

Marcio Vaz Ferreira Ramos

Capacidade de Tráfego de Eclusas

**Dissertação apresentada à
Escola Politécnica da USP para a
obtenção do título de Mestre em
Engenharia**

São Paulo, 1990

BC
FD-203

Marcio Vaz Ferreira Ramos
Engenheiro Civil, Escola Politécnica da USP, 1972

Capacidade de Tráfego de Eclusas

**Dissertação apresentada à
Escola Politécnica da USP para a
obtenção do título de Mestre em
Engenharia**

Orientador : Professor Dr. Giorgio Brighetti
Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária

São Paulo, 1990

**Às
minhas amadas
Salete, Diana, Tati e Gilda.**

**Agradeço a inestimável
colaboração dos meus amigos
da ESCOLA POLITÉCNICA, da
CEPRODAM, da SEQUÊNCIA,
da BUREAU e da THEMAG.**

Sumário

1. Introdução	1-1
1.1 Importância da Capacidade de Tráfego	1-5
1.2 Custos de Implantação de Eclusas	1-8
1.3 Modelo Usado para as Eclusas de Tucuruí	1-10
1.4 Bibliografia	1-12
2. Definições	2-15
2.1 Capacidade de Tráfego Máxima Teórica	2-15
2.2 Sistemas de Eclusas	2-21
2.3 Duração do Ciclo de uma Eclusa	2-23
2.3.1 Operações inclusas no Tempo de Operação	2-25
a) Entrada do Comboio	2-25
b) Fechamento das Portas	2-26
c) Deslocamento Vertical	2-26
d) Abertura das Portas	2-26
e) Saída do Comboio	2-26
f) Tempo de Operação	2-27

2.3.2	Operações inclusas no Tempo de Manobra	2-27
a)	Primeiro Movimento	2-27
b)	Segundo Movimento	2-27
c)	Terceiro Movimento	2-28
d)	Quarto Movimento	2-28
e)	Movimento Contínuo	2-28
2.4	Bibliografia	2-29
<u>3.</u>	<u>Tempos de Operação</u>	<u>3-31</u>
3.1	Entrada e Saída do Comboio	3-31
3.2	Deslocamento Vertical	3-34
3.2.1	Velocidade Média de Variação de Nível	3-44
3.2.2	Altura da Eclusa e Variação de Nível	3-45
3.3	Abertura e Fechamento das Portas	3-50
3.4	Bibliografia	3-52
<u>4.</u>	<u>Tempos de Manobra dos Comboios</u>	<u>4-57</u>
4.1	Descrição Geral	4-62
4.2	Fixação dos Parâmetros	4-65
4.2.1	Raio de Curvatura Mínimo	4-66

4.2.2 Folgas Admissíveis	4-66
4.2.3 Velocidade Média	4-67
4.2.4 Ângulo de Aproximação ao Muro-Guia	4-67
4.2.5 Ponto Fixo	4-68
4.2.6 Velocidade Angular	4-68
4.2.7 Largura e Comprimento	4-69
4.3 Modelos de Manobras dos Comboios	4-70
4.3.1 Primeiro Modelo: Quatro Movimentos	4-71
1º Movimento:	4-72
2º Movimento:	4-72
3º Movimento:	4-73
4º Movimento:	4-73
4.3.2 Segundo Modelo: Três Movimentos	4-74
1º e 2º Movimento:	4-74
3º Movimento:	4-74
4.3.3 Terceiro Modelo: Dois Movimentos	4-75
1º Movimento:	4-76
2º Movimento:	4-76

4.3.4	Quarto Modelo: Um Movimento Direto	4-77
	Movimento Único	4-77
4.3.5	Quinto Modelo: Um Movimento	4-78
	Movimento Único	4-79
4.3.6	Sexto Modelo: Um Movimento Alternativo	4-80
	Movimento Único	4-81
4.4	Bibliografia	4-82
5.	Ciclo de Sistemas de Eclusas	5-88
5.1	Uma Eclusa Simples	5-88
5.2	Duas Eclusas em Série	5-90
5.2.1	Eclusa de Câmaras Múltiplas	5-90
5.2.2	Escada de Eclusas	5-94
5.3	Eclusas em Paralelo	5-96
5.4	Bibliografia	5-97
6.	Custo de Implantação de Eclusas	6-98
6.1	Variação do Custo com a Altura de Queda	6-98
6.2	Custo das Eclusas em Série	6-102
6.2	Bibliografia	6-105

7. Conclusões **7-107**

8. Bibliografia **8-112**

SUMÁRIO **i**

Lista de Figuras e Tabelas **vi**

RESUMO **viii**

ABSTRACT **viii**

Lista de Figuras e Tabelas

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
1	Embarcação 1 entrando na OTD no instante t_0	2-15
2	Embarcação 1 saindo da OTD no instante t_1	2-16
3	Embarcação 2 entrando na OTD no instante t_2	2-15
4	Velocidade Variação de Nível e Altura de Queda	2-22
5	Modelo de Quatro Movimentos	4-67
6	Modelo de Três Movimentos	4-69
7	Modelo de Dois Movimentos	4-70
8	Modelo de Movimento Único Direto	4-72
9	Modelo de Movimento Único	4-73
10	Modelo Alternativo de Movimento Único	4-75
11	Eclusa de Câmaras Múltiplas	5-84
12	Escada de Eclusas	5-87

Tabela **Página**

1	Velocidade de Variação de Nível em Eclusas	3-35
2	Hidrovia Tennessee - Tombibee Alabama-Mississippi-USA	3-46

RESUMO

A capacidade de tráfego das vias navegáveis é o parâmetro básico para o adequado dimensionamento das obras que compõem a hidrovia. As eclusas são, quando existem, o maior investimento a ser realizado na hidrovia, ao mesmo tempo que se constituem no elemento com a menor capacidade de tráfego. O estudo da capacidade de tráfego das eclusas pode requerer recursos financeiros muitas vezes não disponíveis nas fases iniciais de estudo. Este trabalho apresenta uma metodologia simplificada para realização de estimativas aproximadas das capacidades de tráfego de sistemas de eclusas. É também abordado o custo dos sistemas de eclusas, relacionando-o com a variação da altura de queda e com a possibilidade de utilização de eclusas em série.

ABSTRACT

The tonnage capacity is the basic parameter for properly dimensioning of the waterway facilities. The major cost components of a waterway system including navigation locks are the locks themselves. The locks are also the system component that represent the controlling factor on tonnage capacity of the entire waterway. The evaluation of tonnage capacity require studies demanding resources that may not be available at early stages of design. To overcome this problem in this paper an attempt is made to define a simplified methodology for estimate tonnage capacity of locks systems. Attention is also paid to the cost of the lock system as related to the total lift and the possibility to use serial lock system.

Capacidade de Tráfego de Eclusas

1. Introdução

Foram projetadas e construídas, em nosso país, diversas eclusas sem que houvesse uma preocupação maior com a capacidade de tráfego, que seria necessária no futuro. Nestas eclusas foi adotada a premissa do atendimento dos comboios tipo das hidrovias, que também já haviam sido dimensionados sem análises de sua capacidade de tráfego. O exemplo mais significativo de eclusas com estas características são as do Tietê e do Paraná planejadas entre as décadas de 50 e 70. A implantação destas eclusas foi iniciada há cerca de 30 anos e somente agora está próxima de ser concluída.

As condições institucionais da época do planejamento dessas obras talvez não permitissem outra abordagem. Foram eclusas inseridas em obras cuja função primária era a geração de energia elétrica e que, sem as eclusas, passariam a impedir a navegação de forma definitiva. Por este ponto de vista a justificativa da implantação das obras não era econômica e sim uma questão de direito.

Os defensores da hidrovia usavam o argumento que o Código de Águas define que a navegação não pode ser impedida em uma via considerada navegável. Por outro lado as empresas de geração de energia possuíam, naquela época, uma visão muito estreita dos aproveitamentos hidrelétricos sem ao menos considerar outros usos da água, eventuais danos ao ambiente causados pela implantação de seus empreendimentos e muito menos a navegação.

Assim, a inserção destas eclusas nas obras de geração pode até ser considerada uma vitória da navegação fluvial sobre a falta de uma visão mais abrangente de nossa engenharia na época.

Nos Estados Unidos da América foram implantadas eclusas nos rios Ohio e Mississippi nas décadas de 20 e 30, utilizando critério similar de dimensionamento, que só necessitaram ser ampliadas ou substituídas nos anos 70. Porém estas eclusas permaneceram por muitas décadas superdimensionadas onerando desnecessariamente o transporte fluvial e mesmo em um país rico como os EUA, este procedimento não é mais aceito.

Das nossas eclusas, no Tietê e Paraná, não se pode nem dizer que estivessem superdimensionadas. Foi bastante pior, permaneceram dezenas de anos incompletas ou abandonadas, sem nenhum uso mais nobre do que servir de excêntrica atração turística, o que, para um país com as condições econômicas do Brasil, é muito mais sério que o citado superdimensionamento americano.

Hoje, quando estudamos a implantação de eclusas não podemos prescindir de um dimensionamento mais adequado às necessidades do transporte. Ao se iniciar os estudos, devem ser efetuadas projeções dos fluxos de carga que poderão transitar pela eclusa, ao longo de sua vida econômica. Determinados estes fluxos futuros, deve ser procurada a solução de engenharia que os atenda, com sua capacidade de tráfego, e que não apresente antecipações desnecessárias de investimentos.

Neste trabalho é apresentada uma metodologia simplificada de estimativa de capacidade de tráfego de eclusas. A determinação de um valor exato da capacidade de tráfego prevista é, provavelmente, impossível, mas estimativas razoáveis podem ser desenvolvidas. Muitos pesquisadores tentaram desenvolver métodos racionais de estimativa da capacidade real de tráfego de vias navegáveis, ou de seus elementos, e muito esforço ainda é efetuado neste sentido, mas até a presente data só foram obtidos sucessos parciais neste campo.

A real natureza do problema reside na necessidade do exercício do julgamento na escolha dos valores dos diversos parâmetros que influem na estimativa da capacidade de tráfego, implicando em uma grande variabilidade de resultados nas previsões efetuadas por pesquisadores diferentes.

A metodologia aqui apresentada não pretendeu chegar a se aproximar de resultados determinísticos que permitissem comparações entre dimensionamentos de diferentes obras, por diferentes pesquisadores em diversas épocas.

A intenção primária é fornecer uma metodologia simples que auxilie nos estudos de Viabilidade e Básico de sistemas de eclusas, quando são analisadas diversas alternativas de disposição de eclusas e deverão ser tomadas decisões que serão fundamentais nas etapas seguintes.

Nos estudos iniciais os montantes de recursos são normalmente escassos. Tempo e recursos financeiros, notadamente, são sempre em volume menor que o desejado para a execução de um estudo perfeito, que apresente os resultados mais precisos possíveis.

Como, nesta fase dos estudos, o que interessa são os resultados comparativos entre soluções diferentes, as eventuais imprecisões tem seus efeitos diluídos. Assim uma metodologia simplificada de estimativa de capacidade de tráfego é uma ferramenta muito importante para a execução destes estudos.

Esta abordagem por sua simplicidade, também possui um grande valor didático na apresentação da capacidade de tráfego de eclusas e seu relacionamento com a disposição em planta destas obras, conforme vem sendo atestado pelo autor, desde 1980, nas turmas dos 9º e 10º semestres do curso de graduação de engenharia civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, na cadeira de Portos Marítimos e Vias Navegáveis Interiores.

A seguir, ainda nesta Introdução, apresenta-se aspectos adicionais da importância do estudo da capacidade de tráfego de eclusas, o problema do custo das eclusas e como este modelo teve início, nos estudos efetuados para a Viabilidade das Eclusas de Tucuruí.

1.1 Importância da Capacidade de Tráfego

Em um sistema de transporte existem vários parâmetros que podem ser usados para descrever a adequação do sistema aos objetivos desejados. O custo do transporte é, sem dúvida, um parâmetro muito importante e seu valor, muitas vezes, determina até a escolha do modal a ser utilizado, em detrimento, eventualmente, de outros parâmetros de desempenho tais como a velocidade de transporte, segurança etc.

Sem diminuir a importância dos outros parâmetros pode-se dizer que a capacidade de tráfego é o parâmetro mais importante, do ponto de vista do dimensionamento dos sistemas de transportes.

Ao representar a quantidade de carga, ou de passageiros, transportada na unidade de tempo a capacidade de tráfego comporta-se como uma "vazão" em massa percorrendo uma "rede" que se constitui do sistema de transporte estando portanto diretamente ligada com o dimensionamento desta "rede" tal como a vazão está ligada ao dimensionamento de uma rede hidráulica.

No modal navegação fluvial alguns parâmetros apresentam uma variabilidade muito pequena, pelas próprias características do sistema de transporte. A velocidade, sempre muito baixa, varia muito pouco, sendo difícil ficar longe de uma média geral de cerca de 10 km/h. O custo do transporte, também baixo, não possui muita margem para variações.

A capacidade de tráfego atinge então, neste modal, uma importância muito significativa, sendo imprescindível o seu cálculo para o correto dimensionamento de qualquer elemento de uma via navegável desde as embarcações até as obras de transposição de desníveis.

Em outros modais, tais como o rodoviário e o ferroviário, é comum que diversos dimensionamentos sejam efetuados sem que hajam cálculos relacionados com a capacidade de tráfego. No transporte hidroviário o mesmo não acontece, sendo todos os elementos de um sistema de transporte dimensionados sob medida para o atendimento da capacidade de tráfego desejada em cada caso, não se utilizando padrões, bitolas e "tipos".

As capacidades de carga de um vagão graneleiro ou de uma carreta rodoviária, por exemplo, não apresentam grande variabilidade ficando seus valores limitados a uma pequena quantidade de tipos de unidade de transporte. Já em uma chata para granéis a variedade de capacidades possíveis é infinita dentro do intervalo entre o menor e o maior barco que possa ser usado em determinada hidrovia para aquela carga.

Para que se possa fazer estudos de viabilidade da implantação de qualquer dos elementos de uma via navegável, ou da própria via como um todo, é necessário se estudar sua capacidade de tráfego de forma a apurar os benefícios gerados, os quais serão, por sua vez, confrontados com os custos para a construção ou fabricação, necessários à implantação pretendida.

Nos projetos básico e de detalhamento os estudos de capacidade de tráfego devem prosseguir, pois é através deles que se efetua a conexão entre os requisitos de segurança e custo com os objetivos da obra, permitindo a tomada de decisões corretas de projeto.

Nas obras de transposição de desníveis a estimativa da capacidade de tráfego reveste-se de uma importância ainda mais significativa visto serem estas obras, via de regra, o elemento de menor capacidade de uma via navegável constituindo-se no elemento limitante da capacidade de todo o sistema. São também as obras de transposição de desníveis, quando existem, as que, normalmente, necessitam do maior aporte de recursos financeiros na implantação de um sistema de navegação.

As eclusas, em suas diversas alternativas de disposição, apresentam uma faixa muito grande de variação de valores para a capacidade de tráfego, certamente maior que a de outros elementos da via. Esta ampla faixa de valores é decorrência de existirem desde eclusas em série com capacidade muito menor que a de uma eclusa simples equivalente, no mesmo desnível, até eclusas em série, com outra disposição, com capacidade de tráfego maior do que a desta eclusa simples equivalente e até mesmo disposições em paralelo que multiplicam a capacidade de tráfego.

1.2 Custos de Implantação de Eclusas

Nas hidrovias a “via permanente” já existe, quando não é necessário vencer nenhum desnível, construída pela natureza constituindo-se nos rios e lagos, não sendo possível ocorrer o mesmo com os transportes rodoviário e ferroviário. Este fato leva a que em um sistema de navegação fluvial os investimentos em infraestrutura sejam bem menos significativos do que em outros modais.

Quando é necessária a transposição de algum desnível o investimento na implantação das obras para transpor o desnível constitui-se no maior, e em muitos casos o único, investimento necessário à implantação do sistema de navegação fluvial devendo portanto ser muito bem estudado e o mais otimizado possível.

Os diversos tipos de obras de transposição de desníveis: eclusas, elevadores, planos inclinados etc, possuem uma grande diversidade de custos entre si, como não poderia deixar de ser pois se valem em suas soluções, de tecnologias muito diversas.

Visando uma maior homogeneidade de resultados nas relações entre custo das obras e sua capacidade de tráfego neste estudo só foram analisadas eclusas, entre os diversos tipos de obras de transposição de desníveis.

As eclusas, de qualquer forma, são as soluções de engenharia, para transpor desníveis, que têm absoluta predominância em todo o mundo. Nos Estados Unidos, país líder no volume de carga transportada por navegação fluvial, sequer se projeta outro tipo de solução há varias décadas.

Os sistemas de transposição de desníveis em eclusas podem ser construídos com diversos materiais dependendo das dimensões da obra e do desempenho desejado.

Estes sistemas podem ser constituídos de diversas soluções alternativas para a disposição das eclusas: eclusa simples, eclusas em paralelo e eclusas em série. As dimensões das câmaras das eclusas vão variar bastante com a solução para a disposição adotada fazendo, conseqüentemente, que até a tecnologia adotada varie através dos materiais e técnicas utilizados na solução de engenharia.

Os custos de implantação de disposições alternativas de eclusas apresentam uma variabilidade imensa, relacionada com parâmetros que afetam a capacidade de tráfego, implicando na necessidade, quase que absoluta, de execução de estimativas de capacidade de tráfego, para a tomada de decisão entre *lay-outs* alternativos, nas fases iniciais dos estudos de engenharia.

A falta de estudos de capacidade de tráfego pode implicar até a paradoxal adoção de uma solução que apesar de não ser a mais barata não atende às necessidades do empreendimento.

1.3 Modelo Usado para as Eclusas de Tucuruí

Quando da execução dos estudos de alternativas para a transposição do desnível causado pela Usina Hidroelétrica de Tucuruí, foi necessária a comparação entre cerca de 80 alternativas sendo realizada uma pesquisa muito grande dos fatores que afetavam a previsão da capacidade de tráfego.

As alternativas apresentavam diferenças de disposição em planta desde duas até seis eclusas em série, com soluções bastante diversas para o cruzamento de embarcações entre as diversas alternativas. Foram também analisadas soluções para dois comboios tipo diferentes para cada alternativa de *lay-out*.

Na época da realização dos estudos (1976) não havia sido ainda estudado, no Brasil, nenhum sistema de eclusas em série e os estudos internacionais mais recentes, notadamente quanto às manobras dos comboios, já datavam de cerca de 20 anos apresentando resultados desatualizados e não mais aplicáveis.

As dimensões do problema e a ausência de métodos atualizados de previsão de capacidade de tráfego implicou na necessidade de efetuar uma extensa pesquisa visando a criação de um modelo que permitisse a análise comparativa das soluções.

A pesquisa efetuada na época resultou em uma metodologia que buscava definir os parâmetros que influem na estimativa da capacidade de tráfego de um sistema de eclusas e procurava orientar e limitar os julgamentos necessários sobre os valores a serem adotados para a confecção desta estimativa.

O modelo teórico resultante dos estudos, depois de muitas discussões com a PORTOBRÁS e seus consultores, foi aplicado nas diversas alternativas de disposição estudadas resultando na definição das alternativas que apresentavam a capacidade de tráfego desejada pela PORTOBRÁS.

Neste trabalho será apresentada esta metodologia atualizada com pesquisas efetuadas sobre a bibliografia específica, no sentido da generalização dos resultados.

