

ALEX NUNES FERREIRA

**ESTUDO DO EFEITO DE ACIDENTES NA HIDROVIA
TIETÊ-PARANÁ: ASPECTOS PREVENTIVOS**

Dissertação de Mestrado apresentada à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do título de
Mestre em Engenharia

São Paulo

2000

ALEX NUNES FERREIRA

**ESTUDO DE ACIDENTES NA HIDROVIA TIETÊ-
PARANÁ: ASPECTOS PREVENTIVOS**

Dissertação de Mestrado apresentada à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do título de
Mestre em Engenharia

Área de Concentração:
Engenharia Naval e Oceânica

Orientador:
Prof. Dr. Marco Antonio Brinati

2000

Ferreira, Alex Nunes
Estudo de Acidentes na Hidrovia Tietê-Paraná:
Aspectos Preventivos – São Paulo, 2000.
168p.

Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo. Departamento de
Engenharia Naval e Oceânica.

1. Acidentes em Hidrovias 2. Hidrovia Tietê-
Paraná I. Universidade de São Paulo. Departamento
de Engenharia Naval e Oceânica. II. t

“O que a lagarta chama de fim-do-
mundo, o mestre chama de vida”

Richard Bach

A minha mãe, pela demonstração de afeto e incentivo, sobretudo nos momentos de dificuldades.

A meu pai, cuja simplicidade e bondade me ensinaram a respeitar o meu próximo.

Aos meus irmãos, André e Alessandro, pela convivência ao longo de todos esses anos.

À amiga e companheira de muitos anos, Sandra Maria da Silva, que de alguma forma faz parte deste.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Marco Antonio Brinati, meu orientador, pela paciência, compreensão e ensino, tanto no campo acadêmico quanto no das relações humanas, neste tempo de convívio no Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. Convívio este, marcado por uma profunda admiração e respeito pelo professor que conseguiu transmitir não só os ensinamentos referentes ao transporte, mas também, sobretudo transmitir aqueles ligados à boa relação humana.

A FAPESP (Fundo de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), pelo custeio desta pesquisa, através da concessão da bolsa de pesquisa.

Aos amigos e colegas da Pós-graduação do Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, André Bergstein, Alexandre, Celso, Carla, Claudiomar, Delmo, Dewar, Euclides, Eduardo Tsuzuki, Giu, Jairo, Líria, Luis, Miguel, Paulo, Roberto, Vladimir e Walter.

Aos Professores Doutores Rui Carlos Botter e Sérgio Rocha dos Santos, pelo incentivo e motivação na escolha do tema deste trabalho.

Ao pessoal da secretaria de Pós-graduação do Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, Adevanir, Cesar, Damaris, Denison, Neuza e Sandra, pela atenção e favores em todo este período de mestrado.

À Marinha do Brasil, pelo consentimento do acesso aos inquéritos de acidentes na Capitania Fluvial de Barra Bonita.

À Ahrana (Administração da Hidrovia do Paraná), em especial, ao Sr. Nereu e os amigos e Tecnólogos Luis Otavio, Orion e Humberto.

Ao amigo e Tecnólogo Hélcio Marcelo de Russi, pela ajuda na fase de identificação dos pontos críticos à navegação.

Ao Prof. Dr. Mardel, pelo auxílio prestado nos assuntos referentes à manobrabilidade de embarcações.

E finalmente, ao Prof. Dr. Kazuo Nishimoto e aos Engenheiros do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), Carlos Darher Padovezi, Kazuo Hirata, pela ajuda na revisão deste trabalho.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA
AGRADECIMENTOS
SUMÁRIO
LISTA DE FIGURAS
LISTA DE TABELAS
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS
RESUMO
“ABSTRACT”

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 – ACIDENTES EM HIDROVIAS | 1 |
| 1.2 - CAUSAS DE ACIDENTES EM HIDROVIAS..... | 3 |
| 1.3 - CONSEQÜÊNCIAS DE ACIDENTES EM UMA HIDROVIA..... | 5 |
| 1.4 - A HIDROVIA TIETÊ-PARANÁ..... | 6 |
| 1.5 - APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA | 8 |
| 1.6 – OBJETIVOS..... | 10 |
| 1.7 – DELINEAMENTO DO TRABALHO..... | 11 |
| CAPÍTULO 2 – ACIDENTES EM VIAS NAVEGÁVEIS - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 13 |
| 2.1 – ESTUDOS ESTATÍSTICOS..... | 14 |
| 2.2 – DETERMINAÇÃO DE VÃOS PARA NAVEGAÇÃO | 25 |
| 2.3 – COMENTÁRIOS SOBRE A BIBLIOGRAFIA CONSULTADA..... | 47 |
| CAPÍTULO 3 – IDENTIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS DA VIA | 49 |
| 3.1 – IDENTIFICAÇÃO DAS EMBARCAÇÕES DA HIDROVIA TIETÊ-PARANÁ..... | 49 |
| 3.1.2 – REGULAMENTAÇÃO DE EMBARCAÇÕES NA HIDROVIA TIETÊ-PARANÁ..... | 55 |
| 3.2 – IDENTIFICAÇÃO DOS PONTOS CRÍTICOS À NAVEGAÇÃO | 60 |
| 3.2.1– PONTES | 61 |
| 3.2.1.1– PONTES SOBRE O RIO TIETÊ..... | 62 |
| 3.2.1.2 – PONTES SOBRE O RIO SÃO JOSÉ DOS DOURADOS..... | 63 |
| 3.2.1.3 – PONTES SOBRE O RIO PARANÁ..... | 63 |

| | |
|---|------------|
| 3.2.1.4 – PONTES SOBRE O RIO PARANAÍBA..... | 64 |
| 3.2.2 – ECLUSAS | 64 |
| 3.2.2.1 – ECLUSAS NO RIO TIETÊ | 67 |
| 3.2.2.2 – ECLUSAS NO RIO PARANÁ..... | 68 |
| 3.2.3 - RAIOS DE CURVATURA..... | 68 |
| 3.2.3.1 – RAIOS DE CURVATURA DO RIO TIETÊ | 69 |
| 3.2.3.2 – RAIOS DE CURVATURA DO RIO PARANÁ | 70 |
| 3.2.3.3 – RAIOS DE CURVATURA DO RIO PARANAÍBA | 71 |
| 3.2.4 - CANAIS ARTIFICIAIS | 72 |
| 3.2.5 - TRAVESSIAS DE BALSAS | 72 |
| 3.2.6 - OBSTÁCULOS SUBFLUVIAIS | 73 |
| 3.3 - IDENTIFICAÇÃO DO PERFIL DA MÃO-DE-OBRA DA HIDROVIA..... | 74 |
| 3.3.1 – REGULAMENTAÇÃO DE AQUAVIÁRIOS NA HIDROVIA TIETÊ-PARANÁ | 75 |
| 3.4 – BALIZAMENTO NA HIDROVIA TIETÊ-PARANÁ..... | 78 |
| 3.4.1– BALIZAMENTO NO RIO PARANÁ | 79 |
| 3.4.2– BALIZAMENTO NO RIO TIETÊ..... | 85 |
| CAPÍTULO 4 - ESTUDO ESTATÍSTICO SOBRE ACIDENTES NA HIDROVIA TIETÊ- PARANÁ..... | 88 |
| 4.1 – COLETA DE DADOS E CLASSIFICAÇÃO DOS ACIDENTES | 88 |
| 4.2 – ANÁLISE DOS DADOS:..... | 94 |
| 4.3 – CONCLUSÕES DO CAPÍTULO | 102 |
| CAPÍTULO 5 – METODOLOGIA PARA O DIMENSIONAMENTO DOS VÃOS ENTRE PILARES DE PONTES NA HIDROVIA TIETÊ-PARANÁ..... | 104 |
| 5.1 - METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DE VÃOS PARA À NAVEGAÇÃO NA HIDROVIA TIETÊ-PARANÁ..... | 105 |
| 5.2 – AÇÕES ATUALMENTE EM IMPLANTAÇÃO VISANDO A MINIMIZAÇÃO DOS RISCOS À NAVEGAÇÃO NA HIDROVIA TIETÊ-PARANÁ..... | 107 |
| 5.3 – MODELOS DE SIMULAÇÃO PARA A NAVEGAÇÃO | 110 |
| 5.4 – A APLICABILIDADE AO CASO DA HIDROVIA TIETÊ-PARANÁ..... | 118 |
| CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES..... | 122 |
| 6.1 – CONCLUSÕES | 122 |

| | |
|---|------------|
| 6.2 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS | 124 |
| ANEXO A - 1 | 126 |
| ANEXO A – 2 | 133 |
| ANEXO A - 3 | 134 |
| <i>Quadro Geral de Certificações - Seção de Convés</i> | <i>134</i> |
| <i>Quadro Geral de Certificações - Seção de Máquinas.....</i> | <i>136</i> |
| <i>Quadro Geral de Certificações - Seção de Câmara</i> | <i>138</i> |
| <i>Quadro Geral de Certificação - Seção de Saúde.....</i> | <i>139</i> |
| ANEXO B - 1 | 140 |
| ILUSTRAÇÕES..... | 140 |
| <i>Pontes do Rio Tietê.....</i> | <i>140</i> |
| <i>Pontes do Rio São José dos Dourados.....</i> | <i>144</i> |
| <i>Pontes do Rio Paraná</i> | <i>147</i> |
| <i>Pontes do Rio Paranaíba.....</i> | <i>149</i> |
| <i>Eclusas do Rio Tietê.....</i> | <i>151</i> |
| <i>Eclusas do Rio Paraná.....</i> | <i>154</i> |
| <i>Raios de Curvatura do Rio Tietê.....</i> | <i>156</i> |
| <i>Raios de Curvatura do Rio Paraná</i> | <i>160</i> |
| <i>Raios de Curvatura do Rio Paranaíba.....</i> | <i>161</i> |
| <i>Canais Artificiais da Hidrovia Tietê-Paraná.....</i> | <i>162</i> |
| <i>Gasoduto Brasil - Bolívia</i> | <i>163</i> |
| ANEXO C | 164 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 166 |
| BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR..... | 168 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1.1 – Tronco Passando Próximo ao Propulsor de Embarcação no Rio Amazonas | 2 |
| Figura 1.2 – Mapa da Hidrovia Tietê-Paraná..... | 8 |
| Figura 1.3 – Evolução da Movimentação de Carga a Longas Distâncias na Hidrovia Tietê-Paraná..... | 9 |
| Figura 2.1 – Número de Colisões de Embarcações Contra Pontes – Todas Colisões..... | 21 |
| Figura 2.2 – Número de Colisões de Embarcações Contra Pontes – Colisões Sérias (Prejuízos Acima de US \$ 100.000,00)..... | 21 |
| Figura 2.3 – Número Médio de Colisões de Embarcações Contra Pontes - Colisões Sérias (Prejuízos Acima de US \$ 100.000,00)..... | 22 |
| Figura 2.4 - Número de Colisões de Embarcações Contra Pontes - Colisões Muito Sérias (Prejuízos Acima de US \$ 1.000.000,00)..... | 22 |
| Figura 2.5 - Número Médio de Colisões de Embarcações Contra Pontes - Colisões Muito Sérias (Prejuízos Acima de US \$ 1.000.000,00)..... | 23 |
| Figura 2.6 - Número de Navios Entrando na Holanda e Suas GRT Entre 1960 a 1996..... | 24 |
| Figura 2.7 - "Teoria das Faixas"..... | 26 |
| Figura 2.8 - Embarcações e Respectivas "bumper areas" e Domínio Numa Hidrovia..... | 33 |
| Figura 2.9 - Parâmetros das Regras Empíricas Para Determinação do Vão Mínimo Necessário Para Uma Ponte..... | 36 |
| Figura 2.10 - Número Anual Esperado de Possíveis Colisões em Função dos | |

| | |
|---|----|
| Vãos de Navegação Propostos Para a Ponte Great Belt East..... | 38 |
| Figura 2.11 - Elementos de Largura no Canal..... | 41 |
| Figura 3.1 - Crescimento do Número de Embarcações Comerciais na Hidrovia Tietê-Paraná..... | 51 |
| Figura 3.2 - Distribuição da Frota de Embarcações da Hidrovia Tietê-Paraná por Tipo..... | 51 |
| Figura 3.3 - Movimentação de Carga na Hidrovia Tietê-Paraná no Ano de 1998 por Tipo de Carga..... | 52 |
| Figura 3.4 - Evolução da Frota de Chatas na Hidrovia Tietê-Paraná..... | 54 |
| Figura 3.5 - Evolução da Frota de Embarcações na Hidrovia Tietê-Paraná por Tipo de Embarcação..... | 54 |
| Figura 3.6 - Raio de Curvatura Atual e Proposto no Rio Paranaíba..... | 71 |
| Figura 3.7– Bóia de Boreste Para Balizamento em Reservatório no Rio Paraná..... | 80 |
| Figura 3.8 – Bóia de Bombordo Para Balizamento em Reservatório no Rio Paraná..... | 80 |
| Figura 3.9 – Placa de Margem..... | 81 |
| Figura 3.10 – Bóia Perigo Isolado..... | 82 |
| Figura 3.11 – Faroete de Bombordo Localizado no Reservatório de Ilha Solteira..... | 84 |
| Figura 3.12 – Detalhe do Vidro Refletor do Faroete de Bombordo..... | 84 |
| Figura 3.13 – Bóia Cega de Boreste Para Balizamento no Rio Tietê..... | 86 |
| Figura 3.14 – Bóia Cega de Bombordo Para Balizamento no Rio Tietê..... | 86 |
| Figura 4.1 - Distribuição de Acidentes ao Longo dos Anos..... | 94 |
| Figura 4.2 - Distribuição de Acidentes por Tipo de Embarcação..... | 96 |

| | |
|---|-----|
| Figura 4.3 - Distribuição do Tipo de Acidentes..... | 96 |
| Figura 4.4 - Distribuição dos Acidentes Tipo Colisão..... | 97 |
| Figura 4.5 - Número de Acidentes Envolvendo Vítimas..... | 97 |
| Figura 4.6 - Número de Acidentes Envolvendo Vítimas Fatais..... | 98 |
| Figura 4.7 - Número de Acidentes Envolvendo Feridos Graves..... | 99 |
| Figura 4.8 - Distribuição de Acidentes ao Longo dos Meses..... | 99 |
| Figura 4.9 – Distribuição dos Acidentes Tipo Colisão ao Longo dos Meses..... | 100 |
| Figura 4.10 - Distribuição dos Acidentes Tipo Encalhe ao Longo dos Meses..... | 100 |
| Figura 4.11 - Distribuição de Causas de Acidentes..... | 101 |
| Figura 5.1 - Comparação Entre Visão Real e Visual Gerado no Simulador..... | 114 |
| Figura 5.2 - Comparação entre Protótipo e Simulação..... | 117 |
| Figura B.1 - Ponte Andradina / Pereira Barreto..... | 140 |
| Figura B.2 - Ponte SP-463 (Araçatuba / Auriflama)..... | 140 |
| Figura B.3 - Ponte SP-425 (Penápolis / São José do Rio Preto)..... | 141 |
| Figura B.4 - Ponte SP-333 (Cafelândia / Borborema)..... | 141 |
| Figura B.5 - Ponte BR-153 (Promissão / Ubarana)..... | 141 |
| Figura B.6 - Ponte SP-225 (Pederneiras / Jaú)..... | 142 |
| Figura B.7 - Ponte SP-191 (São Manuel / Santa Maria da Serra)..... | 142 |
| Figura B.8 - Ponte SP-461 (Birigüi / Buritama)..... | 142 |
| Figura B.9 - Ponte SP-147 (Botucatu / Piracicaba)..... | 143 |
| Figura B.10 - Ponte SP-595 (Ilha Solteira / Andradina)..... | 143 |
| Figura B.11 - Ponte Igarapé / Barra Bonita e Ponte SP-255 (São Manuel / Jaú)..... | 144 |
| Figura B.12 - Ponte SP-595 (Ilha Solteira / Santa Fé do Sul)..... | 144 |
| Figura B.13 - Ponte SP-310 (Pereira Barreto / Auriflama)..... | 145 |
| Figura B.14 – Pontes dos Rios Tietê e São José dos Dourados..... | 146 |

| | |
|---|-----|
| Figura B.15 - Ponte BR-272(PR) / MS-141(MS) (Guaíra / Mundo Novo)..... | 147 |
| Figura B.16 - Ponte BR-163 / PR-180 (Itaquiraí / Ilha Bandeirantes)..... | 147 |
| Figura B.17 - Ponte SP-597/MS-316 (Santa Clara D'Oeste / Aparecida do Taboado)..... | 147 |
| Figura B.18 - Ponte SP-270(SP) / BR-267(MS) (Presidente Epitácio / Bataguassu)..... | 148 |
| Figura B.19 - Ponte Ferroviária (Três Lagoas / Castilho)..... | 148 |
| Figura B.20 - Ponte Br-497/Ms-240 (Paranaíba/Carneirinho)..... | 149 |
| Figura B.21 - Ponte BR-365/BR-364 (Santa Vitória/São Simão)..... | 149 |
| Figura B.22 – Pontes dos Rios Paraná e Paranaíba..... | 150 |
| Figura B.23 - Eclusa de Barra Bonita..... | 151 |
| Figura B.24 - Eclusa de Bariri..... | 151 |
| Figura B.25 - Eclusa de Ibitinga..... | 151 |
| Figura B.26 - Eclusa de Promissão..... | 152 |
| Figura B.27 - Eclusas de Nova Avanhandava..... | 152 |
| Figura B.28 - Eclusas de Três Irmãos..... | 152 |
| Figura B.29 – Eclusas do Rio Tietê..... | 153 |
| Figura B.30 - Eclusa de Jupiaá..... | 154 |
| Figura B.31 - Eclusa de Primavera..... | 154 |
| Figura B.32 – Eclusas do Rio Paraná..... | 155 |
| Figura B.33 – Raios de Curvatura dos Pontos Kilométricos 143-145, 147-149 e 158-159..... | 156 |
| Figura B.34 – Raios de Curvatura dos Pontos Kilométricos 161-163, 331-333 e 338-340..... | 156 |
| Figura B.35 – Raios de Curvatura dos Pontos Kilométricos 352-354, | |

| | |
|---|-----|
| 354-357 e 381-385..... | 156 |
| Figura B.36 – Raios de Curvatura dos Pontos Kilométricos 387-389, 391-392 e 394-396..... | 157 |
| Figura B.37 – Raios de Curvatura dos Pontos Kilométricos 406,5-408, 414-416 e 424-425..... | 157 |
| Figura B.38 – Raios de Curvatura dos Pontos Kilométricos 488-490, 504-505 e 515-516..... | 157 |
| Figura B.39 – Raios de Curvatura dos Pontos Kilométricos 516-517, 520-521 e 523-525..... | 158 |
| Figura B.40 – Raios de Curvatura dos Pontos Kilométricos 527-528, 531-532 e 532,5-533..... | 158 |
| Figura B.41 – Raios de Curvatura dos Pontos Kilométricos 538-540, 543-545 e 547-549..... | 158 |
| Figura B.42 – Raios de Curvatura dos Pontos Kilométricos 553-555, 556,5-558 e 558-559..... | 159 |
| Figura B. 43 – Raios de Curvatura dos Pontos Kilométricos 559-560, 562-563 e 564-565..... | 159 |
| Figura B.44 – Raios de Curvatura dos Pontos Kilométricos 566-567 e 569-570..... | 159 |
| Figura B.45 – Raios de Curvatura dos Pontos Kilométricos 2257-2260, 2292-2294 e 2490-2494..... | 160 |
| Figura B.46 – Raios de Curvatura dos Pontos Kilométricos 2501-2505 e 2566-2568..... | 160 |
| Figura B.47 – Raios de Curvatura dos Pontos Kilométricos 74-80, 88-95 e 121-123..... | 161 |
| Figura B.48 – Raios de Curvatura dos Pontos Kilométricos 139-141 e 142-144..... | 161 |

| | |
|--|-----|
| Figura B.49 – Canal de Pereira Barreto..... | 162 |
| Figura B.50 – Canal de Bariri..... | 163 |
| Figura B.51 – Gasoduto Brasil-Bolívia..... | 163 |
| Figura C.1 – Desenho das Bóias Outrora e Atualmente Utilizadas no Balizamento do Rio Tietê..... | 164 |
| Figura C.2 – Desenho da Bóia Cega Utilizada no Balizamento do Rio Paraná..... | 165 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 2.1 – Acidentes Registrados no Estado da Califórnia por Ano..... | 17 |
| Tabela 2.2 – Causas e Tipos de Acidentes por Tipo de Embarcação..... | 18 |
| Tabela 2.3 – Informações Sobre Colisões de Embarcações Contra Pontes..... | 20 |
| Tabela 2.4 – Classificações das Hidrovias Holandesas em Função das Maiores Embarcações que Nelas Podem Trafegar..... | 25 |
| Tabela 2.5 – Volume de Tráfego e Número Esperado de Colisões Para Pontes dos Estados Unidos e Canadá..... | 39 |
| Tabela 2.6 – Parâmetros Relacionados no Projeto de Concepção..... | 41 |
| Tabela 2.7 – Pista de Manobrabilidade Básica..... | 42 |
| Tabela 2.8 – Larguras Adicionais para Seção Reta do Canal..... | 43 |
| Tabela 2.9 – Classificação de Cargas Quanto à Periculosidade..... | 45 |
| Tabela 2.10 – Distância de Passagem Entre Embarcações Para Tráfego nos Dois Sentidos da Via..... | 45 |
| Tabela 2.11 – Classificação da Densidade de Tráfego na Via..... | 46 |
| Tabela 2.12 – Distâncias Adicionais Devido aos Bancos Marginais..... | 46 |
| Tabela 3.1 – Distância Percorrida por Tipo de Carga na Hidrovia Tietê-Paraná (1998)..... | 53 |
| Tabela 3.2 – Pontes Rodoviárias Sobre o Rio Tietê com Dois Vãos Para a Navegação..... | 62 |
| Tabela 3.3 – Pontes Rodoviárias e Ferroviária Sobre o Rio Tietê Com Um Único Vão Para a Navegação..... | 62 |
| Tabela 3.4 – Pontes Rodoviárias Sobre o Rio São José dos Dourados | |

| | |
|---|----|
| Com Um Único Vão Para a Navegação..... | 63 |
| Tabela 3.5 – Pontes Rodoviárias e Rodo-ferroviária Sobre o Rio Parana | |
| Com Dois Vãos Para a Navegação..... | 63 |
| Tabela 3.6 – Pontes Rodoviária e Ferroviária Sobre o Rio Paraná Com | |
| Dois Vãos Para a Navegação..... | 64 |
| Tabela 3.7 – Pontes Rodoviárias do Rio Paranaíba com Um Único Vão | |
| Para a Navegação..... | 64 |
| Tabela 3.8 – Eclusas no Rio Tietê..... | 67 |
| Tabela 3.9 – Eclusas no Rio Paraná..... | 68 |
| Tabela 3.10 – Raios de Curvatura do Rio Tietê..... | 69 |
| Tabela 3.11 – Raios de Curvatura do Rio Paraná..... | 70 |
| Tabela 3.12 – Raios de Curvatura do Rio Paranaíba..... | 71 |
| Tabela 3.13 – Canais Artificiais da Hidrovia Tietê-Paraná..... | 72 |
| Tabela 3.14 – Travessias de Balsas da Hidrovia Tietê-Paraná..... | 73 |

LISTA DE SÍMBOLOS

- W** - Largura da via;
- W_r** - Largura da via nos trechos retos;
- B** - Boca da embarcação;
- L_C** - Comprimento do comboio;
- F_r** - Folga entre o limite da via e a embarcação;
- b** - Ângulo de deriva médio referente à ação do leme;
- s** - Sobrelargura em trechos retos;
- L** - Comprimento total da embarcação;
- K_f** - Fator de correção para o número de Froude do comboio;
- K_l** - Fator de correção em ângulo de mudança de rumo;
- R** - Raio de curvatura da rota;
- V_a** - Velocidade absoluta do comboio;
- V_r** - Velocidade relativa do comboio;
- D** - Profundidade da via navegável;
- H** - Calado da embarcação;
- V_{rF}** - Velocidade da embarcação correspondente ao número de Froude 0,102;
- l** - Ângulo de mudança de rumo;
- W_c** - Largura total da via nos trechos curvos;
- s_j** - Sobrelargura necessária em trechos curvos a jusante;
- s_m** - Sobrelargura necessária em trechos curvos a montante;
- a** - Coeficiente relativo às folgas entre “bumper areas” das embarcações e pilares de pontes;
- b** - Coeficiente relativo às folgas entre “bumper areas” das embarcações;

- W_{BM} - Largura da pista de manobrabilidade básica;
- W_i - Largura adicional referente às características de navegação local;
- W_{Br} - Largura correspondente a distância dos bancos marginais ao canal a bombordo;
- W_{Bg} - Largura correspondente a distância dos bancos marginais ao canal a boreste;
- W_P - Largura de passagem entre as embarcações;
- F_r - Número de Froude;
- g - Aceleração da gravidade;
- V_M - Velocidade do modelo;
- T_M - Tempo do modelo;
- V_N - Velocidade da embarcação real;
- T_N - Tempo da embarcação real;
- a - Relação de escala entre modelo e embarcação real;
- m - Massa;
- y - Curso da embarcação;
- I_{ZZ} - Momento de inércia ao longo do eixo Z;
- u - Componente de velocidade longitudinal;
- v - Componente de velocidade lateral;
- r - Taxa de giro;
- X_{hull} - Componente longitudinal das forças hidrodinâmicas do casco;
- X_{prop} - Componente longitudinal das forças hidrodinâmicas no propulsor;
- X_{rudder} - Componente longitudinal das forças hidrodinâmicas do leme;
- X_{wind} - Componente longitudinal das forças hidrodinâmicas devido ao vento;
- X_{waves} - Componente longitudinal das forças hidrodinâmicas devido às ondas;
- $X_{current}$ - Componente longitudinal das forças hidrodinâmicas devido à corrente;
- Y_{hull} - Componente lateral das forças hidrodinâmicas do casco;

Y_{prop} - Componente lateral das forças hidrodinâmicas no propulsor;

Y_{rudder} - Componente lateral das forças hidrodinâmicas do leme;

Y_{wind} - Componente lateral das forças hidrodinâmicas devido ao vento;

Y_{waves} - Componente lateral das forças hidrodinâmicas devido às ondas,

$Y_{current}$ - Componente lateral das forças hidrodinâmicas devido à corrente;

N_{hull} , - Componente do momento de guinada das forças hidrodinâmicas do casco;

N_{prop} - Componente do momento de guinada das forças hidrodinâmicas no propulsor;

N_{rudder} - Componente do momento de guinada das forças hidrodinâmicas do leme;

N_{wind} - Componente do momento de guinada das forças hidrodinâmicas devido ao vento;

N_{waves} - Componente do momento de guinada das forças hidrodinâmicas devido às ondas,

$N_{current}$ - Componente do momento de guinada das forças hidrodinâmicas devido à corrente.

Siglas mencionadas

CESP - Companhia Energética de São Paulo;

PIANC - Permanent International Association of Navigation Congresses;

CBS - Central Bureau of Statistics;

IAPH - International Association of Ports and Harbors;

Normam - Normas de Autoridade Marítima;

CTS - Cartão de Tripulação de Segurança;

TIE - Título de Inscrição da Embarcação;

BADE - Boletim de Atualização de Embarcações;

DPC - Diretoria de Portos e Costas;

GEV - Grupo Especial de Vistorias;

ART - Anotações de Responsabilidade Técnica;

DH – SP - Departamento Hidroviário de São Paulo;

ARHANA - Administração da Hidrovia do Paraná;

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo;

PORTOBRÁS – Empresa de Portos do Brasil S.A.

RESUMO

Este trabalho examina os acidentes registrados na hidrovia Tietê-Paraná, identificando os mais importantes e respectivas causas, com a finalidade de propor formas de reduzir a probabilidade de ocorrência de tais acidentes.

A revisão bibliográfica efetuada, embora contemple um número relativamente pequeno de obras, contribui para que se compreenda melhor os aspectos mais relevantes de acidentes ocorridos no transporte hidroviário.

A análise da hidrovia, com a identificação dos pontos críticos para a navegação, das embarcações utilizadas e da mão-de-obra disponível, permite que se configure um painel para uma melhor compreensão dos principais acidentes e de suas causas.

O estudo estatístico realizado, a partir de dados disponíveis na Capitania Fluvial de Barra Bonita, levou as seguintes conclusões: o principal problema são as colisões envolvendo comboios fluviais, representando 48,8 % do total de acidentes registrados; 60 % do total das colisões registradas se referiam a colisões contra pilares de pontes; a metodologia em vigor para a determinação dos vãos para a navegação na hidrovia Tietê-Paraná não atende as condições atuais de navegação.

