas segundo diferentes aspectos. Segundo a sua posição, podem ser (Figura 7.1):

- MOLHE - apresenta uma das extremidades ligada à costa;
- QUEBRA-MAR - não tem nenhuma ligação com a costa;
- DIQUE - ambas as extremidades ligadas à costa.

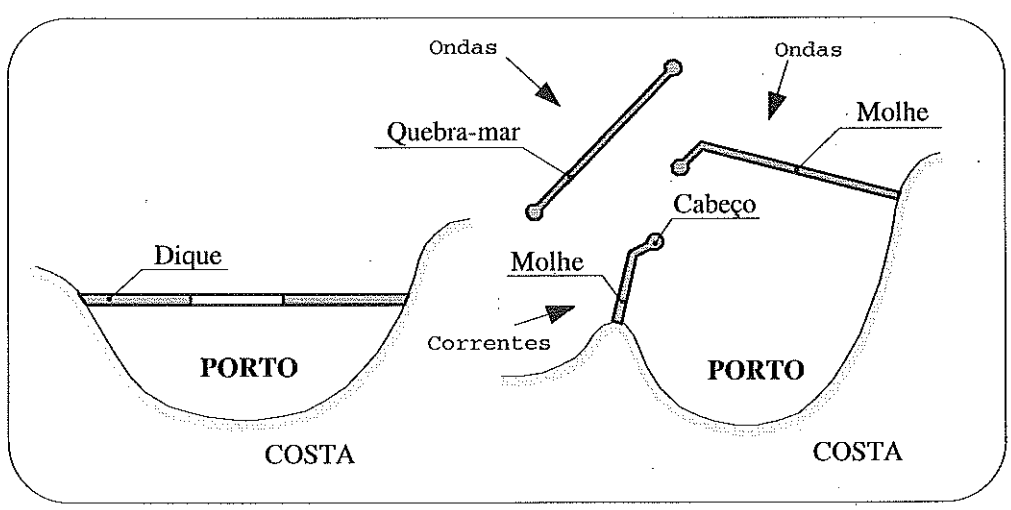


Figura 7.1 - Características gerais, em planta, dos três tipos de obras de proteção empregadas em portos.

Segundo a forma de sua seção transversal, podem ser (Figura 7.2):

- VERTICAL - provocam a reflexão das ondas progressivas incidentes, gerando ondas estacionárias (CLAPOTIS). São, em geral, de concreto simples ou armado, com fundações sobre enrocamentos;
- DE PARAMENTO INCLINADO OU TALUDE - provocam a ruptura das ondas, sendo construídos de pedras naturais ou elementos artificiais de concreto. A Figura 7.2 ilustra os dois tipos de seção citados.

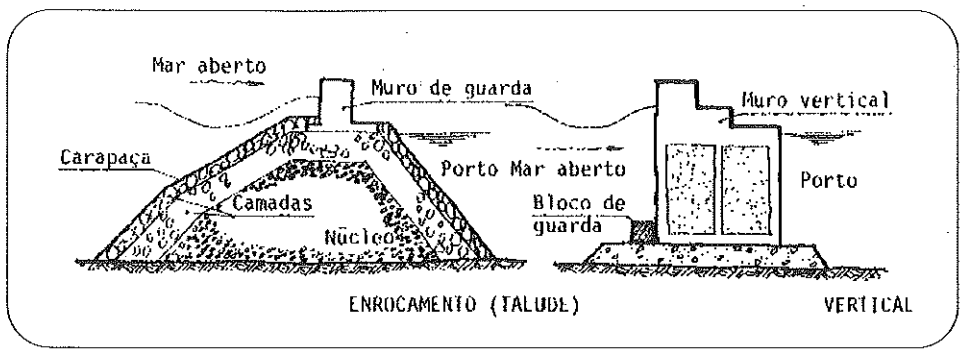


Figura 7.2 - Seção transversal típica de obras de proteção empregadas em portos.

Pode ser ainda observado um terceiro tipo de obra, cujo comportamento face à ação das ondas não provoca apenas a ruptura ou a reflexão das mesmas, pois é uma obra mista. Isto quer dizer que a parte inferior da obra é composta por um talude e, a partir de certa altura, passa a ser um muro vertical.

A forma da seção transversal define o processo de cálculo a ser utilizado no projeto de cada obra, pois os esforços que irão ocorrer são função do perfil da estrutura e da ação das ondas. Assim, cada um dos perfis será considerado isoladamente nos ítens a seguir.

7.1 OBRA DE PARAMENTO VERTICAL

São obras em que o paramento voltado para as ondas progressivas é vertical (ou próximo disto). Na verdade, esta face da obra não precisa, necessariamente, ser vertical. A inclinação da face pode avançar até um ponto em que alcance o talude limite, que separa os fenômenos da reflexão e da ruptura das ondas. Com este talude limite, sabe-se que, teoricamente, se a inclinação aumentar, a onda reflete e, se diminuir, a onda se rompe. Na prática, há uma gama de taludes nos quais as ondas se rompem e refletem parcialmente, sempre com domínio de um dos fenômenos.

O dimensionamento de uma obra do tipo vertical deve levar em consideração os seguintes aspectos:

- Pressão das ondas estacionárias (CLAPOTIS);
- Subpressões na base e peso submerso dos diversos componentes da construção;
- Profundidades mínimas do fundo e da base de enrocamento;
- Elevação mínima da crista da obra, acima do nível máximo da água.

Deve-se observar que, para evitar a ruptura da onda, a profundidade mínima do fundo deverá ser $H_1 > 4a$, sendo **a** a amplitude da onda. Da mesma forma, a profundidade mínima acima do enrocamento da base deverá ser $H_2 > 3a$ (ver Figura 7.3). A elevação H_3 da crista da obra, acima do nível máximo de água, deverá ser suficiente para impedir a passagem das ondas.

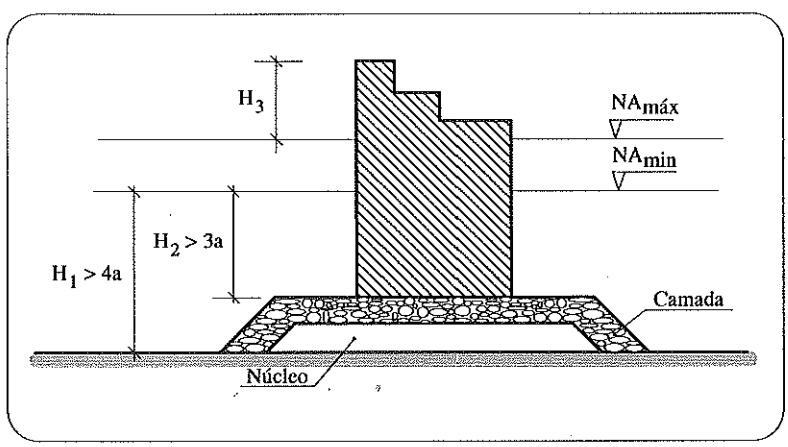


Figura 7.3 - Dimensões mínimas recomendadas para obras de proteção de paramento vertical.

A construção destas obras pode ser feita, quando em pequenas profundidades, utilizando-se ensecadeiras e concretagem submersa. Em outras circunstâncias, devem ser usados blocos justapostos ou caixões, com enchimento por lastro de enrocamento.

De maneira geral, as obras verticais são de construção mais econômica, pelo fato de consumirem menor volume de material, fato que ocorre também na conservação.

7.2 OBRA DE PARAMENTO INCLINADO

O quebra-mar ou o molhe de talude criam zonas abrigadas ao forçar a arrebentação (ou ruptura) da onda de um lado da obra, mantendo o lado oposto calmo. O fenômeno é semelhante ao da ruptura de um onda em um fundo de profundidade decrescente, em condições naturais. O problema, a princípio, pode ser analisado como o processo natural, mas deve considerar ainda a rugosidade do enrocamento, que faz com que parte da energia da onda seja dissipada por atrito ou turbulência. O cálculo destas obras pode ser realizado a partir dos estudos de R. Iribarren, complementados posteriormente por R. Y. Hudson e R. A. Jackson.

A expressão desenvolvida por Iribarren, parte do princípio que os blocos devem permanecer fixos, considerando-se que a violência das ondas atue diretamente no talude. Para que os blocos não se movam, mesmo em taludes bastante suaves, o peso dos blocos deve ser:

$$P_{min} = \frac{K_d A^3 d_r}{(d-1)^3}$$

Onde:
P: peso dos blocos, em tf;
K_d: coeficiente experimental (K_d = 0,015 para pedras naturais e K_d = 0,019 para blocos artificiais);
A: altura total da onda que se rompe, em m;
d_r: densidade relativa do enrocamento em relação a água da mar ($d_r = \gamma_r / \gamma_a$) (2,65 para blocos naturais e 2,15 para blocos artificiais).

A fórmula genérica, onde a inclinação do talude também aparece, é:

$$P = \frac{K_d A^3 d_r}{(\cos\alpha - \operatorname{sen}\alpha)^3 (d-1)^3}$$

Sendo α o ângulo formado entre o talude da obra e a horizontal. A fórmula só admite valores de α iguais ou menores que 45º.

Os elementos calculados através da fórmula anterior não precisam ter as mesmas dimensões em toda a seção do talude. No núcleo do mesmo é possível a colocação de pedras ou blocos menores, pois os mesmos não estarão sujeitos à ação direta das ondas. A espessura da camada de proteção sujeita ao ataque das ondas deve incluir pelo menos três camadas dos elementos de peso P, anteriormente calculados, e deve ser, aproximadamente:

$$e = 3 \cdot \sqrt[3]{P/\gamma}$$

Onde:
e: espessura da camada de proteção, em m;
γ: peso específico dos blocos, em tf/m^3.