1.4 Bibliografia

A bibliografia aqui relacionada refere-se ao Capítulo 1 e apresenta o seguinte formato:

- * Nome do Autor da Obra
Título da Obra
Editora, Congresso, Simpósio, Entidade, Periódico etc.
 - » *Principais tópicos que interessam ao presente capítulo*

- * Almeida, Carlos Eduardo de -
Obras de Transposição de Desnível em Barragens de Aproveitamentos Múltiplos
- Tese para provimento da Cátedra : "Navegação Interior e Portos Marítimos" - EPUSP - 1968.
 - » *Aspectos gerais sobre eclusas, velocidade de enchimento e esvaziamento, capacidade de tráfego*

- * Blaauw, Henk G./ Verhey, Henk J.
Design of Inland Navigation Fairways
- Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - february/1983
 - » *importância da capacidade de tráfego no projeto de uma via navegável.*

- * Bottoms, Eric E.
Practical Tonnage Capacity of Canalized Waterways.
- Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - february/1966.
 - » *capacidade prática de tráfego capacidade de tráfego máxima teórica.*

- * Cadart, Gustave/ Barbet L.
Considérés au Point de Vue de sa Capacité de Frequentation et de utilisation du matériel de batellerie
- Annales de Ponts et Chaussées - 73^o année - 8^o série - Tome IX - 1903
 - » *modelo simplificado de estimativa de capacidade de tráfego*

- * Consórcio Engevix - Themag
 - Eclusas de Tucuruí - Estudo da Capacidade Máxima Teórica de Tráfego - TUC-38-0026-RE
 - Portobrás - Empresa de Portos do Brasil S.A./Eletronorte - Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A.
 - » *gera toda a base do trabalho*

- * Consórcio Engevix - Themag
 - Eclusas de Tucuruí - Capacidade de Tráfego das Alternativas - TUC-38-0043-RE
 - Portobrás - Empresa de Portos do Brasil S.A./Eletronorte - Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A.
 - » *aplicação do modelo de previsão da capacidade de tráfego em diversas alternativas.*

- * Davis, John P.
 - Tonnage Capacity of Locks
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - may/1969
 - » *capacidade de tráfego em eclusas, tempos de operação e manobra, importância da determinação*

- * Dehousse, N.M.
 - Very High Navigation Locks - Part I
 - Bulletin N° 67 PIANC - Permanent International Association of Navigation Congresses - 1989
 - » *eclusas simples de alta queda, problemas técnicos*

- * Dehousse, N.M.
 - Very High Navigation Locks - Part II - Feasibility study of a 113 m rise Lock for the Three Gorges site on the Yangtze river(P.P.China)
 - Bulletin N° 67 PIANC - Permanent International Association of Navigation Congresses - 1989
 - » *Alternativas entre eclusas e elevadores, planos inclinados, cunhas d'água etc.*

- * Marchal, Maurice
 - Economic Role of the Waterway in Western Europe
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - may/1976
 - » *capacidades reais, custos de operação*

- * McCartney, Bruce L.
 - Inland Waterway Navigation Project Design
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - november/1986
 - » *importância da capacidade de tráfego no projeto de uma via navegável, generalidades sobre projetos de eclusas*

- * PIANC - Permanent International Association of Navigation Congresses
 - Final Report of the International Commission for the Study of Locks - 1986
 - » *Aspectos gerais sobre eclusas, velocidade de enchimento e esvaziamento, capacidade de tráfego, custo das obras e de operação.*

- * Report of the Forty-Ninth Round Table on Transport Economics
 - Competitive Position and Future of Inland Waterway Transport
 - European Conference of Ministers of Transport - Paris/1980
 - » *capacidades de tráfego reais, importância da capacidade de tráfego*

2. Definições

2.1 Capacidade de Tráfego Máxima Teórica

A Capacidade de Tráfego pode ser definida como a quantidade de carga que transita através de uma seção qualquer da hidrovia em um determinado intervalo de tempo.

A Capacidade de Tráfego *Máxima* é um valor que representa a capacidade "nominal" de cada elemento da hidrovia e como tal é fundamental no dimensionamento destes elementos.

O uso do termo Capacidade de Tráfego Máxima *Teórica* visa distinguir os valores calculados de valores medidos em sistemas já em funcionamento.

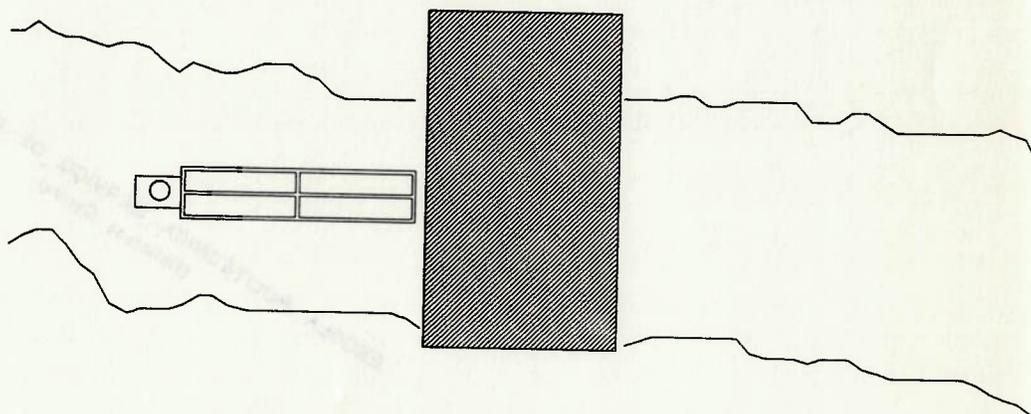
$$C_t = \frac{C_p}{\Delta t} \quad \text{①}$$

Designando-se Capacidade Máxima Teórica de Tráfego por C_t , o intervalo de tempo em que será calculada a Capacidade de Tráfego Máxima Teórica por Δt e por C_p a capacidade de carga da embarcação tipo, tem-se a equação ①, válida em qualquer seção trafegável da hidrovia.

No sentido de maximizar a relação deve ser adotada, para previsão da quantidade de carga, a maior embarcação que pode transitar no ponto em estudo restando, para se completar a maximização da Capacidade de Tráfego, a previsão do mínimo intervalo de tempo a ser utilizado na relação.

Assim na determinação da Capacidade de Tráfego de um trecho livre, por exemplo, este intervalo seria o menor intervalo de tempo entre comboios consecutivos, no mesmo sentido e direção. Este intervalo de tempo será obtido quando os comboios estiverem separados pela menor distância e navegando em sua velocidade máxima (velocidade de cruzeiro).

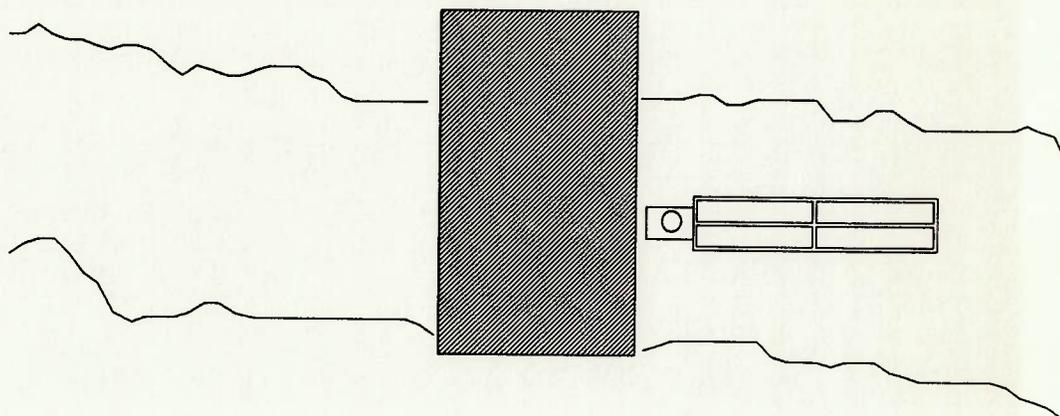
Para as Obras de Transposição de Desníveis deve ser pesquisado qual o intervalo de tempo a ser utilizado para a determinação da Capacidade de Tráfego Máxima Teórica. Neste ponto é importante se estabelecer a diferença entre dois intervalos de tempo que podem ser associados com o trânsito de embarcações através de uma obra de transposição de desnível.



1 - Embarcação 1 entrando na OTD no instante t_0

Esta distinção necessita ser efetuada para distinguir estes dois intervalos que possuem uma função muito diferente no dimensionamento de um sistema de transporte fluvial.

Toma-se como instante inicial o instante t_0 quando uma embarcação encontra-se pronta para entrar no sistema de transposição de desnível conforme ilustrado na figura 1. A seguir dois instantes distintos merecem ser analisados.

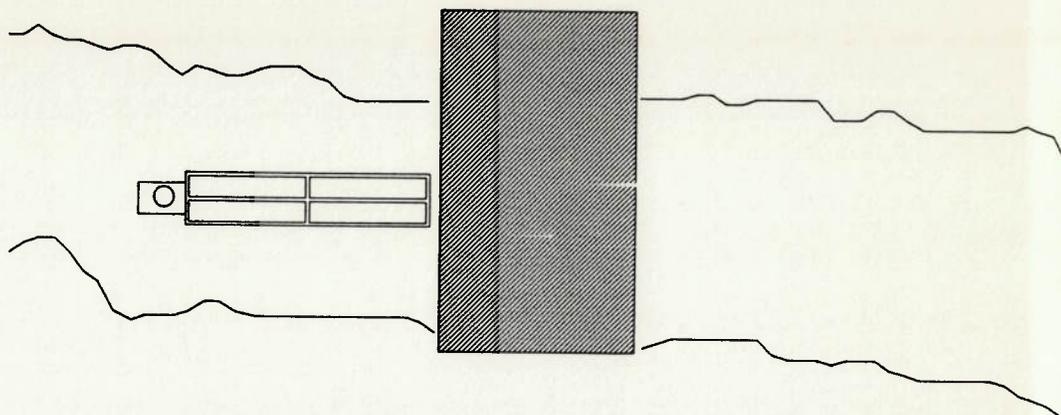


2 - Embarcação 1 saindo da OTD no instante t_1

No instante t_1 , ilustrado na figura 2, a embarcação está deixando a obra de transposição de desnível, na outra extremidade, já no outro nível, sendo o intervalo de tempo $\Delta t = t_1 - t_0$ denominado "Tempo de Transposição" e pode ser definido como o tempo consumido pela embarcação na obra de transposição de desnível

Este intervalo de tempo não tem relação com a capacidade de tráfego e é utilizado no dimensionamento das frotas de embarcações como componente dos tempos de viagens.

No instante t_2 , ilustrado na figura 3, uma outra embarcação, na mesma extremidade em que se encontra a primeira embarcação está também pronta para entrar no sistema de transposição de desnível exatamente como estava sua antecessora.



3 - Embarcação 2 entrando na OTD no instante t_2

O intervalo de tempo $\Delta t = t_2 - t_0$ é denominado "Ciclo da Obra de Transposição de Desnível" e pode ser definido como o tempo consumido pela obra de transposição de desnível para efetuar esta operação em uma embarcação.

O ciclo da obra de transposição de desnível é o intervalo de tempo utilizado no cálculo da capacidade de tráfego e usa minimização reveste-se de uma importância muito grande. A minimização do ciclo assim definida maximiza a capacidade de tráfego nos dois sentidos da obra.

A divisão entre os dois tipos de tempo consumidos na transposição de desníveis deixa claro que os tempos que as embarcações gastam nas eclusas não tem nenhuma influência na capacidade de tráfego das mesmas. Se o retângulo hachurado que simbolizou a obra de transposição de desníveis nas figuras 1, 2 e 3 for, por exemplo, uma série de 4 eclusas em escada o tempo de transposição ("perdido" pela embarcação) será muito maior que o mesmo tempo gasto se a obra fosse uma eclusa simples.

Por outro lado, o ciclo do sistema ("perdido" pelo sistema) será muito menor que o ciclo de uma eclusa simples equivalente, gerando uma capacidade de tráfego maior.

Como não serão efetuadas considerações sobre os tempos de viagem das embarcações será sempre considerada a máxima oferta de embarcações, em qualquer ponto dos sistemas de eclusas que serão analisados.

A aplicação da Capacidade de Tráfego para o cálculo dos benefícios gerados pelas obras de transposição requer que, sobre a Capacidade de Tráfego Máxima Teórica sejam aplicados coeficientes redutores visando adequar a previsão efetuada às condições particulares do cenário em que a obra será implantada. Estes coeficientes redutores procuram traduzir eventuais improdutividades do sistema, tais como: períodos de paralisação da transposição gerados por mau tempo, manutenções ou greves; quebra de carga nos comboios, maiores ou menores conforme a classe das cargas etc. À capacidade de tráfego, reduzida por estes coeficientes dá-se a denominação de Capacidade Máxima Prática.

Existem pesquisas efetuadas sobre que coeficientes adotar em diversos cenários, inclusive no Brasil em várias épocas. O estudo destes coeficientes não é passível de generalização, pois dependem de condições sociais, econômicas e até climáticas e sua definição deverá ser efetuada em cada caso. Neste estudo toda citação que for efetuada à capacidade de tráfego se refere a Capacidade de Tráfego Máxima Teórica que depende da capacidade de carga da maior embarcação e do ciclo da obra de transposição.

A duração do ciclo é função do tempo de operação de cada eclusa em si e dos tempos de manobra, consumidos pelos comboios no deslocamento entre as diversas eclusas e nas manobras para entrar e sair do sistema.

Tem-se, assim, duas classes de tempos, diferenciados quanto à sua natureza:

a) os que são consumidos dentro das eclusas, aqui denominados “tempos de operação”;

b) os que são consumidos fora das eclusas, aqui designados por “tempos de manobra”, isto é, nas áreas de manobra de entrada e saída e nos lagos e canais intermediários.

2.2 Sistemas de Eclusas

Quando existe uma única eclusa em um desnível, esta eclusa é denominada “Eclusa Simples”.

A duração do ciclo poderá ser diminuída se o desnível total for dividido em outros menores. Isto ocorrendo, existe a possibilidade de operação simultânea das eclusas de cada desnível, permitindo a redução da soma dos tempos componentes do ciclo. Este sistema de eclusas é chamado de “Eclusas em Série”. Um sistema de Eclusas em Série pode, por sua vez, ser classificado em duas diferentes categorias.

Se houver total liberdade de operação dos comboios nos lagos e canais intermediários, o que implica na inexistência de qualquer restrição ao livre cruzamento de comboios, o Sistema de Transposição será denominado “Escada de Eclusas Ideal”.

Se, após dividido o desnível total, resultarem lagos ou canais intermediários tão restritos que impeçam, o cruzamento de comboios entre eclusas, a duração do ciclo será evidentemente maior, apesar da divisão do desnível. Quando o Sistema de Transposição funcionar dessa maneira será denominado “Eclusa de Câmaras Múltiplas”.

A denominação de Eclusa de Câmaras Múltiplas é, por alguns autores, associada a uma eclusa que possui sua câmara dividida por diversas portas, como se fosse um sistema de Eclusas em Série onde as posições das portas intermediárias coincidissem.

Na ótica da análise da capacidade de tráfego este sistema de eclusas justapostas é apenas um caso particular, sendo a definição já apresentada: sistema onde não é possível o cruzamento nos níveis intermediários, mais genérica.

Entre os dois modelos extremos descritos, "Escada de Eclusas Ideal" e "Eclusa de Câmaras Múltiplas" existe uma infinidade de modelos intermediários que terão as durações de seus ciclos dependendo da maior ou menor facilidade de execução do cruzamento de comboios nos lagos ou canais intermediários.

Os tempos de operação das eclusas são de mais fácil previsão, em relação aos tempos de manobra, devido a estarem muito mais otimizados e estudados que os tempos de manobra. A determinação dos tempos dispendidos fora das eclusas, é muito complexa e por ser um problema de difícil generalização, não existe método que analise todos os casos possíveis.

O processo aqui desenvolvido visa a obtenção de um número finito de modelos, através da fixação de parâmetros básicos que influem nos movimentos das embarcações quando realizando manobras.

As eclusas podem também se dispor em paralelo, em um mesmo desnível e, neste caso, a previsão da capacidade de tráfego fica mais simples, pois operando cada eclusa somente em um sentido, ficam eliminados os tempos consumidos nas manobras de cruzamentos restando somente a determinação dos tempos de operação para a previsão da capacidade de tráfego.

2.3 Duração do Ciclo de uma Eclusa

Para que se possa efetuar a estimativa da Capacidade de Tráfego Máxima Teórica é necessário se estimar o ciclo mínimo, ou seja, o menor intervalo de tempo em que podem ser efetuadas todas as operações entre as situações da figura 1 e da figura 3. O ciclo mínimo será composto pelos mínimos tempos de operação da eclusa e pelos mínimos tempos de manobra, tanto entre eclusas como para entrada e saída do sistema.

Entre as operações, que serão selecionadas para serem estimadas suas durações, não poderão ocorrer intervalos de tempo (folgas), para que se obtenha o mínimo ciclo, ou seja, na linguagem das redes de precedências usadas no planejamento (PERT-CPM), somente serão escolhidas as operações que pertençam ao caminho crítico da transposição do desnível (folga zero). Desta forma em todas as operações, que serão analisadas a seguir, existirá uma coincidência entre o instante de término de uma operação e o instante de início da operação subsequente.

A própria seleção de quais operações devem ser incluídas nos tempos de operação e manobra resultaram da pesquisa efetuada e, para os tempos de operação, são as consideradas na quase totalidade das obras pesquisadas.

Já as operações adotadas para os tempos de manobra se constituem em proposta deste estudo pois o material pesquisado não oferece indicações consistentes.

Para as operações de Entrada e Saída do Comboio da câmara foram encontradas diferentes referências no que se refere ao instante inicial da Entrada e ao instante final da Saída da câmara, justamente na interface entre os Tempo de Operação e o de Manobra. Alguns autores definem como Saída a operação iniciada quando o comboio pode começar a se deslocar para fora da câmara até o instante em que cruza com o comboio que está entrando na câmara, instante em que começa a contar o tempo da operação de Entrada deste segundo comboio.

Esta definição tem o inconveniente de mascarar o Tempo de Manobra em operações de Saída e Entrada o que não gerava maiores problemas, quando o tempo consumido em manobras não era significativo em relação ao Tempo de Operação, como ocorria na época do uso intensivo de embarcações automotoras. Com o domínio, hoje existente, dos comboios de empurra, esta definição não deve ser mais utilizada pois mistura operações de características muito diversas e que apresentam valores bastante significativos.

Enquanto o comboio encontra-se com alguma seção dentro da câmara não pode efetuar curvas, consequentemente manobras, e a previsão da duração da operação é só uma questão de cinemática simples, com previsões de aceleração e desaceleração.

Quando o comboio encontra-se fora da câmara as manobras podem começar a ser realizadas, através de mudanças de trajetórias, e a previsão dos tempos consumidos nestas operações já devem ser objetos de modelos mais elaborados.

Neste estudo foi adotado como instante em que comecem e terminam as manobras de entrada e saída o momento em que o barco coloca sua primeira seção, ou retira a última, na câmara da eclusa.

Além das razões conceituais estas definições apresentam vantagens consideráveis na simplificação das abordagens da previsão do ciclo.

Na previsão da duração do ciclo das eclusas em paralelo, por exemplo, elimina-se completamente os tempos definidos como de manobra, ficando somente os tempos definidos como de operação, tornando mais simples e próximas do protótipo, aonde também foram eliminada as manobras, qualquer modelagem matemática a ser elaborada, calcada nestas definições.

2.3.1 Operações Inclusas no Tempo de Operação

As operações que são executadas dentro da câmara da eclusa e que fazem parte do ciclo são conhecidas e não há variação na lista de operações quando ocorrem variações no porte da câmara.

a) Entrada do Comboio

É o intervalo de tempo decorrido desde o alinhamento do comboio no muro-guia com a colocação da primeira seção da embarcação dentro da eclusa (fim dos tempos de manobra) até o instante em que as portas podem ser fechadas, após sua entrada na câmara.

b) Fechamento das Portas

É o intervalo de tempo decorrido entre o instante em que a extremidade traseira da embarcação libera a movimentação da porta, e o momento que a câmara pode ser considerada estanque para a abertura das comportas de desvazamento ou enchimento.

c) Deslocamento Vertical

É o intervalo de tempo consumido durante a variação do nível do plano d'água, dentro da câmara, quer no enchimento, quer no esvaziamento. Logo que a câmara for considerada estanque é iniciada esta operação através da abertura das comportas. O término desta operação ocorre quando são abertas as portas de jusante ou de montante. Muitas vezes esta abertura é efetuada pouco antes da igualdade dos níveis internos e externos da câmara.

d) Abertura das Portas

É o intervalo de tempo decorrido entre o início da abertura da porta e o instante em que a primeira secção da embarcação ultrapassa a secção da porta.

e) Saída do Comboio

É o intervalo de tempo decorrido desde o fim da abertura da porta até a passagem da popa do empurrador, última seção da embarcação, pela seção da porta, liberando a embarcação para poder iniciar as operações de manobra.

f) Tempo de Operação

É a soma dos cinco intervalos de tempo supra citados, todos eles decorridos dentro da câmara da eclusa.

