

**MINISTÉRIO DA DEFESA
EXÉRCITO BRASILEIRO
SECRETARIA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES**

MONIQUE DELGADO MEIRELES TEIXEIRA

**INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS GEOMORFOLÓGICOS E
HIDRÁULICOS NA NAVEGABILIDADE FLUVIAL**

Rio de Janeiro

2006

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

MONIQUE DELGADO MEIRELES TEIXEIRA

**INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS GEOMORFOLÓGICOS E
HIDRÁULICOS NA NAVEGABILIDADE FLUVIAL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia de Transportes.

Orientadores: Prof. José Carlos César Amorim - Dr.Ing e Prof. Marco Aurélio Chaves Ferro - D.Sc.

Rio de Janeiro

2006

c2006

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

Praça General Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha

Rio de Janeiro – RJ CEP: 222290-270

Este exemplar é de propriedade do Instituto Militar de Engenharia, que poderá incluí-lo em base de dados, armazenar em computador, microfilmear ou adotar qualquer forma de arquivamento.

É permitida a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos expressos neste trabalho são de responsabilidade do(s) autor(es) e do(s) orientador(es).

T266 Teixeira, Monique Delgado Meireles
Influência dos parâmetros geomorfológicos e
hidráulicos na navegabilidade fluvial / Monique Delgado
Meireles Teixeira – Rio de Janeiro: Instituto Militar de
Engenharia, 2006.

199 p.: il., tab.

Dissertação (mestrado) – Instituto Militar de
Engenharia – Rio de Janeiro, 2006.

1. Transporte Aquaviário. 2. Parâmetros Geomorfológicos
e Hidráulicos. 3. Navegabilidade Fluvial. I. Título. II.
Instituto Militar de Engenharia.

CDD 629.048

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

MONIQUE DELGADO MEIRELES TEIXEIRA

**INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS GEOMORFOLÓGICOS E
HIDRÁULICOS NA NAVEGABILIDADE FLUVIAL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia de Transportes.

Orientadores: Prof. José Carlos César Amorim - Dr.Ing e Prof. Maj QEM Marco Aurélio Chaves Ferro - D.Sc.

Aprovada em 24 de fevereiro de 2006 pela seguinte Banca Examinadora:

Prof. José Carlos César Amorim - Dr.Ing do IME - Presidente

Prof. Maj QEM Marco Aurélio Chaves Ferro – D.Sc. do IME

Prof. Cap QEM José Renato Moreira da Silva de Oliveira – D.Sc. do IME

Prof.^a Susana Beatriz Vinzon – D. Sc. da COPPE/UFRJ

Rio de Janeiro

2006

Dedico este trabalho àqueles que mais me apoiaram, em todos os aspectos, para a minha realização profissional, acreditando no meu potencial e torcendo por este sucesso: aos meus amados pais, Amadeu e Deusarina.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por tudo que me proporcionou até hoje e pela força que me leva a alcançar meus objetivos e ser feliz no caminho do bem.

Ao IME, pelo curso de Mestrado em Engenharia de Transportes e pelas pessoas maravilhosas que conheci nesta instituição.

À CAPES, pelo fomento à pesquisa.

À AHIMOR, na pessoa do Sr. Geroncio Dias Filho, que me disponibilizou dados importantes e estudos de navegabilidade para complementar esta dissertação.

Ao professor Amorim, pela orientação neste trabalho e por tudo o que ela representa, também por me dar a oportunidade de participar e apresentar meu trabalho no congresso da SOBENA, em Belém.

Ao Major Ferro, pela orientação e cooperação nas diversas etapas deste trabalho, sempre me apoiando e incentivando a seguir em frente com seu otimismo e determinação.

Aos professores Cap. José Renato e Susana Vinzon, pela disponibilidade em participar da banca examinadora.

Ao professor Hito Moraes, da UFPA, que me estimulou a gostar cada vez mais do estudo do transporte aquaviário, o que culminou neste mestrado.

Ao professor Dr. Pedro Silva, pela disponibilidade de material da USP e pela sua própria tese de doutorado, que subsidiou bastante a minha pesquisa.

Ao professor Cap. Sandro Filippo, pela amizade e ajuda na elaboração da proposta de tese, sempre se mostrando uma pessoa acessível e solidária.

A todos os professores da PG Transportes do IME, em especial Cristina Sinay, José Bustamante e Silveira Lopes, que passaram seus ensinamentos nas diversas disciplinas de créditos e, além disso, ajudaram bastante no processo da dissertação.

A todos os meus colegas de turma nestes dois anos de IME, em especial à Gleicy, Herlander, Rodolfo e Fernando, pelos momentos de descontração, em meio ao stress do trabalho.

Aos colegas da turma de 2005 deste mestrado, em especial à Denise, Danilo, Erblai e Giuseppe, pelos almoços e conversas animadas, sempre sendo companhias agradáveis.

À Dona Lucinda, com seu jeito especial de ser, cuidando da limpeza e dos lanchinhos desta pós-graduação, pessoa que apesar das agruras da vida, está sempre disposta a ajudar os outros.

Ao Sgt D'Alencar, Sgt Oazem, Agnaldo e André Medeiros, pela simpatia e profissionalismo na prestação de serviços na secretaria da PG Transportes.

À Cristina Oliveira, que se mostrou uma amiga muito leal no fim desta dissertação, me dando força e acreditando no meu potencial.

À amiga Iva, que dividiu o apartamento comigo por um tempo e foi uma irmã para mim, sempre dando conselhos construtivos e até aprendi a cozinhar com ela.

À Paróquia Santo Antônio dos Pobres, na pessoa do seminarista Wallace Neto, que me impulsionou a estar cada vez mais próxima de Deus, incentivando-me a participar do serviço na Igreja.

À pessoa especial que conheci na época da minha proposta de tese, Allan Diogo, que apareceu em minha vida no momento em que eu mais precisava, sempre me dando força com a palavra de Deus, por todo seu amor, cuidado e dedicação, cativando não só a mim, como toda a minha família.

Aos parentes e amigos que me acolheram de braços abertos no Rio de Janeiro, em especial à Marli Martins, minha segunda mãe.

À minha família de Minas, em especial meus tios Maria e Ubiracy e minha avó paterna Valentina Teixeira.

À minha família de Belém, meus tios Jurandir e Bena, minhas tias Luza e Deusuith, meus primos, que estão sempre torcendo pelo meu sucesso, em especial, minha avó materna, Raimunda Meireles.

Ao meu avô materno, Raimundo Meireles (*in memoriam*), que sempre foi muito carinhoso comigo, se orgulhando com meu desempenho nos estudos e sei que ainda está me protegendo lá de cima.

Principalmente, às pessoas mais importantes pra mim, meus pais Amadeu e Deusarina, responsáveis pela pessoa que sou e por tudo que alcancei até hoje, a eles devo minha vida.

A todas as pessoas que não foram citadas nesses agradecimentos, mas que de certa forma, contribuíram para essa realização.

“Quem não pode fazer grandes coisas, faça ao menos o que estiver na medida de suas forças, certamente não ficará sem recompensa.”

SANTO ANTÔNIO

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	12	
LISTA DE TABELAS	15	
LISTA DE SIGLAS.....	16	
1	INTRODUÇÃO	20
1.1	Considerações Iniciais.....	20
1.2	Objetivo.....	21
1.3	Justificativa e Relevância.....	21
1.4	Estruturação do Trabalho	24
2	SISTEMA DE TRANSPORTE AQUAVIÁRIO BRASILEIRO	25
2.1	Considerações Iniciais.....	25
2.2	Bacias Hidrográficas Brasileiras	26
2.2.1	Bacia Amazônica	28
2.2.2	Bacia do Tocantins e Araguaia	30
2.2.3	Bacia do Nordeste	31
2.2.4	Bacia do São Francisco.....	33
2.2.5	Bacia do Paraguai	34
2.2.6	Bacia do Tietê e Paraná	37
2.2.7	Bacia do Leste.....	39
2.2.8	Bacia do Sul.....	41
2.3	Administrações Hidroviárias Brasileiras.....	42
2.3.1	Administração das Hidrovias da Amazônia Ocidental - AHIMOC	44
2.3.2	Administração das Hidrovias da Amazônia Oriental - AHIMOR.....	48
2.3.3	Administração das Hidrovias do Nordeste - AHINOR.....	49
2.3.4	Administração das Hidrovias do Tocantins e Araguaia - AHITAR	50
2.3.5	Administração da Hidrovia do São Francisco - AHSFRA.....	51
2.3.6	Administração da Hidrovia do Paraguai - AHIPAR	51

2.3.7	Administração da Hidrovia do Paraná - AHRANA	53
2.3.8	Administração das Hidrovias do Sul - AHSUL	56
2.4	Principais Hidrovias Brasileiras.....	57
2.4.1	Hidrovia do Madeira.....	58
2.4.2	Hidrovia do São Francisco.....	59
2.4.3	Hidrovia Tocantins-Araguaia.....	62
2.4.4	Hidrovia Tietê-Paraná.....	64
2.4.5	Hidrovia Paraguai-Paraná.....	65
3	PARÂMETROS GEOMORFOLÓGICOS E HIDRÁULICOS QUE INFLUENCIAM A NAVEGABILIDADE FLUVIAL	67
3.1	Considerações Iniciais.....	67
3.2	Parâmetros Geomorfológicos das Bacias Hidrográficas.....	71
3.2.1	Estado da Arte da Geomorfologia Fluvial	71
3.2.2	Identificação e Descrição dos Parâmetros Geomorfológicos.....	75
3.2.2.1	Velocidade da Corrente	77
3.2.2.2	Propriedades Físicas dos Sedimentos	78
3.2.2.3	Variação da Vazão do Rio	81
3.2.2.4	Existência de "Acidentes" no Curso do Rio	81
3.3	Parâmetros Hidráulicos de Rios para Navegabilidade.....	82
3.3.1	Estado da Arte da Hidráulica Fluvial.....	82
3.3.2	Identificação e Descrição dos Parâmetros Hidráulicos.....	88
3.3.2.1	Transporte de Sedimentos – Curva-Chave e Distribuição das Tensões na Fronteira	92
3.3.2.2	Transporte de Sedimentos, Início do Movimento, Conformações de Fundo, Rugosidade	99
3.3.2.3	Transporte de Sedimentos, Arrastamento de Fundo e em Suspensão	102
4	ESTUDOS DE NAVEGABILIDADE DE RIOS BASEADOS NOS PARÂMETROS GEOMORFOLÓGICOS E HIDRÁULICOS	107
4.1	Considerações Iniciais.....	107

4.2	As Vias.....	113
4.3	Navegabilidade e Impactos Ambientais.....	115
4.4	Estudo de Navegabilidade dos Rios Araguaia-Tocantins, Trecho Tucuruí-Marabá.....	118
4.5	Estudo de Navegabilidade do Rio Capim	119
4.6	Estudo de Navegabilidade do Rio Branco, Trecho - A Cidade de Caracaraí (RR) e sua Foz no Rio Negro.....	123
4.7	Estudo de Navegabilidade do Rio Tocantins, Trecho Imperatriz-Tucuruí	126
4.8	Conclusões Parciais	127
5	TÉCNICAS DE MELHORAMENTO DA NAVEGABILIDADE EM RIOS	128
5.1	Considerações Iniciais	128
5.2	Tipos de Obras Hidráulicas.....	130
5.2.1	Gerais ou de Normalização	130
5.2.1.1	Desobstrução e Limpeza	130
5.2.1.2	Limitação dos Leitos de Inundação	131
5.2.1.3	Fechamento de Braços Secundários.....	131
5.2.1.4	Proteção das Margens.....	132
5.2.1.4.1	Proteção de Margem Direta ou Contínua	134
5.2.1.4.2	Proteção de Margem Indireta ou Descontínua	149
5.2.1	Retificação de Rios Meandrantés	153
5.2.2	Regularização dos Leitos.....	156
5.2.3	Derrocamento	158
5.2.4	Dragagem	162
5.2.4.1	Tipos de Dragas	165
5.2.4.1.1	Dragas Mecânicas	165
5.2.4.1.2	Dragas Hidráulicas	171
5.2.5	Canais Artificiais	177
5.2.6	Obras de Canalização dos Cursos D'água.....	179

6	PROCEDIMENTO PROPOSTO PARA SUBSIDIAR O ESTUDO DE NAVEGABILIDADE EM RIOS	181
6.1	Considerações Iniciais	181
6.2	Desenvolvimento e Implantação do Procedimento.....	181
6.3	Conclusões Parciais	189
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	190
7.1	Conclusões	190
7.2	Recomendações.....	192
8	BIBLIOGRAFIA.....	193

LISTA DE FIGURAS

FIG 1.1	A Matriz de Transporte no Brasil.....	23
FIG 2.1	Bacias Hidrográficas Brasileiras.....	26
FIG 2.2	Bacia Amazônica.....	29
FIG 2.3	Bacia do Tocantins-Araguaia.....	31
FIG 2.4	Bacia do Nordeste.....	32
FIG 2.5	Bacia do São Francisco.....	34
FIG 2.6	Bacia do Paraguai.....	37
FIG 2.7	Bacia do Tietê-Paraná.....	39
FIG 2.8	Bacia do Leste.....	40
FIG 2.9	Bacia do Sul.....	42
FIG 2.10	Administrações Hidroviárias Brasileiras.....	43
FIG 2.11	Principais Hidrovias Brasileiras.....	57
FIG 2.12	Hidrovia Madeira.....	59
FIG 2.13	Hidrovia São Francisco.....	62
FIG 2.14	Hidrovia Tocantins-Araguaia.....	63
FIG 2.15	Hidrovia Tietê-Paraná.....	65
FIG 2.16	Hidrovia Paraguai-Paraná.....	66
FIG 3.1	Evolução do perfil longitudinal e estabelecimento de um perfil de equilíbrio.....	69
FIG 3.2	Tipos de Transporte de Sedimentos em um rio.....	75
FIG 3.3	Evolução de um meandro divagante.....	76
FIG 3.4	Seções transversais de cursos d'água com características diferentes.....	78
FIG 3.5	Diagrama de Hjulstrom.....	79
FIG 3.6	Perfil longitudinal de um rio, evidenciando uma seleção granulométrica.....	80
FIG 3.7	Meandro abandonado ou "braço morto".....	82
FIG 3.8	Esquema de formação de depósitos de sedimentos nos reservatórios.....	96

FIG 3.9	Diagrama de Shields.....	100
FIG 3.10	Conformações de fundo dos leitos móveis.....	102
FIG 3.11	Distribuições verticais de concentração de sedimentos em suspensão que podem ocorrer numa corrente líquida.....	103
FIG 3.12	Esquema ilustrativo do transporte sólido efetivo numa dada seção, em função da dimensão característica dos sedimentos.....	104
FIG 5.1	Escavação com draga de arrasto.....	135
FIG 5.2	Proteção Direta – Faxinas: obras de proteção de margens.....	137
FIG 5.3	Proteção Direta – Enrocamentos com pedras: arrumadas e lançadas.....	139
FIG 5.4	Proteção Direta – Localização do <i>Filtro de Transição</i> no revestimento da margem.....	140
FIG 5.5	Proteção Direta – Colchão Reno – Enchimento do colchão Reno na obra.....	141
FIG 5.6	Proteção Direta – Proteção de margem taludada: pé com bolsacreto e talude com módulos têxteis Colchacreto A-15.....	142
FIG 5.7	Proteção Direta – Bolsacreto – Especificação técnica.....	143
FIG 5.8	Proteção Direta – Sistema Eco-Estrutural Pneumático – Muro de Contenção.....	144
FIG 5.9	Desmatamento e variação esquemática da estabilidade de taludes e encostas.....	146
FIG 5.10	Exemplo de obra de sustentação.....	149
FIG 5.11	Exemplo de espigão.....	150
FIG 5.12	Exemplos de diques.....	151
FIG 5.13	Retificação do trecho meandrante do rio – <i>novo traçado</i>	155
FIG 5.14	Regularização dos leitos – Disposição em planta dos diques e espigões.....	158
FIG 5.15	Derrocamento típico.....	159
FIG 5.16	Dragagem de um curso d’água.....	163
FIG 5.17	Draga Escavadeira.....	167
FIG 5.18	Draga Escavadeira Ambiorix pertencente à Ballast Ham Dredging...	167
FIG 5.19	Draga de Alcatruzes.....	168
FIG 5.20	Draga de Alcatruzes pertencente à Ballast Ham Dredging.....	169

FIG 5.21	Draga de Caçamba.....	170
FIG 5.22	Caçambas do tipo Clam Shell.....	170
FIG 5.23	Dragas de Caçamba Labor e Magri, ambas pertencentes à Ballast Ham Dredging.....	170
FIG 5.24	Draga Auto-Transportadora Auto-Propelida.....	172
FIG 5.25	Draga Auto-Transportadora pertencente à Dragaport.....	173
FIG 5.26	Draga de Sucção e Recalque.....	174
FIG 5.27	Operação de uma Draga de Sucção e Recalque – vista superior.....	175
FIG 5.28	Draga Aspiradora.....	176
FIG 5.29	Dragas de Lança.....	177
FIG 5.30	Exemplo de obras de canalização do curso d'água.....	180
FIG 6.1	Fluxograma das obras hidráulicas e seus efeitos no curso d'água...	185

LISTA DE TABELAS

TAB 1.1	Custos relacionados aos Modais de Transporte.....	22
TAB 1.2	Quantidade Anual de Carga Transportada por Modalidade de Transporte (em milhões).....	23
TAB 2.1	Rede Hidroviária Brasileira.....	27
TAB 3.1	Quadro Resumo da História da Geomorfologia.....	72
TAB 3.2	Hidráulicos notáveis e suas contribuições.....	87
TAB 3.3	Dados sobre erosão.....	94
TAB 3.4	Estimativa de quantidade de sedimentos transportados.....	106
TAB 4.1	Raios de Curvatura x Velocidade.....	111
TAB 5.1	Tipos de Geossintéticos.....	147
TAB 6.1	Procedimento Proposto para o Estudo de Navegabilidade em Rios.	183

LISTA DE SIGLAS

AHIMOC	Administração das Hidrovias da Amazônia Ocidental
AHIMOR	Administração das Hidrovias da Amazônia Oriental
AHINOR	Administração das Hidrovias do Nordeste
AHIPAR	Administração da Hidrovia do Paraguai
AHITAR	Administração das Hidrovias do Tocantins e Araguaia
AHRANA	Administração da Hidrovia do Paraná
AHSFRA	Administração da Hidrovia do São Francisco
AHSUL	Administração das Hidrovias do Sul
ANA	Agência Nacional de Águas
CDP	Companhia Docas do Pará
CENAT	Comissão Executiva para a Navegação do Tietê-Paraná
CESP	Companhia Energética de São Paulo
CIBPU	Comissão Interestadual da Bacia do Paraná-Uruguaí
CIH	Comitê Intergubernamental de la Hidrovia Paraguay-Paraná
CODEBA	Companhia Docas do Estado da Bahia
CODESP	Companhia Docas do Estado de São Paulo
CODOMAR	Companhia Docas do Maranhão
CONSTRUSERV	Sistemas de Controle de Erosão e Comércio LTDA
COPEL	Companhia Petroquímica do Sul
DHI	Departamento de Hidrovias Interiores
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil
DNIT	Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes
DNPVN	Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis
DNTA	Departamento Nacional de Transportes Aquaviários
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
FRANAVE	Companhia de Navegação do São Francisco
GEIPOP	Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

PNT	Programa Nacional de Transportes
PORTOBRÁS	Empresa Brasileira de Portos S/A
RIMA	Relatório de Impacto sobre o Meio Ambiente
SENAF	Serviço de Navegação Fluvial
SNT	Secretaria Nacional de Transportes
SOBENA	Sociedade Brasileira de Engenharia Naval
USACE	U. S. Army Corp of Engineers

RESUMO

O presente trabalho tem o objetivo de apresentar subsídios para o estudo da navegabilidade de rios. Para tal, foram discutidos os principais parâmetros geomorfológicos e hidráulicos que afetam a navegabilidade, associados, ou não, às obras hidráulicas, buscando-se condições de navegação, segurança e garantia de tráfego, fornecendo à via condições de navegabilidade no maior período possível, de preferência durante todo o ano, inclusive na estiagem e na cheia.

Os principais parâmetros geomorfológicos são ligados à sedimentologia dos rios, transporte de sedimentos, drenagem das bacias, meandros e erosões. Com relação aos parâmetros hidráulicos, podem ser citados o regime de cheias e estiagem (fluviometria), perfil longitudinal do rio, seções transversais, largura, profundidade, sinuosidade, entre outros.

O conhecimento desses parâmetros foi fundamental para a caracterização das bacias e identificação dos problemas decorrentes da geomorfologia e da dinâmica dos rios, possibilitando gerar uma base de dados, onde o fator tempo também foi considerado para a obtenção de resultados confiáveis e mais próximos da realidade, já que na via fluvial podem ocorrer várias mudanças ao longo do tempo.

ABSTRACT

The present work has the objective to present subsidies for the study of the navigability of rivers. For such, the main geomorphologic and hydraulic parameters had been argued that affect the navigability, associates, or not, to the hydraulic structures, searching navigation conditions, security and guarantee of traffic, supplying to the way conditions of navigability in the biggest possible period, of preference during all the year, also in the dry season and the full one.

The main geomorphologic parameters are on to the sedimentology of the rivers, transport of sediments, draining of the basins, meanders and erosions. With relation to the hydraulic parameters, can be cited the dry season and flood regimen, longitudinal profile of the river, transversal sections, width, depth, sinuosity, among others.

The knowledge of these parameters was basic for the characterization of the basins and identification of the decurrently problems of the geomorphology and the dynamics of the rivers, making possible to generate a database, while the factor time was also considered for obtain quite results and close to the reality, since in the fluvial way some changes can occur along the time.

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A navegação fluvial é interna, ou seja, dá-se no interior do país e/ou interligação do continente, pois é a navegação praticada em rios, podendo haver transporte de qualquer carga com navios de todos os tipos e tamanhos, desde que a via navegável os comporte. (PADOVEZI, 2003)

Em tempos passados, quando a tecnologia não estava suficientemente desenvolvida, os rios eram utilizados exatamente no estado em que se encontravam, enquanto que as embarcações eram projetadas e fabricadas de forma a melhor aproveitar as características da via fluvial então disponível.

Segundo PADOVEZI (2003), o incremento do transporte aquaviário, principal forma de acesso a vastas regiões interiores ainda intocadas, levou a percepção das vantagens da realização de obras para melhorar as condições de navegação e a construção dos primeiros canais artificiais e barragens com eclusas para diminuir os esforços e os tempos necessários para os deslocamentos de cargas pelos rios.

Para aproveitar o imenso potencial hídrico ainda pouco explorado, o Brasil precisa de estudos de navegabilidade dos seus rios, fundamentados em fatores geomorfológicos e hidráulicos, com relevância nos efeitos destes na hidrovia, principalmente em seus trechos não-navegáveis.

1.2 OBJETIVO

Esta dissertação tem por objetivo a proposta de um procedimento, com base nos parâmetros geomorfológicos e hidráulicos, para subsidiar o estudo da navegabilidade de rios.

Para atingir este objetivo, pretende-se:

- Identificar as obras hidráulicas e seus efeitos no curso d'água, como atuam e para qual finalidade.
- Analisar os parâmetros geomorfológicos que afetam a navegabilidade, associados ou não à execução dessas obras.

1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

Ao contrário dos oceanos, a maioria dos rios apresenta dificuldades importantes para a sua utilização como via de transporte, principalmente quando se deseja operar com embarcações de grande porte. Os rios apresentam condições de navegabilidade diferentes ao longo do ano, enquanto que o oceano proporciona condições operacionais praticamente permanentes. Nos rios, geralmente, aparecem restrições de profundidade, trechos estreitos, curvas fechadas, que exigem cuidados especiais com os sistemas de propulsão e de manobras das embarcações.

Obviamente, várias restrições existentes em uma hidrovia podem ser eliminadas por obras. Devem ser realizados estudos para verificar as implicações de ordem econômica e ambiental, assim como para justificar a realização das obras que poderão contribuir para melhorar o desempenho das embarcações naquela hidrovia.

Derrocamentos e dragagens são as obras e intervenções mais comuns nos rios. Barragens com fins de geração de energia são obras que melhoram as condições de

navegação, desde que sejam garantidos os meios para sua transposição (geralmente, eclusas). Nos tempos atuais, onde se busca o aproveitamento múltiplo eficiente das águas, Lei 9.433/97, não há justificativas para a construção de barragens em rios navegáveis sem as eclusas correspondentes.

Excetuando os maiores rios da região amazônica, os demais rios brasileiros apresentam restrições físicas de alguma ordem, que podem, se não resolvidas, até inviabilizar a sua utilização como hidrovias para transporte de cargas. Na maior parte dos casos, contudo, são necessárias obras de pequeno porte para a transformação dos rios em hidrovias com garantia de determinado calado praticamente o ano todo. Em outros casos, as restrições existentes podem ser contornadas por soluções técnicas modernas e adequadas.

O transporte aquaviário é o mais econômico entre todos os modais. Além disso, comparado com os modais rodoviário e ferroviário, é pouco poluente, seguro, possui maior capacidade de carga e sua manutenção é menos onerosa. Estas características podem ser verificadas nos dados da tabela a seguir.

TAB 1.1 - Custos relacionados aos Modais de Transporte

Modais	Custo Médio de Construção (US\$/km)	Custo de Manutenção	Consumo de Combustível (Litros/ton/1000 km)	Custo de Frete (US\$/ton/1000 km)
Rodoviário	440.000	alto	96	34
Ferroviário	1.400.000	alto	10	21
Aquaviário	34.000	baixo	5	12

Fonte: Secretaria de Estado dos Transportes – 2002

Entretanto, o transporte aquaviário, com poucas exceções, é dependente de integrações multimodais eficientes para fazer valer as suas qualidades de baixo custo de transportes.

Apesar das vantagens apresentadas, a participação do modal aquaviário no transporte de carga ainda é pouco expressiva no Brasil, como mostram os dados da FIG 1.1 e da TAB 1.2 a seguir:

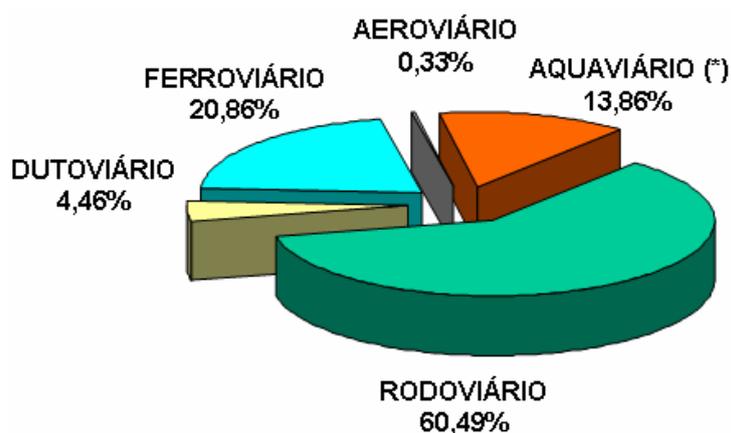


FIG 1.1 - A Matriz de Transporte no Brasil

Fonte: GEIPOT – 2001

(*) Inclui navegação interior, de cabotagem e de longo curso.

TAB 1.2 - Quantidade Anual de Carga Transportada por Modalidade de Transporte
(em milhões)

Modo de Transporte	1998		1999		2000	
	Qde	%	Qde	%	Qde	%
Aéreo	2173	0,3	2244	0,3	2432	0,3
Aquaviário	90444	11,5	94770	13,2	103390	13,9
Dutoviário	31609	3,8	33131	4,6	33246	4,5
Ferrovário	142446	20,7	140817	19,6	155590	20,9
Rodoviário	445795	63,7	447353	62,3	451370	60,5
TOTAL	712467	100	718315	100	746028	100

Fonte: GEIPOT - 2001

Um dos aspectos que colabora com a baixa utilização do modal é o estado precário dos cursos d'água para fins de navegação.

Quando se projetam hidrovias, buscam-se condições de navegação, segurança e garantia de tráfego, ou seja, a via deve oferecer condições de navegabilidade, se possível o ano inteiro, na época da cheia e também da estiagem. (AHITAR, 2004)

1.4 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho encontra-se dividido em 8 (oito) capítulos.

No Capítulo 1 (um) apresenta-se uma Introdução, o Objetivo, a Justificativa e a Estruturação do Trabalho.

No Capítulo 2 (dois) apresenta-se o Sistema de Transporte Aquaviário Brasileiro, seu início, sua evolução e a condição atual. Este capítulo ainda apresenta as bacias hidrográficas brasileiras, suas respectivas administrações hidroviárias e as principais hidrovias existentes no Brasil.

No Capítulo 3 (três) são identificados e caracterizados os parâmetros geomorfológicos e hidráulicos que influenciam a navegabilidade fluvial, através do seu estado da arte.

No Capítulo 4 (quatro) são analisados alguns estudos de navegabilidade de rios, baseados nos parâmetros geomorfológicos e hidráulicos já discutidos no capítulo anterior.

No Capítulo 5 (cinco) apresentam-se as diferentes técnicas de melhoramento da navegabilidade em rios, constando os tipos de obras hidráulicas e seus efeitos no curso d'água.

No Capítulo 6 (seis) expõe-se a proposta de um procedimento para subsidiar o estudo de navegabilidade fluvial.

No Capítulo 7 (sete) são feitas as conclusões e recomendações referentes ao trabalho realizado.

No Capítulo 8 (oito) estão listadas as referências bibliográficas consultadas no decorrer deste trabalho.

2 SISTEMA DE TRANSPORTE AQUAVIÁRIO BRASILEIRO

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

De acordo com a ANA – Agência Nacional de Águas (2002), uma singularidade natural condicionou o desenvolvimento do transporte aquaviário interior no Brasil: as regiões mais desenvolvidas não são servidas por rios que possam levar a navegação diretamente aos portos marítimos. É o que ocorre, por exemplo, nas regiões metropolitanas de São Paulo e Belo Horizonte, dentre outras. Essa situação condicionou por muito tempo o desenvolvimento da navegação interior e, de certa forma, contribuiu para a implantação da política rodoviária que tem prevalecido nas últimas décadas.

Por outro lado, na região hidrográfica do Amazonas, é essencial o papel exercido pela navegação, que é assegurada naturalmente pelas condições hidrográficas favoráveis da região, onde se encontram cerca de 19.000 km de hidrovias, destacando-se os rios Amazonas, Solimões, Negro, Branco, Madeira, Purus, Juruá, Japurá, Urucu, Trombetas, Jari, Tapajós, Xingu, Guamá e Capim.

O desenvolvimento da hidrovia é considerado estratégico como meio de tornar mais competitiva a participação do país no comércio internacional de grãos e outros produtos (minérios, etc.). Esse contexto inclui a implementação das hidrovias do Amazonas, Tietê-Paraná, Paraguai até Corumbá e Araguaia-Tocantins. Tais hidrovias serão tratadas detalhadamente nos próximos itens deste capítulo.

2.2 BACIAS HIDROGRÁFICAS BRASILEIRAS

Segundo o GEIPOT (2001), o Brasil conta, atualmente, com um sistema hidroviário distribuído por oito bacias: **Bacia Amazônica, Bacia do Tocantins e Araguaia, Bacia do Nordeste, Bacia do São Francisco, Bacia do Paraguai, Bacia do Tietê e Paraná, Bacia do Leste e Bacia do Sul**, representadas na FIG 2.1, a seguir.



FIG 2.1 - Bacias Hidrográficas Brasileiras

Fonte: Ministério dos Transportes – 2004

De acordo com o Ministério dos Transportes, conforme mostra a TAB 2.1, a rede hidroviária brasileira soma aproximadamente 42.000 km de rios navegáveis (25% deste total deixam de ser navegáveis nos períodos de seca), envolvendo, pelo menos, 16 hidrovias e 20 portos fluviais.

TAB 2.1 - Rede Hidroviária Brasileira

BACIA	ESTADOS	EXTENSÃO APROXIMADA/KM			RIOS
		NAVEGÁVEIS	POTENCIAIS	TOTAL*	
Amazônica	AM, PA, AC, RO, RR e AP	18.300	723,5	19.023	Amazonas, Solimões. Negro, Branco, Madeira, Purus, Juruá, Tapajós, Teles Pires, Juruena, Mamoré e Guaporé
Nordeste	MA e PI	1.740	2.975	4.715	Mearim, Pindaré, Itapecuru, Parnaíba e Balsas
Tocantins e Araguaia	TO, MA E GO	2.200	1.300	3.500	Tocantins, Araguaia e Mortes
São Francisco	MG, BA, PE e SE	1.400	2.700	4.100	São Francisco, Grande e Corrente
Leste	MG, ES e RJ	-	1.094	1.094	Doce, Paraíba do Sul e Jequitinhonha
Tietê e Paraná	SP, PR e SC	1.900	2.900	4.800	Paraná, Tietê, Paranaíba, Grande, Ivaí e Ivinhema
Paraguai	MT, MS e PR	1.280	1.815	3.095	Paraná, Cuiabá, Miranda, São Lourenço, Taquari e Iaurú
Sul	RS	600	700	1.300	Jacuí, Taquari, Lagoa dos Patos e Lagoa Mirim
Uruguai	RS e SC	-	1.200	1.200	Uruguai e Ibicuí
TOTAL		27.420	15.407,5	42.827,5	

Fonte: Ministério dos Transportes – 2004

2.2.1 BACIA AMAZÔNICA

- *Características*

Área aproximada em km²: 3.900.000

Estados Abrangidos: Amazonas, Acre, Rondônia, Roraima, Pará, Amapá e norte do Mato Grosso.

Principais Rios: Amazonas, Solimões, Juruá, Tefé, Purus, Madeira, Negro, Branco, Acre, Tapajós, Teles Pires, Xingu, Trombetas, Jari, Guaporé, Guamá, Capim e Pará.

- *Características Gerais do Transporte na Bacia*

Em função da carência de rodovias e abundância de rios navegáveis, o transporte hidroviário na Bacia Amazônica reveste-se de grande importância econômica e social sobre os mais diversos aspectos, desde o de subsistência, com o transporte de pequenas cargas e passageiros, até o de maior vulto, isto é, de cabotagem ou de longo curso, onde são utilizadas grandes embarcações e portos classificados como marítimos, como Vila do Conde e Manaus.

No tocante ao transporte de cargas, pode-se distinguir, primeiramente, o de pequenas cargas em grandes quantidades, que atende às necessidades das populações ribeirinhas, além daquele que é feito de forma unitizada em carretas e contêineres pelo sistema conhecido como “ro-ro caboclo”.

Já no transporte de graneis líquidos, destaca-se o de derivados de petróleo, que igualmente supre a população ribeirinha e o abastecimento de usinas termelétricas.

Quanto aos granéis sólidos, vem sendo objeto de incremento, em especial o transporte de grãos, como o realizado no rio Madeira pela Hermosa Navegação da Amazônia S/A, que transporta grãos da Chapada dos Parecis (MT), utilizando o rio Madeira para o escoamento dessa carga entre Porto Velho (RO) e Itacoatiara (AM), no rio Amazonas, de onde é exportado em navios de longo curso.

- *Administração das Hidrovias*

Para efeito de administração das vias navegáveis, a Bacia Amazônica foi dividida em Bacia Amazônica Oriental, de aproximadamente 1.500.000 km² e Bacia Amazônica Ocidental, de aproximadamente 2.900.000 km², cujos respectivos administradores são a AHIMOR e a AHIMOC.

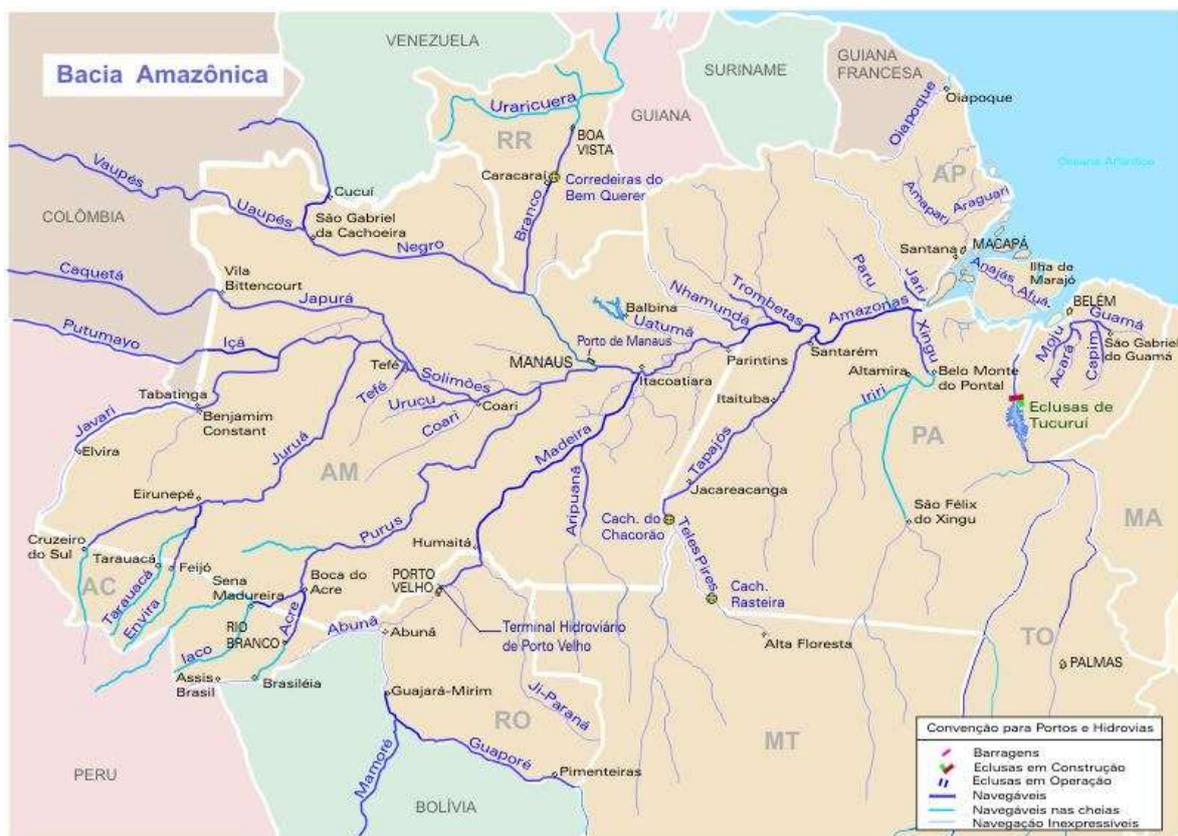


FIG 2.2 - Bacia Amazônica

Fonte: Ministério dos Transportes – 2004

2.2.2 BACIA DO TOCANTINS E ARAGUAIA

- *Características*

Área aproximada em km²: 767.000

Estados Abrangidos: Goiás, Mato Grosso, Pará, Maranhão e Tocantins.

Principais Rios: Tocantins, Araguaia e das Mortes.

Rios Considerados: Tocantins, Araguaia e das Mortes.

- *Características Gerais do Transporte na Bacia*

O transporte hidroviário só é possível durante seis meses por ano, devido aos impedimentos físicos (bancos de areia, pedrais e travessões). Os trechos para implantação definitiva da navegação encontram-se com sinalização e balizamento flutuante.

- *Outras Considerações*

A movimentação de cargas nas hidrovias do Tocantins e Araguaia é ainda incipiente uma vez que as condições de navegabilidade se estendem por curto período do ano e as obras necessárias para viabilizar a implantação definitiva da hidrovia estão hoje, na dependência do licenciamento ambiental, cujo processo teve início em maio de 1995, sendo protocolado o EIA/RIMA no IBAMA, em maio de 1999.

Com a emissão da licença prévia, terão início os trabalhos de adequação dos projetos às exigências dos órgãos responsáveis visando, inclusive, a implantação de

medidas mitigadoras e compensatórias, simultaneamente ao plano gestor do empreendedor.

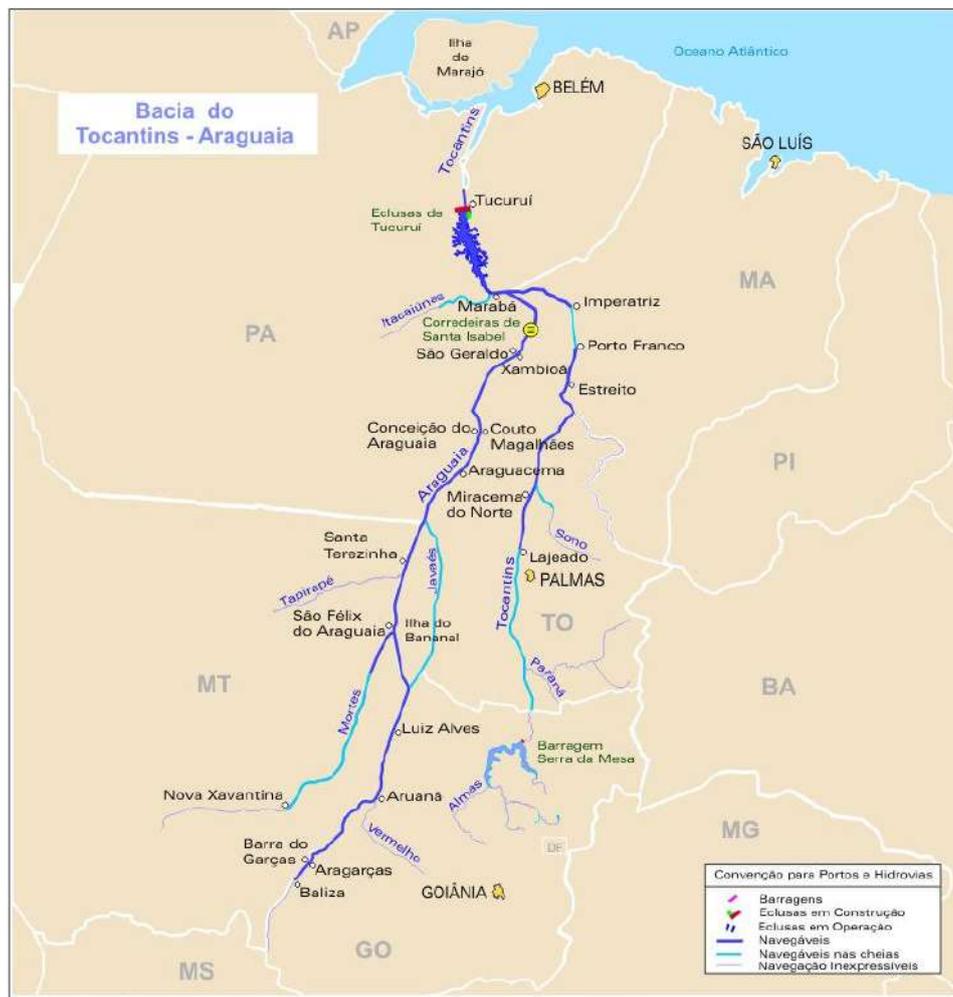


FIG 2.3 - Bacia do Tocantins-Araguaia
Fonte: Ministério dos Transportes – 2004

2.2.3 BACIA DO NORDESTE

- *Características*

Apesar de abranger considerável extensão territorial, a Bacia do Nordeste apresenta modesta hidrografia, com a maioria dos rios classificados como temporários à exceção dos rios maranhenses, que são quase todos perenes.