Com relação ao principal acidente identificado, apresenta-se uma discussão sobre a metodologia atualmente em vigor para o estabelecimento dos vãos para a navegação na Hidrovia Tietê-Paraná, examinando-se as medidas atualmente em implantação visando a minimização da probabilidade de ocorrência de colisões contra pilares de pontes e de suas conseqüências.

A conclusão é que somente com estudos mais aprofundados, utilizando modelos de simulação de manobras para se obter o embasamento teórico-

experimental de modo a se estudar o problema de colisões de embarcações contra pilares de pontes na hidrovia Tietê-Paraná, se poderá alcançar um metodologia para a determinação de vãos para a navegação, que contemple de maneira efetiva a segurança no tráfego hidroviário.

ABSTRACT

This study examines the accidents registered in Tietê-Paraná waterway, identifying the most important ones and respective causes, with the purpose of proposing means of reducing the probability of occurrence of such accidents.

The bibliography survey carried out, although it includes a relatively small number of studies, contributes to a better understanding of the most important aspects of the accidents occurred in waterway transportation.

From the analysis of Tietê-Paraná waterway, with the identification of its critical points for navigation, the employed vessels and the available workmanship, it is possible to sketch the scenery for a better comprehension of the main accidents and their causes.

The accomplished statistical analysis, using the data available at the Barra Bonita Fluvial Command, lead to the following conclusions: the main problem are the collisions involving push-tows, representing 48,8 % of the total registered accidents; 60 % of the total registered collisions corresponds to collisions against bridges pillars.

With respect to the main identified accident, it is presented a discussion about the methodology used for the determination of bridge span openings, showing that it does not fit to local navigation conditions. Procedures regarding to minimize the probability of collisions against bridges pillars and reduce their effects are mentioned.

The conclusion is that only with more detailed studies, using both maneuvering simulation models and experimental trials with scale models, it will be possible to reach a methodology for the determination of bridge span openings which assures safer conditions for navigation along the Tietê-Paraná.

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Nesse primeiro capítulo é explanada, genericamente, a questão de acidentes em hidrovias brasileiras, abordando os acidentes mais comuns, suas causas e possíveis conseqüências. Mais adiante, apresenta-se a hidrovia Tietê-Paraná, bem como a forma com que foi concebida. Finalmente, mostra-se a problemática de acidentes existentes na hidrovia Tietê-Paraná e apresenta-se o objetivo almejado neste trabalho, assim como seu delineamento.

1.1 – Acidentes em hidrovias

A via navegável está sujeita a uma gama relativamente grande de tipos de acidentes e a freqüência deles depende de outra gama não menor de fatores. Um fator que influencia de forma importantíssima a freqüência de acidentes é o fluxo de carga transportada. Apesar de haver grande dificuldade, no que se refere à obtenção de dados estatísticos e informações realmente confiáveis sobre acidentes em nossas hidrovias, sobretudo na Bacia Amazônica, tem-se notado a ocorrência de um grande número de acidentes, se levarmos em consideração o pequeno volume de carga transportado em tais hidrovias.

Um acidente muito comum, que ocorre em áreas de terminais e portos, é o choque entre embarcações, justificado pela própria característica do lugar em que

embarcações fazem manobras umas próximas das outras. Outro acidente muito comum, mas que se refere quase que exclusivamente à Bacia Amazônica, é a avaria de casco, hélice e lemes de embarcações, provocada por troncos de árvores que descem com a correnteza do rio, principalmente na época das cheias (como visto na Figura 1.1).



Figura 1.1 – Tronco Passando Próximo ao Propulsor de Embarcação no Rio Amazonas

Já em regiões, onde há restrições de dimensões da via navegável, como é o caso da hidrovia Tietê-Paraná, os acidentes vão muito além dos terminais e portos; dizem respeito agora ao canal navegável propriamente dito. São acidentes provenientes de cruzamentos ou mesmo ultrapassagens entre embarcações, choques contra pilares de pontes e, as vezes, devido ao afastamento da embarcação do canal de navegação, choques contra o próprio leito do rio.

Um ponto muito delicado com relação a acidentes em hidrovias é a eclusa pelo fato de possuir as menores dimensões da via e também pela própria natureza de seu funcionamento (enchimento e esvaziamento). A eclusa é um local muito sujeito a acidentes, merecendo assim uma atenção toda especial quando o objetivo em questão é a prevenção de acidentes e manutenção do tráfego na via.

1.2 - Causas de acidentes em hidrovias

Difícilmente uma hidrovia não estará sujeita a acidentes ao longo de sua extensão, enquanto não for dotada de elementos, sejam obras civis ou sinalização, que orientem as embarcações permitindo o tráfego na via com a maior segurança possível.

Uma via está muito menos sujeita a problemas com acidentes quando estiver totalmente balizada, com placas que indiquem a posição do canal de navegação, a preferência de passagem em pontes e pontos de afunilamento e com eclusas dotadas de elementos que venham a orientar e garantir à embarcação a transposição do desnível com maior segurança possível. As eclusas devem possuir muros guia adequados para cada caso, semáforos indicando quanto à possibilidade de passagem ou não, sistemas de amarração eficientes para embarcações de tamanhos e formas diferentes, além de se atentar para a obediência quanto as folgas mínimas de sua câmara.

Portanto, uma via onde existam elementos de apoio às embarcações, além é claro da preocupação com a sua conservação, está muito menos sujeita a problemas com acidentes.

Existem outros fatores, no entanto, que contribuem e talvez tenham maior responsabilidade quanto à ocorrência de acidentes, principalmente em nossas hidrovias. A falta de cuidados com relação aos aspectos de projeto, construção e operação das embarcações aparece como um ponto importante. Embarcações que não apresentam condições técnicas mínimas de operação, como potência mínima para dada tonelagem, sistema de governo precário, condições estruturais e de estabilidade questionáveis, e também a utilização incorreta das embarcações com relação à carga, seja pela tonelagem ou pelo tipo, têm uma contribuição considerável na ocorrência de acidentes em uma hidrovia.

Outro fator importantíssimo diz respeito aos pilotos e à tripulação em geral das embarcações. Não se pode ter margens de segurança aceitáveis em uma hidrovia quando pilotos e/ou tripulação não dispõem de qualificações que os habilitem a exercer seus trabalhos com eficiência e segurança. Existem ainda os casos de negligência e imprudência por parte do piloto, ou até mesmo da tripulação em geral, que vêm se somar a todo esse conjunto de causas de ocorrência de acidentes em uma hidrovia.

1.3 - Conseqüências de acidentes em uma hidrovia

Tanto no aspecto dos prejuízos materiais como também em relação às conseqüências do acidente sobre o meio ambiente é que reside um dos pontos cruciais e de diferenciação entre o transporte hidroviário e os outros modais.

Do ponto de vista de prejuízos gerados pela interrupção do tráfego, a hidrovia leva grande margem de desvantagem em relação à rodovia e à ferrovia. Consideremos aqui, a título de exemplo, um choque de uma embarcação contra uma porta de eclusa. A colisão pode vir a interromper a via por meses, enquanto que um acidente entre caminhões por maiores que sejam, ou ainda, a queda de uma barreira ou de uma ponte não virão a impedir que cargas daquela rota tardem a chegar a seus lugares de destino por mais de alguns dias. O mesmo vem a ocorrer com o transporte ferroviário, embora possa ser que o restabelecimento do tráfego se dê de maneira mais lenta do que na rodovia, dependendo do caso.

Com relação a prejuízos causados ao meio ambiente, a desvantagem da hidrovia também não vem a ser menor. Uma grande preocupação, em termos de meio ambiente, que se tem em relação a possíveis acidentes, tanto com caminhões como trens que transportem cargas perigosas, como combustíveis, produtos químicos, etc, é de não permitir que tais cargas atinjam os rios, o que poderia vir a causar prejuízos ambientais gravíssimos. Em se tratando de um acidente com uma embarcação que transporte alguma dessas cargas, e dependendo da gravidade desse acidente, o prejuízo ambiental é inevitável.

Acidentes dessa natureza em hidrovias podem vir a causar prejuízos incalculáveis do ponto de vista ambiental e, mais ainda, podem vir a prejudicar diretamente a população de cidades ribeirinhas, em caso, por exemplo, do acidente ter sido próximo ao local de captação de água para abastecimento, ou mesmo vir a prejudicar famílias de pescadores que sobrevivam da pesca no local.

Portanto, em virtude de os resultados de acidentes em hidrovias poderem ser tão graves, é necessário que se tomem precauções relativamente maiores do que em outros modais. Um desses cuidados vem a ser o transporte de cargas consideradas perigosas apenas em embarcações específicas para esse tipo de carga (embarcações de casco duplo). Isso reduz muito a probabilidade de danos ao meio ambiente em caso de acidentes.

1.4 - A Hidrovia Tietê-Paraná

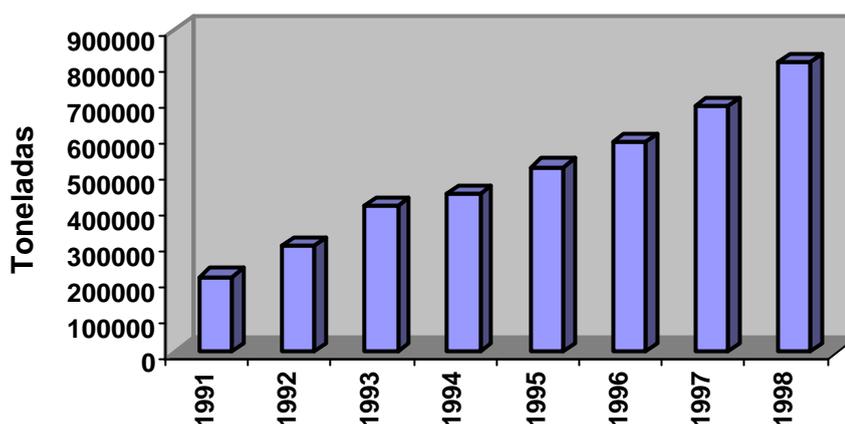
A hidrovia Tietê-Paraná foi concebida sob a ótica do aproveitamento múltiplo das águas, de tal forma que hoje é formada pelo conjunto de 11 reservatórios, oriundos do represamento para geração de energia elétrica, sendo 4 no rio Paraná e 6 no rio Tietê.

A hidrovia Tietê-Paraná possui 2400km de extensão navegável em território nacional, tendo 3 tramos distintos, interligados entre si. Segundo a CESP⁽¹⁾, são eles:

-
- O Tramo Tietê, que se estende desde o município de Santa Maria da Serra - SP, no rio Piracicaba, e o município de Conchas – SP, no Tietê, até o canal de Pereira Barreto.
 - O Tramo Sul do rio Paraná, estendendo-se desde o município de Foz de Iguaçu – PR – Brasil e Ciudad del Leste – Paraguai no rio Paraná, até o canal de Pereira Barreto.
 - O Tramo Norte do rio Paraná, que vai do município de São Simão - GO, no rio Paranaíba e Iturama – MG, no rio Grande, até a entrada do canal de Pereira Barreto, no reservatório de Três Irmãos.

A hidrovia Tietê-Paraná cobre uma macro-região de aproximadamente 76 milhões de hectares, onde vivem 50 milhões de pessoas, responsáveis por cerca de 50% do produto interno bruto (PIB) do país, segundo CESP⁽²⁾. Tal região engloba, na área de influência, os estados de São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul e Paraná, como pode ser visto na Figura 1.2.

preocupação e a necessidade de racionalização no setor de transporte de carga, além, é claro, da perspectiva causada pelo MERCOSUL.



FONTE: CESP^(3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9)

Figura 1.3– Evolução da Movimentação de Carga a Longas Distâncias¹ na Hidrovia Tietê-Paraná

Dessa forma, estima-se que, em um prazo não muito longo, poderemos ter um tráfego consideravelmente intenso e problemas advindos de eclusagens, passagens por pontos críticos, tais como curvas de raios reduzidos, canais estreitos, vãos entre pilares de pontes e mesmo ultrapassagens e cruzamentos entre embarcações poderão ocorrer com frequência cada vez maior, aumentando assim a probabilidade de acidentes na via.

É importante ressaltar que, da mesma forma que o aumento do volume de carga transportada por uma hidrovia tem influência sobre o número de acidentes que nela

¹ Cargas transportadas a uma distância superior a 200 km

ocorre, também a frequência da ocorrência de acidentes afeta o volume de carga transportada.

Nota-se, portanto, que o acidente é um fator que pode vir a comprometer o alavancamento do transporte de carga de uma hidrovia, principalmente de uma hidrovia como a Tietê-Paraná, que ainda encontra-se em estágio embrionário de funcionamento, quando comparada às hidrovias desenvolvidas do mundo.

1.6 – Objetivos

Objetivou-se nesse trabalho a identificação dos acidentes registrados na hidrovia Tietê-Paraná, bem como de suas causas, de modo a levantar possíveis soluções no que diz respeito à segurança e prevenção de acidentes, visando a melhoria e a promoção do sistema hidroviário.

Para tanto, foi realizada uma coleta de dados de acidentes já ocorridos, junto à Capitania Fluvial de Barra Bonita, visando um estudo estatístico de maneira a identificar e direcionar a pesquisa para os pontos essenciais com relação à segurança da navegação na Hidrovia Tietê-Paraná.

Foi realizada, também, a identificação dos elementos da via, representados pelos pontos físicos julgados críticos à navegação, pelas embarcações que trafegam na hidrovia e pela mão-de-obra embarcada, assim como da situação atual do balizamento na hidrovia Tietê-Paraná. A partir dessa identificação, pretendeu-se confrontar o estudo estatístico com a metodologia utilizada atualmente para

determinação dos gabaritos de navegação, de maneira a estabelecer metas que contribuam para a redução do número de acidentes e de suas conseqüências.

1.7 – Delineamento do Trabalho

No Capítulo 2 é apresentada uma revisão bibliográfica pertinente à questão da segurança na navegação, abordando estudos estatísticos e o dimensionamento de vãos para navegação.

No Capítulo 3 são identificados os elementos da via, entre eles, suas limitações físicas, a composição da frota de embarcações existente na hidrovia Tietê-Paraná e o perfil da mão-de-obra embarcada, responsável pela integração via-veículo. São apresentados também, aspectos ligados à legislação e regulamentação das embarcações e mão-de-obra, e ao balizamento na hidrovia Tietê-Paraná.

No Capítulo 4, mostra-se um estudo estatístico sobre acidentes na hidrovia Tietê-Paraná, havendo primeiramente algumas considerações sobre o modo de coleta dos dados assim como a apresentação de definições pertinentes. Seguem-se a exposição e análise dos dados, assim como as conclusões provenientes da análise.

No Capítulo 5 é apresentada uma discussão sobre a metodologia atualmente em vigor para o estabelecimento dos vãos para a navegação na Hidrovia Tietê-Paraná, além de se examinar as medidas atualmente em implantação visando a minimização da probabilidade de ocorrência de colisões contra pilares de pontes e à limitação e maior controle de suas conseqüências. Examina-se também, a utilidade

dos modelos de simulação de manobras como meio de se obter o embasamento teórico-experimental para se estudar o problema de colisões de embarcações contra pilares de pontes na hidrovia Tietê-Paraná, visando uma maior segurança e eficiência na navegação nesta hidrovia.

No capítulo 6, apresentam-se as principais conclusões provenientes do desenvolvimento deste trabalho, assim como algumas sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2 – ACIDENTES EM VIAS NAVEGÁVEIS - REVISÃO

BIBLIOGRÁFICA

A bibliografia referente a acidentes em vias navegáveis é de uma dimensão muito reduzida, estando os trabalhos voltados, em sua grande maioria, para aspectos específicos da segurança da navegação. Os poucos trabalhos, que se encontram na esfera da segurança da via navegável como um todo, se resumem a estudos estatísticos, que partem de uma análise de dados, tentando identificar os aspectos mais caóticos e assim de maior relevância, buscando, posteriormente, a prevenção desses aspectos.

Em uma primeira etapa, foi realizada uma pesquisa bibliográfica ampla, abordando de maneira abrangente vários aspectos da segurança na navegação, entre eles os estudos estatísticos mencionados anteriormente. Em uma segunda fase, em virtude de o estudo estatístico realizado no capítulo 4 ter demonstrado que o problema do dimensionamento da via é um aspecto a ser priorizado, achou-se conveniente aprofundar a análise de referências específicas ao dimensionamento de vias navegáveis, sendo elas inseridas neste capítulo.

2.1 – Estudos Estatísticos

NEVES⁽¹⁰⁾ faz uma análise detalhada de acidentes marítimos ocorridos no Brasil, no período de 01/01/82 a 31/12/86, com o objetivo de obter subsídios para o estabelecimento de prioridades em um programa nacional de prevenção de acidentes no mar. A análise é feita com base em 1076 casos registrados, englobando todos os tipos de embarcações.

NEVES atenta para o fato de, na época, não se conhecer, com margens de confiabilidade razoáveis, a dimensão das frotas relativas a cada tipo de embarcação em cada ano. Considerou tal fato empobrecedor da análise, principalmente no que diz respeito a se obter as probabilidades de ocorrência de um determinado acidente para determinado tipo de embarcação.

NEVES concluiu em seu estudo que:

- embarcações de carga geral, pesqueiros e empurradores/rebocadores são os tipos de embarcações mais sujeitas a acidentes;
- o tipo de acidente a que está sujeita uma embarcação varia muito com o tipo desta embarcação;
- pesqueiros são muito mais sujeitos a acidentes de grande gravidade, ocupando, por isto, um lugar de destaque com relação a outros tipos de embarcações;
- naufrágio é o tipo de acidente mais grave, ocorrendo mais freqüentemente com pesqueiros e depois com embarcações pequenas de outros tipos;

-
- naufrágios, principalmente provocados por mau tempo, ocorrem de maneira mais intensa nas regiões Sudeste e Sul;
 - embora, na época em que foi realizado o estudo em questão, houvesse uma crença das autoridades nacionais em que a região Amazônica fosse a região a ser priorizada, o estudo não demonstrava isso;
 - mesmo na região Amazônica, as embarcações de transporte de passageiros eram pouco sujeitas a acidentes;
 - os aspectos a serem priorizados eram pesca/naufrágio/mau tempo/região Sudeste e Sul.

O CALIFORNIA DEPARTMENT OF BOATING AND WATERWAYS⁽¹¹⁾

mantém um programa de prevenção de acidentes com o intuito de proporcionar uma maior segurança aos usuários de esportes náuticos e banhistas. De acordo com relatórios anuais deste departamento, disponibilizados na Internet, o programa consiste em um estudo estatístico de acidentes ocorridos com embarcações náuticas.

São considerados na análise os acidentes com as seguintes características:

- Morte ou desaparecimento;
- Pessoa ferida que necessite de atendimento médico;
- Prejuízos materiais que excedam a quantia de \$ 500 ou a perda total da embarcação.

A partir da análise dos acidentes registrados no ano, o CALIFORNIA DEPARTMENT OF BOATING AND WATERWAYS determina a(s) causa(s) e identifica medidas de prevenção e problemas específicos relacionados à segurança. São analisados os detalhes de cada acidente para se determinar a causa, a maneira pela qual o acidente poderia ter sido prevenido e problemas específicos relacionados à segurança. O setor de segurança atualiza o material de cursos de arrais e similares, distribui panfletos informativos, além de informar tais problemas e medidas preventivas ao departamento de execução de leis em sessões de treinamento de pessoal.

O CALIFORNIA DEPARTMENT OF BOATING AND WATERWAYS acredita que o crescente aumento dos acidentes registrados de um ano para outro não significa necessariamente um aumento real do número de acidentes ocorridos, mas sim resulta de um esforço das agências responsáveis em tornar mais rigorosa a fiscalização de tais acidentes.

A Tabela 2.1 mostra o número total de acidentes registrados de 1980 a 1997 no estado da Califórnia, discriminando o número de fatalidades, de pessoas feridas e de prejuízos materiais causados por acidentes no respectivo ano.

O número de embarcações registradas na Califórnia aumentou cerca de 29% entre 1986 e 1996, passando de 682.125 para 881.092 embarcações. Até dezembro de 1997 existiam 894.347 embarcações registradas na Califórnia.

Tabela 2.1 – Acidentes Registrados no Estado da Califórnia por Ano

| Ano | Número Total de Acidentes | Número Total de Feridos | Número Total de Mortes | Total dos Prejuízos Materiais |
|------------|----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| 1980 | 657 | 270 | 112 | \$ 2.039.800 |
| 1981 | 728 | 319 | 87 | \$ 3.655.630 |
| 1982 | 696 | 323 | 103 | \$ 2.497.000 |
| 1983 | 648 | 333 | 95 | \$ 3.713.100 |
| 1984 | 791 | 341 | 93 | \$ 2.491.700 |
| 1985 | 869 | 403 | 76 | \$ 4.246.400 |
| 1986 | 741 | 319 | 68 | \$ 2.645.500 |
| 1987 | 905 | 325 | 54 | \$ 3.381.600 |
| 1988 | 745 | 333 | 51 | \$ 2.396.100 |
| 1989 | 632 | 371 | 43 | \$ 3.669.800 |
| 1990 | 761 | 416 | 50 | \$ 3.131.200 |
| 1991 | 750 | 421 | 58 | \$ 2.653.800 |
| 1992 | 689 | 447 | 59 | \$ 4.360.100 |
| 1993 | 743 | 434 | 67 | \$ 2.052.800 |
| 1994 | 709 | 386 | 40 | \$ 1.740.300 |
| 1995 | 833 | 490 | 52 | \$ 2.536.500 |
| 1996 | 850 | 537 | 56 | \$ 2.241.700 |
| 1997 | 925 | 526 | 43 | \$ 3.266.800 |

FONTE: CALIFORNIA DEPARTMENT OF BOATING AND WATERWAYS⁽¹¹⁾

Na tabela 2.2 são mostrados os tipos e as causas dos acidentes registrados no ano de 1997 na Califórnia por tipo de embarcação.

Tabela 2.2 – Causas e Tipos de Acidentes por Tipo de Embarcação

| | Botes de Pesca | | Jet Sky | | Outras Embarcações | | Todas Embarcações | |
|----------------------------|-----------------------------|-----|-----------------------------|-----|-----------------------------|-----|-----------------------------|-----|
| Tipos de Acidentes | Colisões com outras Embarc. | 34% | Colisões com outras Embarc. | 69% | Colisões com outras Embarc. | 47% | Colisões com outras Embarc. | 45% |
| | Acidente Com Esquiador | 18% | Queda na Água | 11% | Encalhe | 9% | Acidente com Esquiador | 9% |
| | Encalhe | 14% | Atropelamento | 6% | Emborcam. | 7% | Encalhe | 9% |
| Causas de Acidentes | Desatenção do Operador | 32% | Excesso de Velocidade | 52% | Inexp. do Operador | 23% | Desatenção do Operador | 35% |
| | Inexp. do Operador | 22% | Inexp. do Operador | 51% | Desatenção do Operador | 23% | Inexp. Do Operador | 34% |
| | Excesso de Velocidade | 21% | Desatenção do Operador | 47% | Excesso de Velocidade | 16% | Excesso De Velocidade | 33% |

FONTE: CALIFORNIA DEPARTMENT OF BOATING AND WATERWAYS⁽¹¹⁾

Das estatísticas referentes ao ano de 1997 no estado da Califórnia, constam as seguintes observações:

- 45% dos acidentes registrados resultaram de colisões entre embarcações;
- entre as causas de acidentes mais comuns, estão a falta de atenção (35%), inexperiência (34%) e velocidade excessiva (33%);
- 16% dos acidentes foram causados pelo mau tempo;
- a maior ocorrência de acidentes foi verificada no verão californiano (entre os meses de Maio e Agosto);

-
- o período do dia com a maior frequência de acidentes foi aquele entre 14:00 h e 18:00 h;
 - 54% dos acidentes ocorreram em lagos;
 - 45% das embarcações envolvidas em acidentes tinham menos de 16 pés de comprimento e 32% entre 16 e 25 pés;
 - 43% das embarcações envolvidas em acidentes eram pilotadas por pessoas que não eram proprietárias das embarcações, 33% eram proprietárias das embarcações e 10% das embarcações eram alugadas;

VAN MANEN; FRANSEN⁽¹²⁾ descrevem parte do trabalho do Grupo de Trabalho 19 do PERMANENT INTERNATIONAL ASSOCIATION OF NAVIGATION CONGRESSES - PIANC (iniciado em 1995 e sem previsão de término), com a finalidade de investigar o problema de colisões de embarcações em pontes, envolvendo nove países: Bélgica, Alemanha, Japão, França, Espanha, Suécia, Reino Unido, Estados Unidos e Holanda.

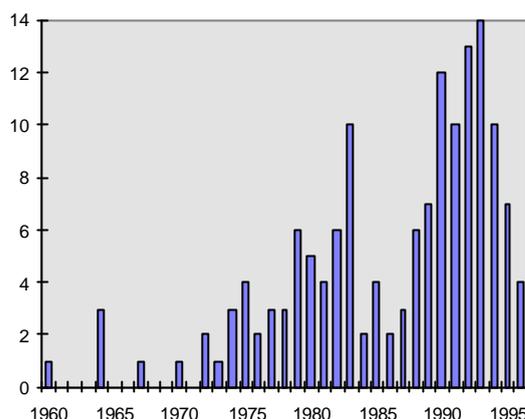
O banco de dados utilizado pelo PIANC contém 150 acidentes de embarcações em pontes, desde 1960. Esse banco de dados foi conseguido por informações de membros do PIANC, havendo muitos dados relativos à Escandinava, Japão, Estados Unidos, Alemanha, Reino Unido, França, Bélgica e Holanda. Com relação a acidentes em outros países, somente foram incluídos aqueles cujos registros foram publicados. Os dados contêm um nível de detalhes considerável, constando na Tabela 2.3 as informações pertinentes a cada acidente.

Tabela 2.3 – Informações Sobre Colisões de Embarcações Contra Pontes

| |
|--|
| Número do Acidente |
| Nome da ponte envolvida no acidente |
| Data e hora do acidente |
| Localização do acidente (hidrovia, cidade, país) |
| Descrição geral da ponte (tipo, situação) |
| Descrição geral da(s) embarcação(ões) envolvidas (nome, bandeira, tipo, material de construção, dimensões, calado, número e tipo de máquinas, equipamento de posicionamento a bordo) |
| Causa mais importante ou provável |
| Descrição do leito do rio no local da ponte (largura do canal, tirante de ar, largura do vão, localização dos pilares, profundidade d'água, tipo da hidrovia, curvas, grau de dificuldade, cruzamento entre embarcações, acidente mais próximo ocorrido) |
| Circunstâncias (embarcação, vento, velocidade da corrente e direção, altura de onda, presença de gelo, visibilidade, dia ou noite, condições gerais de tempo) |
| Navegação de ajuda (piloto da embarcação ou práctico local a bordo, sistema de tráfego de embarcações, outros) |
| Descrição do prejuízo (casualidade, prejuízo à ponte, prejuízo ao navio, prejuízo ao meio ambiente, interrupção do tráfego na ponte ou na hidrovia) |
| Literatura, aspectos de interesse legais |

FONTE: VAN MANEN; FRANDBSEN⁽¹²⁾ (tab. 1 da pág. 4)

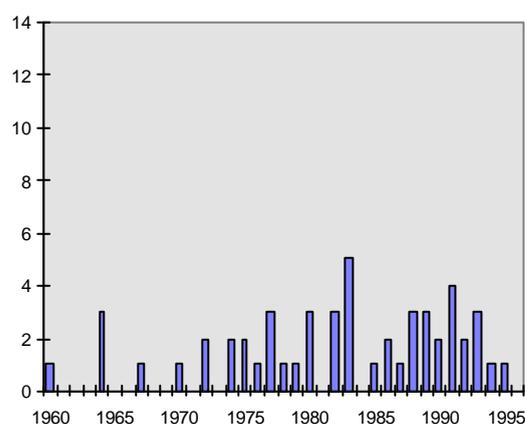
O número de colisões em cada ano, desde 1960, é mostrado na figura 2.1. Analisando-se esta figura, nota-se que o número de colisões está aumentando; porém há razões para acreditar que isto não corresponda à realidade. A maioria dos países começou a registrar as colisões de embarcações contra pontes recentemente, o que significa que colisões com menor gravidade relativa são incluídas atualmente, ao contrário do que ocorria em anos mais remotos.



FONTE: VAN MANEN; FRANDSEN⁽¹²⁾ (gráf. 1 da pág. 5)

Figura 2.1 – Número de Colisões de Embarcações Contra Pontes– Todas Colisões

Se subtrairmos as colisões “secundárias”, ou seja, com prejuízos de menos de US \$ 100.000,00, obteremos a figura 2.2, que contempla agora apenas 52 colisões, ditas colisões “sérias”.