2.3.2 Operações Inclusas no Tempo de Manobra

Como ordenação de raciocínio divide-se as manobras em dois tipos: as realizadas nas extremidades das eclusas ou dos sistemas de eclusas em série e as realizadas em níveis intermediários de sistemas de eclusas em série. Estas manobras são de mesma natureza e as considerações efetuadas para o cálculo de ambos são as mesmas. Quando as manobras são efetuadas em níveis intermediários de sistemas de eclusas em série podem ser visualizadas as seguintes operações, de montante para jusante :

a) Primeiro Movimento

Deslocamento de um comboio desde o muro-guia da eclusa de montante, operação iniciada logo após a passagem da última seção da embarcação pela seção da porta de jusante da eclusa de montante, até o ponto em que o canal ou o lago fique liberado para o movimento seguinte.

b) Segundo Movimento

Deslocamento de um segundo comboio desde o muro-guia da eclusa de jusante, operação iniciada logo após a passagem da última seção da embarcação pela seção da porta de montante da eclusa de jusante, até o ponto em que o canal fique liberado para o movimento seguinte.

c) Terceiro Movimento

Deslocamento de um terceiro comboio desde a garagem de espera de jusante da eclusa de montante até o muro-guia da eclusa montante, seguido de alinhamento, ou até liberar o movimento seguinte.

d) Quarto Movimento

Deslocamento de um quarto comboio desde a garagem de espera de montante da eclusa de jusante até o muro-guia da eclusa de jusante, seguido de alinhamento, ou até liberar o movimento seguinte.

e) Movimento Contínuo

Neste movimento, realizado por dois comboios, é inteiramente completado um tempo de manobra. Cada barco sai de uma eclusa, faz uma curva para tomar seu eixo de navegação, para o lado de fora do canal, após navegar em um trecho reto, faz uma curva para dentro do canal em direção ao muro guia, onde se alinha para poder, posteriormente ao fim da manobra, efetuar a operação de entrada.

Quando a manobra é efetuada em uma extremidade de um sistema de eclusas em série, ou em uma eclusa simples, só devem ser considerados dois dos movimentos acima citados, um do barco que sai da eclusa e outro do barco que entra na eclusa.

2.4 Bibliografia

A bibliografia aqui relacionada refere-se ao Capítulo 2 e apresenta o seguinte formato:

- * Nome do Autor da Obra
Titulo da Obra
Editora, Congresso, Simpósio, Entidade, Periódico etc.
 - » *Principais tópicos que interessam ao presente capítulo*

- * Almeida, Carlos Eduardo de -
Obras de Transposição de Desnível em Barragens de Aproveitamentos Múltiplos
- Tese para provimento da Cátedra : "Navegação Interior e Portos Marítimos" - EPUSP - 1968.
 - » *Tempos inclusos no Tempo de Operação*

- * Cadart, Gustave/ Barbet L.
- Considérés au Point de Vue de sa Capacité de Frequentation et de utilisation du matériel de batellerie
- Annales de Ponts et Chaussées - 73^o année - 8^o série - Tome IX - 1903
 - » *modelo simplificado de estimativa de capacidade de tráfego*

- * Consórcio Engevix - Themag
- Eclusas de Tucuruí - Estudo da Capacidade Máxima Teórica de Tráfego - TUC-38-0026-RE
- Portobrás - Empresa de Portos do Brasil S.A./Eletronorte - Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A.
 - » *gera toda a base do trabalho*

- * Consórcio Engevix - Themag
- Eclusas de Tucuruí - Capacidade de Tráfego das Alternativas - TUC-38-0043-RE
- Portobrás - Empresa de Portos do Brasil S.A./Eletronorte - Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A.
 - » *aplicação do modelo de previsão da capacidade de tráfego em diversas alternativas.*

- * Davis, John P.
 - Tonnage Capacity of Locks
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - may/1969
 - » *capacidade de tráfego em eclusas, tempos de operação e manobra, definição de capacidade de tráfego e tempos inclusos no tempo de operação.*

- * Davis, John P./Nelson, Martin E./Patton, Richard E.
 - United States Development of Hydraulic and Structural Designs for Locks.
 - XXIº Congrès International de Navigation - Stockholm - 1965
 - » *tempos de manobra, tempos de enchimento e esvaziamento, evolução dos sistemas hidráulicos, tempos consumidos na abertura e fechamento das portas*

- * Howe, Charles W./ Carroll, Joseph L./ Hurter, Arthur P./ Leininger, William J./ Ramsey, Steven G./ Schwartz, Nancy L./ Silberberg, Eugene/ Steinberg, Robert M.
 - Inland Waterway Transportation - Studies in Public and Private Mangement and Investment Decisions
 - Resources for the Future, Inc. - London
 - » *entrada longa, entrada curta, composição de um ciclo de eclusagem, filas em séries de eclusas*

- * Opstal, H. Van/ Veld, J.K. in 'T/ Gerritsen F.
 - Adaptation of Existing Waterways in Relation to Pushed Tows
 - XXIº Congrès International de Navigation - Stockholm - 1965
 - » *tempos de enchimento e esvaziamento, uso de muros guias, velocidade de entrada, manobras*

3. Tempos de Operação

Os tempos de operação, aqui entendidos como os tempos consumidos dentro da eclusa, são, neste item calculados segundo as definições, estabelecidas no Capítulo 2.

3.1 Entrada e Saída do Comboio

No instante inicial da operação de entrada do comboio na eclusa, sua primeira seção está coincidindo com a primeira seção da câmara.

No acesso à câmara, o comboio percorre uma extensão igual ao seu próprio comprimento com velocidade reduzida por condições de segurança e também pelo efeito de pistonamento.

O comboio começa a operação com velocidade nula, ou praticamente nula, acelera até aproximadamente o meio do percurso quando é iniciada a desaceleração, até que o comboio entre inteiramente na câmara, instante em que a velocidade deverá ser praticamente nula novamente.

Medições efetuadas em operações reais demonstraram que esta operação, apesar de sua simplicidade, é responsável por uma grande variabilidade nos ciclos medidos. A operação é executada sobre direção dos comandantes das embarcações e sujeita a decisões de caráter subjetivo. Foram medidos até mesmo tempos bastantes diferentes para o mesmo comandante, na mesma eclusa, em passagens sucessivas.

Visando fazer com que estes tempos fiquem próximos do mínimo, sistemas importantes de transposição, como o Canal do Panamá, efetuam estas operações através de auxílio mecânico externo.

Para efeito da previsão da capacidade de tráfego máxima teórica recomenda-se adotar valores que fiquem próximos dos limites físicos de aceleração e desaceleração. Estes limites não apresentam grande variabilidade, para os poucos manobráveis comboios de empurra, pois são função da relação entre massa e potência, que, por razões econômicas, levam a resultados de aceleração com pouca variabilidade em torno do ótimo.

Recomenda-se a utilização de uma velocidade média de 0,5 m/s para a estimativa do tempo consumido na operação entrada, quando o comboio percorre uma distância igual ao seu comprimento.

Nestas condições, a entrada do comboio consome:

$$T_{\text{entrada}} = \frac{\text{Comprimento do Comboio}}{0,5}$$

Na saída da câmara a embarcação inicia a operação com velocidade nula e termina a operação, no instante em que sua última seção passa pela última seção da câmara, com velocidade suficiente para começar as operações de manobra, que poderão requerer a realização de curvas. Na saída da câmara, a inexistência de obstáculos a frente da embarcação reduz as restrições à velocidade.

Recomenda-se adotar, para estimativa do tempo consumido na operação de saída da câmara, a velocidade média de saída de 0,75 m/s, que corresponde a uma velocidade máxima entre 1,0 m/s e 2,0m/s, no instante em que são iniciadas as manobras.

Nestas condições, a operação de saída do comboio, quando a embarcação percorre o seu próprio comprimento, consome:

$$T_{saída} = \frac{\text{Comprimento do Comboio}}{0,75}$$

Observe-se que os tempos de entrada e de saída, independem da largura dos comboios e das câmaras, bem como das alturas de queda, o que implicará na utilização dos mesmo intervalos de tempo a serem dispendidos nestas operações, para todas as eclusas integrantes de um estudo de alternativas, para uma mesma embarcação tipo.

3.2 Deslocamento Vertical

O tempo consumido no deslocamento vertical foi objeto de muitos estudos e pesquisas ao longo da história das eclusas visto ser este tempo, entre todos os tempos de operação, o que apresenta maiores valores. Assim foram efetuados os maiores esforços na pesquisa de circuitos hidráulicos que fizessem o enchimento e o esgotamento das câmaras no menor tempo possível.

Com a evolução da tecnologia hidráulica a significância do tempo consumido em variação de nível, frente aos demais tempos componentes do Ciclo, foi diminuindo e hoje seu valor só é limitante nas eclusas de maiores dimensões.

A evolução dos circuitos hidráulicos, ao mesmo tempo, fez com que pudesse se trabalhar, no enchimento e esgotamento das eclusas, sobre os limites físicos dos parâmetros que intervêm nestas operações.

O tempo consumido em variação de nível dentro da câmara depende dos seguintes parâmetros :

- ⇒ perdas de carga ocorridas nos circuitos hidráulicos.
- ⇒ velocidade de abertura das comportas dos circuitos.
- ⇒ velocidade admissível de variação de nível dentro da câmara.
- ⇒ velocidade admissível das correntes nos canais de acesso.

Para os parâmetros de velocidades não existem limites definidos que sejam aceitos de forma unânime, havendo somente indicações dos valores máximos recomendados.

Na maioria das eclusas, devido a complexidade dos circuitos hidráulicos, o cálculo das perdas de carga requer a construção de um modelo hidráulico em escala reduzida. Nos modelos hidráulicos pode-se dispensar a previsão de valores máximos de velocidades, pois é possível se limitar esforços em amarras assim como pressões e velocidades nos aquedutos.

Visando contornar estes problemas, nos estudos de viabilidade, quando não existe ainda modelo reduzido, pode-se usar modelos analíticos aproximados, para previsão do tempo gasto em variação de nível, escolhendo-se os valores para os parâmetros de velocidade.

No estudo de viabilidade efetuado para as Eclusas de Tucuruí, por exemplo, foi usado um modelo analítico aproximado que calculou os tempos consumidos no deslocamento vertical para todas as alternativas.

O uso de um modelo analítico aproximado, aliado a escolha subjetiva dos limites máximos de velocidades, leva a determinação de valores que diferem muito dos valores determinados em modelo reduzido os quais, por sua vez, apresentam resultados bastante próximos dos valores reais.

Estudos de sistemas de transposição de desnível para eclusas do porte das Eclusas de Tucuruí não são comuns, sendo a maior parte estudos de sistemas de menores dimensões, com limites de recursos disponíveis também menores.

Para o estudo destes sistemas o uso de valores médios, nas fases iniciais de projeto, é bastante aceitável e, no sentido de estimar estes valores médios, foi efetuada uma pesquisa de tempos reais, consumidos em variação de nível, em cerca de 300 eclusas construídas nas últimas décadas.

O uso dos valores dos tempos, consumidos nas operações de esvaziamento e enchimento, para se obter diretamente valores médios de tempos, não é o procedimento mais correto, pois, estes valores não refletiriam a óbvia relação direta existente entre os tempos e as alturas máximas de queda. Desta forma foi utilizada a velocidade de variação de nível, que melhor representa a relação direta existente entre tempos e altura de queda com uma distribuição de valores mais consistente.

Dos valores pesquisados foi calculada um velocidade média de variação de nível, em cada eclusa, dividindo-se a elevação máxima das eclusas pela média aritmética dos tempos de enchimento e esvaziamento.

A Tabela 1, apresentada a seguir, lista estes valores na ordem decrescente das velocidades médias de variação de nível.

Tabela 1 - Velocidade de Variação de Nível em Eclusas
Página - 1

Nome da Eclusa	País	Ano	ΔH m	Ench. mim.	Esvaz. mim	Velocid. m/mim
Volgograd	URSS	1962	27.5	7.5	7.5	3.667
Donzère Mondragon	França	1952	26.0	7.3	8.0	3.392
Lower Granite	Estados Unidos	1975	32.0	8.0	11.0	3.368
Walter F.George	Estados Unidos	1963	26.8	8.0	8.0	3.350
Bay Spring	Estados Unidos	1984	25.6	8.0	8.0	3.200
Sobradinho	Brasil	1980	32.5	10.5	10.5	3.095
Zaporojie	URSS	1981	39.2	12.0	14.0	3.015
Valeira	Portugal	1977	33.0	11.0	11.0	3.000
Carrapateiro	Portugal	1972	35.0	12.5	12.0	2.857
Port Allen	Estados Unidos	1961	13.7	5.0	5.0	2.740
Régua	Portugal	1974	28.5	11.0	10.0	2.714
Novosibirsk	URSS	1961	20.1	9.0	6.0	2.680
Bankhead	Estados Unidos	1975	21.0	8.0	8.0	2.625
Lower Monumental	Estados Unidos	1969	31.4	11.0	13.0	2.616
Little Goose	Estados Unidos	1970	30.8	11.0	13.0	2.566
Ice Harbour	Estados Unidos	1961	31.4	11.0	14.0	2.512
Rubinsk	URSS	1945	18.0	7.5	7.0	2.482
Holt	Estados Unidos	1966	19.4	8.0	8	2.425
Perm	URSS	1965	21.8	9.0	9.0	2.422
Born Antiga	Holanda	1935	11.3	8.0	1.4	2.404
Fessenheim	França	1957	18.0	7.5	7.5	2.400
Ottmarshein	França	1952	18.0	7.5	7.5	2.400
Montilimar	França	1957	19.5	8.0	8.8	2.328
Wilson	Estados Unidos	1959	30.4	13.5	15.0	2.133
Uelzen	Alemanha Ocid.	1978	24.0	12	11.0	2.086
Swift Rapids	Canadá	1965	14.5	7.0	7.0	2.071
Barkley	Estados Unidos	1964	22.3	11.6	10.7	2.000
Pocinho	Portugal	1984	22.0	11.0	11.0	2.000
Barra Bonita	Brasil	1973	25.5	13.3	12.6	1.967
John Day	Estados Unidos	1968	34.4	20.0	15.0	1.966
Bariri	Brasil	1966	24.0	12.3	12.3	1.959
Bonneville (nova)	Estados Unidos	1989	21.3	10.0	12.0	1.936
Hilpoltstein	Alemanha Ocid.	1989	27.7	14.0	14.8	1.921
Bonneville (velha)	Estados Unidos	1938	21.0	11.5	11.5	1.826
St.Antonio Falls S	Estados Unidos	1963	15.0	7.0	10.0	1.764
Wheller 2	Estados Unidos	1963	15.7	9.0	9.0	1.744
Uglich	URSS	1941	13.0	7.0	8.0	1.733
Cordell Hull	Estados Unidos	1966	19.2	11.0	11.2	1.729

Tabela 1 - Velocidade de Variação de Nível em Eclusas
Página - 2

Nome da Eclusa	País	Ano	ΔH m	Ench. mim.	Esvaz. mim	Velocid. m/mim
Crestuma	Portugal	1989	13.8	8.5	7.5	1.725
Beauchartel	França	1964	13.8	8.0	8.0	1.725
Millers Ferry	Estados Unidos	1969	13.7	8.0	8.0	1.712
R.F. Henry	Estados Unidos	1972	13.7	8.0	8.0	1.712
Tcherepovets	URSS	1964	17.0	10.0	10.0	1.700
Dardanelle	Estados Unidos	1970	16.5	9.2	10.3	1.692
Stecvhovice	Tchecoslováquia	1942	20.1	12.0	12.0	1.675
Melton Hill	Estados Unidos	1963	18.3	10.0	12.0	1.663
McNary	Estados Unidos	1951	28.0	17.0	17.0	1.647
Friedrichsfeld	Alemanha Ocíd.	1964	12.2	7.5	7.5	1.632
Duisburg-Meiderich	Alemanha Ocíd.	1979	9.7	4.5	7.4	1.626
Kentucky	Estados Unidos	1942	22.6	14.0	14.0	1.614
Leerstetten	Alemanha Ocíd.	1980	24.7	15.0	16.1	1.586
Eckersmühlen	Alemanha Ocíd.	1989	24.7	15.0	16.1	1.586
Jupιά	Brasil	1990	24.5	15.5	15.5	1.580
Wheller 1	Estados Unidos	1963	15.7	10.0	10.0	1.570
Ust Kamernogorsk	URSS	1959	42.0	27.0	28.0	1.527
Obourg Wartons	Bélgica	1972	12.0	8.0	8.0	1.500
Fontinettes	França	1967	13.1	7.0	10.5	1.497
12-Canal Norte	França	1965	8.0	5.5	5.5	1.454
Maasbracht	Holanda	1966	12.2	9.0	8.0	1.441
Eibach	Alemanha Ocíd.	1976	19.5	13.2	14.2	1.422
Old River	Estados Unidos	1963	11.3	8.0	8.0	1.412
Born Moderna	Holanda	1962	11.3	9.0	7.0	1.412
McAlpine	Estados Unidos	1961	11.3	8.0	8.0	1.412
Gainesville	Estados Unidos	1978	11.0	8.0	8.0	1.375
Ittre	Bélgica	1967	13.8	10.0	10.0	1.375
Balakovo	URSS	1972	16.4	12.0	12.0	1.366
Vitegra 1	URSS	1963	13.7	11.6	8.5	1.363
Pommeroeul	Bélgica	1982	13.5	11.0	9.0	1.350
Kiev	URSS	1964	11.5	8.75	8.5	1.333
Markland 1 & 2	Estados Unidos	1959	10.6	8.0	8.0	1.325
Nickajack	Estados Unidos	1967	12.5	9.0	10.0	1.315
Guntersville	Estados Unidos	1965	13.7	10.0	11.0	1.304
Coffeville	Estados Unidos	1960	10.4	8.0	8.0	1.300
Romea	Itália	1972	5.7	4.5	4.5	1.267
Pickwick	Estados Unidos	1984	18.0	12.0	16.7	1.254
Dorsten	Alemanha Ocíd.	1968	9.0	9.2	5.3	1.241

Tabela 1 - Velocidade de Variação de Nivel em Eclusas
Página - 3

Nome da Eclusa	País	Ano	ΔH m	Ench. mim.	Esvaz. mim	Velocid. m/mim
Novinkino 4	URSS	1964	19.6	12.0	10.0	1.236
Novinkino 3	URSS	1964	19.6	12.0	10.0	1.236
Kanev	URSS	1977	10.5	9.0	8.0	1.235
Kembs	França	1932	16.6	12.3	15.0	1.214
Greenup	Estados Unidos	1961	9.7	8.0	8.0	1.212
Serrig	Alemanha Ocid.	1988	14.5	12.0	12.0	1.208
Dietfurt	Alemanha Ocid.	1987	17.0	14.0	14.8	1.180
Kanzem	Alemanha Ocid.	1988	11.8	10.0	10.0	1.175
Kriegenbrunn	Alemanha Ocid.	1971	18.3	15.2	16.2	1.165
Erlagen	Alemanha Ocid.	1970	18.3	15.2	16.2	1.165
Carillon	Canadá	1960	19.81	19.0	15.0	1.165
Aschbach	Austria	1964	16.3	13.0	15.0	1.161
Smiths Falls	Canadá	1974	8.0	7.0	7.0	1.142
Ozark	Estados Unidos	1969	10.4	8.8	9.4	1.142
T-Tombigbee Lock D	Estados Unidos	1985	9.1	8.0	8.0	1.137
T-Tombigbee Lock E	Estados Unidos	1985	9.1	8.0	8.0	1.137
T-Tombigbee Lock A	Estados Unidos	1982	9.1	8.0	8.0	1.137
Claiborne	Estados Unidos	1969	9.1	8.0	8.0	1.137
Iffezheim	Alemanha Ocid.	1977	12.5	10.0	12.0	1.136
Hünxe	Alemanha Ocid.	1967	6.0	6.3	4.3	1.132
Dneprodzerjinsk	URSS	1963	12.6	11.5	11.2	1.110
Fenelon Falls	Canadá	1962	7.2	8.0	5.0	1.106
Belousovo 2	URSS	1963	13.3	12.0	12.0	1.104
Mettlach	Alemanha Ocid.	1988	11.0	10.0	10.0	1.100
Nürnberg	Alemanha Ocid.	1971	9.4	8.2	8.9	1.099
Jonesville	Estados Unidos	1972	9.1	8.3	8.3	1.096
Votkinsk	URSS	1966	23.0	21	21	1.095
Scheksninsk 7	URSS	1964	13.5	15.5	9.5	1.080
Volta Grimana	Itália	1978	4.3	4.0	4.0	1.075
Datteln	Alemanha Ocid.	1970	8.0	8.3	6.9	1.052
Péronnes 1	Bélgica	1964	12.5	15.0	9.0	1.041
Acquanegra	Itália	1975	6.4	6.3	6.0	1.040
Valpigliaro	Itália	1978	3.1	3.0	3.0	1.033
Altenwörth	Austria	1975	17.0	17.0	16.0	1.033
Hausen	Alemanha Ocid.	1968	12.0	11.1	12.2	1.030
Columbus	Estados Unidos	1981	8.2	8.0	8.0	1.025
Aberdeen	Estados Unidos	1982	8.2	8.0	8.0	1.025
Aliceville	Estados Unidos	1979	8.2	8.0	8.0	1.025