Cada um desses rios quase sempre constitui uma bacia própria e ao conjunto dessas bacias convencionou-se chamar Bacia do Nordeste. O transporte hidroviário na bacia caracteriza-se pelas cargas com perfil hidroviário, ou seja, de baixo valor agregado, destinadas, essencialmente, à economia de subsistência.

- *Hidrovias Consideradas*

Rio Parnaíba, rios estaduais (Gurupi, Turiacu, Pindaré, Mearim, Itapecuru, Peraiá, Maracaçumé, Pericumã) e rios da Baixada Ocidental Maranhense.

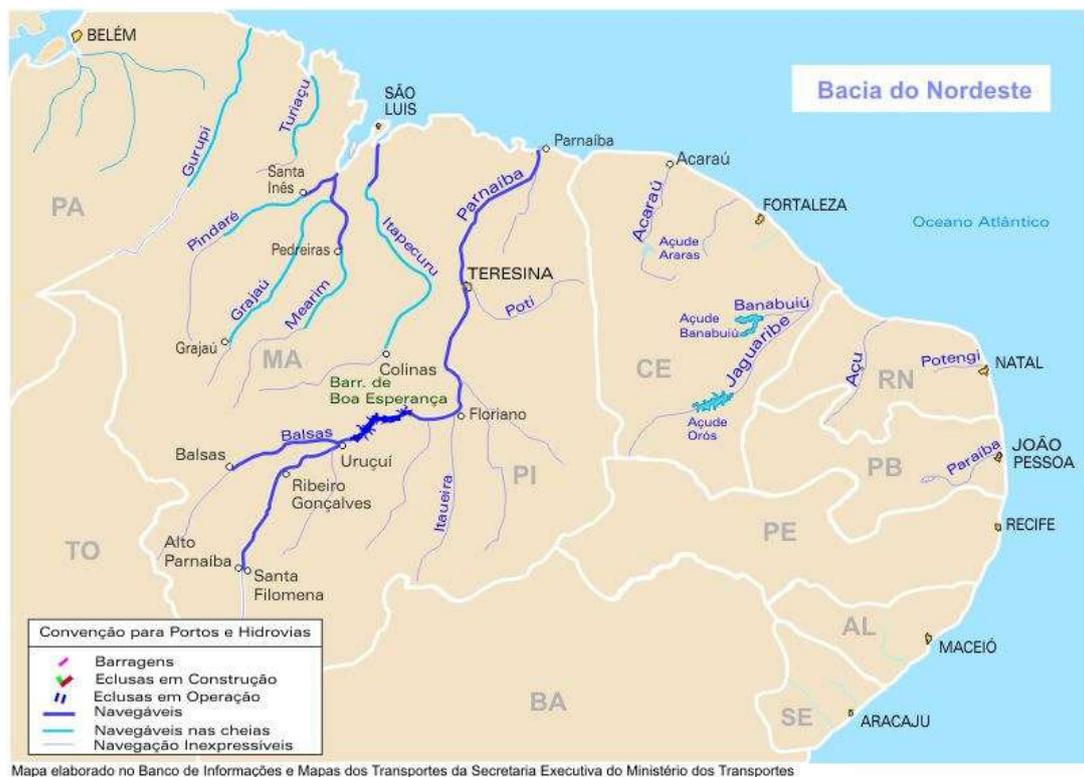


FIG 2.4 - Bacia do Nordeste

Fonte: Ministério dos Transportes – 2004

2.2.4 BACIA DO SÃO FRANCISCO

- *Características*

Área aproximada em km²: 641.000

Estados Abrangidos: Minas Gerais, Goiás, Distrito Federal, Bahia, Pernambuco, Alagoas e Sergipe.

Principais Rios: São Francisco, Paraopeba, Indaiá, Pará, Abaeté, das Velhas, Jequitaiá, Paracatu, Urucuia, Verde Grande, Carinhanha, Corrente e Grande.

Rios Considerados: São Francisco e Grande.

- *Características Gerais do Transporte na Bacia*

As cargas com perfil hidroviário, ou seja, aquelas que possuem baixo valor unitário, adequadas para serem transportadas em grandes volumes a longas distâncias, que são movimentadas na Bacia são: soja em grãos, milho, farelo de soja, gipsita e polpa de tomate.

O transporte é realizado pela FRANAVE (Companhia de Navegação do São Francisco), podendo ser utilizado comboio com empurrador e seis chatas, duas a duas, com 120 m de comprimento e 16 m de boca. Cada chata transporta 200 t, perfazendo um total de 1.200 t.

A SENAF (Serviço de Navegação Fluvial) possui dois empurradores e oito chatas com capacidade de 500 t cada. O comboio possui 120 m de comprimento e 22 m de boca, e capacidade de carga de 2.000 t. As embarcações do SENAF não estão sendo utilizadas atualmente.



FIG 2.5 - Bacia do São Francisco
 Fonte: Ministério dos Transportes – 2004

2.2.5 BACIA DO PARAGUAI

- *Características*

Área aproximada em km²: 2.700.000

Estados Abrangidos: Mato Grosso e Mato Grosso do Sul

Principais Rios: Jaurú, Cuiabá - São Lourenço, Taquari, Miranda, Apa, San Carlos, Aquidaban, Ypané, Monte Lindo, Jejui, Manduvirá, Confuso, Pilcomayo,

Tebicuary, Bermejo, Paraguai, Corrientes, Guayquiarro, Feliciano, Salado, Carcaraña, Gualeguay, Arrecifes e Paraná.

Rios Considerados: Paraguai e trecho internacional do Paraná a jusante da foz do Paraguai.

- *Características Gerais do Transporte na Bacia*

O rio Paraguai é um dos mais importantes rios de planície do Brasil, superado apenas pelo Amazonas. De sua nascente, na chapada dos Parecis, nas proximidades da cidade de Diamantino (MT), até sua confluência com o rio Paraná, na fronteira do Paraguai com a Argentina, ele percorre 2.621 km, sendo 1.683 km em território brasileiro. Os principais tributários do rio Paraguai são os rios Jauru, Cuiabá, São Lourenço, Piquiri, Taquari, Negro, Miranda, Aquidauana, Sepotuba e Apa.

A bacia do alto Paraguai possui uma área de 496.000 km², sendo 396.800 km² pertencentes ao Brasil e 99.000 km² ao Paraguai e Bolívia. Da porção brasileira, 207.249 km² pertencem ao Estado de Mato Grosso do Sul e 189.551 km² ao Mato Grosso. Desta área, 64% corresponde a planaltos e 36% ao Pantanal Matogrossense, uma extensa planície sedimentar, levemente ondulada, situada na região Centro-Oeste do Brasil. Com uma área de cerca de 17 milhões de hectares, o Pantanal abrange, além do Estado de Mato Grosso do Sul e parte do Mato Grosso, áreas menores na Bolívia e Paraguai. Ao norte, leste e sul, o Pantanal é limitado pelas terras altas dos planaltos Central e Meridional e a oeste pelo rio Paraguai, que, junto com 132 tributários principais, drena todo o sistema. Os períodos de seca (maio a setembro) e enchentes (outubro a março) podem ser algumas vezes muito severos. A superfície da área inundada pode variar de 10.000 a 70.000 km². O clima é predominantemente tropical, com umidade relativa entre 60 a 80%, temperatura média anual de 25°C, podendo apresentar, durante curtos períodos, temperaturas próximas a 0°C. Janeiro é o mês mais chuvoso.

As cheias do Pantanal ocorrem em consequência das chuvas locais e estão relacionadas a problemas de drenagem, que dificultam o escoamento das águas. Junto às margens do rio Paraguai, as cheias formam um lençol contínuo que chega a atingir 4 m de profundidade; mais para leste, para o interior do Pantanal, as inundações se limitam às áreas mais baixas do terreno chamadas baías, sendo que entre uma baía e outra há escoamento de água através de cursos denominados vazantes que podem ter muitos quilômetros de extensão. As vazantes de caráter permanente, que ligam baías contíguas, são conhecidas como corixos. Estas terras mais baixas estão separadas por elevações, denominadas cordilheiras que não ultrapassam 6 m de altura. Existem também as salinas, depressões sem ligação com os rios, que armazenam água de chuva, salobra e não possuem peixes. A vegetação da região é conhecida como Complexo Pantanal por conter diversas formações vegetais: matas, cerrados, campos limpos e vegetação aquática.

A bacia do Paraguai, que atravessa o Pantanal Matogrossense, é amplamente navegável.

- *Outras Considerações*

Esta bacia, além de servir a extensos territórios produtivos da Argentina, Brasil, Bolívia, Paraguai e Uruguai, beneficia também o Pacto Andino, formado por Bolívia, Colômbia, Equador, Peru e Venezuela. Em 8 de dezembro de 2004, tais países assinaram a Declaração de Cuzco, lançando as bases da Comunidade Sul-Americana de Nações, entidade que une o Pacto Andino e o Mercosul em uma zona de livre comércio continental, impulsionando ativamente a integração econômica dessa região.



FIG 2.6 - Bacia do Paraguai
 Fonte: Ministério dos Transportes – 2004

2.2.6 BACIA DO TIETÊ E PARANÁ

- *Características*

Área aproximada em km²: 723.520 (a montante da barragem de Itaipu)

Estados Abrangidos: Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, São Paulo e Paraná.

Principais rios: Paranaíba, Grande, São José dos Dourados, Tietê, Paranapanema, Pardo, Ivinheima, Ivaí, Piquiri e Iguaçu, todos desaguando no rio Paraná.

Rios Considerados: Paranaíba, Paraná e Tietê.

- *Características Gerais do Transporte na Bacia*

Embarcações:

P/ Cargas – Chatas, de 8 a 11 m de boca, com comprimentos que variam de 50 a 60 m, sem propulsão. O gabarito utilizado é apropriado a comboios-tipo Paraná (200,50 m x 16,00 m) e a comboios-tipo Tietê (137,00 m x 11,00 m).

P/ Travessias – Balsas acopladas a pequenos empurradores com capacidade dependendo da largura e condições físicas das travessias.

Cargas:

Granel Sólido: 70% (principalmente soja); **Carga Geral:** 20% (principalmente cana); **Granel Líquido:** 10% (principalmente álcool).



FIG 2.7 - Bacia do Tietê-Paraná
 Fonte: Ministério dos Transportes – 2004

2.2.7 BACIA DO LESTE

- *Características*

Área aproximada em km²: 173.297

Estados Abrangidos: Bahia, Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro.

Principais Rios: Rio Paraíba do Sul, Rio Jequitinhonha e Rio Doce.

Rios Considerados: Paraíba do Sul, Jequitinhonha e Doce.

- *Características Gerais do Transporte na Bacia*

A navegação fluvial poderá ser implantada entre Guararema e Cruzeiro e, futuramente, até a divisa São Paulo - Rio de Janeiro, em função do parque industrial desse eixo geoeconômico. A extensão aproveitável do rio Paraíba no trecho paulista é de 242 km, necessitando estudo de mercado de cargas e avaliação preliminar dos investimentos, desde Guararema até sua foz. Totalizando em 877 km (Foz/confluência/Paraibuna/Paratinga). Possui trecho navegável entre: Foz/São Fidélis - 90 km; Cachoeira Paulista/Caçapava - 130 km; a carga principal é areia e apresenta atualmente muitas corredeiras, saltos, fortes declividades, pontes rodoviárias, ferroviárias e obras hidrelétricas sem transposições.



FIG 2.8 - Bacia do Leste

Fonte: Ministério dos Transportes – 2004

2.2.8 BACIA DO SUL

- *Características*

Área aproximada em km²: 223.688

Estados Abrangidos: Rio Grande do Sul e Santa Catarina

Principais Rios: Jacuí e Taquari

Rios Considerados: Jacuí e Taquari.

- *Características Gerais do Transporte na Bacia*

Em termos de porte de embarcação, predomina atualmente o automotor com 90 m de comprimento, 15 m de boca e capacidade para aproximadamente 3.000 t, calando até 3,2 m. As cargas consistem em milho (importação), farelo e óleo vegetal (exportação). Recentemente surgiu a exportação de cavacos de madeira, que não obstante ser transportada nas embarcações de maior porte, em função de sua baixa densidade, não permite que tais embarcações recebam mais de 1.800 t.

Por outro lado, há outros dois importantes transportes na hidrovia:

- **De areia "in natura"**, destinada ao consumo imediato na construção civil, que é extraída do leito do rio Jacuí, ao longo de 130 km até o porto de Estrela e mais 100 km quando o produto é destinado ao mercado de Porto Alegre. Nesse caso, as embarcações têm porte diferenciado, variando entre 300 e 1.000 t de capacidade de carga.
- **De carvão energético**, consumido no Pólo Petroquímico do Sul (COPESUL), localizado nas proximidades da região metropolitana de Porto Alegre, com origem em Charqueadas, 40 km a montante, no rio Jacuí. Nesse caso, são utilizadas embarcações de 1.800 t de capacidade de carga.



FIG 2.9 - Bacia do Sul

Fonte: Ministério dos Transportes – 2004

2.3 ADMINISTRAÇÕES HIDROVIÁRIAS BRASILEIRAS

As Administrações de Hidrovias são órgãos que possuem duplo comando: institucionalmente são subordinadas ao DNIT, mais especificamente ao seu Departamento de Infra-estrutura Aquaviária, e gerencialmente às Companhias Docas no âmbito de suas respectivas jurisdições. A elas compete, principalmente, promover e desenvolver as atividades de execução, acompanhamento e fiscalização de estudos, obras e serviços de hidrovias, dos portos fluviais e lacustres que lhe venham a ser atribuídos pelo Departamento de Infra-estrutura Aquaviária.

A administração e operação das hidrovias interiores e dos portos fluviais e marítimos são exercidas de duas maneiras:

- Pelo poder federal, por meio de sociedade de economia mista e das companhias docas federais e
- Na forma de convênios de delegação, no qual estados ou municípios são os responsáveis pelas sociedades de portos ou navegação, empresas de administração ou superintendências de portos.

A área de atuação das administrações hidroviárias está ilustrada na FIG 2.10, a seguir:



FIG 2.10 - Administrações Hidroviárias Brasileiras

Fonte: Ministério dos Transportes – 2004

Segundo o Ministério dos Transportes (2004), as administrações hidroviárias brasileiras estão divididas em oito grupos: AHIMOC, AHIMOR, AHINOR, AHITAR, AHSFRA, AHIPAR, AHRANA e AHISUL, descritas nos próximos itens.

2.3.1 ADMINISTRAÇÃO DAS HIDROVIAS DA AMAZÔNIA OCIDENTAL - AHIMOC

- *Informações*

A malha hidroviária administrada pela AHIMOC, a Bacia Amazônica, é a maior do mundo e sua importância é vital para a sobrevivência da população que habita a região, porque pelas suas vias navegáveis ocorre o escoamento dos produtos e bens de consumo, bem como são as estradas perenes por onde se locomovem os habitantes das suas margens. Pela utilização dessas "estradas perenes", aos usuários, sejam simples ribeirinhos, donos de embarcações fluviais ou grandes empresários da navegação, não é exigido qualquer pagamento. Conclui-se que o aspecto social sobrepõe-se ao financeiro.

As peculiaridades da Região Amazônica, divergente de todas as demais regiões do país, fazem dela um mundo à parte. Os usuários da Bacia Amazônica que usufruem dos benefícios implantados e administrados pela AHIMOC nos rios da região, nada pagam por isso, diferentemente das outras regiões onde o regime das marés obriga o oferecimento de instalações e serviços específicos, cuja manutenção exige a devida contraprestação por parte do usuário.

A região de Caracaraí, em Roraima, nas proximidades de Boa Vista, às margens do Rio Branco, tem potencial agricultável significativo e já existem estudos para o desenvolvimento agrícola da região, que assim como o vale do Mármore Guaporé e o vale do Madeira dependem, exclusivamente, de transporte seguro, eficiente e de baixo custo, gerando as condições básicas para o desenvolvimento sustentável de toda área de influência da hidrovia.

Hoje, a via de transporte mais adequada para o escoamento da produção de grãos de Caracaraí é através da Hidrovia Negro - Branco, prosseguindo pelo rio Amazonas até o terminal graneleiro de Itacoatiara, para embarque em navios de grande porte.

A importância do rio Solimões na Bacia Amazônica advém de sua estratégica posição geográfica, por abranger três países: Peru, Colômbia (em curtíssimo trecho) e Brasil, tal característica o torna uma opção extremamente atraente para o escoamento de produtos, além de constituir-se na principal via de transporte para a população que vive às margens de rios secundários.

O principal interesse da AHIMOC em tornar o rio mais navegável mostra-se em relação ao fluxo de embarcações e principalmente navios mercantes que transportam subprodutos do petróleo no trecho Coari-Manaus, provenientes da base petrolífera da região de Urucu, onde sua produção é transportada por oleoduto até chegar ao porto de embarque na margem direita do rio Solimões.

- *Manutenção*

A manutenção da infra-estrutura da Hidrovia do Madeira, numa extensão de 1.056 km, é feita através da sinalização do canal navegável, do balizamento flutuante das passagens críticas em pedras, da manutenção das profundidades nos passos críticos em fundo arenoso e realização de estudos de navegabilidade nos rios Purus, Acre, Branco, Negro, Juruá e Solimões.

A condicionante decisiva para o desenvolvimento sustentável da Amazônia Ocidental está na exploração adequada da impressionante malha hidroviária de sua vasta bacia hidrográfica.

Os rios Amazonas e Solimões possuem uma calha navegável que permite a navegação com navios de grande porte, sendo isto, aliado à estratégica posição

geográfica do delta do Amazonas, já bem mais próximo do hemisfério Norte do que os portos do Sul do país, possibilitam o escoamento da produção do centro-oeste e do norte do país para os grandes mercados consumidores, a preços muito competitivos.

Entretanto, para que tal ocorra, é necessário que os afluentes do Amazonas e do Solimões sejam devidamente trabalhados para permitir a navegação segura e eficiente de comboios de empurra transportando grande quantidade de carga em tempos reduzidos, durante todo o ciclo hidrológico dos rios.

Atualmente, a hidrovia Madeira-Amazonas é exemplo de transporte seguro, eficiente e de baixo custo, por onde modernos comboios, construídos para aproveitamento máximo das características da hidrovia, navegam com 9 (nove) balsas, transportando 18 (dezoito) mil toneladas de grãos desde Porto Velho (RO), até o Terminal Graneleiro de Itacoatiara (AM), no rio Amazonas, onde a carga é transferida para navios de grande porte. Dessa forma, a redução do custo do transporte da soja do cerrado do Mato Grosso, desde a origem até os principais mercados consumidores, está sendo cerca de 40% maior em relação à exportação da mesma produção a partir do Porto de Paranaguá (PR).

Há que se salientar, ainda, sob os pontos de vista estratégico, político e econômico, os reflexos na expansão da fronteira agrícola, na formação de infraestrutura, na disseminação das fontes de trabalho e renda, nos diversos níveis de atividades que orbitam os fluxos de produtos, mercadorias e serviços.

A importância de esforços e incentivos para a ampliação da malha hidroviária da Amazônia Ocidental se revela na necessidade de dotar a região de condições técnico-operativas para competir na conquista de novos produtos, processos e mercados, integrando-se mais fortemente ao contexto nacional produtivo e, sobremaneira, para redução das diferenças regionais, através da adoção de tecnologias na infra-estrutura básica, maior valor agregado, elevando seus índices de crescimento e desenvolvimento sócio-econômico.

- *Melhoria da navegação*

O objetivo da manutenção da Hidrovia do Madeira é permitir a navegação 24 horas por dia, durante o ano todo, a fim de reduzir os custos de transporte no escoamento de grãos produzidos na região compreendida pelo Acre, Amazonas, Rondônia e Mato Grosso, assegurando a utilização plena desta hidrovia.

- *Comentário*

O rio Madeira, via natural de integração da Amazônia Ocidental, é considerado o afluente mais importante do rio Amazonas. Além disso, no início dos anos 80, com os trabalhos que começaram a desenvolver em sua calha, ele passou a constituir-se numa importante via navegável de transporte comercial e de passageiros. Foi, portanto, o início de sua ascensão da condição inicial de canal natural para a categoria de hidrovia.

A partir daí, para manter o status de hidrovia, é imperioso que se mantenham as intervenções técnicas necessárias, em intervalos de tempos adequados de forma a permitir a sua utilização econômica, integrando-o à infra-estrutura viária do país, constituindo-se assim em importante alavanca para a promoção da interiorização do desenvolvimento, diminuição das diferenças regionais, redução dos custos de transporte e conseqüente aumento da competitividade, por fim, o aproveitamento de forma racional da vocação natural de transporte da região.

Nos três últimos anos, com a entrada em funcionamento do projeto Hermosa Navegação da Amazônia S/A, o movimento na calha do rio Madeira atingiu a média de 3,5 milhões de toneladas/ano, passando à condição de corredor de exportação.

O rio Madeira é considerado um rio novo, sob o ponto de vista geológico, ainda em fase de busca do seu leito definitivo, o que tem como principal consequência prática a alteração, a cada ciclo hidrológico, do canal de navegação.

Outros fatores que também contribuem para alterar o canal navegável são: o desbarrancamento das margens, as atividades ilegais de garimpo e extração de seixo, além do lixo jogado indiscriminadamente nos barrancos do rio, que é carregado tanto pela chuva quanto pela cheia, e vem depositar-se nas áreas de menor profundidade, reduzindo a área útil do canal.

Uma causa dos desbarrancamentos é o aumento da largura da calha do rio, com a conseqüente redução da profundidade do canal navegável, isto é, o rio torna-se mais largo e mais raso, assim como as árvores que descem junto com a margem destruída, podem formar um derrelito perigoso à navegação, pois normalmente encalham na área de menor profundidade, provocando, nesse caso, duas ações danosas: as árvores presas no leito formam os "paliteiros", transformando-os em rígidas "lanças" capazes de furar o casco das embarcações ou essas mesmas árvores presas no fundo passam a reter todo o material flutuante, tais como outras árvores, lixo, vegetação, etc., ocasionando a formação de um novo banco de areia, podendo até mesmo transformar-se, em médio prazo, em uma ilha "artificial".

A sinalização de margem entre as cidades de Manicoré e Humaitá se apresenta como o trecho que mais necessita de reposição de placas.

2.3.2 ADMINISTRAÇÃO DAS HIDROVIAS DA AMAZÔNIA ORIENTAL - AHIMOR

- *Finalidade*

A Administração das Hidrovias da Amazônia Oriental - AHIMOR é o órgão destinado a desenvolver as atividades de execução e acompanhamento de estudos,

obras, serviços e exploração das vias navegáveis interiores, bem como dos portos fluviais e lacustres que lhe sejam atribuídos pelo Ministério dos Transportes, no âmbito geográfico da Amazônia Oriental.

- *Histórico*

A AHIMOR, assim como as demais Administrações Hidroviárias, surgiu com a criação da Empresa de Portos do Brasil S/A - PORTOBRÁS, autorizada pela Lei nº. 6.222, de 10 de julho de 1975, que dispõe também sobre a extinção do Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis - DNPVN.

A PORTOBRÁS, por sua vez, foi dissolvida pela Lei nº 8.029, de 12 de abril de 1990, e suas obrigações e direitos decorrentes de norma legal, ato administrativo ou contrato passaram à União.

2.3.3 ADMINISTRAÇÃO DAS HIDROVIAS DO NORDESTE - AHINOR

- *Histórico*

A administração das hidrovias das bacias dos rios Mearim, Pindaré, Grajaú, Gurupi, Maracaçumé, Turiaçu, Itapecuru e Munim estão sob a jurisdição da administração das hidrovias do nordeste (AHINOR).

A AHINOR administra também a Hidrovia do Parnaíba, que possui uma extensão aproximada de 1600 km, é constituída pelos rios Parnaíba e Balsas, além dos canais que formam o delta do Parnaíba e serve, principalmente, para o transporte de cargas de interesse regional. Dispõe de potencial para o escoamento de grãos produzidos nas fronteiras agrícolas em sua área de influência, como o Sul do Piauí,

Sudeste do Maranhão e Noroeste da Bahia. Entretanto, essa hidrovia depende da implantação de sistema de sinalização e balizamento, bem como da conclusão do sistema de transposição de desnível da barragem de Boa Esperança, que torna a navegação descontinuada.

2.3.4 ADMINISTRAÇÃO DAS HIDROVIAS DO TOCANTINS E ARAGUAIA - AHITAR

- *Histórico*

A utilização econômica através da navegação comercial dos rios Tocantins, Araguaia e seu principal afluente, o rio das Mortes, tem sido o objetivo maior da Administração das Hidrovias do Tocantins e Araguaia ou simplesmente AHITAR.

Em convênio, autorizado por decreto, com a Companhia Docas do Pará - CDP, a AHITAR tem atuado nos estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Maranhão e Pará, atingindo uma área com aproximadamente 935.000 km², o que equivale a 11% do território nacional.

A Administração das Hidrovias do Tocantins e Araguaia acompanha, analisa e estuda os diversos programas, relatórios e projetos de engenharia sobre a navegação comercial nos rios Araguaia e Tocantins, destacando-se o Programa de Pesquisa do Araguaia, iniciado em 1987.

Há na AHITAR uma rotina de estudos sobre as condições atuais de navegabilidade da Hidrovia Tocantins e Araguaia e de obras de infra-estrutura, necessária à implantação da navegação comercial no trecho sob sua responsabilidade.

Os objetivos desse Programa são: o desenvolvimento da navegação hidroviária e o incentivo ao uso da multimodalidade, com a finalidade de integrar e otimizar o sistema de transporte com a estrutura portuária, estimulando a integração inter e intra-regional e a participação do setor privado.

2.3.5 ADMINISTRAÇÃO DA HIDROVIA DO SÃO FRANCISCO - AHSFRA

- *Histórico*

À Administração da Hidrovia do São Francisco, como órgão subordinado ao Departamento de Hidrovias Interiores - DHI - e no âmbito de sua respectiva jurisdição, compete promover e desenvolver as atividades de execução, acompanhamento e fiscalização de estudos, obras e serviços e exploração das vias navegáveis interiores dos portos fluviais, lacustres e eclusas que lhe venham a ser atribuídos pelo departamento, bem como exercer outras atividades compatíveis.

Possui jurisdição sobre rios, portos e eclusas, exclusivamente de navegação interior, da bacia hidrográfica do rio São Francisco.

A sede da AHSFRA está dentro da área do porto fluvial de Pirapora, situada à margem direita do rio São Francisco, 4 km à jusante de Pirapora - MG.

2.3.6 ADMINISTRAÇÃO DA HIDROVIA DO PARAGUAI - AHIPAR

- *Histórico*

Os rios que compõem a Bacia do Prata e seus afluentes foram os fatores determinantes para a formação dos países que compõem a América Latina: Argentina, Bolívia, Brasil, Paraguai e Uruguai, considerando seu sentido político como via de penetração e consolidação dos estados que se organizaram a partir do século XVI.

Economicamente, a Bacia do Prata, como via de transporte e comunicação, continua sendo um elemento decisivo para o desenvolvimento desses países. As bacias dos rios Paraguai e Paraná são as mais importantes do sistema do Prata, cujo sentido estratégico foi claramente identificado já no século XVI ao registrar as expedições de portugueses e espanhóis que se sucederam nos primeiros tempos de colonização europeia com a fundação de diversas cidades, como por exemplo, Assunção, em 1537, menos de 40 anos após o descobrimento do Brasil. Aí se desenvolveram, ao longo dos vários séculos, conflitos e alianças. Alternaram-se também períodos de maior ou menor desenvolvimento econômico, de acordo com a sucessão dos ciclos de atividades.

Historicamente, a denominação rio da Prata está ligada à procura da serra da Prata, cuja ocorrência foi, mais tarde, confirmada em território da Bolívia. Desde a colonização e até o início do século XX esses países foram tipicamente de economia agropecuária e extrativa. As principais atividades eram a pecuária bovina e o cultivo de milho, trigo ou outros cereais, as extrações mineral e vegetal, produtos esses suficientes para abastecer o mercado interno e propiciar receitas de exportação. Essas atividades tinham e têm na via seu mais importante meio de escoamento, mesmo porque, de um modo geral, elas se desenvolveram ao longo dos eixos navegáveis.

Atualmente, a tendência da economia mundial em se organizar em blocos econômicos é uma circunstância que impõe a integração, a união e cooperação entre os países para o aproveitamento de suas riquezas em benefício de suas populações.

2.3.7 ADMINISTRAÇÃO DA HIDROVIA DO PARANÁ - AHRANA

- *Histórico*

Os projetos de melhoria dos rios da bacia hidrográfica do rio Paraná para a produção de energia elétrica e a exploração do transporte fluvial remontam à década de 50, por ação da extinta CIBPU - Comissão Interestadual da Bacia do Paraná-Uruguai. Já naquela época, os administradores públicos valeram-se dos melhores conceitos de usos múltiplos das águas e de racionalização de recursos, como propõe a atual legislação sobre o assunto. A Comissão formada pelos governadores dos estados que se situam na bacia dos rios Paraná e Uruguai (São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul), estabelecia como prioridade, o desenvolvimento e a interiorização da economia regional baseado em dois aspectos importantes: energia e transporte baratos, que adviriam do aproveitamento múltiplo do recurso hídrico abundante da bacia.

Durante todo esse tempo, mesmo com as alterações institucionais e reformas administrativas por que passaram as administrações públicas, ficou preservado o conceito original da exploração de usos múltiplos das águas para os rios Tietê e Paraná. Lamentavelmente o mesmo não ocorreu em outros rios importantes da bacia, como os próprios formadores do rio Paraná, os rios Grande e Paranaíba, e outros afluentes importantes, como o Iguazu e o Paranapanema. Para estes últimos rios, lamentavelmente o aproveitamento pela navegação foi desconsiderado quando da construção de empreendimentos de produção de energia hidrelétrica. Não foram implantadas, simultaneamente com as barragens que criaram os grandes reservatórios pra garantir a geração de energia, as necessárias obras de transposição das barragens (eclusas, por exemplo), para contribuir com a preservação e a continuidade da navegação nos principais rios da bacia.

Historicamente, somando-se ao grande esforço do estado de São Paulo na implantação dos empreendimentos de uso múltiplo no rio Tietê e parte do rio

Paraná, a União também participou e contribuiu, inclusive, com a alocação de recursos federais: na década de 60 e meados da década de 70, com convênios de cooperação através do extinto DNPVN - Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis, com a criação inclusive de uma comissão mista, a CENAT - Comissão Executiva para a Navegação do Tietê-Paraná, que atuou nas obras de Barra Bonita, Bariri, Ibitinga, Promissão, no rio Tietê, e de Jupuíá, no rio Paraná.

A navegação dos rios Tietê e Paraná tomou novo impulso, a partir do início da década de 80, quando o governo federal, através da Empresa de Portos do Brasil S/A - PORTOBRÁS, hoje extinta, e o governo do Estado de São Paulo, através da CESP - Companhia Energética de São Paulo, em conjunto, retomaram a construção dos últimos aproveitamentos de geração de energia e de navegação na interligação desses rios. Esses empreendimentos foram as barragens e eclusas de Nova Avanhandava e Três Irmãos, no rio Tietê e o Canal Pereira Barreto que interliga os reservatórios de Três Irmãos e o existente reservatório de Ilha Solteira no rio Paraná. A partir de 1992, com o término do enchimento do reservatório de Três Irmãos no rio Tietê, concluiu-se o processo de integração das hidrovias do rio Tietê e do rio Paraná, com a navegação utilizando-se do canal artificial de Pereira Barreto, que interliga os reservatórios de Três Irmãos e o reservatório de Ilha Solteira.

Em janeiro de 1998, com a inauguração da eclusa de Jupuíá, cuja finalização só foi concluída muitos anos depois do enchimento do reservatório desta barragem de geração de energia, é que se tornou possível a interligação pela navegação dos rios Tietê e Paraná, como vislumbraram os governantes da década de 50.

- *A situação atual*

Os empreendimentos do Canal Pereira Barreto e da Usina de Três Irmãos, projetados no final da década de 70 e com a construção iniciada na década de 80, foram concebidos como empreendimentos de uso múltiplo, geração de energia e navegação, com características próprias e particulares. No passado, esses

empreendimentos foram considerados integrados aos demais aproveitamentos existentes no rio Paraná, Jupia e Ilha Solteira, tendo sido denominado esse agrupamento de "Aproveitamento Hidroelétrico de Urubupungá", pressupondo uma operação conjunta e integrada desses três empreendimentos para a geração de energia e navegação.

Uma das características importantes dessas obras foi a de possibilitar a transferência de água do rio Tietê para o rio Paraná, a montante da foz original do Tietê, aproveitando dessa forma, uma melhor utilização das turbinas de geração em Ilha Solteira, graças a essa vazão afluente excedente.

A outra característica diz respeito à navegação que, fazendo parte do projeto, participaria no rateio dos custos do empreendimento para viabilizar os custos da geração de energia. Todas as condições operacionais do Canal Pereira Barreto e os reservatórios de Ilha Solteira e Três Irmãos previram a navegação, sendo que essa alternativa funcionaria como opção para a continuidade da navegação do rio Paraná rio acima, em direção ao norte. Nesse caso, fica desnecessária, num primeiro momento, a continuação da construção da eclusa na barragem de Ilha Solteira, como previsto originalmente. Ou seja, para a navegação oriunda do rio Tietê e do rio Paraná atingir a localidade de São Simão - GO no rio Paranaíba e de Água Vermelha no rio Grande, a utilização do Canal de Pereira Barreto é imprescindível, passando pelo reservatório de Três Irmãos.

Observa-se, portanto, que foi mantido o conceito original do uso múltiplo das águas adotado na década de 50, pelo menos para esses dois importantes rios da bacia hidrográfica do rio Paraná. Recentemente, esse conceito foi incorporado à política de aproveitamento de Recursos Hídricos no Brasil, estabelecida pela Lei 9433/97, de 8 de janeiro de 1997.

Atualmente, o Departamento Hidroviário - DH da Secretaria dos Transportes do Estado de São Paulo encarrega-se da gestão e administração da exploração e manutenção no rio Tietê, enquanto que a Administração da Hidrovia do Paraná - AHRANA é responsável pelos rios Paraná, Grande e Paranaíba, todos navegáveis.

2.3.8 ADMINISTRAÇÃO DAS HIDROVIAS DO SUL - AHSUL

- *Histórico*

Administrada pela AHSUL – Administração das Hidrovias do Sul, a Hidrovia do Jacuí-Taquari engloba a navegação dos rios Jacuí, Taquari e da Lagoa dos Patos. Com mais de 740 km de extensão total, sendo 352 km no rio Jacuí, 142 km no rio Taquari e 250 km na Lagoa dos Patos, pode ser considerada uma das hidrovias mais eficientes do País, transportando, principalmente, material de construção, soja e carvão mineral. O rio Jacuí é navegável da cidade de Porto Alegre (RS) até Dona Francisca (RS), com uma profundidade mínima de 1,00 m. Já o rio Taquari é navegável com uma profundidade mínima de 3,00 m de sua foz, na margem esquerda do rio Jacuí, até a cidade de Lajeado (RS), passando por Estrela (RS). A Lagoa dos Patos, por sua vez, liga as cidades de Porto Alegre e Rio Grande (RS) podendo ser navegada por embarcações com até 5,10 m de calado. Essa profundidade, que garante o acesso de embarcações de cabotagem, em alguns pontos é mantida através de campanhas regulares de dragagem.

O comboio-tipo projetado para a hidrovia apresenta 90 m de comprimento, 15 m de boca e um calado de 2,50 m, resultando em uma capacidade de carga da ordem de 2.500 t.

Na Lagoa Mirim e canal de São Gonçalo, a navegação vem sendo reativada, propiciando o escoamento da produção de arroz da região e da República do Uruguai. A Lagoa Mirim possui cerca de 180 km de extensão e profundidades que variam de 1,00 m, no norte, a até 6,00 m, na porção mais ao sul da lagoa. Já o canal de São Gonçalo permite a interligação entre as lagoas Mirim e dos Patos, apresentando uma extensão de 62 km e profundidade média de 6,00 m. Nas proximidades de Pelotas, há uma barragem construída com o intuito de evitar a entrada de água salgada na Lagoa Mirim, nos períodos de estiagem. Essa barragem conta com eclusa, o que permite a continuidade da navegação.

2.4 PRINCIPAIS HIDROVIAS BRASILEIRAS

No mapa apresentado na FIG 2.11, encontram-se as principais hidrovias brasileiras, discriminadas a seguir, cada qual com sua particularidade e localização.

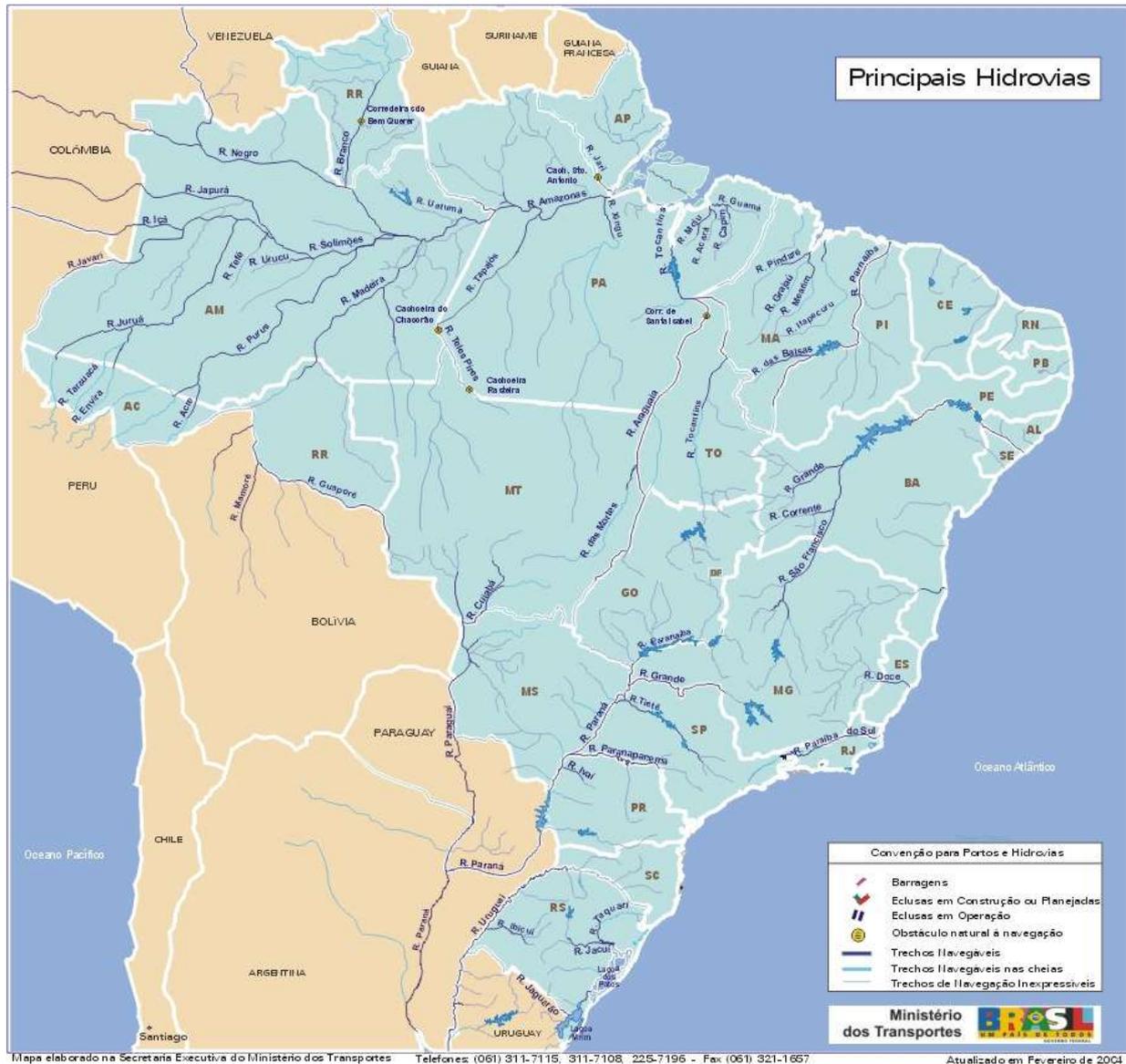


FIG 2.11 - Principais Hidroviás Brasileiras

Fonte: Ministério dos Transportes – 2004

2.4.1 HIDROVIA DO MADEIRA

O rio Madeira é um dos principais afluentes do rio Amazonas. Com as novas obras realizadas para permitir a navegação noturna, está em operação desde abril de 1997. As obras, todavia sem terminar, tem como objetivo reduzir o custo do frete.

Este rio é navegável desde a sua confluência com o rio Amazonas até a cidade de Porto Velho (RO), ao longo de 1.056 km de extensão.