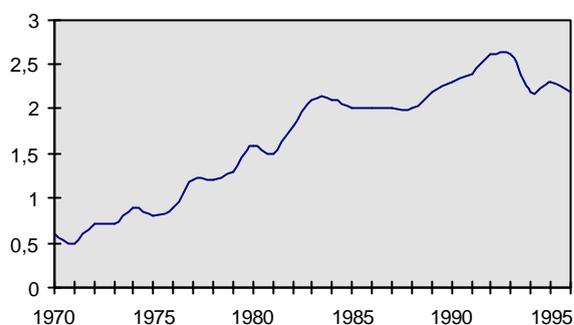


FONTE: VAN MANEN; FRANDSEN⁽¹²⁾ (gráf. 2 da pág. 5)

Figura 2.2 – Número de Colisões de Embarcações Contra Pontes – Colisões Sérias
(Prejuízos Acima de US \$ 100.000,00)

O aumento do número médio de colisões sérias é mostrado na figura 2.3. Esta figura é construída a partir da média do total dos acidentes registrados nos 10 anos

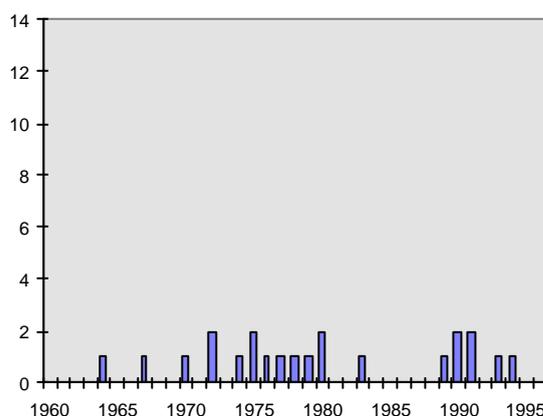
que se encerram naquele ano. O número de colisões cresceu aproximadamente de 1 colisão por ano, em 1979, para 2 colisões por ano, em 1990.



FONTE: VAN MANEN; FRANDSEN⁽¹²⁾ (gráf. 3 da pág. 5)

Figura 2.3 – Número Médio de Colisões de Embarcações Contra Pontes – Colisões Sérias (Prejuízos Acima de US \$ 100.000,00)

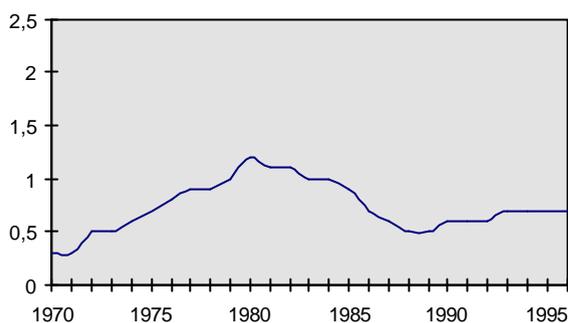
Se ainda reduzirmos para um subconjunto de “acidentes muito sérios”, isto é, um contexto de colisões com prejuízos acima de US \$ 1 milhão, o número de acidentes a serem analisados será então de 22 colisões, as quais então representadas na Figura 2.4.



FONTE: VAN MANEN; FRANDSEN⁽¹²⁾ (gráf. 4 da pág. 5)

Figura 2.4 – Número de Colisões de Embarcações Contra Pontes – Colisões Muito Sérias (Prejuízos Acima de US \$ 1.000.000,00)

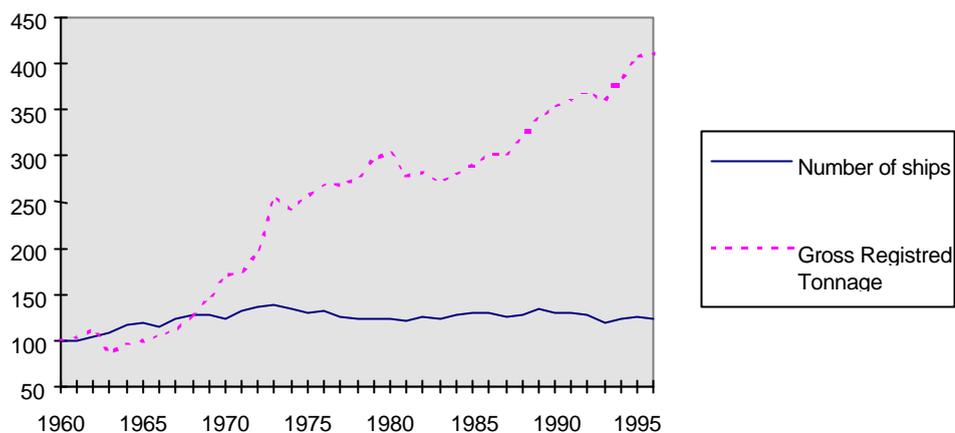
Novamente com média do total dos acidentes registrados nos 10 anos que se encerram naquele ano, o número médio de colisões é apresentada na Figura 2.5. Esta figura mostra que, depois de grandes acidentes nos anos 60 e 70, os anos 80 mostraram uma queda na ocorrência. Nos anos 90, vemos novamente uma pequena tendência a um crescimento na taxa de ocorrência.



FONTE: VAN MANEN; FRANDSEN⁽¹²⁾ (gráf. 5 da pág. 6)

Figura 2.5 – Número Médio de Colisões de Embarcações Contra Pontes – Colisões Muito Sérias (Prejuízos Acima de US \$ 1.000.000)

Segundo VAN MANEN; FRANDSEN, não se sabe como o número de passagens de embarcações entre vãos de pontes evoluiu neste mesmo período. Porém, a evolução do número de embarcações entrando na Holanda no período 1960–1995, segundo o Netherlands Central Bureau of Statistics CBS (1997) apud VAN MANEN; FRANDSEN⁽⁶⁾, é mostrada na Figura 2.6, juntamente com o montante total de Tonelagem Bruta Registrada (GRT).



FONTE: VAN MANEN; FRANDSEN⁽¹²⁾ (gráf. 6 da pág. 6)

Figura 2.6 – Número de Navios Entrando na Holanda e Suas GRT entre 1960 a 1996.

O número total de embarcações quase não mudou, mas o tamanho dessas embarcações aumentou aproximadamente em 4 vezes. Admitindo que o número de pontes aumentou pelo menos 2 vezes, a média de ocorrência de colisões sérias, sem alteração nos demais fatores, deveria ter aumentado mais que 2 vezes. Isto leva a crer que a segurança com relação às colisões de embarcações contra pontes parece ter melhorado, denotando que a atenção dada ao problema de colisões nos anos 80 na Europa e as medidas que foram tomadas parecem ter sido eficazes.

Quanto às causas dos acidentes, VAN MANEN; FRANDSEN as dividem em três grupos: erro humano, falhas técnicas e condições extremas de tempo. A mais importante conclusão é que, a grosso modo, 70% do total de acidentes são provocados por erro humano, 20% por falhas técnicas e 10% por condições extremas de tempo, como mau tempo, gelo ou fortes correntes. Os acidentes atribuídos a erro humano foram basicamente por negligência, falta de atenção, má comunicação, abuso de álcool e exaustão devido a longas horas de trabalho.

2.2 – Determinação de Vãos para Navegação

DIJKHUIS; SMITS⁽¹³⁾ apresentam um método probabilístico para a determinação das dimensões horizontais de hidrovias e canais holandeses em contrapartida ao método determinístico tradicional.

A Comissão de Administração das Hidrovias Holandesas, baseada na classificação para as hidrovias da Comissão Europeia do Ministério dos Transportes, que é quem regulamenta o tráfego em hidrovias internacionais europeias, faz uma adaptação para suas hidrovias, que resulta na classificação indicada na Tabela 2.4.

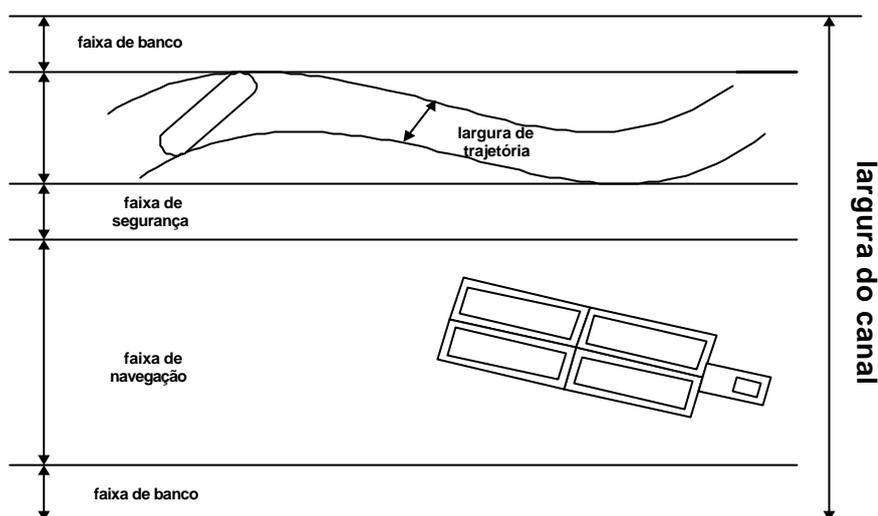
Tabela 2.4 – Classificação das Hidrovias Holandesas em Função das Maiores Embarcações que Nelas Podem Trafegar

| Classe | Tonelagem(T) | Comprimento(m) | Boca(m) | Calado(m) |
|--------|--------------|----------------|---------|-----------|
| I | 300 | 39,0 | 5,1 | 2,20 |
| II | 600 | 55,0 | 6,6 | 2,50 |
| II a | 800 | 65,0 | 7,2 | 2,55 |
| III | 1200 | 80,0 | 8,2 | 2,60 |
| VI | 1500 | 85,0 | 9,5 | 2,80 |
| V | 2500 | 110,0 | 11,4 | 3,50 |

FONTE: DIJKHUIS; SMITS⁽¹³⁾ (Tab. I da pág. 657)

Baseados nessa classificação, os administradores de hidrovias holandesas determinam as regras para a admissão das embarcações em cada hidrovia. Tais regras são descritas por tais administradores como sendo baseadas em pesquisas científicas e no conhecimento prático dos comandantes. A teoria na qual eles se baseiam para a elaboração dessas regras é chamada de “Teoria das Faixas”, de acordo com a qual

toda embarcação necessita de uma certa largura de trajetória, faixa de navegação, faixa de segurança e faixa de banco, como mostrado na Figura 2.7.



FONTE: DIJKHUIS; SMITS⁽¹³⁾ (fig. 1 da pág. 658)

Figura 2.7 – “Teoria das Faixas”

Uma embarcação mesmo em uma via reta não consegue se manter em uma trajetória retilínea em virtude do próprio movimento da embarcação. A embarcação necessita então, mesmo em um canal reto, de uma largura maior que sua boca para se locomover em curso teoricamente retilíneo. Essa largura é chamada de boca virtual da embarcação, correspondendo à faixa de navegação.

A largura de banco é necessária em virtude da interação da embarcação com a margem. Esta interação pode representar certo desconforto à embarcação sendo necessária, assim, uma largura entre esse banco e a faixa de navegação da embarcação. Essa largura dependerá da relação velocidade / profundidade, da altura e declividade do banco, além da relação profundidade / calado.

Quando existe a navegação nos dois sentidos, existe também a interação entre uma embarcação e a outra, havendo, assim, a necessidade de se estabelecer uma largura entre a faixa de navegação de ambas embarcações. Essa faixa é chamada de faixa de segurança e dependerá da densidade de tráfego.

Para todo canal, decide-se a situação crítica de tráfego de acordo com a “Teoria das Faixas”. Exemplo: o cruzamento de uma embarcação vazia de classe V com uma embarcação carregada de classe IV, em condições de vento extremas. Devido às aproximações determinísticas da teoria, é impossível se ter uma margem de segurança confiável. As larguras das faixas de navegação, em geral, são consideradas exageradas pelos pilotos e armadores, que passam a pressionar os administradores no sentido de permitir a passagem de embarcações maiores em alguns trechos.

No sul da Holanda, a eclusa de “Julianakanaal” admite embarcações de classe V, embora os canais de acesso admitam no máximo embarcações de classe III. Essa situação é julgada segura pelos administradores quando o número de embarcações de classe V é pequeno. O problema é até que ponto a situação é segura e até quanto o número de embarcações pode ser considerado pequeno?

DIJKHUIS; SMITS atentam para o fato de o método determinístico tradicional não poder responder esta questão. Seguindo a linha de pensamento das normas estabelecidas pela Comissão de Administração das Hidrovias Holandesas, as dimensões teriam que ser aumentadas, implicando, obviamente, um custo elevadíssimo para o Governo, sem contudo se ter o conhecimento de um efetivo critério de segurança. O novo método probabilístico propõe a diminuição das

dimensões requeridas e/ou o aumento do número e tipo de embarcações admitidas na hidrovia, estabelecendo um critério de segurança eficaz.

O método propõe a política de admissão nas hidrovias deixe de se guiar por um método baseado nas dimensões principais das embarcações e passe a se orientar por um método baseado nas características de manobrabilidade, de modo que as restrições absolutas, representadas por eclusas e pontes, permaneçam, e as restrições no canal propriamente dito desapareceram em favor de aspectos lógicos da capacidade de manobra das embarcações. Propõe, também, que o projeto das dimensões dos canais seja feito por aproximações probabilísticas, como já utilizados em canais de portos da Holanda.

A principal diferença entre o método tradicional determinístico e o probabilístico é que o último considera a probabilidade de todos os fatores de influência na vida do projeto. Tanto as características de manobrabilidade das embarcações como a ação de elementos externos, como correnteza, ventos, ondas, etc., são consideradas na obtenção da dimensão a ser adotada. Isso torna, sem dúvida nenhuma, o método muito mais racional.

Outro trabalho sobre aspectos específicos da segurança da navegação fluvial é o de RIVA⁽¹⁴⁾, que trata da sobrelargura em vias navegáveis, mais especificamente em trechos curvos. Baseado em testes de modelos e protótipos de comboios de empurra, o autor formula um método para o cálculo da sobrelargura em curvas por meio da correlação das variáveis preponderantes no ângulo de deriva. Os testes de modelos e protótipos de comboios de empurra foram realizados tanto por órgãos

européus e americanos como pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

Segundo RIVA, pode-se dividir o método para determinação de larguras mínimas de uma hidrovia em 4 situações distintas a saber:

- largura da via nos trechos retos;
- sobrelargura nos trechos curvos;
- largura total nos trechos curvos;
- concordância entre trechos retos e curvos.

RIVA cita que a determinação da largura nos trechos retos pode ser feita segundo a formulação européia, ou a americana. De acordo com a formulação européia, a largura da via em trechos retos W_r é dada por:

$$W_r = K \cdot B \quad (2.1)$$

$$K = 2,0 \text{ a } 6,0$$

onde B é a boca da maior embarcação que trafegue pela via.

Pela formulação americana:

$$W_r \geq 2[B + L_c \text{ sen } \mathbf{b}] + F_r \quad (2.2)$$

onde F_r é a folga entre o limite da via e a embarcação, admitida para trechos retos e b o ângulo de deriva médio referente à ação do leme para compensar efeitos externos e mesmo a instabilidade direcional do comboio.

A formulação europeia destina-se ao dimensionamento de canais artificiais, sem obstáculos ou obras civis de interferência na navegação, enquanto a americana ao dimensionamento das larguras mínimas ao longo da rota de navegação não restritas lateralmente, sendo a formulação aplicada em alguns pontos da via.

Já a sobrelargura em trechos curvos s pode ser calculada pela seguinte formulação:

$$\frac{s}{L} = 0,9217 K_f K_a \left(\frac{R}{L_c} \right)^{-1,070} \left(\frac{V_a}{V_r} \right)^{1,070} \left(\frac{D}{H} \right)^{1,370} \left(\frac{L_c}{B} \right)^{-0,223} \left(\frac{L_c}{H} \right)^{-0,324} \quad (2.3)$$

para:

$$2,0 \leq R/L_c \leq 10,0; \quad 0,5 \leq V_a/V_r \leq 1,5; \quad 1,3 \leq D/H \leq 5,0 \text{ (águas profundas);}$$

$$5,0 \leq L_c/B \leq 17,00; \quad 35,0 \leq L_c/H \leq 382,0.$$

sendo:

R = raio de curvatura da rota;

L_c = comprimento do comboio;

V_a = velocidade absoluta do comboio;

V_r = velocidade relativa do comboio;

D = profundidade da via navegável;

H = calado do comboio;

B = boca do comboio.

Os coeficiente K_f e K_α são os fatores de correção para o número de Froude do comboio e o ângulo de mudança de rumo, respectivamente. A correção para o número de Froude é dada por::

$$K_f = \frac{V_r^2}{V_{rF}^2} \quad (2.4)$$

sendo V_r a velocidade de projeto da embarcação e V_{rF} a velocidade da embarcação correspondente ao número de Froude 0,102. Já a correção em ângulo de mudança de rumo é dada por:

$$K_\alpha = \frac{\alpha - 15}{85}, \text{ para } 15^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ \quad (2.5)$$

onde $\alpha \geq 15^\circ$ e representa o ângulo de mudança de rumo.

Quanto à largura total nos trechos curvos com cruzamento, RIVA indica a formulação genérica abaixo:

$$W_c = W_r + S_j + S_m \quad (2.6)$$

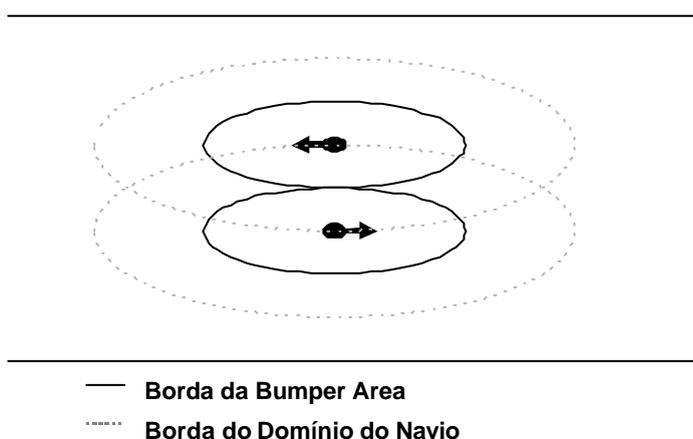
onde s_j e s_m são as sobrelarguras necessárias em trechos curvos a jusante e a montante, respectivamente.

FRANSEN et al.⁽¹⁵⁾ deram continuidade ao Projeto chamado “Great Belt Fixed Link”, o qual incluía a construção de uma ponte suspensa de grandes vãos em uma rota internacional de navios. O “Great Belt Fixed Link” corresponde à ligação das cidades de Zealand e Funen na Dinamarca com uma combinação de uma ponte e um túnel ligando uma pequena ilha chamada Sprogø. O estreito de Great Belt tem cerca de 17 km de largura, estando Sprogø aproximadamente no meio desse estreito. A ligação consistiria de três partes. A travessia do canal mais ocidental consistiria de ponte ferro e rodoviária e a travessia do canal mais ao leste consistiria de um túnel para o tráfego de trens e uma ponte suspensa para veículos automotores (The East Bridge). A East Bridge teria alguns pilares localizados na rota de navegação, estando assim expostos a riscos de colisões.

De maneira geral, FRANSEN et al. objetivaram o desenvolvimento de métodos usando a experiência de colisões de navios em pontes para avaliar os riscos de colisões nos pilares da Great Belt East Bridge. Basicamente, a tarefa era desenvolver um método para avaliar se uma ponte havia sido projetada prevendo a segurança na navegação de acordo com a situação atual de tráfego, as condições de navegação e do meio ambiente no local de construção. Isso conduziu a uma formulação de regras empíricas para se estimar o vão mínimo de navegação e um método de cálculo para se estimar o número de abalroamentos em uma ponte.

A idéia geral era estimar, por meio de análises estatísticas, os vãos necessários para a passagem das embarcações com um alto nível de segurança, utilizando-se, para a análise do espaço necessário para a passagem das embarcações em diferentes condições de navegação, a teoria chamada de “Domínio do Navio”. Tal teoria se fundamenta na prática de os pilotos das embarcações tentarem manter uma razoável distância das outras embarcações, objetos fixos, águas rasas, etc., constituindo, assim, uma área de segurança, sendo que tal distância varia em função da velocidade da embarcação, condições de visibilidade e vários outros aspectos de navegação. O domínio da embarcação pode também ser aproximado através da “bumper area”, definida como a área que uma embarcação de fato ocupa na hidrovia; ou seja, algo similar à faixa de navegação descrita por DIJKHUIS; SMITS⁽¹³⁾.

A menor distância aceitável na passagem de duas embarcações será quando as “bumper areas” das embarcações se tocarem, estando as embarcações em cima da borda do domínio da outra embarcação, como mostrado na Figura 2.8.



FONTE: FRANSEN et al.⁽¹⁵⁾ (fig. 1 da pág. 84)

Figura 2.8 – Embarcações e Respectivas “bumper areas” e Domínio Numa Hidrovia

FUJII; TANAKA apud FRANDSEN et al.⁽¹⁵⁾ analisaram o tráfego de embarcações em altas velocidades (10 a 15 nós) em estreitos japoneses, a partir de um grande conjunto de dados obtidos através de observações por radar. Eles observaram que a “bumper area” poderia ser estimada por uma elipse cujos eixos principais teriam dimensões calculadas a partir do comprimento da embarcação, de acordo com as seguintes expressões:

$$\text{Comprimento do eixo maior, na direção do curso: } 7L \pm L \quad (2.7)$$

$$\text{Comprimento do eixo menor, na direção perpendicular ao curso: } 3L \pm 0,5L \quad (2.8)$$

sendo L o comprimento total da embarcação.

Em estudos posteriores, FUJII et al. apud FRANDSEN et al.⁽¹⁵⁾ obtiveram os seguintes valores médios:

$$\text{Comprimento do eixo maior, na direção do curso: } 8,0L \quad (2.9)$$

$$\text{Comprimento do eixo menor, na direção perpendicular ao curso: } 3,2L \quad (2.10)$$

Estudos de TOYODA et al. apud FRANDSEN et al.⁽¹⁵⁾ conduziram a valores semelhantes e, finalmente, TANAKA; YAMADA apud FRANDSEN et al.⁽¹⁵⁾ chegaram a valores médios de 7L e 3L, respectivamente. É preciso dizer que estes são valores médios para diferentes condições de visibilidade e condições de vento, mas, principalmente, para regiões onde a largura permita navegação em altas velocidades, sem obstruções do canal por ilhas, águas rasas, etc., para regiões de grande densidade de tráfego e com um grande número de embarcações pequenas.

FUJII et al. também estudaram a “bumper area” para os portos de Tokyo e Yokohama, onde as embarcações navegavam a velocidades reduzidas (6 a 8 nós), obtendo os seguinte eixos para navegação em um único sentido:

$$\text{Comprimento do eixo maior, na direção do curso: } 6,0L \quad (2.11)$$

$$\text{Comprimento do eixo menor, na direção perpendicular ao curso: } 1,6L \quad (2.12)$$

Para a navegação nos dois sentidos, a largura do canal corresponde à largura total da “bumper area” de duas embarcações, acrescentando-se ainda a chamada zona de separação entre as “bumper areas”. FRANDSEN et al. indicam os valores de 0,3L a 1,8L para a zona de separação como valores médios oriundos da aplicação da Teoria do Domínio do Navio.

O comprimento L corresponde ao comprimento total da embarcação grande típica. A embarcação grande típica é determinada de forma que a grande maioria de embarcações que trafegue naquele trecho da hidrovia tenha tamanho menor ou igual ao dela. Mais especificamente, impõem-se que 95% do total das embarcações que passam sob a ponte em questão sejam menores ou iguais à embarcação grande típica.

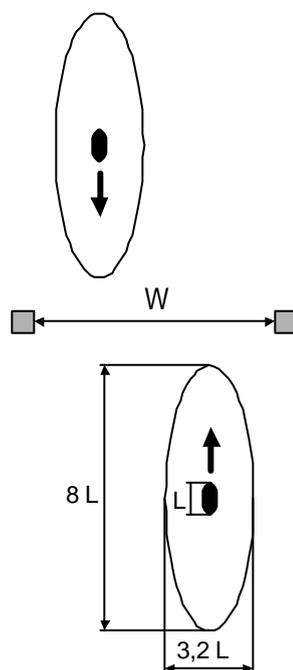
FRANDSEN et al., por derivação da Teoria do Domínio do Navio, chegam às seguintes formulações empíricas para embarcações trafegando em velocidade de serviço em dois sentidos:

$$W = (2 * 3,2 + a) L \quad (2.13)$$

e para embarcações trafegando em velocidades reduzidas:

$$W = (2 * 1,6 + b) L \quad (2.14)$$

onde W é igual ao vão de navegação e a e b são os coeficientes relativos as folgas entre “bumper areas” das embarcações e pilares da ponte e as folgas entre “bumper areas”, respectivamente. FRANDSEN et al. adotam $a = b = 1,0L$, fazendo a ressalva de que as formulações são válidas apenas se efeitos de curvas e outras obstruções no canal não existirem. A figura 2.9 apresenta a ilustração referente aos parâmetros das regras empíricas para a determinação do vão mínimo necessário para uma ponte.



FONTE: FRANDSEN et al.⁽¹⁵⁾ (fig. 2 da pág. 86)

Figura 2.9 – Parâmetros das Regras Empíricas Para Determinação do Vão Mínimo Necessário Para Uma Ponte

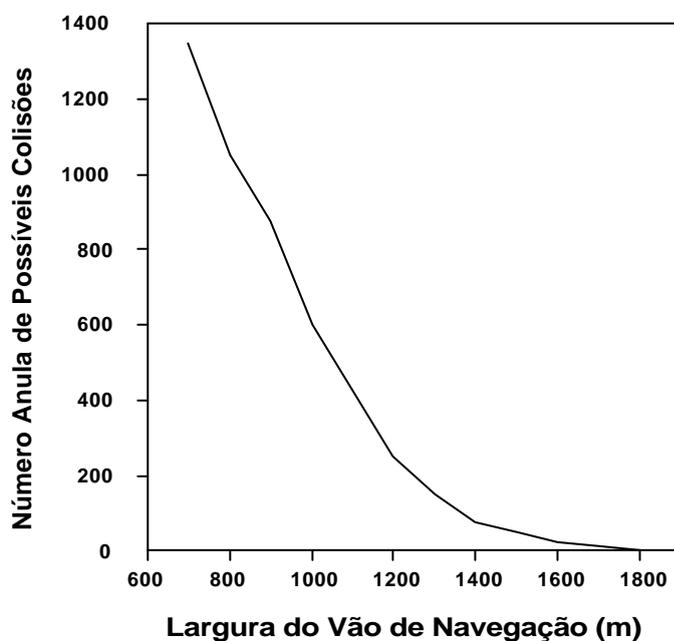
Como uma forma de validar a formulação, FRANDSEN et al. aplicam tais regras em pontes já existentes ao redor do mundo, confrontando as estatísticas de colisões, dos últimos 10 anos, em pontes com condições de navegação semelhantes a Great Belt Eastern Bridge. Foram aplicadas as formulações empíricas a 26 pontes do Canadá e dos Estados Unidos. Dentre elas, apenas 12 pontes atendiam aos valores de vãos mínimos encontrados pelas formulações. Das pontes que atendiam às formulações, apenas duas foram alvo de colisões por embarcações: a ponte Greater New Orleans e a ponte Newport Road, sendo que a primeira encontra-se em uma rota curva, não aplicando-se, assim, a formulação proposta. Já a segunda foi atingida por uma barcaça tanque em 1981, em condições de densa névoa.

Para as pontes que não atenderam às formulações, num total de 14, foram registradas 46 colisões nos últimos 10 anos. Com exceção da ponte Laviolette que possui um vão de 305 m (em lugar 350 m, valor obtido pela formulação) e da ponte Houston Ship Channel, que possui os pilares principais em lamina d'água de apenas 3m (entendendo-se que não há passagem de grandes embarcações), todas as outras pontes foram atingidas uma ou mais vezes por embarcações.