A espessura **e** pode ser variável ao longo do talude, pois é possível diminuir a dimensão da camada de proteção para maiores profundidades (ver Figura 7.4), uma vez que a ação das ondas também diminui com a profundidade. A largura de coroamento do molhe é fixada pela necessidade de utilização da crista para a própria construção.

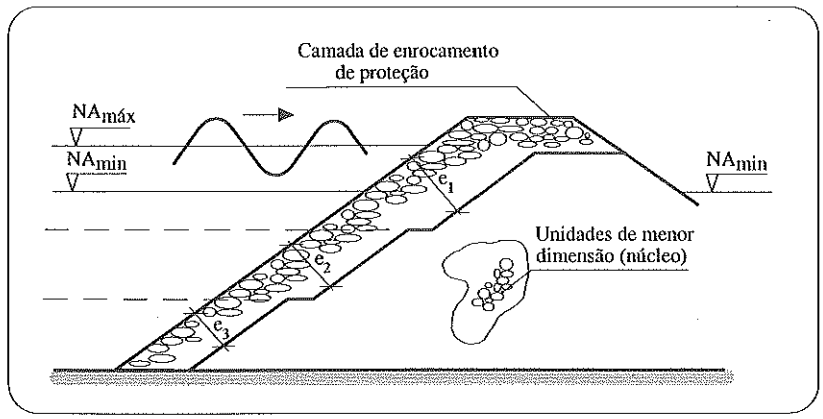


Figura 7.4 - Detalhe da camada de proteção de uma obra de proteção de paramento inclinado.

As obras de paramento inclinado, ao provocarem a ruptura das ondas, recebem pressões que podem atingir até 70 ton/m^2, o que exige das mesmas grande robustez para suportá-las. Por outro lado, as alturas das obras de paramento inclinado podem ser menores que as obras verticais. A grande largura da base das primeiras pode causar problemas à navegação, limitando a largura do canal de acesso. No entanto, a utilização das obras de paramento inclinado é bastante difundida, sendo mais empregadas do que as paredes verticais.

O projeto destas obras exige o conhecimento prévio do regime de ondas, marés e da batimetria local. A obra se constitui em um maciço de pedras ou blocos artificiais que forma o corpo da mesma, ultrapassando o nível máximo de água; e um coroamento (ou crista), que pode ser monolítico ou com pedras/blocos de grande peso, e que impede as ondas mais altas de ultrapassarem o conjunto.

A cota de coroamento do talude deve estar, pelo menos, 5/4 de A (sendo A a altura total da onda) acima do nível de repouso da preamar máxima, pois a onda, ao romper, encontra-se com cerca de 3/4 de A acima do nível de repouso e cerca de 1/4 de A abaixo deste nível. O valor proposto não permite, portanto, que as ondas passem sobre a obra.

A inclinação dos taludes segue, geralmente, os valores a seguir:

- LADO DO MAR

  Baixas profundidades (H < 2A) - 5:1 ou 10:1
  Médias profundidades (H = 2A) - 3:1 ou 3,5:1
  Altas profundidades (H > 2A) - 2:1 ou 1,5:1

  No lado do porto, o talude pode ser da ordem de 1:1.

A altura determinada em projeto deve ser sempre acrescida de 10% no momento da construção, para compensar os efeitos de recalque e abatimento que costumam ocorrer. Os problemas de abatimento, decorrentes de pedras que se deslocam permanentemente, provocam um custo anual de manutenção da ordem de 2% do valor total de construção, nas obras de paramento inclinado.

Os taludes de pedra devem utilizar tamanhos variados, seja para aproveitar de forma mais completa a produção das pedreiras, seja para minimizar os vazios e a conseqüente transmissão de energia para o lado interno.

Em certas circunstâncias, a obra de talude pode necessitar de pedras muito grandes para suportar a ação intensa das ondas. Se o tamanho for tal que seja difícil a sua obtenção nas pedreiras locais, é possível construir blocos artificiais de concreto (com peso até mesmo acima de 300 ton), com formas especiais, tais como o QUADRÍPODE e o STABIT (tetraedro ôco) (Figura 7.5).

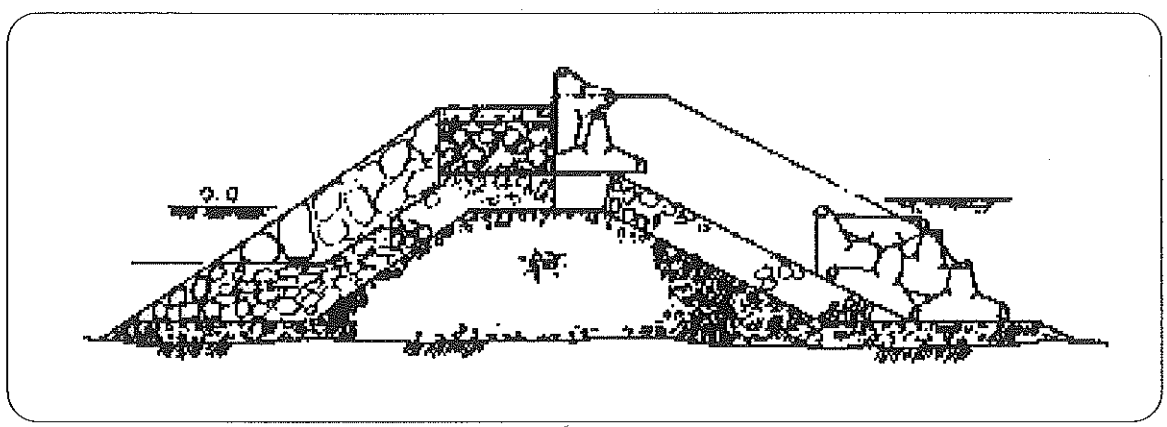


Figura 7.5 - Seção transversal típica de uma obra de proteção com cobertura de quadrípodes.

As principais características dos blocos artificiais devem ser: um grande peso, peças que não escorreguem com facilidade, que não fiquem muito juntas para evitar grandes sobrepressões, além de não serem totalmente impermeáveis.

No caso de molhes, é possível dimensionar a crista dos mesmos para receber uma via de transporte ferroviário ou rodoviário. O transporte das pedras de tamanho reduzido é feito por veículos basculantes e as grandes peças são deslocadas, ou com um pórtico guindaste que se move sobre a crista do molhe, ou com guindastes flutuantes.

A construção de quebra-mares exige um processo diferente: as pedras são transportadas até o local da obra em barcaças. Estas barcaças podem ser tombadas por um guindaste ou podem dispor de um fundo móvel. As pedras pequenas devem compor o núcleo da estrutura e as maiores, as partes periféricas, para proteger o conjunto do impacto das ondas.

Convém observar que, se a obra tem por objetivo a proteção do porto, não contra as ondas, mas contra correntes intensas, principalmente as de maré, as suas características deverão ser diferentes daquelas até aqui mencionadas. No fenômeno das correntes, as partículas da massa de água não reduzem de forma tão significativa a sua velocidade, à medida que a profundidade aumenta, da forma como ocorre com as ondas. Durante a fase de construção, toda a obra estará sujeita à ação da massa de água

máxima prevista. Devido a este fato, as peças a serem utilizadas na obra não podem ser muito pequenas, sob o risco de serem carreadas pela corrente. Nestes casos, de maneira geral, todas as peças são do mesmo tamanho. S. V. Izbash desenvolveu a expressão abaixo para o cálculo de diques de enrocamento para o fechamento de rios, onde é possível determinar o peso dos blocos de enrocamento (considerando os blocos como quase esféricos):

$$P = \frac{r \cdot V_m^6}{\frac{6}{\pi} \cdot K^3 (2g)^3 \left(\gamma_r / \gamma_a - 1 \right)^3}$$

Onde:
P: peso do bloco de enrocamento para proteção contra às correntes, em tf;
γ_r: peso específico dos blocos de enrocamento, em tf/m^3;
V_m: velocidade média da corrente, em m/s;
K: coeficiente adimensional (1,35 a 0,69);
g: aceleração da gravidade, em m/s^2;
γ_a: peso específico da água do mar, em tf/m^3.

Alguns trechos dos molhes estão sujeitos a esforços mais severos, a saber, o enraizamento (raiz) e a extremidade (cabeço), bem como trechos com ângulos salientes ou reentrantes. Da mesma forma, os quebra-mares também apresentam maiores esforços nas duas extremidades, uma vez que não possuem enraizamento.

8 OBRAS COSTEIRAS

A implantação de uma estrutura portuária depende das condições do mar, do terreno e dos aspectos climáticos. Respeitadas as condições impostas pelos elementos acima, a obra projetada deve atender ao seu objetivo precípuo, ou seja, permitir a carga e descarga dos navios e o manuseio de cargas no retroporto. Este conjunto de aspectos define a morfologia da obra, cuja localização é ainda influenciada por outros elementos, tais como as condições naturais de abrigo ao longo da costa (enseadas, baías etc.), e a existência de vias de transporte terrestre e pólos de atividade industrial.

Como muitas vezes não é possível obter uma localização que atenda a todas as condições acima de forma plena, pode ocorrer que a melhor localização em relação aos aspectos terrestres, não coincida com uma região abrigada da costa. Neste caso, são necessárias as obras de proteção já mencionadas no capítulo anterior e, muitas vezes, a execução de serviços permanentes de dragagem para assegurar as profundidades mínimas necessárias. Os custos destas obras são significativos, devendo ser realizada uma análise bastante elaborada para identificar, de fato, as opções mais interessantes do ponto de vista econômico. Em certas circunstâncias, até mesmo a implantação de instalações *offshore* (no mar, afastadas da costa), onde os navios operam com recursos próprios, pode ser viável.