Tabela 1 - Velocidade de Variação de Nivel em Eclusas
Página - 4

Nome da Eclusa	País	Ano	ΔH m	Esvaz. Velocid.		
				Ench. mim.	mim	m/mim
Novinkino 5	URSS	1964	13.3	14.0	12.0	1.019
Arkansas Lock 3	Estados Unidos	1968	6.1	6.0	6.0	1.016
Norrell	Estados Unidos	1967	9.1	8.9	9.1	1.011
Arkansas Lock 13	Estados Unidos	1969	6.7	6.3	7.0	1.007
Arkansas Lock 9	Estados Unidos	1969	6.7	6.3	7.0	1.007
Strullendorf	Alemanha Ocíd.	1967	7.4	6.9	7.9	1.001
Gelsenkirchen	Alemanha Ocíd.	1983	7.9	6.4	9.4	1.000
Rehlingen	Alemanha Ocíd.	1988	8.0	8.0	8.0	1.000
Opekista	Estados Unidos	1964	6.7	6.2	7.3	0.992
Greifenstein	Austria	1984	14.2	15.0	14.0	0.982
Ahsen	Alemanha Ocíd.	1970	7.0	7.8	6.5	0.979
Kerr	Estados Unidos	1970	14.6	15.0	15.0	0.973
Kaskaskia	Estados Unidos	1974	9.7	10.2	10.2	0.950
T-Tombigbee Lock C	Estados Unidos	1983	7.6	8.0	8.0	0.950
T-Tombigbee Lock B	Estados Unidos	1983	7.6	8.0	8.0	0.950
G.W. Andrews	Estados Unidos	1962	7.6	8.0	8.0	0.950
Cannelton 1 & 2	Estados Unidos	1967	7.6	8.0	8.0	0.95
Lanaye 3	Bélgica	1963	14.0	15.0	15.0	0.933
Péronnes 2	Bélgica	1963	5.6	7.0	5.0	0.933
Inglis	Estados Unidos	1968	8.8	9.5	9.5	0.926
Murray	Estados Unidos	1969	5.5	5.7	6.2	0.924
Bamberg	Alemanha Ocíd.	1967	10.9	11.4	12.4	0.920
Linne Twin	Holanda	1966	6.9	8.0	7.0	0.920
Buckman	Estados Unidos	1972	9.2	10.0	10.0	0.920
Stone Bridge	Inglaterra	1962	1.9	2.2	2.2	0.912
Pahomovsk 6	URSS	1964	17.7	20.0	19.0	0.907
Overton 1	Estados Unidos	1988	11.0	13.9	10.4	0.905
Overton 2	Estados Unidos	1988	7.3	9.0	7.2	0.901
Arkansas Lock 2	Estados Unidos	1966	6.1	6.6	7.0	0.897
Arkansas Lock 5	Estados Unidos	1968	5.2	5.5	6.1	0.896
Pike Island 2	Estados Unidos	1963	6.4	6.9	7.4	0.895
Tottenham	Inglaterra	1961	2.0	2.2	2.4	0.892
Maxwell 1	Estados Unidos	1963	5.9	6.2	7.1	0.887
Maxwell 2	Estados Unidos	1963	5.9	5.8	7.6	0.880
Toad Suck	Estados Unidos	1969	4.9	5.3	5.9	0.875
Terry	Estados Unidos	1968	5.5	6.0	6.6	0.873
Saarbrücken	Alemanha Ocíd.	1988	5.9	7.0	7.0	0.850
Ottenshein	Austria	1972	12.3	15.0	14.0	0.849

Tabela 1 - Velocidade de Variação de Nivel em Eclusas
Página - 5

Nome da Eclusa	País	Ano	ΔH	Ench.	Esvaz.Velocid.	
			m	mim.	mim	m/mim
Pike Island 1	Estados Unidos	1963	6.4	6.7	8.4	0.847
Wallsee	Austria	1968	12.2	15.0	14.0	0.842
Racine 1 & 2	Estados Unidos	1967	6.7	8.0	8.0	0.837
Belleville 1 & 2	Estados Unidos	1965	6.7	8.0	8.0	0.837
Arkansas Lock 4	Estados Unidos	1968	4.3	4.9	5.4	0.835
Flaesheim	Alemanha Ocid.	1969	4.0	5.5	4.1	0.833
Kerkoo	Finlândia	1983	12.5	15.0	15	0.833
Burleigh Falls	Canadá	1967	7.3	9.0	9.0	0.813
Frank Price	Inglaterra	1983	3.2	4.0	4.0	0.800
Hannibal 1 & 2	Estados Unidos	1971	6.4	7.2	8.8	0.800
Sprotborough	Inglaterra	1980	3.2	4.0	4.0	0.800
Viesville	Bélgica	1961	7.9	10.0	10.0	0.790
Noordersluis	Holanda	1966	5.7	8.0	6.5	0.786
Melk	Austria	1981	11.2	15.0	14.0	0.774
Willow 1 & 2	Estados Unidos	1973	6.1	8.0	8.0	0.762
Evergem	Bélgica	1965	3.05	4.0	4.0	0.762
Lisdorf	Alemanha Ocid.	1988	3.8	5.0	5.0	0.760
Stoke Bottom	Inglaterra	1973	3.6	6.0	3.4	0.755
Andenne-Seilles	Bélgica	1979	5.3	7.0	7.0	0.750
Felsenthal	Estados Unidos	1983	5.5	8.0	6.7	0.748
Columbia	Estados Unidos	1972	5.5	8.0	6.7	0.748
St. Antonio Falls I	Estados Unidos	1963	7.3	9.7	9.9	0.745
Mexborough Low	Inglaterra	1981	3.0	4.0	4.0	0.743
Feudenheim	Alemanha Ocid.	1973	10.0	15.0	12.0	0.740
Bossuit	Bélgica	1980	9.5	11.5	14.2	0.737
Abwinden-Asten	Austria	1978	10.6	15.0	14.0	0.729
Mercelbeke	Bélgica	1969	2.9	4.0	4.0	0.717
Cremona	Itália	1969	6.0	9.0	8.0	0.706
Kleinstheim	Alemanha Ocid.	1969	6.8	9.8	9.5	0.704
Riedenburg	Alemanha Ocid.	1982	8.4	11.5	12.5	0.700
Kelheim	Alemanha Ocid.	1981	8.4	11.5	12.5	0.700
Jochenstein	Austria	1955	9.4	13	13.9	0.699
Ybbs - Persenbeng	Austria	1957	10.2	15.5	14.0	0.691
Uniontown 1 & 2	Estados Unidos	1969	5.5	8.0	8.0	0.687
Genk	Bélgica	1977	10.1	15.0	15.0	0.674
Olen	Bélgica	1974	10.1	15.0	15.0	0.673
Hasselt	Bélgica	1975	10.1	15.0	15.0	0.673
Diepenbeek	Bélgica	1974	10.1	15.0	15.0	0.673

Tabela 1 - Velocidade de Variação de Nivel em Eclusas
Página - 6

Nome da Eclusa	País	Ano	ΔH m	Ench. mim.	Esvaz.Velocid. mim	Velocid. m/mim
Callon	Estados Unidos	1983	3.7	5.9	5.1	0.673
Dee	Inglaterra	1966	2.7	5.0	3.0	0.667
Kwaadmechelen	Bélgica	1974	10.0	15.0	15.0	0.667
Avanconadi Cremona	Itália	1980	4.0	6.0	6.0	0.667
Webbers Falls	Estados Unidos	1970	9.8	15.0	15.0	0.653
Fishpond	Inglaterra	1977	2.6	4.0	4.0	0.647
Keokuk	Estados Unidos	1956	11.0	18.0	16.0	0.647
Hensies	Bélgica	1982	4.5	8.0	6.0	0.643
Oberhausen	Alemanha Ocid.	1981	4.1	5.1	7.7	0.640
Lemonroyd	Inglaterra	1975	2.6	4.0	4.0	0.637
Gor KII	URSS	1955	8.0	12.0	13.3	0.631
Nussdorf	Austria	1966	5.6	9.0	9.0	0.622
Newburg 1 & 2	Estados Unidos	1969	4.9	8.0	8.0	0.612
Canda	Itália	1990	3.0	5.0	5.0	0.600
Obertürkheim	Alemanha Ocid.	1968	8.4	14.3	13.7	0.596
Altenrheine	Alemanha Ocid.	1974	3.6	6.5	5.6	0.595
Poe	Estados Unidos	1968	6.7	13.0	10.0	0.582
Smithland 1 & 2	Estados Unidos	1978	4.6	8.0	8.0	0.575
Meldahl 1 & 2	Estados Unidos	1962	4.6	8.0	8.0	0.575
Ratcliffe	Inglaterra	1984	1.7	3.0	3.0	0.574
Havré	Bélgica	1977	10.0	20.0	15.0	0.571
Forchheim	Alemanha Ocid.	1964	4.0	7.0	7.0	0.571
Krimpen a/d Ijssel	Holanda	1968	2.5	4.5	4.5	0.555
Deizisau	Alemanha Ocid.	1968	5.1	9.7	9.0	0.545
Moen	Bélgica	1980	4.6	7.3	9.5	0.542
Kilnhurst	Inglaterra	1982	2.2	4.0	4.0	0.540
Mexborough Top	Inglaterra	1982	2.1	4.0	4.0	0.533
Towney	Inglaterra	1975	2.7	6.2	4.1	0.530
Geisling	Alemanha Ocid.	1981	7.3	14.2	13.6	0.525
Grands-Malades	Bélgica	1983	4.2	8.0	8.0	0.525
Ooigem	Bélgica	1973	7.5	11.5	17.0	0.523
Sykehouse	Inglaterra	1982	1.6	3.0	3.0	0.520
Bad Abbach	Alemanha Ocid.	1978	5.7	12.0	10.0	0.518
Waddington	Inglaterra	1982	2.1	4.0	4.0	0.515
Woodlesford	Inglaterra	1975	2.1	4.0	4.0	0.515
Nikolaevsk	URSS	1975	5.4	10.7	10.3	0.514
San Leone	Itália	1985	6.1	12.0	12.0	0.508
Freshwater Bayou	Estados Unidos	1968	1.5	3.0	3.0	0.500

Tabela 1 - Velocidade de Variação de Nivel em Eclusas
Página - 7

Nome da Eclusa	País	Ano	ΔH m	Ench. mim.	Esvaz.Velocid. mim	Velocid. m/mim
Bussari	Itália	1990	2.5	5.0	5.0	0.500
Valle Lepri	Itália	1968	1.5	3.0	3.0	0.500
Lower Brewers	Canadá	1977	4.0	10.0	6.0	0.500
Oberesslingen	Alemanha Ocid.	1968	5.9	12.0	11.6	0.500
Palluel	França	1966	7.5	15.0	15.0	0.497
Esslingen	Alemanha Ocid.	1968	5.2	11.0	10.0	0.495
W.G. Stone	Estados Unidos	1963	6.4	13.0	13.0	0.492
Dendermonde	Bélgica	1968	2.9	7.0	5.0	0.478
Regensburg	Alemanha Ocid.	1978	5.2	12.0	10.0	0.473
Monceau s/Sambre	Bélgica	1960	4.7	10.0	10.0	0.472
T.J. O'Brien Lock	Estados Unidos	1960	2.1	5.0	4.0	0.467
Astrahan	URSS	1979	4.2	10.5	8.0	0.459
Bath 9	Inglaterra	1976	5.9	19.0	7.0	0.457
Bath 8	Inglaterra	1976	5.9	19.0	7.0	0.457
Wijuegen	Bélgica	1935	5.7	12.0	13.0	0.456
Aldwarke	Inglaterra	1982	1.8	4.0	4.0	0.455
Straubing	Alemanha Ocid.	1987	7.0	14.2	16.6	0.454
Mantova	Itália	1978	4.0	9.0	9.0	0.444
Herbrun	Alemanha Ocid.	1979	3.3	8.0	7.0	0.440
Mornimont	Bélgica	1960	4.4	10.0	10	0.435
Ham	Inglaterra	1979	2.1	5.9	3.9	0.430
Terneuzen 1	Holanda	1968	6.0	14.0	14.0	0.428
Verdigris Lock 17	Estados Unidos	1970	6.4	15.0	15.0	0.427
Verdigris Lock 18	Estados Unidos	1970	6.4	15.0	15.0	0.427
Davis	Canadá	1982	2.7	7.0	6.0	0.421
Mayo	Estados Unidos	1970	6.1	15.0	15.0	0.407
Canaveral	Estados Unidos	1965	1.2	3.0	3.0	0.400
Baalhoek	Holanda	1968	4.8	12.0	12.0	0.400
Mühlheim	Alemanha Ocid.	1976	3.8	10.4	8.5	0.399
Padworth	Inglaterra	1984	1.6	3.8	3.9	0.398
Florifoux	Bélgica	1960	3.9	10.0	10.0	0.390
Long Sandall	Inglaterra	1982	1.3	3.5	3.5	0.382
Stellendam	Holanda	1969	3.8	10.0	10.0	0.375
Andresy	França	1959	2.6	7.0	7.0	0.371
Roselies	Bélgica	1962	3.6	10.0	10.0	0.360
Torretta Veneta	Itália	1990	1.7	5.0	5.0	0.340
Severka	URSS	1972	2.2	1.5	12.5	0.308
Marcinelle	Bélgica	1960	3.0	10.0	10.0	0.300

Tabela 1 - Velocidade de Variação de Nível em Eclusas
Página - 8

Nome da Eclusa	País	Ano	ΔH	Ench.	Esvaz.Velocid.	
			m	mim.	mim	m/mim
Fandango	Brasil	1958	4.5	15.0	15.0	0.300
Krotzenburg	Alemanha Ocid.	1983	2.7	10.0	9.0	0.288
Koopvaarders-sch.	Holanda	1984	2.5	8.7	8.7	0.287
Trudcommuna	URSS	1963	2.6	9.0	9.5	0.282
Andreevka	URSS	1965	2.6	8.5	10.0	0.281
Sofino	URSS	1966	3.2	11.2	11.5	0.280
Phaustovo	URSS	1969	3.0	10.3	11.5	0.275
Montignies s/Sambre	Bélgica	1961	2.2	10.0	10.0	0.220
Kreekrak Twin	Holanda	1986	2.8	13.0	13.0	0.215
Ohio Lock 53	Estados Unidos	1980	4.1	20.0	20.0	0.205
Doncaster	Inglaterra	1981	0.6	3.0	3.0	0.203
Krammersluizen	Holanda	1986	2.5	13.0	13.0	0.192
Ohio Lock 52	Estados Unidos	1969	3.7	20.0	20.0	0.185
Franklin	Estados Unidos	1965	0.9	5.0	5.0	0.180
Roompostluis	Holanda	1982	1.3	7.0	7.0	0.178
Port Mayaca	Estados Unidos	1977	0.6	4.0	4.0	0.150

3.2.1 Velocidade Média de Variação de Nível

Os valores dos tempos de enchimento e esvaziamento, para a mesma eclusa, na maioria dos casos levantados são iguais, como era de se esperar, pois os limitantes físicos existentes, pelo menos dentro da câmara, são os mesmos para as duas operações. Os casos que apresentam valores desiguais são devidos a níveis diferentes de otimização para os dois circuitos ou limitações externas às câmaras, muito provavelmente limitações de velocidade, diferentes nos canais onde está sendo captada ou despejada a água da eclusa. Como o valor utilizado para o cálculo da velocidade média de variação de nível foi o valor médio, entre o tempo gasto no enchimento e o gasto no esvaziamento, o universo de observação pode ser considerado como bem maior que 300 eclusas.

As velocidades médias calculadas variaram entre 3,7 m/mim e 0,15 m/mim apresentando os seguintes valores representativos de sua distribuição:

⇒ **Média** 1,060

⇒ **Desvio Padrão** 0,683

Resultando um intervalo, para a média \pm o desvio padrão, bastante estreito de 0,38 a 1,74 .m/mim. Valores escolhidos criteriosamente dentro deste intervalo apresentarão uma probabilidade muito grande de possibilitar um boa estimativa dos tempos consumidos na variação de nível.

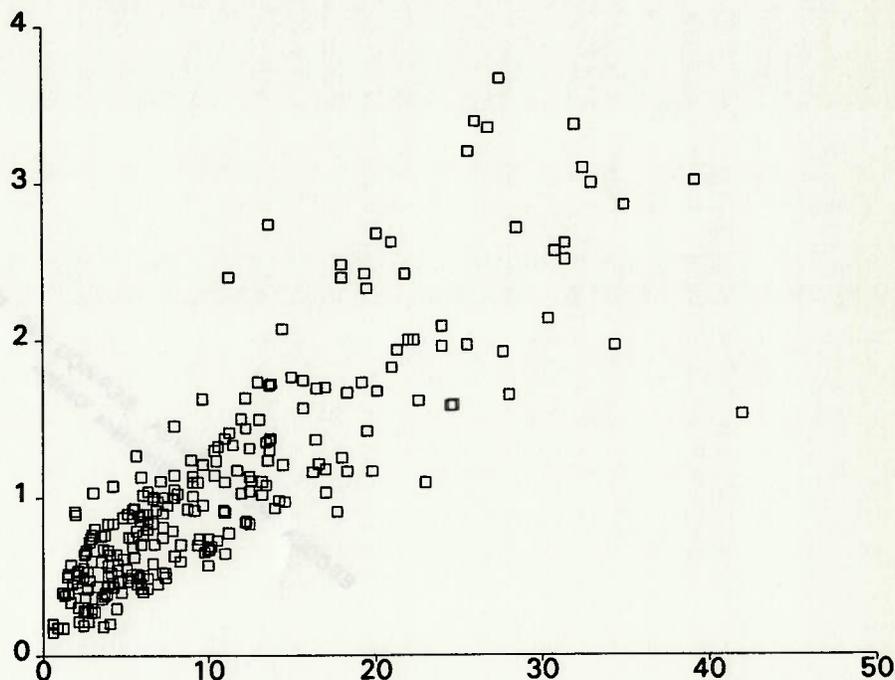
Para a maioria das aplicações práticas, quando em nível de estudos, é bastante aceitável até a utilização de somente a média para a previsão. Em aplicações didáticas recomenda-se a utilização do valor de 1,0 m/mim , de fácil memorização e muito próximo da média obtida.

3.2.2 Altura da Eclusa e Variação de Nível

Ao se analisar a Tabela 1 salta aos olhos uma outra relação que poderá conduzir a valores médios ainda mais significativos. Devido a ordenação das eclusas, constantes da Tabela 1, ser na ordem decrescente das velocidades médias de variação de nível, pode ser facilmente observado que para as maiores quedas correspondem as maiores velocidades, e vice-versa, ou seja, existe também uma relação direta entre a velocidade média e altura máxima de queda, relação esta já não tão óbvia.

Dado que o valor da velocidade foi resultante da divisão da altura de queda pelos tempos era de se esperar que a relação entre a velocidade e esta altura fosse inversa e não direta, como parecem indicar os dados da Tabela 1.

Colocando os dados em um gráfico de dispersão, apresentado na Figura 4, pode-se constatar que existe uma correlação positiva entre os valores. Os dados apresentam somente uma maior dispersão para as eclusas de maior queda, devido, talvez, a menor densidade dos dados nesta faixa.



4 - Velocidade de Variação de Nível e Altura de Queda

Visando testar a intensidade da correlação entre os valores da velocidade média e as alturas de queda, foi calculado o coeficiente de correlação entre estas variáveis, resultando no valor de $r = 0,8046$. Este valor, bastante próximo de 1,0 indica existir uma forte correlação entre as variáveis.

Estando testada a correlação entre as variáveis pode-se calcular a relação entre as mesmas, através de regressão estatística.

Foi escolhida a determinação de uma relação linear (outras foram testadas), utilizando o método dos mínimos quadrados. A regressão resultou na seguinte relação:

$$V_n = 0,0921 \Delta H$$

O coeficiente de regressão apresentou um erro padrão de 0,0018 e as estimativas de velocidade efetuadas através desta relação deverão apresentar um erro padrão de 0,4061.

O fato da relação entre a velocidade média e as alturas de queda ser direta, e não inversa, implica que os tempos, calculados com estimativas efetuadas através desta relação, terão seus valores variando entre 10,6 e 11,1 mim.

Esta tendência, refletida no uso de maiores velocidades para eclusas maiores, pode ser explicada devido a estas grandes eclusas terem orçamentos que permitem o uso de circuitos hidráulicos mais complexos que vem a resolver sua problemática de grandes tempos de variação de nível.

As eclusas de maior queda têm mais facilidade para atingir maiores velocidades médias devido também ao maior espaço que possuem para acelerar e desacelerar a velocidade absoluta de variação de nível.

Por outro lado as eclusas de pequena queda não têm necessidade de usar circuitos complexos e nem o seu orçamento comportaria estes circuitos.

Um outro determinante pode ser o fato de que eclusas em uma mesma hidrovia se utilizam de tempos de enchimento e desvaziamento iguais para todas, independentemente das alturas de queda. São apresentados na Tabela 2, a seguir, os dados relativos às eclusas de uma mesma hidrovia.