Outra aplicação das regras empíricas no estudo de FRANDSEN et al. é a estimativa da frequência com que duas embarcações se cruzam nas proximidades de uma ponte e a frequência com que as larguras de “bumper area” e as larguras de zona de separação excedem os atuais vãos. A largura total exigida, pela aplicação da equação 2.13 para os comprimentos de embarcações L_1 e L_2 a velocidade de serviço, seria:

$$3,2L_1 + 3,2L_2 + 0,5L_1 + 0,5L_2 = 3,7 (L_1 + L_2) \quad (2.15)$$

Se esta largura exceder a largura do vão existente, tem-se uma situação de possível colisão. Obviamente, a frequência da ocorrência de embarcações na zona próxima da ponte exige uma descrição estatística do tráfego, sendo o processo Poisson aceito segundo FRANDSEN et al. para se simular as aproximações de embarcações, visando o cálculo do número anual esperado de possíveis colisões em função do vão da ponte. O cálculo realizado para a ponte Great Belt sugere que o vão de navegação deveria ter 1800 m de largura para se evitar completamente o risco de colisões, sendo que um vão de 1600 m acarretaria um número esperado de 17 colisões por ano e um vão de 1200 m em aproximadamente, uma colisão por dia, como mostrado na Figura 2.10.



FONTE: FRANDSEN et al.⁽¹⁵⁾ (fig. 3 da pág. 89)

Figura 2.10 – Número Anual Esperado de Possíveis Colisões em Função dos Vãos de Navegação Propostos Para a Ponte Great Belt East

Foram calculados também o número anual de possíveis colisões em outras 9 pontes com navegação nos dois sentidos. A Tabela 2.5 mostra o volume anual aproximado de tráfego e o número anual esperado de colisões para cada uma dessas pontes.

Tabela 2.5 – Volume de Tráfego e Número Esperado de Colisões Para Pontes dos Estados Unidos e Canadá

| Nome da Ponte | Volume Anual Aproximado de Tráfego | Número Anual Esperado de Colisões |
|--------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Golden Gate | 37.000 | 0 |
| Greater New Orleans | 148.000 | 300 |
| Longview | 113.000 | 460 |
| Newport Road | 6.300 | 7 |
| Ogdenburg-Prescott | 3.000 | 160 |
| Richmond-San Raphael | 8.000 | 40 |
| Sunshine Skyway | 4.000 | 88 |
| Tappan Zee | 4.400 | 2 |
| William. Preston Lane Jr | 11.000 | 640 |

FONTE: FRANSEN et al.⁽¹⁵⁾ (Tab. 2 da pág. 89)

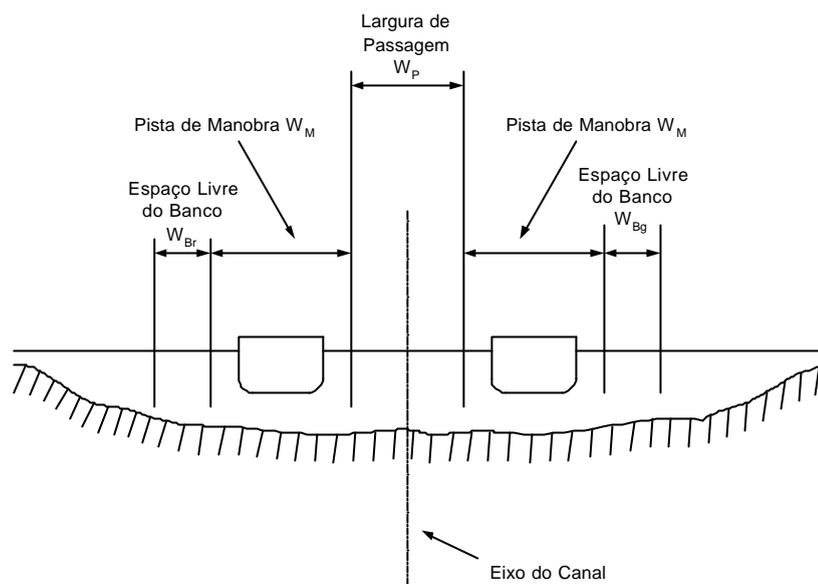
Observa-se que os resultados obtidos para a ponte Greater New Orleans e para a Longview Bridge sugerem quase uma possível colisão por dia, o que é um número muito alto levando-se em conta que o vão atende às regras empíricas. FRANSEN et al. atribuem tal número ao tráfego muito intenso na via em questão, o que acarreta várias situações de encontros múltiplos de embarcações. O resultado para a ponte de William. Preston Lane Jr indica aproximadamente duas colisões esperadas por dia, o que reforça a idéia de que o vão é realmente estreito. Já para as pontes Golden Gate, Sunshine Skyway, Newport Road, Tappan Zee e Richmond-San Raphael, os números esperados de colisões mostram-se muito baixos, em virtude principalmente de uma baixa densidade de tráfego e da baixa proporção de embarcações grandes.

FRANSEN et al. concluem que o número esperado de colisões em uma ponte é altamente dependente do tráfego de embarcações e da distribuição de classes de tamanhos de embarcações. Concluem, ainda, que existe uma tendência de as pontes, que não seguem as regras empíricas em relação aos vãos mínimos, terem um grande número de situações de risco e de possíveis colisões de embarcações.

O Permanent International Association of Navigation Congresses - PIANC, em virtude de mudanças nos tipos e tamanhos de embarcações e nas densidades de tráfego em canais, que certamente têm exigido uma maior consciência com relação a riscos marítimos e ambientais, iniciou ainda na década de oitenta, um estudo detalhado que visou obter subsídios para se projetar com maior racionalidade canais de acesso a portos. O estudo é focado em duas fases distintas: o projeto de concepção e o projeto de detalhamento. Uma primeira parte do estudo referente ao projeto de concepção, foi publicada em 1995 pelo PIANC⁽¹⁶⁾, estando o restante do estudo, que diz respeito ao projeto de detalhamento, ainda inacabado.

O projeto de concepção utiliza-se de informações de canais de todo o mundo, que, de certa forma, dão uma boa representação da prática moderna de operações em canais. Dessa forma, o projeto de concepção pode servir para o projeto preliminar de muitos canais, mas eventuais inadequações devem ser avaliadas no projeto de detalhamento.

Tomando como base a Figura 2.11, que ilustra uma seção de um canal, o projeto de concepção relaciona os parâmetros constantes na Tabela 2.6, para o dimensionamento dos respectivos elementos de largura do canal.



FONTE: PIANC / IAPH ⁽¹⁶⁾ (fig. 11 pág. 17)

Figura 2.11 – Elementos de Largura no Canal

Tabela 2.6 – Parâmetros Relacionados no Projeto de Concepção

| |
|--|
| Pista de manobrabilidade básica Adicional de velocidade Adicional de Ventos Transversais Adicional de Corrente Transversal Adicional de Corrente Longitudinal Adicional de Ondas Adicional de Ajuda de Navegação Adicional de Superfície de Leito Adicional de Profundidade de Via Adicional de Carga Perigosa Espaço de Banco |
|--|

A largura do canal W de uma hidrovia com navegação em um único sentido é dada por:

$$W = W_{BM} + \sum_{i=1}^n W_i + W_{Br} + W_{Bg} \quad (2.16)$$

e para um canal com navegação em ambos os sentidos por:

$$W = 2 W_{BM} + 2 \sum_{i=1}^n W_i + W_{Br} + W_{Bg} + W_P \quad (2.17)$$

onde W_{Br} e W_{Bg} são as larguras correspondentes a distância dos bancos marginais ao canal, W_P a largura de passagem entre as embarcações, W_{BM} a largura da pista de manobrabilidade básica, inerente ao navio e W_i ($i=1, \dots, n$; onde cada W_i corresponde a um dos fatores indicados na tabela 2.6) a largura adicional referente a cada uma das características locais de navegação.

A largura da pista de manobrabilidade básica W_{BM} é obtida a partir da Tabela 2.7, que associa o produto de uma constante pela boca da embarcação em função de uma classificação de manobrabilidade do navio. Embora essa classificação de manobrabilidade utilizada seja um tanto subjetiva (“boa”, “moderada” e “pobre”), nesse mesmo trabalho do PIANC / IAPH, são feitas algumas considerações sobre vários aspectos de manobrabilidade e situações de operação que possibilitam uma classificação razoável, tendo em mente que se encontra em um estágio de projeto preliminar.

Tabela 2. 7 – Pista de Manobrabilidade Básica

| Manobrabilidade do Navio | Boa | Moderada | Pobre |
|---------------------------------|------------|-----------------|--------------|
| Pista de Manobrabilidade Básica | 1,3 B | 1,5 B | 1,8 B |

FONTE: PIANC / IAPH ⁽¹⁶⁾ (tab. 1 pág. 13)

A largura adicional referente às características locais de navegação W_i leva em consideração inúmeros aspectos peculiares ao local. Esses aspectos abordam desde elementos ambientais, como ventos, correntes e ondas, além de características morfológicas do local, até o tipo de carga transportada. A tabela 2.8 dá os valores adicionais condizentes à navegação local para cada item, associando (assim como na largura da pista de manobrabilidade básica) o produto de uma constante pela boca do navio à classificação específica de cada item, havendo distinção entre a navegação em águas abrigadas e a navegação em águas abertas.

Tabela 2.8 – Larguras Adicionais Para Seção Reto do Canal

| Característica Local de Navegação W_i | Canal Externo (Águas Abertas) | | Canal Interior (Água Protegidas) |
|--|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| (a) Velocidade do Navio (nós) | | | |
| - Rápida > 12 | 0,3 B | | 0,0 B |
| - Moderada > 8 – 12 | 0,3 B | | 0,0 B |
| - Baixa 5 – 8 | 0,3 B | | 0,0 B |
| Característica Local de Navegação W_i | Velocidade Do Navio | Canal Externo (Águas Abertas) | Canal Interior (Água Protegidas) |
| (b) Predominância de Ventos Transversais (nós) | | | |
| - Suave ≤ 15 | Todas | 0,0 | 0,0 |
| - Moderado > 15 – 33 | Rápida | 0,3 B | - |
| | Moderada | 0,4 B | 0,4 B |
| | Baixa | 0,5 B | 0,5 B |
| - Severo > 33 – 48 | Rápida | 0,6 B | - |
| | Moderada | 0,8 B | 0,8 B |
| | Baixa | 1,0 B | 1,0 B |
| (c) Predominância de Correntes Transversais (nós) | | | |
| - Desprezível < 0,2 | Todas | 0,0 | 0,0 |
| - Baixa 0,2 – 0,5 | Rápida | 0,1 B | - |
| | Moderada | 0,2 B | 0,1 B |
| | Baixa | 0,3 B | 0,2 B |
| - Moderada > 0,5 – 1,5 | Rápida | 0,5 B | - |
| | Moderada | 0,7 B | 0,5 B |
| | Baixa | 1,0 B | 0,8 B |
| - Forte | Rápida | 0,7 B | - |
| | Moderada | 1,0 B | - |
| | Baixa | 1,3 B | - |

Tabela 2.8 - Continuação

| | | | |
|---|---------------------------------------|--|-----------------------|
| (d) Predominância de Correntes Longitudinais (nós) - Baixa $\leq 1,5$ - Moderada $> 1,5 - 3$ - Forte > 3 | Todas | 0,0 | 0,0 |
| | Rápida Moderada Baixa | 0,0 0,1 B 0,2 B | - 0,1 B 0,2 B |
| (e) Altura de Onda Significativa H e Comprimento λ (m) - $H_s \leq 1$ e $\lambda \leq L$ - $3 > H_s$ e $\lambda \approx L$ - $H_s > 3$ e $\lambda > L$ | Todas | 0,0 | 0,0 |
| | Rápida Moderada Baixa | 2,0 B 1,0 B 0,5 B | |
| | Rápida Moderada Baixa | 3,0 B 2,2 B 1,5 B | |
| Característica Local de Navegação W_i | Canal Externo (Águas Abertas) | Canal Interior (Água Protegidas) | |
| (f) Ajuda na Navegação - excelente com controle de tráfego - bom - média, visibilidade pobre não freqüente - média, visibilidade pobre freqüente | 0,0 0,1 B 0,2 B $\geq 0,5$ B | 0,0 0,1 B 0,2 B $\geq 0,5$ B | |
| (g) Superfície do Leito - se profundidade $\geq 1,5$ T - se profundidade $< 1,5$ T então - liso e suave - duro e liso ou inclinado - áspero e duro | 0,0 0,1 B 0,1 B 0,2 B | 0,0 0,1 B 0,1 B 0,2 B | |
| (h) Profundidade da via - $\geq 1,5$ T - $1,5$ T – $1,25$ T - $< 1,25$ T | 0,0 0,1 B 0,2 B | $\geq 1,5$ T $< 1,5$ T – $1,15$ T $< 1,15$ T | 0,0 0,2 B 0,4 B |
| (i) Nível de Periculosidade da Carga - Baixo - Médio - Alto | 0,0 $\geq 0,5$ B $\geq 1,0$ B | 0,0 $\geq 0,4$ B $\geq 0,8$ B | |

FONTE: PIANC / IAPH ⁽¹⁶⁾ (tab. 2 pág. 13 e 14)

A classificação das cargas quanto à periculosidade, mencionada na tabela 2.8, item i, é apresentada na tabela 2.9.

Tabela 2.9 – Classificação das Cargas Quanto à Periculosidade

| Nível de Periculosidade | Carga |
|-------------------------|---|
| Baixo | Containers, passageiros, carga geral, granel, carga fracionada, Ro-Ro Óleo Combustível LPG, LNG, Químicos de todas as classes |
| Médio | |
| Alto | |

FONTE: PIANC / IAPH ⁽¹⁶⁾ (tab. 5 pág. 18)

A distância de passagem entre embarcações W_p é função da velocidade da embarcação e da densidade de tráfego no local. A tabela 2.10 associa o produto de uma constante pela boca da embarcação à velocidade e à densidade de tráfego, fazendo distinção entre águas abrigadas e águas abertas.

Tabela 2.10 – Distância de Passagem Entre Embarcações Para Tráfego nos Dois Sentidos da Via

| Distância de Passagem W_p | Canal Externo (Águas Abertas) | Canal Interior (Águas Protegidas) |
|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| Velocidade do Navio (nós) | | |
| - Rápida > 12 | 2,0 B | - |
| - Moderada > 8 – 12 | 1,6 B | 1,4 B |
| - Baixa 5 – 8 | 1,2 B | 1,0 B |
| Densidade de Tráfego | | |
| - Leve | 0,0 | 0,0 |
| - Moderado | 0,2 B | 0,2 B |
| - Pesado | 0,5 B | 0,4 B |

FONTE: PIANC / IAPH ⁽¹⁶⁾ (tab. 3 pág. 15)

A densidade de tráfego é classificada segundo a tabela 2.11, e está relacionada com o número de embarcações que transitam pelo local por unidade de tempo.

Tabela 2.11 – Classificação da Densidade de Tráfego na Via

| Categoria | Densidade De Tráfego (Navios / Hora) |
|------------------|---|
| - Leve | 0 – 1,0 |
| - Moderada | > 1,0 - 3,0 |
| - Pesada | > 3,0 |

FONTE: PIANC / IAPH ⁽¹⁶⁾ (tab. 6 pág. 19)

Por último, as larguras correspondentes às distâncias dos bancos marginais ao canal W_{Br} e W_{Bg} são obtidas a partir da tabela 2.12. Assim como todas as outras larguras vistas anteriormente, as larguras correspondentes aos bancos marginais são expressas por meio do produto de uma constante pela boca da embarcação. Esta constante está relacionada à inclinação da margem do canal e à condição de existência de estruturas rígidas na proximidade do leito do canal.

Tabela 2.12 – Distâncias Adicionais Devido aos Bancos Marginais

| Característica Local de Navegação (W_{Br} e W_{Bg}) | Velocidade do Navio | Canal Externo (Águas Abertas) | Canal Interior (Águas Protegidas) |
|--|--------------------------------|--|--|
| Inclinação na margem do canal e baixios: | Rápida | 0,7 B | - |
| | Moderada | 0,5 B | 0,5 B |
| | Baixa | 0,3 B | 0,3 B |
| Estruturas ou diques rígidos íngremes: | Rápida | 1,3 B | - |
| | Moderada | 1,0 B | 1,0 B |
| | Baixa | 0,5 B | 0,5 B |

FONTE: PIANC / IAPH ⁽¹⁶⁾ (tab. 4 pág. 15)

Salienta-se nesta publicação do PIANC / IAPH, que esse guia deverá ser sucedido pelo projeto de detalhamento, devendo o projetista tê-lo com um primeiro parâmetro no dimensionamento do canal.

2.3 – Comentários Sobre a Bibliografia Consultada

A revisão bibliográfica apresentada retrata, de certa forma, o panorama da literatura existente no campo de acidentes em vias navegáveis. Os estudos estatísticos são importantes para que possamos não só ter dados quantitativos a respeito do problema, mas também como para priorizar os tipos de acidentes a serem considerados. O estudo realizado pelo Departamento de Hidrovias e Recreação da Califórnia é útil para o presente trabalho, no sentido que indica a forma como manipular os dados registrados e pela própria metodologia de análise do causa e efeito. As outras duas referências de estudos estatísticos descritas na revisão bibliográfica contribuem similarmente, contudo dão outras contribuições à parte. O trabalho de NEVES constitui um marco no cenário de quantificar a dimensão de acidentes em águas brasileiras, tendo sido o primeiro, e até o presente, o único trabalho estatístico sobre a acidentes em águas nacionais.

Já o trabalho de VAN MANEN; FRANDSEN é importante uma vez que trabalha com estatísticas mundiais com um bom nível de detalhes e em um grande período de tempo. Além disto, o trabalho trata de estatísticas específicas de um determinado tipo de acidentes: a colisão de embarcações em pontes. Sem dúvida alguma, serve de parâmetro ao se buscar objetos de comparação.

Com respeito às referências que abordam aspectos relacionados ao dimensionamento de vãos em vias navegáveis, o que realmente nota-se é que a tarefa de se dimensionar esses vãos não é simples. É complexa, uma vez que trata da interação entre a via navegável, a embarcação, a figura humana e aspectos

ambientais. Os vãos navegáveis estão intimamente relacionados a essa grande interação, onde quantificá-la e posteriormente equacioná-la em uma formulação envolve trabalho árduo.

É sobre a ótica de se buscar a compreensão dessa interação que o trabalho de FRANDSEN et al, embora apresente bons resultados para o caso estudado e se proponha a dimensionar vãos de grandes pontes e não de canais, soa menos racional do que o desenvolvido pelo PIANC / IAPH e mesmo o realizado por DIJKHUIS; SMITS, uma vez que os dois últimos, efetivamente, consideram as iterações do meio ambiente e outros aspectos locais, pouco ou não abordados no primeiro.

Contudo, todos os trabalhos descritos preocupados ao dimensionamento de vãos navegáveis, obviamente, estão sujeitos a alguma limitação. O que é certo, é que não só dão grande contribuição, como poderão ser de grande valia no campo de dimensionamento de vãos de vias navegáveis.

CAPÍTULO 3 – IDENTIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS DA VIA

Neste capítulo são identificados os elementos da via, entre eles, suas limitações físicas, a composição da frota de embarcações existente na hidrovia Tietê-Paraná e o perfil da mão-de-obra embarcada, elemento fundamental na integração das embarcações à via navegável; também merece atenção a questão do balizamento na hidrovia Tietê-Paraná, abordando os sinais flutuantes, representados pelas bóias cegas, e os sinais fixos, representados pelas placas de margens e torres com faróletes e faróis. São apresentados também, tanto na identificação da frota como da mão-de-obra embarcada, aspectos relacionados à legislação e regulamentação.

3.1 – Identificação das embarcações da hidrovia Tietê-Paraná

A identificação das embarcações da hidrovia Tietê-Paraná foi feita com o auxílio dos registros da Capitania Fluvial de Barra Bonita. O que se pretendeu, com relação às embarcações, foi fazer um diagnóstico estatístico sobre o número e o tipo das embarcações, assim como o crescimento da frota por tipo de embarcação ao longo do tempo, com o intuito de, posteriormente, relacioná-lo com os dados sobre os acidentes envolvendo tais embarcações. Para tanto, foram examinados os blocos de embarcações registradas até o ano de 1993 e, posteriormente, o acréscimo no número de registro em cada ano, até 1998.

Como apenas as embarcações comerciais precisam renovar anualmente as licenças de registro na Capitania Fluvial, ficando as embarcações de recreio e pesca isentas de tal obrigação, não foi possível determinar o número efetivo de embarcações não comerciais. Isto decorre do fato de que muitas dessas embarcações de recreio, apesar de registradas na Capitania Fluvial, podem estar fora de uso. No que se refere às embarcações comerciais, por estar o proprietário obrigado a licenciá-las anualmente na Capitania Fluvial, é possível verificar a sua efetiva utilização na hidrovia.

A Capitania Fluvial de Barra Bonita tem registro dos seguintes tipos de embarcações comerciais na Hidrovia Tietê-Paraná: Balsa, Barcaça, Batelão, Draga, Draga de Sucção, Chata e Empurrador. Essas embarcações, na Hidrovia Tietê-Paraná, transportam as seguintes cargas, respectivamente:

- Balsa: veículos e pessoas;
- Barcaça: cana-de-açúcar;
- Batelão: areia;
- Draga: areia, cascalho e pedra;
- Draga de Sucção: apenas realiza a extração da areia;
- Chata: álcool, soja, farelo de soja, óleo vegetal, trigo, milho, xarope de cana, calcário;
- Empurrador: usados na locomoção das embarcações não propelidas como chatas, balsas e barcaças.

A Figura 3.1 mostra o crescimento do número de embarcações comerciais na Hidrovia Tietê-Paraná, a partir do ano de 1993.

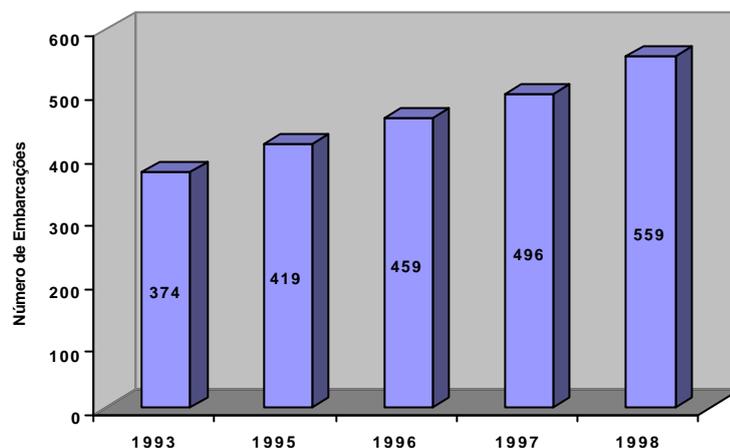


Figura 3.1 – Crescimento do Número de Embarcações Comerciais na Hidrovia Tietê-Paraná

Nota-se um crescimento da frota de ano para ano, o que condiz com o panorama de movimentação de cargas na Hidrovia Tietê-Paraná, no período. Como visto na figura 3.1, existem hoje quase 600 embarcações classificadas como comerciais operando na Hidrovia Tietê-Paraná.

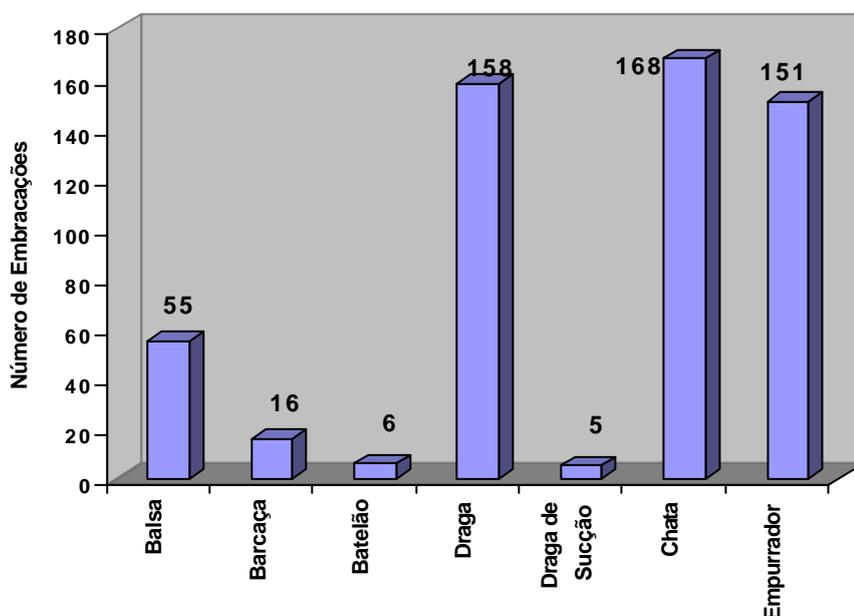
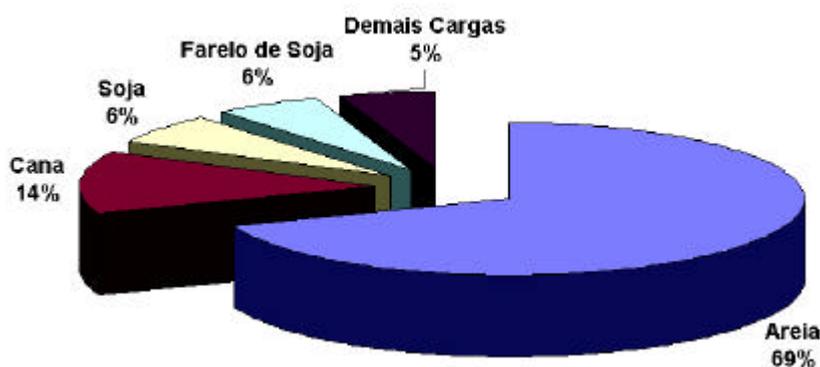


Figura 3.2 – Distribuição da Frota de Embarcações da Hidrovia Tietê-Paraná por Tipo

Nota-se, pela Figura 3.2, que os tipos de embarcações comerciais mais encontradas na hidrovia são chata, draga e empurrador. As embarcações responsáveis pelo transporte de carga a grandes distâncias na hidrovia Tietê-Paraná são os comboios de empurra, formados pelas chatas e pelos empurradores. Podemos dizer então que 168 chatas são responsáveis pelo transporte de carga a grandes distâncias na Hidrovia Tietê-Paraná.

Já o transporte a pequenas distâncias é praticado pelas dragas e comboios formados por barcaças de cana-de-açúcar; as dragas são responsáveis pela grande maioria do volume de carga transportada na hidrovia, como pode ser observado na Figura 3.3, que mostra a movimentação de carga na Hidrovia Tietê-Paraná no ano de 1998 e da Tabela 3.1, que mostra a distância percorrida por cada tipo de carga e o respectivo volume transportado no ano de 1998.



FONTE: CESP⁽⁹⁾ (gráf. 2.1 da pág. 4)

Figura 3.3 – Movimentação de Carga na Hidrovia Tietê-Paraná

no Ano de 1998 por Tipo de Carga

Tabela 3.1 – Distância Percorrida por Tipo de Carga na Hidrovia Tietê-Paraná (1998)

| Tipo de Carga | Origem | Destino | Distância | Carga (t) |
|-------------------------|-----------------|---------------------|------------------|--------------------|
| Álcool | B. Alegre | Sta. M. S. / SP 191 | 340 | 18.956 |
| | Bataguaçu | Sta. M. S. / SP 191 | 725 | 2.591 |
| Areia | Res. Itaipu | | 170 | 1.161.781 |
| | Eclusas (Tietê) | | 30 | 154.770 |
| | Reser. (Tietê) | | 15 | 1.688.912 |
| | Reser. (Paraná) | | 15 | 967.939 |
| Pedra (Cascalho) | Eclusas (Tietê) | | 15 | 185.832 |
| Soja | S. Simão | Pederneiras | 654 | 109.366 |
| | S. Simão | Sta. M. Serra | 719 | 57.392 |
| | S. Simão | Anhembi (M) | 752 | 18.188 |
| | S. Simão | Anhembi (T) | 751 | 14.869 |
| | S. Del Guaíra | Epitácio | 341 | 62.760 |
| | Term. La Paz | Epitácio | 531 | 87.190 |
| | S. Simão | Panorama | 450 | 12.990 |
| Farelo de Soja | S. Simão | Pederneiras | 654 | 108.396 |
| | S. Simão | Anhembi (T) | 752 | 220.870 |
| | S. Simão | Anhembi (M) | 415 | 5.990 |
| Óleo de Soja | S. Simão | Anhembi (T) | 751 | 2.023 |
| Trigo | Term. La Paz | Epitácio | 531 | 30.074 |
| Cana | T. Barreiro | Us. Diamante | 52 | 118.426 |
| | T. Floresta | Us. Diamante | 82 | 311.515 |
| | T. Itapui | Us. Diamante | 23 | 117.911 |
| | T. Boracéia | Us. Diamante | 50 | 230.104 |
| Milho | Term. La Paz | Epitácio | 531 | 7.871 |
| | S. Simão | Sta. M. Serra | 719 | 2.116 |
| Xarope de Cana | T. Usina Gaza | Anhembi | 515 | 45.586 |
| Calcário | Anhumas | Araçatuba | 446 | 5.884 |
| Outras | | | 60 | 888 |
| Total | | | | 5.751.190 |

FONTE:CESP⁽⁹⁾ (quadro 3 da pág. 8)

Já a figura 3.4 mostra a evolução ao longo dos anos da frota de chatas em operação na Hidrovia Tietê-Paraná. Nota-se um crescimento de ano para ano do número de chatas em operação na hidrovia, sendo 1996 o ano de maior crescimento, com 18 chatas incorporadas à frota.