O processo de planejamento de um terminal portuário consiste, portanto, em diversos estágios, a saber:

- Definir necessidades;
- Transformar as necessidades em exigências de equipamentos e instalações;
- Determinar localizações possíveis e desenvolver planos gerais;
- Investigar as características de cada local;
- Escolher local e plano geral;
- Selecionar os tipos de obras e o seu desenho.

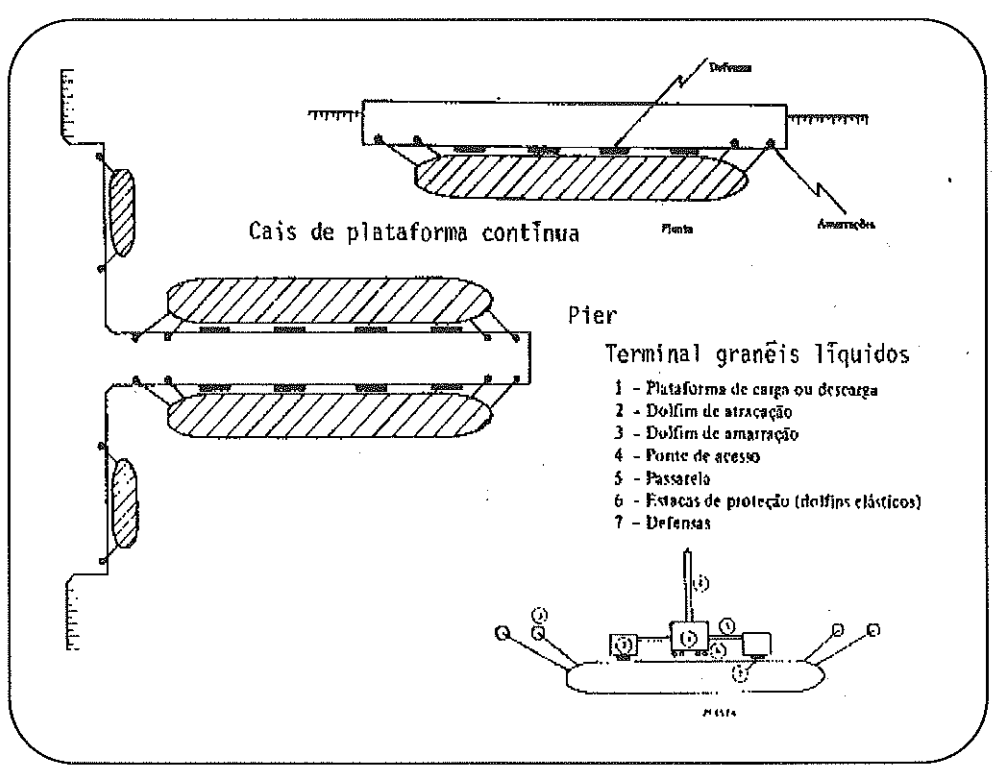
As obras que são realizadas para permitir a utilização de determinada região da costa para a construção de um porto, podem ser divididas em duas categorias:

- OBRAS EXTERNAS - criam uma região abrigada de ondas e correntes (molhes, diques e quebra-mares - capítulo anterior);

- OBRAS INTERNAS - permitem um melhor aproveitamento da região delimitada pelas obras externas. Assim, dependendo das características de operação do terminal, as obras para acostagem podem assumir diferentes formas e utilizar variadas estruturas e técnicas construtivas. O objetivo básico deste capítulo é definir estas obras e apresentar as suas características mais significativas. Os principais elementos envolvidos no processo de acostagem são:

a) BERÇO - local onde os navios podem atracar e realizar o processo de carga e descarga de mercadorias e/ou passageiros com segurança;
b) CAIS - um ou mais berços ao longo da costa (embora a costa possa não estar mais com as características originais);
c) PIER (PLATAFORMA) - estrutura que avança para dentro d'água, geralmente com berços de ambos os lados (e com possibilidade de atracação também na extremidade oposta à costa);
d) DOLFIM - são estruturas destinadas à atracação ou à amarração dos navios, durante o tempo de permanência no berço;
e) DEFENSA - são acessórios empregados para proteção das embarcações, das obras de acostagem e/ou absorção de energia durante as manobras de atracação e desatracação e enquanto as embarcações estiverem atracadas.

A figura a seguir mostra as configurações típicas de um cais de plataforma contínua, um pier e um terminal para granéis fluidos, onde são mostrados os componentes acima citados.



De acordo com o tipo de estrutura, as obras acostáveis podem ser: em ESTRUTURA CONTÍNUA ou em ESTRUTURA DISCRETA. As estruturas contínuas constituem os cais e as plataformas (*pier* ou *finger*). No caso dos elementos discretos, os equipamentos e plataformas são isolados, cada um deles com estrutura própria e cumprindo uma função específica. Na figura anterior (terminal para granéis fluidos) é possível identificar os diversos elementos de uma estrutura discreta. Esta configuração é, de maneira geral, interessante, pois reduz o vulto das obras em relação às estruturas contínuas. Sua implantação, no entanto, depende diretamente do tipo de equipamento de carga e descarga utilizado.

8.1 BERÇOS

O elemento básico de operação portuária a ser considerado no arranjo geral é o berço. É constituído pela área de atracação destinada ao navio de projeto e instalação de movimentação de cargas, e geralmente inclui a estrutura de acostagem e amarração, plataformas de movimentação, vias de circulação, armazéns, pátios e equipamentos diversos.

Os berços podem se apresentar isolados ou em sequência, conforme a natureza e o volume de carga a ser movimentado. Levando em consideração o aspecto fundamental da natureza da carga, os berços podem ser destinados ao atendimento de:

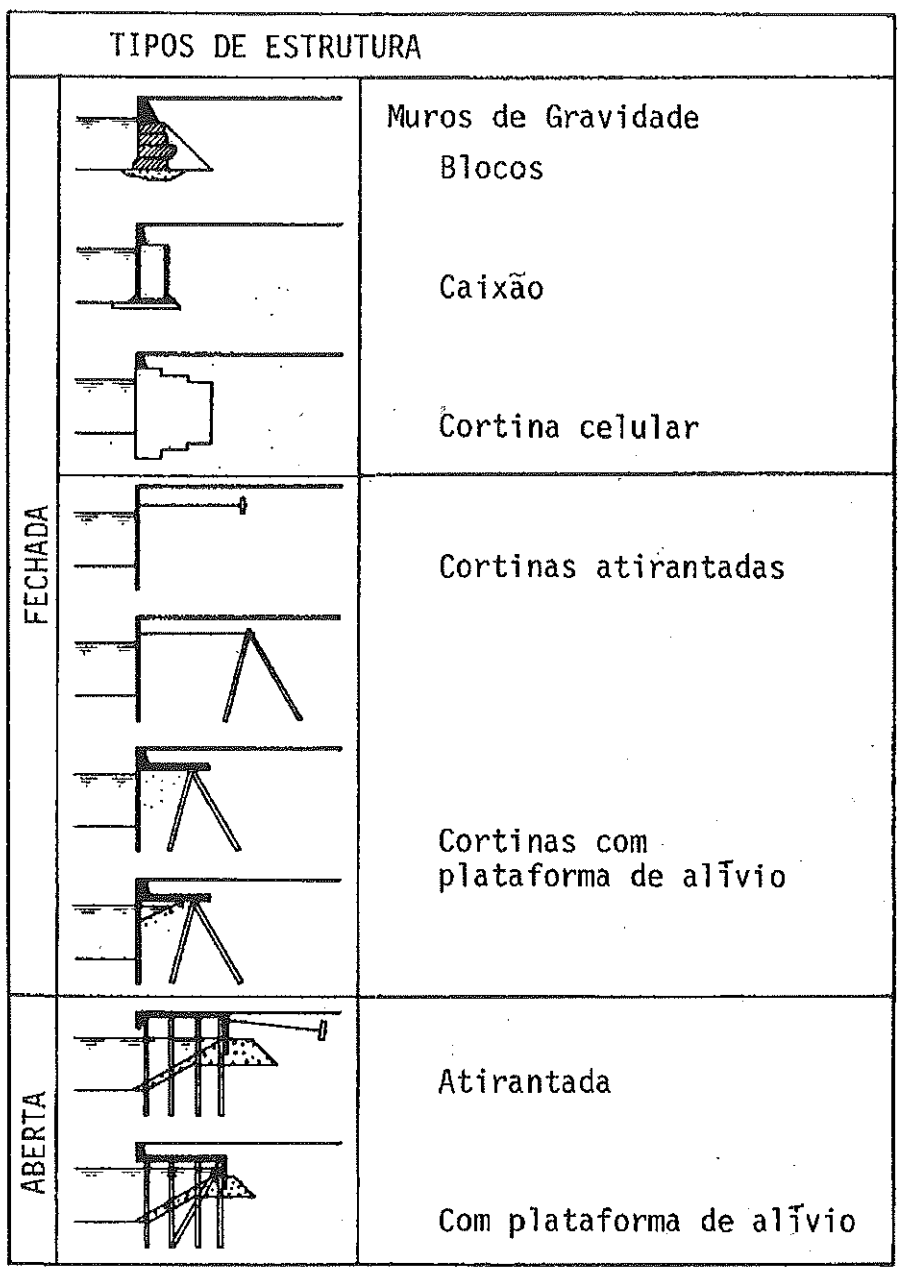
- Carga geral;
- Granéis sólidos;
- Granéis líquidos;
- Produtos siderúrgicos ou cargas pesadas;
- Contentores;
- Ro-ro;
- Cargas especiais;
- Passageiros;

É recomendável, para berços destinados à operação de carga geral, uma faixa de cais de 20 a 30 metros de largura. No caso de berços que utilizem somente os equipamentos de bordo, pode-se reduzir a largura da faixa do cais, desde que isto não interfira na operação de outros berços.