**Tabela 2 - Hidrovia Tennessee-Tombigbee
Alabama-Mississippi-USA**

Nome da Eclusa	Dimensões	Ano mxm	ΔH m	Ench. mim.	Esvaz.Velocid.	
					mim	m/mim
Bay Spring	33,5 x 182,9	1984	25.6	8.0	8.0	3.200
T-Tombigbee Lock E	33,5 x 182,9	1985	9.1	8.0	8.0	1.137
T-Tombigbee Lock D	33,5 x 182,9	1985	9.1	8.0	8.0	1.137
T-Tombigbee Lock C	33,5 x 182,9	1983	7.6	8.0	8.0	0.950
T-Tombigbee Lock B	33,5 x 182,9	1983	7.6	8.0	8.0	0.950
T-Tombigbee Lock A	33,5 x 182,9	1982	9.1	8.0	8.0	1.137
Aberdeen	33,5 x 182,9	1982	8.2	8.0	8.0	1.025
Columbus	33,5 x 182,9	1981	8.2	8.0	8.0	1.025
Aliceville	33,5 x 182,9	1979	8.2	8.0	8.0	1.025
Gainesville	33,5 x 182,9	1978	11.0	8.0	8.0	1.375

Na Tabela 2 observa-se que, nesta moderna interligação de bacias de cerca de 200 km, eclusas com mesma área de câmara apresentam velocidades de variação de nível de 0,95 m/mim a 3,2 m/mim para alturas máximas de queda variando de 7,6 m a 25,6 m, gerando tempos consumidos nas operações de enchimento e esvaziamento iguais a 8 mim para todas as eclusas, valor este que foi condicionado pela eclusa de maior queda.

Estes tempos são bastante coerentes com os conceitos teóricos de dimensionamento, pois é de supor que todas as eclusas apresentem a mesma capacidade de tráfego, pois de nada adiantaria qualquer uma das eclusas da série apresentar uma maior capacidade que outras.

Os tempos, componentes do Ciclo, que possuem alguma relação com a altura de queda são os de variação de nível e de operação das portas, estes ainda com menor significância. Tudo leva a supor que o significado destes tempos para o cálculo da capacidade de tráfego torna-se cada vez menos importante.

3.3 Abertura e Fechamento das Portas

Os tempos requeridos para estas operações são proporcionais aos tipos e dimensões das portas que, por sua vez, são determinados pela altura de queda, vãos livres necessários aos comboios e variação sazonal dos níveis de água, ou ocasionadas por depleções em reservatórios.

Apesar da multiplicidade de fatores que influenciam a duração destas operações, na prática, os tempos variam dentro de um campo relativamente restrito, por razões similares às já apontadas para os tempos consumidos na variação do nível d'água.

Estes tempos apresentam, normalmente, valores bastante inferiores aos tempos de enchimento e esvaziamento da câmara, cerca de $1/4$ a $1/6$ deste tempo.

A variação do tempo também gera variações de custo, porém com valores absolutos e relativos bastante inferiores aos custos dos sistemas de enchimento e esvaziamento de eclusas. Por todos estes motivos recomenda-se a utilização de valores médios, já pesquisados por diversos autores, para a estimativa dos tempos consumidos nas operações de abertura e fechamento das portas.

Recomenda-se a escolha de tempos dentro do intervalo de 1 a 3 minutos, mantendo-se uma proporcionalidade de cerca de $1/5$ em relação ao tempo adotado para a variação de nível.

Simultaneamente a estas operações são executadas a atracção e a desatracção dos comboios cujas durações são menores que as de fechamento e abertura das portas, respectivamente. Por esta razão, a duração das operações de atracção e desatracção não está computada.

3.4 Bibliografia

A bibliografia aqui relacionada refere-se ao Capítulo 3 e apresenta o seguinte formato:

- * Nome do Autor da Obra
Título da Obra
Editora, Congresso, Simpósio, Entidade, Periódico etc.
 - » *Principais tópicos que interessam ao presente capítulo*

- * Almeida, Carlos Eduardo de
- Obras de Transposição de Desnível em Barragens de Aproveitamentos Múltiplos.
Tese para provimento da Cátedra : "Navegação Interior e Portos Marítimos" - EPUSP - 1968
 - » *velocidade de enchimento e esvaziamento.*

- * Bottoms, Eric E.
- Practical Tonnage Capacity of Canalized Waterways.
- Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - february/1966
 - » *capacidade prática de tráfego capacidade de tráfego máxima teórica.*

- * Bottoms, Eric E.
- Practical Tonnage Capacity of Canalized Waterways.
- Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - Discussion - may/1967
 - » *tempo gasto em abertura e fechamento de portas, variabilidade da relação entre capacidade de tráfego prática e teórica.*

- * Braun, H.G./ Illiger, Joh./ Köhler, F./ Kuhn, R.
- Structures for Dealing with Large Differences in Head.
- XXIº Congrès International de Navigation - Stockholm - 1965
 - » *tempos de enchimento e esvaziamento.*

- * Burle, Maria Alice Lobo Leite/ Ripoll, José Fernando Marques
- Eclusa de Sobradinho - Projeto e Construção
- Anais do 1º Seminário Nacional de Hidrovias - Curitiba/1981
 - » *velocidade de variação de nível*

- * Davis, John P.
 - Experimental Research on Lock Hydraulic System
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - february/1966
 - » *lei de abertura de comportas, agitação, esforços em amarras, tempos de enchimento admissíveis por tamanho de queda.*

- * Davis, John P.
 - Tonnage Capacity of Locks
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - may/1969
 - » *tempos de operação e manobra, tempos consumidos na abertura e fechamento das portas*

- * Davis, John P./Nelson, Martin E./Patton, Richard E.
 - United States Development of Hydraulic and Structural Designs for Locks.
 - XXIº Congrès International de Navigation - Stockholm - 1965
 - » *tempos de manobra, tempos de enchimento e esvaziamento, evolução dos sistemas hidráulicos, tempos consumidos na abertura e fechamento das portas.*

- * DeSalvo, Joseph S.
 - On Acceleration of Barge Tows
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - may/1969
 - » *função de aceleração/distância de comboios de empurra, programa para fazer a avaliação(BASIC), velocidade de entrada e saída.*

- * Elder, Rex A./Price, James T./Engle, Ward W.
 - Navigation Locks: TVA's Multiport Lock Filling and Emptying System.
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - february/1964
 - » *tempos de enchimento e esgotamento*

- * Ihnatowicz, Stefan/ Wolczacki, Pawel
 - Chutes dans les Écluses Construites sur les Fleuves Parcourant des Plaines
 - XXIº Congrès International de Navigation - Stockholm - 1965
 - » *tempos de enchimento e esvaziamento, lei de abertura das comportas*

- * Kolkman, P.A.
 - Ships Meeting and Generating Currents
 - Symposium - Aspectes of Navigability of Constraint Waterways- Delft/1978
 - » *velocidade de entrada na câmara*

- * Kooman, C.
 - The Development and Application of Design Rules for Canals and Locks Suitable for Push-Tow Units and Traditional Craft
 - Symposium - Aspectes of Navigability of Constraint Waterways- Delft/1978
 - » *aproximação dos muro-guias, tempo de entrada e de saída, variação de velocidade durante a entrada e a saída*

- * Kume, Hitoshi
 - Statistical Methods for Quality Improvement
 - AOTS - Tóquio - 1987
 - » *Coeficiente de Correlação e Regressão Estatística.*

- * Liddel, Donald M.
 - Surge Problems in Canals With High-Lift Locks
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - november/1969
 - » *tempo de enchimento e esvaziamento em diversas eclusas*

- * Maquet, J.F./ Ridder, Melle L. de
 - Determination du Niveau de Saturation d'une Ecluse
 - Bulletin PIANC - Permanent International Association of Navigation Congresses - Vol.II - 1981
 - » *modelo de simulação de operação de eclusa.*

- * Nelson, Martin E./Johnson, Harvey J.
 - Navigation Locks : Filling and Emptying Systems for Locks
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - february/1964
 - » *sistemas de enchimento e esvaziamento*

- * Opstal, H. Van/ Veld, J.K. in 'T/ Gerritsen F.
 - Adaptation of Existing Waterways in Relation to Pushed Tows
 - XXIº Congrès International de Navigation - Stockholm - 1965
 - » *tempos de enchimento e esvaziamento, velocidade de entrada,manobras*

- * Pariset, Ernest/Gagnon, André
 - High Lift Lock : Some Hydraulic Problems and Solutions
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - november/1964
 - » *gráfico de alturas por tempos de enchimento (44 eclusas) com concentração em alguns tempos.*

- * PIANC - Permanent International Association of Navigation Congresses
 - Final Report of the International Commission for the Study of Locks - 1986
 - » *tempos de enchimento e esvaziamento, aspectos gerais sobre eclusas, velocidade de enchimento e esvaziamento, capacidade de tráfego, custo das obras e de operação.*

- * Richardson, George C.
 - Filling System for Lower Granite Lock
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - august/1969
 - » *tempo de enchimento e esvaziamento em diversas eclusas(não só na do título), velocidade de enchimento alta, variação na lei de aberturas das comportas*

- * Saijto, J.A.
 - General Policy for The Improvement of Ports
 - Bulletin N° 46 PIANC - Permanent International Association of Navigation Congresses - 1984
 - » *tempo de enchimento de eclusa sem muros laterais.*

- * Semanov, N.A./Belanin, V.V./ Varlamov, N.N.
 - Navigation Engineering Problems in a System of Multiple Purpose Dam.
 - XX° Congrès International de Navigation - Baltimore - USA 1961
 - » *tempos reais de enchimento e esvaziamento, lei de abertura de comportas.*

- * Vogel, Herbert D.
 - Navigation Engineering Problems in a System of Multiple Purpose Dam.
 - XX° Congrès International de Navigation - Baltimore - USA 1961
 - » *tempos reais de enchimento e desvaziamento*

- * Windsor, James S./ Vallee, Herman
 - Computer Model for a Lock Manifold System
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers -
Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering
Division - may/1969
 - » *predição de tempos de enchimento e esvaziamento*

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRASÍLIA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

4. Tempos de Manobra dos Comboios

Os tempos consumidos nas operações de entrada e saída, realizadas em movimento retilíneo, em ambiente isento de ventos e correntes, apresentaram uma grande variabilidade de resultados, observada no rastreamento de operações reais, conforme comentado no item 3.3. Para as manobra esta variabilidade é ainda mais pronunciada pois, o as operações são, muitas vezes, realizadas em curva, com cruzamento de embarcações e em ambiente aberto sujeitas, eventualmente, ao vento, correntes e oscilações.

Esta variabilidade nos tempos reais de manobra torna a necessidade de precisão na estimativa dos tempos teóricos de manobra bastante discutível. Aliás esta variabilidade também corrobora o uso dos valores aproximados para a previsão dos tempos de operação da eclusa, conforme recomendado no Capítulo 3, visto serem os tempos de manobra da mesma ordem de grandeza do tempo de operação da eclusa.

Nas eclusas em série um parâmetro determinante da dificuldade, e da precisão, na execução de estimativas dos tempos de manobra, é previsão da maior ou menor facilidade na execução das manobras das embarcações, notadamente nos níveis intermediários destas eclusas, onde podem haver restrições de espaço para manobras.

A previsão dos tempos gastos em manobras sem restrições, nas extremidades dos sistemas de eclusas em série, ou em seus níveis intermediários, seria somente uma das diversas opções a serem analisadas.

Os tempos gastos em manobras tiveram, nos últimos anos, um grande número de estudos executados visto que, somente nas últimas duas décadas, após o uso mais intensivo dos comboios de empurra, estes tempos passaram a ser olhados com maior interesse pelos pesquisadores.

A estimativa destes tempos, em estudos de viabilidade, reveste-se de imensas dificuldades pois, para uma estimativa adequada de seu valor é necessário a execução de ensaios em modelos físicos. Esta dificuldade advém do fato de serem as operações de manobra de difícil generalização, apresentando um grau de liberdade tamanho que torna o tempo gasto para a execução de manobras impossível de ser obtido através de modelos matemáticos determinísticos.

Quando a navegação de características similares pode ser reproduzida através de ensaios em escala real, ou seja, existem embarcações, já operando, iguais, ou muito semelhantes, às que utilizarão as eclusas, devem ser executados estes ensaios pois, além de serem os mais precisos, não devem ser mais onerosos do que modelos que necessitem a fabricação de embarcações em escala reduzida.

É muito pouco provável que somente a previsão do tempo de manobra justifique economicamente a construção de um modelo em escala reduzida. Algumas vezes, porém, são construídos modelos de embarcações com outras finalidades tais como, por exemplo, a determinação dos esforços para cálculo do muro guia. Nestes casos, evidentemente, devem ser estimados os tempos de manobra no mesmo modelo, o qual já deve ser projetado e construído levando em conta também esta finalidade.

Os modelos em escala reduzida de manobras de embarcações tiveram, no passado, sua aplicação muito restrita e discutida, devido às imprecisões de resultados decorrentes principalmente dos efeitos da escala de tempos no controle humano dos modelos de embarcações.

Devido a implementação do controle através de piloto automático, seus resultados foram consideravelmente melhorados.

O uso do controle através de piloto automático é bastante vantajoso nos estudos de viabilidade onde, diversas alternativas são analisadas e a comparação entre elas resulta mais efetiva se o comportamento de controle for constante.

Com o aumento do uso dos programas de computador para pesquisas de navegação a necessidade de modelos em escala reduzida, para análise de manobras pode se reduzir bastante.

Estes programas evoluíram muito e existem hoje até simuladores de manobras de navio em escala real de tempo ambientados em uma ponte de navegação igual a de um verdadeiro navio, de forma similar aos modelos de treino de pilotos de avião.

Evidentemente o uso de simuladores deste tipo ainda é inatingível aos orçamentos dos estudos iniciais de navegação interior, sendo hoje mais utilizados para a pesquisa de manobras de navios marítimos de grande porte e para o treinamento de comandantes e pilotos destes navios.

Simuladores para serem utilizados em microcomputadores vêm sendo desenvolvidos recentemente e, muito provavelmente, o seu uso, para estimativa de tempos de manobra, será generalizado até nas fases iniciais de projeto, tornando desnecessária a construção de modelos em escala reduzida para esta finalidade.

Enquanto o uso de simuladores para microcomputadores não se tornar acessível existirá uma dificuldade muito grande para a estimativa dos tempos de manobra nas fases iniciais, viabilidade econômica e projeto básico, de sistemas de transposição em eclusas.

No sentido de permitir esta estimativa com custos e precisão compatíveis com as fases iniciais de projeto propõe-se a utilização de modelos matemáticos simplificados baseados no estabelecimento de regras geométricas para o movimento das embarcações, aqui denominados de modelos geométricos.

Os modelos geométricos de manobra de embarcações, apresentados neste trabalho, são grosseiras aproximações de manobras reais, porém, enquanto forem uma das únicas ferramentas, passíveis de serem utilizadas nas fases iniciais de projeto, para estimativa de tempos de manobra, terão sua pesquisa e seu uso validados.

As imprecisões decorrentes da utilização de modelos geométricos em estudos de alternativas são minimizadas, devido ao caráter comparativo destes estudos, aonde o erro absoluto é menos importante que o erro relativo.

A utilização dos modelos, aqui apresentados, permite a comparação entre situações onde as manobras podem ser realizadas sem nenhuma restrição, com situações de dificuldades maiores para a realização de manobras, devido a restrições de espaço.

A seguir são efetuadas as definições dos parâmetros que estabelecem os modelos geométricos e a determinação de fatores que possam permitir a estimativa dos valores dos tempos de manobra.

4.1 Descrição Geral

Os modelos propostos foram baseados nos modelos desenvolvidos para o Estudo da Capacidade Máxima Teórica de Tráfego do estudo de viabilidade da transposição do desnível causado pela Usina Hidrelétrica de Tucuruí.

Foram escolhidos os resultados obtidos para um dos comboios tipo daquele estudo, o de 23,5 x 195 m, considerado como mais próximo de um hipotético comboio médio, intermediário entre comboios de pequeno e grande porte.

Entre a situação sem restrições às manobras e a situação aonde não é mais possível o cruzamento de embarcações, nos níveis intermediários, existe uma infinidade de possibilidades de manobra que tornam a determinação dos tempos de manobra muito problemática.

Os modelos geométricos, apresentados neste estudo, têm a virtude de estabelecer um número finito de possibilidades de manobra, permitindo a tomada de decisões consistentes de projeto, ao relacionar os tempos de manobra com a distância entre eclusas, ou seja, benefícios e custos.

No desenvolvimento dos modelos geométricos de manobra tiveram que ser efetuadas presunções, que limitassem as possibilidades de realizações de manobra. Estas presunções foram baseadas em valores próximos de valores reais, porém são sempre valores médios e que, na prática, dificilmente serão iguados de forma absoluta.

O ângulo de aproamento das embarcações no contato com o muro guia, por exemplo, apresenta uma grande variabilidade, em casos reais, e a fixação de um valor único, para todos os modelos geométricos, restringe bastante as possibilidades de manobra, conforme era necessário para a obtenção de um número finito de soluções.

Tanto os valores escolhidos para os parâmetros, como as manobras definidas em cada modelo, têm sua validade para o objetivo de determinar tempos de manobra, que, conforme já explanado, possuem uma margem de erro aceitável, na sua determinação, bastante grande.

Estes modelos simplificados não devem ser utilizados para outros objetivos, como, por exemplo, determinação dos esforços oriundos do choque das embarcações com os muros-guia, que requerem modelos muito mais elaborados.

Os modelos desenvolvidos abrangem desde o menor canal que ainda permita o cruzamento de comboios, até o canal em que os mesmos tenham amplas possibilidades de cruzamento, não decrescendo mais os tempos de manobra para qualquer acréscimo nas dimensões do canal.

Os tempos que farão parte do tempo de manobra, e do ciclo, nos níveis intermediários, são gerados por quatro movimentos possíveis dos comboios:

- a) um comboio sai da eclusa de montante, liberando o movimento seguinte;
- b) um comboio sai da eclusa de jusante, liberando o movimento seguinte;
- c) um comboio sai da garage em direção à eclusa de montante;
- d) um comboio sai da garage em direção à eclusa de jusante.

Quando cada um destes movimentos necessita ser realizado para que o seguinte possa a ser iniciado, o tempo total gasto será, evidentemente, a soma das durações de cada um deles e, neste caso, ter-se-á o maior ciclo e a menor distância entre eclusas.

À medida que estes movimentos possam, parcial ou inteiramente, ser realizados simultaneamente, ter-se-á uma duração do ciclo menor, acarretando porém um distância maior entre as eclusas.

No item 4.3 são desenvolvidos seis modelos de manobras, abrangendo várias hipóteses de conjugação dos movimentos acima descritos.

4.2 Fixação dos Parâmetros

As embarcações fluviais apresentam grande variabilidade quanto a sua manobrabilidade, porém alguns intervalos de variação podem ser adotados como válidos para um grande número de embarcações fluviais, notadamente para os pouco manobráveis comboios de empurra. Neste item serão definidos quais os parâmetros, que afetam o tempo de manobra que serão estudados.

Nos sub-itens a seguir são tecidas considerações sobre cada um destes parâmetros procurando se limitar a faixa de valores aceitáveis para a execução de estimativas.

Fixadas as dimensões dos comboios, os tempos de manobra dependerão de:

- a) largura e comprimento do canal;
- b) raio de curvatura mínimo;
- c) folgas admissíveis entre comboios;
- d) velocidade média durante as manobras;
- e) ângulo de aproximação ao muro-guia;
- f) comportamento da popa e da proa do comboio, durante as curvas, em relação ao seu ponto fixo;
- g) posição do ponto fixo;
- h) velocidade durante as mudanças de curvatura.

4.2.1 Raio de Curvatura Mínimo

As manobras dos comboios , após a saída da câmara ou antes de poderem iniciar a operação de entrada na câmara, são realizadas em baixa velocidade, o que vem a agravar ainda mais o problema da baixa dirigibilidade dos comboios de empurra.

As velocidades desenvolvidas durante as manobras serão bem inferiores às velocidades de cruzeiro, assim é conveniente fixar-se um raio de curvatura não muito pequeno, pois as curvas não serão facilmente executáveis através do auxílio dos lemes.

O raio de curvatura recomendado para, comboios em cruzamento, tem seus valores variando entre $5 \times L$ e $10 \times L$, sendo L o comprimento total da embarcação. Para comboios com comprimento variando entre 100 m e 200 m a utilização de um raio de curvatura de 1.000 m é aceitável. Para o primeiro modelo estudado, tendo em vista a inexistência de movimento simultâneo de comboios, foi adotado o raio de curvatura mínimo de 750 m.