Para que tal via navegável seja considerada uma hidrovia, definida para a embarcação escolhida e abaixo caracterizada, ela ainda terá:

- Que ter os níveis d'água de projeto definidos, ou seja, os níveis a partir dos quais a provável profundidade mínima da hidrovia é definida;
- Obras de melhoramento da via, como dragagens e derrocamentos, reprojctadas e implementadas;
- Cartas de navegação confeccionadas;
- Balizamento e sinalização de margem melhorados.

A embarcação-tipo do rio Madeira é um comboio de empurra composto de quatro chatas e um empurrador. Tal comboio tem 200 m de comprimento, 16 m de boca (largura) e cala 2,5 m, no máximo, em águas mínimas.

O melhoramento das condições de navegação, a manutenção da via ou mesmo a implantação da Hidrovia do Madeira, enfim todas as ações que se referem à infraestrutura da via navegável, são encargos da Administração das Hidrovias da Amazônia Ocidental - AHIMOC, órgão da sociedade de economia mista federal vinculada ao Ministério dos Transportes e que, com a extinção da PORTOBRÁS, passou também a ser vinculada à Companhia Docas do Maranhão - CODOMAR.



FIG 2.12 - Hidrovia Madeira

Fonte: AHIMOC – 2005

2.4.2 HIDROVIA DO SÃO FRANCISCO

Entre a Serra da Canastra, onde nasce em Minas Gerais, o "Velho Chico", como é conhecido o maior rio situado totalmente no território brasileiro, é um grande provedor de água da região semi-árida do nordeste. Seu principal trecho navegável se situa entre as cidades de Pirapora, em Minas Gerais, até Juazeiro, na Bahia, com 1.371 km de extensão, mas sofreu algumas alterações no decorrer dos anos.

Com a construção da barragem da Usina Hidrelétrica de Três Marias, no Estado de Minas Gerais e a montante de Pirapora, as vazões do São Francisco foram regularizadas, isto é, a água acumulada no reservatório de tal barragem no período das cheias é liberada para geração de energia elétrica no período das estiagens, fazendo que não se tenha a jusante, grandes cheias nem rigorosas estiagens, principalmente estas últimas.

O advento do lago de Sobradinho, provocado pela construção da barragem da Usina Hidrelétrica de Sobradinho, localizada no Estado da Bahia e um pouco a montante da cidade de Juazeiro, alterou substancialmente as condições de navegação no São Francisco, pois permitiu a formação de ondas curtas de considerável altura, semelhantes às verificadas nos mares.

Cabe ressaltar, também, que o rio São Francisco, no trecho compreendido entre a cidade mineira de Pirapora e o final do remanso do reservatório da barragem de Sobradinho, apresenta baixas profundidades em alguns locais, nos meses de águas baixas, com graves problemas para a navegação.

O desmatamento indiscriminado da bacia do rio São Francisco, inclusive de trechos da mata ciliar, tem aumentado a quantidade de sedimentos da calha do rio, num acelerado processo de anastomosação, uma vez que a capacidade de transporte de sedimentos de um curso d'água é limitada.

Cada vez mais, a quantidade de sedimentos que é carreada para o leito do rio São Francisco é maior do que sua capacidade de transportá-los.

O desmatamento também influi no processo de anastomosação do rio, pela alteração do regime fluvial, que passa a ser caracterizado por fortes enchentes e acentuadas vazantes.

A administração da Hidrovia do São Francisco - AHSFRA, órgão da Companhia Docas do Estado da Bahia - CODEBA, é uma sociedade de economia mista federal vinculada ao Ministério dos Transportes e no desempenho de sua atividade precípua, manutenção das condições de navegação do rio São Francisco, tem efetuado grandes campanhas de dragagem nos trechos anastomosados. Esses serviços de dragagem procuram aumentar as profundidades do canal de navegação, retirando material depositado pelo rio e despejando-o na própria calha fluvial.

Os serviços de dragagem que são realizados pela AHSFRA se constituem numa espécie de ajuda ao rio, à sua capacidade de transportes de sedimentos, nos trechos anastomosados.

O São Francisco é um rio de leito migratório, com clássico exemplo de insucesso de obra hidráulica: na década de 50 foi construída uma eclusa de navegação no Salto do Sobradinho, BA, que não se tornou operacional por migração lateral das margens do São Francisco.

Tal eclusa hoje se encontra a cerca de 1 km a jusante da atual barragem de Sobradinho, como monumento ao desconhecimento do comportamento do rio São Francisco pelos engenheiros da época e à falta de estudos hidromorfológicos, embaixadores do projeto da referida eclusa.

Nos nossos dias, com computadores cada vez mais capazes e velozes, a modelagem matemática tem-se constituído em uma importante ferramenta para simulação numérica de casos e estudos à disposição da engenharia, notadamente da engenharia hidráulica.

Assim, o setor hidroviário interior federal pretende modelar morfológicamente trechos do rio São Francisco e a construção de algumas obras hidráulicas, objetivando conhecer como estas interagem com o curso d'água e quais seriam suas conseqüências morfológicas e ambientais.

Na década de 50, por ocasião da definição do projeto da antiga eclusa de Sobradinho, não se valeram da ferramenta disponível na época: modelos físicos. Hoje, não se pode incorrer no mesmo erro e não se lançar mão do ferramental de nossa época: modelos matemáticos e/ou físicos.

A barragem de Sobradinho dispõe de moderna eclusa de navegação, que não interrompeu na navegação entre Juazeiro e Pirapora, e a embarcação-tipo para qual a hidrovia vem sendo preparada é um comboio de empurra composto de quatro chatas e um empurrador. Esse comboio tem 110 m de comprimento, 16 m de boca (largura) e calado de 1,5 m, no máximo, em águas mínimas.

O principal projeto em execução ao longo do rio tem o objetivo de melhorar a navegabilidade e permitir a navegação noturna.

O melhoramento das condições de navegação, a manutenção da via ou mesmo a implantação da Hidrovia do São Francisco, enfim todas as ações que se referem à infra-estrutura da via navegável, são encargos da Administração das Hidrovias do São Francisco - AHSFRA, situada em Pirapora (MG), é um órgão da sociedade de

economia mista federal vinculada ao Ministério dos Transportes e à Companhia das Docas da Bahia - CODEBA.



FIG 2.13 - Hidrovia São Francisco

Fonte: Ministério dos Transportes – 2004

2.4.3 HIDROVIA TOCANTINS-ARAGUAIA

Tocantins é a maior via fluvial totalmente brasileira. Durante a época de inundação, seu principal rio, o Tocantins, é navegável com uma extensão de 1.900 km entre as cidades de Belém, no Pará e Peixes, em Goiás. O potencial hidroelétrico é parcialmente aproveitado pela Central Tucuruí no Pará. O rio Araguaia cruza o estado de Tocantins de norte a sul e é navegável ao longo de 1.100 km.

A hidrovia interior em questão está sendo preparada para ser navegada nos seguintes trechos:

- **No rio das Mortes** (afluente da margem esquerda do Araguaia), desde a Nova Xavantina (MT) até a confluência desse rio com o Araguaia, numa extensão de 580 km;
- **No rio Araguaia**, desde a cidade de Aruanã (GO), até a cidade de Xambioá (TO), numa extensão de 1230 km;
- **No rio Tocantins**, desde a cidade de Miracema do Tocantins (TO) até o porto a ser construído no município de Porto Franco (MA), um pouco a montante de sua sede, numa extensão aproximada de 440 km.

A embarcação-tipo para qual a hidrovia vem sendo preparada é um comboio de empurra, composto de quatro chatas e um empurrador. Esse comboio tem 108 m de comprimento, 16 m de boca (largura) e calado de 1,5 m, no máximo, em águas mínimas.

A navegação no Tocantins poderá ser levada até a cidade de Peixe (TO), a montante do trecho acima citado, desde que a barragem da Usina Hidrelétrica Luiz Eduardo Magalhães, que está sendo construída na localidade denominada Lajeado, entre as cidades de Palmas e Miracema do Tocantins, seja dotada de eclusa de navegação.

O melhoramento das condições de navegação, a manutenção da via ou mesmo a implantação da Hidrovia do Tocantins-Araguaia, enfim, todas as ações que se referem à infra-estrutura da via navegável, são encargos da Administração das Hidrovias do Tocantins e Araguaia - AHITAR, situada em Goiânia (GO), órgão da sociedade de economia mista federal vinculada ao Ministério dos Transportes, Companhia Docas do Pará - CDP.

A construção da via fluvial Tocantins-Araguaia teve como objetivo integrar o transporte intermodal na Região Norte do Brasil.



FIG 2.14 - Hidrovia Tocantins-Araguaia
Fonte: Ministério dos Transportes – 2004

2.4.4 HIDROVIA TIETÊ-PARANÁ

Esta via possui enorme importância econômica por permitir o transporte de grãos e de outras mercadorias dos estados de Mato Grosso do Sul, Paraná e São Paulo. Possui 1.250 km navegáveis, dos quais 450 km no rio Tietê, em São Paulo e 800 km no rio Paraná, no limite de São Paulo e Mato Grosso do Sul e na fronteira do Paraná com o Paraguai.

A hidrovia interior está sendo preparada para ser navegada nos seguintes trechos:

- **No rio Piracicaba** (afluente da margem direita do Tietê), desde a confluência com o rio Tietê até 22 km a montante;
- **No rio Tietê**, desde a cidade paulista de Conchas até a confluência do Tietê com o Paraná, numa extensão de 554 km;
- **No rio Paranaíba**, desde o sopé da barragem da Usina Hidrelétrica de São Simão até a confluência do rio Paranaíba com o rio Paraná, numa extensão de 180 km;
- **No rio Grande**, desde o sopé da barragem da Usina Hidrelétrica de Água Vermelha até a confluência do rio Grande com o rio Paraná, numa extensão de 59 km;
- **No rio Paraná**, desde a confluência dos rios Grande e Paranaíba, que formam o rio Paraná, até a barragem da Usina Hidrelétrica de Itaipu, numa extensão de 800 km;
- **No canal Pereira Barreto**, que liga o lago das barragens da Usina Hidrelétrica de Três Irmãos, no rio Tietê, ao rio São José dos Dourados, afluente da margem esquerda do rio Paraná, no Estado de São Paulo, numa extensão de 53 km, sendo 36 km no rio São José dos Dourados e 17 km no canal Pereira Barreto propriamente dito.

Para operar plenamente, é ainda necessário construir uma eclusa na represa de Jupuí, para que as hidrovias se conectem.

O melhoramento das condições de navegação, a manutenção da via ou mesmo a implantação da Hidrovia Tietê-Paraná, enfim todas as ações que se referem à infra-estrutura da via navegável, com exceção das relacionadas ao rio Tietê, são encargos da Administração das Hidrovias do Paraná - AHRANA, órgão da sociedade de economia mista federal vinculada ao Ministério dos Transportes, Companhia Docas do Estado de São Paulo - CODESP.



FIG 2.15 - Hidrovia Tietê-Paraná

Fonte: Ministério dos Transportes – 2004

2.4.5 HIDROVIA PARAGUAI-PARANÁ

A hidrovia Paraguai-Paraná estende-se desde a cidade uruguaia de Nueva Palmira até a brasileira de Cáceres, situada no estado de Mato Grosso. Essa hidrovia tem 3.442 km de extensão.

A navegação em tal hidrovia é dividida em duas classes: uma no trecho compreendido entre a cidade sul-matogrossense de Corumbá e a matogrossense de Cáceres, numa extensão de 672 km, onde a embarcação-tipo é um comboio de empurra (quatro chatas e um empurrador) de 108 m de comprimento, 24 m de largura (boca) e 1,2 m de calado máximo em períodos de águas mínimas; e outro, a jusante se Corumbá, numa extensão de 2770, cuja embarcação-tipo é um comboio de empurra (dezesesseis chatas e um empurrador) com 280 m de comprimento, 48 m de largura (boca) e 3,0 m de calado em águas mínimas.

O Tratado da Bacia do Prata, firmado em Brasília (DF), em 23 de abril de 1969, por chanceleres dos cinco países da Bacia do Prata: Argentina, Bolívia, Brasil, Paraguai e Uruguai, constitui-se no marco fundamental da implantação da hidrovía Paraguai - Paraná.

Em setembro de 1989, os Ministros de Obras Públicas e de Transportes dos países da Bacia do Prata acordaram em criar o "*Comité Intergubernamental de la Hidrovía Paraguay - Paraná (CIH)*", encarregando-o de realizar projetos pontuais, determinar a prioridade das obras a realizar e estudar a compatibilização da legislação aplicável a hidrovias, dos países da Bacia do Prata. O CIH tem sua sede em Buenos Aires, capital da República da Argentina.

A parte brasileira da Hidrovía Paraguai-Paraná, ou seja, o trecho do rio Paraguai compreendido entre a cidade matogrossense de Cáceres e a confluência do rio Apa com o rio Paraguai, numa extensão de 1278 km, tem o melhoramento das suas condições de navegação, a sua manutenção ou mesmo implantação, enfim todas as ações que se referem à infra-estrutura da via navegável, como encargos da Administração das Hidrovias do Paraguai - AHIPAR, órgão da sociedade de economia mista federal vinculada ao Ministério dos Transportes, Companhia Docas do Estado de São Paulo - CODESP.



FIG 2.16 - Hidrovía Paraguai-Paraná
Fonte: Ministério dos Transportes – 2004

3 PARÂMETROS GEOMORFOLÓGICOS E HIDRÁULICOS QUE INFLUENCIAM A NAVEGABILIDADE FLUVIAL

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Segundo FARIA (1999), os rios são cursos de água estabilizados, de circulação permanente, em que se realizam três processos geológicos principais: erosão, transporte e sedimentação.

Quanto ao tipo de trabalho geológico predominante, os rios podem ser divididos em diferentes cursos, caracterizados ou pela morfologia do traçado ou pela predominância de ações de erosão, transporte ou sedimentação. São eles:

- **Rios de alto curso** – São aqueles que percorrem regiões altas e/ou acidentadas. Nestes rios são comuns as quedas rápidas e corredeiras; o gradiente de nível é, em geral, elevado e, conseqüentemente, é grande a velocidade de escoamento. As margens altas predominam e os rios raramente são largos e profundos. As condições de navegabilidade são precárias para embarcações de grande porte. Como vias de comunicação, estes rios são deficientes, embora possam admitir a realização de transportes modestos em volume e curtos em distância, mediante o emprego de embarcações menores, por exemplo, canoas. As terras que os circundam são, geralmente, pouco sujeitas a alagamentos extensos. No Brasil, correspondem às cachoeiras ou rios de regiões montanhosas como em serras.
- **Rios de médio curso (rios de planalto)** – Aqueles que apresentam obstáculos para a navegação, tais como rápidos, corredeiras e trechos com pedras e/ou pouca profundidade; porém estes obstáculos não são muito freqüentes e, entre eles, a navegação é possível, se bem que nem sempre fácil, para embarcações maiores, como navios. Assim, os rios de planalto apresentam, normalmente, uma sucessão de estirões mais ou menos

extensos, com pouca declividade e boas condições naturais de navegação, interrompidos por desníveis que formam rápidos, corredeiras ou quedas, por vezes de elevada altura, que tornam difícil, se não impossível, a transposição por embarcações.

Os rios de médio curso podem ser usados como vias de navegação de maneira bem mais eficiente que os de alto curso, ao menos entre os trechos críticos ou entre os grandes obstáculos, embora, em geral, os canais de navegação sejam mais ou menos estreitos (apesar de relativamente estáveis), o que exige dos condutores das embarcações muita prática. É preciso reconhecer, também, que nestes rios, nas épocas das enchentes, os trechos críticos tendem a oferecer menos dificuldades para a navegação. No Brasil, são rios de planalto o Paraná e seus afluentes; o São Francisco; o Tocantins, a montante de Tucuruí; o Negro, acima de Santa Isabel do Rio Negro e o Branco, acima de Caracaraí.

- **Rios de baixo curso (rios de planície)** – São os mais favoráveis à navegação, caracterizados por uma declividade suave e regular. Estes são, em geral, razoavelmente largos e apresentam pequeno gradiente de nível. A navegação é relativamente fácil, se bem que podem existir obstáculos, como os bancos que costumam formar-se nas bocas dos tributários (afluentes) e nas partes convexas das curvas. É comum haver bifurcações (paraná, igarapés), que formam ilhas fluviais e criam alternativas para a navegação. As margens baixas, facilmente alagáveis, são a regra geral. Os baixos cursos abrangem os deltas e os estuários.

A maior parte dos rios da Amazônia brasileira é constituída por rios de baixo curso (rios de planície). A calha principal do Solimões–Amazonas acha-se incluída nesta classificação. Muitos de seus tributários também, alguns deles ao longo de grandes extensões, principalmente na Amazônia Ocidental (Juruá, Purus, Madeira, Içá e Japurá), outros, ao menos nas proximidades do rio principal (como ocorre na Amazônia Oriental). O rio Paraguai também se enquadra nesta classificação.

As condições de navegabilidade dos rios de médio curso e, principalmente, dos rios de baixo curso (rios de planície) também dependem do tipo de fundo do seu leito.

Rios de **leito pedregoso** normalmente têm um canal estreito, embora estável. Por outro lado, rios de **fundo de lama, barro ou argila** são, em geral, de formação mais recente, sendo caracterizados por instabilidade do leito e por apresentarem um canal sinuoso, apesar de razoavelmente profundo. Rios de **fundo de areia** apresentam, quase sempre, um canal altamente variável entre o inverno (estação chuvosa) e o verão (estio); à medida que as águas baixam, com o conseqüente aumento da corrente, o rio vai cavando no leito arenoso um canal, conhecido na Amazônia como canal de verão. No começo do inverno, este canal continua sendo o canal principal, pois é o de maior profundidade do leito. Conforme a cheia avança, o rio tende a nivelar-se, ficando profundo quase que de margem a margem, até que um novo ciclo recomece e surja um outro canal, de configuração diferente do anterior.

Para compreender o funcionamento de um curso fluvial, é necessário estudar o seu perfil longitudinal, que evidencia um declive bastante acentuado nos rios de alto curso, diminuindo à medida que se afasta da nascente.

Se o nível de base ou foz se mantiver fixo, o perfil longitudinal tende a se aproximar de uma situação designada por **perfil de equilíbrio**, perfeitamente regularizado.(FIG 3.1).

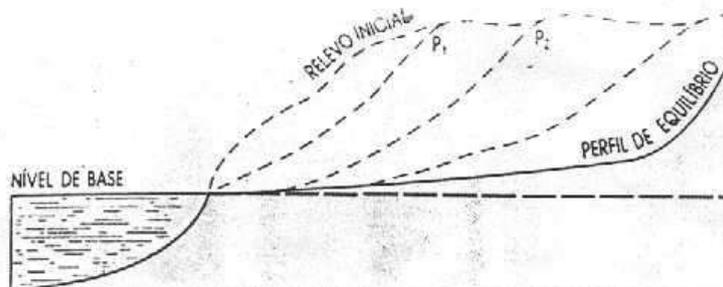


FIG 3.1 - Evolução do perfil longitudinal e estabelecimento de um perfil de equilíbrio

Fonte: CHRISTOFOLETTI, 1981

A situação representada na figura 3.1 é teórica, uma vez que os movimentos da superfície terrestre impedem que o perfil longitudinal real alcance o perfil de equilíbrio.

Apesar disto, com o decorrer do tempo, os vales fluviais se modificam como consequência dos efeitos dos processos de erosão, transporte e sedimentação, de forma que o declive vai "suavizando".

Assim, da comparação entre o perfil longitudinal e o perfil de equilíbrio, podem-se deduzir importantes informações sobre as características morfológicas das bacias hidrográficas e o grau de evolução em que o sistema fluvial se encontra, permitindo numa visão clássica, considerar três grandes fases de evolução:

- **Fase de juventude** – caracterizada pelos rios de perfil longitudinal irregular e declivoso, com cascatas e rápidos, onde predominam as ações de erosão.
- **Fase de maturidade** – caracterizada pelos rios de perfil longitudinal com declive menos acentuado e vales abertos e profundos com grande capacidade de transporte, ocorrendo sedimentação de só alguns materiais mais pesados.
- **Fase de senilidade** – caracterizada por um perfil longitudinal de fraco declive e conseqüentemente, fraca capacidade de transporte, predominando o trabalho de sedimentação. Apresenta vales de grande largura e vertentes muito desgastadas e cobertas por depósitos aluvionares freqüentemente espessos.

Dentre as fases descritas acima, aquela em que ocorre a melhor navegabilidade é a de maturidade, onde não há acúmulo de sedimentos e por ser mais plana, apresenta maior profundidade.

Para o estudo da navegabilidade fluvial, se faz necessário analisar os parâmetros geomorfológicos e hidráulicos que o influencia, pois são essenciais para se descobrir as causas e conseqüências de um trecho de rio ser ou não navegável.

Com este intuito, serão discriminados a seguir os principais parâmetros geomorfológicos e hidráulicos, assim como sua influência nos rios.

3.2 PARÂMETROS GEOMORFOLÓGICOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

3.2.1 ESTADO DA ARTE DA GEOMORFOLOGIA FLUVIAL

Geomorfologia Fluvial é a ciência que engloba o estudo dos cursos d'água e o das bacias hidrográficas. Enquanto o primeiro se detém nos processos fluviais e nas formas resultantes do escoamento das águas, o segundo considera as principais características das bacias hidrográficas que condicionam o regime hidrológico, como aspectos geológicos, formas de relevo e processos geomorfológicos, características hidrológicas, biota e ocupação do solo. (CHRISTOFOLETTI, 1981)

A dinâmica dos rios e as formas topográficas resultantes da ação fluvial sempre chamaram a atenção de pesquisadores. Desde os primórdios da história das geociências, são comuns as menções sobre o trabalho dos rios.

Segundo DURY (1970), a partir de 1945 é possível observar três abordagens temáticas: morfometria numérica, tratamento estatístico e inter-relações de dados sobre os canais fluviais e produção de modelos com base estocástica.

No Brasil, merece destaque o trabalho de sistematização sobre os estudos sedimentológicos (SUGUIO, 1973), que consolidou alguns conceitos básicos de CHRISTOFOLETTI (1974 e 1981) e BIGARELLA *et al.* (1979), ligados ao campo da Geomorfologia Fluvial.

A partir da década de 70, os estudos sobre a Geomorfologia Fluvial foram intensificados, com ênfase nos processos e mecanismos observados no canal fluvial, adquirindo-se visão mais ampla ao envolver outras áreas do conhecimento,

como a Hidrologia, superficial e subterrânea, a Pedologia e a Ecologia. (CUNHA, 1994)

Em 1993, CUNHA, em sua tese de doutorado, considerou os impactos das obras de engenharia sobre o ambiente biofísico da bacia do rio São João (Rio de Janeiro – Brasil).

Em 1996, foi elaborado por MIGUENS um Manual de Navegação da Marinha do Brasil, para a Diretoria de Hidrografia e Navegação, onde se inclui um capítulo a respeito da navegação fluvial, abordando, inclusive, sua geomorfologia.

No âmbito mundial, SIMONS *et al* (1984) realizaram um estudo geomorfológico abrangente sobre o rio Kansas, utilizando técnicas de simulação para análise hidráulica, observando o transporte de sedimentos, dentre outros fatores e, conseqüentemente, o volume a ser dragado no rio.

Atualmente, há várias publicações, principalmente em periódicos internacionais, com estudos de caso diversos, analisando a Geomorfologia Fluvial e apresentando a utilização de softwares para sua caracterização.

Na tabela a seguir, mostra-se o resumo da história da Geomorfologia, como um todo, apresentando os principais períodos, autores e sua devida importância.

TAB 3.1 – Quadro Resumo da História da Geomorfologia

Séc.	Autor / Período	Importância
XV	Leonardo da Vinci (1452-1519)	Observou que “cada vale foi escavado pelo seu rio e a relação entre os vales é a mesma que entre os rios”, além de observar que os cursos fluviais carregavam materiais de uma parte da Terra e os depositavam em outra.
XVI	Bernard Palissy (1510-1590)	Compreendeu o antagonismo entre as ações internas, que criam o relevo, e as ações externas, que tentam destruí-lo: o antagonismo entre o escoamento e a vegetação, expressando claramente a idéia de plantar árvores a fim de amenizar a erosão; a importância dos fenômenos externos no fornecimento dos materiais constituintes das rochas, e a relação existente entre os fenômenos geomorfológicos e a pedologia.
XVIII	L.G. du Buat (1779)	Escreveu <i>Principes d’hydraulique</i>

(cont.)

Séc.	Autor / Período	Importância
XVIII	Jean Baptiste de Lamarck (1744-1829), Targioni-Tozzetti (1712-1784), Desmarest (1725-1815), Benédicte de Sausurre (1740-1799), entre outros	Observações numerosas e mais importantes que as dos séculos anteriores.
XVIII	James Hutton (1726-1797)	Reconhecido como o 1º grande fluvialista e como um dos fundadores da moderna Geomorfologia. Observou que as ações na superfície da Terra reduziriam o relevo e permitiriam arrasamento das montanhas, chamando a teoria de "Actualismo" – "o presente é a chave do passado". Entretanto, registrou suas idéias num perfil mais científico do que didático, fazendo com que suas idéias passassem completamente despercebidas.
XIX	John Playfair (1748-1819)	Elucidou, através da obra "Illustrations of the Huttonian theory of the Earth" (1802), as idéias de seu amigo Hutton. Das observações mais importantes, destaca-se: "cada rio consiste em um tronco principal, alimentado por certo número de tributários, sendo que cada um deles corre em um vale proporcional ao seu tamanho, e o conjunto forma um sistema de vales comunicantes com declividades tão perfeitamente ajustadas que nenhum deles se une ao vale principal em um nível demasiado superior ou inferior; tal circunstância seria infinitamente improvável se cada vale não fosse obra do rio que o ocupa". Essa observação é considerada como lei de Playfair, ou lei das confluências concordantes, pois foi o primeiro e permaneceu por muito tempo como o único a tê-la formulado e compreendido.
XIX	Abraham Gottlob Werner (1749-1817)	Adepto da corrente neptunista, postulava a existência de um oceano universal que teria contido em solução todos os princípios minerais de formação da crosta terrestre (todos os tipos de rochas inclusive as vulcânicas). A popularização dessa corrente tornou esquecida a teoria do atualismo.
XIX	Charles Lyell (1797-1875)	Entendeu a importância das idéias de Hutton e foi seu grande divulgador. Publicou os "Principes of Geology", popularizando o princípio do atualismo, realizando ataque inclemente às correntes catastróficas e fornecendo detalhes dos processos erosivos e denudacionais.
XIX	Jean Louis Agassiz (1807-1873)	Reconheceu a evidência de uma idade glacial durante a qual as geleiras cobriram grande parte da Europa Setentrional.
XIX	Andrew C. Ramsay (1814-1891)	Verificaram a importância da abrasão marinha (Na Grã-Bretanha e China, respectivamente)
XIX	Alexandre Surret, George Greenwood, James Dwight Dana e Jukes	Graças às suas contribuições, a corrente fluvialista começou a se impor de modo definitivo.
XIX	Peschel	Em 1869, tentou reunir os princípios do desenvolvimento das formas de relevo de modo sistemático.
XIX	Ferdinand Von Richthoffen (1833-1905)	Publicou "Fürer fur Forschungsreisende" em 1886, sendo mais feliz em sua obra que Peschel.

(cont.)

Séc.	Autor / Período	Importância
XIX	G. de la Noe e E. de Margerie	Escreveram em 1888 "les formes du terrain".
XIX	A. Penck	Publicou em 1894 a "Morphologie der Erdoberflache", contendo tratamento genético das formas do relevo terrestre.
3/4 do séc. XIX	John Wesley Powell (1834-1902), Grove Karl Gilbert (1843-1918) e Clarence E. Dutton (1841-1912)	Através de suas idéias, conseguiram isolar a Geomorfologia do âmbito Geológico, no qual sempre estivera integrada.
XIX	James Powell	Publicou, em 1875, o relatório "Exploration of the Colorado River of the West and its tributaries". Foi o precursor da idéia que mais tarde seria denominada por Davis de "Peneplanície" ou nível de base para a erosão.
XIX	W. M. Davis	Seu mérito foi maior do que o de qualquer outra pessoa, pois integrou, sistematizou e definiu a seqüência normal dos acontecimentos num ciclo ideal e procurou uma terminologia para uma classificação genética das formas de relevo terrestre, como apoio para sua descrição. Definiu: "Ciclo de erosão" e a "erosão normal". A idéia de ciclo de erosão resume-se em uma superfície plana deformada bruscamente por uma ação tectônica e, sobre o relevo então formado, age a erosão que o reduz, lenta e progressivamente, através das fases de juventude, maturidade e senilidade, até nova superfície plana, a peneplanície, ponto de partida para novo ciclo. O tempo necessário para a realização desse ciclo seria entre 20 a 200 milhões de anos e, portanto sendo mais um esquema de imaginação do que de observação. É considerado o fundador da Geomorfologia como disciplina especializada.
XIX / XX	Emmanoel de Martonne (1873-1955) e Henri Baulig (1877-1962)	Na França, foram os principais divulgadores das idéias de Davis.
XX	Alfred Hettner	Expôs várias das deficiências das pressuposições davisianas, a propósito da influência climática sobre as paisagens. (1910 e 1924)
XX	Pierre Birot e Jean Tricart	Elaboraram trabalhos sob a perspectiva estrutural.
XX	William Thornbury	Escreveu "Regional Geomorphology of the United States (1965), um estudo detalhado da morfoestrutura dos Estados Unidos.

Fonte: Adaptado de MENEZES (2005)

3.2.2 IDENTIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS PARÂMETROS GEOMORFOLÓGICOS

Os principais parâmetros da Geomorfologia Fluvial que interferem na navegabilidade são:

- **Transporte de sedimentos:** composto pelas cargas detríticas transportadas em três formas: dissolvidas (constituintes intemperizados das rochas transportados em solução química), em suspensão (devido ao fluxo turbulento do rio, correspondendo à fração mais fina do material do leito) e no leito do rio (partículas maiores de areia, transportadas através de saltação, deslizamento ou rolamento na superfície do leito).

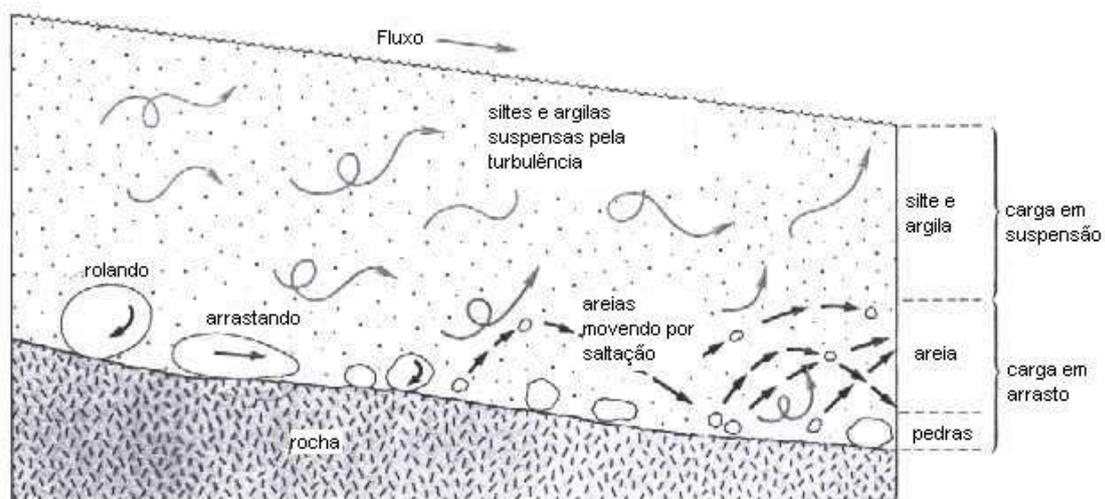


FIG 3.2 – Tipos de Transporte de Sedimentos em um rio

Fonte: Adaptado de FRANCO, 1999

- **Processos de erosão fluvial:** resultam na retirada de detritos do fundo do leito e das margens, fazendo com que passem a integrar a camada sedimentar, atuando em todo o curso de água. Também acontecem de três formas: **corrosão** ou reação entre a água e as rochas superficiais que com ela estão em contato, **abrasão** ou desgaste pelo atrito mecânico e **cavitação**, quando se apresentam condições de velocidade elevada da água, causando pressão e fragmentação das rochas.

- **Freqüência das cheias:** relacionada com as vazões mais elevadas que anualmente acontecem em determinada seção transversal, independente de causar ou não inundação.
- **Formação de meandros:** se refere ao canal fluvial em que os rios descrevem curvas sinuosas, largas, harmoniosas e semelhantes entre si. Deve-se notar que na margem côncava dos rios ocorre erosão, devido à alta velocidade do fluxo e na margem convexa acontece a deposição dos sedimentos, devido à menor velocidade. O índice de sinuosidade das curvas permite classificar os rios como mais ou menos meândricos.

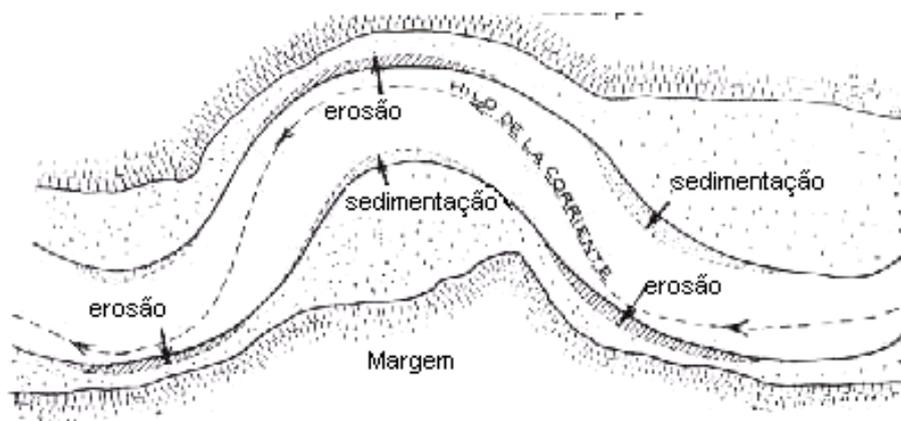


FIG 3.3 – Evolução de um meandro divagante

Fonte: Adaptado de FRANCO, 1999

De acordo com FRANCO (1999), os principais fatores que condicionam os processos de erosão, transporte e sedimentação nos rios, são: a velocidade da corrente, as características físicas dos sedimentos (tamanho, densidade e forma), a existência de "acidentes" ou "obstáculos" no leito e as variações da vazão do rio, que por sua vez, está diretamente relacionado com as variações climáticas. Tais fatores são descritos detalhadamente a seguir.

3.2.2.1 VELOCIDADE DA CORRENTE

A velocidade da corrente é o fator chave na capacidade de um curso de água para erodir, transportar e depositar. Uma elevada velocidade geralmente resulta em erosão e transporte, ao passo que uma baixa velocidade provoca sedimentação. Bastam ligeiras modificações na velocidade para se verificarem grandes mudanças na carga sólida transportada pelo rio.

De um modo geral, a velocidade de escoamento dos cursos d'água não se efetua de maneira homogênea já que ela depende essencialmente da declividade, da forma e da existência ou não de irregularidades no canal.

Quanto maior for a declividade do canal, maior será a velocidade da corrente. Junto do leito e das margens, a velocidade do fluxo é reduzida devido ao atrito da água com as rochas ou sedimentos, atingindo um máximo no interior do canal.

O grau de irregularidade de um leito também controla a velocidade. Uma corrente pode fluir rapidamente sobre um canal de fundo liso e regular, no entanto, num meio irregular, cria-se mais atrito entre a água e o fundo, diminuindo a velocidade da corrente.

Um canal estreito e profundo, com seção "semicircular", permite à corrente fluir livremente e, portanto rapidamente, enquanto que um canal largo e plano proporciona uma maior superfície de contato entre a água e o leito, aumentando o atrito, que irá por sua vez, diminuir a velocidade do fluxo. Isto se exemplifica na FIG 3.4, a seguir.

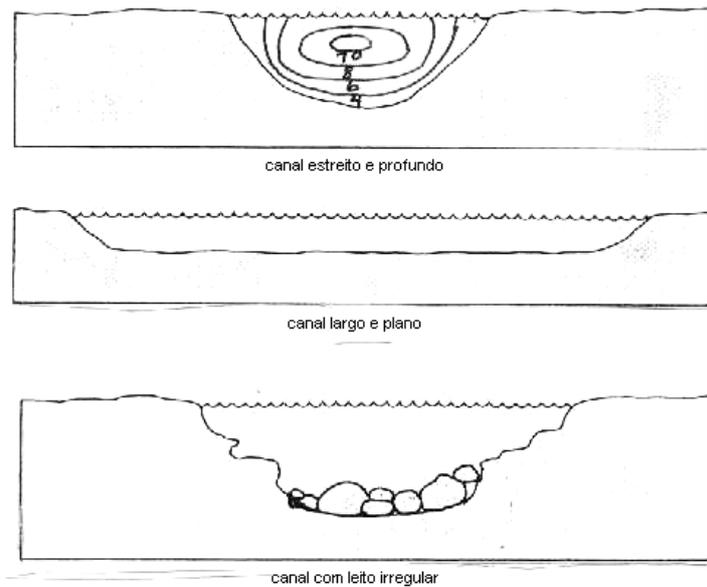


FIG 3.4 – Seções transversais de cursos d'água com características diferentes

Fonte: Adaptado de FRANCO, 1999

3.2.2.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS SEDIMENTOS

A carga sólida transportada por um curso d'água pode ser subdividida em:

- **Dissolvida:** compreende íons dissolvidos, tais como o sódio, cálcio, potássio, bicarbonato, cloro e outros, provenientes de processos de meteorização química ou de materiais que são despejados nos solos durante a atividade humana, principalmente a agricultura. Apesar de invisível, a carga de solução constitui grande parte dos materiais transportados pelos rios e quando a água evapora, apresentam a forma de cristais.
- **Em suspensão:** constitui os sedimentos mais finos, como as argilas, que são suficientemente leves para permanecerem em suspensão indefinidamente pela turbulência da água. Por exemplo, a aparência lodosa de um curso de água durante uma cheia ou após precipitação intensa é devida à elevada quantidade de carga em suspensão.
- **No leito do rio:** constitui os sedimentos grossos e densos que são transportados sobre ou próximos do leito do rio e inclui o transporte por tração

(sobre o fundo do leito, pode ainda ser subdividido em dois tipos: rolamento ou arrastamento, dependendo da forma do sedimento ser respectivamente, arredondada ou laminar) e saltação (tipo de transporte que envolve sedimentos arenosos e que se caracteriza por uma série de saltos sobre o leito do rio, constituindo assim um transporte intermediário entre a tração e a suspensão).

Os processos de erosão, transporte e sedimentação nos diferentes setores dos cursos fluviais são condicionados pelo tamanho, densidade e forma dos sedimentos.

O diagrama da FIG 3.5, **Diagrama de Hjulstrom**, relaciona diferentes granulometrias de sedimentos com a velocidade da corrente de água.

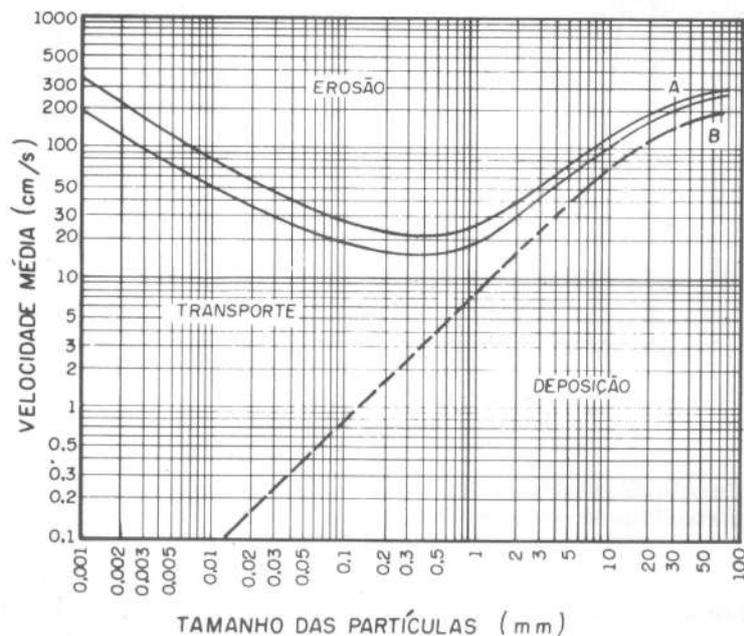


FIG 3.5 – Diagrama de Hjulstrom

Fonte: CHRISTOFOLETTI, 1981

Pode ser observado, portanto, que o trabalho de sedimentação aumenta sempre que a velocidade da corrente diminui, mantendo-se a dimensão das partículas arrastadas.

Também, de montante para jusante, à medida que a declividade e, conseqüentemente, a velocidade da corrente vai diminuindo, o diâmetro dos materiais em transporte ou depositados vai tornando-se menor.

Outro tipo de seleção de materiais que ocorre com freqüência ao longo dos rios é a sua separação por densidade ou “seleção gravítica”. Neste caso, os materiais vão se sedimentando sempre que a água deixa de ter capacidade para mantê-los em movimento. Desta forma, originam-se importantes concentrações de minerais densos de interesse econômico, como por exemplo, o ouro e a prata, no curso superior e médio dos rios, independentemente do diâmetro dos minerais.

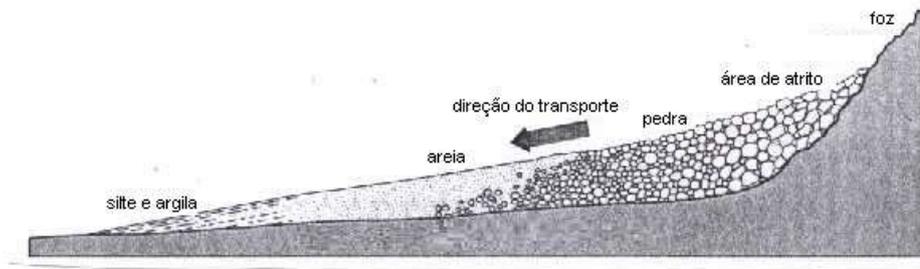


FIG 3.6 – Perfil longitudinal de um rio, evidenciando uma seleção granulométrica

Fonte: CHRISTOFOLETTI, 1981

Para arrancar partículas do leito ou margens de um vale fluvial, é necessária uma velocidade de corrente superior à que se requer para transportá-las ou sedimentá-las. Por outro lado, pode ainda se notar que, para sedimentos de dimensões pequenas, uma corrente, mesmo fraca, pode provocar erosão.