Os berços podem dispor ainda de trilhos para guindastes e vagões, sendo que o primeiro trilho de guindaste deverá estar situado, no mínimo, a 2 metros da borda do cais. No caso de berços de carga geral, os armazéns de 1ª linha são construídos imediatamente adjacentes à faixa do cais. Os equipamentos diversos, acima mencionados como complemento para os berços, devem fornecer água potável, água para combate a incêndios, energia elétrica e telecomunicações, além de instalações diversas para apoio administrativo.

8.2 CAIS

O cais é uma obra em ESTRUTURA CONTÍNUA, em que é utilizada uma cortina frontal que realiza a contenção do terreno onde o mesmo está localizado. Se esta cortina encontra-se junto a linha de dragagem, a obra é denominada cais de PARAMENTO FECHADO. Nos cais de PARAMENTO ABERTO, a cortina se encontra na retaguarda do cais (ou pode até mesmo não existir) e a superfície abaixo da plataforma é um talude. A figura a seguir mostra as diversas situações possíveis para estas estruturas.



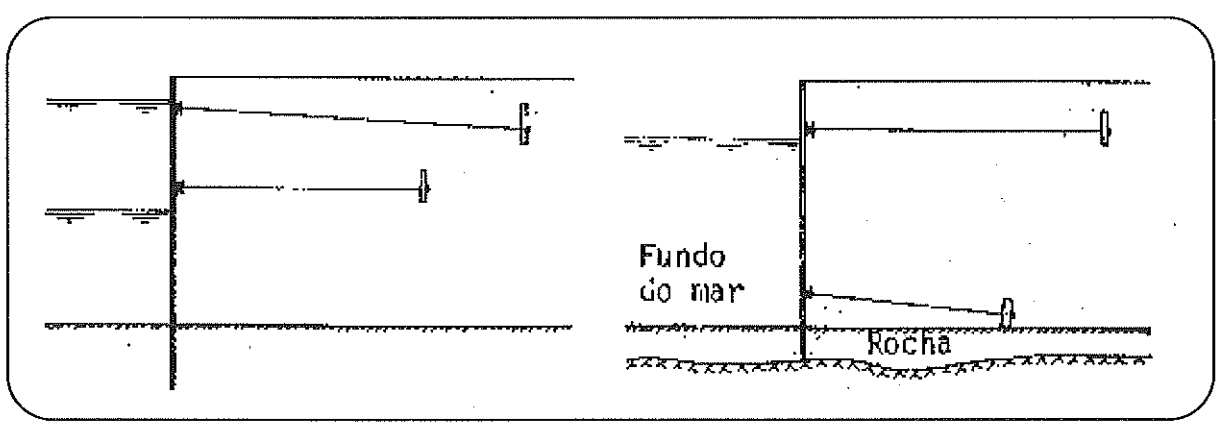
8.2.1 Estrutura de Paramento Fechado

As estruturas mais utilizadas na construção de cais são as de paramento fechado, pois seus arranjos são extremamente simples e freqüentemente apresentam menor custo. Podem ser utilizadas diversas técnicas construtivas, como é mostrado nos ítens a seguir.

8.2.1.1 Cortinas Atirantadas

O muro deve ser projetado para absorver os esforços do aterro da retaguarda, esforços estes que crescem com as cargas que são colocadas sobre o cais. Assim, é necessária, além da pressão contrária exercida pelo terreno do fundo do mar sobre o muro, a utilização de amarrações na parte superior. A ancoragem pode ser feita com estacas inclinadas ou com cabos de aço horizontais, presos a blocos ou estacas fixas. As estacas inclinadas são utilizadas, normalmente, para a construção de cortinas em frente a antigos cais, onde não é interessante demolir a estrutura existente para colocar novos cabos de amarração. Este tipo de ancoragem provoca, no entanto, consideráveis esforços verticais na cortina a ser construída.

Em certas situações, a ancoragem deve ser colocada em dois níveis: quando ocorre uma variação muito grande no nível das marés, e quando a penetração da cortina no fundo é limitada (pelo custo) por uma camada de rocha.



Se a penetração da cortina no fundo é menor, a pressão lateral do fundo do mar também o é, o que faz com que a força vertical aumente, resultando em maiores esforços no "pé" da cortina. Se a capacidade de suporte do solo abaixo da cortina não for capaz de absorver este esforço adicional, isto pode significar problemas de estabilidade no futuro. Os melhores solos para implantação de cortinas são a areia e o cascalho, embora isto não signifique que outros tipos de solo sejam inadequados. Algumas condições devem ser observadas para utilizar determinado solo na base da cortina, como, por exemplo, se a capacidade de suporte deste solo é capaz de absorver os esforços verticais que não são compensados pelo atrito entre a cortina e os solos

laterais. O cálculo de estabilidade não deve se limitar à análise da linha de ruptura formada entre a ancoragem e a base da cortina, mas deve considerar também a possibilidade de deslizamento horizontal de todo o conjunto sobre o solo (do fundo) de menor coesão. Outro aspecto que deve ser considerado é a existência de camadas de solo que possam se deformar, devido ao peso do aterro atrás da cortina e à retirada de solo, por dragagem, no lado do mar.

Outro esforço que a estrutura deve suportar é a pressão hidrostática, que ocorre sempre que o nível da água do mar desce, e o nível de água atrás da cortina se encontra mais elevado.

8.2.1.2 Cortinas com Plataforma de Alívio

São utilizadas quando o solo atrás do muro é muito fraco e, portanto, sujeito a recalques significativos ao ser solicitado por cargas maiores colocadas sobre o cais. Pode ser indicado ainda, quando for interessante aumentar o consumo de concreto e reduzir o de aço na estrutura. Este tipo de estrutura foi desenvolvido por Christiani & Nielsen, em 1946, e o seu princípio básico consiste em transferir parte do esforço do aterro atrás da cortina diretamente para camadas mais profundas e resistentes do solo, por meio de estacas.

Este tipo de estrutura pode apresentar duas características diferentes, como mostra a figura da página 8.4. A execução da obra que apresenta uma face inclinada abaixo da plataforma exige a utilização de estacas pré-moldadas ou, no caso de estacas moldadas *in loco*, o cuidado durante a concretagem para que a água do mar não atinja, nem as estacas, nem a laje do cais (que neste caso precisa ser sustentada por andaimes para a concretagem).

8.2.1.3 Muros de Gravidade

O muro de gravidade DE BLOCOS consiste em um conjunto de blocos de concreto, pré-moldados, empilhados e cobertos com concreto moldado no local. São obras de construção bastante simples e de grande durabilidade, e por este motivo, foram largamente empregados em todo o mundo. Hoje, no entanto, o seu alto custo vem fazendo com que sejam de emprego restrito, embora não seja uma técnica abandonada, em virtude das vantagens já mencionadas.

O princípio básico dos muros de blocos (ou de qualquer outro tipo de muro de gravidade) é que o seu peso próprio seja capaz de fazer com que a força resultante entre o peso do muro e a pressão do aterro atrás do mesmo passe pela base do muro, a uma distância tal da face externa, que faça com que esta força resultante seja transmitida para o solo do fundo. A base do muro deve ainda penetrar ligeiramente

no fundo, para assegurar que não haja deslizamento de todo o conjunto. Além disso, alguns blocos devem estar salientes para o lado do aterro, de tal forma que parte da força vertical deste aterro também colabore para a estabilidade da estrutura. O peso dos blocos pode variar de 40 a 125 ton, sendo que, blocos mais pesados (portanto maiores) implicam em um menor número de operações de locação, o que pode ser vantajoso, uma vez que estas operações envolvem uma equipe bastante sofisticada (inclusive com mergulhadores) e cara.

O solo do fundo não deve ser excessivamente deformável, pois o grande peso da estrutura costuma provocar recalques. Por este motivo, é conveniente, mesmo em solos de boa qualidade, aumentar o carregamento do muro (até mesmo com blocos que serão utilizados em outra parte da obra), antes da concretagem do piso do cais, para que sejam evitados recalques futuros.

O muro de CAIXÕES é uma técnica construtiva normalmente empregada em cais de pequena importância e, em particular, quando são construídos berços ao longo de quebra-mares. O princípio estático é o mesmo dos muros de blocos, podendo, neste caso, ser considerado como um único bloco. Este bloco não é maciço como os anteriores, sendo este constituído por paredes de concreto, em cujo interior é depositada areia. Os caixões devem ser assentes sobre uma camada de pedras, nivelada com o auxílio de mergulhadores. O solo de base deve ser de boa qualidade, pois um recalque pode abrir espaços entre os caixões, que levariam a uma fuga do aterro, provocando danos no piso do cais.

Outro tipo de muro de gravidade são as CORTINAS CELULARES, que são constituídas por diversas fileiras de estacas de aço, ocas, preenchidas com areia. Sobre a fileira frontal deve ser construído um coroamento em concreto armado, devendo, particularmente esta fileira, estar apoiada em solos firmes, para evitar recalques.

8.2.2 Estrutura de Paramento Aberto

Este tipo de estrutura é bastante difundido, em parte devido à grande flexibilidade na escolha do material a ser empregado: as estacas podem ser de aço, madeira, concreto armado ou protendido, enquanto que a plataforma é normalmente construída de concreto armado, pré-moldado ou moldado no local. O talude abaixo da plataforma deve ser construído antes das estacas, para evitar que o movimento de terra venha a causar esforços laterais não previstos sobre as mesmas. O espaçamento entre estacas e a largura da plataforma dependem das cargas a serem utilizadas sobre o cais, mas o projetista pode variar os diversos elementos (espessura e largura da laje, seção e espaçamento das estacas etc.), para obter a combinação de menor custo.