4.2.2 Folgas Admissíveis

A folga, entre embarcações e pontos fixos, recomendada é $0,6 \times B$, sendo B a largura (Boca) total do comboio. Para comboios com largura entre 12 m e 35 m, com média de 23,5 m, é aceitável a utilização de uma folga de 14 m, ou, entre eixos de 37 m.

Para o caso de cruzamento de comboios adotou-se uma folga de $1,2 B$ entre as bordas, sendo, portanto, de 28 m para o comboio médio, ou, entre eixos de 50 m.

4.2.3 Velocidade Média

Os empurradores que impulsionam os comboios são dimensionados para operar com uma velocidade de cruzeiro em torno de 8 nós, aproximadamente 4 m/s.

Quando o comboio sai da eclusa, pode se considerar que está com uma velocidade próxima de 1,5 m/s visto que foi adotada uma velocidade média de 0,75 m/s para a operação de saída, devendo se dirigir a uma garage ou dolfim de manobra, percorrendo uma trajetória curva até atingir estes locais ainda com velocidade próxima de zero.

Quando o comboio sai da garage ou do dolfim em direção ao muro-guia, ele parte da imobilidade, descreve uma trajetória retilínea, nos modelos propostos, e atinge o muro com uma velocidade bastante reduzida, praticamente nula.

Adotou-se uma velocidade média de 1 m/s para todas estas operações, significando que, em movimento contínuo, o comboio não deve ultrapassar a velocidade de 2 m/s, o que é razoável levando-se em conta as restrições de segurança.

4.2.4 Ângulo de Aproximação ao Muro-Guia

Objetivando a redução do impacto contra o muro-guia, recomenda-se um ângulo de aproximação inferior a 10° . Adotou-se um ângulo máximo de aproximação de 8° .

Na maioria dos modelos estudados este ângulo foi uma condicionante muito forte do cálculo do tempo de manobra pois, nestes modelos, os comboios descrevem trajetórias retilíneas até o choque com o muro guia com este ângulo de aproamento de 8° .

4.2.5 Ponto Fixo

Uma das condições mais importantes para a determinação geométrica das diversas soluções para manobras entre eclusas é o comportamento do comboio durante a execução das curvas.

Considerou-se que o comboio, ao descrever uma curva, é tangente à mesma através de seu eixo longitudinal e o ponto de tangência está situado a um terço do comprimento da embarcação, medidos da proa para a popa.

4.2.6 Velocidade Angular

Em alguns modelos adiante desenvolvidos (item 4.3) os comboios, ao efetuarem as manobras previstas, descrevem uma trajetória que inclui duas curvas.

Analisando-se o comportamento do ponto do eixo longitudinal situado na popa do comboio, verifica-se a necessidade de previsão de um trecho reto, situado sobre uma tangente comum às duas curvas.

Admitiu-se um trecho reto de 60 m, o qual será percorrido na velocidade média de 1 m/s, consumindo portanto 60 s.

Para a faixa de comboios adotada e para curvas com raio de 1.000 m o ângulo total da mudança de direção é igual a $14^{\circ} 26'$, implicando em uma velocidade angular de $14' 26''/s$ o que é perfeitamente admissível mesmo dentro das restrições de manobrabilidade dos comboios de empurra.

Quando o comboio atinge um dolfim de manobra também efetua uma rotação, sendo que no cálculo do tempo necessário para a execução deste movimento, foi adotada uma velocidade angular de $15'/s$.

Também, quando atinge o muro-guia, a popa do comboio tem que girar em torno da proa, descrevendo um ângulo de 8° , enquanto percorre a extensão do muro necessitando uma velocidade angular inferior às acima citadas.

4.2.7 Largura e Comprimento

Das grandezas que intervêm na duração do ciclo, no modelo, só não foram fixadas a largura e o comprimento do canal, os quais são dependentes da maneira como as outras grandezas, já adotadas, vão se combinar, variando caso por caso.

4.3 Modelos de Manobras dos Comboios

Dependendo do espaço disponível, para as manobras, os comboios poderão adotar diferentes modos de manobra que os modelos, apresentados a seguir, procuram descrever.

Na concepção dos modelos procurou-se usar da máxima liberdade possível para a criação de possibilidades de manobra. Esta liberdade era necessária visto que, com exceção do caso de somente 2 comboios no lago intermediário e o caso de manobras livres, os outros casos, os de cruzamentos com restrições de espaço afetando as manobras, não haviam sido estudados.

Outra observação importante é a distinção efetuada entre os tempos consumidos pelas embarcações e os consumidos pela obra de transposição, já abordada no Capítulo 2.

Em alguns dos modelos é flagrante que o tempo consumido pela embarcação (tempo de transposição) para transpor o desnível é bastante grande, apesar do ciclo apresentar valores convenientes.

Operações não críticas realizados em paralelo com operações críticas, não foram sequer citadas (vide item 2.2). Em vários modelos, as embarcações que ficam nos lagos intermediários, após as outras duas embarcações terem entrado nas câmaras, para se dirigirem aos níveis de montante e jusante, têm que se posicionar nas garages de espera visando serem as embarcações que, no ciclo seguinte, vão mudar de nível.

Estas operações, apesar de serem, em alguns casos, muito complexas envolvendo reversão de motores, curvas apertadas etc, não são computadas no ciclo pois são subcríticas.

Em alguns modelos foi utilizado, como ponto fixo para efetuar rotações de embarcações, um dolfim aonde a embarcação amarrada poderá girar através do uso da potência de seus motores, a frente ou a ré.

O uso deste tipo de auxílio é discutível, porem o seu uso, ou não, não deve afetar tão significativamente a duração do ciclo, nos modelos aqui estudados, devido a baixa velocidade de rotação considerada. Sua maior valia é como indicador da posição correta para efetuar as rotações dos comboios.

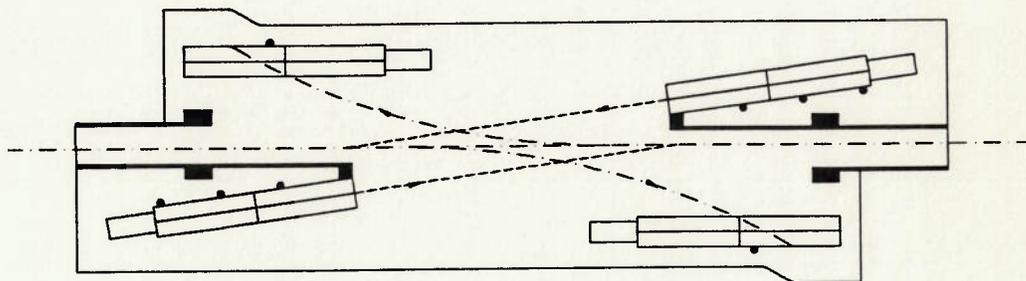
4.3.1 Primeiro Modelo: Quatro Movimentos

Procurou-se encontrar, neste modelo, a menor distância entre eclusas que ainda permita o cruzamento de comboios entre as mesmas, isto é, a distância a partir da qual o Sistema de Transposição deixa de funcionar como uma Eclusa de Câmaras Múltiplas.

Esta menor distância dar-se-á quando cada um dos quatro movimentos só puder ser executado a partir do instante em que o anterior esteja concluído.

No instante inicial, existem um comboio em cada garage, no trecho entre as eclusas e um comboio em uma das câmara, em alguma posição intermediária de suas operação de variação de nível, provavelmente no término, e o outro comboio no término de sua operação de saída.

É importante notar a existência de dois comboios nas garages intermediárias, esta posição de referência será a mesma em todos os modelos a serem estudados, com exceção do quarto modelo, para o qual não está prevista a utilização de garages.



5 - Modelo de Quatro Movimentos

Este modelo é dividido em quatro movimentos, representados no croquis da Figura 5 :

1º Movimento:

Um comboio acaba a operação de saída da esclusa e dirige-se ao respectivo dolfim de manobra. Neste, depois de amarrado em um ponto, efetuará uma rotação até ficar paralelo ao eixo das esclusas.

2º Movimento:

Um comboio sai da esclusa de jusante e dirige-se ao respectivo dolfim de manobra. Neste, depois de amarrado em um ponto, efetuará uma rotação até ficar paralelo ao eixo das esclusas.

3º Movimento:

Um comboio sai da garage e se dirige ao muro-guia da eclusa de montante, onde se alinha para posterior execução da operação de entrada na eclusa para ser transportado ao nível superior. Este movimento é iniciado assim que a trajetória do comboio em direção ao muro-guia é completamente desimpedida.

4º Movimento:

Um comboio sai da garage e se dirige ao muro-guia da eclusa de jusante, onde se alinha para posterior execução da operação de entrada na eclusa para ser transportado ao nível inferior. Este movimento é iniciado assim que a trajetória do comboio, em direção ao muro-guia, é completamente desimpedida. Desenvolvendo a menor solução possível, isto é, a menor distância entre as eclusas encontrou-se 430 m. Calculando-se a equação da duração do tempo de manobra em função da distância entre eclusas, chega-se a:

$$T_m = 340 + 2d \quad \textcircled{2}$$

A notação "d", na equação $\textcircled{2}$, representa a distância medida em metros entre as extremidades das cabeças internas das eclusas que compõem o sistema. Esta notação é válida para todos os modelos e seguir descritos.

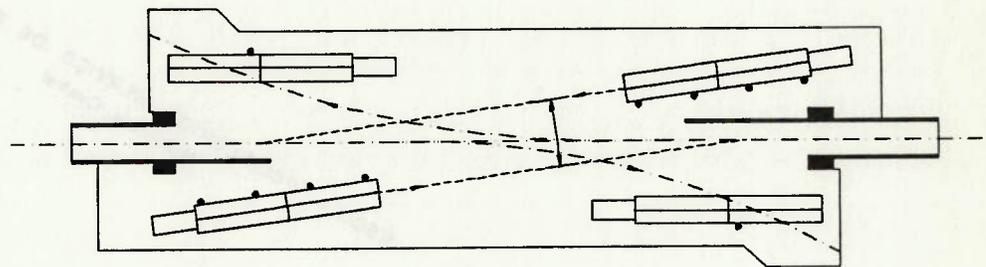
O tempo de manobra, calculado por estas expressões, em todos os modelos, terá sua grandeza expressa em segundos.

4.3.2 Segundo Modelo: Três Movimentos

Procurou-se encontrar, neste modelo, a menor distância entre as eclusas que permita a realização simultânea do 3º e do 4º movimento do modelo anterior.

O segundo modelo é dividido em três movimentos, conforme representados no croquis da Figura 6 :

1º e 2º Movimento:



6 - Modelo de Três Movimentos

São idênticos aos movimentos correspondentes no primeiro modelo.

3º Movimento:

Engloba o terceiro e o quarto movimento do primeiro modelo, com a única diferença de serem iniciados simultaneamente.

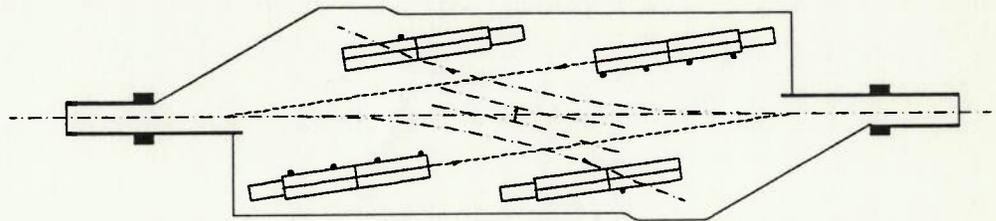
Neste terceiro movimento as embarcações efetuam movimentos retilíneos paralelos separados de uma distância, entre eixos, de 50 m.

Desenvolvendo esta solução, encontra-se a distância de 605 m, entre eclusas. Calculando-se a equação do tempo de manobra em função da distância entre as eclusas, chega-se a:

$$T_m = 100 + 2d \quad \textcircled{3}$$

4.3.3 Terceiro Modelo: Dois Movimentos

Procurou-se encontrar, neste modelo, a menor distância entre eclusas que permita a realização de somente dois movimentos, um de saída e outro de entrada, para o cruzamento dos comboios.



7 - Modelo de Dois Movimentos

O terceiro modelo é dividido em dois movimentos, conforme representados no croquis da Figura 7, e descritos a seguir :

1º Movimento:

Os comboios, após saírem das eclusas, dirigem-se, simultaneamente, aos respectivos dolphins de manobra onde, depois de amarrados, efetuam uma rotação até ficarem paralelos à trajetória dos comboios que sairão das garages em direção ao muro-guia. Neste movimento é mantida a distância de segurança de 28 m entre os comboios.

2º Movimento:

Os comboios saem das garages em direção aos muros-guia, efetuando, simultaneamente, o mesmo movimento já analisado nos modelos anteriores. Este movimento é iniciado assim que os comboios amarrados nos dolphins de manobra terminam suas rotações, liberando assim a trajetória dos comboios que se dirigem aos muros-guia.

Neste movimento a distância entre as trajetórias paralelas dos comboios é bem maior que a distância mínima de segurança.

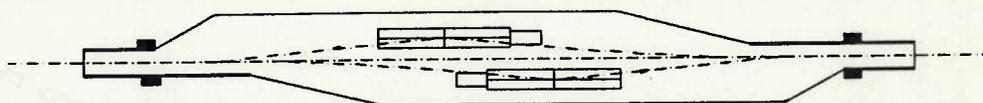
Desenvolvendo esta solução, encontra-se a distância de 740 m entre as eclusas e calculando-se a equação da duração do ciclo em função da distância entre eclusas, chega-se a:

$$T_m = 220 + d \quad \textcircled{4}$$

4.3.4 Quarto Modelo: Um Movimento Direto

Procurou-se encontrar neste modelo, a menor distância entre eclusas que permita os comboios se cruzarem entre as eclusas em um movimento contínuo, isto é, dispensando a utilização de garages.

O quarto modelo possui um só movimento, conforme representado no croquis da Figura 8 :



8 - Modelo de Movimento Único Direto

Movimento Único

Os comboios terminam a operação de saída e simultaneamente dirigem-se aos muros das eclusas opostas, descrevendo uma trajetória curva e sem interrupção.

Chegando aos muros-guias, alinham-se para depois efetuarem a entrada nas eclusas e passarem aos níveis externos e liberarem o movimento dos comboios seguintes.

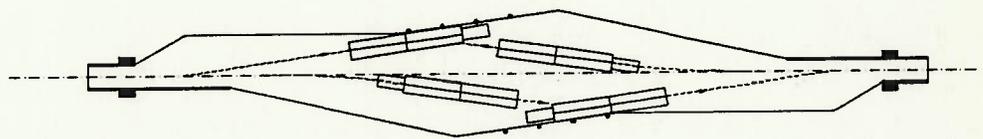
Durante este movimento os comboios efetuam duas curvas de curvaturas opostas interligadas por um trecho reto, tangente às duas curvas de 60 m.

Desenvolvendo esta solução, encontra-se a distância 765 m entre eclusas e calculando-se a equação da duração do tempo de manobra em função da distância entre eclusas chega-se a:

$$T_m = d - 120 \quad \textcircled{5}$$

4.3.5 Quinto Modelo: Um Movimento

Procurou-se encontrar, neste modelo, a menor distância entre eclusas que permita o cruzamento de comboios com a mínima interferência, isto é, quando o modelo passa a funcionar como Escada de Eclusas Ideal.



9 - Modelo de Movimento Único

O quinto modelo possui um único movimento conforme representado no croquis da figura 9 :

Movimento Único

Os dois primeiros comboios terminam suas operações de saída simultaneamente e dirigem-se ao delfim extremo das garages onde efetuam uma rotação. Os comboios que estão nas garages iniciam simultaneamente seu movimento em direção aos muros-guia e continuam na mesma seqüência dos modelos anteriores.

Desenvolvendo esta solução, encontra-se a distância de 950 m entre eclusas.

Calculando-se a equação da duração do tempo de manobra, chega-se a:

$$T_m = 630 \quad \textcircled{6}$$

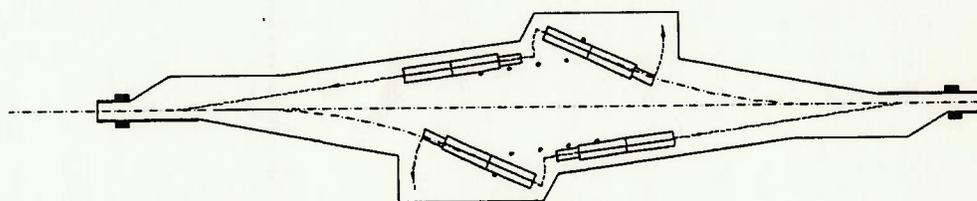
Ressalte-se que neste modelo, conforme indicado pela equação $\textcircled{6}$, o tempo de manobra não depende da distância entre as eclusas.

Neste modelo deixou-se uma largura de canal, entre as garages, suficiente para que os comboios em condições de menor tráfego possam passar de uma eclusa a outra, sem utilizar as garages, estando estas desocupadas.

4.3.6 Sexto Modelo: Um Movimento Alternativo

A título de ilustração é apresentado mais um modelo de operação em movimento único visando mostrar, com este exemplo, que há uma imensa variedade de opções possíveis para se efetuar o cruzamento de embarcações, em níveis intermediários ou não, em situações sem restrições de espaço ou não.

A diferença entre esta solução e o quinto modelo, consiste em que esta solução alternativa permite o acostamento dos comboios pelo lado externo das garages, deixando-se ainda entre elas uma distância para que, em condições de menor tráfego ou de emergência, dois comboios possam cruzar o distância entre as eclusas, sem utilizar as garages, mesmo estando estas ocupadas, tornando esta operação mais segura.



10 - Modelo Alternativo de Movimento Único

O sexto modelo possui um só movimento, conforme representado no croquis da Figura 10 :

Movimento Único

A descrição deste movimento é similar à do quinto modelo, dele diferindo somente na maneira pela qual os comboios entram nas garages.

Desenvolvendo esta solução, encontra-se a distância de 1270 m entre eclusas e uma equação da duração do tempo de manobra idêntica à do quinto modelo, ilustrando também o fato de que manobras diferentes, para distâncias maiores que o mínimo para funcionamento como Escada de Eclusas Ideal, não levam a diferenças de tempo.