Para sedimentos mais finos, como a argila, é necessária uma velocidade de corrente muito maior para provocar erosão do que nas areias, apesar destas serem de diâmetro maior. Este fenômeno se deve principalmente à forma das partículas argilosas e à coesão entre elas, dependendo do grau de consolidação.

3.2.2.3 VARIAÇÃO DA VAZÃO DO RIO

A vazão de um rio é um dado intervalo de volume de água que passa numa determinada seção transversal durante um dado intervalo de tempo. Esta medida não é constante, podendo-se verificar um aumento da vazão de 4 a 100 vezes maior que o fluxo normal no período de cheias e que leva a um aumento da velocidade da corrente. Estas variações têm conseqüências diretas nos processos de erosão e transporte, aumentando estes processos.

3.2.2.4 EXISTÊNCIA DE "ACIDENTES" NO CURSO DO RIO

Os "obstáculos" que um rio apresenta no seu curso dão lugar a determinados acidentes ou descontinuidades, modificando o processo sedimentar normal.

Uma descontinuidade bastante comum são os meandros divagantes, que se formam nos cursos médio e inferior de um rio, onde a menor declividade e, por conseguinte, menor velocidade da corrente, leva a que esta "procure" traçar um caminho mais fácil, adquirindo muitas vezes um aspecto sinuoso.

Os meandros se comportam como exceção quanto aos processos de erosão, transporte e sedimentação, pois, na margem côncava deles, a velocidade da corrente é máxima e, portanto, está marcada por uma intensa ação erosiva, enquanto que ocorre sedimentação na margem convexa, onde a velocidade é mínima. Este fato provoca o deslocamento lateral do meandro, o que origina um traçado instável do mesmo, dando origem ao chamado "meandro divagante", que por sua vez provoca a assimetria progressiva do vale fluvial. Isto, por sua vez pode levar a um estrangulamento do meandro, que acaba sendo "abandonado" pelo rio, dando origem a um "braço morto", como ilustrado na FIG 3.7.

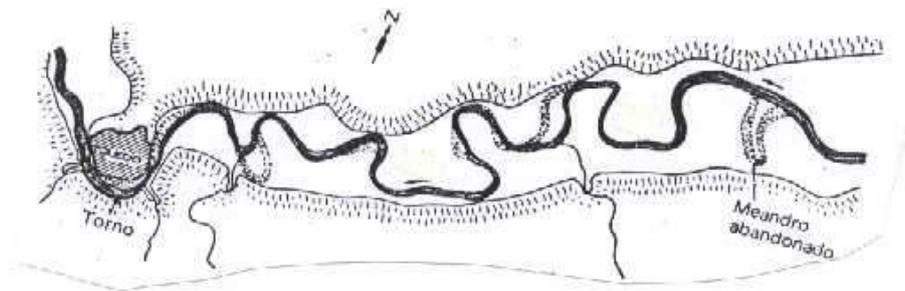


FIG 3.7 – Meandro abandonado ou "braço morto"

Fonte: CHRISTOFOLETTI, 1981

3.3 PARÂMETROS HIDRÁULICOS DE RIOS PARA NAVEGABILIDADE

3.3.1 ESTADO DA ARTE DA HIDRÁULICA FLUVIAL

De acordo com SILVA *et al.* (2003), o conceito de Hidráulica Fluvial contempla basicamente os mecanismos do escoamento em rios sendo, portanto, necessário, no seu sentido mais abrangente, a incorporação dos processos morfológicos associados a estes escoamentos.

Embora a água se distribua na natureza sob diferentes meios de armazenamento e circulação, é através dos cursos d'água que ela oferece as formas mais racionais e viáveis para seu aproveitamento. Dentro deste contexto, o conhecimento da Hidráulica Fluvial passa a ser uma das ferramentas fundamentais para os processos de decisão sobre a exploração racional dos benefícios potenciais dos rios, como aproveitamento energético, irrigação, navegação e, no caso das inundações, promover o zoneamento adequado da bacia de modo a garantir a segurança e os bens das populações ribeirinhas.

Como outras áreas do conhecimento humano, a Hidráulica Fluvial tem uma história que remonta às origens da humanidade. Para a civilização, a expressão "O

Egito é uma dádiva do Nilo” é provavelmente uma das referências mais antigas e marcantes sobre esta importância.

O processo de conhecimento sobre os fenômenos hidráulicos desenvolveu-se acompanhando a evolução do conhecimento científico, notadamente na Mecânica dos Fluidos e na Física. Na era moderna, os marcos mais importantes da Hidráulica Fluvial seguem uma cronologia, destacando-se aqui apenas os estudos e descobertas mais importantes ligadas aos aspectos quantitativos.

Presente em quase todas as áreas do conhecimento científico nos primórdios da era moderna, Leonardo da Vinci também se interessou pelos rios, como atesta o seguinte texto de sua autoria sobre a continuidade e a velocidade do escoamento:

“Dados dois rios com igual volume de água em suas entradas, as suas saídas também terão volumes iguais; ... o fato de existirem nestes dois rios infinitas variações de correntes em largura, comprimento, declividade e profundidades, não impedirá que as entradas e saídas de ambos sejam as mesmas”.

Um grande salto de conhecimento sobre a hidráulica dos rios ocorreu no século XVI, quando o arquiteto Giovan Fontana pesquisou o comportamento do rio Tibre em Roma durante a cheia ocorrida em 1598. Esta pesquisa, uma das pioneiras na História envolvendo conhecimentos básicos de hidráulica e gerenciamento do espaço urbano, resultou na publicação de um tratado em 1599. Segundo Fontana, os efeitos da cheia foram agravados pelo fato das populações terem se estabelecido junto à confluência de diferentes rios com o Tibre. Contribuiu também para os prejuízos o desconhecimento dos efeitos das fortes chuvas e ventos, que se fizeram presentes por longo tempo durante a ocorrência da cheia. Fontana efetuou um levantamento dos rios que contribuía para o Tibre, determinando suas profundidades e larguras em condições normais e de cheia, de forma a determinar a área molhada da seção transversal. A partir daí, Fontana cometeu um equívoco fundamental ao determinar a vazão pela fórmula “ $Q = A$ ”, ou seja, igualando a vazão do rio à área molhada da seção transversal, sem levar em conta a velocidade do mesmo. Apesar do erro básico, a principal conclusão de Fontana foi pela

necessidade de ampliação do leito do rio, eliminando-se assim os efeitos da cheia na cidade de Roma.

Benedetto Castelli (1577-1644) teve como principal contribuição a investigação da relação entre velocidade e vazão. Corrigindo o erro de Giovan Fontana ele redefiniu o conceito de continuidade através dos seguintes textos:

“... em diversas partes do mesmo rio ou corrente de água, sempre passa igual quantidade de água em tempos iguais e sendo isto verdade, diversas partes de um rio terão velocidades diferentes”. “... a velocidade em diferentes partes de um rio terá sempre proporções recíprocas e semelhantes com as suas dimensões”.

O livro de Castelli intitulado *“Della Misura dell’Acqua Correnti”*, escrito em 1628, é considerado o primeiro a conter princípios corretos do escoamento em rios e canais. Ele estabeleceu um marco no conhecimento da Hidráulica ao introduzir a fórmula $Q = A v$, sendo Q a vazão, A a área molhada e v a velocidade, o que permitiu o início da tecnologia de medições hidrométricas.

A metodologia de investigação de campo teve em Giovanni Guglielmini um de seus pioneiros e seus estudos tiveram considerável influência no desenvolvimento de conceitos e princípios gerais de escoamento em canais abertos. Em um de seus textos, mencionou pela primeira vez o papel básico que a diferença de pressões pode exercer sobre a velocidade do escoamento, concluindo que a velocidade da água não depende apenas da declividade do canal, mas igualmente da pressão que as partes superiores exercem sobre as inferiores.

Edmé Mariotte foi o pioneiro na medição de descarga em rios, e o seu método, descrito no livro *“Tratado Sobre o Movimento das Águas e de Outros Corpos Fluidos”*, foi utilizado pela primeira vez no rio Sena com a utilização de flutuadores.

No século XVIII, Antoine Chèzy e Pierre Du Buat desenvolveram de forma independente, as primeiras fórmulas conhecidas de perda de carga para escoamento uniforme. Em 1786, Du Buat publicou um tratado sobre rios, incluindo

resultados de experimentos sobre a velocidade de escoamento e o transporte de sedimentos, discutindo a formação e migração de bancos de areia, a estabilidade de seções transversais do escoamento e diversas equações do movimento uniforme.

Ao longo de todo o século XIX foram desenvolvidas as principais fórmulas de resistência começando pela fórmula de Antoine Chèzy, que embora estabelecida de forma preliminar no século XVIII, só passou a ser utilizada a partir de 1897. Seguiram-se os trabalhos de Darcy, Bazin, Ganguillet, Kutter e finalmente Robert Manning, cuja fórmula é a mais utilizada nos dias presentes.

Os modelos matemáticos na Hidráulica Fluvial tiveram a sua origem nos trabalhos de Barre de Saint-Venant e Boussinesq (1871). Estes cientistas formularam originalmente as equações dos escoamentos não permanentes gradualmente variados, sendo que posteriormente, Massau, em 1889, publicou algumas tentativas de solução destas equações. Juntamente com a equação de energia, as equações de Saint-Venant formam o conjunto de equações fundamentais da Hidráulica Fluvial.

O primeiro registro de cheias quantitativamente consistente conhecido, refere-se às medições de níveis feitas no rio Elba entre 1727 e 1869. Como os instrumentos estatísticos eram muito elementares, a análise destes registros limitou-se aos valores médios e extremos, feita por Heinrich Berghaus em 1837 e abrangendo os dados existentes até aquele ano.

Importantes conceitos teóricos foram estabelecidos na primeira metade do século XX, sobretudo no domínio dos escoamentos turbulentos e suas interações com a resistência e a perda de carga em rios e canais. Estes estudos satisfizeram a necessidade de integração entre a Hidrodinâmica Teórica de Euler, para fluidos perfeitos e a Hidráulica Experimental, cujos resultados e objetivos não se coadunavam. Deve-se a L. Prandtl a introdução do conceito de camada limite e a partir deste conceito os estudos subseqüentes de von Karmán, Nikuradse e Schlichting permitiram equacionar de forma acurada os problemas de resistência e perda de carga tanto para encanamentos como para canais. Estes estudos se

desenvolvem até os dias de hoje e embora tivessem sido originalmente dirigidos para a nascente ciência da Aerodinâmica, os seus resultados tiveram um impacto importante na Hidráulica.

Outro marco importante para a Hidráulica Fluvial ocorreu entre 1951 e 1953, quando Isaacson, Stoker e Troesch (1956) construíram e aplicaram um modelo matemático para trechos dos rios Mississipi e Ohio a partir dos quais desenvolveu-se a tecnologia moderna de modelagem da propagação de enchentes.

Na década de 60, foi desenvolvido um dos primeiros modelos matemáticos computacionais para simulação de enchentes, utilizando uma malha de escoamento no plano bidimensional. Este modelo foi construído para o delta do rio Mekong pela Société Grenobloise d'Etudes et Applications Hydrauliques (SOGREAH).

Os trabalhos iniciados em 1962 terminaram em 1966 e seus autores Zanobetti e Lorgeté apresentaram este modelo na revista *La Houille Blanche* (1968). O modelo desenvolvido tinha por princípio a divisão da bacia do rio em células de armazenamento, que representavam trechos de rio e de planície. Em linhas gerais, este modelo reproduzia a área alagada de todo o delta, considerando as cheias naturais e as cheias modificadas pela construção de uma barragem de controle de enchentes e regularização do rio para a navegação e a irrigação. A área de modelação para este estudo abrangeu cerca de 50000 km².

Um pouco mais tarde, com a evolução dos computadores digitais e um melhor conhecimento e desenvolvimento de técnicas de modelagem numérica, passou a ser mais freqüente o uso dos modelos matemáticos bidimensionais e até tridimensionais. Estes modelos dão as diretrizes para uma nova etapa nas pesquisas sobre Hidráulica Fluvial, proporcionando um conhecimento mais completo da dinâmica dos rios e suas planícies de inundação.

Na tabela a seguir, estão sistematizados os hidráulicos notáveis e suas contribuições, em cada tempo da história.

TAB 3.2 – Hidráulicos notáveis e suas contribuições

Nome	Origem e Período	Contribuições Principais
ARQUIMEDES	Siracusa 287 a. C - 212 a. C	primeiro texto conhecido sobre hidráulica
LEONARDO DA <i>VINCI</i>	Itália 1452 - 1519	elaborou estudos e projetos dentro dos conceitos atuais de Engenharia Hidráulica
EVANGELISTA <i>TORRICELLI</i>	Itália 1608 - 1647	pioneiro de estudos experimentais: estudos de orifícios e jatos
DANIEL <i>BERNOULLI</i>	Holanda 1700 - 1782	precursor de abordagem teórica da hidráulica
LEONHARD <i>EULER</i>	Suíça 1707 - 1783	equações gerais do movimento dos fluidos perfeitos
ANTOINE <i>CHÉZY</i>	França 1718 - 1798	estudos experimentais relativos à resistência ao escoamento
JEAN CHARLES DE <i>BORDA</i>	França 1733 – 1799	estudo do escoamento junto a embarcações, bombas e orifícios; expressões para cálculo de perdas de carga localizadas
LOUIS MARIE HENRI <i>NAVIER</i>	França 1735- 1836	contribuição teórica à hidrodinâmica
GASPARD GUSTAVE DE <i>CORIOLIS</i>	França 1792 – 1843	aceleração em sistemas em rotação; introdução de coeficientes para velocidade
GEORGE GABRIEL <i>STOCKES</i>	Irlanda 1819 - 1903	equações gerais do escoamento
JEAN-CLAUDE BARRÉ DE SAINT <i>VENANT</i>	França 1797 – 1886	escoamento não permanente
HENRI-PHILIBERT-GASPARD <i>DARCY</i>	França 1803 - 1858	escoamento em meios porosos e em tubulações
LUDWIG-JULIUS <i>WEISBACH</i>	Alemanha 1806 – 1871	contribuições experimentais concernentes à resistência ao escoamento
WILLIAM <i>FROUDE</i>	Inglaterra 1810 – 1879	modelagem física em hidráulica
ROBERT <i>MANNING</i>	Irlanda 1816 – 1897	proposição e divulgação de expressões de resistência ao escoamento em canais abertos
ORBORNE <i>REYNOLDS</i>	Irlanda 1842 – 1912	conciliação de resultados experimentais e teóricos
JOSEPH <i>BOUSSINESQ</i>	França 1842 – 1929	contribuição teórica ao estudo de coeficientes de velocidade e turbulência
BORIS <i>BAKHMETTEF</i>	Rússia 1880 – 1951	ressalto hidráulico e energia nos escoamentos livres
VEN TE <i>CHOW</i>	China 1919 – 1981	consolidação e divulgação da hidráulica e hidrologia

Fonte: BAPTISTA & COELHO, 2002

3.3.2 IDENTIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS PARÂMETROS HIDRÁULICOS

Os engenheiros que desenvolvem atividade no domínio dos recursos hídricos são chamados a resolver vários tipos de problemas no âmbito da Hidráulica Fluvial. Seguidamente discutem-se, de forma resumida, alguns desses problemas, tendo em vista dar uma perspectiva geral deste ramo da engenharia. Esses problemas podem ser agrupados do seguinte modo:

- *Erosão hídrica e conservação do solo*

Segundo CARDOSO (1998), quando a precipitação excede a capacidade de infiltração do solo, há lugar à ocorrência de escoamento superficial que exerce forças de arraste. O mesmo acontece em consequência da fusão das neves, no caso dos países europeus. Quando a força de arraste é suficientemente elevada, as partículas do solo são desagregadas e transportadas com o escoamento. Este fenômeno – a erosão hídrica – é potencializado pelo impacto das gotas da chuva e pode ser acelerado ou mitigado pela ação do homem. O estudo e análise da erosão hídrica e das técnicas e medidas de conservação do solo exigem conhecimentos avançados do fenômeno do transporte sólido.

- *Cheias e seu controle*

As redes hidrográficas drenam para o mar o escoamento superficial e a parte do escoamento subterrâneo que ressurge nos leitos fluviais. Quando as vazões são elevadas, os níveis da superfície livre do escoamento podem exceder os das margens dos rios, invadindo as zonas adjacentes de menor cota. Nestas circunstâncias ocorrem cheias. Frequentemente, estas zonas baixas adjacentes aos rios são muito férteis e populosas, pelo que as cheias podem causar danos elevados

em termos de vidas humanas e de bens materiais. Muitos dos rios que atravessam zonas aluvionares fazem-no em ziguezague. Este fenómeno é conhecido por meandrização; por vezes, os meandros deslocam-se para jusante, podendo mudar consideravelmente de curso. Em geral, os engenheiros hidráulicos são chamados a estabilizar esses cursos d'água e a conceber esquemas que garantam o escoamento das cheias – e da respectiva carga sólida – em condições de segurança para os vales adjacentes e respectivas populações. Existem vários métodos que permitem lidar com este problema e que exigem conhecimentos avançados, sob pena de, quando indevidamente aplicados, poderem ser ineficazes.

- *Cálculo da vazão sólida*

Associado ao escoamento da água em rios e canais de fundo móvel ocorre, geralmente, o transporte dos sedimentos, em parte junto ao fundo, por arrastamento e/ou rolamento (transporte sólido por arrastamento), e em parte em suspensão no seio do escoamento (transporte sólido em suspensão). A quantidade de material sólido transportado – a vazão sólida – é uma das variáveis determinantes na maioria dos problemas da Hidráulica Fluvial. É bem conhecida a grande variabilidade da vazão sólida de rio para rio, o que é uma indicação do elevado número de variáveis hidrológicas e hidráulicas de que depende. Enquanto não for possível quantificar com rigor as variáveis de ambos os tipos e ter devidamente em consideração as do primeiro, não é também possível quantificar satisfatoriamente a vazão sólida. Contudo, existem muitos métodos de cálculo, obtidos por via analítica ou experimental, que integram essencialmente a influência de variáveis hidráulicas.

- *Erosão, transporte e deposição de sedimentos*

O armazenamento da água para múltiplos fins, designadamente para irrigação, abastecimento público, produção de energia ou para amortecimento de cheias, pode

ser conseguido pela construção de barragens nos vales dos rios. As barragens induzem a redução da velocidade dos escoamentos a montante e, em conseqüência, boa parte do material sólido transportado por arraste e parte do transportado em suspensão se deposita no reservatório criado, o que reduz progressivamente a sua capacidade de armazenamento. A sedimentação em reservatórios depende, obviamente, das vazões líquidas e sólidas afluentes e das que transpõem a barragem para jusante. O tema da sedimentação em reservatórios precisa de investigação sobre correntes de densidade e sobre a eficiência de retenção em função dos padrões de deposição e das características e modo de operação dos reservatórios.

Um trecho relativamente curto de um rio aluvionar diz-se em equilíbrio ou em regime quando as vazões sólidas que a ele afluem e que dele saem são iguais entre si e iguais à capacidade de transporte do rio, definida para as características dos sedimentos, do fluido (água) e do próprio escoamento. Nestas circunstâncias, os níveis do fundo não variam, em média, ao longo de um período de tempo suficientemente longo. Se, por sua vez, as vazões sólidas afluentes e efluentes forem diferentes, então os níveis do fundo aumentam ou diminuem ao longo do tempo.

A diminuição da cota do fundo é conhecida por erosão ou degradação, enquanto o aumento é conhecido por deposição ou aggradação. Por exemplo, ocorre forçosamente erosão em leitos aluvionares a jusante de reservatórios com grande capacidade de regularização, pelo fato dos sedimentos aí serem quase todos retidos, saindo a água praticamente limpa de impurezas e com possibilidade de, erodindo continuamente o fundo, transportar a quantidade de material que satisfaça a sua capacidade de transporte.

Quando um rio se subdivide em um ou mais ramais, como acontece nos deltas, não é fácil todos os ramais permanecerem individualmente em equilíbrio. Porém, quando o material sólido afluente a um ramal excede a sua capacidade de transporte, ocorre necessariamente deposição, verificando-se o contrário em outros

ramais, o que representa uma instabilidade. Observam-se fenômenos desta natureza no rio Ganges, na Índia e no rio Amarelo, na China.

- *Erosões localizadas*

Quando se introduz um obstáculo num trecho de rio em equilíbrio, as forças de arraste no fundo aumentam nas imediações do obstáculo. Deste aumento pode resultar uma remoção preferencial de material do fundo nas proximidades do obstáculo, gerando-se uma cavidade de erosão. Este fenômeno pode ocorrer, por exemplo, junto de esporões fluviais e de pilares e encontros de pontes. A análise das variações de cota dos leitos aluvionares, generalizadas ou localizadas, é muito importante para a concepção, projeto e construção de quaisquer obras nesses leitos.

- *Dimensionamento de canais estáveis*

O vasto conhecimento que se tem hoje da hidráulica dos escoamentos em canais de leito fixo permite dimensioná-los de forma adequada. Em contrapartida, o dimensionamento de canais com leito móvel em equilíbrio (ou em regime) é ainda muito difícil pelo fato de depender da vazão líquida, da vazão sólida e da granulometria do material do fundo. Os trabalhos de cientistas como Lacey, Blench e outros forneceram um conjunto de equações empíricas que permitem determinar as dimensões de canais estáveis. Este conjunto de equações, muito aplicado na Índia, Paquistão, Egito e Rússia, é conhecido sob a designação de teorias de regime. Em alternativa a estes, outros métodos, conhecidos sob a designação de métodos racionais, têm vindo a ser desenvolvidos; envolvem uma condição de equilíbrio dinâmico, uma equação de transporte sólido e uma equação de resistência ao escoamento.

- *Canais de navegação*

Sabe-se, desde o início da civilização, que em muitos casos o transporte fluvial pode ser mais econômico que o transporte terrestre. Para esse efeito, a maioria dos rios é sujeita a variados tipos de obras (canalização, proteção de margens, dragagem, construção de eclusas, construção de barragens, açudes e soleiras – ou travessões – para garantia de profundidades mínimas, etc.), como aconteceu, aliás, em muitos rios da Europa, dos Estados Unidos e da China. A concepção e construção de tais obras requerem conhecimentos especializados de Hidráulica Fluvial.

Além dos aspectos referidos anteriormente, há várias áreas em que o conhecimento do transporte sólido pode ser útil aos engenheiros. A utilização de desarenadores para os mais variados fins e o transporte bifásico em condutas sob pressão, que encontra aplicações na dragagem de rios, canais ou portos e no transporte de carvão e metais pulverizados, são exemplos dessas áreas de aplicação de conhecimentos do âmbito da Hidráulica Fluvial.

3.3.2.1 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS – CURVA-CHAVE E DISTRIBUIÇÃO DAS TENSÕES NA FRONTEIRA

- *Condicionantes do Transporte de Sedimentos*

Segundo ALFREDINI (2005), de um modo geral, o transporte sólido depende de condicionantes hidráulicas (correntes e ondas), hidrometeorológicas, sedimentológicas, geomorfológicas (geologia e topobatimetria), de recobrimento vegetal das bacias hidrográficas e da influência antrópica. As condicionantes hidráulicas, hidrometeorológicas e a influência antrópica são agentes ativos,

enquanto as demais são passivas. Trata-se de escoamentos essencialmente não permanentes, tridimensionais e de fronteira variável no espaço e no tempo.

A ação da água é o agente ativo, além da ação antrópica, que causa, ou afeta diretamente, a erosão. Assim, as águas de chuva podem ter efeitos variados, dependendo de sua intensidade, quantidade, duração e frequência. De fato, uma chuva intensa pode produzir acentuado efeito erosivo no solo, enquanto se a mesma quantidade precipitada se distribuir num tempo maior, ocorrerão menores estragos, pois as gotas terão menor peso e não terão tanto impacto. Além disso, haverá o encharcamento progressivo do solo com infiltração, sem a formação das enxurradas que tendem a lavar o solo. O escoamento das águas pluviais se subdivide na infiltração pelo terreno e no escoamento superficial, e se caracteriza pela sazonalidade hidrológica (grandes vazões sólidas nos períodos de chuvas) e pelo abatimento do pico de vazão de cheia, quanto maior for a parcela de água infiltrada.

As características sedimentológicas do solo dizem respeito à forma de sua curva granulométrica (estrutura) e dos grãos (textura), sendo os sedimentos mais facilmente erodidos as areias finas de curva granulométrica uniforme (bem selecionadas/mal graduadas) e grãos arredondados, que também facilitam a infiltração, enquanto as argilas resistem por coesão à erosão e impedem a infiltração. As características topobatimétricas de aumento da declividade e do comprimento da rampa produzem aumento da erosão pelo escoamento superficial veloz e pouca infiltração, dependendo da rugosidade da superfície, estando correlacionadas à ação da gravidade no deslocamento de cada partícula em função do seu peso. As características geológicas estão ligadas à consistência dos materiais, do comportamento na infiltração e no escoamento superficial, da espessura e ângulo de mergulho da camada e das fraturas existentes. A cobertura vegetal protege o solo contra a erosão pluvial, aumentando a evapotranspiração e a infiltração e, conseqüentemente, reduzindo o escoamento superficial, além do efeito de interceptação.

TAB 3.3 - Dados sobre erosão

Tipo de Cobertura Vegetal	Quantidade de material removido (kg/ha/ano)
Mata virgem	1 ~ 4
Mata explorada (madeira, etc.)	220
Pastagem	4.000
Algodal	24.800
Mamona	41.500
Feijão	38.100
Mandioca	33.900
Amendoim	26.700
Arroz	25.100
Soja	20.100
Cana	12.400
Café	20.000
Milho	18.000
Outras culturas	15.000

Fonte: ALFREDINI – 2005

- *A erosão por ação hidráulica*

A erosão hídrica superficial se subdivide em:

- Erosão **pluvial** produzida pelo impacto das gotas de chuva caindo em superfícies desprotegidas, desintegrando parcialmente os componentes naturais do solo, liberando partículas finas que são projetadas a uma certa distância.
- Erosão **generalizada por escoamento difuso** caracterizado por sulcos, ravinas ou dedos, que se infiltram após pequeno percurso, depositando os sedimentos transportados já desagregados. Quando os filetes percorrem maiores distâncias, transportando maior quantidade de material, ocorre o escoamento difuso intenso, que vai se aprofundando e concentrando.
- Erosão **laminar**, que se produz nas chuvas intensas em que o solo superficial encontra-se saturado. Caracteriza-se por um desgaste suave e uniforme da camada superficial em toda a sua extensão.
- Erosão **por escoamento concentrado** pode ser oriunda da falta de boa estrutura do solo com camada impermeável profunda, vindo a se formar sulcos profundos, cuja erodibilidade pode vir a produzir as voçorocas.

A erosão por remoção em massa é entendida como movimentos de grandes quantidades de materiais de formações superficiais e de rochas sob a ação combinada de gravidade e saturação da água, podendo ser subdividida em:

- **Rastejo**, quando a erosão é um movimento de massa lento e contínuo do solo ou rocha decomposta, equivalendo a um escorregamento de camadas superficiais sobre camadas mais profundas, sendo chamado de solifluxão ou movimentos coluvionares, quando a massa está saturada por chuvas persistentes.
- **Desprendimento de terras** ou deslizamento é uma erosão do tipo rápido, em que uma porção do solo se desprende do talude do maciço.
- **Escorregamento superficial** ou ruptura de talude é um deslocamento rápido da massa sólida ao longo de uma curva de deslizamento, que passa pelo pé do talude.
- **Escorregamento profundo** é um escorregamento rápido passando por um ponto afastado do pé do talude.

A erosão fluvial consiste no transporte de sedimentos promovido no material do leito pela ação das correntes fluviais como agente morfológico. Verifica-se que as cabeceiras dos rios são compostas por sedimentos de dimensões maiores, como pedras, seixos e pedregulhos. A seleção é hidrodinâmica, o que fica no fundo é o que a corrente não consegue carregar. De um modo geral:

- Na alta bacia, há maior erosão e transporte de sedimentos, com forte degradação dos solos, representando grande fonte de sedimentos.
- Na média bacia, a erosão diminui pelo decréscimo das declividades e a menor intensidade das chuvas, correspondendo a área de transferência de sedimentos, com formação de braços e meandros fluviais.
- Na parte baixa da bacia, a maior parte dos sedimentos erodidos produz agradação, distribuindo-se os depósitos no leito e várzeas.

- *A viabilidade de obras de Engenharia Hidráulica e o transporte de sedimentos*

O transporte de materiais sólidos em escoamentos é importante para o estudo de viabilidade técnico-econômica e ambiental de um grande número de obras de Engenharia Hidráulica, podendo-se citar:

- **Na Hidráulica Fluvial:** obras de melhoria da geometria e cinemática do escoamento, visando a navegação, controle de cheias, defesa das áreas ribeirinhas, estabilidade de obras fluviais, abastecimento de água, conservação do solo e da vegetação da bacia hidrográfica. Trata-se da construção de diques, espigões, soleiras, revestimentos de canais, cortes de meandros, dragagens e derrocamentos, estudos de canais e confluências.
- **Nos aproveitamentos hidráulicos:** assoreamento de reservatórios e tomadas d'água, ensecadeiras, erosões junto às fundações de pilares de pontes ou a jusante de vertedores de barragens, decantação e difusão de sólidos em tratamentos d'água e efluentes, canais industriais ou de irrigação, abrasão de tubulações, bombas e turbinas, transporte sólido por conduto forçado (lododutos e minerodutos).

A eficiência de numerosas obras hidráulicas tem sido seriamente afetada, com prejuízos que vão até a inutilização total, por não terem sido devidamente considerados os problemas de transporte sólido.

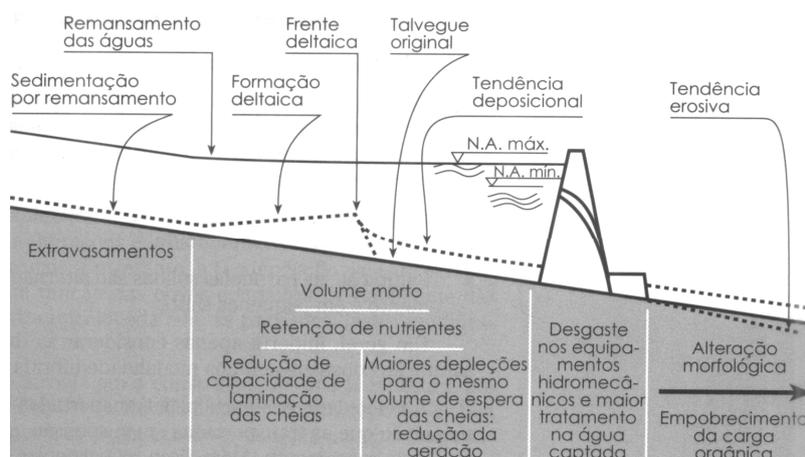


FIG 3.8 – Esquema de formação de depósitos de sedimentos nos reservatórios

Fonte: ALFREDINI, 2005

Nesta figura, mostra-se a indicação dos principais impactos decorrentes da formação de depósitos. No limite da vida útil, o reservatório fica reduzido a fio d'água, sem capacidade de laminação das cheias. Em estágios intermediários de assoreamento, o volume de espera das cheias reduz a potência geradora de usinas hidrelétricas.

- *Modalidades do Transporte Sólido*

A velocidade das partículas transportadas por arraste é sempre muito menor do que as transportadas em suspensão, aproximando-se esta da velocidade média do escoamento. Além disso, as partículas em suspensão deslocam-se permanentemente e as arrastadas movem-se de forma intermitente, alternando períodos de deslocamento com outros de repouso, em geral sob outras partículas do fundo.

A diferença de velocidades das partículas em suspensão e por arrastamento, aliada à circunstância de o transporte em suspensão fazer-se em toda a seção do escoamento, enquanto o transporte por arrastamento se processa apenas numa camada relativamente delgada junto ao fundo, faz com que nos cursos d'água naturais, a vazão sólida em suspensão seja, de modo geral, consideravelmente superior à vazão sólida por arrastamento. Segundo ALFREDINI (2005), no alto curso, a vazão sólida em suspensão representa de 90 a 95% do transporte sólido total, reduzindo-se para 65 a 90% à medida que a erosão da bacia vai diminuindo por redução da declividade do curso d'água.

A forma como ocorre o transporte sólido não proporciona uma nítida separação entre as modalidades, pois na prática estabelece-se uma continuidade entre o material transportado por arrastamento e em suspensão, reduzindo-se progressivamente a concentração deste último do fundo para a superfície. Nas mesmas condições hidráulicas, as partículas menores são transportadas em suspensão e as mais grosseiras, por arrastamento.

Algumas partículas muito finas podem ser transportadas sempre em suspensão, formando as denominadas suspensões coloidais, decantando somente sob a ação de forças físico-químicas que produzem a floculação (coagulação) das partículas, como no caso da ação da água salobra sobre cargas sedimentares fluviais nos estuários, que, aumentando de dimensão (formam-se flocos com dimensões muito maiores do que as das partículas que o compõem), decantam formando depósitos característicos.

Na maioria dos escoamentos fluviais, é o material mais grosseiro, transportado por arrastamento, que condiciona a morfologia (forma) dos leitos. Já nos reservatórios ou em estuários, as condições podem modificar-se completamente, devido às baixíssimas velocidades no primeiro caso e ao fenômeno da floculação no segundo.

- *Equilíbrio dos Escoamentos com Fundo Móvel*

Nos cursos d'água, as vazões líquidas e sólidas não permanecem constantes, sendo as condições de fronteiras variáveis. Costuma-se denominar de equilíbrio dinâmico ou de regime a situação em que o leito, embora sujeito a variações sazonais, acaba por retornar periodicamente a uma topobatimetria semelhante.

Este equilíbrio pode ser rompido por alterações nas condições de alimentação das vazões líquidas e sólidas, por alterações das características do escoamento, ou por mudança na geometria dos canais. Entretanto, a tendência fluvial será sempre de buscar um novo equilíbrio em função das novas condições. A viabilidade das obras hidráulicas está estritamente relacionada com as previsões destas modificações.

Um exemplo comum é a modificação do regime fluvial como resultado do reflorestamento ou obras de controle de erosões na bacia hidrográfica contribuinte, o que tem sempre uma influência muito mais considerável na redução da vazão sólida

do que na redução da vazão líquida, o que pode produzir erosões ao longo do curso médio e baixo dos rios.

Em rios que se subdividem em vários braços, ao ocorrer ruptura do equilíbrio num deles, como o aprofundamento do leito com conseqüente maior vazão líquida escoada, produzirá conseqüências nos demais, que, no caso, seriam a redução das vazões líquidas escoadas com prováveis deposições associadas.

- *Curva-Chave Sólida*

As curvas-chave sólidas ou de sedimentos são influenciadas pela variação sazonal do regime fluvial ao longo do ano (período de cheias e estiagem), bem como por ciclos úmidos ou secos de longo período (plurianuais). Assim, para obterem-se curvas-chave representativas, é importante que as medições tenham abrangido toda a variação do nível d'água do período considerado, associadas aos respectivos valores de descarga sólida.

No traçado de uma curva-chave sólida, é conveniente o uso de gráfico bilogarítmico, devido à grande dispersão dos dados e à grande variação dos valores entre mínimos e máximos. Normalmente, a dispersão de pontos é grande, havendo uma grande variação de descarga sólida para uma mesma descarga líquida.

3.3.2.2 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS, INÍCIO DO MOVIMENTO, CONFORMAÇÕES DE FUNDO, RUGOSIDADE

- *Início do Transporte Sólido por Arrastamento*

Na prática, é muitas vezes importante conhecer as condições críticas de início do transporte sólido no leito, em função da estabilidade dos canais. No caso mais comum, em que o material do leito é constituído de granulometria não uniforme, o movimento se dá de forma progressiva, à medida que aumenta a velocidade do escoamento junto ao fundo e a correspondente tensão de arraste tangencial sobre o leito. Assim, começam a mover-se primeiro alguns grãos com menores dimensões e/ou mais expostos às solicitações do escoamento e, só algum tempo depois, verifica-se um transporte generalizado.

De acordo com ALFREDINI (2005), dois conceitos são usualmente adotados nestes estudos: tensão de arraste crítica no leito e velocidade crítica de erosão, abaixo de cujos valores o movimento dos sedimentos é insignificante.

Existem várias correlações empíricas que expressam os dois conceitos. A comparação das diversas formulações mostra certa discrepância entre os resultados obtidos por vários autores, contudo não é exagerada e está de acordo com a dispersão habitual de estudos de transporte de sedimentos.

A curva do diagrama de Shields, conforme apresentado na FIG 3.9, divide o plano em dois campos: um de movimento e outro de repouso. Esta relação foi originalmente proposta para observações experimentais em escoamentos permanentes unidirecionais e próximos do regime uniforme, com água sem sedimentos em suspensão, sobre leito plano de material solto de granulometria uniforme.

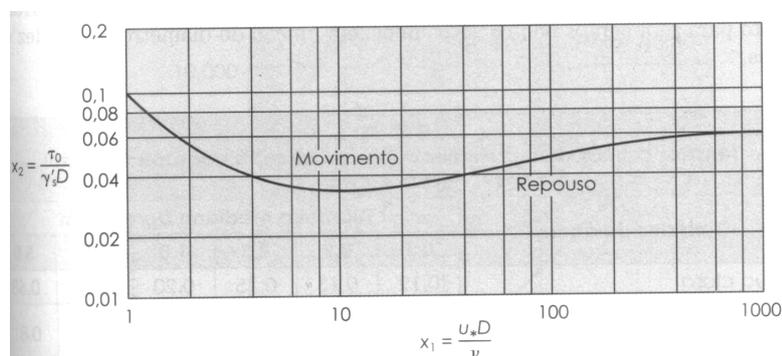


FIG 3.9 – Diagrama de Shields

Fonte: ALFREDINI, 2005

A análise da forma da curva de Shields mostra X_1 e X_2 como parâmetros compostos que, para os escoamentos naturais correntes, isto é, com valores elevados de X_1 , pode-se considerar X_{2c} (valor crítico) como 0,06, correspondendo portanto a uma proporcionalidade direta entre a tensão de arrastamento crítica e a dimensão do material.

- *Conformações de Fundo*

Uma vez iniciado o transporte por arrastamento, com o crescimento progressivo da velocidade do escoamento (e da tensão de arrastamento no leito), o leito móvel passa a apresentar, em ordem seqüencial, as seguintes conformações: leito plano, rugas, dunas, transição e antidunas. As três primeiras constituem o chamado regime inferior do leito, em contraposição do regime superior que corresponde às demais.

As rugas são ondulações sensivelmente regulares, com forma aproximadamente sinusoidal, com alturas da ordem dos centímetros e comprimentos de onda da ordem dos decímetros. Deslocam-se para jusante com uma velocidade reduzida comparada com a do escoamento, sendo que suas dimensões são praticamente independentes das do escoamento.

As dunas são ondulações muito mais irregulares do que as rugas, que exibem um talude de montante mais suave em relação ao mais íngreme de jusante, com alturas da ordem dos decímetros e comprimentos de onda da ordem de metros a centenas de metros. Deslocam-se para jusante com uma velocidade muito inferior à do escoamento, sendo que suas dimensões são fortemente dependentes das do escoamento.

Quando o escoamento aproxima-se do regime crítico ou o ultrapassa, formam-se o leito plano de transição e as antidunas. Estas últimas são ondulações de forma aproximadamente sinusoidal, com dimensões semelhantes às dunas, associadas sempre em fase a ondas da superfície livre e cuja forma propaga-se para montante, para jusante ou pode ser estacionária.

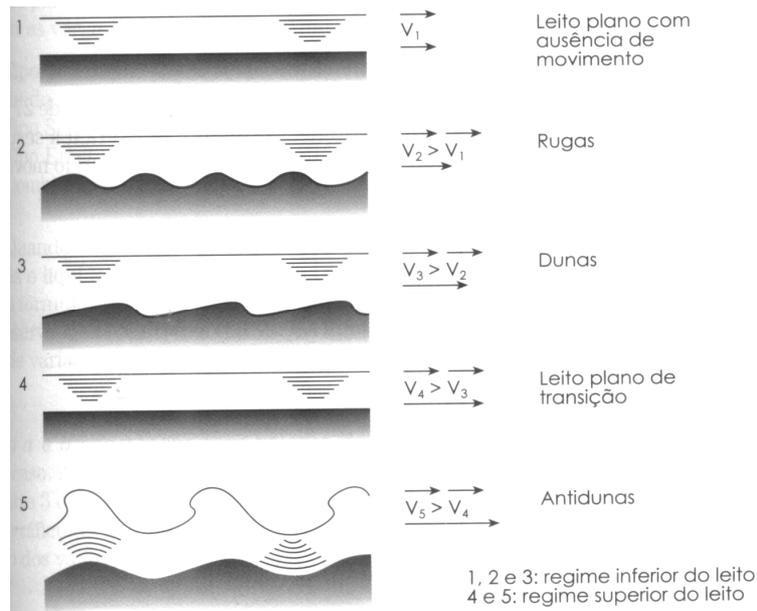


FIG 3.10 – Conformações de fundo dos leitos móveis

Fonte: ALFREDINI, 2005

Nas situações em que não esteja presente o leito plano, a rugosidade de forma é muito mais importante na resistência hidráulica oposta ao escoamento do que a rugosidade superficial. Assim, é muito importante poder estimar as características das conformações de fundo para definir corretamente a curva que correlaciona a profundidade do escoamento, mas requerendo-se também uma equação que relacione a rugosidade com as vazões líquidas.