8.3 PIERS

Os piers podem apresentar três configurações básicas. A primeira configuração é chamada *FINGER*, e nada mais é que uma ponta que avança para o mar, normalmente com largura constante. As duas outras formas se assemelham às letras T e L.

Quanto à técnica construtiva, os piers podem ser de três tipos: pontas de aterro cercadas por cais, plataformas sobre estacas e plataformas flutuantes. O primeiro caso é apenas uma aplicação das técnicas já vistas para a construção dos cais.

A PLATAFORMA SOBRE ESTACAS é simplesmente uma laje apoiada sobre pilares, sendo que a seção e o espaçamento das colunas e a largura e espessura da laje podem variar bastante, assim como os materiais empregados. A principal vantagem deste tipo de estrutura está no menor custo, em relação às estruturas maciças. Além disso, esta técnica construtiva evita o fenômeno de reflexão das ondas.

O princípio estático da plataforma sobre estacas é bastante simples: o peso próprio da estrutura e as cargas que atuam sobre o conjunto devem ser distribuídas sobre a laje, transferidas para as estacas e, destas, para as camadas de solo nas quais estão apoiadas. Um problema para o conjunto são as cargas horizontais provocadas pelos navios, que devem ser transmitidas para o solo através das colunas. Dependendo das características das estacas, tais como número, seção transversal, condições das fundações e outras, é possível resistir aos impactos horizontais, apenas com estacas verticais. Em certas circunstâncias, no entanto, devem ser empregadas algumas estacas inclinadas, dispostas transversalmente nas extremidades do pier, para absorver os impactos dos navios, os quais podem causar torção em toda a estrutura. Além disso, devem também ser colocadas estacas inclinadas no sentido longitudinal da plataforma, próximo ao centro da mesma.

A importância das forças horizontais nos piers faz com que as defensas se constituam em parte fundamental da estrutura, o que não ocorre com tanta intensidade nos cais, onde os impactos dos navios podem ser transmitidos mais facilmente para o solo.

Tanto o pier sobre estacas, como o cais com estrutura em paramento aberto devem possuir anteparos para impedir que embarcações muito baixas possam ficar ocultas sob a plataforma.

O terceiro tipo de estrutura utilizada em piers (PLATAFORMA FLUTUANTE), é completamente diferente dos anteriores, pois é uma peça que flutua como um navio, oscilando com a água. Esta alternativa é usada quando os solos são extremamente ruins ou quando a profundidade é muito elevada, tornando o custo das fundações muito alto. O pier flutuante pode também ser empregado quando o prazo

que se dispõe para a construção é limitado. A facilidade de construção destas estruturas se deve ao fato de serem construídas fora do local definitivo, o que agiliza o processo, mesmo considerando-se o tempo requerido para o deslocamento e a ancoragem.

Estas plataformas não apresentam largura inferior a 15 metros, e o seu comprimento irá variar com o número de navios que se pretende atender simultaneamente. De maneira geral, a plataforma não é construída com todo o seu comprimento, mas em partes menores, para facilitar o seu deslocamento até o local de instalação.

A ancoragem é feita normalmente por seis âncoras, embora teoricamente apenas quatro fossem necessárias. O comprimento das correntes destas âncoras é regulável e a sua disposição deve ser tal que não interfira na acostagem dos navios.

8.4 DOLFINS

São normalmente usados em combinação com cais e piers, para reduzir o seu comprimento, ou em estruturas discretas. Podem ser destinados à atracação, quando são projetados para absorver o impacto dos navios, ou para amarração, quando sua única finalidade é ajudar a fixar a embarcação. Podem ser rígidos ou flexíveis e os materiais mais empregados são o aço, a madeira e o concreto. Grandes cilindros de aço e conjuntos de estacas de madeira ou de aço são usados para construir dolfins flexíveis, destinados principalmente à amarração.

Os dolfins de atracação são mais robustos, pelo fato de receberem o impacto dos navios. Se os navios são muito grandes, é comum a construção de plataformas de concreto coroando um conjunto de estacas, protegidas por defensas. A escolha da seção e a quantidade das estacas depende das cargas, da profundidade, condições do solo e do equipamento disponível.

8.5 DEFENSAS

A seleção das defensas a serem adotadas é difícil, devido à grande quantidade de tipos e materiais, e das diversas condições possíveis para cada local. A sua instalação é feita normalmente para atender às seguintes exigências:

- Evitar o contato direto entre o barco e o cais;
- Reduzir o risco de movimento do barco com as ondas;
- Absorver os impactos da atracação.

Os tipos mais usuais de defensas são aquelas construídas utilizando madeira, pneus, borracha, e pneumáticas, de gravidade, de estacas, mistas e artesanais.

As defensas de MADEIRA devem ser empregadas em obras de acostagem usadas por embarcações pequenas. As de PNEUS são destinadas a embarcações de pequeno e médio porte, e nada mais são que pneus usados, geralmente de caminhão, algumas vezes preenchidos com rolos de borracha. As de BORRACHA são peças prontas (cilíndricas, retangulares e outras), construídas especificamente para serem usadas como defensas. As defensas PNEUMÁTICAS se baseiam no princípio da absorção de energia pela compressão do ar contido em um reservatório, geralmente de borracha. O sistema de GRAVIDADE está baseado no princípio da absorção de energia através de um sistema de pesos, sob a ação do impacto da embarcação (de médio e grande porte).

Os sistemas de defensas de ESTACAS são estruturas constituídas por unidades isoladas ou grupos de estacas de madeira ou de aço, unidas no topo, e engastadas ou apoiadas no solo para absorver a energia de atracação por deformação elástica. Da associação de diversos dos materiais acima descritos resultam as estacas MISTAS: borracha com placas ou escudos metálicos revestidos com resina ou madeira (mais comuns), defensas sanfonadas de aço e borracha para embarcações de grande porte e outras. A última categoria compreende as defensas ARTESANAIS, que utilizam madeira, cordoalhas etc., e normalmente são empregadas para pequenas embarcações.

A elaboração do projeto das defensas deve considerar as condições de abrigo, ventos e correntes do local das obras de acostagem, bem como as dimensões e tipos das embarcações.

9 ESTRUTURAS E EQUIPAMENTOS PORTUÁRIOS (*)

O planejamento dos equipamentos de um porto é um processo que exige o conhecimento das operações a longo prazo e, por este motivo, atividade com razoável grau de incerteza. Até mesmo a construção dos elementos fixos dos portos envolve uma ampla gama de materiais (inclusive solos e rochas), sujeitos a ações extremamente variáveis provocadas pelas ondas, ventos, correntes etc.

A incerteza é, portanto, um elemento constante no projeto de novos portos, seja devido à impossibilidade de previsão total dos fenômenos naturais, seja pelas variações do tráfego de navios ou de veículos terrestres.

Se a probabilidade de ocorrência de fenômenos extremos não for considerada de forma bastante cuidadosa, o dimensionamento das obras pode permitir a ocorrência de alguns problemas, tais como a interrupção das operações de carga e descarga por ação das ondas, e alterações nas estruturas de proteção e obras de acostagem pela ação das ondas, correntes e ventos.

A alternativa ideal para minimizar os possíveis problemas provocados pelo desconhecimento do futuro, seria a construção de equipamentos capazes de enfrentar as piores condições possíveis, ou seja, aquelas cuja probabilidade de ocorrência é bastante remota. Esta alternativa é pouco interessante, pois, quando analisada do ponto de vista econômico, envolve custos muito elevados.

O dimensionamento das obras portuárias envolve, portanto, um equilíbrio entre as obras capazes de permitir boas condições de operação o maior tempo possível, e o menor custo, tanto para a construção destas obras, como para a sua manutenção.

Os principais elementos a serem considerados na análise do projeto, são:

- Nível d'água muito elevado, podendo provocar inundações e interrupção da operação no porto;
- Nível d'água muito baixo, podendo dificultar as manobras dentro do porto;
- Ventos muito fortes;

---

* O conteúdo deste capítulo foi extraído de AGERSCHOU, Hans et alii. PLANNING AND DESIGN OF PORTS AND MARINE TERMINALS. Brisbane, Wiley-Interscience, 1983. 320 p.

- Correntes muito fortes;
- Ondas muito violentas, podendo provocar danos às obras externas e dificuldades de operação.

Em uma análise mais abrangente, o projeto de um novo porto deve buscar o equilíbrio entre os custos envolvidos na sua construção e a economia que a sua operação pode trazer para o país ou região.

9.1 DIMENSIONAMENTO GERAL DE UM PORTO

O dimensionamento geral dos portos era feito, no passado, de forma empírica, sem considerar os efeitos provenientes do tamanho do porto, ou seja, do número de berços disponíveis. Era comum utilizar-se, no dimensionamento de um berço para operação com carga geral, uma capacidade anual de 100 a 150 mil toneladas, ou de 50 a 100 mil contentores, no caso de um berço específico para este fim. Este critério ignora que, em um porto com poucos berços, o custo de espera dos navios pode ser maior que o custo de construir mais berços.

Também o dimensionamento dos equipamentos de carga e descarga deve tentar otimizar os custos totais, comparando, de um lado o capital adicional para construção e os custos de operação e manutenção de muitos equipamentos e, de outro, os benefícios decorrentes de uma redução no tempo de carga e descarga, da redução nos custos de carga e descarga, bem como dos danos que podem ocorrer à carga.