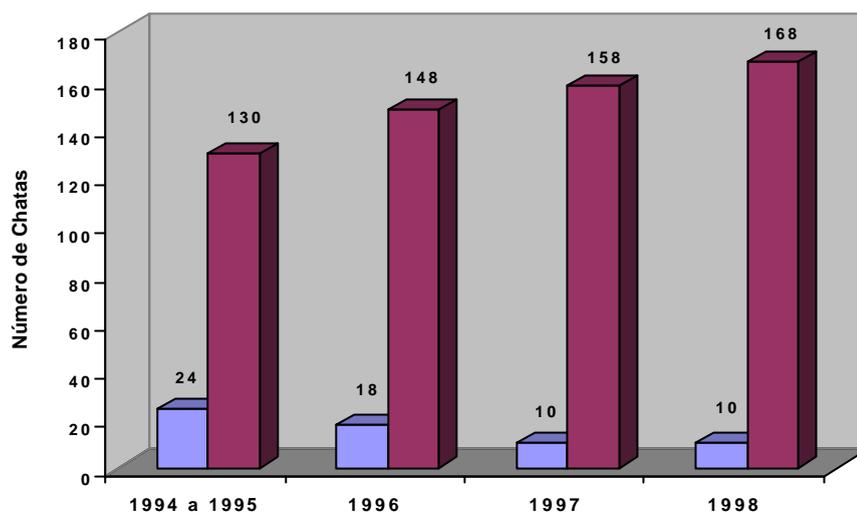


Figura 3.4 – Evolução da Frota de Chatas na Hidrovia Tietê-Paraná

Finalmente, a figura 3.5 mostra a evolução da frota de embarcações na Hidrovia Tietê-Paraná por tipo de embarcação.

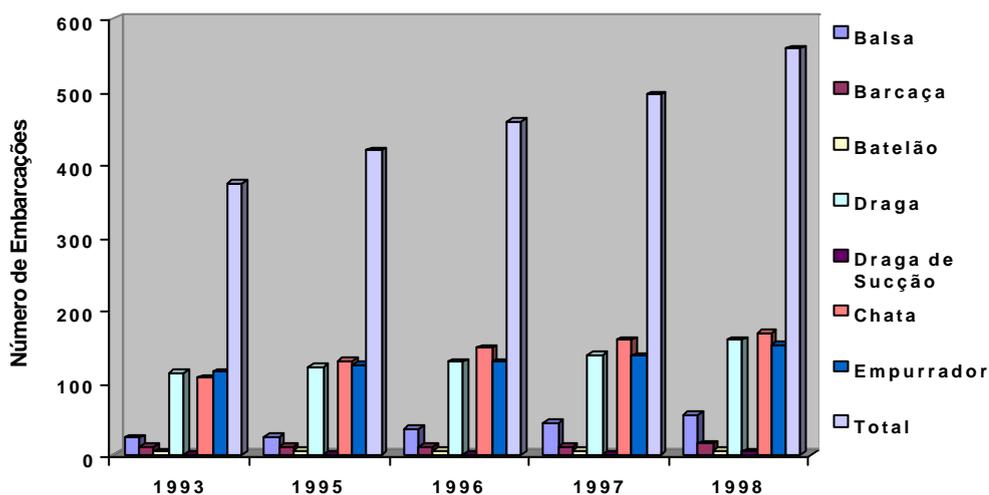


Figura 3.5 – Evolução da Frota de Embarcações na Hidrovia

Tietê-Paraná por Tipo de Embarcação

3.1.2 – Regulamentação de Embarcações na Hidrovia Tietê-Paraná

A regulamentação das embarcações na hidrovia Tietê-Paraná é feita através das “Normas da Autoridade Marítima para Embarcações Empregadas na Navegação Interior - Normam-02”⁽¹⁷⁾, que regulamenta as embarcações utilizadas na navegação interior brasileira.

A Normam – 02 estabelece desde o número e qualificação de tripulantes a bordo das embarcações até critérios de construção, manutenção e operação de embarcações em hidrovias interiores nacionais.

Segundo ela, toda embarcação, para operação segura, deverá ser guarnecida por um número mínimo de tripulantes, estabelecido qualitativa e quantitativamente, denominado Tripulação de Segurança. A tripulação de Segurança difere da lotação, que expressa o número máximo de pessoas autorizadas a embarcar, incluindo tripulantes, passageiros e profissionais não tripulantes. A composição da tripulação de segurança é fixada no Cartão de Tripulação de Segurança (CTS) e é emitido pelas Capitânicas, Delegacias ou Agências.

Para embarcações com arqueação bruta (AB)² até 10 não se emite CTS, sendo a tripulação de segurança fixada no chamado Título de Inscrição da Embarcação (TIE). Toda embarcação nacional, exceto da Marinha de Guerra, está sujeita à inscrição nas Capitânicas dos Portos e órgãos subordinados. As embarcações são

² Parâmetro adimensional determinado de acordo com as prescrições da NORMAM – 02.

inscritas e/ou registradas, através de solicitações às capitânicas dos Portos, Delegacias e Agências, preferencialmente na área referente à capitania mais próxima do domicílio do proprietário ou na área de operação da embarcação.

A Normam – 02 exige que os pedidos de inscrição e/ou registro devam ser efetuados num prazo de 15 dias após a aquisição da embarcação ou de sua chegada ao porto onde será inscrita e/ou registrada. Os procedimentos para inscrição dependem da arqueação bruta da embarcação, sendo que embarcações com arqueação bruta (AB) inferiores a 50 deverão dirigir-se ao órgão de inscrição para aquisição do chamado Boletim de Atualização de Embarcações (BADE).

Segundo a Normam – 02, todas as embarcações com arqueação bruta maior que 500 e todos os rebocadores e empurradores com potência instalada maior que 1490 kW (2000 HP), mesmo com AB inferior a 500, empregados na navegação interior, para os quais for solicitada a Licença de Construção, Alteração ou Reclassificação com alteração estrutural de vulto, a ser julgada pela DPC, ou Documento de Regularização, devem, obrigatoriamente, ser mantidos em classe por uma Sociedade Classificadora reconhecida para atuar em nome do Governo Brasileiro.

Existe na Normam – 02 um Grupo Especial de Vistorias que tem como objetivo vistoriar alguns tipos de embarcações. O “GEV” classifica embarcações com as seguintes características:

-
- toda embarcação não classificada, com ou sem propulsão, destinada ao transporte de passageiros, e com $AB > 50$;
 - flutuantes não classificados, com $AB > 50$ que operem com mais de 12 pessoas a bordo;
 - embarcações não classificadas, com propulsão, não destinadas ao transporte de passageiros, e com $AB > 100$;
 - embarcações não classificadas, sem propulsão, não destinadas ao transporte de passageiros, e com $AB > 200$
 - flutuantes não classificados, com $AB > 200$ que operem com mais de 12 pessoas a bordo.

Toda embarcação já classificada ou enquadrada como embarcação dita “GEV” não precisará da Licença de Construção para ser construída no país para a bandeira nacional ou para exportação, ou no exterior para a bandeira nacional. Precisar, sim, no caso de sofrer alterações ou ser reclassificada, de obter as Licenças de Alteração ou Reclassificação. Tais embarcações, quando adquiridas no exterior para a bandeira nacional e cuja construção já tenha sido concluída, deverão obter um Documento de Regularização.

Já embarcações não classificadas e não enquadradas como embarcação “GEV” estão dispensadas da obtenção de Licenças de Construção, Alteração e Reclassificação e do Documento de Regularização.

Todos os rebocadores empregados na Navegação Interior que possuam potência instalada maior que 300 HP são obrigados a portar um Certificado de

Tração Estática.

Os rebocadores empregados na navegação interior, que possuam potência instalada menor ou igual a 300 HP, somente poderão realizar serviços de reboque na navegação de mar aberto, mesmo que temporariamente, caso possuam um Certificado de Tração Estática.

De maneira geral, a documentação pertinente à Licença de Construção ou Documento de Regularização a ser concedida pelo Grupo Especial de Vistorias (GEV), através da Capitania, Delegacia ou Agência de jurisdição do estaleiro construtor, é a seguinte:

- 1) ART (Anotações de Responsabilidade Técnica) referente ao projeto da embarcação, em via original, caso se trate de embarcação nova; ART referente ao levantamento técnico, caso se trate de embarcação construída sem acompanhamento de responsável técnico;
- 2) Memorial Descritivo, de acordo com o modelo constante no ANEXO A - 1;
- 3) Plano de Arranjo Geral;
- 4) Plano de Linhas;
- 5) Curvas Hidrostáticas e Cruzadas e/ou Tabelas (ou listagem de computador);
- 6) Plano de Segurança (dispensável para as embarcações não tripuladas e que não possuam equipamentos ou dispositivos de segurança e/ou combate a incêndio);

-
- 7) Plano de Arranjo de Luzes de Navegação;
 - 8) Plano de Capacidade;
 - 9) Plano de Seção Mestra e Perfil Estrutural;
 - 10) Relatório da Prova de Inclinação ou, para as embarcações sem propulsão que apresentem edificações acima do convés, com valor da posição vertical do centro de gravidade da embarcação leve inferior a 65% do pontal moldado, Relatório da Medição de Porte Bruto;
 - 11) Folheto de Trim e Estabilidade Definitivo;
 - 12) Cartão de Tripulação de Segurança Inicial.

Existem, para embarcações já classificadas, alguns documentos adicionais e algumas diferenças entre os mesmos documentos exigidos, como por exemplo o Plano de Expansão do Chapeamento. Já para embarcações não classificadas e não enquadradas como embarcação “GEV”, a documentação necessária é menor, constando, para embarcações com arqueação bruta maior a 20, os seguintes documentos:

- 1) ART referente ao projeto da embarcação em guia original, caso se trate de embarcação nova; ART referente ao levantamento técnico, caso se trate de embarcação construída sem acompanhamento de responsável técnico;
- 2) Memorial Descritivo de acordo com o modelo constante no ANEXO A - 1;
- 3) Declaração do responsável técnico, caracterizando as condições de carregamento nas quais a embarcação deve operar, de acordo com modelo constante no ANEXO A - 2.

Embarcações não classificadas e não enquadradas como embarcação “GEV” com arqueação bruta inferior a 20 não são obrigadas a apresentar os documentos acima.

Nota-se que, de maneira geral, as “Normas da Autoridade Marítima para Embarcações Empregadas na Navegação Interior - Normam-02”, contêm níveis satisfatórios de exigência, relativos à segurança, abrangendo vários critérios, entre eles, de capacidade, de segurança, estruturais, de potência mínima, e principalmente de estabilidade. Contudo, um dos itens ignorado pela Normam – 02 é o critério de manobrabilidade, de vital importância para navegação segura. Não existe, no ato de inscrever ou registrar qualquer que seja a embarcação nas Capitânicas, Delegacias ou Agências, a obrigatoriedade de se apresentar qualquer prova de que a embarcação possui uma capacidade de manobrabilidade que a habilite a navegar na hidrovia desejada, ficando a critério do projetista e/ou construtor o bom senso ao projetar a embarcação.

É importante comentar que está prevista na Normam – 02 normas específicas para cada capitania, havendo na hidrovia Tietê-Paraná as “Normas e Procedimentos da Capitânia Fluvial Tietê-Paraná”, sendo que tais normas estão mais voltadas a procedimentos de operação das embarcações na hidrovia em questão.

3.2 – Identificação dos pontos críticos à navegação

A identificação dos pontos que possam vir a trazer qualquer empecilho à navegação é de vital importância ao trabalho aqui em questão. A sistemática de

identificação de tais pontos foi feita, examinando todos os elementos que possam representar risco operacional à navegação na hidrovia. Para tanto, foram considerados os pontos relativos a obstáculos fixos e obstáculos móveis. Os primeiros são representados por pontes, eclusas, canais artificiais, raios de curvatura e dutos aquáticos, enquanto os segundos estão representados por travessias de balsas.

Tal identificação foi realizada com o auxílio de vários trabalhos realizados por órgãos ligados à hidrovia Tietê-Paraná e ao Ministério dos Transportes e de visitas realizadas a pontos ao longo da hidrovia.

Para a pesquisa foram examinados diversos materiais, dentre eles, plantas topográficas e batimétricas, fotos, perfis das seções de canais, pontes, eclusas, raios de curvatura.

3.2.1– Pontes

As pontes representam obstáculos importantíssimos à navegação. Deve haver uma compatibilidade entre as dimensões das embarcações e os vãos de navegação em pontes. Existem tanto a limitação horizontal quanto a vertical do retângulo navegável, uma vez que o segundo, principalmente em hidrovias onde existe represamentos em virtude de hidrelétricas, é agravado em épocas de cheias em virtude do alto nível d' água. Outro fator de grande agravamento com relação ao cruzamento de embarcações nesses vãos é o grau de esconsidade, que é definido como o ângulo formado entre a direção do fluxo d' água e o eixo longitudinal da obra no local de travessia.

3.2.1.1– Pontes Sobre o Rio Tietê

O rio Tietê é dotado de 12 pontes rodoviárias e 1 ferroviária no trecho compreendido entre Conchas, no estado de São Paulo e sua foz, no Rio Paraná, totalizando 574km de via navegável. A tabela 3.2 mostra as pontes rodoviárias com dois vãos para a navegação sobre o Rio Tietê e a tabela 3.3, as pontes rodoviárias e a ferroviária com um único vão.

Tabela 3.2 – Pontes Rodoviárias Sobre o Rio Tietê Com
Dois Vãos Para a Navegação

| Denominação | Ligação Rodoviária | Dimensões dos Vãos (m) |
|------------------|-----------------------------------|------------------------|
| SP 595 | Andradina(SP) /Ilha Solteira(SP) | 38,5 |
| Ponte P. Barreto | Pereira Barreto(SP)/Andradina(SP) | 51,0 |
| SP 461 | Birigüi(SP) /Buritama(SP) | 38,5 |
| SP 425 | Penápolis(SP) /S. J. R. Preto(SP) | 37,5 |
| SP 333 | Cafelândia(SP) / Borborema(SP) | 40,0 |
| Ponte B. Bonita | Igaraçu(SP) / Barra Bonita(SP) | 27,0 |

Tabela 3.3 - Pontes Rodoviárias e Ferroviária Sobre o Rio Tietê Com
Um Único Vão Para a Navegação

| Denominação | Ligação Rodoviária | Dimensão dos Vão (m) |
|-------------------|---|----------------------|
| SP 463 | Araçatuba(SP) /Auriflama(SP) | 55,0 |
| BR 153 | Promissão(SP) / Ubarana(SP) | 40,0 |
| SP 225 | Pederneiras / Jaú(SP) | 40,0 |
| Ponte Ferroviária | Jaú(SP) / Bauru(SP) | 42,95 |
| SP 255 | São Manuel(SP) / Jaú(SP) | 48,23 |
| SP 191 | São Manuel(SP) / Santa M ^a Serra(SP) | 40,0 |
| SP 147 | Botucatu (SP) / Piracicaba (SP) | 24,7 |

3.2.1.2 – Pontes Sobre o Rio São José dos Dourados

O rio São José dos Dourados é dotado de 2 pontes rodoviárias no trecho compreendido entre o Canal de Pereira Barreto e sua foz no lago de Ilha Solteira, no rio Paraná. A tabela 3.4 mostra as pontes rodoviárias, com um único vão para a navegação, sobre o rio São José dos Dourados.

Tabela 3.4 - Pontes Rodoviárias Sobre o Rio São José dos Dourados

Com Um Único Vão Para a Navegação

| Denominação | Ligação Rodoviária | Dimensões dos Vãos (m) |
|-------------|---|------------------------|
| SP 595 | Ilha Solteira(SP) / Santa Fé do Sul(SP) | 56 |
| SP 310 | P. Barreto(SP) / Auriflama(SP) | 50 |

3.2.1.3 – Pontes Sobre o Rio Paraná

O rio Paraná é dotado de 3 pontes rodoviárias, 1 ferroviária e 1 rodo-ferroviária ao longo de seus dois tramos. As tabelas 3.5 e 3.6 mostram as pontes sobre o rio Paraná.

Tabela 3.5 - Pontes Rodoviárias e Rodo-ferroviária Sobre o Rio Paraná

Com Dois Vãos Para a Navegação

| Denominação | Ligação Rodoviária e Rodo-ferroviária | Dimensões dos Vãos (m) |
|-----------------|---|------------------------|
| SP 597 / MS 316 | Ap. do Taboado (MS)-/ S. Clara D'Oeste (SP) | 60,0 |
| BR 272 / MS 141 | Guaíra (PR) / Mundo Novo (MS) | 50,7 |
| PR 180 / Br 163 | Itaquiraí (MS) / Ilha Bandeirantes (PR) | 40,0 |

Tabela 3.6 - Pontes Rodoviária e Ferroviária Sobre o Rio Paraná
Com Um Único Vão Para a Navegação

| Denominação | Ligação Rodoviária e Ferroviária | Dimensões dos Vãos (m) |
|-------------------|------------------------------------|------------------------|
| SP 270 / BR 267 | P. Epitácio (SP) / Bataguassu (MS) | 50,7 |
| Ponte Ferroviária | Três Lagoas (MS) / Castilho (SP) | 60,0 |

3.2.1.4 – Pontes Sobre o Rio Paranaíba

O rio Paranaíba é dotado de 2 pontes rodoviárias no trecho compreendido entre São Simão, em Goiás e sua foz, na confluência com o rio Grande. A tabela 3.7 mostra as pontes, com um único vão para a navegação, sobre o rio Paranaíba.

Tabela 3.7 - Pontes Rodoviárias Sobre o Rio Paranaíba Com
Um Único Vão Para a Navegação

| Denominação | Ligação Rodoviária | Dimensões dos Vãos (m) |
|-----------------|------------------------------------|------------------------|
| Br 497 / MS 420 | Carneirinho (MS) / Paranaíba (MS) | 350 |
| BR 365 / BR 364 | Sta. Vitória (MG) / São Simão (GO) | 50 |

3.2.2 – Eclusas

As obras de transposição de desníveis em uma hidrovia podem ser do tipo hidráulica ou mecânica. As eclusas encontram-se nas ditas do tipo hidráulica. Portanto, são obras de transposição de desnível em que as embarcações são deslocadas verticalmente pela variação do nível d' água em que flutuam.

As eclusas destinam-se à viabilização da navegação interior em rios dotados de desníveis. Contudo, representam obstáculos muito importantes do ponto de vista da segurança da navegação interior, bastando lembrar que é o local da hidrovia onde as dimensões são mais críticas

Nas eclusas há uma câmara cujo nível d' água varia por intermédio de conexões com os níveis de montante e jusante. A câmara é dimensionada para acomodar as embarcações que trafegam na hidrovia, devendo suas dimensões internas serem projetadas de maneira compatível com o comprimento, boca, calado e altura da maior embarcação.

Tal câmara é dotada de comportas de montante e jusante que permitem o acesso e saída das embarcações. Lateralmente, a eclusa é delimitada pelos chamados "muros de ala", onde estão dispostos os cabrestos de amarração. Tais cabrestos são flutuantes, acompanhando assim, o movimento vertical dentro da eclusa, segundo BRIGHETTI; D'ALMEIDA⁽¹⁸⁾.

A variação do nível da água é proporcionada pelas válvulas de montante e jusante, que são alternadamente fechadas e abertas, conforme se necessite fazer descer ou elevar a embarcação.

As eclusas podem ter ainda os chamados "muros guias", que são prolongamentos à jusante e/ou montante, utilizados para facilitar o acesso das embarcações à câmara da eclusa. Existe ainda a possibilidade de haver canais de acesso às eclusas ligando-as à via navegável a jusante e a montante.

Existem os seguintes tipos de eclusa: "simples" ou "singela", "escada de eclusas", "câmaras múltiplas" e "em paralelo". A eclusa como foi definida anteriormente é chamada de "simples" ou "singela", sendo utilizada quando o desnível a ser transposto é viabilizado com apenas uma eclusa. Quando esse desnível a ser vencido ultrapassa o desnível economicamente viável para uma eclusa, utilizam-se as chamadas "eclusas de câmaras múltiplas" ou a "escada de eclusas".

A "escada de eclusas" é formada por duas ou mais eclusas simples interligadas por um canal intermediário que permite o cruzamento de embarcações. Já "as eclusas de câmaras múltiplas" são formadas por duas ou mais câmaras justapostas de maneira que a porta da câmara de jusante superior coincida com porta de montante da câmara inferior.

Já as ditas "eclusas em paralelo" são utilizadas quando a capacidade de tráfego de uma eclusa "singela" ou de uma "eclusa de câmara múltipla" não for suficiente para atender o tráfego. Isso é possível pelo fato de se poder utilizar uma das eclusas só para subir e outra só para descer as embarcações, aumentando consideravelmente a capacidade de tráfego. Quando existe a ligação entre eclusas paralelas, tais eclusas são denominadas "eclusas geminadas", tendo uma economia de até 50% de água na operação de eclusagem, por funcionarem através de vasos comunicantes⁽¹⁸⁾.

Já as "escadas de eclusas", embora tenham uma capacidade de tráfego inferior às "eclusas em paralelo", possuem uma maior capacidade que às "eclusas múltiplas", uma vez que as últimas não permitem a entrada de uma embarcação em umas das eclusas sem que antes a embarcação que esteja eclusando passe por todas

elas. Tal fato já é possível nas "escadas de eclusas", pois essas, como já foi dito, permitem o cruzamento de embarcações em virtude do canal intermediário. Evidentemente, a opção por "eclusas múltiplas" acarretará um custo menor do que a por "escadas de eclusas".

3.2.2.1 – Eclusas no Rio Tietê

O rio Tietê possui em toda sua extensão navegável 8 eclusas, todas elas localizadas em barragens de Usinas Hidrelétricas. Destas 8 eclusas, 4 são "singelas" e existem 2 "escadas de eclusas", ambas formadas por duas eclusas. Uma localiza-se na Hidrelétrica de Nova Avanhandava e a outra na Hidrelétrica de Três Irmãos. A Tabela 3.8 mostra as dimensões das eclusas no rio Tietê.

Tabela 3.8 - Eclusas no Rio Tietê

| Eclusas | Comprimento | Largura | Tirante de Ar Mínimo* | Tirante de Ar Máximo |
|------------------|-------------|---------|-----------------------|----------------------|
| Barra Bonita | 147,25 | 11,76 | 7,50 | 9,00 |
| Bariri | 142,00 | 12,02 | 9,00 | 9,50 |
| Ibitinga | 142,45 | 12,04 | 7,00 | 10,00 |
| Promissão | 144,52 | 12,00 | 9,00 | 10,00 |
| Nova Avanhandava | | | Tirante de ar | |
| Superior | 142,00 | 12,10 | 8,60 | |
| Inferior | | | 11,00 | |
| Três Irmãos | | | Tirante de ar | |
| Superior | 142,00 | 12,10 | 11,30 | |
| Inferior | | | 13,00 | |

* Tirante de ar é definido como a distância livre, para uma determinada cota, desde a superfície da corrente líquida até a parte inferior da obra que cruza a via navegável.

3.2.2.2 – Eclusas no Rio Paraná

O rio Paraná possui em toda sua extensão navegável duas eclusas, ambas localizadas em barragens de Usinas Hidrelétricas. A Tabela 3.99 mostra as eclusas no rio Paraná.

Tabela 3.9 – Eclusas no Rio Paraná

| Eclusas | Comprimento | Largura | Tirante de Ar |
|-----------------|--------------------|----------------|----------------------|
| Jupiá | 210,00 | 17,00 | 7,30 |
| Porto Primavera | 210,00 | 17,00 | 10,0 |

3.2.3 - Raios de Curvatura

Os raios de curvatura são, principalmente na navegação com comboios de empurra, um fator de restrição de grande importância. Os cascos das embarcações que trafegam por uma via navegável com restrições de dimensões, sejam essas representadas por larguras ou por profundidades reduzidas, estão sujeitos a grandes variações no campo de velocidades e pressões da água a seu redor, cujas conseqüências são alterações no seu desempenho propulsivo e de manobrabilidade. Quanto maior a restrição de dimensões da seção do canal, maior será a influência desses fatores no desempenho propulsivo da embarcação.

Quando a embarcação navega em águas com restrições de largura e profundidade e, conseqüentemente, sofre alterações no seu desempenho propulsivo e na sua manobrabilidade, é necessário uma compensação constante em ângulo de leme de maneira que ela conserve-se na rota de navegação a fim de se evitar abalroamentos. Nos trechos curvos o equilíbrio de forças e momentos ao redor do

casco só é obtido quando o eixo longitudinal da embarcação não está alinhado com a trajetória. O ângulo formado, denominado de ângulo de deriva, é função de inúmeros fatores, dentre eles das dimensões das embarcações, da velocidade da água e do vento, da profundidade da via e sobre tudo, do raio de curvatura.

Dessa forma, fica claro que o conhecimento dos raios de curvatura de uma via navegável é imprescindível para uma navegação segura.

3.2.3.1 – Raios de Curvatura do Rio Tietê

A maior parte de raios de curvatura restritos encontram-se no rio Tietê, com 35 deles identificados. A tabela 3.10 mostra os raios de curvatura restritos do rio Tietê e as respectivas localizações, dadas em pontos quilométricos, a partir de sua foz.

Tabela 3.10 – Raios de Curvatura do Rio Tietê

| Rio | Ponto Quilométrico | Raio (metros) |
|------------|---------------------------|----------------------|
| Tietê | 143-145 | 1454 |
| Tietê | 147-149 | 1018 |
| Tietê | 157-158 | 1260 |
| Tietê | 161-163 | 1140 |
| Tietê | 331-333 | 1370 |
| Tietê | 338-340 | 1722 |
| Tietê | 352-354 | 1406 |
| Tietê | 354-357 | 1296 |
| Tietê | 381-385 | 1590 |
| Tietê | 387-389 | 1318 |
| Tietê | 391-392 | 991 |
| Tietê | 394-396 | 1086 |
| Tietê | 406,5-408 | 835 |
| Tietê | 414-416 | 1116 |
| Tietê | 424-425 | 968 |
| Tietê | 488-490 | 866 |
| Tietê | 504 | 600 |
| Tietê | 515-516 | 600 |
| Tietê | 516-517 | 600 |

Tabela 3.10 – Continuação

| | | |
|-------|-----------|------|
| Tietê | 520-521 | 600 |
| Tietê | 523-525 | 1110 |
| Tietê | 527-528 | 600 |
| Tietê | 531-532 | 600 |
| Tietê | 532,5-533 | 613 |
| Tietê | 538-540 | 660 |
| Tietê | 543-549 | 600 |
| Tietê | 547-549 | 860 |
| Tietê | 553-555 | 600 |
| Tietê | 556,5-558 | 612 |
| Tietê | 558-559 | 1121 |
| Tietê | 559-560 | 640 |
| Tietê | 562-563 | 660 |
| Tietê | 564-565 | 630 |
| Tietê | 566-567 | 530 |
| Tietê | 561-570 | 1450 |

3.2.3.2 – Raios de Curvatura do Rio Paraná

O rio Paraná possui apenas 5 raios de curvatura considerados restritos. A Tabela 3.11 mostra os raios de curvatura restritos do rio Paraná e as respectivas localizações, dadas em pontos quilométricos, a partir de sua foz.

Tabela 3.11 - Raios de Curvatura do Rio Paraná

| Rio | Ponto Quilométrico | Raio (metros) |
|--------|--------------------|---------------|
| Paraná | 2257-2260 | 2547 |
| Paraná | 2292-2294 | 1070 |
| Paraná | 2490-4494 | 3315 |
| Paraná | 2501-2505 | 2050 |
| Paraná | 2566-2568 | 1182 |

3.2.3.3 – Raios de Curvatura do Rio Paranaíba

O rio Paranaíba possui apenas 5 raios de curvatura considerados restritos. Existe projeto de implantação de rota alternativa por meio de dragagem, entre os pontos quilométricos 82 e 98. A implantação de tal rota, embora reduza o raio de curvatura de 2350 metros para 1750, resultará em uma redução de aproximadamente 7 Km no percurso, como mostrado na figura 3.6. A Tabela 3.12 mostra os raios de curvaturas restritos do rio Paranaíba e as respectivas localizações, dadas em pontos quilométricos, a partir de sua foz.