3.3.2.3 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS, ARRASTAMENTO DE FUNDO E EM SUSPENSÃO

- *Capacidade de Transporte por Arrastamento de Fundo*

Têm sido propostas várias fórmulas para o cálculo da capacidade de transporte sólido por arrastamento, no entanto, dada a complexidade das relações em jogo não

se conseguiu elaborar uma expressão analítica de aplicação absolutamente geral. Na realidade, muitas das formulações não diferem essencialmente na sua estrutura, podendo-se atribuir a diversidade eventual de resultados ao fato de as várias expressões somente serem válidas dentro das condições experimentais que serviram de base para o seu estabelecimento.

- *Transporte Sólido em Suspensão*

O transporte de sedimentos em suspensão é resultado da turbulência do escoamento, particularmente da componente vertical das flutuações de velocidade. A concentração de sedimentos aumenta com a proximidade do leito. O fluxo ascendente das partículas é equilibrado pelo efeito gravitacional, uma vez que a resultante média das flutuações turbulentas é nula, resultando nulo o fluxo médio nesta direção.

Na FIG 3.11, pode-se verificar que os sedimentos mais finos tendem a uma distribuição mais uniforme, em profundidade, numa mesma condição de escoamento, pois apresentam menor velocidade de decantação; por outro lado, quanto maior a energia do escoamento, maior a uniformidade da concentração em profundidade para um mesmo sedimento.

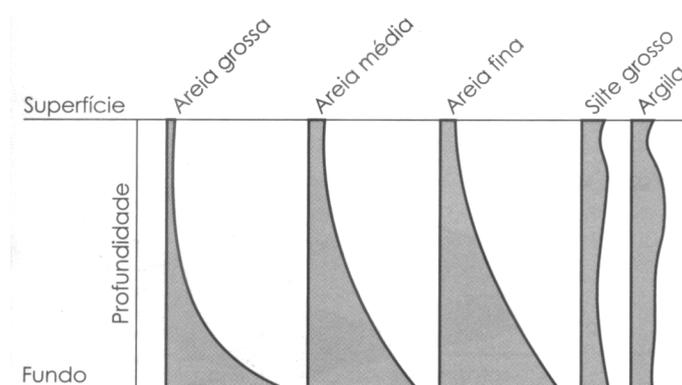


FIG 3.11 – Distribuições verticais de concentração de sedimentos em suspensão que podem ocorrer numa corrente líquida

Fonte: ALFREDINI, 2005

Pode-se considerar que a velocidade de decantação é, de certa forma, uma medida da energia necessária para transportar uma partícula sólida em suspensão, assim como a velocidade de atrito é uma medida da capacidade de transporte do rio.

- *Transporte Sólido Total*

Numa dada seção do escoamento, o transporte sólido efetivo é função do balanço entre a capacidade de transporte sólido das correntes e a disponibilidade de sedimentos a serem transportados (aporte sedimentar). A tendência do comportamento natural é a de sempre buscar atingir a condição de equilíbrio dinâmico neste balanço, isto é, que a capacidade de transporte iguale o aporte. Quando a primeira é superior ao segundo, o equilíbrio dinâmico é atingido por processo erosivo, enquanto na situação oposta o é por processo deposicional. (FIG 3.12)

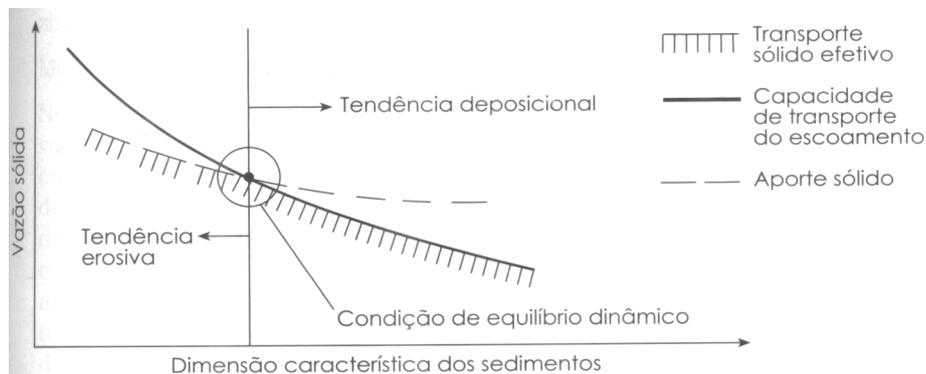


FIG 3.12 – Esquema ilustrativo do transporte sólido efetivo numa dada seção, em função da dimensão característica dos sedimentos

Fonte: ALFREDINI, 2005

A vazão sólida total numa dada seção do escoamento corresponde à soma das vazões correspondentes ao transporte sólido por arraste e em suspensão. Estas duas modalidades de transporte foram tratadas separadamente não só porque o mecanismo de transporte é diferenciado, mas também porque se costuma recorrer a aparelhos diferentes para medir as duas vazões. Na prática, no entanto, não é

possível estabelecer uma separação nítida entre as duas modalidades, mesmo porque elas não são completamente independentes. De fato, considerando-se que o material transportado em suspensão provém do fundo, sua granulometria está representada no material arrastado, o que permite considerar uma continuidade no transporte sólido desde o fundo até a superfície e é possível relacionar o transporte em suspensão com o transporte por arraste.

Em certos casos, o material em suspensão não provém do fundo, mas das vertentes da bacia hidrográfica, e nestas circunstâncias o transporte em suspensão é completamente independente do transporte por arrastamento, tendo-se que considerar variáveis de influência fisiográfica da bacia hidrográfica.

Os métodos de cálculo da vazão sólida apresentados não incluem os materiais de fina granulometria, que não estão representados no material do leito e que provêm diretamente da lavagem superficial da bacia hidrográfica para serem totalmente transportados em suspensão. A vazão sólida deste material mais fino não depende das características hidráulicas do escoamento, mas das características fisiográficas da bacia hidrográfica e das variações espaciais e temporais das precipitações. A sua determinação somente poderá ser feita recorrendo a medições diretas ou a resultados extrapoláveis de medições feitas em outras bacias análogas.

As vazões sólidas em suspensão numa dada seção fluvial dependem mais do que se passa a montante, principalmente da alimentação de material sólido fino proveniente da bacia hidrográfica contribuinte do que se passa na vizinhança imediata da própria seção. Com relação à vazão sólida por arrastamento, são as variáveis locais que predominam e que são de mais fácil definição do que as variáveis fisiográficas.

As quantidades de sedimentos que os rios transportam para os oceanos correspondem a cifras bastante elevadas. Dentre os maiores contribuintes, estão os rios apresentados na tabela a seguir, com suas correspondentes estimativas de quantidade de sedimentos transportados.

TAB 3.4 – Estimativa de quantidade de sedimentos transportados

Rio	País	Quantidade de sedimentos (ton/ ano)
Amarelo	China	2 bilhões
Ganges	Índia	1,5 bilhão
Amazonas	Brasil	0,4 bilhão
Mississipi	Estados Unidos	0,3 bilhão
Nilo	Egito	0,1 bilhão

Fonte: ALFREDINI – 2005

Estas cargas estimadas dependem do regime de chuvas, da natureza do solo e de sua cobertura vegetal.

4 ESTUDOS DE NAVEGABILIDADE DE RIOS BASEADOS NOS PARÂMETROS GEOMORFOLÓGICOS E HIDRÁULICOS

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As questões de engenharia visando às hidrovias para a navegação interior pressupõem do engenheiro um bom conhecimento sobre a dinâmica dos cursos fluviais, estudo que representa um dos mais difíceis capítulos da Engenharia Hidráulica. O curso d'água, ainda que já bastante estudado, continua representando uma questão de abordagem complexa. De fato, se os precedentes estudos experimentais não forem exatamente aplicáveis ao caso em exame, este deverá ser estudado atentamente e, somente após muitas e aprofundadas observações poder-se-ão enunciar normas sobre as características dos cursos d'água.

O problema torna-se ainda mais difícil quando é necessário corrigir anomalias que surgem como empecilhos para a segurança da navegação, mas que constituem estados naturais do curso d'água.

Tendo sido os cursos d'água as primeiras e naturais vias de comunicação entre os homens, muitos estudos foram realizados sobre eles, entretanto as soluções adotadas são muitas vezes de difícil generalização.

A navegação interior no Brasil necessita que sejam usufruídas as vantagens do baixo custo dos produtos básicos pelo transporte hidroviário, principalmente num quadro mundial de economia globalizada, entretanto, as condições da economia nacional e a conformação das redes fluviais em relação às regiões produtoras dificultam a aplicação dos vultosos recursos em obras que, em geral, somente tornar-se-ão viáveis em prazos relativamente longos. São condições conhecidas que contingenciam o uso deste meio de transporte, para ser economicamente competitivo, comparativamente aos modais de transporte concorrentes, que:

- A navegação fluvial deve ser realizada com embarcações de grande porte que movimentem elevados volumes de cargas, o que exige obras de vulto para a implantação das hidrovias.
- A navegação interior necessita de longas distâncias de transporte, o que faz com que somente possa ser utilizada eficientemente quando completada uma extensão considerável da hidrovia.

A implantação da hidrovia numa canalização integral de curso d'água tem como principal investimento as obras de transposição de desnível, enquanto as demais obras de melhoramento, balizamento, construção de portos, etc. são decorrência natural do desenvolvimento do tráfego. As características das obras de transposição de desnível condicionam, em grande parte, as embarcações que podem utilizar a hidrovia e, portanto, a própria economicidade do meio de transporte.

Dentre as principais dificuldades para a livre navegação, destaca-se a passagem de embarcações por desníveis localizados, normalmente devidos às barragens para aproveitamentos hidráulicos. As obras de transposição de desnível são fundamentais nas hidrovias interiores por permitirem a continuidade da navegabilidade. Serão consideradas preferencialmente as embarcações constituídas por comboios de empurra, por serem compatíveis com as atuais exigências técnico-econômicas do transporte aquaviário interior.

As obras de transposição de desnível podem ser classificadas em:

- **Hidráulicas:** são as eclusas de navegação, em que as embarcações são deslocadas verticalmente numa câmara estanque pela variação do nível d'água em que flutuam. Classificam-se em baixa queda (abaixo de 9m de desnível), queda intermediária (entre 9 e 15m de desnível) e alta queda (acima de 15m de desnível). Constituem-se nas obras mais difundidas, as únicas no Brasil para transposição de desnível, em rios canalizados e canais artificiais, principalmente pela facilidade de construção e simplicidade de funcionamento, sendo, portanto, as que são tratadas nesta abordagem.
- **Mecânicas:** os ascensores de embarcações são obras em que as embarcações são movimentadas mediante esforço externo, juntamente com

um recipiente móvel (berço, cuba ou cunha d'água), onde são previamente introduzidas.

As obras de transposição de desnível devem atender às seguintes condições básicas de navegação:

- **Segurança:** os riscos a que estão submetidas às embarcações nas obras de transposição não devem ultrapassar os riscos normais de navegação.
- **Adaptação às embarcações:** a obra de transposição deve ser compatível com a embarcação mais conveniente da hidrovia.
- **Capacidade de tráfego:** a obra de transposição deverá poder movimentar num determinado período, um número de embarcações capaz de transportar a tonelagem de carga prevista pela hidrovia.
- **Rapidez de passagem:** o tempo utilizado pelas embarcações para vencer o desnível deverá ser mínimo.

Uma solução de compromisso destes requisitos básicos com a condição de mínimo custo torna-se necessária ao considerar a obra de transposição, particularmente quanto à rapidez de passagem, para que o custo total da obra seja justificado perante aos benefícios aportados pela mesma, devendo-se, no entanto, respeitar requisitos mínimos.

Em decorrência, as duas características fundamentais das obras de transposição são: a dimensão da câmara e o tempo de passagem, sendo que este último definirá a capacidade de tráfego.

A capacidade de tráfego de um rio canalizado é definida como a tonelagem de carga que pode ser movimentada pela hidrovia num determinado período de tempo, sendo normalmente limitada pelas obras de transposição de desnível. Somente em situações muito excepcionais, outros obstáculos como más passagens, canais estreitos, vãos de pontes, etc., tornam-se mais restritivas. Assim, a capacidade de tráfego das obras de transposição de desnível de uma mesma hidrovia deveria ser a mesma, para obter-se o melhor aproveitamento da navegação interior.

Segundo BRIGHETTI (2000), as vias navegáveis devem atender a certas características para permitir o tráfego livre e seguro das embarcações-tipo adotadas para as mesmas. Cabe notar que estas características podem eventualmente ser atendidas apenas durante o período de navegação, sendo a duração deste período fixada com base em considerações naturais, políticas e econômicas.

A escolha da embarcação-tipo também deve ser feita a partir de estudos econômicos, pois, quanto maior for o porte da mesma (e conseqüentemente, mais barato o custo do transporte devido ao fator de economia de escala) maior será o custo das obras a serem realizadas. Por vezes, o melhoramento do curso d'água poderá ser realizado por etapas sucessivas, sendo previstas diversas embarcações-tipo de porte crescente, havendo então a necessidade de obras para a adaptação da via em cada nova etapa.

Do ponto de vista da via navegável, é necessário apenas conhecer as dimensões principais da embarcação-tipo: comprimento, boca (largura máxima) e calado. Outras características das embarcações não são em geral muito importantes sob este ponto de vista, cabendo lembrar que atualmente as vias fluviais são quase sempre preparadas para receber comboios de empurra.

Fixadas as dimensões da embarcação-tipo, a via navegável deverá, basicamente, atender às seguintes características:

- a) **Profundidade mínima** – Calado da embarcação-tipo mais uma folga mínima de 0,30 a 0,50 m. Deve-se ter em conta que profundidades menores que duas vezes o calado da embarcação provocam uma redução do rendimento propulsivo (acarretando redução de velocidade ou aumento do consumo de combustível), não sendo conveniente, por este motivo, adotar profundidades muito pequenas ao longo de toda a via. O mínimo indicado deve ser admitido apenas em pontos isolados ou trechos restritos do canal de navegação e refere-se unicamente à segurança do tráfego.
- b) **Largura mínima** – Considera-se que em trechos retos, a largura mínima necessária para permitir o cruzamento seguro e sem redução de velocidade

de duas embarcações é de 4,4 vezes a boca da embarcação. Sem cruzamentos, a largura pode ser reduzida à metade.

- c) **Área mínima da seção molhada** – Para que não haja restrições de rendimento propulsivo, a área da seção molhada de uma via navegável deverá ser, no mínimo, 6 (seis) vezes a área da seção mestra¹ da embarcação. Eventualmente poderá ser tolerável uma redução até 5 (cinco) vezes desta.
- d) **Raio de curvatura** – Para que não haja também restrições de velocidade nas curvas, o raio de curvatura deverá ser, no mínimo, 10 (dez) vezes o comprimento da embarcação. Raios menores podem ser admitidos desde que a largura da seção seja aumentada de uma sobrelargura² dada pela expressão:

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

Onde L é o comprimento da embarcação e R o raio de curvatura da curva.

Raios de curvatura menores que 10L obrigam à redução da velocidade aproximadamente segundo a tabela a seguir:

TAB 4.1 - Raios de Curvatura x Velocidade

R	Velocidade
10L	V
8L	0,875V
7L	0,750V
6L	0,626V
5L	0,500V
4L	0,375V

Fonte: BRIGHETTI – 2000

¹ Seção mestra - a maior das seções transversais de um casco, situa-se coincidentemente à meia nau ou bem próximo desta.

² Sobrelargura - manobra de curvatura de uma embarcação que envolve uma largura maior que a própria boca da embarcação, devido ao ângulo de deriva que a mesma assume no processo de girar em velocidade.

- e) **Vão livre nas pontes** – Nas pontes em trechos retos, a distância entre os pilares deverá ser igual à largura mínima do canal, mais uma folga de 5 m. No caso de não ser previsto cruzamento no vão, pode-se admitir uma largura mínima de duas vezes a boca da embarcação mais 5 m de folga. Em trechos em curvas, a largura entre os pilares deve ser estudada para cada caso particular.

No que diz respeito à altura livre sobre o nível d'água, problema especialmente difícil nas regiões densamente povoadas devido, sobretudo, às interferências com as estradas de ferro, deve-se adotar 15 m como valor conveniente para passagem de grandes comboios de empurra. No rio Tietê, projetado inicialmente para tráfego de automotores e comboios tracionados, foi adotada a altura mínima de 7 m, valor que é julgado muito baixo para os modernos comboios de empurra.

Caso a altura mínima necessária não possa ser obtida, devem-se utilizar pontes elevadiças, com os óbvios inconvenientes para os tráfegos terrestres e hidroviários.

Nas vias em que a altura mínima sob as pontes é insuficiente, tem sido utilizado o recurso de fazer a cabine de comando dos empurradores móvel, de forma a ser rebaixada ou rebatida nas passagens sob as pontes.

- f) **Velocidade máxima da corrente do curso d'água** – Contra corrente, a velocidade máxima do fluxo em que as embarcações podem trafegar depende da potência de seus motores. Normalmente esta velocidade máxima é da ordem de 5 m/s, que corresponde à velocidade da embarcação em águas paradas de 18 km/hora. A favor da corrente, a dificuldade é de controle da direção da embarcação, sendo da mesma ordem de grandeza, a velocidade do fluxo que permite o tráfego seguro (em linha reta).

Evidentemente, esta velocidade máxima só pode ser aceitável em pontos localizados. Ao longo de grandes extensões, a velocidade do rio é muito grande, o transporte fica anti-econômico. Admite-se que, em média, tal velocidade não deva ultrapassar 2 m/s por este motivo.

Um projeto hidroviário é composto basicamente por quatro principais elementos físicos: as vias, as embarcações, as cargas e os terminais. Neste estudo, serão enfatizadas as vias fluviais, cujo objetivo é torná-las navegáveis de forma a permitir o transporte por meio delas.

4.2 AS VIAS

Com o advento de novas tecnologias de construção, de informatização e de execução de projetos, elas são aplicadas em:

- *Canalização*

Segundo BRIGHETTI (2000), a canalização consiste na construção de represamentos e, conseqüentemente, em obras de transposição de desnível, como por exemplo, as eclusas.

- *Obras de Regularização do Leito dos Rios*

Segundo BRIGHETTI (2000), obras de regularização de rios são obras de engenharia como diques e espigões ou, ainda a associação destas com as seguintes funções:

- Transporte eficaz dos sedimentos em suspensão e dos depósitos do fundo;
- Estabilidade do curso d'água com mínima erosão das margens;
- Orientação da corrente líquida em determinados trechos do curso d'água;
- Profundidade suficiente e percurso satisfatório para a navegação;
- Permitir a utilização das águas para outros propósitos.

- *Obras para Estabilidade e Proteção de Margens*

Segundo BRIGHETTI (2000), tais obras são:

- Proteções Contínuas Flexíveis (Enrocamentos, Colchões Articulados, Enrocamentos Sintéticos e Gabiões);
- Proteções Contínuas Rígidas (Painéis de Concreto Armado, Cortinas Atirantadas e Placas Pré-Moldadas)
- Proteções Descontínuas (Espigões e Diques)

- *Dragagens e Derrocamentos de Pontos Específicos*

Há três tipos de dragagens, segundo SANTANA *et al.* (2004):

- Dragagem inicial – na qual é formado o canal artificial com a retirada de material virgem;
- Dragagem de manutenção – para a retirada de material sedimentar depositado recentemente, com a finalidade de manter a profundidade do canal, propiciando a movimentação de embarcações de vários tamanhos em portos e marinas.
- Dragagem ambiental – a qual procura remover uma camada superficial de sedimento contaminado por compostos orgânicos e inorgânicos, sem que haja a ressuspensão destes contaminantes.

- *Elaboração de Cartas Náuticas Eletrônicas dos Rios*

Uma importante ferramenta para a navegação franca, segura e de caráter comercial é a elaboração de cartas náuticas dos rios. Com isso e com apoio de outras ferramentas e melhoramentos, pode-se ter navegação, diuturnamente.

- *Balizamento e Sinalização dos Rios*

Assim como uma estrada rodoviária, o rio também precisa de sinalização. Desta maneira, o balizamento do rio consiste em delimitar a faixa, o canal de navegação, o local onde o rio apresenta as melhores condições para que uma embarcação-tipo possa navegar com segurança. E isso é feito com bóias reflexivas. Outro dispositivo utilizado para a segurança da navegação é o farolete, que é implantado nas margens dos rios de maneira pontual.

- *Sistema de Bóias de Amarração de Embarcações*

Sistema de bóias que servem para amarrar as embarcações quer num trecho de passagem difícil (má passagem), ou antes, de uma eclusa, onde, em ambas as situações, requer desmembramentos ou ainda, bóias de fundeio.

4.3 NAVEGABILIDADE E IMPACTOS AMBIENTAIS

De modo geral, segundo SANTANA *et al.* (2004), a melhoria da navegabilidade dos rios ou vias navegáveis dá-se por meio de:

- Limpeza de vegetação;
- Sinalização dos canais de navegação para navegação noturna;
- Definição de pontos de fundeio com colocação de bóias de amarração;
- Melhoramento do leito do rio: dragagens de manutenção, derrocamentos em passos específicos que representam riscos à navegação.

Entre essas intervenções realizadas para a melhoria da navegabilidade, o melhoramento do leito e das margens dos rios é considerado o mais polêmico em termos ambientais.

Para o transporte hidroviário, os impactos relevantes que devem ser considerados são:

- *Quando da implantação das obras necessárias*

A área de influência direta é, de fato, o próprio leito do rio, que é o local onde se efetuam as principais intervenções necessárias. Uma pequena faixa da margem é utilizada para implantação de forma pontual.

As obras de maior impacto são a dragagem de implantação e o derrocamento.

- *Quando da operação*

- Dragagem de manutenção → feita com menores volumes e monitorada ambientalmente.
- Riscos de acidentes com cargas perigosas (combustíveis e cargas químicas) → exigências de casco duplo para as embarcações para minorar as possibilidades de derramamento e aplicação de planos de emergência.
- A poluição aquática, relativa ao petróleo e seus derivados e, também no álcool e a outras cargas químicas, deve-se, principalmente, ao derramamento ocorrido em processos de carga e descarga das embarcações nos terminais, em processo de limpeza dos tanques, em acidentes no armazenamento, bem como nas colisões com outras embarcações ou elementos da via como pontes, eclusas, barrancos, etc.
- Contaminação das águas por embarcações abandonadas ou fora de uso, representando ameaças de possíveis vazamentos de cargas poluidoras, contribuindo para a deterioração ou degradação do meio ambiente, comprometendo a circulação das águas e favorecendo a proliferação de

vetores. Pode-se afirmar, com segurança, que a probabilidade de presença de óleo e outras substâncias perigosas a bordo de uma embarcação é sempre alta, em particular nas embarcações de grande e médio porte. Assim, o risco de contaminação por óleo e outras substâncias perigosas, faz-se evidente devido à condição de má conservação geral da embarcação abandonada.

- Contaminação de águas por lançamento de dejetos → programas de educação ambiental e controle sanitário do sistema de coleta das embarcações.
- Introdução involuntária de espécies exóticas nos rios por meio da água de lastro, ameaçando a saúde pública, a biodiversidade e atividades sócio-econômicas relacionadas, por exemplo, às populações tradicionais, às indústrias da pesca e da aquacultura.

- *Impactos na área de influência indireta*

O impacto em longo prazo na área de influência indireta de uma infra-estrutura de transporte é preocupação que inquieta a maioria dos estudiosos do meio ambiente.

O controle deve ser feito através da implantação de uma Política Institucional de Racionamento e Gerenciamento de Uso. Segundo a AHIMOC (2001), nos Estados Unidos foi adotado pela Agência de Política Ambiental (EPA) o sistema “Watershed Approach Framework” para regulamentar e gerenciar o uso das bacias.

4.4 ESTUDO DE NAVEGABILIDADE DOS RIOS ARAGUAIA-TOCANTINS, TRECHO TUCURUÍ-MARABÁ

Este estudo, realizado pela AHIMOR em abril de 84, tem por objetivo determinar as condições de navegabilidade e obras necessárias à melhoria do rio Tocantins no trecho Tucuruí-Marabá.

O trecho supracitado possui 218 km de extensão e apresenta, em condições naturais, inúmeros problemas para a navegação, os mais difíceis dos quais, que praticamente impedem a passagem das embarcações de maior porte, estão localizados pouco a montante de Tucuruí nas conhecidas “Corredeiras de Itaboca”.

As dificuldades do trecho são de tal ordem que chegou a ser construída uma estrada de ferro para contorná-lo parcialmente. Atualmente esta estrada de ferro foi desativada e atualmente é utilizada como rodovia.

A construção da barragem de Tucuruí interrompeu totalmente a navegação no trecho a partir de 1978.

O represamento da barragem de Tucuruí, cujo início de enchimento foi no 2º Semestre de 1984, afoga totalmente os principais empecilhos à navegação entre Tucuruí e Marabá, em particular as corredeiras de Itaboca. Os pedrais da região de Ipixuna e Marabá, porém, só são parcialmente afogados, continuando em certas situações a restringir a passagem das embarcações.

O objetivo deste estudo de navegabilidade foi indicar as condições de navegabilidade deste trecho de rio após o enchimento do reservatório de Tucuruí, bem como as obras necessárias ao seu melhoramento para propiciar condições mais favoráveis de tráfego.

As condições de navegabilidade do trecho Tucuruí-Marabá foram analisadas para as duas regras de operação do reservatório de Tucuruí:

- Regra de 1985 – operação mais favorável
- Regra de 1990 – operação mais desfavorável

O exame das condições de navegabilidade, bem como dos volumes de obras necessários para seu melhoramento, indicam que será possível realizar uma navegação de grande porte no trecho, sobretudo se forem realizadas algumas dragagens e derrocamentos e se, como tudo indica, for adotada sistematicamente uma regra de operação do reservatório mais favorável que a indicada para o ano de 1990.

Segundo a AHIMOR, o trecho do rio Tocantins, entre Tucuruí e Marabá, encontra-se em processo de licenciamento ambiental, sendo concedidas pela SECTAM (Secretaria Executiva de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente do Estado do Pará), as seguintes licenças:

- Licença Prévia nº 066/2000, de 10/10/2000, válida até 15/10/2001;
- Licença Prévia nº 40/2001, de 26/10/2001, válida até 31/10/2002.

Com relação aos projetos ambientais, foi solicitado à AHIMOR, através da Notificação nº 1713/2000-DMA/SECTAM, de 17/10/2000, um Projeto de Controle Ambiental – PCA, e o estudo da alternativa a ser adotada para a área de bota-fora. Os referidos estudos encontram-se em fase de contratação.

4.5 ESTUDO DE NAVEGABILIDADE DO RIO CAPIM

A navegação no Rio Capim teve seu estudo realizado pela AHIMOR em fevereiro de 1996, onde se buscou apresentar, de forma conclusiva, as informações disponíveis a respeito da navegação no rio Capim, a partir da análise dos levantamentos, estudos e demais elementos disponíveis no momento.

O rio Capim, afluente da margem esquerda do rio Guamá, nasce nos contrafortes da Serra dos Coroados, no sudoeste do estado do Pará. Sua extensão total é da

ordem de 600 km dos quais cerca de 470 km na planície Amazônica, abaixo dos primeiros afloramentos de rocha. Neste trecho, o rio apresenta-se meandroso, com fortes curvas e as demais características típicas de um rio de planície.

De acordo com o Ministério dos Transportes (2002), tal rio vem sendo utilizado como via navegável para transporte de minérios e outras cargas, a partir da década de 60.

Na realidade, o rio Capim tem sido navegado, desde épocas bem anteriores, por pequenas embarcações para transporte de passageiros e para abastecimento das populações dispersas ao longo do rio. Ainda que este tráfego de “lanchas” e de “montarias” não seja suficiente para demonstrar a existência de condições satisfatórias para um transporte comercial de carga, é indício seguro da não-ocorrência de sérios obstáculos ao tráfego de embarcações de maior porte num longo percurso de mais de 400 km do rio. Aliado este fato à navegabilidade do rio Guamá, de que é afluente o rio Capim, e que garante o acesso direto a Belém e ao transporte marítimo, justificam o interesse de seu aproveitamento para o transporte das reservas de caulim, nos municípios de Irituia e São Domingos do Capim (PA) e bauxita, no município de Paragominas (PA), existentes a distâncias relativamente curtas de seu leito e produtos agrícolas, sobretudo em uma região sabidamente carente de transporte terrestre.

Diversos estudos realizados anteriormente concluem ser o rio Capim navegável até a altura do km 444 onde se inicia o trecho encachoeirado que, por ainda alguma extensão, permite a passagem de embarcações nas épocas de águas altas. Acima da corredeira do Tapiocaba, o maior obstáculo do trecho superior do rio, não se conhece com maiores detalhes as condições do leito, porém sabe-se que o rio é estreito e tem pequena vazão, exceto por ocasião de grandes cheias.

As considerações que dizem respeito às condições hidrológicas foram feitas através de: observações limnimétricas disponíveis, consistência de dados, aspectos gerais do regime hidrológico, correlações dos níveis de água, análise estatística dos

níveis de água e influência da maré, que penetra pela Baía de Guajará, propaga-se pelo rio Guamá e atinge o rio Capim.

As profundidades foram analisadas de trecho a trecho e pode-se considerar como disponíveis para a navegação no rio Capim, em condições naturais, da foz até o Taury (km 444), admitindo-se a manutenção de navegação durante cerca de 90% do tempo (328 dias ou seja 11 meses por ano) em média.

Considerando-se uma folga mínima de 0,30 m para a passagem das embarcações, conclui-se que nos anos secos a navegação acima do km 55 do rio Capim praticamente é interrompida em 10% (cerca de 1 mês) por ano. Em 50% do tempo (6 meses), é possível navegar com calado de 1,30 m até o km 155 e cerca de 1 m em todo o rio (até o km 444).

Quanto às restrições devidas a curvas, nos diversos estudos realizados sobre a navegabilidade do rio Capim, a sinuosidade do leito tem sido indicada como um dos principais empecilhos à navegação de comboios de empurra.

Os melhoramentos do leito do rio Capim para atender às condições de navegabilidades indicadas, praticamente se resumem em dragagens de aprofundamento e manutenção do canal de navegação e de retificação ou corte de curvas. A limpeza das margens e a remoção de pedrouços isolados, bem como o balizamento, podem ser consideradas como complementares das ações citadas anteriormente.

Em termos de desobstrução de passagens críticas, os melhoramentos concentram-se totalmente no leito do rio Capim onde são encontradas as passagens mais difíceis da hidrovia. Em algumas dessas passagens, mais precisamente nas localizadas no trecho compreendido entre São Domingos do Capim, km 110 e Ipixuna, km 220, estão sendo executadas as intervenções necessárias para atender às condições de navegabilidade previstas no projeto executivo, restando o trecho de Ipixuna, km 220, ao entroncamento com a PA 256, km 372, em Paragominas (PA).

A execução dos serviços de desobstrução das passagens críticas existentes no rio Capim, no trecho compreendido entre São Domingos do Capim, PA (km 110) e o entroncamento desse rio com a PA-256 (km 372), no município de Paragominas, PA, deve assegurar, durante todo o ano, condições de navegabilidade de um canal de 40 m de largura e profundidade mínima de 1,8 m nesse trecho, para comboios de empurra de médio porte – 1,5 m de calado.

Para conclusão dos serviços de melhoramento das condições de navegabilidade da hidrovia, são necessárias algumas intervenções, previstas em projeto, como:

- *Desobstrução das Passagens Críticas*

A desobstrução dos trechos de passagens mais difíceis deve ser retomada desde a região de Ipixuna no km 208, onde esses serviços foram paralisados, no início do ano de 2002, devido ao início do período de cheia no rio Capim, estendendo-se até as proximidades do entroncamento da PA-256 com o rio Capim.

- *Manutenção dos Trechos Desobstruídos*

Além dos serviços de implantação, para garantir permanentemente as profundidades do canal de navegação, haverá necessidade de serem realizadas dragagens sistemática de manutenção.

A estimativa de volumes a serem removidos anualmente para manter as profundidades de projeto é bastante difícil e somente através dos levantamentos batimétricos poderão ser indicados valores confiáveis. Dragagens sistemáticas realizadas em outros rios de características não muito diferentes do rio Capim levam a admitir, para uma estimativa genérica, com objetivo de uma análise preliminar, a

necessidade de retirada, em média, de 30% por ano dos volumes das dragagens de implantação, visando garantir as profundidades iniciais.

- *Conferência e Relocação do Balizamento Experimental*

No período da cheia do rio Capim há uma grande ocorrência de queda das balizas e perdas das bóias, devido erosão das margens e fortes correntezas, respectivamente. Outro fator que influi para essa manutenção é a grande movimentação do leito do rio, ocasionando uma mudança do canal navegável em alguns trechos, implicando na relocação dos sinais orientando o navegador para uma rota mais segura.

A situação dos estudos e projetos encontra-se: projeto básico e executivo concluídos, EIA/RIMA em fase de conclusão, balizamento experimental implantado do rio Guamá, de sua foz até São Miguel do Guamá (km 157) e do rio Capim, de sua foz até o seu km 372 (Travessia para Paragominas) e por fim, desobstrução das passagens críticas do rio Capim (foz) até o km 230 (região de Ipixuna) parcialmente concluída.

4.6 ESTUDO DE NAVEGABILIDADE DO RIO BRANCO, TRECHO - A CIDADE DE CARACARAÍ (RR) E SUA FOZ NO RIO NEGRO

O estudo das condições de navegabilidade do Rio Branco, entre a cidade de Caracaraí (RR) e sua foz no Rio Negro, foi realizado pela AHIMOC em dezembro de 1996, com o objetivo de identificar os locais onde deverão ser realizadas as obras necessárias para se obter uma navegação comercial contínua.

O Rio Branco, antigo Parima, Paraviana ou Queceuma, assim denominado nas línguas indígenas, é formado por dois afluentes muito extensos: o Uraricoera e o

Tacutú. O Uraricoera, pela extensão e volume de água é o prolongamento natural do Rio Branco e se junta ao Tacutú após um percurso de cerca de 600 km, a partir de suas nascentes no extremo sul da Guiana. O Rio Tacutú, acima de sua confluência com o Uraricoera, faz fronteira do Brasil com a Guiana.

Com uma extensão de 14 km e próximas da cidade de Caracaraí (RR), as corredeiras do Bem Querer separam o Rio Branco em dois estirões principais situados a montante e a jusante das referidas corredeiras.

O Baixo Rio Branco é francamente navegável por embarcações de carga, até as corredeiras de Bem Querer e constitui o tronco principal de transporte na ligação com Manaus. As corredeiras de Caracaraí são transponíveis pelo canal de Cajubim, em águas altas, porém em condições precárias e inseguras. A montante das corredeiras a navegação é de novo franca até a capital Boa Vista, porém este tramo, de 130 km, que no passado foi o único acesso à Capital, hoje não é praticamente utilizado para transporte de carga por estar isolado, ser curto e paralelo à rodovia pavimentada (BR 174).

O Alto Rio Branco percorre 139 km desde a confluência de seus dois formadores até as corredeiras do Bem Querer, a partir das quais o Baixo Rio Branco percorre os 390 km de seu curso para alcançar as águas do Rio Negro.

Foram estabelecidas, para efeito de análise das condições de navegabilidade do trecho, as seguintes definições de períodos de águas baixas, médias e altas.

- **Águas Baixas:** Período do ano em que os níveis de água se mantêm abaixo dos níveis correspondentes a 10% (cerca de um mês) do ano seco, de período de recorrência de 10 anos, ou seja, igualados ou ultrapassados em 90% do tempo em um ano seco que estatisticamente ocorre de 10 em 10 anos, em média. Estes são os níveis de água, adotados como níveis de referência.
- **Águas Médias:** Período do ano em que os níveis de água se mantêm em torno do nível correspondente a 50% do tempo (seis meses) do ano médio

(período de recorrência de 2 anos). Estatisticamente, representa os níveis de água que não são atingidos em 183 dias no primeiro ano, mas são atingidos no outro ano.

- **Águas Altas:** Período do ano em que os níveis de água se mantêm acima do nível correspondente a 75% (três meses) do ano médio, ou seja, os níveis de água que estatisticamente são igualados ou ultrapassados em 91 dias de um ano sim e outro não (período de recorrência de 2 anos).

Atualmente o Rio Branco, apresenta condições de navegabilidade bastante razoáveis em águas médias e altas, porém em águas baixas impõe sérias restrições de profundidade, largura e raios de curvatura no canal de navegação.

As limitações nas condições de navegabilidade limitam o porte dos comboios que trafegam no trecho, provocando encalhes e interrupções de tráfego que chegam a durar vários meses em anos de condições hidrológicas desfavoráveis.

Segundo informações dos práticos locais, as maiores dificuldades são encontradas em águas baixas, na região da desembocadura, onde há vários braços, todos bastante assoreados e onde os canais mais profundos não são fixos. Nas ocasiões em que o Rio Negro está muito baixo, não há profundidades suficientes nem mesmo para comboios com 1,20 m de calado, interrompendo então completamente a passagem dos comboios. Dificuldades também ocorrem próximo a Caracaraí, nos afloramentos rochosos junto à cidade, e também a jusante, nos bancos de areia.

No que diz respeito à largura dos canais e raios de curvatura, sempre segundo os práticos do rio, as dificuldades em águas baixas e médias são mais generalizadas, não compensando o emprego de comboios com mais de uma balsa por que os riscos de encalhe aumentam muito e o grande número de locais com problemas impede ou torna pouco viável o desmembramento dos comboios para passagem de uma balsa por vez, devido à perda de tempo que acarreta.

A realização das obras de melhoramento consistiu na dragagem em todo o trecho do rio, em derrocamento no único passo crítico rochoso existente no Baixo Rio Branco, situado próximo à Cidade de Caracaraí (km 380 a 390) e no balizamento da via navegável, sinalização de margem e flutuante (bóias), sendo este projeto preliminar de sinalização e balizamento concebido observando-se os critérios adotados pela DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação – Marinha do Brasil).

4.7 ESTUDO DE NAVEGABILIDADE DO RIO TOCANTINS, TRECHO IMPERATRIZ-TUCURUÍ

Este estudo foi realizado pela AHIMOR em março de 1997, onde constam de forma preliminar, as informações disponíveis a respeito da navegação do rio Tocantins a partir da análise dos levantamentos, estudos e demais elementos disponíveis no momento.

O trecho do rio Tocantins entre Imperatriz (MA) e Tucuruí (PA) apresenta, em condições naturais, inúmeros problemas à navegação; que praticamente impedem a passagem de embarcações de grande porte, estão localizados pouco a montante de Marabá no conhecido “Pedral de São João”.

O represamento da barragem de Tucuruí, cujo início do enchimento a partir de outubro de 1984, afogou totalmente os principais empecilhos à navegação entre Tucuruí e Itupiranga (PA), por esse motivo, o estudo de verificação das condições de navegabilidade só foi realizado para o trecho Imperatriz-Itupiranga.

Este estudo de navegabilidade teve por objetivo estimar os volumes de dragagem e derrocamento necessários para que sejam criadas as condições de navegabilidade deste trecho do rio.

O processo de cubagem do volume a ser retirado teve como base três levantamentos batimétricos realizados em épocas distintas, sendo que os dois

primeiros foram realizados antes do represamento da barragem de Tucuruí e o terceiro, após o represamento.

Para a verificação das condições de navegabilidade do trecho em estudo, foram considerados dois modelos de embarcação-tipo, sendo cada modelo um comboio de empurra constituído por 4 chatas, duas a duas, e um empurrador.

Para atender ao comboio-tipo adotado, deve-se analisar, para o canal de navegação, as seguintes características: profundidade e largura mínimas referidas ao nível de água de referência e raio mínimo de curvatura.

Como conclusão deste estudo de navegabilidade, tem-se que será possível realizar uma navegação de grande porte no trecho, sobretudo se forem realizadas algumas dragagens e derrocamentos nos pontos identificados.

4.8 CONCLUSÕES PARCIAIS

Na literatura, os estudos de navegabilidade são apresentados sob a forma de parâmetros técnicos, juntamente com a viabilidade econômica dos projetos e atualmente, levando-se em consideração os impactos ambientais através da Avaliação de Impacto Ambiental.

Este trabalho prioriza os parâmetros técnicos, ou seja, a execução da obra em si, porém deve ser dada a importância ambiental devida, para uma análise criteriosa, de acordo com o que deve ser realizado efetivamente.

Os estudos de navegabilidade analisados demonstram que a forma de se identificar os tipos de obras para melhoria da navegação foi com base em dados históricos de cada rio, não apenas do trecho estudado, mas de todo o entorno. No mais, as principais obras realizadas nestes estudos, em geral, foram de dragagem e derrocamento.

5 TÉCNICAS DE MELHORAMENTO DA NAVEGABILIDADE EM RIOS

5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Poucos são os cursos d'água que, em condições naturais, apresentam, em trechos satisfatoriamente longos, características que possibilitem o tráfego contínuo e seguro de embarcações de porte, capazes de realizar transporte de cargas com caráter comercial. (SILVA, 2004)

Entre as exceções mais conhecidas, podem-se citar alguns dos principais rios do mundo: Mississipe, Nilo, Níger, Congo, Reno, Volga, Danúbio, Amazonas, Paraná, Paraguai, São Francisco, etc. que são navegáveis por extensões de centenas ou mesmo de mais de um milhar de quilômetros.

Normalmente, porém, os rios oferecem obstáculos à navegação franca, sendo que mesmo nos grandes rios citados, em certos trechos há dificuldades de tráfego.

Cabe aqui notar que o conceito de “rio navegável” só tem sentido exato quando definido o tipo e dimensões da embarcação que deve trafegar. Portanto, o conceito de navegabilidade é relativo e deve ser sempre encarado com as devidas reservas.

Os obstáculos que os cursos d'água naturais apresentam podem ser classificados (apenas no aspecto didático) em:

- Deficiências de profundidade, devido a existência de obstáculos rochosos ou resistentes no leito do rio, alargamentos muito pronunciados, corredeiras etc. As deficiências de profundidade podem também decorrer da redução da vazão nas épocas de estiagem.
- Deficiência em “planta”, largura inferior ao mínimo necessário à passagem segura das embarcações e curvas muito pronunciadas que impeçam a evolução normal das mesmas.