O processo que permite otimizar os diversos componentes do sistema (berços, equipamentos de carga e descarga, instalações para armazenagem, navios e modos de transporte terrestre) envolve o uso de simulações, geralmente efetuadas com o auxílio de computadores.

9.1.1 Influência dos Navios

O tamanho e as características gerais de um navio podem influir de forma decisiva no dimensionamento de um porto. Hoje, a preocupação com este fato não se restringe às características atuais, mas às perspectivas para o futuro. As tendências de especialização e crescimento das dimensões das embarcações, já citadas no primeiro capítulo destas notas, exigem portos com condições específicas para atender de forma adequada a estes navios.

As principais características dos navios, que influem no dimensionamento de portos, bem como os aspectos dos portos sobre os quais exercem esta influência, são:

a) PRINCIPAIS DIMENSÕES
   - Comprimento - influi no dimensionamento dos berços, cais e piers, além das dimensões dos canais de navegação (dentro da área abrigada);
   - Boca - influi no tamanho dos equipamentos de carga e descarga e nas dimensões do canal de navegação;
   - Calado - influi na profundidade dos berços e dos canais de navegação;

b) CAPACIDADE DE CARGA DO NAVIO - define a área mínima para armazenagem das cargas destinadas ao navio e a taxa de carga e descarga dos equipamentos do porto;

c) EQUIPAMENTOS DE CARGA E DESCARGA DO NAVIO (guindastes e bombas) - influi no dimensionamento dos equipamentos de carga e descarga do porto;

d) TIPO DE CARGA QUE TRANSPORTA - as diferentes condições de carga e descarga exigem equipamentos apropriados e áreas de estocagem também específicas nos portos;

e) CARACTERÍSTICAS DE LOCOMOÇÃO, ESTRUTURAIS E DE FORMA - influenciam no dimensionamento dos berços e no sistema de defensas, bem como nas condições gerais de acostagem e amarração;

f) EQUIPAMENTO DE AMARRAÇÃO - influencia nas estruturas de acostagem e amarração;

g) CONDIÇÕES DE MANOBRABILIDADE A BAIXAS VELOCIDADES - influi nas dimensões do canal de navegação, podendo exigir a previsão de rebocadores.

9.1.2 Sistemas de Armazenagem e Carga e Descarga

Estes sistemas variam de acordo com a característica da carga que o navio transporta, como foi mencionado no capítulo anterior, ao serem analisadas as características dos berços. Cada terminal apresenta, no entanto, além dos berços, algumas instalações que são mais adequadas a um determinado fim. Os berços para carga geral, por exemplo, exigem uma grande área em terra, adjacente ao cais, ao longo de toda a extensão do navio, em virtude da operação de carga e descarga ser feita perpendicularmente à embarcação e da necessidade de armazenagem próxima, pois os custos de transporte horizontal são bastante elevados.

O exemplo oposto seriam os navios-tanque, que realizam as operações de carga e descarga através de um único ponto, no centro da embarcação, o que exige a construção de uma pequena plataforma, na qual se apoia o equipamento de carga. As estruturas para atracação devem, neste caso, estar isoladas, como foi visto no capítulo anterior, ao serem mencionadas as obras descontínuas ou discretas. Adicionalmente, a área destinada à estocagem do produto não precisa localizar-se muito próxima, uma vez que o transporte pode ser efetuado sem custos muito elevados, através de dutos.

De maneira geral, as instalações e equipamentos devem atender a maior gama possível de finalidades, dispondo de grande flexibilidade para operar com diferentes sistemas, exceção feita para aqueles extremamente especializados. A

implantação de sistemas especializados só se justifica quando houver clara tendência de operação com uma só característica por um período de tempo longo.

O peso, a distribuição das cargas, o tamanho e a capacidade de manobra dos equipamentos de carga e descarga influenciam diretamente no projeto de estruturas, fundações e pavimentos. Da mesma forma, as estruturas já existentes influenciam na escolha dos equipamentos de carga e descarga, bem como nas áreas destinadas à estocagem.

A tendência atual é que os espaços destinados aos pátios de cais e áreas de estocagem continuem crescendo cada vez mais. Nos ítens a seguir são analisados aspectos diversos de alguns tipos de terminais especializados.

9.2 TERMINAIS PARA CARGA GERAL

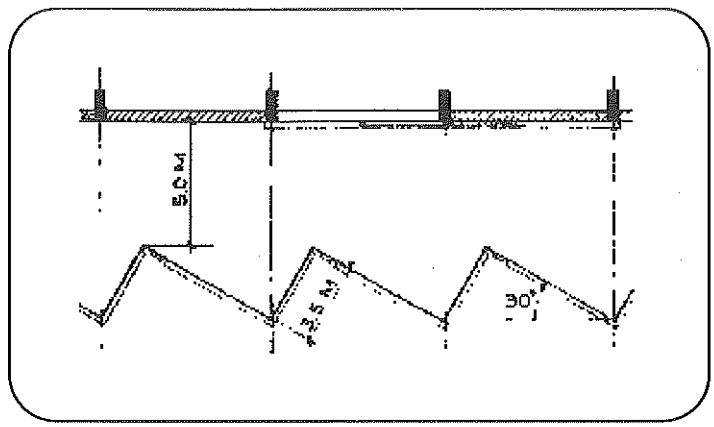
A elevação mínima para o piso dos cais destinados à carga geral deve prever a combinação entre a maior maré e as maiores ondas possíveis na região, mesmo que estas ondas sejam raras (muitas vezes, nem mesmo uma por ano). É importante lembrar que a elevação do piso do cais ao máximo significa um investimento maior, que deve ser sempre comparado com os custos que podem advir de inundações, e das conseqüentes interrupções de operação e danos nos equipamentos por elas provocados.

Em termos gerais, o pátio junto ao cais deve apresentar uma largura entre 20 e 40 metros, a área de armazenagem uma largura entre 40 e 60 metros, e as áreas de acesso para rodovias e ferrovias entre 20 e 30 metros, o que faz com que a área total a partir do cais tenha entre 80 e 130 de largura. As larguras destas áreas podem estar sujeitas à restrições, tais como indisponibilidade de aterro, declividades acentuados e outras, que podem elevar consideravelmente os custos de construção.

As dimensões dos armazéns cobertos junto aos cais dependem, principalmente, do comprimento dos berços, da área descoberta para armazenagem e dos equipamentos de carga e descarga. Como os armazéns nem sempre podem ser construídos sem pilares internos (o custo as vezes não é vantajoso), é importante prevenir acidentes, construindo obstáculos que impeçam que os equipamentos de carga e descarga possam chocar-se diretamente com os pilares. Outro aspecto que deve ser observado para impedir acidentes é a adoção de medidas de fiscalização (pois neste caso os obstáculos poderiam atrapalhar demais a operação), no sentido de impedir que as cargas sejam diretamente encostadas nas paredes, que normalmente não são projetadas para este fim.

Os armazéns que recebem caminhões devem dispor de uma plataforma externa, de preferência com vagas dispostas em ângulo de 30^{o}. Essa disposição permite o carregamento, tanto pela parte posterior, como pelo lado esquerdo. A figura

a seguir mostra a plataforma para caminhões, com as principais dimensões, e uma porta de correr, cuja largura deve estar entre 5 e 6 metros, e cuja altura não deve ser inferior a 5 metros.



Nas áreas para armazenagem descobertas só podem ser previstas cargas que não se deteriorem sob a ação do vento, sol, chuva etc., e que não possam ser roubadas facilmente. Normalmente são armazenados nestas áreas, automóveis, caminhões, minério, aço etc. O dimensionamento das áreas necessárias é semelhante para as áreas descobertas e para os armazéns, embora as primeiras permitam maior flexibilidade de utilização.

A pavimentação nestas áreas de operação está sujeita ao contacto com produtos químicos e derivados de petróleo, o que pode promover um rápida deterioração dos pisos revestidos com produtos betuminosos. Sob este aspecto, a pavimentação em concreto é mais indicada, pois é resistente a esses produtos. Por outro lado, apresenta rachaduras e depressões quando o aterro sofre recalque, o que dificulta a operação de equipamentos com pequenas rodas. Os pisos de material betuminoso são os mais fáceis e baratos de consertar.