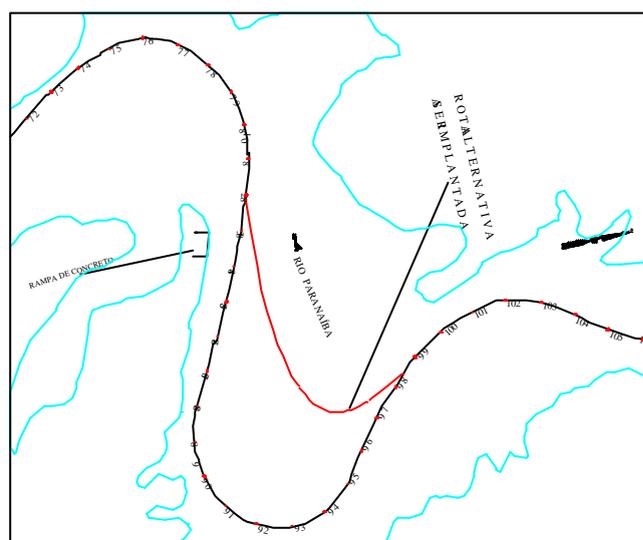


Figura 3.6 – Raio de Curvatura Atual e Proposto no Rio Paranaíba

Tabela 3.12 - Raios de Curvatura do Rio Paranaíba

| Rio | Ponto Quilométrico | Raio (metros) |
|-----------|--------------------|-----------------|
| Paranaíba | 74-80 | 2728 |
| Paranaíba | 88-95 | 2350 (atual) |
| Paranaíba | | 1750 (proposto) |
| Paranaíba | 121-123 | 1112 |
| Paranaíba | 139-141 | 1443 |
| Paranaíba | 142-144 | 1049 |

3.2.4 - Canais Artificiais

Os canais artificiais podem ser escavados em terra firme ou no próprio leito do rio, com a finalidade de proporcionar ou uma ampliação do calado e / ou boca da embarcação em uma rota navegável ou a ligação de dois trechos não interligados por água. Os canais artificiais, por geralmente terem dimensões reduzidas, influenciam no desempenho propulsivo e na manobrabilidade da embarcação, representando assim, elementos de grande importância na segurança da navegação.

A hidrovia Tietê-Paraná possui 2 canais artificiais: um canal construído margeando curva a jusante da barragem de Bariri e o canal de Pereira Barreto, que possibilita a ligação entre os tramos Norte e Sul do rio Paraná, em decorrência de não haver eclusa na barragem de Ilha Solteira. A tabela 3.13 mostra os canais artificiais da hidrovia Tietê-Paraná.

Tabela 3.13 – Canais Artificiais da Hidrovia Tietê-Paraná

| Canal | Dimensões (Km) | Localização |
|-----------------|----------------|---------------|
| Pereira Barreto | 9,6 | 39,4 – 49 |
| Bariri | 4,6 | 392,6 – 397,2 |

3.2.5 - Travessias de Balsas

As travessias de balsas representam um elemento importante com respeito a acidentes na via navegável, uma vez que essas travessias cruzam a rota de navegação dita principal, contribuindo para o risco de colisões.

Há 12 travessias de balsas na hidrovia Tietê-Paraná. Existem ainda as travessias de balsas que são instaladas na ocasião de colisões de embarcações nos pilares de pontes, causando a interrupção do acesso rodoviário. É o caso da travessia Jaú(SP) – Pederneiras(SP), recentemente interditada em virtude de colisão de comboio fluvial. A tabela 3.14 mostra as travessias existentes na hidrovia Tietê-Paraná.

Tabela 3.14 - Travessias de Balsas na Hidrovia Tietê-Paraná

| Rio | Ligação Fluvial | Km |
|------------|--------------------------------------|-----------|
| Paraná | Paulicéia(SP) – Brasilândia(MS) | 2547,50 |
| Paraná | Panorama(SP) – Brasilândia(MS) | 2542,50 |
| Paraná | Rosana(SP) – Bataiporã(MS) | 2338,00 |
| Paraná | São José(PR) – Maria Helena(MS) | 2314,00 |
| Paraná | Querência(PR) – Naviraí(MS) | 2222,00 |
| Paraná | Vila Alta(PR) – Itaquiraí(MS) | 2193,00 |
| Paraná | Guaíra(PR) – Salto Del Guayra(PY) | 2105,00 |
| Paraná | Porto Pedrinho(PR) – Porto Adela(PY) | 2073,00 |
| Paraná | Porto Bragado(PR) – Marangatu(PY) | 2034,70 |
| Paraná | Santa Helena(PR) – Porto Indio(PY) | 2009,00 |
| Tietê | Itapuí(SP) / Boracéia(SP) | 412,00 |
| Tietê | Itajú(SP) / Arealva(SP) | 368,70 |

3.2.6 - Obstáculos Subfluviais

Outro aspecto a ser mencionado com respeito a elementos de interferência na navegação fluvial são os obstáculos subfluviais, representados por dutos aquáticos, linhas de transmissão de energia e linhas telefônicas.

Na hidrovia Tietê-Paraná só foi identificado um elemento subfluvial de interferência no canal de navegação, localizado no rio Paraná, no Km 2594. Tal interferência é representada pelo cruzamento do gasoduto Brasil - Bolívia.

3.3 - Identificação do perfil da mão-de-obra da hidrovia

A identificação da mão-de-obra embarcada visa o conhecimento do perfil da figura humana responsável pela integração via-veículo no sistema de transporte em questão, para posteriormente, assim como na identificação dos veículos, examinar alguma conclusão nas estatísticas referentes a acidentes.

A identificação da mão-de-obra embarcada foi feita via registros da Capitania Fluvial do Tietê-Paraná em Barra Bonita. Em termos comparativos, o material relativo a mão-de-obra embarcada encontrava-se bem menos completo na Capitania Fluvial do que o referente às embarcações. Para que o trabalhador aquaviário possa exercer qualquer atividade relacionada à navegação fluvial em hidrovias nacionais, ele deve estar registrado em alguma Capitania localizada no território nacional. O aquaviário não necessariamente deve estar registrado na Capitania da hidrovia em que está exercendo sua função. As Capitánias possuem um banco de dados contendo os registros de todos os aquaviários registrados em território nacional, estando esse banco de dados interligado entre as Capitánias.

Esse fato tornou a identificação da mão-de-obra embarcada bastante difícil, uma vez que, por meio dos registros da Capitania, não foi possível saber quais dos trabalhadores registrados nas Capitánias estavam exercendo suas funções na hidrovia

Tietê-Paraná. Outro fator que contribuiu para essa lacuna é a existência da entre-safra das culturas agrícolas, o que leva o trabalhador aquaviário da hidrovia Tietê-Paraná a transferir-se para outras regiões do país, onde a navegação fluvial não esteja em baixa, ou assumir outra atividade profissional nesse período.

Quanto aos procedimentos para o exercício de qualquer atividade nas embarcações da hidrovia Tietê-Paraná existem duas situações: uma referente aos aquaviários registrados até o ano de 1995, e outra relativa aos aquaviários registrados após este ano. Os aquaviários registrados até 1995 obtiveram direito adquirido por ocasião do estabelecimento de nova legislação posterior a essa data, a qual o segundo grupo está sujeito e será detalhado abaixo.

3.3.1 – Regulamentação de Aquaviários na Hidrovia Tietê-Paraná

A regulamentação de aquaviários na hidrovia Tietê-Paraná é feita através da “Normas da Autoridade Marítima para Aquaviários e Amadores - Normam-13.”⁽¹⁹⁾, que regulamenta a atividade dos aquaviários em embarcações nacionais.

Atualmente, para se exercer qualquer função nas embarcações que trafegam na hidrovia Tietê-Paraná, o aquaviário deve possuir os cursos referentes a sua função na embarcação. Estes cursos são ministrados pela própria Marinha do Brasil, ou por faculdades e escolas técnicas, através de convênios com a Marinha do Brasil.

Existem, ainda, os cursos de aperfeiçoamento de marinheiro, oferecidos pela Marinha do Brasil e entidades conveniadas. Esses cursos visam a reciclagem da mão-

de-obra embarcada e atualização de seus conhecimentos, principalmente, com relação às novas tecnologias.

Em toda viagem com fins comerciais, o armador deve retirar na Capitania Fluvial o chamado “Passe de Viagem”, no qual é verificado se a embarcação encontra-se registrada, eventuais multas e tripulação referente à viagem em questão. No entanto, com relação à fiscalização ao porte do “Passe de Viagem” é que reside um ponto delicado. A hidrovia Tietê-Paraná dispõe de um número muito limitado de pessoas para realizar a fiscalização tanto das embarcações comerciais, como, principalmente, das embarcações de recreio. Essa fiscalização é efetuada pela Capitania Fluvial de Barra Bonita e da Agência de Presidente Epitácio. Quanto ao equipamento para a fiscalização das embarcações, existem 6 lanchas patrulhas em Barra Bonita e 5 em Presidente Epitácio, existindo uma ociosidade dessas embarcações, uma vez que as respectivas bases não dispõem de pessoal suficiente para a utilização desse equipamento disponível. É importante lembrar que estas duas bases são responsáveis pela fiscalização de toda a hidrovia Tietê-Paraná, incluindo ainda afluentes e lagos nos municípios do estado de São Paulo.

A tripulação necessária para cada embarcação é determinada pelo Cartão de Tripulação de Segurança da embarcação e pelo quadro geral de certificações do Departamento de Portos e Costas. O Cartão de Tripulação de Segurança é estabelecido no ato de inscrição ou registro da embarcação na Capitania ou Agência, como mencionado anteriormente no item 3.1.1. Já o quadro geral de certificações, com as atribuições de cada aquaviário, consta da Normam – 13 (ver anexo A – 3), levando-se em conta arqueação bruta da embarcação (no caso de aquaviário da seção

de convés), potência instalada na embarcação (no caso de aquaviário da seção de máquinas), tempo embarcado, tipo de navegação (longo curso, navegação interior, navegação de apoio marítimo, navegação de cabotagem, etc.), além das especificações para ascensão de funções.

De uma maneira geral, existe na Normam – 13 certos critérios que, pelo menos em termos teóricos, qualificam os aquaviários. Com relação à preparação prática, o tempo embarcado é certamente de grande valia e importância na formação prática dos aquaviários. Contudo, com relação à navegação fluvial, em que o conhecimento de aspectos regionais de navegação é decisivo para uma navegação com segurança, a Normam – 13 talvez peque. Tomemos o exemplo de um marinheiro de convés que deseje exercer a função de mestre fluvial; segundo o quadro geral de certificações, esse marinheiro de convés terá que possuir 6 anos de embarque e ser aprovado no curso de aperfeiçoamento de convés, que exige escolaridade igual ou superior ao quarto ano do 1º grau. O curso de aperfeiçoamento de convés é realizado em cerca de 7 a 8 meses e tem carácter teórico do ponto de vista de se pilotar uma embarcação. Portanto, é fato que esse marinheiro de convés deve adquirir a prática de pilotar a embarcação durante os seis anos de embarque requeridos para a transição de função, bastando, para a obtenção da atribuição de mestre fluvial, apenas ser aprovado no curso de aperfeiçoamento.

Outro detalhe importante é que, se esse mesmo marinheiro de convés estiver exercendo sua atual função na bacia amazônica, por exemplo, poderá, sem desobediência à Normam – 13, adquirir a atribuição de mestre fluvial e pilotar os comboios na hidrovia Tietê-Paraná, sem contudo, nunca ter navegado ou passado por

qualquer teste prático de direção nesta hidrovia. Obviamente, como a norma não impede, acredita-se que as empresas de navegação façam tais exigências por zelo aos seus patrimônios.

Mais um outro aspecto a ser mencionado é que, por falta de Pilotos Fluviais na região da hidrovia Tietê-Paraná, aprovou-se em caráter provisório que Mestres Fluviais sejam os comandantes de comboios na hidrovia. De acordo com a Normam – 13, o comandante de um comboio da hidrovia em questão deveria ser pelo menos Piloto Fluvial, sendo que Mestres Fluviais só podem ser comandantes de embarcações até 500 AB (equivalente a apenas uma chata graneleira).

3.4 – Balizamento na Hidrovia Tietê-Paraná

Um dos aspectos relevantes à segurança da navegação em hidrovias com limitações de dimensões, principalmente profundidade, como é o caso da hidrovia Tietê-Paraná, é o balizamento. O balizamento permite uma melhor orientação para os pilotos das embarcações tanto com relação às limitações de calado na via, como quanto aos contornos de margens em condições de pouca visibilidade, ocasionadas pela presença de chuva, névoa ou neblina, assim como quanto à presença de objetos de obstrução na via, como, por exemplo, pontes.

Na hidrovia Tietê-Paraná, existem dois tipos de balizamentos: um referente ao trecho sob a administração da Arhana e outro que diz respeito ao trecho sob a administração do Departamento Hidroviário de São Paulo (DH – SP), antigamente administrado pela CESP. A principal diferença entre o balizamento da Arhana e do

DH – SP diz respeito ao tipo de bóias utilizadas na sinalização. As bóias diferem em formato, concepção e também em material utilizado na confecção. As bóias implantadas no rio Tietê, pela antiga administradora (CESP), em um primeiro momento, foram construídas em aço e, posteriormente, substituídas por bóias confeccionadas em fibra por ter se julgado que estas não estavam atendendo, efetivamente, às necessidades de sinalização na navegação neste rio. As bóias implantadas recentemente pela Arhana, no rio Paraná, foram construídas em aço. O anexo C apresenta o desenho das bóias utilizadas outrora pela CESP no balizamento do rio Tietê, e as bóias atualmente utilizadas no rio Tietê e no rio Paraná.

3.4.1– Balizamento no Rio Paraná

Como já mencionado, o balizamento no rio Paraná foi implantado e é mantido pela Arhana (Administração da Hidrovia do Paraná). Este balizamento é composto de sinais flutuantes (bóias cegas) e por sinalização de margem (placas de margens e torres com faroletes).

As bóias cegas exercem a função de indicar ao condutor da embarcação a extremidade lateral do canal até onde se garante uma profundidade suficiente para se navegar com o calado máximo estabelecido para a hidrovia. Existe a convenção de se estabelecer a cor das bóias como sendo encarnada (fig. 3.7), para indicar a extremidade lateral do canal a boreste (à direita na condição de subida do rio), e a verde (fig. 3.8) para indicar a extremidade a bombordo (à esquerda na condição de subida do rio). Existe diferença, no rio Paraná, entre as bóias cegas para o balizamento em reservatórios e aquelas para o balizamento em corrente livre; no

entanto elas diferem apenas na maneira de serem fixadas ao leito, sendo idênticas, porém quando vistas pelo condutor da embarcação.



Figura 3.7 – Bóia de Boreste para Balizamento em Reservatório no Rio Paraná



Figura 3.8 – Bóia de Bombordo para Balizamento em Reservatório no Rio Paraná

Existem também no balizamento implantado pela Arhana as bóias referentes aos pontos de parada obrigatória, que são de cor amarela. Os pontos de parada obrigatória, na hidrovia Tietê-Paraná, estão localizados nas proximidades de eclusas e entradas de canais. Os pilotos das embarcações efetuam a parada nestes pontos e aguardam o operador da eclusa ou o operador de tráfego do canal comunicar a autorização para a entrada na eclusa ou no canal.

Os sinais fixos de margem para o balizamento do rio Paraná são compostos por placas de margens e por torres com faróis ou faroletes para referência de margem. As placas de margens dão orientação aos pilotos das embarcações com relação às inúmeras situações de navegação existentes ao longo da hidrovia e seguem uma convenção internacional. A placa de margem vista na figura 3.9, por exemplo, indica que o piloto da embarcação deve conduzir a embarcação para a outra margem do rio.



Figura 3.9 – Placa de Margem

Assim como a placa de margem apresentada na figura 3.9, existe uma série de outras placas de margem que têm como objetivo orientar o piloto da embarcação de modo a fazê-lo conduzir a embarcação pelo canal de navegação da melhor maneira possível. Estas placas, em geral, fornecem informações referentes à localização correta em que a embarcação deve navegar ou informam ao piloto sobre trechos de perigo na via, locais onde se deve conduzir a embarcação com toda atenção possível. Em geral, essas placas são instaladas na margem, em conjunto com bóias especiais apontadas no leito do rio (fig. 3.10), denominadas bóias de perigo isolado.



Figura 3.10 – Bóia Perigo Isolado

Quanto aos faróis e faroletes de margem, estes são compostos por uma torre em treliça de 30 metros de altura, dotada de uma base na extremidade superior, onde estão dispostos os faróis ou faroletes e os acessórios. A distinção entre farolete e farol diz respeito ao alcance do sinal luminoso emitido, sendo que o farol possui o vidro refletor transparente, o que propicia um maior alcance ao sinal luminoso,

enquanto que os faroletes possuem o vidro refletor de cor vermelha ou verde, dependendo da margem em que a torre de sustentação está localizada. As distâncias alcançadas pelos sinais emitidos pelos faróis e faroletes são aproximadamente, 12 e 8 milhas náuticas, respectivamente.

Constam como acessórios dos faróis ou faroletes uma bateria, um painel solar e um pára-raios. Existe uma distinção quanto ao tipo de sinal emitido de cada torre de margem. Cada farol ou farolete funciona com um lampejo específico, adequado à visão que o piloto tem da torre quando navegando pelo local, existindo uma variação na frequência e na duração deste lampejo. O vidro refletor de cada sinal luminoso é também padronizado similarmente como as bóias cegas, sendo a cor vermelha (encarnada) para torres localizadas a boreste e verde para torres localizadas a bombordo. Tal distinção é justificada pelo maior alcance do sinal luminoso produzido pelos faróis, isto é, as torres que suportam os dispositivos com vidro refletor transparente, com relação às torres que suportam os dispositivos com vidro refletor verde ou vermelho, ou seja, os faroletes. Há 8 faroletes localizados às margens do reservatório de Itaipu e 5 faroletes e um farol no reservatório de Ilha Solteira. As figuras 3.11 e 3.12 apresentam um farolete de bombordo e o detalhe do vidro refletor deste farolete, respectivamente.



Figura 3.11 – Faroete de Bombordo Localizado no Reservatório de Ilha Solteira



Figura 3.12 – Detalhe do Vidro Refletor do Faroete de Bombordo

Nestas torres, existe um carrossel contendo 6 lâmpadas, acionado por um sistema eletrônico que condiciona o lampejo, isto é, o intervalo entre sinais luminosos emitidos. Este sistema eletrônico, na ocasião da queima da lâmpada, aciona o carrossel de modo a utilizar uma lâmpada nova, evitando que haja interrupção na emissão do sinal luminoso. A manutenção do sistema é realizada de 4 em 4 meses pela equipe técnica da Ahrana, que verifica o funcionamento e efetua a substituição de uma possível lâmpada queimada ou dispositivo danificado.

3.4.2– Balizamento no Rio Tietê

O balizamento no rio Tietê, como mencionado anteriormente, foi implantado a princípio pela CESP, que administrava até recentemente o trecho da hidrovia Tietê-Paraná correspondente ao rio Tietê. Em um primeiro momento, foram instaladas bóias cegas construídas em aço. Posteriormente, visando o melhor balizamento, foi desenvolvida uma nova bóia para o balizamento no rio Tietê.

Como o rio Tietê não estava ainda completamente balizado com as bóias em aço, optou-se por um projeto de bóia que melhorasse a confiabilidade do sistema de navegação, reduzindo-se os custos de implantação e manutenção do balizamento. Foram fabricadas, então, bóias em fibra de vidro com uma nova concepção e ensaiadas pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo). Os resultados dos ensaios demonstraram que a bóia em fibra de vidro possibilitaria uma melhor confiabilidade ao sistema de sinalização, uma vez que estas bóias possuíam uma melhor estabilidade e flutuabilidade com relação à bóia construída em aço, além de um menor custo de implantação e manutenção. Atualmente, o balizamento por sinais

flutuantes no rio Tietê é composto por estas bóias cegas fabricadas em fibra de vidro. As figuras 3.13 e 3.14 apresentam, respectivamente, as bóias cegas em fibra de vidro encarnada e verde, atualmente utilizadas no balizamento do rio Tietê.



Figura 3.13 – Bóia Cega de Boreste para Balizamento no Rio Tietê

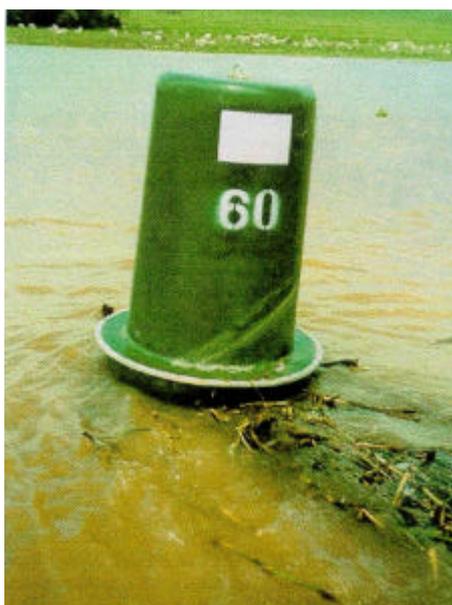


Figura 3.14 – Bóia Cega de Bombordo para Balizamento no Rio Tietê

Quanto aos sinais fixos utilizados no balizamento do rio Tietê, eles são compostos pelas placas de margem, idênticas às utilizadas pela Ahrana no rio Paraná; não há faróis ou faroletes no rio Tietê.

CAPÍTULO 4 - ESTUDO ESTATÍSTICO SOBRE ACIDENTES NA HIDROVIA TIETÊ-PARANÁ

Neste capítulo, é realizado um estudo estatístico referente aos acidentes registrados na hidrovia Tietê-Paraná. Primeiramente, são feitas considerações sob o modo de coleta dos dados e apresentadas algumas definições pertinentes. Posteriormente, realizam-se a exposição e a análise dos dados coletados e são apresentadas as conclusões relativas à análise.

4.1 – Coleta de Dados e Classificação dos Acidentes

A coleta de dados relativos a acidentes registrados na Hidrovia Tietê-Paraná foi realizada com o auxílio da Capitânia Fluvial do Tietê-Paraná em Barra Bonita. Tais dados foram extraídos de inquéritos instaurados pela mesma Capitania.

A obtenção desses dados só foi possível com a leitura e interpretação dos inquéritos, sendo que, em alguns deles, as informações estavam incompletas. Os inquéritos mais recentes estavam em andamento, não sendo possível extrair as informações por completo. Estavam disponíveis na Capitania inquéritos correspondentes aos anos de 1992, 1993, estando esses incompletos, 1994, 1995, 1996, 1997 e 1998, envolvendo um total de 47 inquéritos relativos a acidentes.

A base de análise para este trabalho é constituída pelos inquéritos instaurados no período compreendido entre Janeiro de 1994 e Outubro de 1998, envolvendo um total de 41 acidentes.

Com exceção do levantamento de dados relativos a acidentes marítimos na costa brasileira, elaborado por NEVES⁽¹⁰⁾ em 1989 e 1991, esse é o único levantamento de dados de acidentes ocorridos em vias navegáveis brasileiras, de conhecimento do autor até a data do presente trabalho.

Foram agrupados os dados do inquéritos de acordo com a seguinte sistemática:

1) Tipo de Acidente:

- Colisões
- Atropelamento
- Desconhecido
- Desprendimento de chata
- Deriva
- Emborcamento
- Encalhe
- Incêndio com Explosão
- Outros
- Queda na Água de Tripulante ou Passageiro

2) Tipo de Embarcação:

- Balsa de Travessia

- Botes de pesca
- Comboios de Empurra
- Desconhecida
- Lanchas
- Jet Ski

3) Causa do Acidente:

- Condições de Tempo
- Desconhecida
- Má adequação e Conservação da Via
- Imprudência / Imperícia

Para melhor entendimento da exposição que segue, são apresentados diversas definições para caracterização dos acidentes.

1) Quanto ao tipo de acidente:

Atropelamento: incidente ocorrido em geral com banhista, e eventualmente, com vítimas de queda na água. Em geral, os atropelamentos são realizados por condutores de lanchas de recreio e jet ski.

Colisões: é definido como sendo a colisão da embarcação contra qualquer obstáculo fixo ou móvel na via, podendo ou não resultar em danos ao casco, aos equipamentos de bordo e à tripulação.

Deriva: é a situação em que o condutor da embarcação perde por completo a condução da mesma, sendo fruto de uma pane no sistema de propulsão e/ou governo. Em geral, a deriva é sucedida por colisões ou encalhes.

Desconhecido: atribuiu-se a caracterização de desconhecidos aos acidentes para os quais o respectivo inquérito não fornecia subsídios que permitissem esclarecer a natureza do acidente.

Desprendimento de chatas: é definido como sendo o desmembramento involuntário de um comboio de chatas, seja pelo rompimento dos cabos de amarração ou simplesmente pela soltura dos mesmos. Similarmente como na deriva, o desprendimento de chatas pode ser sucedida por colisões ou encalhes.

Emborcamento: entende-se por emborcamento de uma embarcação a situação em que o fundo do casco fica situado verticalmente acima do convés de superestrutura, devido à perda total de estabilidade de flutuação, segundo BABADÓUPULOS et al.⁽²⁰⁾.

Encalhe: é definido como sendo a colisão do fundo da embarcação com o leito de navegação, tendo como conseqüência a parada involuntária, com ou sem danos ao casco e/ou tripulação.

Incêndio com explosão: é definido como sendo a ocorrência de qualquer indício de fogo na embarcação que resulte em explosão.

Queda na água de tripulante ou passageiro: é considerada toda e qualquer queda na água de tripulante ou passageiro tendo como consequência a morte da vítima, estando a embarcação em movimento ou atracada. Em geral (e foi o caso aqui), apenas quando existe vítimas fatais é que se estabelece o inquérito.

2) Quanto ao tipo da embarcação:

Balsa de travessia: embarcação destinada à travessia de uma margem à outra do rio, podendo ser auto-propelida ou impulsionada por rebocador.

Botes de pesca: pequenas embarcações de alumínio, madeira ou fibra destinadas à pesca de pequeno porte ou pesca esportiva. Principalmente em função do lazer, tais embarcações são muito comuns na região da hidrovia Tietê-Paraná, sendo em sua maioria, construídas em alumínio.

Comboios de Empurra: conjunto de embarcações formado por uma ou mais chatas alinhadas no sentido do comprimento e/ou da largura e um empurrador. Os comboios de empurra são utilizados no transporte de cargas, sendo essas na hidrovia Tietê-Paraná, na sua grande maioria, representadas por grãos e álcool combustível.

Desconhecida: atribui-se a caracterização de desconhecida à embarcação de um acidente cujo inquérito não fornecia subsídios a esclarecer o tipo da embarcação envolvida no sinistro.

Lanchas de recreio: embarcações miúdas velozes, comumente utilizadas em esportes náuticos e outras atividades de lazer.

3) Quanto à causa do acidente:

Condições de tempo: é atribuída a condições de tempo a acidentes causados pela ação de ventos e ondas excepcionais, nos quais o condutor ou a tripulação não puderam ser responsabilizados pelo ocorrido.

Desconhecidas: é atribuída a caracterização de desconhecida à causa de acidentes para os quais o respectivo inquérito não fornecia subsídios a esclarecer a causa do acidente.

Imprudência / Imperícia: caracteriza os casos em que o acidente é ocasionado por imprudência, negligência ou pela falta de capacitação técnica, sejam essas por parte do condutor ou tripulação da embarcação, ou pelos operadores de eclusas.

Má adequação e Conservação da Via: atribuí-se à má adequação ou conservação da via a causa de todo aquele acidente ocasionado por mau estado de conservação ou adequação da via navegável, sendo essa a razão única ou não do acidente. Considerou-se, por exemplo, falha no sistema operacional da eclusa como uma causa dita de má adequação ou conservação da via.

4.2 – Análise dos Dados:

A figura 4.1 mostra a distribuição do número de acidentes ao longo do tempo, em porcentagem, considerando-se todos os tipos de acidentes e todos os tipos de embarcações envolvidas.