- Outras deficiências entre as quais a velocidade elevada ou direção inconveniente da corrente líquida, canais divagantes que dificultam a fixação do canal de navegação, “más passagens” no desenvolvimento da rota de navegação (passagem brusca do talvegue do rio de uma para a outra margem) etc.

Para contornar estas deficiências, pode-se lançar mão de dois métodos distintos e que, por vezes, são aplicados conjuntamente: regularização das vazões e melhoramento do leito.

No primeiro método são realizadas obras a montante do trecho do rio a ser melhorado, com a finalidade de aumentar as vazões de estiagem (excepcionalmente diminuir as vazões de cheia) de forma a evitar que as variações de vazão provoquem condições desfavoráveis ao tráfego das embarcações.

Estas obras são semelhantes às obras realizadas tendo em vista outros usos da água (geração de energia, por exemplo) devendo apenas ser adaptadas ao uso específico de aumento de vazões de estiagem, que nem sempre é sua finalidade única. Normalmente, para melhoramento de navegação, são utilizadas barragens nos afluentes e formadores do rio navegável, evitando-se o quanto possível, realizar reservatórios no trecho navegado devido aos inconvenientes que surgem em decorrência das fortes oscilações de nível d'água que sempre ocorrem nos reservatórios de regularização de vazão.

No segundo método, as obras são realizadas no próprio leito do curso d'água onde ocorrem os problemas, sendo, neste caso, necessário distinguir os melhoramentos em corrente livre e os melhoramentos por canalização, este último obtidos pela elevação artificial do nível de água permanentemente ou periodicamente.

Neste capítulo, são apontados os tipos de obras hidráulicas, suas características e quais parâmetros que afetam a navegabilidade, elas visam combater.

5.2 TIPOS DE OBRAS HIDRÁULICAS

As obras executadas no rio para melhorar a sua navegabilidade podem desestabilizar seu equilíbrio natural, resultando em impactos ambientais. Neste item, são relacionados os tipos de obras hidráulicas para a solução ou mitigação dos diferentes parâmetros geomorfológicos e hidráulicos já identificados.

Segundo SILVA (2004), as obras hidráulicas para melhoria da navegabilidade de cursos d'água, adequadas à realidade brasileira, podem ser classificadas em sete tipos, descritos a seguir.

5.2.1 GERAIS OU DE NORMALIZAÇÃO

São obras locais visando solucionar problemas do tipo: trecho raso, curva muito brusca ou margem instável. De modo geral, elas visam o melhoramento dos cursos d'água e não influem no regime hidráulico ou morfológico do rio. Dificilmente são empregadas isoladamente, sendo comum a sua utilização em conjunto com outros tipos de obras. As principais obras de normalização são:

5.2.1.1 DESOBSTRUÇÃO E LIMPEZA

Consistem na retirada de obstáculos estranhos ao leito, como troncos de árvores ou embarcações encalhadas, que dificultam o escoamento ou desviam os filetes líquidos. Utilizam-se para este fim os guindastes. Este tipo de obra não intervém no equilíbrio do rio e, portanto, não produz impactos ambientais negativos.

5.2.1.2 LIMITAÇÃO DOS LEITOS DE INUNDAÇÃO

Tem as finalidades de facilitar a navegação e proteger os terrenos ribeirinhos, concentrando o escoamento num leito bem definido.

São diques longitudinais, principalmente de argila, que podem ser construídos a seco, aproveitando o período de estiagem e são localizados no leito maior.

Deve-se ter cuidado na drenagem da área protegida, quando a mesma for utilizada para fins agrícolas e a concentração das vazões pode aumentar a capacidade erosiva das correntes, acarretando a erosão dos leitos.

Este tipo de obra intervém no equilíbrio do rio, dando origem a impactos ambientais, que deverão ser mitigados com a execução de obras complementares de proteção do leito, entre outros.

5.2.1.3 FECHAMENTO DE BRAÇOS SECUNDÁRIOS

Este tipo de obra é utilizada para aumentar a profundidade num dos trechos dos braços do curso d'água, mediante o fechamento dos outros, que é efetuado através de obras permeáveis ou não, geralmente com altura até a cota mínima de navegação, ficando os braços submersos para vazões maiores.

Trata-se de soleiras de fundo ou pequenas barragens que podem ser transpostas, e, portanto, devem ter a superfície protegida para evitar a sua destruição. Podem ser construídas com enrocamento de pedras ou terra, com proteção na superfície ou ainda em estaqueamento simples ou duplo.

Estas obras alteram o regime do rio na estiagem, pois ocorre a concentração das vazões em um único canal, podendo acarretar erosões no mesmo e a deposição de

materiais transportados no(s) trecho(s) de jusante. Em geral, as alterações ambientais são locais e devem ser mitigadas com a execução de obras complementares.

5.2.1.4 PROTEÇÃO DAS MARGENS

Segundo BRIGHETTI (2000), são aquelas obras executadas ou apoiadas diretamente no talude das margens, que podem ser naturais ou de corte.

Os taludes naturais são definidos como superfícies inclinadas de maciços terrestres, rochosos ou mistos (solo e rocha), originados de processos geológicos e geomorfológicos diversos. Podem apresentar modificações antrópicas, tais como: cortes, desmatamentos, introdução de cargas, etc.

O talude de corte é entendido como um talude originado de escavações antrópicas diversas.

A proteção de margens visa, fundamentalmente, à estabilidade dos terrenos ribeirinhos sob a ação das águas. Dentro desta definição genérica, inclui-se a proteção das costas marítimas, das margens dos lagos, dos canais de navegação e de outros canais artificiais, etc. As considerações a seguir dizem respeito aos problemas específicos dos rios.

Denomina-se por margem a superfície inclinada do terreno em contato direto com a água ou imediatamente acima, distinguindo-se: a parte superior ou “berma” que só é atingida pelas enchentes excepcionais e muitas vezes é constituída pelos diques de proteção contra inundações, a “ribanceira” ou “talude” entre o nível de estiagem mínima e o das enchentes normais e o “pé da margem” ou “base”, a parte inferior, abaixo do nível de estiagem, permanentemente submersa (BRIGHETTI & ALMEIDA, 2002).

A ribanceira e o pé da margem são muitas vezes sujeitos a elevadas velocidades, sendo então submetidos a fortes erosões, sobretudo nas zonas inferiores que sustentam o talude. Assim, merecem maior atenção e proteção (BRIGHETTI & ALMEIDA, 2002).

A proteção das margens pode ser obtida através de revestimento dos taludes ou com o uso de espigões e permite:

- Proteger os terrenos marginais (ribeirinhos) da ação do escoamento e das ondas naturais ou artificiais e
- Reduzir a descarga sólida em cursos de águas naturais, hidrovias, canais de irrigação, de drenagem, de adução (usinas). (BRIGHETTI, 2000).

Tal proteção apresenta como conseqüentes vantagens: a redução dos bancos de areia, a melhoria geral do escoamento, a redução da erosão, o aprofundamento do leito e a fixação do leito navegável.

Escolher entre os diversos tipos de obras para a estabilização das margens, é uma tarefa difícil para o engenheiro, pois é necessário saber contra o que está se protegendo a margem.

Em cada situação é necessário procurar a obra de revestimento que possui as exigências características de: permeabilidade ou impermeabilidade, robustez, flexibilidade, rugosidade, durabilidade e economia, e entre eles adotar o que melhor se adapte às necessidades da obra.

Os métodos de proteção de margem a serem escolhidos podem ser diretos ou indiretos. A seguir, os mesmos são definidos detalhadamente.

5.2.1.4.1 PROTEÇÃO DE MARGEM DIRETA OU CONTÍNUA

Os métodos diretos são executados sobre a margem, em geral há sua sistematização, que será vista a seguir. Por serem feitos em uma extensão considerável, sem interrupções, são também ditos de proteção contínua. Nesta classe, incluem-se os trabalhos de proteção por redução do ângulo do talude, diversos tipos de recobrimento, impermeabilização e o estabelecimento de redes de drenagem para proteção contra as infiltrações. São os métodos mais apropriados para combater as causas de recuo originadas na redução da resistência do solo e, como estas causas quase sempre estão presentes, são os métodos mais usuais.

A proteção direta ou contínua corresponde ao revestimento da margem e do leito, protegendo-os contra as seguintes causas de instabilidade:

- **Aspectos Geotécnicos** (ações internas no maciço): talude de equilíbrio; saturação; percolação no solo (dreno arenoso);
- **Aspectos Hidráulicos** (ações externas ao maciço): ação do escoamento; ação das ondas; operação de estrutura (comportas, válvulas, etc.);
- **Outros Aspectos**: ventos e embarcações.

a) Redução do ângulo do talude – Retaludamento

Dentre os principais métodos de proteção direta, temos o **retaludamento**, que tem por objetivo aumentar a resistência do material, a partir da diminuição do ângulo de talude.

O controle do ângulo de retaludamento dá-se, por exemplo, a partir da construção de um gabarito triangular, com sarrafo de madeira, cujos catetos obedecem à mesma relação do ângulo de retaludamento.

Aplica-se o triângulo com a hipotenusa sobre a superfície do talude e coloca-se um nível de bolha sobre o cateto superior. Quando a bolha estiver centrada, a hipotenusa deve se assentar perfeitamente sobre o talude.

O retaludamento deve ser executado em ângulo conveniente, isto, é deve-se considerar os efeitos da saturação.

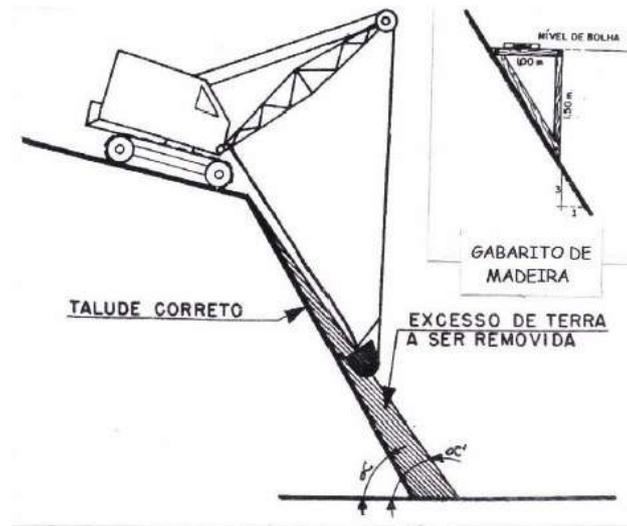


FIG 5.1 - Escavação com draga de arrasto

Fonte: SILVA, 2004

A escavação e remoção do solo fazem-se com a utilização de equipamentos, destinados à escavação abaixo do nível em que se encontram, tais como:

- **Lança retroescavadeira** (back-shovel) que executa a escavação no sentido de cima para baixo à medida que a escavação prossegue a máquina vai se deslocando em marcha-ré. A capacidade da caçamba é relativamente pequena e o raio de alcance limitado. Esse equipamento é utilizado no corte de solo mais compactos, devido às grandes pressões que os dentes exercem sobre o terreno a ser escavado.
- **Draga de arrasto** (drag-line) que permite uma variação de ângulo entre 25° e 40°; esse equipamento é aplicado no corte de materiais pouco compactos ou moles, mesmo que possuam altos teores de umidade. É o único equipamento convencional de terraplenagem que executa escavação dentro d'água e o que possui o maior raio de alcance.

No retaludamento, é necessária a definição e fixação de uma nova vegetação de margem, em substituição à existente anteriormente.

b) Revestimento das Margens

O revestimento das margens tem como condição a estabilidade de um curso d'água, entendendo-a como o equilíbrio entre a ação do escoamento sobre o leito do rio e a resistência ao movimento (erosão) dos materiais (sedimento) que o constituem.

Este equilíbrio é atingido pela interação entre o escoamento da água e sedimentos provenientes da bacia hidrográfica contribuinte, considerando-se a evolução das seções, traçado e declividade dos cursos de água. O equilíbrio pode ser alterado naturalmente em função da ocorrência de grandes cheias, ou em função da evolução contínua do traçado (o que provoca retificações naturais no mesmo). De uma forma mais comum, a alteração no equilíbrio pode ocorrer através de:

- **Intervenção direta** – com obras no próprio curso de água, tais como: retificações, barragens, etc.;
- **Intervenção indireta** – por ações na bacia hidrográfica que causem alterações no uso do solo, tais como: urbanização, mudanças de cultura, desflorestamentos, etc.

A solução para os cursos de água canalizados, consiste em definir um tipo de proteção que mais se adapte às condições locais, não somente quanto à resistência a ação do escoamento, mas também quanto a resistência às deformações do solo de base, que atenda as condições ambientais, rugosidade resultante, facilidade de execução, além do custo final da obra.

- *Revestimentos simples*

Consiste em revestir as margens, com os mais variados materiais e técnicas de revestimento, que resistam à tensão de arraste do escoamento e/ou ondas. Os principais tipos de revestimento são: substituição por material mais resistente (pedregulho, cascalho, pedra britada, etc.), plantação de gramíneas ou outros vegetais, colocação de faxinas e colchões de material vegetal (provisório, visando efeitos diversos), revestimento asfáltico (pintura asfáltica para impermeabilização e fixação dos grãos).

Faxinas

Entende-se por faxina, varas finas e flexíveis; ramos ou paus curtos com que se fazem feixes (assemelham-se a diques), entretecendo-as com outras varas horizontais mais grossas. (FIG 5.2)

Embora as proteções com ramos, varas e ervas, sejam as menos permanentes de todos os tipos de proteção, apresentam certas dificuldades em sua construção. São recomendadas devido ao baixo custo inicial e, com uma boa conservação, podem ser mantidas em bom estado de funcionamento (FENDRICH *et al.*, 1997).

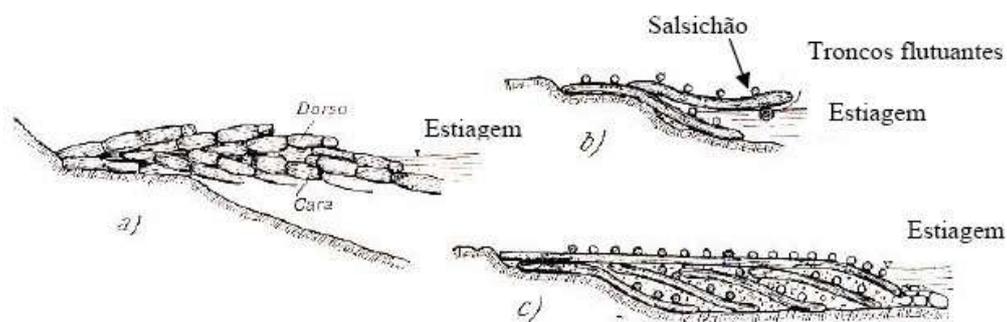


FIG 5.2 - Proteção Direta – Faxinas: obras de proteção de margens

Fonte: SILVA, 2004

Substituição do solo

Este processo é aplicável quando a camada resistente é de pequena espessura, encontrando, logo abaixo, a camada resistente. A experiência tem demonstrado que até três metros de espessura, a remoção é o processo mais econômico e rápido de consolidação da margem, se comparado com outros métodos. A escavação, neste caso, é trabalho típico para as escavadeiras com “drag-line” que podem operar sobre a camada de topo, a qual, geralmente, apresenta um mínimo de suporte (RICARDO & CATALANI, 1977).

A substituição desse solo dá-se devido à ruptura do talude por escorregamento de uma cunha de solo que se apóia sobre uma camada mais resistente. Na ocasião de chuvas intensas, o aumento da pressão devido à elevação do lençol freático, se corresponde ao aumento da pressão neutra, que reduz sensivelmente a resistência ao cisalhamento e permite a formação de superfície de escorregamento que afeta a margem, levando à ruptura (RICARDO & CATALANI, 1977).

O material de reposição deverá ser, de preferência, argila arenosa, de modo a permitir a percolação d'água. A porcentagem de areia permitirá a redução da pressão hidrostática sobre a margem taludada.

Pintura Asfáltica

A pintura asfáltica serve para a cobertura das margens, fazendo-se isolamento com plástico, utilizando, por exemplo, lona de caminhão.

A imprimação é uma aplicação do asfalto diluído (AD) de baixa viscosidade sobre uma superfície de uma base absorvente, tendo como objetivos principais, para este trabalho, aumentar a coesão da superfície pela penetração do material asfáltico empregado e impermeabilizar a camada (PETRUCCI, 1978).

Alguns cuidados deverão ser tomados com os materiais empregados na imprimação, tais como solventes (líquidos que dissolvem os compostos sólidos ou muito viscosos, dando ao material a consistência adequada), entendidos como líquidos voláteis que evaporam, do material de imprimação, para a porção bio-geofísica do meio ambiente – AR, bem como o escoamento superficial das águas sobre a superfície que sofreu imprimação, promovendo o carreamento de material particulado asfáltico e óleo para a porção bio-geo-física do meio ambiente – ÁGUA, o que resulta em alterações de suas propriedades. A superfície imprimida não poderá desenvolver ou receber revestimento vegetal.

- *Enrocamento*

Os enrocamentos, ou rip-raps, consistem no simples revestimento de taludes com pedras ou blocos artificiais, objetivando a formação de um maciço de pedras arrumadas ou jogadas; ou blocos arrumados, destinados a proteger aterros, encostas, taludes, margens de rios, etc., dos efeitos da erosão, segundo FENDRICH (1997).

As dimensões das pedras são compatíveis com as velocidades de escoamento. A estabilidade dos revestimentos com enrocamentos é função de diversos aspectos, tais como a velocidade de escoamento, as condições de turbulência do fluxo, as propriedades físicas das rochas utilizadas, etc.

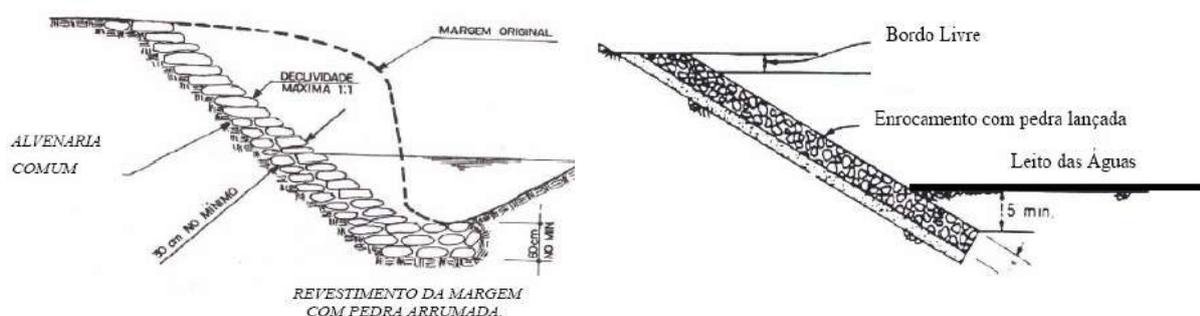


FIG 5.3 - Proteção Direta – Enrocamentos com pedras: arrumadas e lançadas

Fonte: SILVA, 2004

Filtro de Transição

Sempre que existir um enrocamento contendo lateralmente um talude, torna-se necessária uma transição de granulometria, impedindo o contato direto entre o solo e o enrocamento. O filtro de transição localiza-se entre o enrocamento de proteção e a superfície do maciço (talude).

O filtro de transição tem como finalidade impedir o carreamento das partículas do solo pelas forças de percolação, causando um vazio de forma tubular, onde as primeiras partículas que se deslocam deixam um espaço que favorece a convergência do fluxo de água para este local, acelerando o processo iniciado, identificado como “*piping*” (erosão tubular regressiva ou retroerosão). O *piping* poderá ocorrer pela ação da infiltração das águas precipitadas sobre o maciço de solo da margem, percolando pelo solo (ação interna) e originando o escoamento subterrâneo ou, pela ação das ondas (ação externa) sobre o enrocamento, resultando na percolação da água através das pedras, do filtro de transição e, finalmente através do solo da margem. Cessada a ação das ondas, a água percola no solo no sentido contrário a ação das ondas, ocorrendo o *piping*.

Nas situações descritas, o *piping* é evitado com a execução do filtro de transição, podendo ser executado com o emprego dos seguintes materiais: agregados, com uma transição de granulometria (areia de granulometria controlada); manta não tecida, exemplo: bidim.

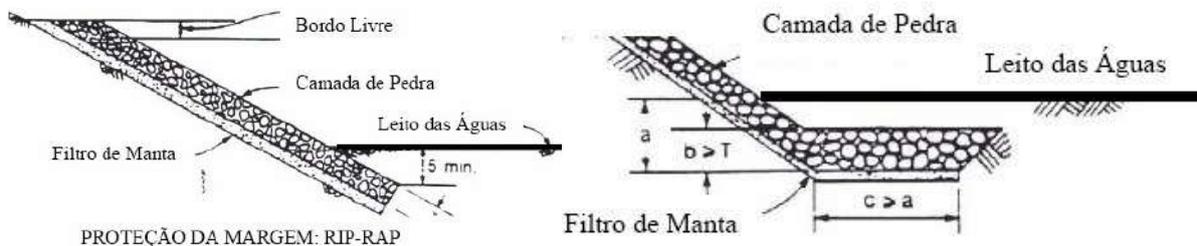


FIG 5.4 - Proteção Direta – Localização do *Filtro de Transição* no revestimento da margem

Fonte: SILVA, 2004

Os tipos de enrocamento podem ser: **lançado** (admite deformação do terreno) ou **arrumado** (aceita pequenas deformações do terreno).

- *Estrutura de Gabiões*

Os revestimentos flexíveis são utilizados na zona de maiores forças erosivas e principalmente sobre solo com alta capacidade de deformação. Estas erosões provêm, por vezes, de turbilhões, das correntes helicoidais nas curvas, dos efeitos de sucção das ondas e outros motivos. A proteção deve estender-se, em geral, de certo trecho do rio até onde estes fatores de forte erosão subsistem e ser de um tipo suficientemente flexível para acomodar-se a possíveis erosões nos seus limites.

É importante ressaltar que a zona da margem permanentemente submersa é a mais sujeita a erosões, apesar de nem sempre ser nessa zona, a ocorrência de maiores forças erosivas.

Entre os revestimentos flexíveis, os gabiões e colchões Reno ocupam uma posição de destaque. (FIG 5.5)



FIG 5.5 - Proteção Direta – Colchão Reno – Enchimento do colchão Reno na obra
Fonte: MACCAFERRI, 2002

- *Colchacreto*

Durante os últimos 20 anos, a CONSTRUSERV, Sistemas de Controle de Erosão e Comércio Ltda., vem trabalhando em diversas obras hidrogeotécnicas e durante esse tempo, desenvolveu alguns produtos de materiais poliméricos destinados a diferentes aplicações relacionadas com controle de erosão, canalização de córregos, proteção de margens, estabilização de taludes, pequenas barragens, espigões marítimos e fluviais, molhes, etc.

Entre eles, destaca-se o sistema “COLCHACRETO” especialmente desenvolvido para aplicação em obras de controle de erosão e revestimento de canais, apresentado na figura a seguir.

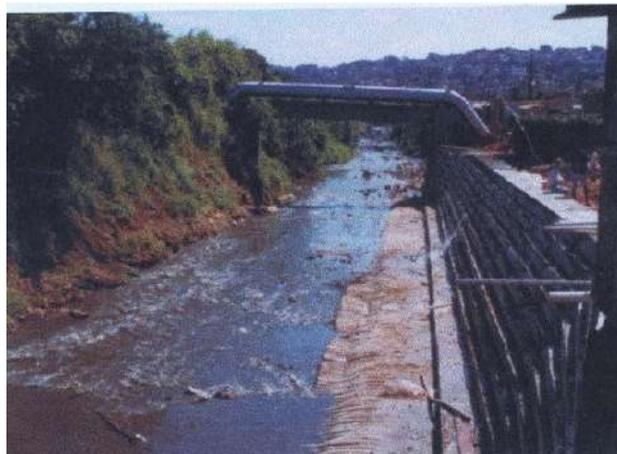


FIG 5.6 - Proteção Direta – Proteção de margem taludada: pé com bolsacreto e talude com módulos têxteis Colchacreto A-15

Fonte: CONSTRUSERV, 2000

- *Bolsacreto*

Bolsacreto é uma geoforma têxtil de vários tamanhos padronizados, confeccionada com tecido de combinações poliméricas, com fios de alta tração, retorcidos e fibrilizados, semi-permeável para moldagem “in-loco” dentro ou fora d’água, com micro concreto usinado, argamassa de cimento e areia ou solo-cimento injetável, sem necessidade de ensecadeiras, de corta-rio ou de esgotamentos.

Destaca-se, sobretudo, pelo dispositivo de microfiltração “unifluxo”, que garante a drenagem do excesso de água da massa de enchimento sem migração dos colóides (nata de cimento) e impede a entrada d’água do exterior da forma para dentro, garantindo a qualidade do concreto no que se refere à textura, estrutura, resistência à tração e nos ensaios de durabilidade.

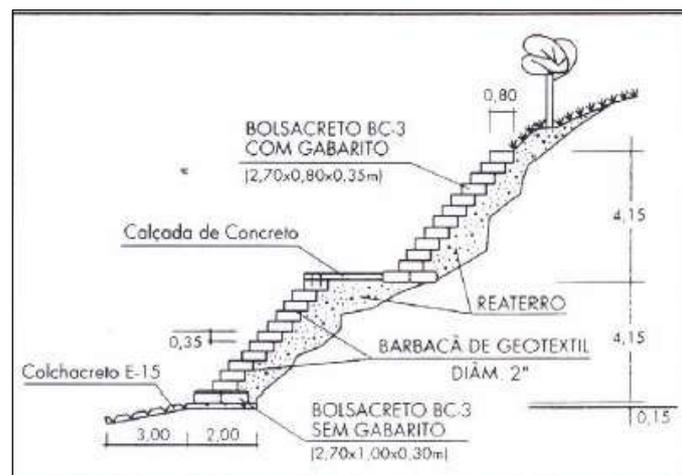


FIG 5.7 - Proteção Direta – Bolsacreto – Especificação técnica

Fonte: CONSTRUSERV, 2000

- *Revestimento em Concreto*

As margens revestidas com esse material podem ser obtidas utilizando-se o concreto moldado “in loco”, para obras de grandes dimensões, ou com o emprego

de peças pré-moldadas, para obras de porte mais reduzido. Ocasionalmente utiliza-se ainda o concreto projetado.

A utilização do concreto é particularmente indicada para situações em que a faixa disponível para implantação da obra é reduzida. Com efeito, revestindo-se a margem com concreto, pode-se trabalhar com velocidades de escoamento mais elevadas, que possibilitam uma maior capacidade de vazão. O revestimento com concreto é pouco exigente no que diz respeito à manutenção.

- *Tendências atuais*

Sistema Eco-estrutural pneumático

Consiste na utilização de pneus velhos na construção pesada e civil. Os pneus são dispostos em camadas ou intercalados em determinados espaçamentos, formando colunas que são preenchidas com outros materiais, como cimento, pedras e entulho grosso. (ALVES, 1997)



FIG 5.8 - Proteção Direta – Sistema Eco-Estrutural Pneumático – Muro de
Contenção

Fonte: ALVES, 1997

Cobertura Vegetal

Existe um consenso generalizado de que a vegetação desempenha um importante papel na proteção do solo e que o desmatamento pode propiciar não somente o aparecimento da erosão, mas também de movimentos coletivos de solos.

De um modo global, a atuação da vegetação se dá no sentido de reduzir a intensidade da ação dos agentes do clima no maciço natural, assim favorecendo a estabilidade dos taludes e encosta. O tipo de árvore utilizado é o bambu.

- Efeitos favoráveis da cobertura vegetal:

- Redistribuição da água proveniente das chuvas: as copas das árvores impedem, em parte, o impacto direto da chuva na superfície do terreno e retardam e diminuem a quantidade efetiva de água que se infiltra no solo;
- Além disso, a evapotranspiração também retira água do solo;
- Acréscimo da resistência do solo devido às raízes: as raízes da vegetação de porte arbóreo podem aumentar a resistência do solo pelo reforço mecânico e pelo escoramento (raízes pivotantes e profundas).

- Efeitos desfavoráveis da cobertura vegetal:

- Efeito Alavanca: força cisalhante transferida pelos troncos das árvores ao terreno, quando suas copas são atingidas por ventos;
- Efeito Cunha: pressão lateral causada pelas raízes ao penetrar em fendas, fissuras e canais do solo ou rocha;
- Sobrecarga Vertical: causada pelo peso das árvores. Pode ter um efeito benéfico, ou não, na estabilidade, em vista da inclinação das encostas e taludes e das características do solo.

Os processos de instabilização de taludes e encostas tendem a se acelerar algum tempo após o desmatamento. Logo em seguida à retirada das árvores, existe um acréscimo na estabilidade das encostas e taludes, devido a eliminação dos efeitos negativos como sobrecarga, efeito alavanca, etc. Contudo, este acréscimo de

estabilidade tende a se perder com o tempo, com o apodrecimento das raízes e a eliminação do efeito de redistribuição de água de chuva.

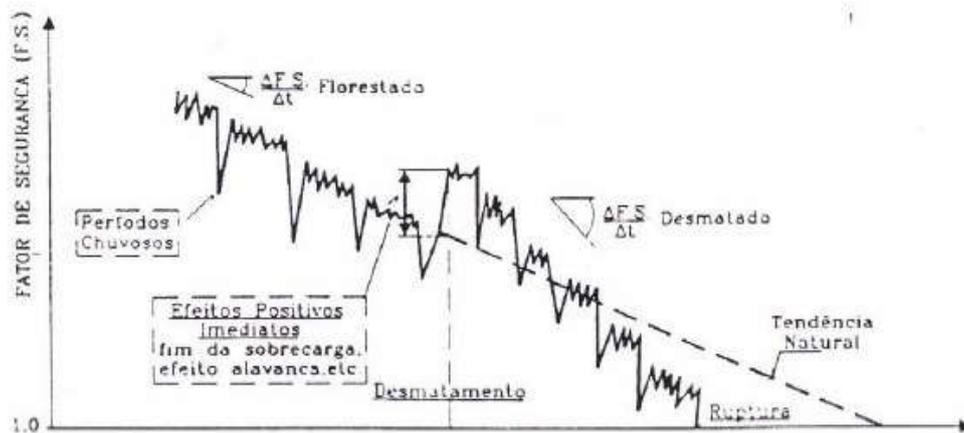


FIG 5.9 - Desmatamento e variação esquemática da estabilidade de taludes e encostas.

Fonte: SILVA, 2004

Solo-Cimento

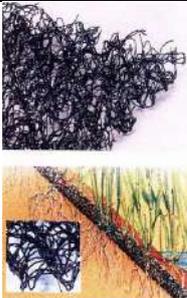
O solo-cimento é constituído da mistura íntima compactada de solo, cimento e água, em proporções determinadas por ensaios prévios de laboratórios. Embora composto predominantemente de solo-natureza, na ordem de 90% ou mais, e aí está o fator economia, depois de tratado com cimento, esse solo adquire novas propriedades perfeitamente identificadas através de características tecnológicas definidas pelos ensaios.

Estas novas características, de estabilidade e inalterabilidade, em presença de agentes ambientais (chuvas, temperatura, umidade do ar, etc.), de certa resistência mecânica e de durabilidade, permitem ao projetista o encontro de soluções interessantíssimas, dos pontos de vista técnico e econômico.

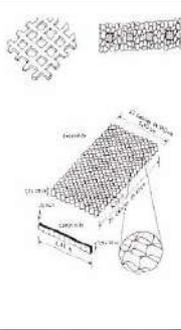
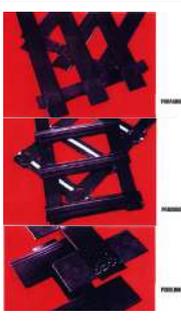
Geossintéticos

Os geossintéticos são uma nova família de materiais sintéticos empregados em geotecnia. O termo deriva de “geo”, referindo-se a terra, e “sintéticos”, relacionando-se com a matéria-prima com que são fabricados. Os principais tipos de geossintéticos são: geotêxteis, geogrelhas, geomalhas, geomembranas, geocompostos, geocélulas, dentre outros (SILVA, 2004 *apud* HACHICH *et al.*, 1998).

TAB 5.1 – Tipos de Geossintéticos

Geossintéticos	Exemplos	Descrição
Geomantas		São compostas por filamentos espessos de poliamida (nylon) aleatoriamente dispostos, formando um colchão tridimensional, sendo sua função confinar as partículas de solo, garantindo uma boa interação solo/material e a consequente estabilização da superfície revestida. Inicialmente protege o solo contra a erosão facilitando o crescimento da vegetação (propício a germinação de sementes) e, num segundo estágio, de forma permanente, atua como reforço para a camada vegetal.
Biomantas		Desenvolvem a mesma função que as geomantas, isto é, a proteção contra erosões superficiais, porém, por serem produzidas com materiais biodegradáveis, apresentam-se como uma solução de baixo impacto ambiental, pois se degradarão após o desenvolvimento da camada vegetal desejada. A utilização da biomanta para a proteção de encostas constitui-se numa alternativa extremamente viável, pois atende várias viabilidades, inclusive a ambiental.
Geotêxteis		São produtos têxteis flexíveis e porosos cuja principal característica relaciona-se com a sua capacidade de drenagem tanto por tecido quanto ao longo do mesmo. As fibras dos geotêxteis são produzidas pela fusão dos polímeros e posterior extrusão, conferindo-lhes a forma alongada característica. Os geotêxteis classificam-se em tecidos e não tecidos, em função do arranjo estrutural das suas fibras.
Geomalhas		São estruturas planas em forma de grelha, constituídas de forma a apresentarem grande volume de vazios, utilizadas predominantemente como elementos drenantes. Podem ser empregadas em conjuntos com geotêxteis ou geomembranas em suas faces superior ou inferior. Possuem grandes aberturas e resistência inferior à das geogrelhas.

(cont.)

Geossintéticos	Exemplos	Descrição
Geomembranas		São membranas de borracha ou de material plástico, impermeáveis e de pequena espessura, empregadas no revestimento ou cobertura de depósitos líquidos ou sólidos. A utilização das geomembranas, para a proteção do leito dos canais de irrigação, tem a função de impermeabilizar o leito, evitando perdas d'água nos canais de irrigação.
Geocompostos		São combinações entre geotêxteis, geogrelhas e geomembranas, podendo incorporar também membranas plásticas, cabos metálicos ou agulhamentos. As aplicações destes geocompostos são muito variadas.
Geocélulas		atuam como elementos de reforço. As geocélulas, devido as suas características, são normalmente empregadas como elemento de reforço de solos, constituindo um sistema de confinamento celular tridimensional e flexível. As paredes das células são constituídas por tiras de polietileno, com superfícies rugosas e unidas entre si por meio de solda. As células podem ser preenchidas com solo, solo-cimento ou ainda concreto, em função da aplicação.
Geobarras		São tirantes de material sintético para reforço.

Fonte: Adaptado de SILVA (2004).

c) Obras de Sustentação

São todas as obras destinadas a contrapor-se a empuxos ou tensões geradas em maciço cuja condição de equilíbrio foi alterada por algum tipo de escavação, corte ou aterro. São exemplos de obras de contenção: reforços de terreno, muros e cortinas.



FIG 5.10 – Exemplo de obra de sustentação

Fonte: SILVA, 2004

5.2.1.4.2 PROTEÇÃO DE MARGEM INDIRETA OU DESCONTÍNUA

A proteção indireta corresponde às obras feitas a certa distância da margem e visam, basicamente, a afastar a ação das correntes e das ondas, desviando-as ou provocando a deposição de material sólido transportado pelas águas. É, em geral, obtida pela construção de espigões normais à margem, de onde vem a denominação de proteção descontínua.

No caso da proteção indireta, com a utilização de espigões, reduz-se a seção hídrica, afetando o equilíbrio do rio.

a) Espigões

São obras transversais, que avançam desde a margem em direção ao leito do rio, até a nova linha de margem que se pretende formar. Funcionam como defletores do escoamento, afastando-o da margem.

O principal uso dos espigões reside na proteção das margens, combatendo a erosão. Normalmente, executa-se um campo de espigões, isto é, uma série de espigões que se protegem mutuamente, evitando-se assim os efeitos erosivos que ocorrem no espigão isolado.

Os espigões podem ser colocados apenas na margem côncava ou em ambas as margens.

No primeiro caso, tem apenas função protetora em face da erosão. No segundo caso, fixam-se os entreixos em relação à largura da superfície livre do álveo regularizado, na cota de coroamento.



FIG 5.11 – Exemplo de espigão

Fonte: SILVA, 2004 *apud* ALVAREZ, 1990

b) Diques

São construções longitudinais ao rio e, no caso de serem “apoiados” na margem existente, constituem de fato, proteções ou revestimentos de margens. Muitas vezes, quando os diques são distantes da margem, constrói-se “espigões” interiores, visando reforçá-los e impedir a formação de novos canais, se o dique romper ou for

contornado e, ao mesmo tempo favorecer a deposição de material. Servem também para facilitar a construção.

Os diques, assim como os espigões, desviam e orientam o fluxo de forma contínua, protegendo a margem e ao mesmo tempo definindo um melhor traçado ao canal, geralmente, visando a navegação do trecho.



FIG 5.12 – Exemplos de diques

Fonte: BRIGHETTI, 2000.

Escolha entre Diques e Espigões

Sendo os espigões distantes entre si de uma distância maior que seu comprimento, em geral estes são mais econômicos (inclusive ficam em profundidades menores). Os diques podem ficar sujeitos a pressões em toda a sua extensão (níveis d'água diferentes entre as duas faces) o que exige proteção e maior espessura em toda a sua extensão. Os espigões têm mesmo nível d'água nas duas faces e só precisam ser protegidas em seus extremos.

A vantagem principal dos espigões é poderem ser aumentados facilmente e adaptados às necessidades. Tem como principal inconveniente, as perturbações que causam ao escoamento e o perigo para a navegação. Exigem grandes cuidados de fiscalização e reparação, sobretudo nas margens côncavas, onde podem causar

fortes erosões no extremo e mesmo na margem durante as cheias. Comparando-se com os espigões, os diques apresentam vantagens e desvantagens, sendo elas:

- Vantagens:

- Fixação definitiva do novo traçado;
- Menor perda de carga;
- Proteção contra ondas.

- Desvantagens:

- Pode ocorrer destruição total;
- Maior cuidado na proteção;
- Maior volume de material;
- Manutenção maior.

c) Soleiras de Fundo

Costuma-se prolongar os espigões por diques de fundo ou construir soleiras ao longo dos diques, sempre que as profundidades locais são maiores que as teóricas.

Estas soleiras funcionam como proteção de pé das proteções de margem, evitando erosões localizadas e distribuindo melhor a energia d'água ao longo da curva.

Podem ser de enrocamento (o mais comum), gabiões ou faxinas de diferentes tipos e materiais. Devem ser bastante próximas, no caso de diques submersos, para evitar as erosões que inclusive, podem levar à sua destruição.

d) Umbrais de fundo

São obras transversais, podendo ficar completamente aprofundadas no álveo ou sobressair do mesmo. Os umbrais de fundo unem, em geral, dois espigões opostos e localizam-se, com preferência, na correspondência das soleiras.

5.2.1 RETIFICAÇÃO DE RIOS MEANDRANTES

A retificação de rios meandrantess tem por objetivo melhorar as condições do escoamento com a diminuição dos raios de curvatura, reduzir o percurso para a navegação, rebaixar o nível d'água de enchentes e permitir a recuperação de terrenos marginaiss. Porém, a retificação só terá êxito a partir dos conhecimentos específicos dos meandros fluviais, tais como: origem, mecanismos de formação, localização e caracterização dos meandros.

Esta obra altera o equilíbrio do rio, provocando assim impactos ambientais negativos no meio ambiente.

Numa retificação de um curso d'água, o fato do rio estar meandrando não significa que ele está instável, mas sim, que ele está procurando o equilíbrio.

A retificação do curso reside no isolamento das alças mais acentuadas, por meio de um canal, aproveitando-se, por exemplo, o material proveniente da abertura desse canal para o aterro do leito abandonado.

O estudo da retificação de um curso d'água, deverá atender:

- *Finalidades da retificação*

A retificação do curso d'água tem por finalidade: o controle das cheias (baixar o nível d'água de enchentes); a melhoria do traçado para a navegação (redução do percurso para a navegação); a construção de avenida em fundo de vale, facilitar a utilização da várzea para fins de agricultura (recuperação de terras marginais, através do rebaixamento do lençol freático); o polder (áreas protegidas para a irrigação), outros casos como por exemplo: utilizar o meandro, como lagoa, para tratamento de esgoto.

- *Crítérios de Projeto*

Os critérios de projeto a serem atendidos referem-se a finalidades e cuidados.

- Finalidades:

- **Estabilidade hidráulica** – deverá atender: capacidade de vazão no que se refere aos parâmetros: seção, declividade e traçado (quanto ao traçado, ele não deverá ser reto e sim apresentar curva e contra curva, isto é, ser sinuoso; nos trechos retos ou de tangente, o comprimento entre duas curvas consecutivas deverá ser, no mínimo, 2 a 3 vezes a largura do rio);
- **Navegação** – deverá atender: traçado, seção (compreende essencialmente a largura e a profundidade) e velocidades (limites nas cheias), estes parâmetros estão ligados diretamente à embarcação.

- Cuidados:

Se a erosão for muito rápida e o carreamento excessivo, a declividade à jusante do corte, pode ser insuficiente para escoar a descarga sólida correspondente e, em conseqüência o leito à jusante irá sofrer assoreamento, tendendo a reduzir o processo de erosão no canal e, como outros inconvenientes dificultar o escoamento das cheias ou a navegação.

Por outro lado, se o canal não aumenta com suficiente rapidez, poderá haver assoreamento do leito natural a montante do corte, por falta de condições de escoamento para toda a descarga sólida que chega. À jusante haverá então rebaixamento do fundo e conseqüentemente aumento da declividade que irá provocar o aumento da erosão à montante, compensando aos poucos o desequilíbrio havido, entretanto, este processo poderá durar vários anos, com evidentes inconvenientes, ficando sempre na dependência das alternâncias imprevisíveis do ciclo hidrológico.