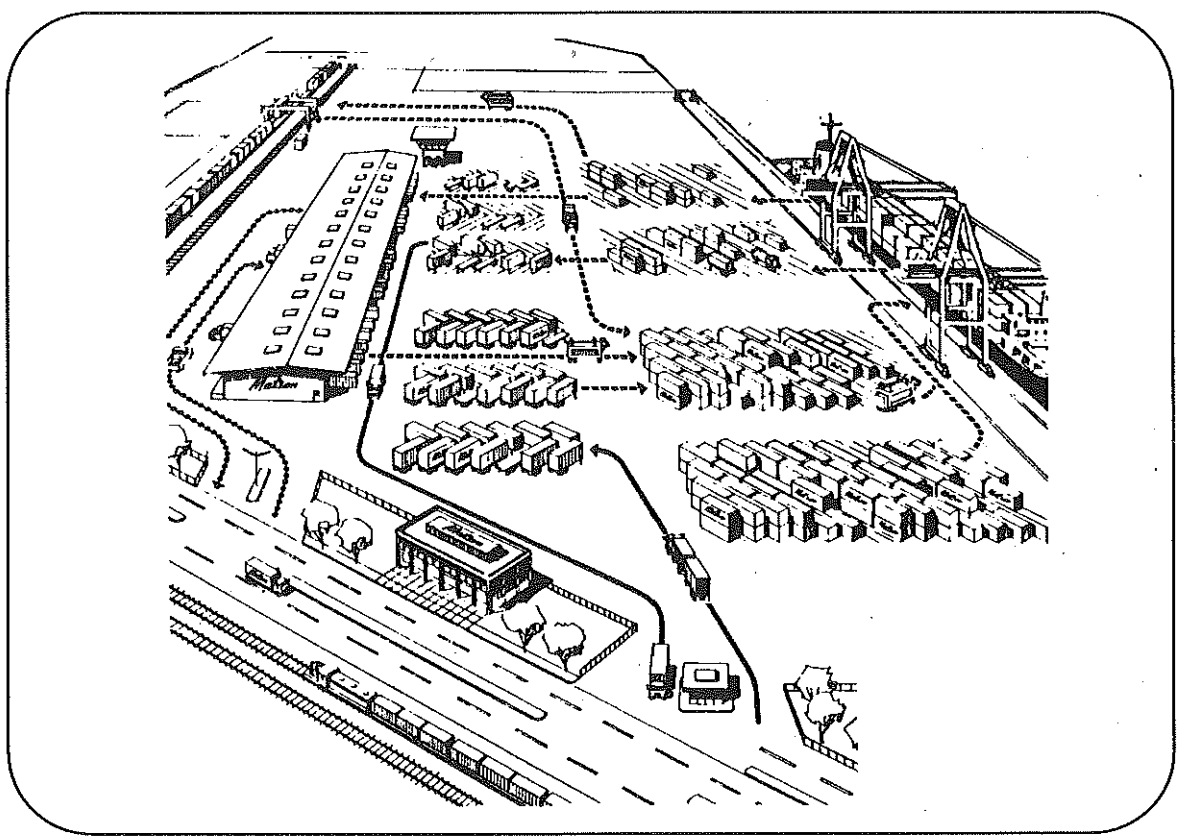
A combinação ideal dos equipamentos de carga e descarga (guindastes, empilhadeiras, tratores e trailers) pode ser determinada simulando-se os movimentos e os respectivos tempos, de forma a otimizar o sistema. De maneira geral, os sistemas não devem ser planejados de forma que um equipamento dependa diretamente de outros para operar. A carga deve ser deslocada diretamente para o solo por um equipamento, e de lá apanhada por outro, sem uma operação direta entre os dois.

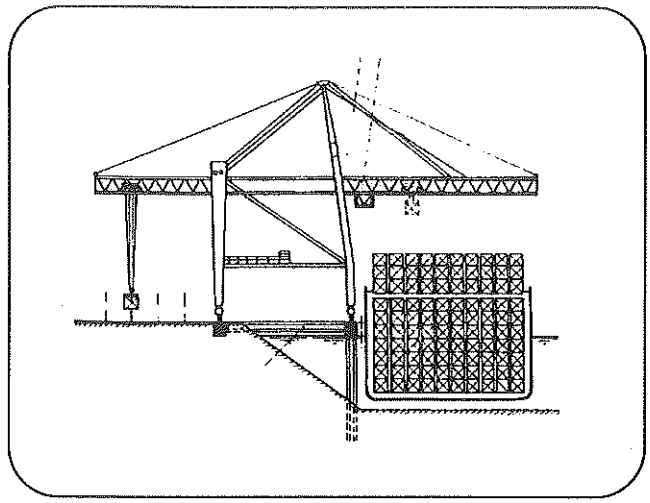
Os equipamentos de carga e descarga são específicos para três fases diferentes da operação: do navio para o pátio (guindastes dos navios ou do porto, sobre pneus ou trilhos); do pátio para a área de armazenagem (empilhadeiras e tratores) e dentro das áreas de estocagem (empilhadeiras, transpaleteiras etc.).

9.3 TERMINAIS DE CONTAINERS

A utilização de containers teve início nos anos 50, nos Estados Unidos, por iniciativa de uma empresa que operava com transporte terrestre e marítimo. Os terminais portuários para containers são justamente os elos entre os trechos marítimo e terrestre, e onde se supõe que os cofres permanecerão pouco tempo, até que sejam despachados para seguir viagem no novo trecho, seja por mar ou por terra. Para tal, nas operações internacionais, é necessário que as vistorias da alfândega sejam feitas no destino final dos produtos, fora da área do terminal. Quando esta vistoria ocorre no próprio terminal, a suposta vantagem de rapidez de operação (com tempo de armazenagem baixo) é extremamente reduzida, embora ainda exista a vantagem da carga estar mais protegida, no caso de eventuais acidentes.

A figura a seguir mostra as características gerais de um terminal de containers. Um tipo de guindaste que realiza o embarque e desembarque pode ser visto com mais detalhes na figura da página seguinte, onde é mostrada uma estrutura de cais própria para operação com containers.

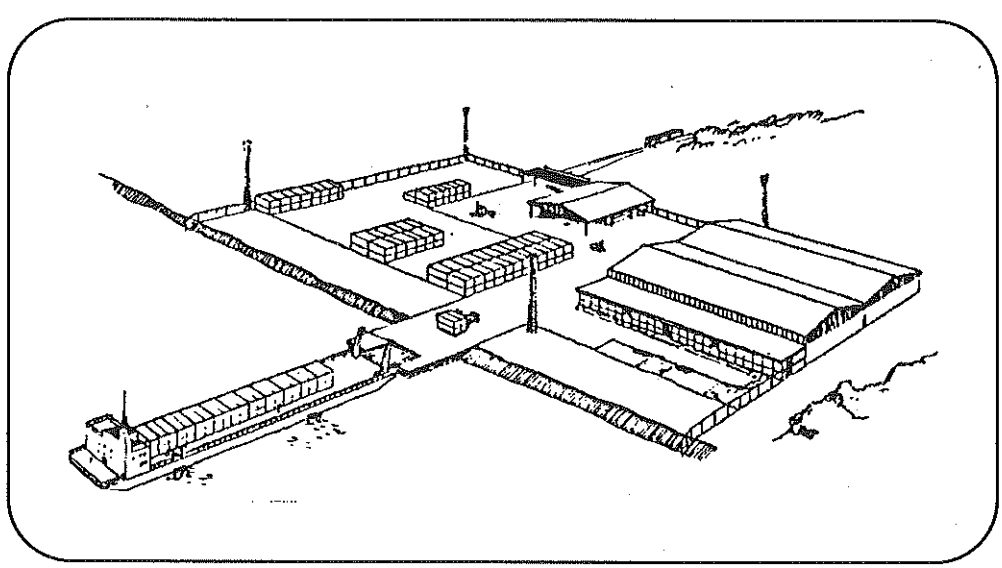




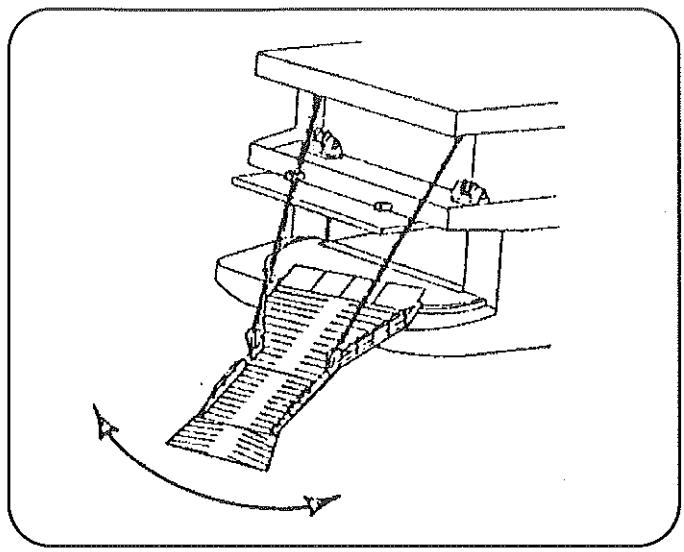
Os terminais de containers normalmente têm uma área de pátio ao longo de todo o comprimento do navio, embora isto não seja tão importante quanto para os berços específicos de carga geral. A largura do pátio junto ao cais é determinada pelo tamanho de guindaste empregado. Entre os guindastes e a área de estocagem deve ser prevista uma via para os equipamentos móveis de transporte horizontal. O tamanho da área para armazenagem depende, principalmente, da altura de estocagem, das áreas exigidas para acesso aos containers e do tempo médio de permanência da carga no terminal.