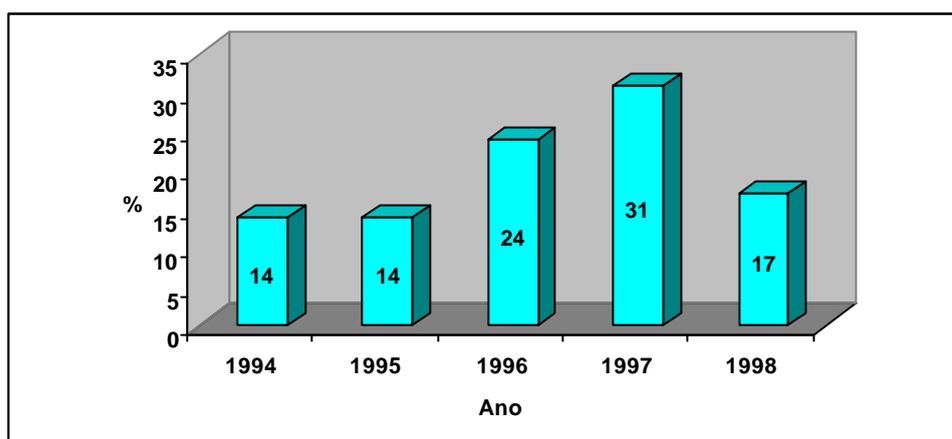


Figura 4.1 – Distribuição de Acidentes ao Longo dos Anos

Nota-se pela figura um aumento crescente no número de acidentes registrados de ano para ano; isto pelo menos até o ano de 1997, já que não é possível afirmar que esta tendência de crescimento de números de acidentes registrados se concretizou também até o ano de 1998, uma vez que os dados referentes a este ano só contemplam os acidentes ocorridos até o mês de Outubro. Tal interpretação poderia ser incorreta se a fiscalização (e conseqüentemente o registro) por parte da Capitania Fluvial de Barra Bonita tivesse se tornado mais severa no intuito de reduzir o número de acidentes. No entanto, por informações obtidas na mesma Capitania, não foram adotadas medidas nesse sentido, validando a afirmação de ascensão da taxa de acidentes na Hidrovia Tietê-Paraná. Tal fato é reforçado pela própria natureza dos acidentes registrados nos inquéritos. A grande maioria dos acidentes registrados são

de grande gravidade com relação a prejuízos financeiros e materiais; tais como colisões em pilares de pontes e eclusas. Esses acidentes com toda certeza seriam registrados independentemente do nível de fiscalização efetuado pela Capitania.

Por outro lado, obviamente o número de acidentes realmente ocorridos no período foi bem maior, uma vez que a hidrovia Tietê-Paraná dispõe de apenas uma Capitania Fluvial (Barra Bonita) e sua Agência (Presidente Epitácio) para a fiscalização. Em virtude deste fato e da dimensão da hidrovia, acidentes considerados menos graves ou que não representem prejuízos financeiros consideráveis, fatalmente não entraram nos registros da Capitania de Barra Bonita.

A título de exemplo, o departamento de hidrovias da Califórnia⁽⁴⁾ acredita que todos os acidentes envolvendo mortes nas hidrovias e lagos da Califórnia sejam registrados nas agências responsáveis, embora estime que apenas 10% de todos os acidentes ocorridos sejam realmente registrados. Esse número é estimado pela Cruz Vermelha em apenas 2,5%.

Na figura 4.2, observa-se a preponderância dos acidentes com comboios de empurra, que representam 62% do montante registrado. Seguem em número de acidentes os botes de pesca, lanchas de recreio e jet skis, com 15%, 12% e 7%, respectivamente.

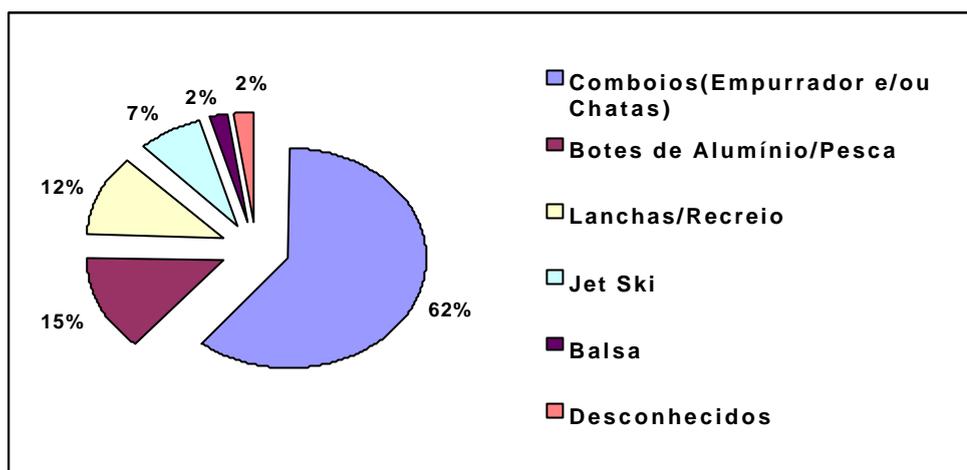


Figura 4.2 - Distribuição dos Acidentes por Tipo de Embarcação

O fato de os comboios de empurra liderarem em número de acidentes registrados não comprova necessariamente que a maioria dos acidentes ocorra com esse tipo de embarcações, mas seguramente comprova que, entre os acidentes de maior gravidade, os com comboios de empurra têm o maior índice de ocorrência. Do total de acidentes registrados, 48% são relativos a colisões e 60 % deles se referem a colisões contra pilares de pontes e 30% a colisões em eclusas, como se observa na figura 4.3 e na figura 4.4, respectivamente. Todas as colisões envolviam comboios de empurra.

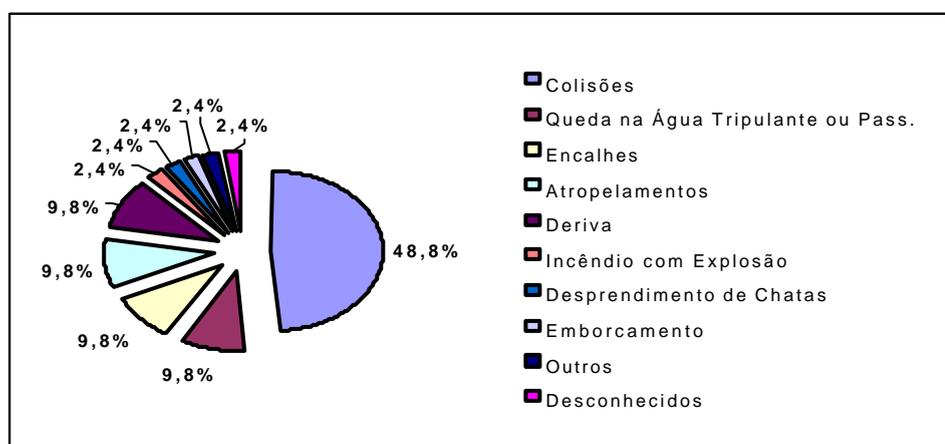


Figura 4.3 – Distribuição do Tipo de Acidentes

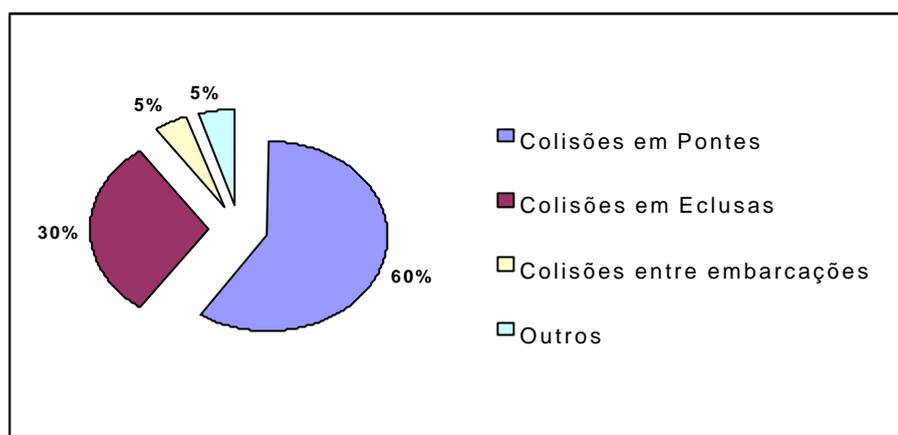


Figura 4.4 – Distribuição dos Acidentes Tipo Colisão

Queda na água de tripulante ou passageiro, encalhe, atropelamento e deriva aparecem todos juntos com 9,7% do total dos acidentes registrados. Todos os atropelamentos e derivas ocorreram com embarcações de recreio ou botes de pesca. Já os encalhes restringiram-se novamente aos comboios de empurra. Incêndio com explosão, desprendimento de chatas, emborcamento, outros e desconhecidos seguem com 2,4% do total registrado. Com relação ao número acidentes envolvendo vítimas, a figura 4.5 mostra o número de acidentes envolvendo vítimas por ano, no período entre 1994-1998.

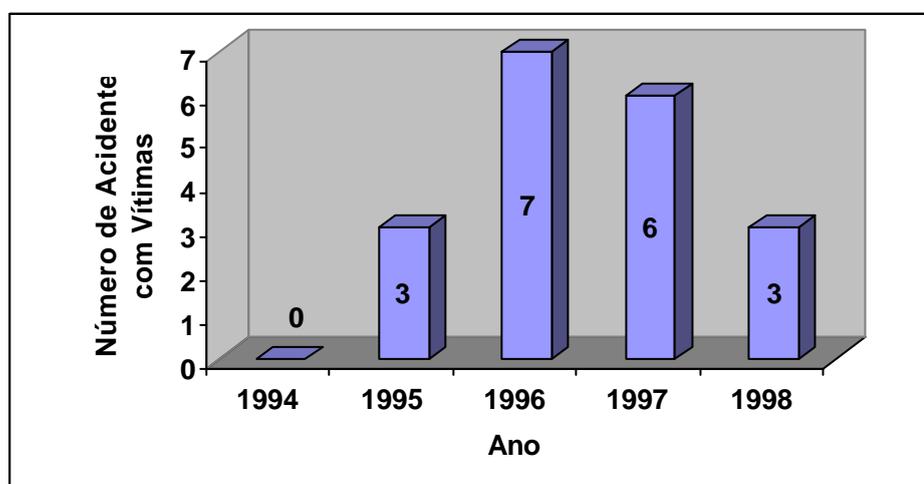


Figura 4.5 – Número de Acidentes Envolvendo Vítimas

Nota-se que no ano de 1996 ocorreram mais acidentes com vítimas. Aparentemente, não existe nenhuma razão específica para isso, entendendo-se que trata-se de um fato puramente estatístico, uma vez que o horizonte de dados analisados é muito pequeno, não permitindo, assim, outra interpretação.

Tal interpretação pode ser reforçada pelo exame da figura 4.6, que mostra agora a igualdade entre o número de acidentes com vítimas fatais nos anos de 1996 e 1997.

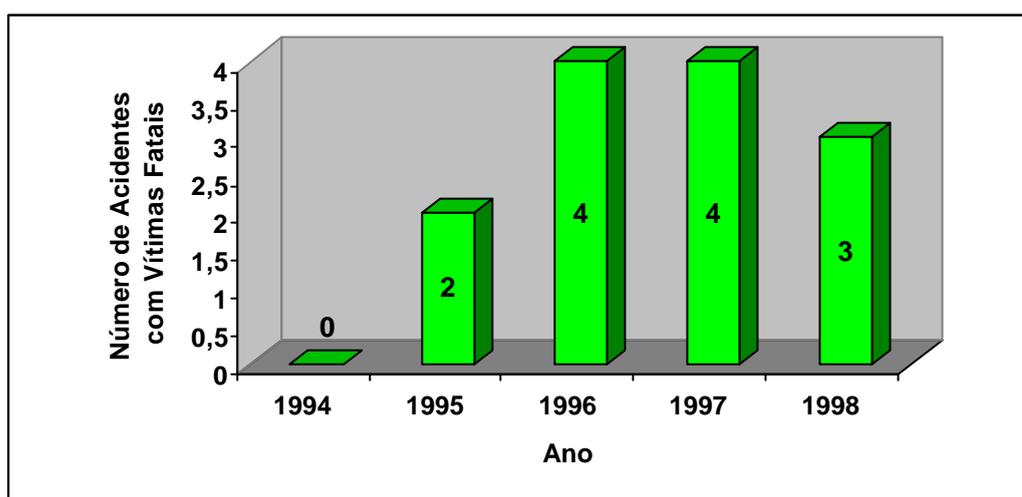


Figura 4.6 – Número de Acidentes Envolvendo Vítimas Fatais

Já a figura 4.7, que representa o número de acidentes com feridos graves no ano, confirma a preponderância a 1996.

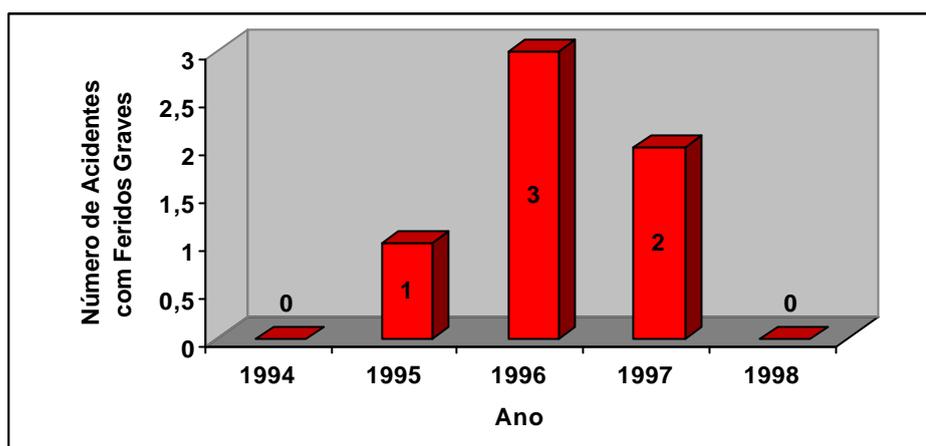


Figura 4.7 – Número de Acidentes Envolvendo Feridos Graves

Na figura 4.8 observa-se que os meses com o maior índice de ocorrência de acidentes são Setembro e Outubro. Há uma explicação para este fato uma vez que os acidente mais numerosos são as colisões, que tem maior concentração entre os meses de Setembro e Novembro, como pode ser observado na figura 4.9.

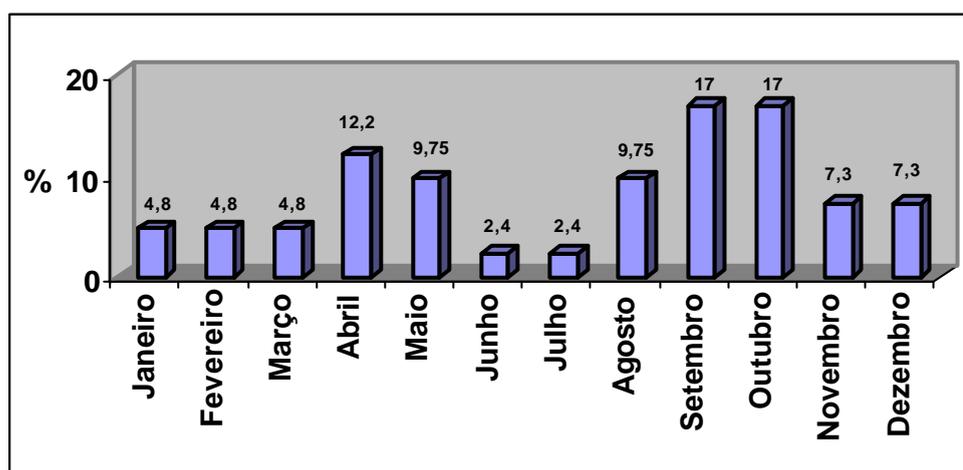


Figura 4.8 – Distribuição de Acidentes ao Longo dos Meses

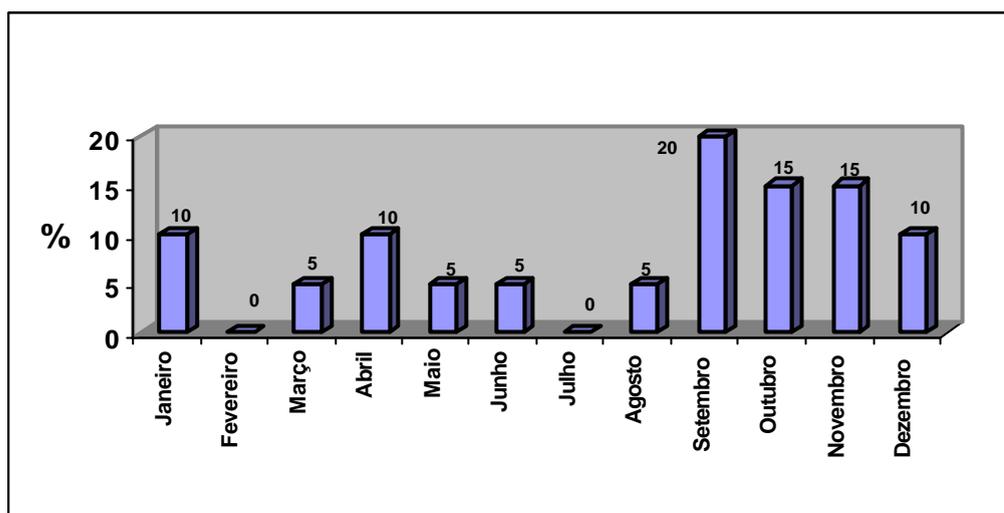


Figura 4.9 – Distribuição dos Acidentes Tipo Colisão ao Longo dos Meses

Outra explicação decorre do fato de os encalhes representarem o segundo tipo de acidente mais freqüente registrado (juntamente com atropelamento, queda na água e deriva) e ocorrerem exclusivamente nos meses de Agosto, Setembro e Outubro, sendo esse último mês contemplado com a metade do número total de encalhes registrados, como pode ser observado na figura 4.10.

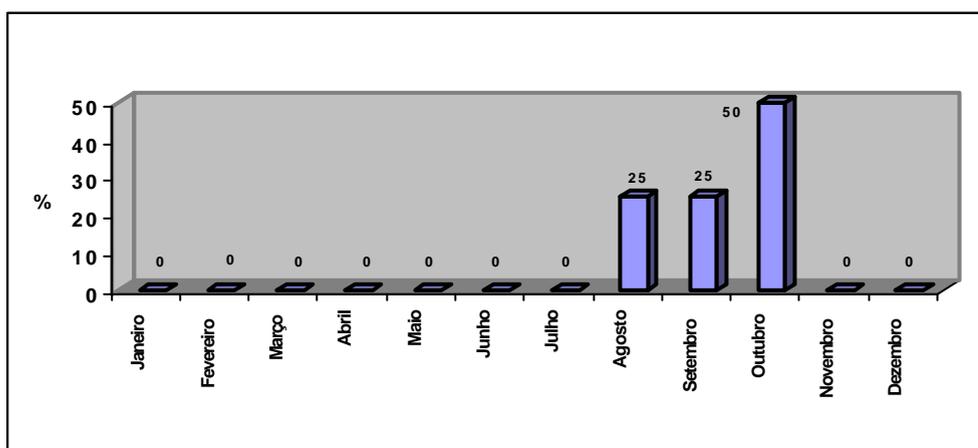


Figura 4.10 – Distribuição dos Acidentes Tipo Encalhe ao Longo dos Meses

A figura 4.11 mostra a distribuição das causas dos acidentes registrados. Foram considerados neste cálculo apenas 31 acidentes, em virtude de os últimos 10 inquéritos estarem ainda em fase de apuração de causas, não tendo elas ainda sido estabelecidas.

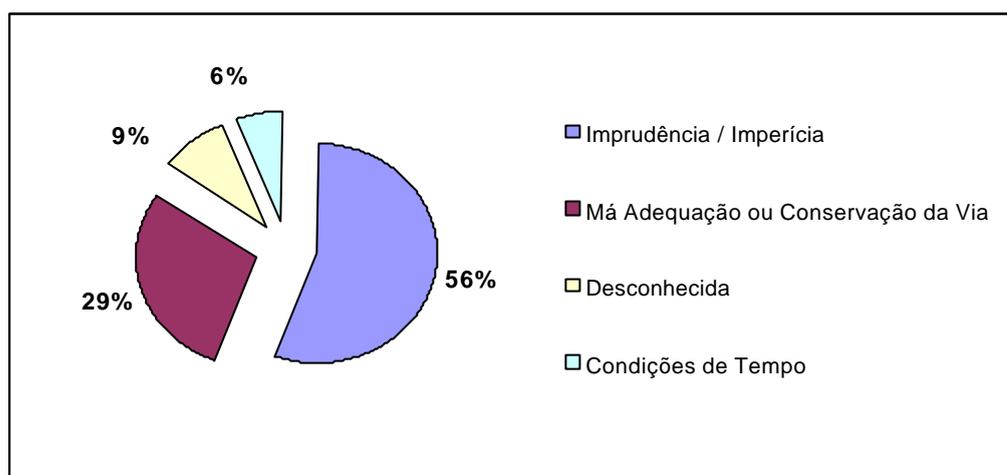


Figura 4.11 – Distribuição de Causas de Acidentes

Nota-se uma preponderância do item imprudência / imperícia nas causas dos acidentes registrados, com 56% do total. Outra causa com grande expressão é a má adequação ou conservação da via, que aparece com 29% do montante. A seguir aparecem causa desconhecida e condições de tempo com 9% e 6%, respectivamente.

Sobre a preponderância do tipo de causa dita Imprudência / imperícia, acredita-se corresponder a uma situação normal, conforme pode ser depreendido do “Transportation Statistics Annual Report 1998”⁽²¹⁾, estudo estatístico sobre acidentes entre os inúmeros modais de transporte nos Estados Unidos, contemplando os anos de 1960 até 1996. Com relação às causas de acidentes, o referido trabalho atenta para o fato de o “Erro Humano” ser o item de maior expressão em todos modais, tendo

grande superioridade com relação às demais causas. Existe a ressalva dada ao modal ferroviário, onde “Falha na Infra-estrutura”, com 34%, tem uma pequena superioridade ao “Erro Humano”, com 33%. Quanto a este comportamento particular do modal ferroviário, com relação a outros modais, o estudo atribui ao fato de o trem se locomover fixo à via, o que, além de tornar a condição de infra-estrutura crítica, enseja à figura humana envolvida pouca margem a erros, diferentemente de um navio, uma aeronave ou um automóvel.

4.3 – Conclusões do Capítulo

Na exposição feita anteriormente neste capítulo, foi constatado que colisões foi o principal tipo de acidente registrado no período examinado, com 48,8% do montante total de acidentes registrados, tendo estas colisões ocorrido exclusivamente com comboios de empurra. Do total das colisões registradas, as colisões de comboios de empurra contra pilares de pontes tiveram o maior percentual, com 60% do total de colisões, precedidas pelas colisões de comboios de empurra em eclusas.

Em virtude do alto índice de colisões registradas na hidrovia Tietê-Paraná, no segundo bimestre de 1999, foi instituída pela Marinha do Brasil através da Capitania Fluvial de Barra Bonita, uma norma segundo a qual todo comboio de empurra, ao pretender transpor os vãos de pontes existentes na rota de navegação no Rio Tietê, deveria antes obrigatoriamente realizar o desmembramento de chatas, transpondo a ponte com uma única chata de cada vez. Isso basicamente se deu no rio Tietê em função do elevado número de pontes que cruzam a rota de navegação. No rio Paraná, o desmembramento já era realizado na ponte BR 272 / MS 141, que faz a ligação

rodoviária entre as cidades de Guaíra, no Paraná, e Mundo Novo, no Mato Grosso do Sul, em virtude de as dimensões dos vãos terem sido consideradas, previamente, pequenas em relação às dimensões dos comboios de empurra do Paraná.

Embora a medida de instituir o desmembramento em todas as pontes do rio Tietê visasse uma maior segurança na operação de transposição dos comboios de empurra entre os pilares das pontes, isto acarretou um dispêndio de tempo e de combustível dos comboios, elevando, assim, os custos operacionais das viagens, principalmente na rota São Simão (GO) – Pederneiras (SP). Isto fez com que o transporte de cargas pelo rio Tietê, a grandes distâncias, se tornasse menos competitivo e atrativo para o dono da carga e/ou armador, que acabou optando pela rota São Simão (GO) – Panorama (SP), evitando assim a navegação pelo rio Tietê. Assim como em Pederneiras, em Panorama existe a conexão, via modal ferroviário, até o Porto de Santos, de onde a carga é encaminhada ao mercado exterior.

Diante do cenário descrito, se o objetivo é promover a navegação na hidrovia e aproveitar os altos investimentos realizados em obras e equipamentos e obras sobretudo no rio Tietê, pode se afirmar, sem dúvida alguma, que sob o ponto de vista de acidente, a questão a ser tratada com prioridade diz respeito a colisões de comboios fluviais contra pilares de pontes. Tendo isto em mente e tentando contribuir para a solução do problema, um dos aspectos a ser examinado é a metodologia pela qual os atuais vãos entre os pilares de pontes da hidrovia Tietê-Paraná foram determinados, uma vez que, como já mencionado, a causa de acidentes “má adequação ou conservação da via” tem grande participação entre as causas dos acidentes registrados, representando 29% do montante total.

CAPÍTULO 5 – METODOLOGIA PARA O DIMENSIONAMENTO DOS VÃOS ENTRE PILARES DE PONTES NA HIDROVIA TIETÊ-PARANÁ

Neste capítulo, é apresentada a metodologia atualmente em vigor para o estabelecimento dos vãos para a navegação na Hidrovia Tietê-Paraná, discutindo-se a aplicabilidade dessa metodologia, tanto com respeito a sua própria concepção como frente às estatísticas de acidentes apresentadas anteriormente neste trabalho, assim como a influência dos aspectos de legislação referente às embarcações e à mão-de-obra embarcada na hidrovia Tietê-Paraná. São analisadas, também, as medidas atualmente em implantação visando a minimização da probabilidade de ocorrência de acidentes em pilares de pontes e de suas conseqüências.

Posteriormente, se examina modelos de simulação para a navegação como elementos que poderão contribuir para reduzir a probabilidade de colisões de comboios contra pilares de pontes e como um instrumento de se obter subsídios para o melhor conhecimento das características de manobrabilidade de comboios, objetivando a obtenção de uma formulação que estabeleça o vão entre pilares de pontes necessário para a navegação com a segurança almejada, na navegação da hidrovia Tietê-Paraná.

5.1 - Metodologia para Determinação de Vãos para à Navegação na Hidrovia Tietê-Paraná

Segundo a CESP; IPT⁽²²⁾, o gabarito para vãos de pilares de pontes da hidrovia Tietê-Paraná foi definido e implantado segundo normas da extinta PORTOBRÁS, cujas funções referentes às hidrovias interiores foram absorvidas pela Diretoria de Hidrovias Interiores do Ministério dos Transportes. A norma utilizada nos vãos de pontes da hidrovia Tietê-Paraná, e ainda hoje em vigor, obedece à formulação 2.1 citada por Riva⁽¹⁴⁾. Para a hidrovia Tietê-Paraná, os valores de K, nesta formulação, são iguais a 4,4 e 2,5, respectivamente, para trechos de navegação em ambos os sentidos e para trechos com um único vão de navegação. É importante ressaltar que tal formulação, proposta pelo PIANC na década de 70, restringe-se à fixação de gabaritos de canais artificiais e não a vãos entre pilares de pontes.

É necessário atentar para o fato de a hidrovia Tietê-Paraná ser composta por uma sucessão de lagos em cascata e dotada de um número elevado de pontes ao longo desses lagos, principalmente no rio Tietê. As condições de navegação das embarcações em tais lagos podem diferir enormemente das condições estudadas para os canais artificiais europeus. Assim sendo, fatores como a ação de ventos sobre um comboio em um desses lagos da hidrovia Tietê-Paraná, ao cruzar um vão de ponte, pode vir a ter uma importância bem maior, e talvez determinante, que a formulação européia não contemple, comprometendo, assim, a passagem da embarcação sob a ponte, com o grau de segurança esperado.

Portanto, adota-se, para o dimensionamento de vãos entre pilares de pontes na hidrovia Tietê-Paraná, constituída por uma seqüência de grandes reservatórios em cascata, na qual trafegam comboios de empurra, uma metodologia que foi utilizada outrora na Europa para o dimensionamento de canais artificiais percorridos por embarcações auto-propelidas relativamente menores. Esta metodologia, ao que tudo indica, está ultrapassada para o fim a que se propunha, inclusive para o caso dos canais europeus, sendo o trabalho do PIANC / IANP⁽¹⁶⁾, comentado na revisão bibliográfica, um importante argumento em favor desta posição.

Outro aspecto, que se soma aos já citados para evidenciar a inadequação da formulação ao caso brasileiro, surge da análise dos registros de acidentes na hidrovia Tietê-Paraná, já que, entre as causas dos acidentes registrados, aparece com destaque, de forma preocupante, a causa dita “Má Adequação ou Conservação da Via”, com 29% do montante total. Evidentemente, é de se suspeitar que tal número tenha alguma relação com os vãos entre pilares de pontes, uma vez que, como já foi exposto no capítulo 4, um grande número de acidentes registrados envolve o choque de comboios contra pilares de pontes.