- Obras Contraproducentes:

Nem sempre as obras hidroviárias executadas visando melhorar as condições de navegabilidade de um rio, alcançam o fim colimado, mas ao contrário, resultam muitas vezes serem contraproducentes. O rio que se pretendia melhorar, oferece ao fim de pouco tempo, condições ainda mais precárias à navegação e o que em muitos casos é ainda mais grave.

No trecho retificado, ocorre: um aumento da declividade, aumento na intensidade da força erosiva da corrente, aparecimento da erosão no trecho retificado e assoreamento no trecho a jusante.

Na retificação do curso d'água, há uma redução do volume de retenção e, conseqüentemente, um aumento do pico de vazão para jusante. O cuidado reside na proteção da várzea do rio a jusante.

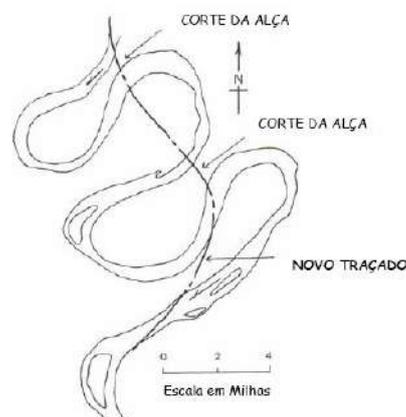


FIG 5.13 – Retificação do trecho meandrante do rio – *novo traçado*

Fonte: SILVA, 2004 *apud* PETERSEN, 1986.

5.2.2 REGULARIZAÇÃO DOS LEITOS

As obras de regularização em um curso d'água são definidas como aquelas que visam a utilizar energia das águas para fixar o leito, direcionando o escoamento ou concentrando o escoamento para melhorar as condições de navegabilidade e operação de tomadas de água, modificando então a largura, as curvaturas, a profundidade e a direção de filetes de água. Normalmente são utilizadas para fixar o leito do curso d'água durante os meses de estiagem.

Estas obras intervêm no equilíbrio do rio, produzindo impactos ambientais, sendo necessária a execução de obras complementares para a mitigação dos mesmos.

Através da regularização procura-se atingir um ou vários dos objetivos seguintes:

- Escoamento rápido e seguro das águas nas cheias;
- Estabilidade do curso de água, com um mínimo de erosão das margens;
- Orientação da corrente líquida em um trecho determinado do curso d'água;
- Profundidade suficiente e percurso satisfatório para a navegação;
- Transporte eficaz dos sedimentos em suspensão e, principalmente dos depósitos de fundo.

Basicamente, pela regularização transformam-se um trecho do curso de água em estado de erosão ou de assoreamento em um trecho com largura, profundidade e traçado adequados para a navegação, não esquecendo a capacidade de escoar as próprias vazões. O inconveniente básico da regularização dos rios de fundo móvel é a introdução de obstáculos, que ficarão submersos para a vazão maior, ocasionando uma perda de carga complementar, afetando, assim, a lei cota/vazão.

Estas obras devem interferir o mínimo possível na cota do nível d'água, de modo a não provocar inundação.

As obras de regularização não são exclusivas para a navegação, mas também podem ser utilizadas para direcionar o escoamento e/ou viabilizar a captação de água, sempre nas condições de estiagem.

- *Teorias para Regularização dos Rios*

As obras que visam modificar ou regularizar os álveos dos rios podem ser agrupadas em três categorias, a saber:

- Obras destinadas a regularizar o andamento planimétrico e altimétrico do álveo de estiagem, isto é, do álveo que nas condições naturais, veicula as vazões de estiagem. Estas obras objetivam, em geral, criar condições favoráveis à navegação;
- Obras destinadas a alterar o álveo de enchente, para limitar a extensão das zonas inundadas;
- Obras mistas, isto é, obras que visam resolver o dois problemas indicados anteriormente.

Nos métodos clássicos de regularização de leito, emprega-se normalmente, diques e espigões e, eventualmente, soleiras de fundo, dragagens e derrocamento.

Uma vez estabelecido o novo traçado do leito ordinário e as dimensões e formas das novas seções transversais, o que normalmente deverá ser feito em trechos isolados onde o rio apresenta características excepcionais ou anormais, resta escolher os tipos de obras a serem empregadas e realizar seus projetos, incluindo a escolha do material a ser utilizado. As características do leito (fixo ou móvel) interferem na escolha dos materiais das obras. Neste estágio deve ainda ser calculado o perfil da linha d'água regularizada, a fim de serem fixadas as cotas de coroamento das obras em função de uma certa vazão de dimensionamento. Isto pode ser feito mediante emprego de modelo matemático, como já mencionado, ou por cálculo direto (em geral admitindo-se fixo).

Quase sempre os rios de fundo móvel são muito largos e pouco profundos e se remedia os defeitos daí decorrentes pelo estrangulamento do leito. A erosão das margens é a causa principal destas conformações e a proteção das mesmas é parte importante dos trabalhos, nos trechos em que será feito o estrangulamento ou a correção de curvas ou então quando as obras de estrangulamento são realizadas em uma só margem.

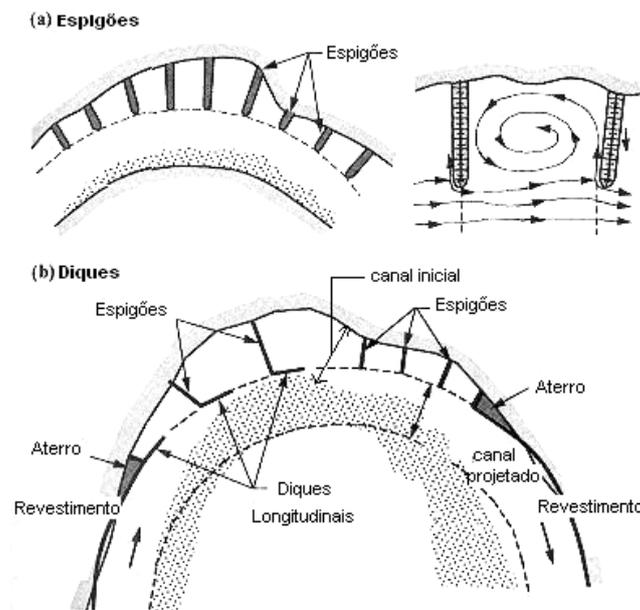


FIG 5.14 – Regularização dos leitos – Disposição em planta dos diques e espigões

Fonte: Adaptado de JULIEN, 2002.

5.2.3 DERROCAMENTO

O derrocamento é a operação que consiste no desmonte (fraturamento, rompimento) de rochas, particularmente do leito de rios ou canais, para desobstruí-los com técnicas específicas, que consistem em romper o maciço, utilizando-se explosivos (ondas de choque), por percussão (marreta, soquete, aríete) ou por perfuração e percussão (martelete). Finalmente, o material rompido deve ser removido com o uso de dragas.

Geralmente estas obras têm como consequência o aumento da velocidade das águas e o rebaixamento do nível d'água a montante, resultando no desequilíbrio do rio, o que dá origem a impactos ambientais na região sob análise.

Deve-se, desde logo, distinguir duas situações distintas:

- Derrocamento de pedregalhos (matacões) isolados nos cursos d'água navegáveis, destinado a melhorar as condições de navegabilidade;
- Derrocamentos de abertura de canais em longos afloramentos rochosos.

As diferenças de volume a serem removidos em uma ou noutra situação, faz com que os métodos de trabalho, e mesmo, os equipamentos utilizados, sejam distintos.

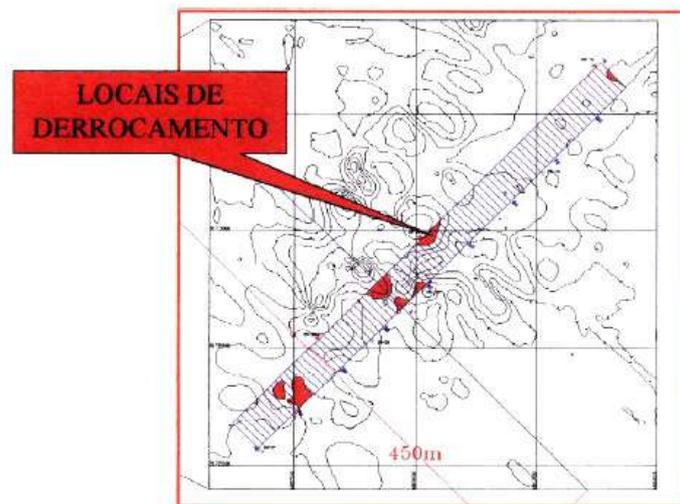


FIG 5.15 – Derrocamento típico

Fonte: SOBENA, 2001

Os serviços de derrocamento são executados em quatro fases distintas, a saber: desmonte do material resistente, retirada do material desagregado do leito, o transporte do mesmo e a sua deposição.

- *Desmonte do material resistente*

O desmonte da rocha é feito com técnicas específicas, que tem por objetivo o fraturamento ou rompimento do material de dragagem. Operação que pode ser realizada com o emprego de explosivos ou por percussão direta. Nota-se que, em ambos os casos, a desagregação é obtida por ondas de choque.

Derrocamento por explosivos

Normalmente, o derrocamento fluvial, utilizando-se explosivos, é feito com a introdução da carga em “minas” abertas na rocha.

O desmonte é feito colocando-se o explosivo diretamente na superfície da rocha e se utiliza a pressão d'água para concentrar as ondas de choque ou se emprega campânulas pesadas com a mesma finalidade. Este procedimento, usual em derrocamentos marítimos, não é comum em rios, devido às pequenas profundidades e à correnteza das águas. Eventualmente, estes métodos podem ser empregados nos períodos de cheia e em zonas de águas mortas. A detonação é sempre feita com espoletas de reação elétrica.

O desmonte por explosivos é uma técnica altamente especializada que requer uma grande experiência e profundos conhecimentos da rocha local. A distribuição correta das cargas e do poder explosivo das mesmas é essencial para a obtenção de um rendimento satisfatório e, sobretudo, de um fundo regular, sem descontinuidade, de difícil remoção posterior, bem como a obtenção de blocos de dimensões convenientes; isto só pode ser obtido por tentativas.

Derrocamento por percussão

O desmonte da rocha é obtido por percussões repetidas, ou seja, pela queda livre de uma “haste de derrocagem”, de grande peso ou por marteletes mecânicos.

Em ambos os casos, interessa, basicamente, a energia de choque, que é função da altura de queda da haste (no caso da queda livre) ou da impulsão do martelete.

Os equipamentos são montados em embarcações chamadas “derrocadores”, que devem ter condições excepcionais devido à grande altura da torre ou lança-guia de percussão.

Os derrocadores de queda livre são recomendados para espessuras de rocha de até 1,00 m ou 1,50 m.

Para rochas muito duras ou muito maleáveis, o uso de derrocadores de queda livre não é muito satisfatório, devido à grande energia necessária ou aos inconvenientes de encravamento das hastes.

- *Retirada do material desagregado do leito*

É feita, em geral, com o emprego de equipamentos de dragas de trabalho descontínuo do tipo pá mecânica ou de caçamba, empregam-se também dragas de alcatruzes. Eventualmente o material é retirado pela própria correnteza do rio, ou pode deixar de ser executado, limitando-se a um serviço de limpeza do canal, com o afastamento de blocos. O transporte do material derrocado (quando retirado) é feito, em geral, por batelões.

A deposição dos blocos apresenta problemas menores que no caso das dragagens por não haver retorno do material. Por outro lado, a deposição a seco, exige um sistema pesado de transbordo dos batelões para a terra.

Os principais inconvenientes que podem ocorrer devido ao aprofundamento do leito por derrocamento são: o aumento da velocidade das águas e da declividade, entretanto uma deposição conveniente dos blocos retirados, compensando a seção transversal nas zonas de trabalho, muitas vezes contorna esses inconvenientes.

5.2.4 DRAGAGEM

Entende-se por dragagem a retirada, transporte e disposição final do material, resultante do derrocamento, como areias, siltes ou argilas do leito dos rios com equipamentos adequados em cada operação. (SILVA, 2004)

Geralmente estas obras têm como consequência o aumento da velocidade das águas e o rebaixamento do nível d'água a montante, resultando no desequilíbrio do rio, o que dá origem aos impactos ambientais, que deverão ser mitigados com a escolha adequada da técnica de execução e bota-fora, bem como da escolha correta do equipamento.

De acordo com ALMEIDA (2004), a escolha do equipamento de dragagem depende basicamente da natureza e do volume de material que será removido e da distância da área de dragagem até a área de disposição, sendo analisados os aspectos técnico, sócio-econômico e ambiental.

As condições de trabalho na área de dragagem, como ventos, marés e ondas, bem como a produtividade dos equipamentos também influenciam na escolha destes.

De acordo com a Environmental Protection Agency, do governo americano, antes de efetuar a escolha do equipamento e da técnica de execução, devem ser analisados os seguintes fatores:

- Características físicas do material a ser dragado;
- Levantamento das quantidades do material a ser dragado;
- Profundidade da Dragagem;
- Distância até a área de disposição;
- Caracterização do meio ambiente nas áreas de dragagem e de disposição;
- Nível de contaminação dos sedimentos;
- Método de Disposição;
- Produção requerida do equipamento;
- Tipos de dragas disponíveis;
- Custos envolvidos.

Pode-se dizer que são três as técnicas ou processos de execução de dragagens: o **mecânico**, que realiza tanto a remoção de materiais soltos como a de materiais compactados, o **hidráulico**, que realiza a remoção de sedimentos soltos utilizando tubos hidráulicos de sucção, e o **misto**, que se constitui de uma combinação do processo mecânico com o hidráulico.



FIG 5.16 – Dragagem de um curso d'água

Fonte: SOBENA, 2001

Condições particulares, favoráveis à dragagem

O regime hidrológico do rio e o conhecimento da sua morfologia são importantes na definição das obras de dragagem. Na maioria dos casos, pode-se admitir que todo o material a ser dragado foi depositado pelas correntes e que tenderá a ser substituído por outro de mesma origem. As alternâncias de vazão têm importância primordial para a morfologia fluvial e também para a operação de dragagem.

Do ponto de vista da manutenção dos canais dragados, os rios de regime bem regular, com períodos bem nítidos de cheias e estiagem, e variação gradual da vazão, são os mais favoráveis.

Quanto à descarga sólida, é importante distinguir o "material em trânsito" originado na erosão superficial dos terrenos constituintes da bacia hidrográfica e o material do leito propriamente dito.

O material em trânsito é sempre muito fino e transportado em suspensão; só se deposita eventualmente nos trechos inferiores do rio (estuários e deltas), pouco influi na morfologia fluvial.

O material do leito é em parte transportado em suspensão e em parte por arrastamento e é responsável direto pela conformação do leito móvel do curso d'água.

O material em trânsito, normalmente, não cria problema de dragagem fluvial, do tipo aqui considerado. O material do leito, movimentado e em suspensão deposita-se quando é reduzida a turbulência das águas, isto acontecendo nos trechos de baixa declividade e, nos períodos que seguem as cheias etc. Os depósitos assim criados são bem localizados no tempo e no espaço e podem criar problemas que requerem dragagens. O material de arrastamento de fundo, apesar de ter em geral menor volume que os demais, é normalmente o que cria os problemas de dragagem pela deposição sistemática de areias.

Há alguns rios que apresentam seu leito principal, de cheia, relativamente retilíneo e largo. O leito de estiagem, muito mais estreito, serpenteia neste leito principal, entre os bancos de areia. Estes rios (ou trechos de rios) espriados são muito desfavoráveis para a navegação, pois os leitos de estiagem são muito estáveis e sinuosos. Em geral não são feitas dragagens em rios desse tipo.

Nos rios de meandros, as dificuldades surgem quase sempre nos pontos de inflexão, nas desembocaduras dos afluentes, nos acidentes localizados como gargantas, afloramentos rochosos etc. (podem transformar os rios de meandros em rios espriados). Às vezes para tomadas d'água, os problemas localizam-se nas curvas convexas.

Os baixios a serem dragados têm cada qual sua característica própria que dificilmente podem ser comparados a outros do mesmo curso d'água ou de outros cursos d'água. Sofrem modificações importantes de ano para ano e às vezes na mesma estação. Devem sempre ser considerados dentro do rio, e não isoladamente.

5.2.4.1 TIPOS DE DRAGAS

Uma grande variedade de dragas é utilizada nos dias atuais. A seguir, são descritas as dragas mais utilizadas atualmente identificando suas aplicações, vantagens e desvantagens. Existem basicamente dois tipos de dragas: as mecânicas e as hidráulicas.

5.2.4.1.1 DRAGAS MECÂNICAS

As dragas mecânicas removem sedimentos através da aplicação direta de uma força mecânica para escavar o material, independente de sua densidade. Geralmente são utilizadas para a remoção de cascalho, areia e sedimentos muito

coesivos, como argila, turfa, e silte altamente consolidado. Os sedimentos escavados com a utilização de dragas mecânicas são geralmente transportados em barcas ou barcaças, até o pátio de deposição, dependendo do volume a ser transportado (TORRES, 2000).

São eficientes para escavações próximas de pontes, docas, oleodutos, cais, estruturas de quebra-mar, entre outros, por ser possível de manobrar em áreas pequenas, desde que haja certo cuidado para não danificar as estruturas.

Por não suportarem o carregamento do material dragado, é necessário operar as dragas mecânicas ao lado da área de disposição, ou utilizar barcaças de disposição durante a operação. Conseqüentemente, as dragas mecânicas são muito utilizadas quando a área de disposição está distante da área de dragagem, pois o material retirado pode ser transportado por longas distâncias através de barcaças. A seguir, serão descritos os principais tipos de dragas mecânicas.

- *Draga Escavadeira (Dipper Dredge)*

Consiste em uma draga de alta capacidade de escavação instalada em cima de uma barcaça fixada em estacas deslizantes presas ao solo, aumentando assim o poder de escavação, transferindo o peso da seção dianteira da draga para o fundo. O “balde” preso firmemente à barcaça possui uma extremidade cortante, e é empurrado violentamente contra o material a ser removido. Pode-se observar um desenho esquemático deste tipo de draga na FIG 5.17. A capacidade de cada “balde” normalmente é de 6,00 a 9,00 m³. Possui capacidade de escavar em profundidades de até 15,00 m aproximadamente.

Este tipo de draga é mais utilizado para a escavação de materiais duros, compactados, rochas, ou outros materiais muito sólidos, após a utilização de dinamites. Também pode ser utilizada para remover cais velhos, quebra-mares, fundações, raízes, tocos, e outras obstruções.

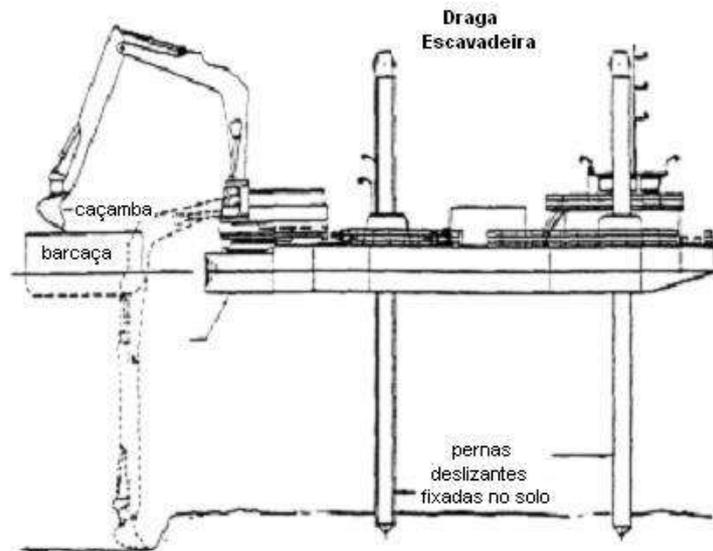


FIG 5.17 - Dragagem Escavadeira

Fonte: TORRES, 2000

Apesar de ser utilizada para remover a maioria dos sedimentos de fundo, a ação violenta deste tipo de equipamento pode causar uma perturbação considerável nos sedimentos, além de uma ressuspensão de sedimentos de baixa granulometria durante uma dragagem de manutenção. Além disso, pode ocorrer uma perda significativa do material de baixa granulometria durante o processo de escavação. Também não é aconselhável a utilização de dragas escavadeiras para mover sedimentos contaminados, já que parte do material pode ser dissipada durante a operação (USACE, EM-1110-2-5025, 1983).



FIG 5.18 - Dragagem Escavadeira Ambiorix pertencente à Ballast Ham Dredging

Fonte: www.dredgers.nl

- *Draga de Alcatruzes (Bucket Ladder Dredge)*

É o equipamento de dragagem mais antigo, sendo utilizado até os dias atuais. Possui uma corrente com caçambas, como ilustra a FIG 5.19, trazendo o material do fundo até uma esteira montada em uma lança que eleva e projeta o material dragado a certa distância ou o despeja em outra embarcação (TORRES, 2000). O guindaste com a draga é fixado em uma barcaça sustentada por estacas em mar aberto, ou em instalações fixas na área costeira. Atingem profundidades de até 30,00 m.

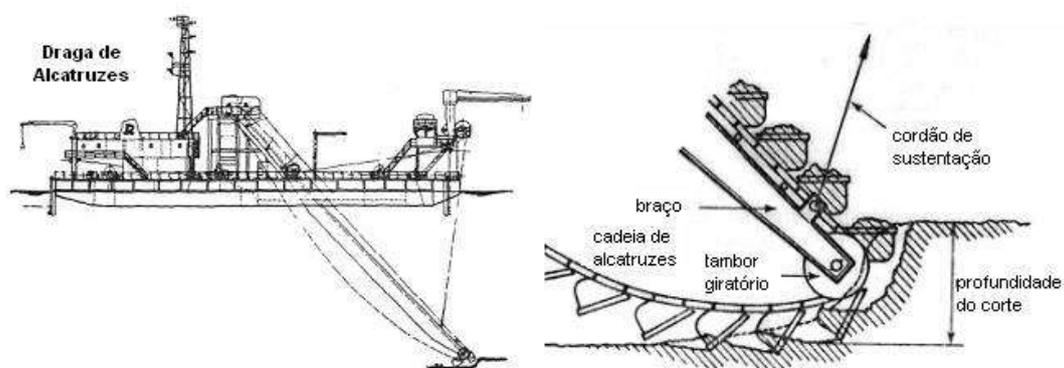


FIG 5.19 - Draga de Alcatruzes

Fonte: TORRES, 2000

As dragas de alcatruzes podem ser utilizadas para escavar quase todos os tipos de materiais, com exceção das rochas e dos sedimentos muito sólidos. Entretanto, ocorre perda de material ao trazê-lo para a superfície, sendo assim necessária a utilização de caçambas especiais para escavar sedimentos contaminados, ou até mesmo evitar sua utilização em tal situação (USACE, EM-1110-2-5025, 1983).



FIG 5.20 - Draga de Alcatruzes pertencente à Ballast Ham Dredging

Fonte: www.dredgers.nl

- *Draga de Caçamba (Grab/Clam Shell Dredges)*

Está entre as dragas mecânicas mais utilizadas e também denominadas de escavadeiras flutuantes, são compostas de uma barcaça flutuante e um guindaste fixado com uma caçamba. Um desenho esquemático de uma draga de caçamba é apresentado na FIG 5.21.

Os tipos de caçamba existentes são a clam shell, orangepeel e draglines, sendo que a clam shell, ou grab, é a mais utilizada. A FIG 5.22 ilustra uma caçamba deste tipo. A capacidade de uma caçamba normalmente é de 0,75 a 9,00 m³. Atingem profundidades de até 30,00 m.

Geralmente causam uma ressuspensão de sedimentos superior aos outros tipos de dragas, devido ao impacto dinâmico da caçamba com o fundo do canal que está sendo dragado, o transbordamento do material devido à lotação da caçamba, a perda de sedimentos durante a subida da caçamba pela coluna d'água, e a lavagem dos sedimentos restantes na caçamba depois de esvaziada, retornando ao fundo (USACE, EEDP-09-01, 1986).

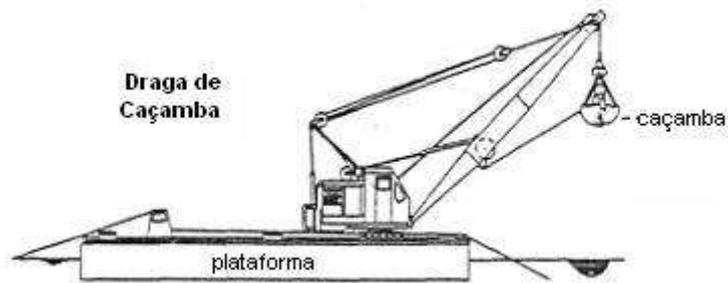


FIG 5.21 - Draga de Caçamba

Fonte: TORRES, 2000

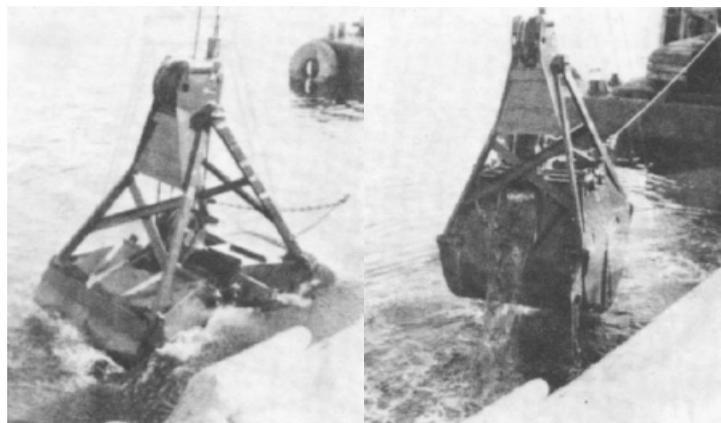


FIG 5.22 - Caçambas do tipo Clam Shell

Fonte: USACE, EM-1110-2-5025, 1983



FIG 5.23 - Dragas de Caçamba Labor e Magri, ambas pertencentes à Ballast Ham Dredging

Fonte: www.dredgers.nl

5.2.4.1.2 DRAGAS HIDRÁULICAS

As dragas hidráulicas funcionam como estações de bombeamento flutuantes. Operam com bombas centrífugas, acionadas por motores a diesel ou elétricos, montadas sobre barcas ou barcaças, descarregando o material dragado através de tubulações mantidas sobre a água através de flutuadores. As bombas produzem vácuo na entrada das tubulações e a pressão força a água e o sedimento através da tubulação (TORRES, 2000). Esta mistura de água e sedimento é denominada de *slurry*.

São mais adequadas para a remoção de areia e silte pouco consolidados. Como o material é transportado através de tubulações, não há risco de perdas. Uma limitação das dragas hidráulicas é a operação de remoção de materiais que contenham grandes pedras. Os principais tipos de dragas hidráulicas são as de sucção e recalque e as auto-transportadoras.

Existem ainda as dragas pneumáticas, que utilizam ar comprimido ao invés de bombas centrífugas, sendo mais eficientes para dragar materiais pouco adensados. Estas dragas minimizam a agitação no local, o que é muito importante quando o material dragado é poluído.

- *Draga Auto-Transportadora Auto-Propelida (Trailing Suction Hopper Dredge)*

Está entre os principais tipos de dragas hidráulicas. São embarcações auto-propulsadas, equipadas com maquinário de propulsão, bombas de sucção e cisternas para o transporte do material até o local de disposição.

A capacidade das cisternas de armazenamento do material dragado nas dragas auto-transportadoras depende do porte da embarcação. O material no fundo é retirado pela bomba de sucção, através dos “braços de dragagem” ou tubulações de

sucção, como ilustra a FIG 5.24, e descarregados nas cisternas a bordo. Quando se esgota a capacidade desses compartimentos, o excesso de água é retirado, e este procedimento é denominado de *overflow* (USACE, EM-1110-2-5025, 1983).

Após a realização do *overflow*, a embarcação se desloca até a área de disposição para o despejo do material dragado, sendo realizado através da abertura de comportas no fundo da embarcação, no caso de disposição em mar e através de tubos de sucção e recalque no caso de disposição em terra. A partir de então, é possível retornar à área de dragagem e continuar a operação.

São utilizadas em dragagens de manutenção em portos em mar aberto e canais de navegação quando o tráfego das embarcações e as condições de operação não permitem o uso de dragas estacionárias, sendo mais eficientes para dragar materiais soltos, não consolidados. Também são indicadas quando a área de disposição final é distante da área de dragagem.

Possui a limitação de não poder ser utilizada em águas rasas, devido às suas dimensões, além de não realizar uma dragagem contínua, já que sua operação é composta de três fases: carregamento, transporte e descarregamento, limitando-se à capacidade de armazenamento de material dragado.

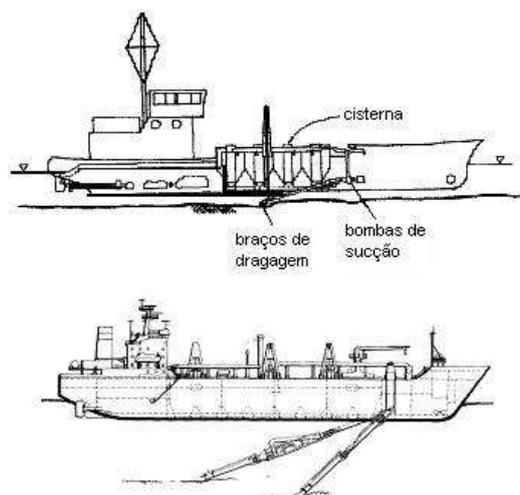


FIG 5.24 – Draga Auto-Transportadora Auto-Propelida
Fonte: DAVIS et. al., 1990 & USACE, EM-1110-2-5025, 1983



FIG 5.25 - Draga Auto-Transportadora pertencente à Dragaport

Fonte: www.dredgers.nl

- *Draga de Sucção e Recalque (Cutterhead Dredge)*

Esta draga é um dos equipamentos mais utilizados nos Estados Unidos da América e possui um desagregador giratório na entrada do tubo de sucção, possibilitando a remoção dos materiais mais consolidados, para depois serem sugados pela tubulação. Geralmente é equipada com duas estacas utilizadas para fixar a draga no local da operação e para avançar na área de retirada de material. Durante a operação, a draga de sucção e recalque movimenta-se de um lado para outro alternadamente, utilizando as âncoras como pivôs. Cabos fixados às âncoras em cada lado da draga controlam este movimento lateral. Ao invés de atuarem numa linha reta, o movimento da draga descreve a trajetória de um arco, conforme a FIG 5.27.

No caso de disposição em mar aberto é utilizada uma tubulação de descarga flutuante (FIG 5.26). Para disposição em terra, são instaladas seções adicionais de tubos, permitindo assim, o bombeamento do material dragado para longas distâncias em terra. Entretanto, são utilizadas barcaças para o transporte do material para

áreas distantes de disposição em mar aberto, ou para áreas isoladas de confinamento.

São indicadas para dragagens de implantação, ampliação e manutenção. Apesar de serem eficazes na escavação da maioria dos materiais, inclusive os mais duros e os mais consolidados, não são indicados para dragagens de manutenção de materiais como argila (barro), lodo e areia fina, porque, nestes materiais, a rotação da draga de sucção e recalque causa uma nuvem de turbidez, aumentando o potencial de possíveis impactos ambientais. Entretanto, podem ser utilizadas como simples dragas de sucção, retirando-se o desagregador giratório da ponta do tubo de sucção.

Este tipo de draga é indicado para dragagens de manutenção em canais navegáveis e bacias de evolução onde a agitação e a altura das ondas não são excessivas. É recomendável que não sejam utilizadas onde a altura das ondas ultrapasse 3 m, pois a ação das ondas pode interferir na ação do desagregador, causando impactos e cargas excessivas no solo e no equipamento.

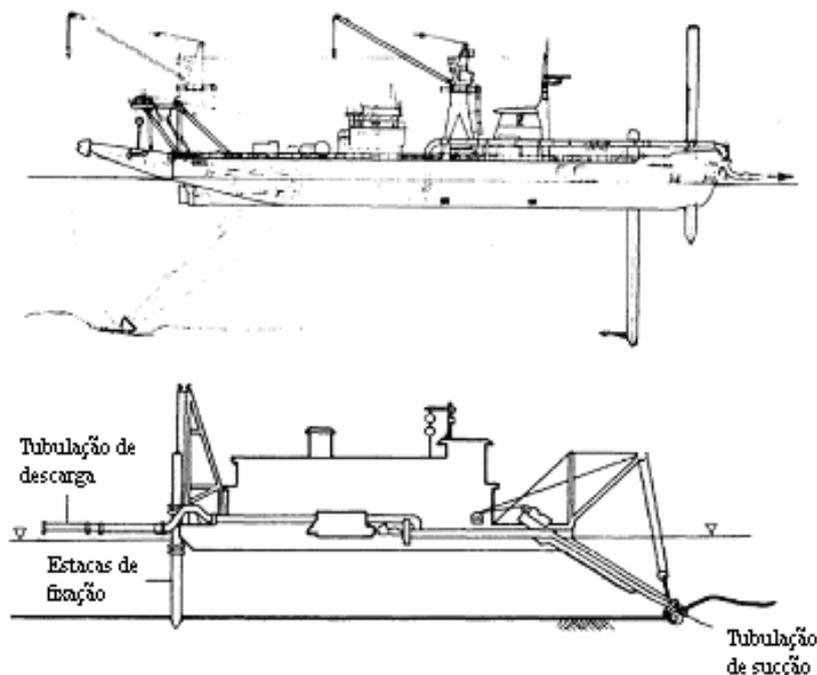


FIG 5.26 - Dragagem de Sucção e Recalque

Fonte: USACE, EM-1110-2-5025, 1983

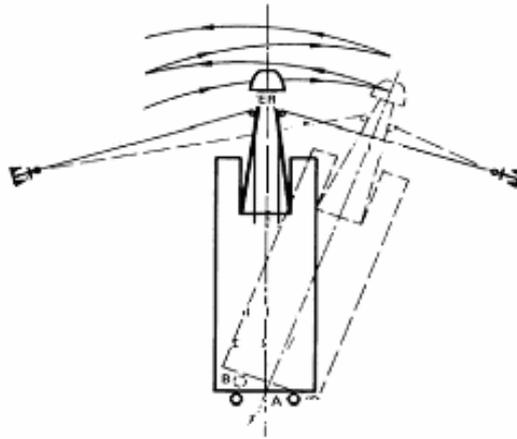


FIG 5.27 - Operação de uma Draga de Sucção e Recalque – vista superior

Fonte: USACE, EM-1110-2-5025, 1983

- *Draga Aspiradora (Dustpan Dredge)*

Um outro tipo de draga hidráulica é a ilustrada na FIG 5.28. Consiste em uma draga de sucção auto-propulsada, na qual a sucção é feita por meio de um grande bocal de aspiração, como o dos aspiradores de pó. Com o auxílio de jatos de água, o material é desagregado e, através de aberturas no bocal, é aspirado e levado junto com a água aos tubos de sucção.

A draga opera contra a corrente, podendo fazer cortes em bancos de material sedimentado de até 10 m de largura. Cortes mais largos podem ser conseguidos por uma série de cortes paralelos. Este tipo de bocal é utilizado quando se tratar de material fino e de fraca coesão, em cortes rasos, não cortando material coesivo e não podendo fazer cortes em bancos cujo material pode desmoronar sobre o bocal e impedir a sucção.

Como essas dragas se deslocam corrente acima com bastante rapidez, não é conveniente dispor de tubulação em terra ligadas a elas, e sim ligadas às barcas; e

para maior eficiência, a tubulação de recalque não deve ter mais de 300 m de comprimento, nem se elevar acima de 1,5 m do nível da água (ALMEIDA, 2004).

Este tipo de equipamento não é indicado para dragagens em estuários ou baías sujeitas a ação das ondas, e sim para rios e águas tranqüilas, sendo utilizado para dragar grandes volumes de material solto, como areia e pedregulhos. Nos Estados Unidos da América, uma draga deste tipo é utilizada para a manutenção do canal de navegação no Rio Mississippi, em Missouri, nas épocas de baixa do rio, quando as águas estão rasas.

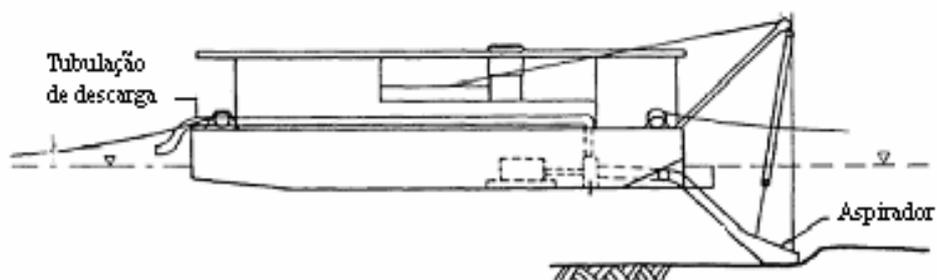


FIG 5.28 - Draga Aspiradora

Fonte: USACE, EM-1110-2-5025, 1983

- *Draga de Lança (Sidecasting Dredge)*

Consiste de uma embarcação similar às dragas auto-propulsadas do tipo hopper, porém, não possuem cisternas a bordo para o material dragado. Entretanto, possuem capacidade para escavar os mesmos materiais da draga hopper, sendo providas de auto-propulsão, e o material é dragado por bombas de sucção através de uma tubulação que lança o material escavado lateralmente, conforme ilustra a FIG. 5.29.

É utilizada em locais de pouca profundidade, como bancos de areia e enseadas. Durante o processo de dragagem, a draga de lança percorre toda a área de dragagem, e a descarga do material pode ser efetuada tanto de um lado da draga,

quanto do outro, pois a tubulação lançadora gira conforme o lado estabelecido para a descarga do material.

Esta draga não possui capacidade de escavar grandes quantidades de material, como a draga hopper. Além disso, o material retirado pode voltar para o local da escavação devido às correntes marinhas.



FIG 5.29 - Dragas de Lança
Fonte: USACE, EM-1110-2-5025, 1983

5.2.5 CANAIS ARTIFICIAIS

Entende-se por canais artificiais o ato de dirigir ou encaminhar o escoamento das águas, através de canos, valas ou canais fora do leito natural.

Os impactos ambientais das obras hidráulicas de execução de canais artificiais estão relacionados a impactos na bacia onde se implantará a obra, o que resulta na necessidade de um estudo mais abrangente para a identificação dos mesmos.

Os canais são construídos tanto ao longo dos próprios cursos d'água da rede hidrográfica, modificados de acordo com as necessidades, como escavados em diferentes tipos de solo.

Os canais mais comuns são: hidrovias, canais de irrigação, canais de adução para abastecimento, canais para drenagem de áreas encharcadas, canais de retificação de cursos naturais para os mais diversos fins, canais emissários de águas pluviais e efluentes em zonas urbanas e rurais, canais de adução e fuga de usinas hidrelétricas e outras instalações.

A finalidade do uso d'água, conduzida por um canal, determina vários critérios básicos, como o de admitir ou não perdas d'água. Canais de navegação e de retificação de rios, por exemplo, em geral admitem tais perdas; enquanto aqueles que aduzem água, seja para o abastecimento urbano ou para irrigação, em geral não podem perder esse recurso.

Outros critérios, a título de exemplificação, são apresentados a seguir, para alguns tipos de canais:

- **Canais de Navegação:** são classificados em canais de acesso (aproximação ou saída de embarcações de alguma obra fluvial) e canais de navegação propriamente ditos, quando são projetados para garantir condições mínimas em qualquer ponto da hidrovia, estes canais fazem parte de um sistema mais complexo que compreende eclusas, barragens e portos. Em interligações de bacias, costuma-se chamar o canal de navegação de Canal de Partilha. Nestas interligações, geralmente, há falta de água para manutenção das condições mínimas, exigindo que sejam abastecidos.
- **Canais de Retificação:** podem ser concebidos para controle de cheias, para a organização do espaço visando o uso do solo, para o controle de processos erosivos-deposicionais, etc. Cada uma destas finalidades e as características do meio físico e do uso do solo, determinam os respectivos aspectos básicos; entretanto, um aspecto comum é a necessidade de manutenção, que exige limpeza ou mesmo dragagens freqüentes, especialmente em áreas urbanas.

- **Canais de Irrigação:** devem facilitar o escoamento d'água sem provocar erosão ou deposição de sedimentos. Em geral, os canais de irrigação e maior porte, que aduzem e distribuem água até os lotes irrigados, são dotados de revestimentos para evitar importantes perdas d'água.
- **Canal de Desvio:** é uma solução que pode ser adotada quando da construção de uma barragem, pois há a necessidade do isolamento da área, para permitir o trabalho sem a interferência d'água. É adotado quando as condições geológicas são favoráveis para a construção de um canal de derivação para desvio de uma vazão em torno do local da obra, sendo que outros tipos de obras de desvio, tais como: ensecadeiras, túneis, adufas, desvio através do vertedor principal concretado, desvio pelo circuito hidráulico de geração; são insuficientes para as necessidades de escoamento da vazão de projeto. Estes canais de desvio podem ser escavados nas ombreiras do rio, sendo este esquema de desvio adequado quando se conta com material das ombreiras resistentes a erosão. A abertura desses pode ser projetada para ser uma obra permanente, destinada, por exemplo, à navegação.

5.2.6 OBRAS DE CANALIZAÇÃO DOS CURSOS D'ÁGUA

Estas obras hidroviárias consistem na implantação de barragens a intervalos planejados, transformando o rio em uma série de patamares, também chamados de “estirões”, que permitem, através de “obras de transposição de desnível”, a ligação contínua do meio líquido para a navegação.

A este tipo de obra, são atribuídas notáveis mudanças e modificações nos rios onde são construídas, pois provocam grandes impactos ambientais, que precisam ser estudados muito detalhadamente.