4.4 Bibliografia

A bibliografia aqui relacionada refere-se ao Capítulo 4 e apresenta o seguinte formato:

- * Nome do Autor da Obra
Título da Obra
Editora, Congresso, Simpósio, Entidade, Periódico etc.
 - » *Principais tópicos que interessam ao presente capítulo*

- * Almeida, Fábio Guilhem
 - Dimensionamento dos Canais Intermediários das Escadas de Eclusas para Comboios de Empurra.
 - Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Engenharia - 1989
 - » *velocidades e aceleração, raios mínimos, folgas entre embarcações.*

- * Bottoms, Eric E.
 - Practical Tonnage Capacity of Canalized Waterways.
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - Discussion - may/1967.
 - » *- influência humana nos tempos de manobra reais.*
 - » *- tempo gasto em abertura e fechamento de portas.*
 - » *- variabilidade da relação entre capacidade de tráfego prática e teórica.*

- * Bottoms, Eric E.
 - Practical Tonnage Capacity of Canalized Waterways.
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - february/1966.
 - » *capacidade prática de tráfego capacidade de tráfego máxima teórica.*

- * Cadart, Gustave/ Barbet L.
 - Considérés au Point de Vue de sa Capacité de Frequentation et de utilisation du matériel de batellerie
 - Annales de Ponts et Chaussées - 73^o année - 8^o série - Tome IX - 1903
 - » *tempos de manobra*

- * **Consórcio Engevix - Themag**
 - Eclusas de Tucuruí - Estudo da Capacidade Máxima Teórica de Tráfego - TUC-38-0026-RE.
 - Portobrás - Empresa de Portos do Brasil S.A./Eletronorte - Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A.
 - » - *modelos geométricos de manobra*
 - *gera toda a base do trabalho.*

- * **Consórcio Engevix - Themag.**
 - Eclusas de Tucuruí - Capacidade de Tráfego das Alternativas - TUC-38-0043-RE.
 - Portobrás - Empresa de Portos do Brasil S.A./Eletronorte - Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A.
 - » - *aplicação dos modelos geométricos*
 - *aplicação do modelo de previsão da capacidade de tráfego em diversas alternativas.*

- * **Davis, John P.**
 - Tonnage Capacity of Locks
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - may/1969
 - » *capacidade de tráfego em eclusas, tempos de manobra*

- * **Davis, John P./ Nelson, Martin E./ Patton, Richard E.**
 - United States Development of Hydraulic and Structural Designs for Locks.
 - XXIº Congrès International de Navigation - Stockholm - 1965
 - » *tempos de manobra*

- * **DeSalvo, Joseph S.**
 - On Acceleration of Barge Tows
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - may/1969
 - » *função de aceleração/distância de comboios de empurra*

- * **Glover, James E.**
 - Channel Widths for Shallow-Draft Push-Tows Navigations River Bends
 - Symposium - Aspectes of Navigability of Constraint Waterways- Delft/1978
 - » *largura dos canais*

- * Hartung, Fritz/ Berger, Werner/ Ruschenburg, Friedrich/
Saltzwedel, Martin/ Sturtzel, Wilhelm/ Winkler, Kurt
- La Technique du Poussage
- XX° Congrès International de Navigation - Baltimore - USA
1961
 - * *dimensões admissíveis dos comboios, folgas entre comboios e com a margem, comportamento em curvas, manobras, ângulo de deriva, raio de curvatura, velocidades, distância de freagem*

- * Heuser, H
- Verbesserung der Manovrierfähigkeit von Schubverbanden der Binnenschifffahrt
- Schiff und Hafen
* *manobras das embarcações*

- * Hoekstra, A.J.
- River Regulation at Bajibo(Nigeria) by Means of Small Scale Model Investigation Including Remote Controlled Craft.
- XXI° Congrès International de Navigation - Stockholm - 1965
* *modelagem física de manobras de embarcações, controle a distância e escala que permite operador dentro da embarcação.*

- * Howe, Charles W.
- Mathematical Model of Barge Performance
- Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - november/1967
* *velocidade e aceleração de comboios*

- * Howe, Charles W./ Carroll, Joseph L./ Hurter, Arthur P./ Leininger, William J./ Ramsey, Steven G./ Schwartz, Nancy L./ Silberberg, Eugene/ Steinberg, Robert M.
- Inland Waterway Transportation - Studies in Public and Private Management and Investment Decisions
- Resources for the Future, Inc. - London
* *modelo de tráfego, filas em séries de eclusas*

- * Huval, Carl J.
- Physical and Mathematical Models for Improved Navigation Channel Design
- Symposium - Aspects of Navigability of Constraint Waterways- Delft/1978
* *distância entre embarcações, distância embarcação/margem, modelagem das manobras*

- * IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A
 - Determinação das Características Físicas do Muro-Guia Flutuante para as Eclusas do Médio-Tiete
 - relatório Nº 14.753 - 1981
 - » *manobras de aproximação ao muro guia, ângulo de aproamento no contato com muro-guia, manobrabilidade dos comboios*

- * Kooman, C.
 - The Development and Application of Design Rules for Canals and Locks Suitable for Push-Tow Units and Traditional Craft
 - Symposium - Aspectes of Navigability of Constraint Waterways- Delft/1978
 - » *cruzamento de embarcações, aproximação dos muro-guias, velocidade durante a entrada e a saída*

- * Latorre, Robert/ Warinner, Charles
 - The Resistance of a 5X3 Barge Tow Moving in Shallow Water
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - july/1986
 - » *velocidade de comboios*

- * Lederer, A.
 - Rapport du Congo
 - XXº Congrès International de Navigation - Baltimore - USA 1961
 - » *dimensões, folgas, frenagem, cruzamentos*

- * Opstal, H. Van/ Veld, J.K. in 'T/ Gerritsen F.
 - Adaptation of Existing Waterways in Relation to Pushed Tows
 - XXIº Congrès International de Navigation - Stockholm - 1965
 - » *modelagem física de manobras de embarcações, uso de muros guias.*

- * Ruiter, W. de
 - Studies Concerning The Behaviour of Push-Tow Units
 - Symposium - Aspectes of Navigability of Constraint Waterways- Delft/1978
 - » *comportamento em curvas, ponto de giro, modelagem física*

- * Sayer, P./ Liang, H.K.
 - Wave Interactions Between Barges
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - may/1986
 - » *cruzamento de embarcações*

- * Schale, E
 - Naturgrobe Experimentelle Untersuchungen zur Ermittlung der Notwendigem Fahrtwasser Breite in Krümmungen Stromender Gewässer.
 - Versuchsantal für Binnenschiffbau E.V. Duisburg/1975
 - manobrabilidade dos comboios.

- * Schofield, R. Bryan
 - Speed of Ships in Restricted Navigation Channels
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - may/1974
 - » *velocidade das embarcações*

- * Schuffel, H.
 - Navigation Channel by Means of Simulation
 - Symposium - Aspectes of Navigability of Constraint Waterways- Delft/1978
 - simulação de manobras em um comboio

- * Semanov, N.A./ Belanin, V.V./ Varlamov, N.N.
 - Navigation Engineering Problems in a System of Multiple Purpose Dam.
 - XXº Congrès International de Navigation - Baltimore - USA 1961
 - » *dimensões dos canais de aproximação, folga entre embarcações.*

- * Starting, J., Delft Hydraulics Laboratory
 - Recent Developments in Navigation Research
 - Bulletin Nº 47 PIANC - Permanent International Association of Navigation Congresses - 1984
 - » *- modelos de simulação de manobras*
- modelos reduzidos de manobras

- * van de Kaa, Evert Jan
 - Power and Speed of Push-Tows in Canals
 - Symposium - Aspectes of Navigability of Constraint Waterways- Delft/1978
 - » *velocidade de comboios*

- * Völker, H.
 - The Problem of Pushed Cargo-Vessels om the Upper Danube
 - XXº Congrès International de Navigation - Baltimore - USA 1961
 - » *distância de comboios durante cruzamentos, modelo fisico de manobras.*

* Wyss, Fritz/ Boesch, Fred

- Essais de Navigation Fluviale sur Bateaux Modèles Téléguidés

- XXI^o Congrès International de Navigation - Stockholm - 1965

» *modelagem física de embarcações, limitações, aplicabilidade.*

5. Ciclo de Sistemas de Eclusas

Neste capítulo são compostos os tempos de operação e os de manobra para algumas disposições típicas de sistemas de eclusas de forma a criar uma generalização aproximada do cálculo do ciclo de um sistema de transposição de desnível em eclusas.

Serão utilizadas as definições apresentadas no Capítulo 2, para poder formular, de maneira uniforme, a estimativa da capacidade de tráfego máxima teórica de todas as disposições que serão estudadas.

5.1 Uma Eclusa Simples

Uma eclusa única em um desnível, dando passagem a capacidade de tráfego máxima teórica nos dois sentidos, considerando como instante inicial (t_0): um comboio pronto a iniciar a operação de entrada em jusante, pode ter o cálculo do ciclo formulado através da soma dos tempos gastos nas seguintes operações:

- a)** Entrada do comboio 1 por jusante
- b)** Fechamento da porta de jusante
- c)** Subida do nível de água
- d)** Abertura da porta de montante
- e)** Saída do comboio 1 por montante
- f)** Manobra em montante
- g)** Entrada do comboio 2 por montante

- h) Fechamento da porta de montante**
- i) Descida do nível de água**
- j) Abertura da porta de jusante**
- k) Saída do comboio 1 por jusante**
- l) Manobra em jusante**

Após o término da manobra em jusante, existirá um comboio 3 pronto para entrar na eclusa de jusante e chega-se, portanto, ao instante final do cálculo do ciclo (t_2).

Dentro de um conceito geral de otimização dos tempos, os tempos de operação do comboio 1 (jusante para montante) e do comboio 2 (montante para jusante) deverão ser idênticos.

Tratando-se de uma eclusa simples não devem haver, em condições normais de projeto, restrições para a execução das manobras em jusante e montante que deverão ter, portanto, a mesma duração.

Podemos resumir o cálculo do ciclo de uma eclusa simples, adotando a seguinte notação, para simplificar a representação:

$$C_i = 2 (T_{op} + T_m) \quad \textcircled{7} ,$$

onde :

T_{op} = tempo de operação

T_m = tempo de manobra

5.2 Duas Eclusas em Série

As eclusas em série apresentam duas possibilidades de disposição, quanto ao cálculo da capacidade de tráfego: quando não é possível o cruzamento de embarcações no nível intermediário e quando é possível este cruzamento. No primeiro caso denomina-se o sistema de Eclusa de Câmaras Múltiplas e no segundo de Escada de Eclusas.

A análise de eclusas em série, só será efetuada para o caso de duas eclusas devido ser bastante simples a generalização dos resultados para mais de duas eclusas em série.

Qualquer série de eclusas pode ser decomposta nos sub-sistemas básicos aqui apresentados, eclusa simples, duas eclusas em série ou duas em paralelo, e ter sua capacidade de tráfego calculada através da premissa de que a capacidade de tráfego do sistema inteiro será limitada pela do sub-sistema que apresentar a menor capacidade de tráfego.

5.2.1 Eclusa de Câmaras Múltiplas

Neste par de eclusas não é possível o cruzamento nos níveis intermediários e para que um comboio possa descer, por exemplo, é obrigado a esperar a subida do comboio, no outro sentido, pelas duas eclusas.

No sentido de simplificar a abordagem os tempos de operação serão tratados como um único tempo gasto em uma operação de uma eclusa.

Os instantes inicial (t_0) e final (t_2) são os mesmos instantes utilizados no caso da eclusa simples, e serão os mesmos também nas outras disposições, conforme a definição de ciclo apresentada no Capítulo 2.

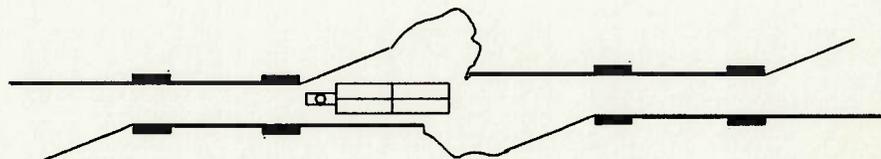
O cálculo do ciclo pode ser formulado através da soma dos tempos gastos nas seguintes operações:

- a) tempo de operação da eclusa de jusante
- b) tempo entre eclusas de jusante e montante
- c) tempo de operação da eclusa de montante
- d) tempo de manobra em montante
- e) tempo de operação da eclusa de montante
- f) tempo entre eclusas de montante e jusante
- g) tempo de operação da eclusa de jusante
- h) tempo de manobra em jusante

Após a manobra em jusante chega-se ao instante t_2 e termina o ciclo. Como em um sistema de duas eclusas em série, funcionando como eclusa de câmaras múltiplas pode haver uma eclusa com mais capacidade de tráfego que a outra os tempos de operação das duas eclusas não necessitam ser os mesmos, por outro lado, devem ser iguais os tempos de manobra nas duas extremidades do sistema, onde não devem haver restrições às manobras.

O ciclo do sistema pode ser então formulado na seguinte apresentação resumida :

$$C_i = 2 (T_{op1} + T_{op2} + T_m + T_{ee})$$



11 - Eclusa de Câmaras Múltiplas

onde :

T_{op1} = tempo de operação da eclusa 1

T_{op2} = tempo de operação da eclusa 2

T_m = tempo de manobra nas extr. do sistema

T_{ee} = tempo entre eclusas

Muitas vezes o desnível é dividido em partes iguais, por razões de custo das obras, ou para diminuir o consumo de água. Nestes casos a expressão do ciclo pode ser ainda mais simplificada:

$$C_i = 2 (2T_{op} + T_m + T_{ee})$$

O tempo entre eclusas aumentará com o aumento da distância entre eclusas até que o cruzamento seja possível, passando o sistema, então, a funcionar como uma escada de eclusas.

É interessante observar o que ocorre com o caso particular em que as duas eclusas estão emendadas, com coincidência entre a porta de montante, da eclusa de jusante, com a porta de jusante da eclusa de montante.

Neste caso, além do tempo entre eclusas ser nulo, deverá ser retirado o tempo consumido na operação de saída, no nível intermediário, do tempo de operação, devido a mesma ser realizada simultaneamente com a entrada na outra câmara, operação com duração maior que a saída. Neste caso particular podemos representar a formulação do ciclo na seguinte expressão resumida:

$T_s = \text{tempo gasto na operação de saída}$

$$C_i = 2 (T_{op1} + T_{op2} - T_s + T_m)$$

Ou, se o desnível for dividido em partes iguais:

$$C_i + 2 (2T_{op} - T_s + T_m)$$

Se o desnível fosse dividido em "n" partes iguais, por exemplo, a expressão do ciclo, poderia ser formulada da seguinte maneira :

$$C_i = 2 [nT_{op} - (n - 1) T_s + T_m] \quad \textcircled{3}$$

5.2.2 Escada de Eclusas

Neste caso as eclusas estão tão afastadas que já é possível efetuar o cruzamento de embarcações no nível intermediário. Havendo cruzamento no nível intermediário a abordagem do cálculo da capacidade de tráfego muda completamente. A possibilidade do cruzamento faz com que cada eclusa do sistema passe a funcionar como uma eclusa simples.

Assim a escada de eclusas, como sua própria denominação indica, funciona como uma série (escada) de degraus (eclusas) e terá sua capacidade de tráfego condicionada pela da eclusa de menor capacidade.

Ao se dividir o desnível em uma escada de eclusas deve-se tomar cuidados especiais para que as eclusas da escada apresentem a mesma capacidade de tráfego. Não haveria nenhum sentido em se ter alguma eclusa com capacidade maior, devido a impossibilidade do uso deste excesso de capacidade.

Para a estimativa do ciclo de cada eclusa a expressão pode ser resumida em:

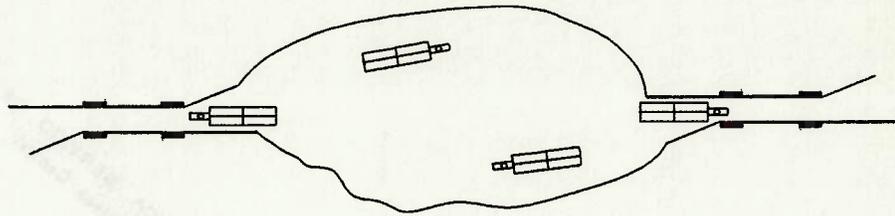
$$C_i = T_{mm} + 2T_{op} + T_{mj} \quad \textcircled{9}$$

onde :

T_{mm} = tempo de manobra a montante da eclusa

T_{mj} = tempo de manobra a jusante da eclusa

Os tempos de manobra a montante e a jusante de cada eclusa podem ser diferentes devido a poder haver condições diferentes em cada nível, dificultando mais ou menos as manobras, de maneira desigual em cada nível.



12 - Escada de Eclusas

5.3 Eclusas em Paralelo

Nas eclusas em paralelo a capacidade de tráfego pode ser formulada com simplicidade em relação a uma eclusa simples. O desnível que for transposto por duas eclusas em paralelo, por exemplo, terá, na sua transposição, uma capacidade de tráfego igual ao dobro de uma eclusa simples, no mínimo.

Caso cada eclusa seja utilizada em um sentido de direção a capacidade de tráfego poderá ser até maior que o dobro dependendo da relação entre os tempo de manobra e os de operação. Quando cada eclusa é responsável por um sentido o consumo de água aumenta, a eclusa tem que trabalhar em vazio, e os tempos de manobra são completamente eliminados, nesta condição o ciclo pode ser expresso por:

$$C_i = 2T_{op} - T_s - T_e \quad \text{⑩}$$

onde :

T_s = tempo gasto na operação de saída

T_e = tempo gasto na operação de entrada

Se a capacidade de tráfego, calculada com o ciclo estimado por esta expressão, for maior que o dobro da capacidade de tráfego de uma das eclusas, considerada como simples, as eclusas podem ser planejadas para operar cada uma em um sentido.

5.4 Bibliografia

A bibliografia aqui relacionada refere-se ao Capítulo 5 e apresenta o seguinte formato:

- * Nome do Autor da Obra
Título da Obra
Editora, Congresso, Simpósio, Entidade, Periódico etc.
 - » *Principais tópicos que interessam ao presente capítulo*

- * Abecasis, Fernando Manzanares/ Coutinho, José de Araújo/
Henriques, Rogério Gonçalves
- Solutions envisaged for the overcrossing of the Cabora-Bassa dam
- XXIº Congrès International de Navigation - Stockholm - 1965
 - » *estimativa de capacidade de tráfego, escada de eclusas mista com eclusa de câmaras múltiplas.*

- * Almeida, Carlos Eduardo de
- Obras de Transposição de Desnível em Barragens de Aproveitamentos Múltiplos.
- Tese para provimento da Cátedra : "Navegação Interior e Portos Marítimos" - EPUSP - 1968
 - » *capacidade de tráfego.*

- * Consórcio Engevix - Themag
- Eclusas de Tucuruí - Estudo da Capacidade Máxima Teórica de Tráfego - TUC-38-0026-RE.
- Portobrás - Empresa de Portos do Brasil S.A./Eletronorte - Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A.
 - » *expressão da capacidade de tráfego .*

- * Davis, John P.
- Tonnage Capacity of Locks
- Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - may/1969
 - » *capacidade de tráfego em eclusas.*

- * Gullatt, Doswell
- Duplicate Locks for Illinois Waterway
- Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - Discussion - august/1965
 - » *capacidade de tráfego de eclusas em paralelo*

6. Custo de Implantação de Eclusas

6.1 Variação do Custo com a Altura de Queda

O custo de construção de eclusas é fortemente relacionado com a altura de queda, esta relação já foi bastante estudada por diversos pesquisadores, que chegaram até a propor expressões que formulavam esta relação:

$$\Rightarrow P = 10C (100 + H^2) \quad \textcircled{1}$$

(Franzius - 1936)

$$\Rightarrow P = 3600H^2 + 88300H + 1592100 \quad \textcircled{2}$$

(CIBPU - 1958)

$$\Rightarrow P = 1,21H^2 + 39,8H + 675 \quad \textcircled{3}$$

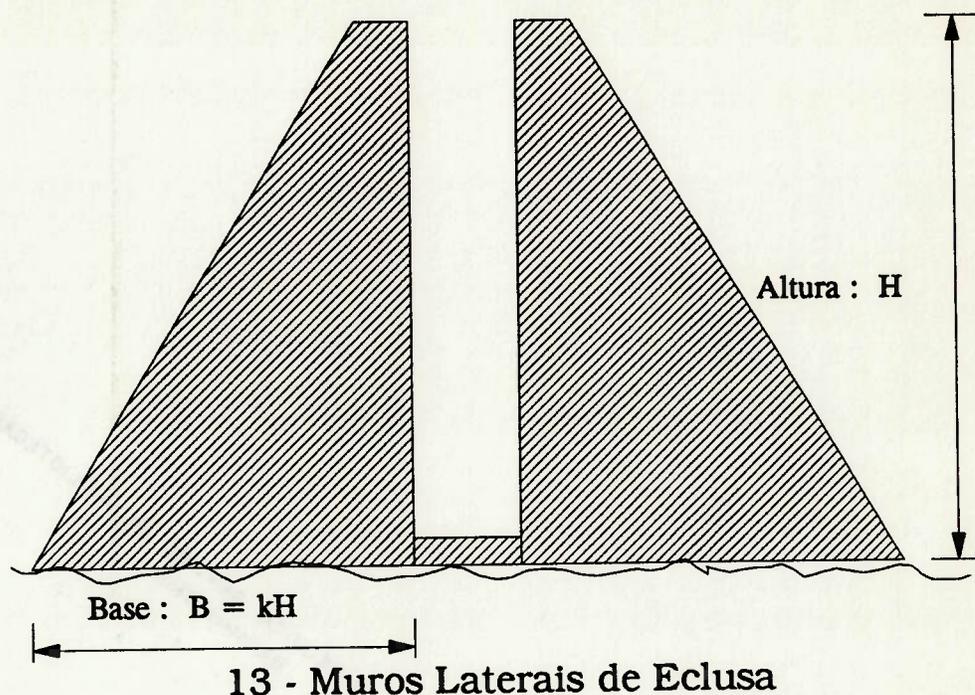
(Almeida - 1968)

Nas equações ①, ② e ③, acima apresentadas, **P** indica o custo total da eclusa e **H** a altura de queda. As expressões demonstram o forte relacionamento do custo das obras com a altura de queda explicitando também a relação com o quadrado desta altura.

Este relacionamento com a altura de queda é bastante compreensível quando se analisa a natureza das soluções de engenharia mais adotadas para as obras de eclusas.

Os muros laterais são, na grande maioria das obras, muros de gravidade onde o volume de concreto é diretamente proporcional ao quadrado da altura dos muros.

A relação do volume dos muros com o quadrado da sua altura advém do fato de que as bases dos muros de gravidade são diretamente proporcionais à altura de água que devem suportar, conforme indicado na Figura 13.