9.4 TERMINAIS RO-RO

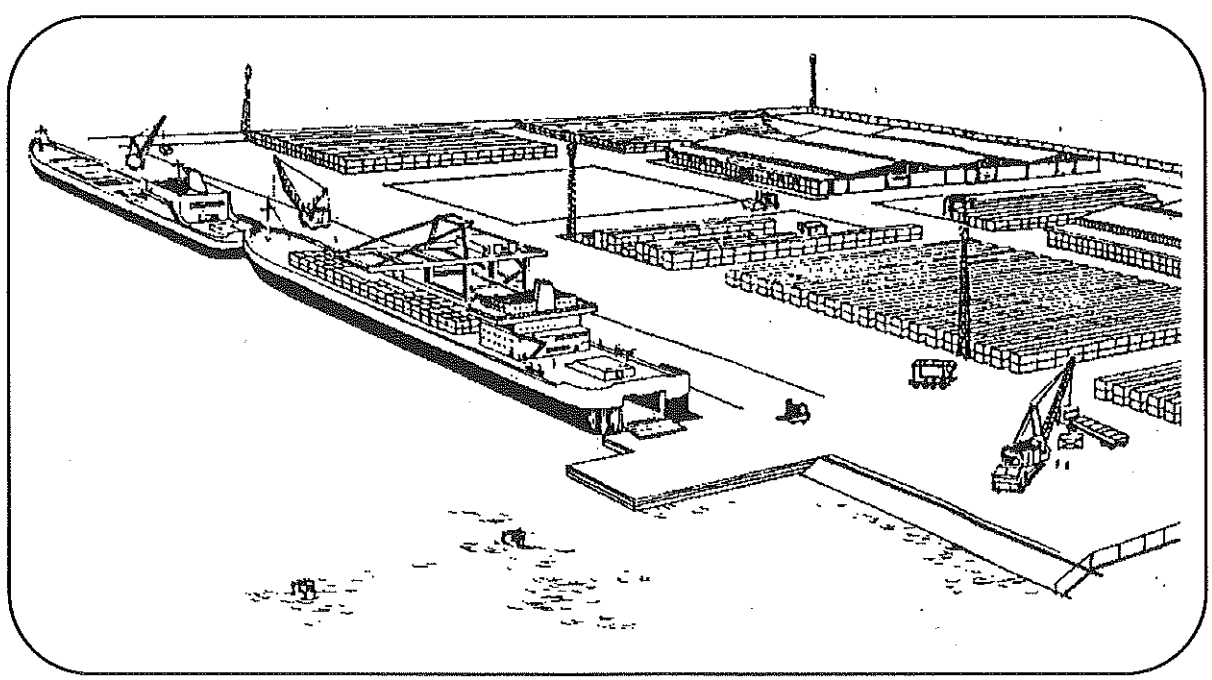
A conversão de berços existentes para uso por embarcações com o sistema Ro-Ro é bastante simples e não muito cara. Mesmo a construção de berços exclusivamente para este tipo de operação não é cara para condições de variação de maré não muito grandes, e considerando que o navio possa ficar atracado em dolfins, em posição perpendicular ao cais, como mostra a figura abaixo.



Alguns navios possuem rampas que permitem a utilização de berços convencionais, em que o navio fica atracado ao longo do cais. Estes navios tanto podem possuir portas laterais, como na parte posterior, em ângulo.



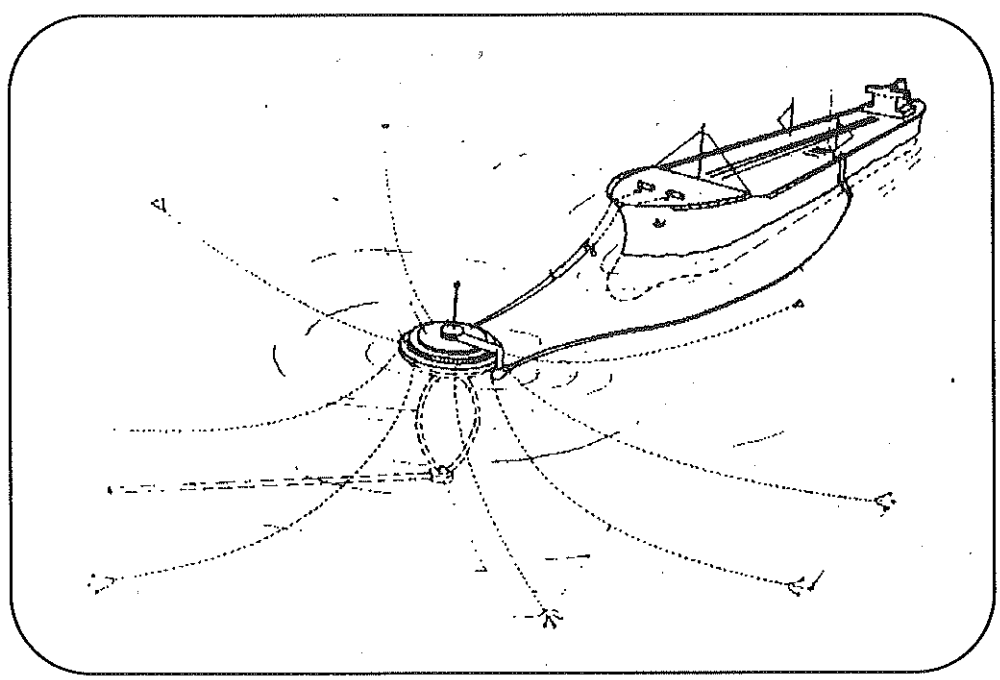
Navios que não possuem suas próprias rampas exigem algumas condições especiais. No caso de navios com aberturas laterais, é bastante simples a instalação de rampas junto ao cais. Quando a abertura é na parte posterior do navio, no entanto, é necessária a construção de uma plataforma perpendicular ao cais para permitir o desembarque das cargas, como mostra a figura a seguir. É interessante verificar que, neste caso, a carga e descarga do navio também pode ser feita lateralmente, por meio de guindastes.



9.5 TERMINAIS PARA CARGAS LÍQUIDAS

A maior parte dos produtos líquidos transportados por navio é constituída por petróleo e seus derivados, razão pela qual os terminais de carga líquida mais encontrados em todo o mundo são destinados a estes produtos. A transferência do produto do navio para os reservatórios, e vice-versa, é feita através de dutos, o que permite que os reservatórios em terra fiquem afastados da costa. A única restrição que se faz à distância é relativa ao descarregamento dos navios. Nesta operação, o próprio navio bombeia o óleo para os depósitos, o que limita a altura e a distância dos mesmos. Em alguns casos (geralmente para distâncias superiores a 5 km e desníveis acima de 20 m, em relação ao nível do mar), é necessária a instalação de um equipamento auxiliar, em terra, o que deve ser evitado, devido a possibilidade de interrupções na operação (eventuais quebras).

O berço convencional para navios com carga líquida é aquele mostrado na figura da página 9.2. Em algumas circunstâncias, estes navios operam em instalações *offshore*, como a mostrada na figura abaixo, onde a bóia de atracação é ancorada e dela parte o duto para o local de armazenagem da carga.



9.6 TERMINAIS PARA CARGAS SECAS

Existem diversos tipos de cargas secas, que podem ser agrupadas em quatro grandes grupos: minerais, carvão, grãos (cereais) e outros (cimento etc.). O minério de ferro responde sozinho por cerca de 45 % do total de cargas secas transportadas. Dependendo da quantidade transportada através do porto, pode ser interessante reservar um ou mais berços exclusivamente para este tipo de carga.

O transporte horizontal de grãos é freqüentemente realizado através de esteiras transportadoras. Como estas esteiras podem atrapalhar o trânsito de veículos que movimentam outros tipos de carga, é conveniente que a área de estocagem seja bem próxima do berço correspondente. Isto deve ser cuidadosamente avaliado, no entanto, pois pode provocar alguns problemas para a estrutura do cais, devido ao considerável esforço adicional que produz.

9.7 OUTROS TERMINAIS

Alguns outros terminais nâo foram aqui descritos, mas também podem ser extremamente interessantes em determinadas condições. Um destes casos é o terminal para uso específico dos navios LASH, onde a principal exigência da instalação é que a região seja protegida de ondas e correntes. Outros casos dignos de nota são as barcaças para transporte de veículos e/ou de passageiros, ambas com serviço regular, podendo ser caracterizadas até mesmo como modo de transporte "urbano" (ou metropolitano), como é o caso da ligação Rio de Janeiro-Niterói.

O que se observa, finalmente, é que a tendência de especialização do transporte marítimo deve estimular cada vez mais a criação de terminais para uso exclusivo de um tipo de carga, sempre que isto se mostrar economicamente interessante.

BIBLIOGRAFIA BÁSICA

AGERSCHOU, Hans et alii. ***Planning and design of ports and marine terminals.*** Brisbane, Wiley-Interscience, 1983. 320 p.

ALMEIDA, Carlos Eduardo. ***Obras de transposição de desnível em barragens de aproveitamentos múltiplos***. Tese de Cátedra. São Paulo, EPUSP, 1968.

ALMEIDA, Carlos Eduardo. ***Marés***. Notas de Aula. São Paulo, EPUSP.

ALMEIDA, Carlos Eduardo. ***Correntes marítimas***. Notas de Aula. São Paulo, EPUSP.

ALMEIDA, Carlos Eduardo & BRIGHETTI, Giorgio. ***Navegação interior e portos marítimos***. Notas de Aula - Fascículos I e II. São Paulo, EPUSP.

ASCE. ***Journal of harbors and coastal engineering division***.

AWA. ***The big load afloat***. AWA. Washington, 1973.

BANDINI, Alfredo. ***Hidráulica fluvial***. Publicação nº 20. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 1958. 138 p.

BASCOM, Willard. ***Waves and beaches***. 2 ed. New York, Doubleday, 1980. 366 p.

CHAPON, Jean. ***Travaux maritimes***. Vols. I e II. Paris, Eyrolles, 1974.

GOMES, Carlos R. Caminha. ***Direito comercial marítimo***. Rio de Janeiro, Rio, 1978, 940 p.

MASON, Jayme. ***Obras portuárias***. Rio de Janeiro, Campus, 1981. 282 p.

NOVAES, Antonio Galvão. ***Economia e tecnologia do transporte marítimo***. Rio de Janeiro, Almeida Neves, 1976. 159 p.

PORTOBRAS. ***Anais do I Seminário Nacional de Hidrovias***. Curitiba, 1981.

PORTOS E NAVIOS. Revista de circulação nacional. Rio de Janeiro, Rio, 1970 - 1994.

QUINN, A. F. ***Design and construction of ports and maritime structures***. McGrawHill, 1961.

VERAS JR., Milton Spencer. ***Portos, rios e canais***. Vols. I, II, III e IV. São Paulo, Escola de Engenharia Mauá, 1974.

WRIGHT, Paul H. & ASHFORD, Norman J. ***Transportation engineering - planning and design***. 3 ed. New York, John Wiley & Sons, 1989.