Obviamente, seria leviano dizer, diante do que foi descrito no capítulo 3 sobre as questões de legislação, tanto referentes às embarcações como à mão-de-obra embarcada, que a problemática se resume à pura e simples inadequação da formulação européia ao caso brasileiro. No caso das embarcações, o fato de não existir um critério de manobrabilidade, que dê uma medida de o quão aptas estas embarcações estão para navegar com segurança diante dos inúmeros obstáculos existentes na hidrovia Tietê-Paraná, é mais do que um indicio de que não tem sido

dada a merecida atenção à profunda relação de interdependência entre via e veículo. Outro aspecto que convém lembrar é a pouca importância dada, em termos da legislação referente a mão-de-obra embarcada, às peculiaridades regionais da navegação fluvial.. Mesmo parecendo que a preponderância da causa dita Imprudência / Imperícia represente uma situação normal, quando comparamos com as estatísticas do U.S. Department of Transportation⁽²¹⁾ e do estudo de VAN MANEN et al.⁽¹²⁾, que também atribuem à figura humana a responsabilidade principal nestes acidentes, deveria se dar uma maior atenção e uma maior ênfase às peculiaridades regionais na formação prática dos trabalhadores aquaviários, visando a minimização dos acidentes na via.

5.2 – Ações Atualmente em Implantação Visando a Minimização dos Riscos à Navegação na Hidrovia Tietê-Paraná

Na hidrovia Tietê-Paraná existe um Comitê Técnico coordenado pela Capitania Fluvial da Hidrovia Tietê-Paraná, que conta com representantes de instituições ligadas à hidrovia, entre eles um representante da administradora da hidrovia, um representante dos armadores, um representante dos areeiros, um representante dos fluviários, entre outros, e, mais recentemente, com a participação do Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, como representante técnico. O objetivo deste comitê é discutir e propor soluções e procedimentos referentes à segurança na navegação e com ao bom funcionamento da hidrovia Tietê-Paraná. Esses procedimentos são distribuídos pela Administradora da hidrovia e pela Marinha em forma de boletins informativos, como o intitulado “Avisos aos Navegantes”, que contém observações relacionadas com a segurança.

No ano passado, o Comitê Técnico da Hidrovia Tietê-Paraná, por sugestão do IPT, e com a finalidade de diminuir riscos de acidentes, decidiu proibir o cruzamentos sob pontes na hidrovia Tietê-Paraná, passando as pontes, descritas no capítulo 3 como pontes com dois vãos para navegação, a terem, na prática, apenas um vão para a navegação.

A CESP que administrava, até a ocasião de sua privatização no segundo semestre desse ano, os trechos da hidrovia Tietê-Paraná compreendendo o rio Tietê e seus afluentes, o canal de Pereira Barreto, o rio São José dos Dourados e o rio Paraná, da foz do rio Tietê até a eclusa de Jupiaá, vinha, com a ajuda do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, efetuando a implantação de proteções em alguns pilares de pontes ao longo desses trechos.

Basicamente, duas concepções de proteção têm sido adotadas: uma aplicável a pilares de pontes compreendidos em lâmina d'água superior a 10 m e uma outra aplicável a pilares localizados em profundidades inferiores. A primeira consiste de pontões flutuantes construídos em aço, apoitados e dotados de dispositivos que possibilitam o acompanhamento do nível d'água. Já a segunda utiliza-se de dolphins de gravidade, com preenchimento em concreto e/ou agregado. Tais proteções visam a minimização das conseqüências causadas por colisões nos pilares de pontes, tendo assim, caráter corretivo do ponto vista do acidente. Até o presente momento, foram implantadas as proteções dos pilares de pontes nas rodovias SP – 333 e SP – 147 e SP - 225, todas no rio Tietê, pelo sistema de pontões flutuantes.

Outra medida que vem sendo adotada, com o objetivo de diminuir a probabilidade de ocorrência de acidentes em pilares de pontes na hidrovia Tietê-Paraná, é o alargamento do vão principal de navegação, por meio da substituição dos dois vãos originalmente em concreto por uma treliça metálica. Até o presente momento, foi realizado o alargamento na ponte da rodovia SP – 463, sobre o rio Tietê, e encontra-se em fase final o alargamento do vão principal da ponte da rodovia SP – 595, no rio São José dos Dourados.

Embora se entenda que a iniciativa de se alargar os vãos entre pilares de pontes não seja uma solução ótima do ponto de vista da segurança na passagem de comboios sob pontes, acredita-se ser uma medida emergencial satisfatória, que pode diminuir razoavelmente o risco de colisões de comboios contra pilares de pontes na hidrovia Tietê-Paraná. A adoção de tal iniciativa é oportuna principalmente considerando que um estudo para definição de um gabarito, que efetivamente considere racionalmente as inúmeras variáveis envolvidas na questão, demandará árduo trabalho e, principalmente, bastante tempo.

Quanto ao custo, algumas considerações devem ser feitas. O custo envolvido em um projeto racional e em um processo de otimização econômica utilizado na concepção de se ter o melhor projeto possível de ponte com pilares sujeitos à colisões de embarcações, segundo VAN MANEN; FRANDSEN⁽¹²⁾, pode ser calculado pelos custos envolvidos durante o ciclo de vida da obra. Estes custos são representados pelo investimento inicial, pelo custo de manutenção (inspeção e reparos durante o tempo de vida) e pelo custo de possível reparo devido à colisão, durante a vida do projeto. Nesta avaliação, a concepção de vãos largos e altos tirantes

de ar, obviamente com alto custo inicial de investimento e, possivelmente, com um alto custo de manutenção, talvez possa ser a solução ótima pois o custo de expectativa de falha, referente a colisões, é baixo. Sob esta ótica é que o projeto das pontes na hidrovia Tietê-Paraná e, conseqüentemente, os alargamentos agora propostos, acabam tendo um custo elevado demais. Convém lembrar que é a sociedade, no grande montante, que vem pagando este custo, e continuará, até que haja uma postura preventiva, quase sempre de menor custo, em vez de corretiva. Contudo, para que se mantenha a hidrovia funcionando e com uma maior segurança, no momento, o alargamento dos vãos é o que de mais sensato se pode fazer até que seja levado a cabo um estudo detalhado sobre a questão.

5.3 – Modelos de Simulação para a Navegação

Diante do que foi exposto anteriormente neste trabalho, ficam evidenciadas a necessidade e a urgência de um estudo detalhado referente ao comportamento dos comboios em operação na hidrovia Tietê-Paraná. Sob esta ótica, é que se examina a utilidade dos modelos de simulação de manobras como meio de se obter o embasamento teórico-experimental para se estudar o problema de acidentes na hidrovia Tietê-Paraná.

Os modelos de simulação para a navegação têm grande aplicação não só no dimensionamento de gabaritos para a navegação e para o conhecimento das características de manobrabilidade de embarcações, como no treinamento de pilotos e práticos. Pode-se dividir os modelos de simulação para a navegação, segundo PIANC⁽²³⁾, em dois tipos distintos a saber:

- Modelos físicos em escala reduzida;
- Modelos numéricos.

Os modelos físicos em escala reduzida de simulação de manobras podem ser utilizados de duas formas: por operador humano, estando este a bordo do navio ou controlando o modelo em terra por controle remoto, ou usando-se um sistema de auto piloto, onde o navio segue uma trajetória predeterminada.

Os modelos físicos utilizados em escala para simular a navegação são construídos de modo a representar o mais real possível as situações de navegação no local que se deseja estudar. É feita uma reprodução, em escala reduzida, tanto do cenário (portos, eclusas, barragens, canais, etc) como da embarcação que navegará pelo local. Aspectos ambientais de influência na navegação como ventos, correnteza, ondas, etc, devem ser levados em conta no modelo a fim de reproduzir com a maior precisão possível as condições de navegação em situações reais.

Por meio do adimensional de Froude, é possível determinar a velocidade e a escala de tempo para uma determinada escala do modelo. A extrapolação dos resultados obtidos na simulação com o modelo hidráulico é feita através deste adimensional, que é dado por:

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gL}} \quad (5.1)$$

em que, V é a velocidade, g a gravidade e L o comprimento.

As relações de velocidade e tempo entre modelo e embarcação real são dadas respectivamente por:

$$V_M = \frac{V_N}{\sqrt{\alpha}} \quad (5.2)$$

$$T_M = T_N \sqrt{\alpha} \quad (5.3)$$

onde V_M e T_M representam, respectivamente, a velocidade e o tempo do modelo, V_N e T_N , respectivamente, a velocidade e tempo da embarcação real, e α é igual a relação de escala entre a embarcação real e o modelo.

Um dos principais problemas da simulação com o modelo hidráulico, segundo Sotelo⁽²⁴⁾, reside principalmente em seu custo, na modelagem de ventos e correntezas e na dificuldade de se representar, de maneira fiel, o comportamento do timoneiro na condução da embarcação. Como a embarcação em escala reduzida é, em geral, controlada a distância por radio-controle, algumas reações inerentes ao piloto, como sensação de movimentos e acelerações, vivenciadas em situações reais, não são fielmente inseridas na simulação. Outro problema diz respeito à velocidade de reação do timoneiro na ocasião da simulação com o modelo, que deve ser muito mais rápida do que na embarcação real para que se compense o efeito de escala. A relação entre a velocidade de reação do timoneiro no modelo e sua correspondente na embarcação se torna maior a medida que se reduz o modelo, sendo essa relação igual a raiz quadrada da escala do modelo, tornando-se, dessa forma, muito difícil reproduzir de maneira precisa o timoneiro na simulação com o modelo.

Já os modelos matemáticos de simulação podem ser divididos em:

- Modelos de simulação de manobras em tempo real;
- Modelos de simulação de navegação em computadores digitais.

Os simuladores de manobras em tempo real consistem da reprodução de uma cabine de comando de controle de uma embarcação, contendo todos os instrumentos de navegação, que reproduz um panorama virtual de 180° da navegação da embarcação, em tempo real, de maneira que o piloto, a frente do monitor, tenha a sensação de estar navegando no local real onde se pretende simular a manobra. O simulador é baseado em um modelo matemático que reproduz a dinâmica da embarcação. Em geral, elementos externos como ventos, correntes e ondas são considerados no modelo. Os simuladores de manobras em tempo real têm tanto aplicação no estudo de manobrabilidade e no projeto de embarcações e/ou da via, como no treinamento de pilotos de embarcações. Contudo, assim como no caso dos modelos físicos (hidráulicos) de simulação, o custo de simuladores de manobras em tempo real é bastante elevado para que se consiga alcançar um resultado satisfatório na simulação. A figura 5.1 apresenta um comparação entre a visão obtida em um modelo de simulação em tempo real e a visão real na passagem com um navio Ro-Ro na ponte Herrenbrücke, no rio Trave na Alemanha.

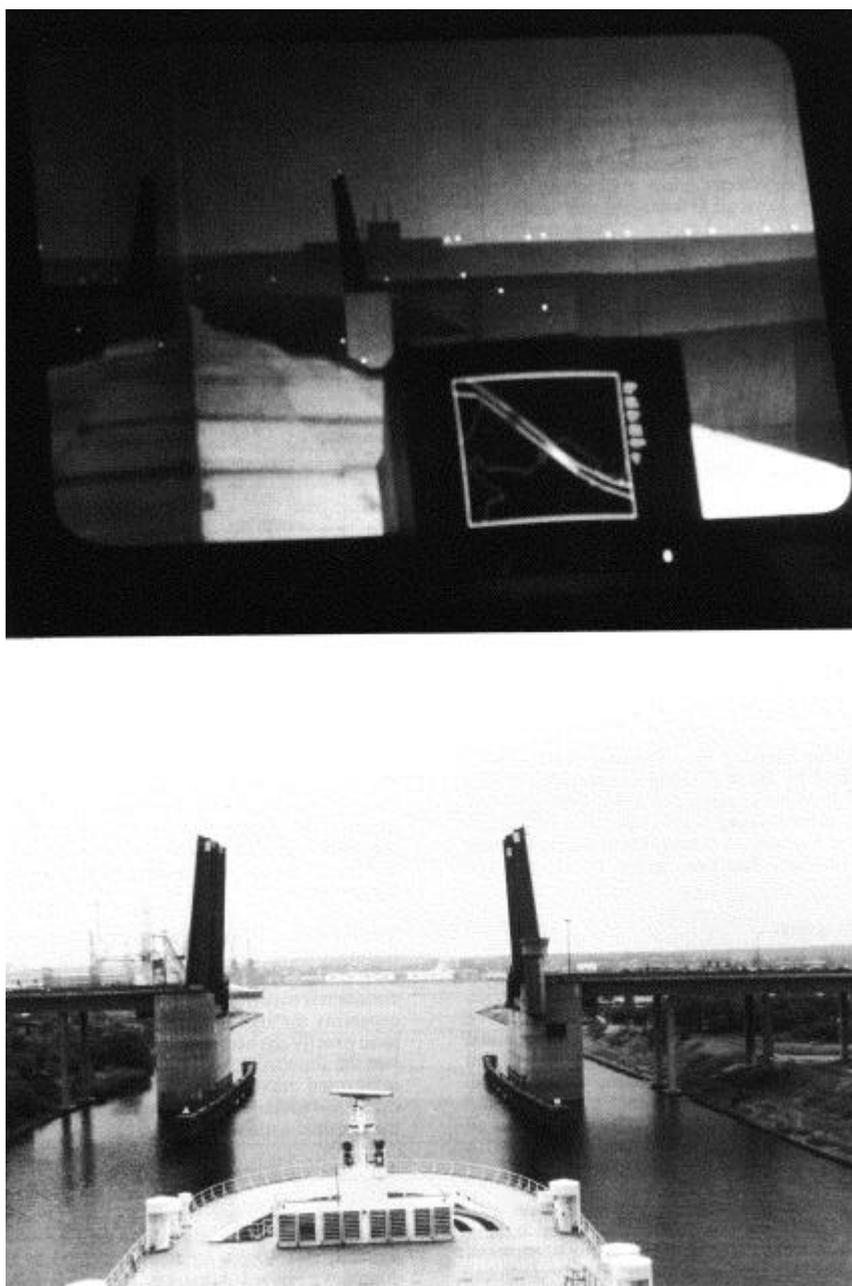


Figura 5.4 – Comparação entre Visão Real e Visual Gerado no Simulador

A simulação de navegação através de computadores digitais se baseia no mesmo modelo matemático utilizado nos simuladores de manobras em tempo real, onde este reproduz a dinâmica da embarcação e em geral, consideram a ação de

ventos, ondas, correntes e efeitos de profundidade. Modelos numéricos completos de manobras são uma combinação de:

- um modelo matemático das características hidrodinâmicas da embarcação;
- uma descrição matemática das influências externas;
- uma descrição matemática dos controles do navio; e
- uma descrição matemática do comportamento humano na direção da embarcação.

A base de cada modelo matemático é o equilíbrio entre as forças de ação no navio, incluindo as forças de inércia. Isto resulta em um conjunto de equações diferenciais dinâmicas, que em um sistema fixo de coordenadas pode ser escrito os seis níveis de grau de liberdade da embarcação. Porém, para finalidades de simulação, afundamento (heave) e passo (pitch) não são considerados. Segundo PIANC⁽²³⁾, para a maioria das embarcações, com exceção de embarcações de alta velocidade, o movimento de balanço (roll) não é importante para a simulação. As equações abaixo traduzem, no plano horizontal e rotacional ao longo do eixo vertical de uma embarcação, com centro de gravidade (X_{OG} , Y_{OG}), curso ψ , massa m e momento de inércia ao longo do eixo z I_{zz} , os movimentos da embarcação:

$$X_o = m \frac{d^2 X_{og}}{d^2 t} \quad Y_o = m \frac{d^2 Y_{og}}{d^2 t} \quad N = I_{zz} \frac{d^2 \psi}{d^2 t} \quad (5.4)$$

As equações, expressas em função das componentes de velocidades longitudinal u , lateral v , da taxa de giro r e das componentes correspondentes de aceleração são:

$$X = m(\dot{u} - vr - x_G r^2) \quad (5.5)$$

$$Y = m(\dot{v} - ur - x_G \dot{r}) \quad (5.6)$$

$$N = I_{ZZ} \dot{r} + mx_G (\dot{v} + ur) \quad (5.7)$$

As componentes longitudinais e laterais das forças no navio, X e Y , e também o momento de guinada (yawing) N são iguais à soma das mesmas componentes das forças hidrodinâmicas do casco, das forças do leme e no propulsor, e das forças externas devido ao vento, correntes, ondas, etc. Igualando os termos de aceleração para a soma das forças temos:

$$m(\dot{u} - vr - x_G r^2) = X_{hull} + X_{prop} + X_{rudder} + X_{wind} + X_{waves} + X_{current} + \dots \quad (5.8)$$

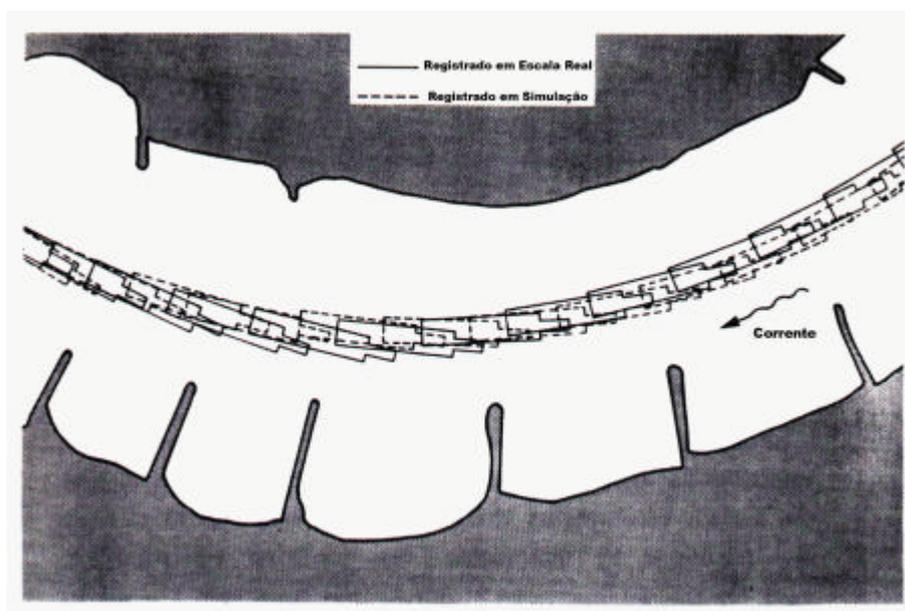
$$m(\dot{v} - ur - x_G \dot{r}) = Y_{hull} + Y_{prop} + Y_{rudder} + Y_{wind} + Y_{waves} + Y_{current} + \dots \quad (5.9)$$

$$I_{ZZ} \dot{r} + mx_G (\dot{v} + ur) = N_{hull} + N_{prop} + N_{rudder} + N_{wind} + N_{waves} + N_{current} + \dots \quad (5.10)$$

As forças hidrodinâmicas são dependentes também, além da forma do casco, leme e arranjo dos propulsores, da profundidade da água, calado, trim, do confinamento lateral da água, correntes, etc. Estas forças são escritas em função das velocidades, rpm, ângulo de leme, etc., envolvendo um grande número de

coeficientes (também chamados coeficientes hidrodinâmicos ou derivadas hidrodinâmicos). Os efeitos de águas rasas, sucção devido a margem, trim, correntes, têm que ser considerados pelo uso de termos adicionais (coeficientes extras nas equações) a partir de um número limitado de experimentos, em um número de situações limitadas. A maioria dos coeficientes hidrodinâmicos são determinados em experimentos com modelos em tanques de prova. Existem várias técnicas de testes com modelos em escala para se obter os coeficientes hidrodinâmicos para serem utilizados em modelos de simulação de manobras com embarcações. Em PIANC⁽²³⁾ é feita uma apresentação dessas técnicas e procedimentos.

A figura 5.3 ilustra a comparação entre os registros referentes à trajetória de uma embarcação em escala real e os registros em uma simulação com modelo matemático, na passagem sobre uma curva de um hidrovia.



FONTE: PIANC⁽²³⁾ (fig. 23 da pág. 35)

Figura 5.3 – Comparação entre protótipo e simulação

5.4 – A Aplicabilidade ao Caso da Hidrovia Tietê-Paraná

Do ponto de vista de se minimizar a probabilidade de colisões de embarcações contra pilares de pontes na hidrovia Tietê-Paraná, a simulação com um modelo físico (hidráulico) poderia dar sua contribuição; contudo, como já foi mencionado, existem limitações tanto referentes ao custo de sua confecção como com relação a confiabilidade dos resultados em virtude da dificuldade de se reproduzir, de maneira fiel as condições ambientais e de condução da embarcação pelo piloto no ensaio, em função do efeito do tempo de escala discutido anteriormente. O uso de modelos físicos está ainda restrito as situações em que o processo físico não é bem conhecido em termos teóricos ou seu modelo matemático é muito complexo. Essas limitações dos modelos físicos tornam muito mais interessante, principalmente, no caso da hidrovia Tietê-Paraná, a simulação com modelos matemáticos como forma de se ampliar o conhecimento sobre a manobrabilidade dos comboios em operação na hidrovia.

No entanto, como foi mencionado anteriormente neste mesmo capítulo, nos modelos matemáticos de simulação existe a necessidade de se obter os coeficientes hidrodinâmicos, tanto referentes às características da embarcação como relativo aos efeitos externos (ondas, ventos, correntezas, etc). Existem no Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT) alguns ensaios realizados com comboios de empurra que hoje navegam pela hidrovia Tietê-Paraná; alguns mais recentes, outros mais antigos.

O IPT nos últimos três anos vem realizando alguns ensaios em escala real com comboios de empurra no rio Tietê e, mais recentemente, ensaios com um modelo em escala reduzida tripulado (escala 1:6), adquirido através de uma parceria com a então administradora da hidrovia, CESP. Estes ensaios se destinam, entre outros objetivos, a identificar os fatores de influência na manutenção de rumo dos comboios de empurra da hidrovia. Contudo, os resultados destes ensaios são insuficientes, em termos de se obter coeficientes hidrodinâmicos para utilização em modelos matemáticos de simulação de manobras. Além disso, o número de ensaios realizados até agora é muito pequeno e sob circunstâncias muito aquém das condições ideais para que se possa obter, ainda que poucos deles, os coeficientes hidrodinâmicos para utilização nos modelos matemáticos.

Existem também alguns ensaios com modelos em tanques de provas realizados no IPT dos quais foi possível extrair alguns dos coeficientes hidrodinâmicos que possivelmente serviriam para utilização em um modelo matemático de simulação. Contudo, assim como os ensaios feitos em escala real e com o modelo tripulado, os ensaios em tanque de prova são em um número reduzido e os coeficientes, basicamente, se referem às características da embarcação, ou seja, ao casco, propulsor e leme. Portanto, existe a necessidade de se realizar mais ensaios, tanto afim de se obter os coeficiente referentes à embarcação, para um número maior de condições de velocidade, rpm, leme, etc, como principalmente, para se obter os coeficientes hidrodinâmicos referentes às influências externas, como vento, corrente, onda, etc.

Caberia então, dentro da concepção de um estudo detalhado, tendo como meta minimizar a probabilidade de colisões de embarcações contra pilares de pontes na hidrovia Tietê-Paraná, primeiramente se estabelecer quais os dados disponíveis hoje (testes realizados, condições dos testes, coeficientes obtidos e também para que condições de leme, rpm, velocidade, etc,) que poderiam ser utilizados em um possível modelo matemático de simulação. A partir daí, seria preciso estabelecer quais técnicas de ensaios seriam utilizadas para se obter os coeficientes hidrodinâmicos necessários, tendo em mente as instalações e equipamentos atualmente disponíveis e outros equipamentos que poderiam vir a ser adquiridos em razão dos ensaios requeridos para o caso em questão (ou de outras finalidades distintas). Os ensaios não somente serviriam para obtenção dos coeficientes hidrodinâmicos necessários à confecção de um modelo de simulação, mas também, certamente, viriam contribuir para ampliar o conhecimento referente ao comportamento de comboios navegando em reservatórios.

Prosseguindo nesta linha de pensamento, a partir dos coeficientes adquiridos, se viabilizaria um modelo matemático de simulação que serviria como uma ferramenta valiosa e efetiva para finalmente se chegar a uma formulação e/ou um procedimento que estabeleça os vãos de navegação para hidrovia Tietê-Paraná.

Entende-se, portanto, que a utilização de um modelo matemático de simulação seria um caminho promissor para a obtenção de um maior conhecimento sobre a manobrabilidade dos comboios em operação na hidrovia Tietê-Paraná, visando a minimização da probabilidade de colisões contra pilares de pontes e, por conseguinte, a obtenção de um requisito importantíssimo para o transporte por

hidrovia com eficiência e competitividade frente aos outros modais e/ou junto a eles:
a segurança.

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Nesse capítulo serão listadas as principais conclusões provenientes do desenvolvimento deste trabalho, assim como algumas sugestões para trabalhos futuros.

6.1 – Conclusões

Dentre as conclusões já previamente discutidas em algum ponto no decorrer deste trabalho, podemos destacar as seguintes:

- a) a análise dos acidentes registrados na hidrovia Tietê-Paraná mostrou que o principal problema são as colisões envolvendo comboios fluviais, representando 48,8 % do total de acidentes registrados;
- b) analisando as colisões envolvendo comboios fluviais na hidrovia Tietê-Paraná, observou-se que 60 % do total das colisões registradas no período considerado (1994 a 1998) se referiam a colisões contra pilares de pontes;
- c) os critérios que regulamentam as embarcações na hidrovia Tietê-Paraná, de uma maneira geral, contemplam, com nível satisfatório de exigências, vários critérios referentes à segurança na navegação, havendo apenas a ressalva da inexistência

-
- de um critério de manobrabilidade para embarcações que navegam nesta hidrovia;
- d) os critérios que regulamentam os aquaviários na hidrovia Tietê-Paraná, pelo menos em termos teóricos, capacitam a mão-de-obra embarcada para a navegação na hidrovia. No entanto, aspectos regionais de navegação deveriam ser encarados com uma atenção maior na formação da mão-de-obra embarcada;
- e) através da análise dos acidentes registrados, ficou claro que a metodologia em vigor para a determinação dos vãos para a navegação na hidrovia Tietê-Paraná não atende as condições atuais de navegação, estando ultrapassada para o fim a que foi concebida outrora;
- f) tornou-se evidente que é necessária uma nova metodologia para a determinação dos vãos para a navegação na hidrovia Tietê-Paraná a fim de se reduzir o número de acidentes que vem prejudicando o desenvolvimento efetivo da navegação nesta hidrovia;
- g) um caminho, para se obter um maior embasamento no campo da manobrabilidade de comboios fluviais da hidrovia Tietê-Paraná, seria a confecção de um modelo matemático de simulação de manobras, visando alcançar um metodologia para a determinação de vãos para a navegação, que contemple de maneira efetiva a segurança no tráfego hidroviário.

6.2 – Sugestões para Trabalhos Futuros

Entende-se que uma alternativa vigorosa para se estabelecer uma nova metodologia para o dimensionamento dos vãos para a navegação na hidrovia Tietê-Paraná só poderá partir de um estudo detalhado do comportamento dos comboios fluviais que navegam nessa hidrovia. Sendo assim, uma ferramenta muito útil neste estudo seriam os simuladores de manobras, mais especificamente, os modelos matemáticos de simulação de manobras.

A confecção de um modelo matemático que servisse de base para um estudo detalhado sobre manobrabilidade dos comboios fluviais da hidrovia Tietê-Paraná poderia ser viabilizada a partir da obtenção dos coeficientes hidrodinâmicos, tanto referentes ao características da embarcação como dos elementos externos, através de ensaios com modelos em escala. Estes ensaios poderiam ser complementados com os ensaios já realizados no Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo e que já proporcionaram a obtenção de alguns coeficiente hidrodinâmicos necessários à construção do modelo matemático de simulação.

Assim sendo, poder-se-ia elaborar um projeto bem estruturado, sistematizando pesquisas correlatas no campo da manobrabilidade e segurança de comboios que navegam na hidrovia Tietê-Paraná, de maneira a se unir esforços para se alcançar um embasamento menos especulativo e mais científico-experimental que venha a contribuir, não somente para a resolução dos problemas presentes hoje na hidrovia, mas sobretudo, para a formação de uma cultura hidroviária mais científica e profissional. Uma maneira de se alcançar esse objetivo seria por meio do

desenvolvimento de pesquisas em universidades de reconhecida afinidade com a temática, seja via teses, dissertações ou pesquisas de iniciação científica, em parceria com o IPT, que já vêm trabalhando e acumulando uma experiência considerável no campo de hidrovias e de embarcações fluviais há bastante tempo.