- *Localização das Barragens*

É função de um conjunto de estudos topográficos, geológicos e hidrológicos junto ao leito do rio; são também estudadas as possíveis áreas de inundação e o custo das desapropriações, etc.; a posição fica determinada geometricamente, através da linha de remanso, ou seja, o calado mínimo junto a barragem de montante (geralmente de três metros).

As obras de canalização apresentam como vantagens:

- São possíveis de ser realizadas em qualquer curso d'água;
- Propiciam maiores profundidades (portanto maiores calados e menor resistência ao movimento das embarcações);
- Diminuem a velocidade das águas (daí, menor tempo de percurso de ida e volta);
- Diminuem o percurso, com a retificação e melhoria das curvas;
- Tráfego quase ininterrupto todo o ano;
- Facilidade para posicionamento dos portos (constância do nível d'água);
- Possibilitam o aproveitamento múltiplo dos recursos hídricos (energia elétrica, controle de cheias, abastecimento, navegação, etc.)

Mas, as mesmas também apresentam como desvantagens:

- Custo elevado de maneira geral;
- Elevação do nível d'água [inundação de áreas úteis (desapropriações), perda de pontes e estradas];
- Tráfego lento e reduzido junto às obras de transposição de desnível;
- Capacidade de tráfego limitada às obras.

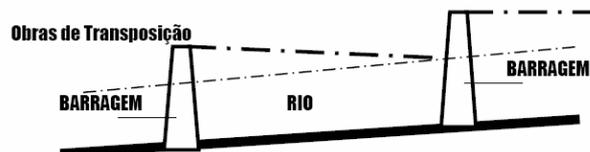


FIG 5.30 – Exemplo de obras de canalização do curso d'água

Fonte: BRIGHETTI, 2000

6 PROCEDIMENTO PROPOSTO PARA SUBSIDIAR O ESTUDO DE NAVEGABILIDADE EM RIOS

6.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Para finalizar este trabalho, será feita uma sugestão de procedimento para subsidiar o estudo de navegabilidade em rios, com o intuito de sistematizar o processo da escolha adequada da obra hidráulica para combater os parâmetros geomorfológicos e hidráulicos que afetam negativamente a navegabilidade fluvial.

6.2 DESENVOLVIMENTO E IMPLANTAÇÃO DO PROCEDIMENTO

O procedimento proposto consiste, inicialmente, em uma tabela representativa (TAB 6.1), contendo: o **problema existente no trecho de rio**, sua **causa provável**, a **ação preventiva e/ou corretiva** para mitigar o problema e por fim, o **efeito desejado no rio** resultante da ação. Cada item da tabela será descrito a seguir.

- *Problema existente no trecho de rio*

Corresponde aos parâmetros geomorfológicos e hidráulicos, identificados e descritos no capítulo 3 desta dissertação, evidenciando àqueles que podem influenciar negativamente na navegabilidade fluvial.

Cabe ressaltar que um rio pode apresentar problemas somente em um determinado trecho, porém, de acordo com a obra escolhida, haverá impacto no rio como um todo.

- *Causa provável*

Relaciona-se ao motivo do problema, ou seja, o que levou a ocorrer o impedimento no trecho de rio, prejudicando sua navegabilidade.

É importante conhecer a causa provável do problema geomorfológico ou hidráulico para a eficiência do resultado na escolha da ação preventiva e/ou corretiva.

- *Ação corretiva e/ou preventiva*

Os diversos tipos de obras hidráulicas, discutidos no capítulo 5 desta dissertação, estão entre as ações corretivas e/ou preventivas a serem realizadas nos trechos de rio, sendo tal escolha muito cuidadosa, de forma evitar os impactos negativos generalizados na via fluvial, como já citado anteriormente.

- *Efeito desejado no rio*

O efeito desejado no rio é aquele originado pela ação corretiva e/ou preventiva escolhida, tendo como objetivo principal a melhoria da navegabilidade, mas desejando-se também que tal efeito resulte em outros aspectos positivos para o rio como um todo.

A elaboração da tabela a seguir foi inspirada na influência dos parâmetros geomorfológicos e hidráulicos na navegabilidade fluvial, discriminando a causa e o efeito da obra hidráulica no rio, de forma a ser o mais positivo possível.

TAB 6.1 – Procedimento Proposto para o Estudo de Navegabilidade em Rios

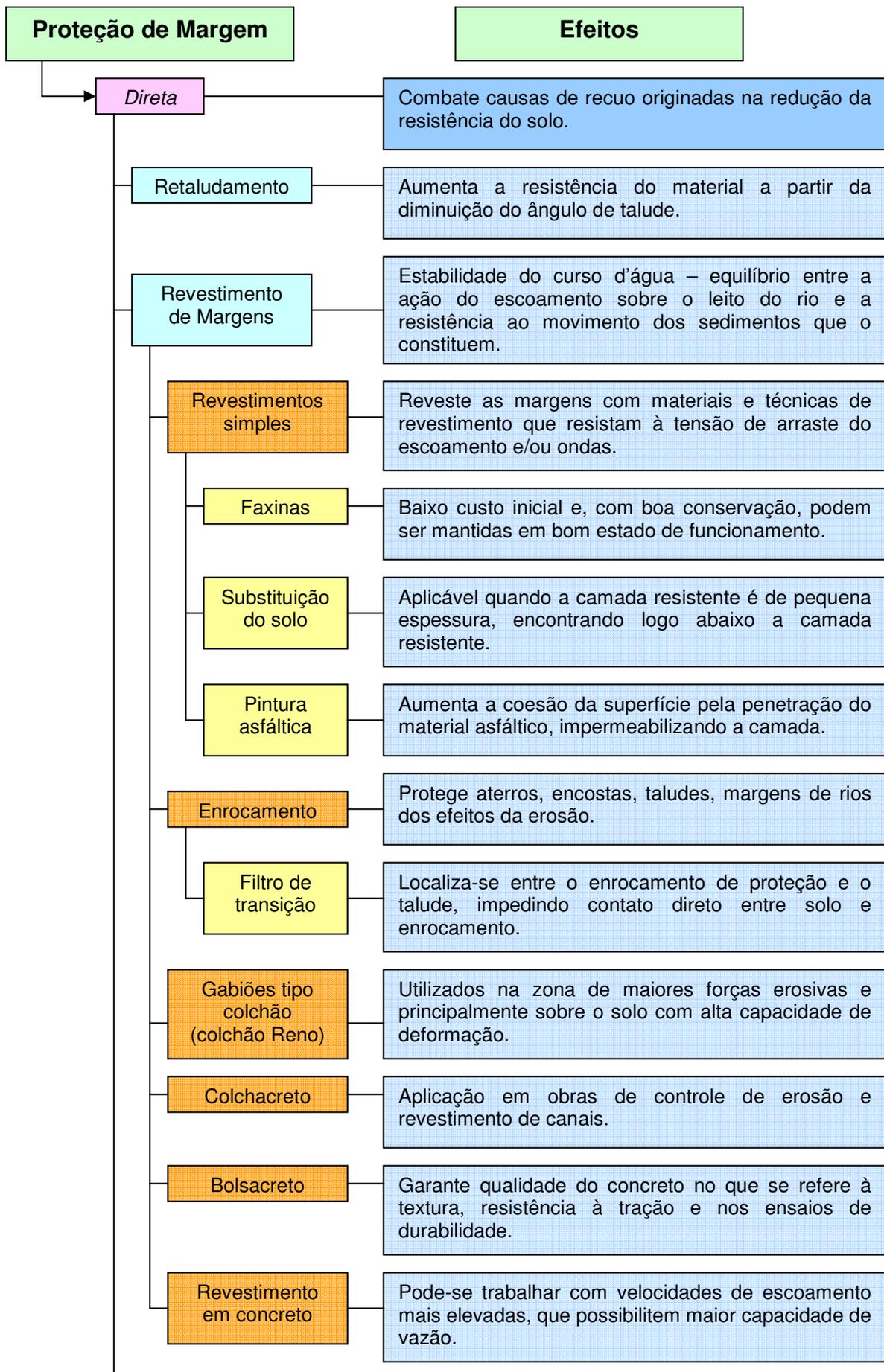
Problema existente no trecho de rio	Causa provável	Ação (P) preventiva; (C) corretiva	Efeito desejado no rio
Trecho raso	- Assoreamento - Estado natural	Dragagem (C)	Aumento de profundidade
Curva muito brusca	- Estado natural - Raio de curvatura muito acentuado, dificultando manobra da embarcação	Retificação de rios meandrantés (C)	Aumento do raio de curvatura
Margem instável	- Chuva muito intensa - Saturação do solo - Talude incompatível - Erosão de margem	Proteção de margens (P)	Fixação do leito navegável
Presença de obstáculos estranhos ao leito (troncos de árvores, embarcações encalhadas)	- Queda de árvore, galhos - Encalhe de embarcação	- Desobstrução e limpeza (C) - Observação de calado das embarcações e período de maré baixa (P)	Melhoria do escoamento e navegação
Leito indefinido de inundação	- Variação da seção transversal ao longo do leito	- Limitação dos trechos de inundação (C) - Balizamento (P)	Concentração do escoamento em um leito bem definido
Braços secundários no curso d'água	- Mudança natural do fluxo - Meandro divagante	Fechamento de braços secundários (C)	Aumento da profundidade num dos trechos dos braços
Deposição de materiais transportados	- Baixa velocidade no trecho	Dragagem (C)	Retirada do material depositado
Erosão de margem	- Margens sujeitas a altas velocidades	Proteção de margens (P)	Redução da erosão
Bancos de areia	- Deposição de sedimentos para local de menor velocidade no leito	Dragagem (C)	Aumento da profundidade
Leitos irregulares	- Leitos de fundo móvel	Regularização dos leitos (C)	Concentração e direcionamento do escoamento
Erosão de leito	- Presença de rochas no leito de rios e canais	Derrocamento (C)	Retirada de material rochoso indesejável do leito
Trecho curto	- Estado natural	Canais artificiais (C)	Aumento do estirão de via fluvial

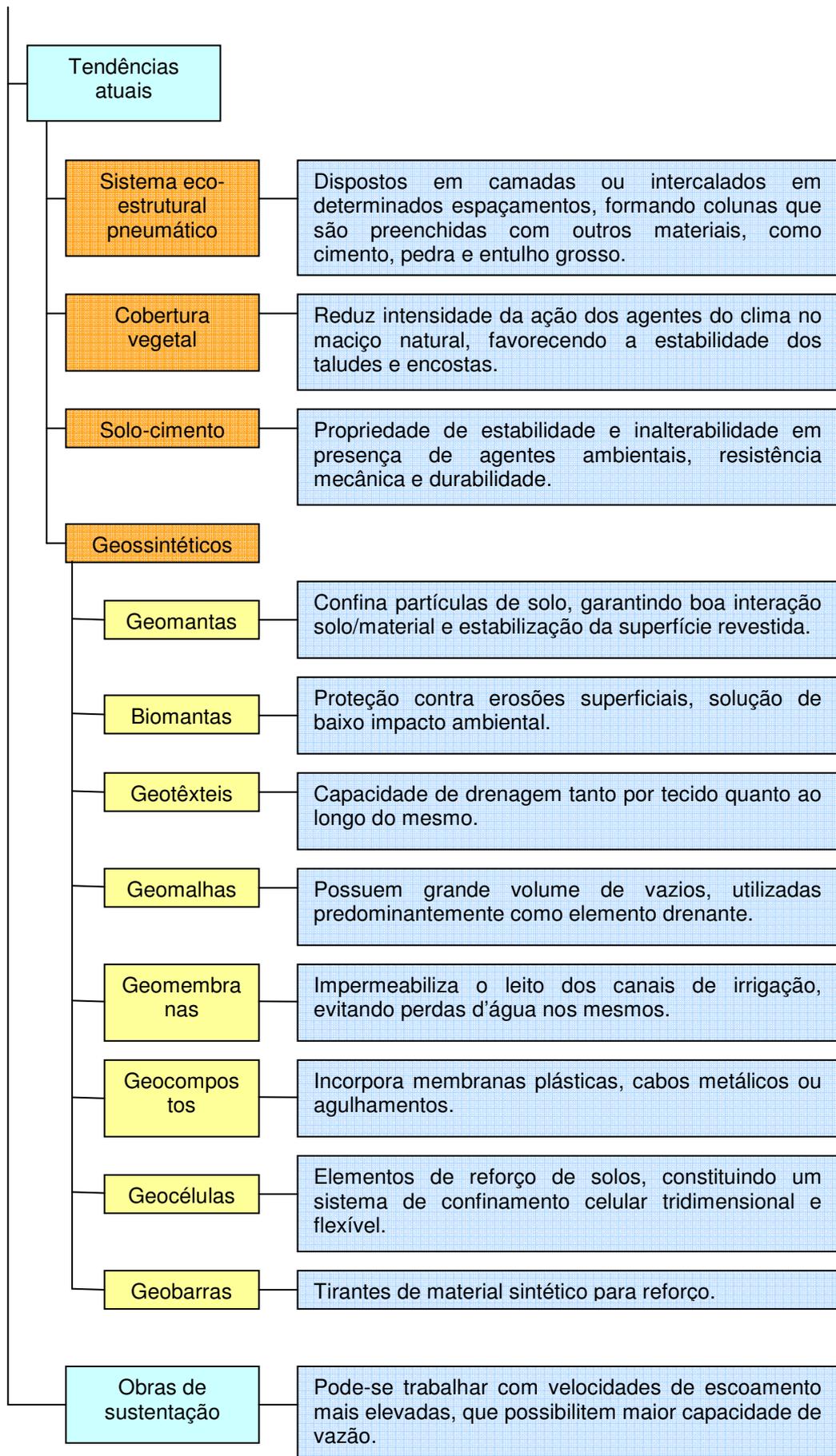
(cont.)

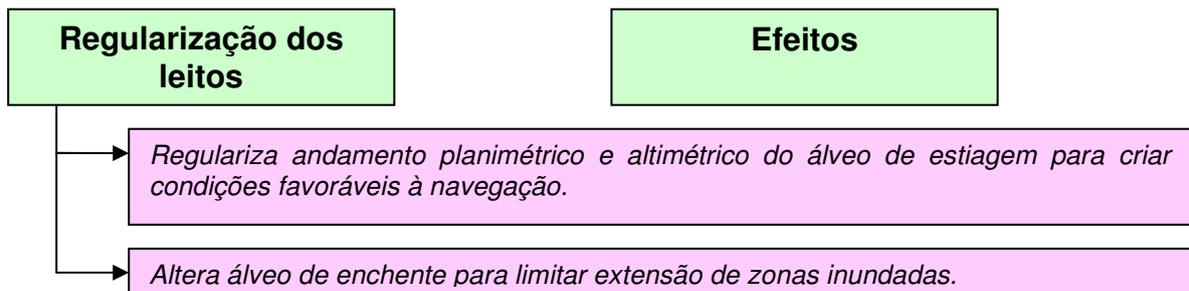
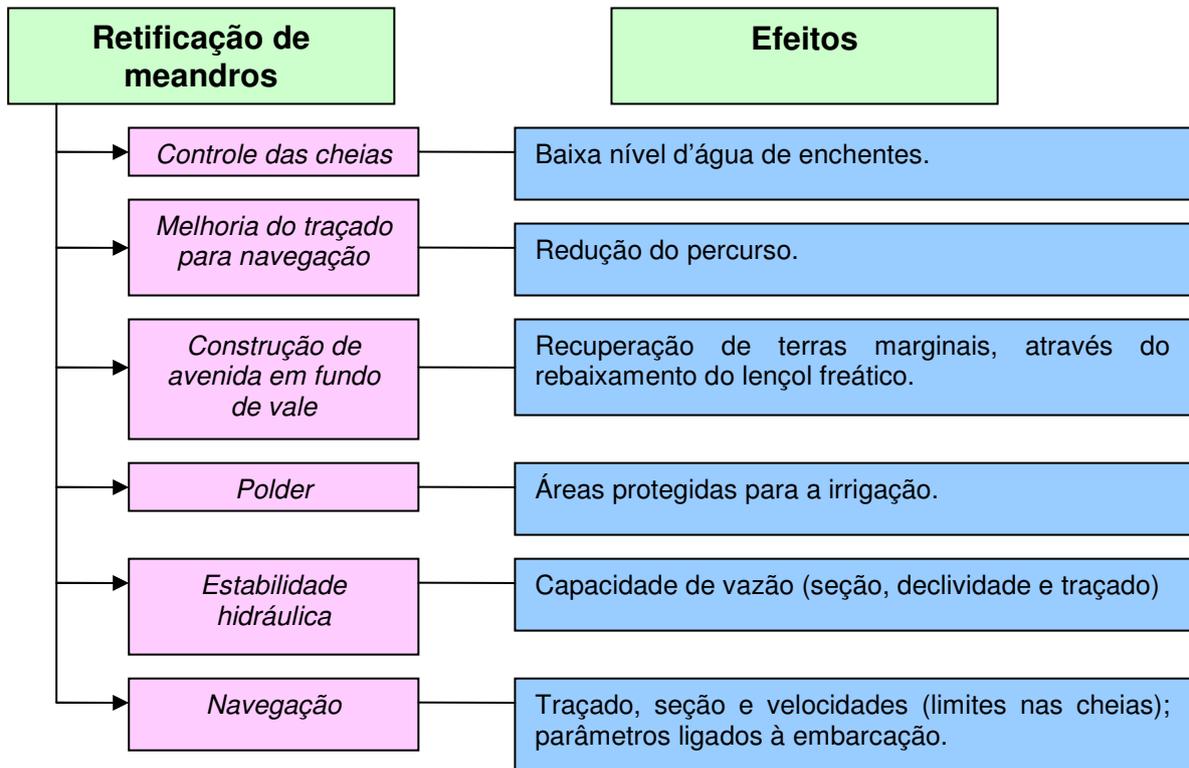
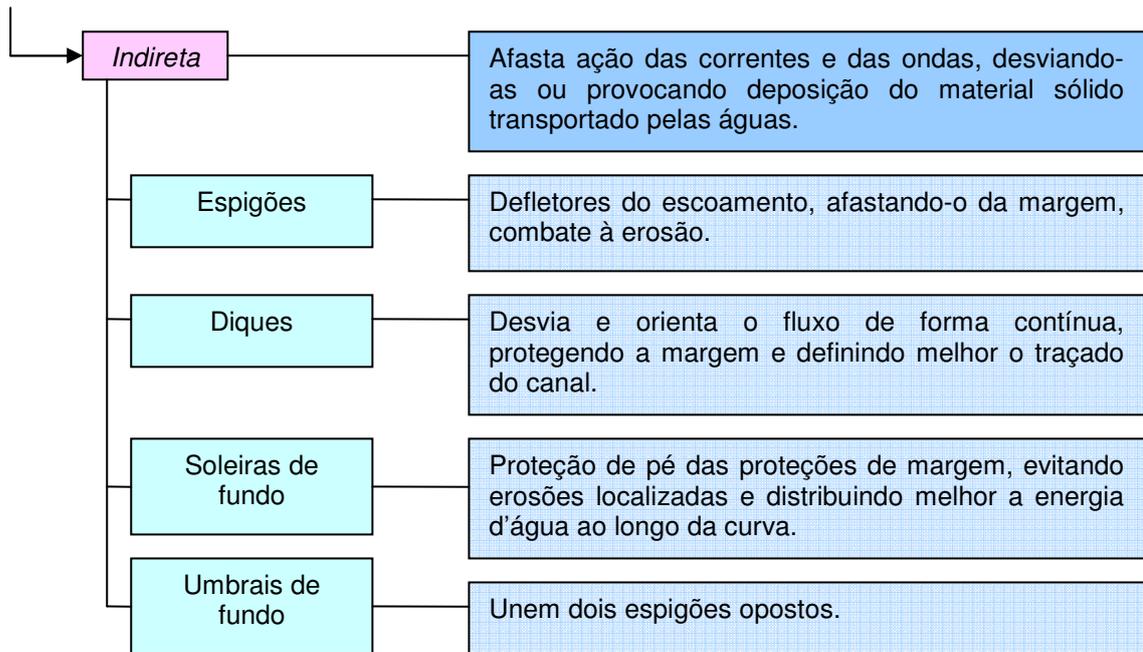
Problema existente no trecho de rio	Causa provável	Ação (P) preventiva; (C) corretiva	Efeito desejado no rio
Barragens sem eclusas	- Não-observância da navegação, somente no enfoque da geração de energia	Construção de eclusas (C)	Permite a navegação fluvial
Poluição	- Falta de saneamento básico	Tratamento de esgoto (P)	Melhora as condições sanitárias
Resíduos sólidos	- Lançamento de Lixo	Disposição final adequada do resíduo sólido (P)	Melhora as condições sanitárias
Tráfego intenso	- Hidrovia congestionada	Sinalização (P)	Trafegabilidade
Estreitamento de seção transversal	- Assoreamento - Estado natural	Alargamento (C)	Aumento da seção transversal
Existência de plantas aquáticas (algas)	- Estado natural - Poluição	Retirada e limpeza (C)	Liberação para tráfego
Existência de pilares de pontes	- Não observância da navegação no projeto	Execução de projeto de ponte considerando a navegação (P)	Permite a navegação fluvial
Existência de estruturas para captação de água	- Não observância da navegação no projeto	Execução de projeto de ponte considerando a navegação (P) Mudança do local da captação (C)	Permite a navegação fluvial

Fonte: O AUTOR

A seguir, serão apresentados os fluxogramas correspondentes às ações nos rios que apresentam subdivisões e precisam ser analisadas de forma a obter a técnica mais adequada possível para combater o problema encontrado no trecho do rio.







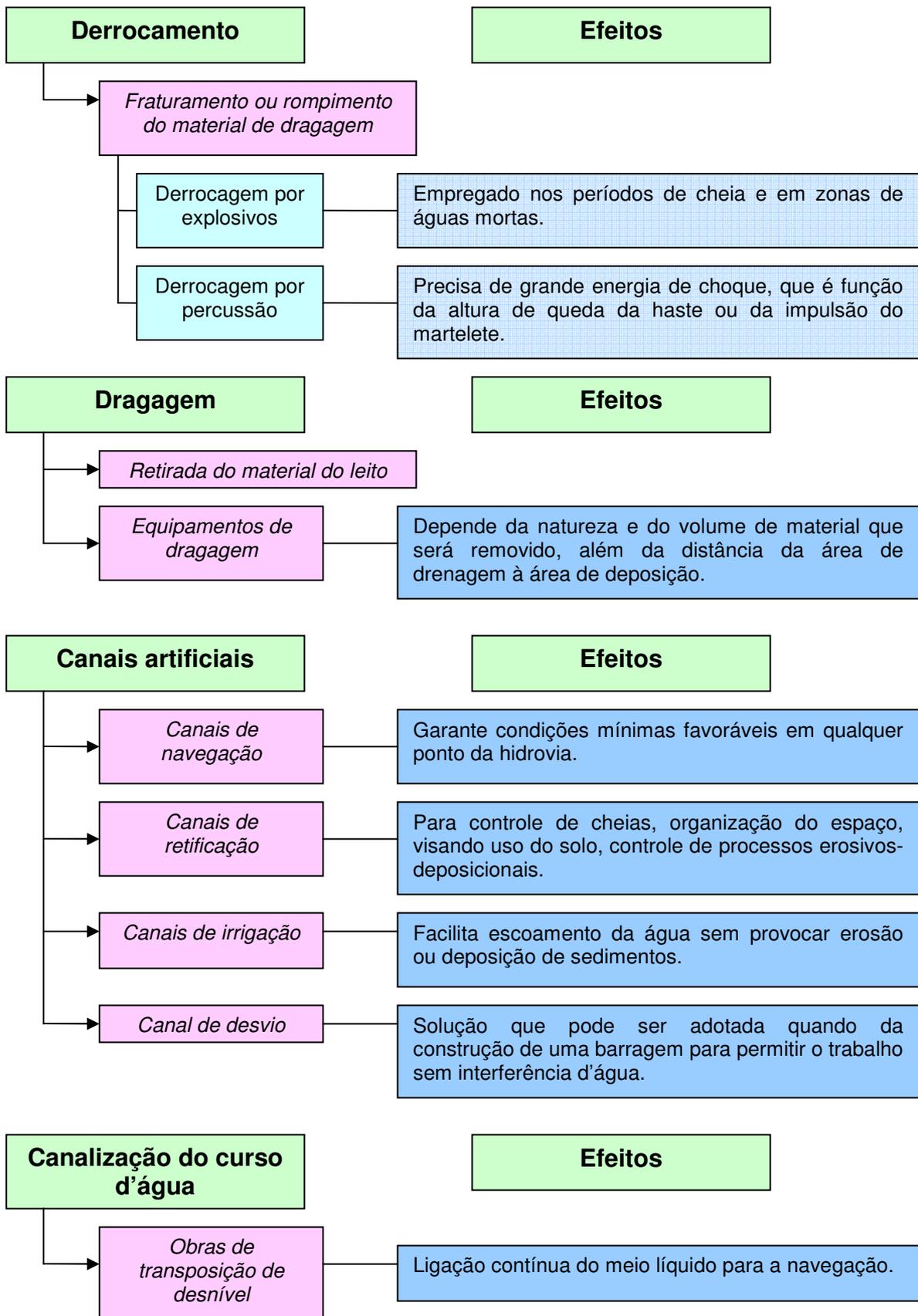


FIG 6.1 – Fluxograma das obras hidráulicas e seus efeitos no curso d'água

Fonte: O AUTOR

6.3 CONCLUSÕES PARCIAIS

De acordo com a tabela representativa e o fluxograma apresentados, conclui-se que a escolha da técnica ideal deve ser bastante cuidadosa, pois a identificação da obra hidráulica, por si só, não é suficiente para a garantia de sua eficiência no rio como um todo, portanto é necessário analisar também suas subdivisões até chegar efetivamente à técnica adequada dentro da obra hidráulica escolhida. Dessa forma, será possível a mitigação dos problemas gerados pelos parâmetros geomorfológicos e hidráulicos de maneira acertada.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1 CONCLUSÕES

As hidrovias brasileiras necessitam de intervenções, em virtude da maioria delas apresentarem trechos com obstáculos e outros fatores geomorfológicos que afetam sua navegabilidade. Para tanto, é necessário investir na busca do conhecimento das características dos rios a fim de aproveitar esse potencial hídrico que durante muito tempo foi e ainda está sendo mal utilizado.

A geomorfologia fluvial é a ciência que propicia os conhecimentos necessários no estudo das evoluções do solo e a sua interação com o curso d'água, permitindo não só escolher as obras de engenharia adequadas para o melhoramento da via fluvial, como também adotar medidas para mitigar os impactos negativos provocados pelas mesmas.

Como apresentado, a maioria das obras que melhoram e até permitem a navegabilidade dos rios, provocam impactos ambientais que devem ser cuidadosamente avaliados para adoção de medidas que venham a mitigar seus efeitos negativos no meio ambiente.

Como em qualquer atividade que envolva o uso dos recursos naturais, a implantação do transporte hidroviário também oferece riscos para o meio ambiente, em maior ou menor escala, em função do grau de alteração que é aplicado aos componentes ambientais nas distintas fases de sua implementação.

Porém, o transporte hidroviário, se planejado e utilizado de forma correta, ou seja, respeitando-se os limites e as vulnerabilidades ambientais através de obras e do desenvolvimento de tecnologias que visem o aumento da capacidade de

transporte de uma via navegável, adaptando as embarcações à mesma, constitui-se num modal que apresenta poucos riscos para o meio ambiente.

A implantação da navegação em bacias hidrográficas que apresentem condições favoráveis para tal, pode propiciar inclusive, a preservação ambiental das mesmas, devido, por exemplo, às atividades de controle da erosão do solo e das margens que devem ser desenvolvidas, para controle do assoreamento dos canais de navegação dos cursos d'água.

Na fase de operação de uma hidrovia, os riscos ambientais aumentam principalmente devido a fatores como: fiscalização deficiente do tráfego de embarcações, inexistência de ações e planos de emergências para atendimento aos acidentes que envolvam cargas perigosas e manutenção e sinalização das vias navegáveis inadequadas ou insuficientes.

Tais riscos não podem ser controlados e minimizados somente com a criação de dispositivos legais e normativos, mas também, com a capacitação técnica e humana dos organismos responsáveis pela fiscalização e controle da navegação e da poluição do meio ambiente, bem como pela busca de novas soluções e tecnologias aplicáveis às vias, veículos, terminais e controles.

Dentre os estudos de navegabilidade analisados, nota-se que não há padronização e nem especificação detalhada das obras hidráulicas a serem executadas, já com esta proposta de procedimento, se torna mais fácil essa identificação.

O procedimento proposto buscou atender à deficiência de padronização na escolha da técnica de melhoramento adequada para mitigação de problemas provenientes dos parâmetros geomorfológicos e hidráulicos que afetam negativamente a navegabilidade.

Tal proposta mostrou-se interessante para se conhecer não só a melhor obra hidráulica para combater determinado problema, mas também o método mais adequado que está subdividido nesta obra, com suas devidas finalidades.

7.2 RECOMENDAÇÕES

As recomendações têm como base a aplicação do procedimento proposto em um rio brasileiro, onde, obtendo-se os dados reais deste rio, pode-se estimar o melhor tipo de obra a ser realizada para determinado problema encontrado.

Recomenda-se também a confecção de um software de apoio à tomada de decisão, a fim de encontrar a melhor solução para o problema no trecho de rio de maneira mais dinâmica.

Ainda, se fazem necessários estudos visando à intermodalidade, ou seja, utilizando a hidrovía integrada aos outros modais, para uma visão sistêmica nos estudos de navegabilidade, com o objetivo de justificar sua viabilidade.

Atualmente, a questão ambiental é o fator que mais impede a realização de determinadas obras hidráulicas, já que durante muito tempo, não havia preocupação com este enfoque, portanto recomenda-se que haja uma análise detalhada de impactos ambientais em hidrovias, de forma a se garantir a realização das obras hidráulicas com menores impactos negativos possíveis.

Neste trabalho, optou-se por discutir os tipos de obras hidráulicas, mas não levou-se em conta a viabilidade econômica das mesmas, já que a melhor solução pode não ser a mais barata. Portanto, para trabalhos futuros, recomenda-se um estudo de viabilidade técnico-econômica das hidrovias, com análise de outras possíveis alternativas, com a utilização, em conjunto, de outros modais.

8 BIBLIOGRAFIA

AHIMOC, Administração das Hidrovias da Amazônia Ocidental. **Estudo das Condições de Navegabilidade do Rio Branco entre a cidade de Caracarái (RR) e sua foz no Rio Negro**. Síntese do Relatório Final, 1996.

AHIMOR, Administração das Hidrovias da Amazônia Oriental. **Navegação no Rio Capim**. 17º Termo Aditivo ao Convênio AHIMOR-UFPA/FADESP, 1996.

AHIMOR, Administração das Hidrovias da Amazônia Oriental. **Condições de Navegabilidade e Obras Necessárias à Melhoria do Rio Tocantins no Trecho Tucuruí-Marabá**. Projeto: Navegabilidade Araguaia-Tocantins nº 91, 1984.

AHIMOR, Administração das Hidrovias da Amazônia Oriental. **Navegação no Rio Tocantins – Relatório Final**. 19º Termo Aditivo ao Convênio AHIMOR-UFPA/FADESP, 1997.

AHIMOR, **Administração Hidroviária da Amazônia Oriental**. *Página da Internet*, <http://www.ahimor.gov.br>.

AHITAR, **Administração Hidroviária do Tocantins e Araguaia**. *Página da Internet*, <http://www.ahitar.gov.br>.

ALFREDINI, P. **Obras e Gestão de Portos e Costas: A Técnica aliada ao enfoque Logístico e Ambiental**. São Paulo: Edgard Blücher, pg. 227-280, 2005.

ALMEIDA, C.; BRIGHETTI, G. **Navegação Interior e Portos Marítimos**. Apostila. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Fascículo I. 143p, 2002.

ALMEIDA, S. R. **Subsídios para o Gerenciamento Ambiental de Projetos de Dragagem em Portos**. Rio de Janeiro: Tese (Mestrado) – Instituto Militar de Engenharia. Departamento de Engenharia de Transportes, 2004.

ALVES, F. E. **Eco-engenharia: pneus ambientalmente corretos**. Revista Saneamento Ambiental. São Paulo, n. 45, p. 11, 1997.

ANA – Agência Nacional de Águas, **A Evolução da Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília: ANA, 2002.

ANA – Agência Nacional de Águas, **A Navegação Interior e sua Interface com o Setor de Recursos Hídricos**. Brasília: ANA, 2005.

ANTAQ, **Agência Nacional de Transportes Aquaviários**. *Página da Internet*, <http://www.antaq.gov.br>.

BAPTISTA, M. B.; COELHO, M. M. L. P. **Fundamentos de Engenharia Hidráulica**. Belo Horizonte: Editora UFMG – Escola de Engenharia da UFMG, 440p., 2002.

BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do Meio Físico de Bacias Hidrográficas: Modelo e Aplicação**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 111 p., 1994.

BERT VISSER'S Directory of Dredgers. **Picture Galleries**. *Página da Internet*, <http://www.dredgers.nl>

BIGARELLA, J. J., SUGUIO, K. e BECHER, R. D. **Ambiente Fluvial: Ambientes de Sedimentação, sua Interpretação e Importância**. Paraná: Editora da Universidade Federal do Paraná. Associação de Defesa e Educação Ambiental, 183 p, 1979.

BRIGHETTI, G. **Obras Fluviais**. Notas de aula: Curso de Pós-graduação na área de concentração – Engenharia Hidráulica. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000.

CARDOSO, A. H. **Hidráulica Fluvial**. Lisboa: Ed. Fundação Calouste Gulbenkian, 314 p., 1998.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. Rio de Janeiro: CPRM, 372 p., 1994.

CHOW, V. T. **Open-Channel Hydraulics**. Singapore: Ed. McGraw-Hill International Editions, 680 p., 1973.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1981.

CIRILO, J. A.; COELHO, M. M. L. P.; BAPTISTA, M. B. **Hidráulica aplicada**. Porto Alegre: ABRH, 619p, 2001.

CONSTRUSERV - SISTEMAS DE CONTROLE DE EROSÃO E COM. LTDA. **Bolsacreto**. São Paulo: Manual Técnico de Execução, 37p., 2001.

_____ - SISTEMAS DE CONTROLE DE EROSÃO E COM. LTDA. **Colchacreto**. São Paulo: Manual Técnico de Execução, 37p., 2001.

COSTA, F. J. L. **Estratégias de Gerenciamento de Recursos Hídricos no Brasil: Áreas de Cooperação com o Banco Mundial**. Brasília: Banco Mundial, 204 p., 2003.

CUNHA, S. B., GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos**. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 1994.

DHN, **Diretoria de Hidrografia e Navegação – Marinha do Brasil**. *Página da Internet*, <http://www.dhn.mar.mil.br>.

DURY, G. H. **River and River Terraces**. Londres: Mac Millan & Co, 1970.

EASTERBROOK, D. J. **Principles of Geomorphology**. Washington: Editora McGraw-Hill, 1969.

FARIA, A. P., MARQUES, J. S. **O Desaparecimento de Pequenos Rios Brasileiros**. *Ciência Hoje*, vol. 25, nº. 146, jan/fev, 1999.

FENDRICH, R. et al. **Drenagem e Controle da Erosão Urbana**. 4 ed. Curitiba: Editora Universitária Champagnat, 485p., 1997.

FILIPPO, S. **Subsídios para a Gestão Ambiental do Transporte Hidroviário Interior no Brasil**. Rio de Janeiro: Tese (Mestrado) – Instituto Militar de Engenharia. Departamento de Engenharia de Transportes, 1999.

FOGLIATTI, M. C., FILIPPO, S., GOUDARD, B. **Avaliação de Impactos Ambientais: Aplicação aos Sistemas de Transporte**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.

FRANCO, J. O. **A Dinâmica dos Rios**. Portugal: Universidade do Minho, 1999.

GONÇALVES, C. W. P. “**Navegar é Preciso: Viver Não é Preciso**”: Estudo sobre o Projeto de Perenização da Hidrovia dos Rios das Mortes, Araguaia e Tocantins. Terra Livre, São Paulo: n. 15, p. 167-213, 2000.

GUERRA, A. J. **A Contribuição da Geomorfologia no Estudo dos Recursos Hídricos**. Salvador: BAHIA ANÁLISE & DADOS, v.13, p. 385-389, 2003.

GUERRA, A. J. T., CUNHA, S. B. **Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 1994.

HACHICH, W. et al. **Fundações – Teoria e Prática**. São Paulo: Editora Pini, 751p., 1998.

JULIEN, P. Y. **River Mechanics**. United Kingdom: CAMBRIDGE University Press, p. 286-333, 2002.

KGS, **Kansas River Corridor – Fluvial Hydraulics**. *Página da Internet*, http://www.kgs.ukans.edu/Publications/KR/kr_hydro.html

LIMA, J. E. F. W., SANTOS, P. M. C., CARVALHO, N. O., SILVA, E. M. **Diagnóstico do Fluxo de Sedimentos em Suspensão na Bacia Araguaia-Tocantins**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, Brasília, DF: ANEEL/ANA, 116 p., 2003.

LINSLEY, R. K., FRANZINI, J. B. **Engenharia de Recursos Hídricos**. Navegação Fluvial, Cap. 16, , São Paulo: Mc Graw-Hill do Brasil, p. 561-585, 1978.

MACCAFERRI DO BRASIL LTDA. **Reforço de Solos – Geogrelhas Soldadas**. São Paulo: Manual Técnico de Execução, 2001. 11p.

_____. **Revestimentos flexíveis em colchões Reno e gabiões de canais e cursos de água canalizados**. São Paulo: Manual Técnico de Execução, 31p., 2001.

_____. **Proteção contra erosões superficiais & Revestimentos de margens para fluxos de baixa velocidade**. São Paulo: Manual Técnico de Execução, 2001.

_____. **Sistema Terramesh**. São Paulo: Manual Técnico de Execução, 27p., 2001.

MENEZES, E. F. *Página da Internet*, <http://www.frigoletto.com.br>

MIGUENS, A. P. **Navegação: A Ciência e A Arte, Volume III – Navegação Eletrônica e em Condições Especiais**. Manual de Navegação, DHN, 1996.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, DNPVN. **Hidroviás e Navegação do Brasil**, 1998.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES – GOVERNO FEDERAL. *Página da Internet*, <http://www.transportes.gov.br>.

PADOVEZI, C. D. **Conceito de Embarcações adaptadas à Via aplicado à Navegação Fluvial no Brasil**. São Paulo: Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, 215 p., 2003.

PETRUCCI, E. G. R. **Materiais de construção**. 3. ed. Porto Alegre: Editora Globo, 435p., 1978.

SANTANA, W. A., TACHIBANA, T. **Caracterização dos Elementos de um Projeto Hidroviário: Vantagens, Aspectos e Impactos Ambientais para a Proposição de Metodologias Técnico-Ambientais para o Desenvolvimento do Transporte Comercial de Cargas nas Hidroviás Brasileiras**. ENGEVISTA, v. 6, n. 3, p. 75-85, 2004.

RICARDO, H. S.; CATALANI, G. **Manual Prático de Escavação (Terraplanagem e Escavação em Rocha)**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 488p., 1977.

SCHUMM, S. A. **The Fluvial System**. Wiley and Sons-Interscience, Department of Earth Resources, Colorado State University, 338 p., 1977.

SILVA, P. J. **Estrutura para Identificação e Avaliação de Impactos Ambientais em Obras Hidroviárias**. São Paulo: Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Departamento de Engenharia Hidráulica, 511 p., 2004.

SILVA, R. C. V., MASCARENHAS, F. C. B., MIGUEZ, M. G. **Hidráulica Fluvial**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 304 p., 2003.

SOBENA – 2º SEMINÁRIO NACIONAL DE TRANSPORTE HIDROVIÁRIO INTERIOR **Hidrovia Interior**. Jahu/São Paulo: Faculdade de Tecnologia de Jahu – Centro Paula Souza. CD-ROM, 2001.

SUGUIO, K. **Introdução à Sedimentologia**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 317 p., 1973.

WILSON-JR, G. **Movimento de Sedimentos em Rios Brasileiros Segundo Einstein: Um Ensaio Fotográfico**. Artigo.

TEIXEIRA, M. D. M., FERRO, M. A. C., AMORIM, J. C. C. **Influência dos Parâmetros Geomorfológicos e Hidráulicos na Navegabilidade Fluvial**. Belém: Artigo apresentado no 4º Seminário de Transporte e Desenvolvimento Hidroviário Interior – “SOBENA Hidroviário”, 2005.

TEIXEIRA, M. D. M., SINAY, M. C. F., AMORIM, J. C. C. **Características da Geomorfologia Fluvial e a Navegabilidade dos Cursos d’água**. Rio de Janeiro: Artigo apresentado no II Congresso de Pesquisa e Ensino em Engenharia de Transportes do Estado do Rio de Janeiro - “III Rio de Transportes”, 2005.

THORN, R. B. **River Engineering and Water Conservation Works**. London: Ed. Butterworths, 520 p., 1966.

TORRES, R. J. **Uma Análise Preliminar dos Processos de dragagem do Porto de Rio Grande, RS**. Rio Grande: Tese (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande, Departamento de Engenharia Oceânica, 185 p., 2000.

U.S. ARMY CORP OF ENGINEERS. **Beneficial Uses of Dredged Material**. Department of the Army. Engineer Manual 1110-2-5026, Washington, 285 p., 1987.

U.S. ARMY CORP OF ENGINEERS. **Confined Disposal of Dredged Material**. Department of the Army. Engineer Manual 1110-2-5027. Washington, 243 p., 1987.

U.S. ARMY CORP OF ENGINEERS. **Dredging and Dredged Material Disposal.** Department of the Army. Engineer Manual 1110-2-5025. Washington, 94 p., 1983.

U.S. ARMY CORP OF ENGINEERS. **Environmental Effects of Dredging – Technical Notes.** Waterways Experiment Station. EEDP 09-01. Washington, 7 p., 1986.

U.S. ARMY CORP OF ENGINEERS. **Innovations in Dredging Technology: Equipments, Operations and Management.** Engineer Research and Development Center. ERDC TR-DOER-5. Washington, 136 p., 2000.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)