O volume de cada muro lateral pode ser expresso, aproximadamente, por:

$$V = \frac{B H}{2} L$$

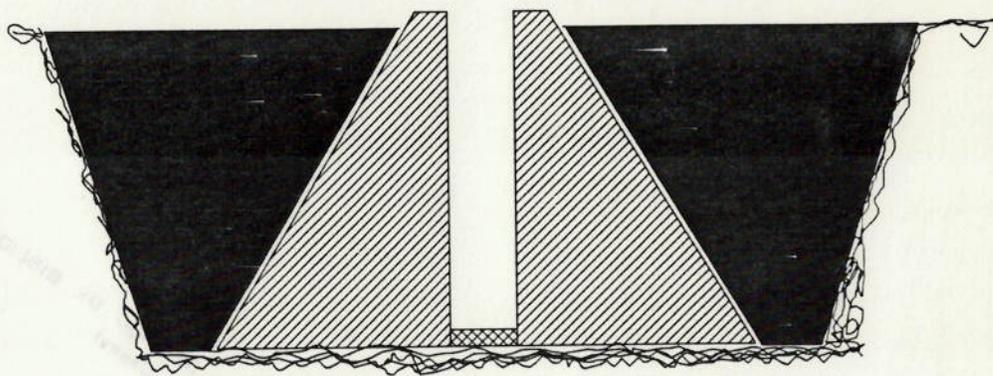
Onde L é o comprimento do muro, ficando o volume total dos muros com a seguinte expressão:

$$V = K L H^2$$

Outros elementos de custo importante nas eclusas também apresentam relações com o quadrado da altura de queda muito similares a esta.

As portas e os dispositivos de vedação de emergência (stop-logs) são dimensionadas para suportar a pressão hidrostática, sendo o seu peso total também proporcional ao quadrado da altura da porta.

Os volumes das escavações realizadas para a construção das eclusas, assim como os volumes dos posteriores reaterros, são proporcionais ao quadrado da profundidade, conforme ilustrado na figura 14.



14 - Escavação e Reaterro para construção de Eclusa

A altura dos muros, das portas e a profundidade das escavações são diretamente proporcionais à altura de queda das eclusas o que vale dizer que o volume destes itens é proporcional ao quadrado da altura de queda.

Estes itens: portas, stop-logs, muros laterais e movimento de terra são, nas eclusas, os maiores responsáveis pelo custo das obras de implantação de um eclusa, representando em média de 80 a 90% do custo total.

Estas considerações corroboram os valores estatísticos, levantados pelos pesquisadores, citados no início deste capítulo, que demonstram ser o custo das eclusas, com maior ou menor intensidade, dependendo da expressão, proporcional ao quadrado da altura de queda.

Esta proporção só não é conseguida nas eclusas encaixadas em rocha, aonde o volume dos muros, e da escavação, é diretamente proporcional à altura de queda, e não ao quadrado desta altura. Porém, estas eclusas são tão raras, que não devem ser levadas em conta na formação de estatísticas de custo de obras.

Mais importante que a redução de volume, com a diminuição de altura, é a redução de custos unitários devido a utilização de tecnologias menos complexas e mais econômicas.

Em pequenas quedas pode-se, por exemplo, pensar em utilizar muros de alvenaria, ou até em não fazer muros, como na Eclusa Provisória de Porto Primavera. As portas podem ser de madeira, os sistemas de enchimento podem ser simplificados, tudo fica mais fácil e mais barato nas pequenas quedas.

6.2 Custo das Eclusas em Série

Quando se analisa as soluções em eclusas, para um mesmo desnível, entre os sistemas possíveis, as eclusas em série são opções que apresentam a possibilidade de diminuição de custos, através da diminuição da altura de queda.

Esta diminuição só será possível se o topo rochoso acompanhar, aproximadamente a superfície do terreno. Isto não acontece, por exemplo, na região do Rio Paraná, entre Porto Primavera e Itaipú, onde o nível do grande derrame de basalto apresenta uma variação de nível muito pequena, enquanto o nível do terreno varia acentuadamente.

Quando isto acontece a redução do custo das obras não é significativa, com a divisão do desnível, pois mesmo reduzindo a altura de queda das eclusas, o volume das escavações, reaterros e muros laterais não se reduz, devido a cota de apoio das obras ser a mesma em todas as eclusas da série. A redução só passaria a ser grande quando os muros laterais fossem de tão pequena altura que não fosse mais necessário o apoio dos mesmos na rocha.

Este tipo de formação, entretanto, pode ser considerada como exceção, sendo o caso mais comum aquele em que o terreno acompanha o perfil da rocha.

Neste tipo de terreno o custo de sistemas de eclusas em série, notadamente as eclusas de câmaras múltiplas, deve ser sensivelmente inferior ao de eclusas simples equivalentes, em qualquer dimensão de desnível.

Visando permitir uma análise expedita desta possibilidade são efetuadas a seguir algumas aproximações simplificadoras. Pode-se afirmar, grosseiramente, que o custo das eclusas é proporcional ao quadrado da altura de queda, fazendo que os itens que não apresentem redução de volume sejam compensados pelas diminuições de preço unitário, assim :

$$\Leftrightarrow P = k H^2$$

Onde k é uma constante qualquer, H a altura de queda e P o custo total do sistema de eclusas.

Quando o desnível é dividido, em contrapartida, aumenta-se a quantidade de eclusas e pode-se dizer que o comprimento das obras aumenta. Certamente pode-se também afirmar que o custo do sistema será, aproximadamente, proporcional a este comprimento:

$$\Leftrightarrow P = k L$$

Sendo L o comprimento total das obras e k uma constante qualquer.

Combinando as expressões tem-se:

$$\Leftrightarrow P = k L H^2$$

Aonde k é uma constante qualquer de proporcionalidade.

Ao se dividir um desnível em " n " desníveis iguais o custo total pode ser assim expressado:

$$\Leftrightarrow P = k (nL) \left(\frac{H}{n}\right)^2$$

Ou, simplificando:

$$\Leftrightarrow P = k \frac{L H^2}{n}$$

Ou seja, o custo total é dividido também por "n".

Esta análise sumária, apesar de muito pouco precisa, é importante para chamar a atenção para a validade em se analisar soluções em eclusas em série para qualquer desnível, mesmo nos considerados pequenos.

Nas escadas de eclusas as diminuições de custo não são tão sensíveis, devido as dimensões dos lagos, ou canais, intermediários que implicam, em alguns casos, na construção de verdadeiros reservatórios, aparelhados até com vertedouros. As economias de custo conseguidas nas câmaras são diminuídas devido ao custo deste nível intermediário.

6.2 Bibliografia

A bibliografia aqui relacionada refere-se ao Capítulo 6 e apresenta o seguinte formato:

- * Nome do Autor da Obra
Título da Obra
Editora, Congresso, Simpósio, Entidade, Periódico etc.
 - » *Principais tópicos que interessam ao presente capítulo*

- * Almeida, Carlos Eduardo de
 - Obras de Transposição de Desnível em Barragens de Aproveitamentos Múltiplos.
 - Tese para provimento da Cátedra : "Navegação Interior e Portos Marítimos" - EPUSP - 1968.
 - » *expressões de custo das obras, custo de operação.*

- * Burle, Maria Alice Lobo Leite/ Ripoll, José Fernando Marques
 - Eclusa de Sobradinho - Projeto e Construção
 - Anais do 1º Seminário Nacional de Hidrovias - Curitiba/1981
 - » *custo das obras*

- * Consórcio Themag - Proensi
 - Estudo de Viabilidade do Aproveitamento do Baixo Curso do Rio Ivaí para Navegação e Geração de Energia Elétrica
 - COPEL - Companhia Paranaense de Energia/ Secretaria de Transportes do Estado do Paraná - 1985
 - » *custo de eclusa.*

- * Corps of Engineers - Manuals
 - Navigation Locks
 - U.S Army
 - » *aspectos gerais sobre eclusas*

- * Grupo de Estudio del Río Parana - Consórcio IECO-ELC
 - Proyecto Itaipú - Transbordo de Carga e Obras Permanentes de Navegação.
 - Comission Mista Tecnica Paraguayo-Brasileña - ANDE - ELETROBRÁS
 - » *estimativas de custos*

- * Marchal, Maurice
 - Economic Role of the Waterway in Western Europe
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - may/1976
 - » *capacidades reais, custos de operação*

- * PIANC - Permanent International Association of Navigation Congresses
 - Final Report of the International Commission for the Study of Locks - 1986
 - » *Soluções de Projeto*

- * Themag Engenharia Ltda
 - Estudo de Viabilidade do Aproveitamento do Rio Doce para Navegação e Produção de Energia Elétrica- Portobrás - Empresa de Portos do Brasil S.A.
 - » *previsões de custo de eclusas.*

- * Themag Engenharia Ltda
 - Rio Ivaí - Síntese dos Principais Estudos Existentes nas Áreas de Transporte, Geração de Energia, Irrigação e Drenagem
 - Portobrás - Empresa de Portos do Brasil S.A.
 - » *custo de eclusas.*

- * Themag Engenharia Ltda
 - Viabilidade da Navegação No Rio Piracicaba no Trecho Compreendido entre a Cidade de Piracicaba e a sua Foz no Rio Tietê
 - Portobrás - Empresa de Portos do Brasil S.A.
 - » *custo das obras de transposição e geração*

- * Thomas, H.A.M.J./Goetinck, R.R.G./Morlion, D.H.J.
 - The Sea-Lock "Berendrecht" at the Port of Antwerp
 - Bulletin Nº 48 PIANC - Permanent International Association of Navigation Congresses - 1985
 - » *custos e volumes de uma eclusa marítima.*

7. Conclusões

Os estudos e projetos, de sistemas de eclusas, devem sempre abranger estimativas da capacidade de tráfego, visando melhor adequar as obras aos seus objetivos.

- * O custo de implantação de obras de transposição em eclusas apresenta grande variabilidade com a solução adotada para a distribuição das obras, tanto em planta como em corte: eclusa simples, eclusas em série ou em paralelo.
- * A capacidade de tráfego das obras de transposição em eclusas, por sua vez, é função da solução adotada para a distribuição das obras.
- * Não realizar estudos de capacidade de tráfego pode levar a adoção de soluções caras e com capacidades de tráfego superdimensionadas.
- * Não existem argumentos para a não realização de estudos de capacidade de tráfego pois os mesmos são de baixíssimo custo em relação às economias que podem gerar.

A estimativa da capacidade de tráfego máxima teórica, para estudos de viabilidade, pode ser efetuada de forma simplificada, desde que com critérios constantes para todas as alternativas estudadas.

- * Como os resultados de um estudo de viabilidade econômica decorrem de análises comparativas entre diversas alternativas a precisão na determinação dos custos e dos benefícios envolvidos pode ser menor, já que erros relativos serão pequenos desde que se estabeleça critérios adequados que façam que os erros absolutos, quando existirem, se distribuam o mais uniformemente possível nas diversas alternativas.
- * Todas as alternativas possíveis devem ser incluídas e métodos menos custosos de estimativa de capacidade de tráfego permitem que não seja feita a eliminação a priori de alternativas consideradas inviáveis, tornando os estudos mais abrangentes e com melhor possibilidades de encontrar soluções viáveis.
- * A fixação de critérios constantes para a análise dos tempos envolvidos na estimativa da duração do ciclo não apresenta grandes dificuldades e, caso não haja interesse de pesquisa de critérios específicos, os aqui apresentados podem ser utilizados.

As velocidades de variação de nível são proporcionais a altura de queda, implicando em valores de tempos, consumidos na variação de nível, praticamente constantes.

- * Eclusa maiores, com maior altura de queda, podem usar circuitos de enchimento e esvaziamento mais sofisticados, pois possuem um orçamento mais amplo que pode abranger gastos maiores nestes circuitos.
- * Em rios canalizados a sequência natural de eclusas implica, por compatibilidade, em iguais capacidades de tráfego, ciclos iguais e tempos de variação de nível também iguais, mesmo para eclusas de diferentes alturas de queda.

A importância dos tempos de operação, em relação aos tempos de manobra, vêm diminuindo, notadamente quando as embarcações são comboios de empurra.

- * A grandeza dos tempos de manobra, para os comboios de empurra, atualmente já é da mesma dimensão da dos tempos de operação

A determinação dos tempos de manobra através de modelos físicos, tem custos proibitivos, restando o uso de simulações em computadores e modelos geométricos, para esta finalidade.

As eclusas de câmaras múltiplas apresentam capacidade de tráfego menor que uma eclusa simples em um mesmo desnível. As escadas de eclusas, por sua vez, apresentam maior capacidade de tráfego que a eclusa simples equivalente, no mesmo desnível.

- * A possibilidade de implantação de eclusas em série pode levar, em um mesmo desnível, a capacidades menores ou maiores que a de uma eclusa simples.

A capacidade de tráfego das escadas de eclusas passa a não depender da distância entre eclusas somente após ultrapassar uma distância mínima entre eclusas. Antes de atingir esta distância, a capacidade de tráfego vai depender da maior, ou menor, facilidade em executar as manobras no nível intermediário.

- * Entre as soluções do tipo escada de eclusas ideal e eclusa de câmaras múltiplas existem soluções possíveis em escada de eclusas (com cruzamento nos níveis intermediários).

As eclusas em paralelo podem apresentar maior capacidade de tráfego ao operar cada eclusa em um sentido de direção, do que ao operar cada eclusa como simples.

- * Esta propriedade das eclusas em paralelo é devida a eliminação dos tempos de manobra neste tipo de operação.

O custo total de um sistema hipotético de eclusas em série, transpondo um desnível em "n" degraus, notadamente de eclusas de câmaras múltiplas, pode ser cerca de "n" vezes menor que o custo de uma eclusa simples semelhante.

- * Decorrência do relacionamentodo custo de implantação de câmaras de eclusa com o quadrado da altura de queda.

A possibilidade do uso de eclusas em série deve ser analisada em qualquer desnível a ser vencido, mesmo nos menores, pois as diferenças de custo são bastante significativas, e, em muitos casos, sua capacidade de tráfego atende às necessidades reais do transporte.

- * Uma solução de engenharia que pode apresentar menores custos atendendo as necessidades de desempenho tem que ser sempre analisada.

8. Bibliografia

Toda a bibliografia é relacionada a seguir visando facilitar a pesquisa dos eventuais interessados nos assuntos abordados pelo trabalho.

Formato da bibliografia :

- * Autor da Obra
 - Título da Obra
 - Editora, Congresso, Simpósio, Entidade, Periódico etc.
 - ∞ Principais tópicos que interessam ao presente trabalho
 - ⇒ itens em que foram utilizadas as informações retiradas da obra citada
-

- * Abecasis, Fernando Manzanares/ Coutinho, José de Araújo/ Henriques, Rogério Gonçalves
 - Solutions envisaged for the overcrossing of the Cabora-Bassa dam
 - XXIº Congrès International de Navigation - Stockholm - 1965.
 - ∞ *estimativa de capacidade de tráfego, escada de eclusas mista com eclusa de câmaras múltiplas.*
 - ⇒ itens : 5.4

- * Almeida, Carlos Eduardo de
 - Obras de Transposição de Desnível em Barragens de Aproveitamentos Múltiplos.
 - Tese para provimento da Cátedra : "Navegação Interior e Portos Marítimos" - EPUSP - 1968.
 - ∞ *Aspectos gerais sobre eclusas, velocidade de enchimento e esvaziamento, capacidade de tráfego, custo das obras e de operação.*
 - ⇒ itens: 1.4, 2.4, 3.4, 5.4, 6.2

- * Almeida, Fábio Guilhem
 - Dimensionamento dos Canais Intermediários das Escadas de Eclusas para Comboios de Empurra.
 - Dissertação apresentada á Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Engenharia - 1989
 - ☞ *velocidades e aceleração, raios mínimos, folgas entre embarcações.*
 - ☞ **itens : 4.4**

- * Blaauw, Henk G./ Verhey, Henk J.
 - Design of Inland Navigation Fairways
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - february/1983
 - ☞ *importância da capacidade de tráfego no projeto de uma via navegável.*
 - ☞ **itens: 1.4**

- * Bottoms, Eric E.
 - Practical Tonnage Capacity of Canalized Waterways.
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - february/1966.
 - ☞ *capacidade prática de tráfego capacidade de tráfego máxima teórica.*
 - ☞ **itens : 1.4, 3.4, 4.4**

- * Bottoms, Eric E.
 - Practical Tonnage Capacity of Canalized Waterways.
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - Discussion - may/1967.
 - ☞ - *influência humana nos tempos de manobra reais.*
 - ☞ - *tempo gasto em abertura e fechamento de portas.*
 - ☞ - *variabilidade da relação entre capacidade de tráfego prática e teórica.*
 - ☞ **itens : 1.4, 3.4, 4.4**

- * Braun, H.G./ Illiger, Joh./ Köhler, F./ Kuhn, R.
 - Structures for Dealing with Large Differences in Head.
 - XXIº Congrès International de Navigation - Stockholm - 1965
 - ☞ *tempos de enchimento e esvaziamento.*
 - ☞ **itens: 3.4**

- * Burle, Maria Alice Lobo Leite/ Ripoll, José Fernando Marques
 - Eclusa de Sobradinho - Projeto e Construção
 - Anais do 1º Seminário Nacional de Hidrovias - Curitiba/1981
 - ☞ - *velocidade de variação de nível*
 - *custo das obras.*
 - ☞ **Itens: 3.4, 6.2**

- * Cadart, Gustave/ Barbet L.
 - Considérés au Point de Vue de sa Capacité de Frequentation et de utilisation du matériel de batellerie
 - Annales de Ponts et Chaussées - 73º année - 8º série - Tome IX - 1903
 - ☞ - *tempos de manobra*
 - *modelo simplificado de estimativa de capacidade de tráfego*
 - ☞ **Itens: 1.4, 2.4, 4.4**

- * Consórcio Engevix - Themag
 - Eclusas de Tucuruí - Estudo da Capacidade Máxima Teórica de Tráfego - TUC-38-0026-RE.
 - Portobrás - Empresa de Portos do Brasil S.A./Eletronorte - Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A.
 - ☞ *modelos geom.de manobra, expr.da cap.de tráfego, gera a base do trabalho.*
 - ☞ **Itens: 1.4, 2.4, 4.4, 5.4**

- * Consórcio Engevix - Themag.
 - Eclusas de Tucuruí - Capacidade de Tráfego das Alternativas - TUC-38-0043-RE.
 - Portobrás - Empresa de Portos do Brasil S.A./Eletronorte - Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A.
 - ☞ *aplicação dos modelos geométricos, aplicação do modelo de previsão da capacidade de tráfego em diversas alternativas.*
 - ☞ **Itens: 1.4, 2.4, 4.4**

- * Consórcio Themag - Proensi
 - Estudo de Viabilidade do Aproveitamento do Baixo Curso do Rio Ivai para Navegação e Geração de Energia Elétrica
 - COPEL - Companhia Paranaense de Energia/ Secretaria de Transportes do Estado do Paraná - 1985
 - ☞ *previsão de capacidade de tráfego e custo de eclusa*
 - ☞ **Itens : 1.1, 6.2**

- * Corps of Engineers - Manuals
 - Navigation Locks
 - U.S Army
 - ☞ *aspectos gerais sobre eclusas*
 - ☞ **Itens : 6.2**

- * Davis, John P./Murphy, Thomas E.
 - Experimental Research on Lock Hydraulic System
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - february/1966
 - ∞ - *lei de abertura de comportas, agitação, esforços em amarras.*
 - *tempos de enchimento admissíveis por tamanho de queda.*
 - ☞ **itens: 3.4**

- * Davis, John P.
 - Tonnage Capacity of Locks
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - may/1969
 - ∞ *capacidade de tráfego em eclusas, tempos de operação e manobra, importância da determinação, definição de capacidade de tráfego e tempos inclusos no tempo de operação.*
 - ☞ **itens: 1.4, 2.4, 3.4, 4.4, 5.4**

- * Davis, John P./Nelson, Martin E./Patton, Richard E.
 - United States Development of Hydraulic and Structural Designs for Locks.
 - XXIº Congrès International de Navigation - Stockholm - 1965
 - ∞ - *tempos de manobra*
 - *tempos de enchimento e esvaziamento, evolução dos sistemas hidráulicos.*
 - *tempos consumidos na abertura e fechamento das portas*
 - ☞ **itens : 2.4, 3.4, 4.4**

- * Dehousse, N.M.
 - Very High Navigation Locks - Part I
 - Bulletin N° 67 PIANC - Permanent International Association of Navigation Congresses - 1989
 - ∞ *eclusas simples de alta queda, problemas técnicos, bacias de alívio.*
 - ☞ **itens : 1.4**

- * Dehousse, N.M.
 - Very High Navigation Locks - Part II - Feasibility study of a 113 m rise Lock for the Three Gorges site on the Yangtze river(P.P.China)
 - Bulletin N° 67 PIANC - Permanent International Association of Navigation Congresses - 1989
 - ∞ *Alternativas entre eclusas e elevadores, planos inclinados, cunhas d'água etc.*
 - ☞ **itens : 1.4**

- * DeSalvo, Joseph S.
 - On Acceleration of Barge Tows
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - may/1969
 - ∞ - *função de aceleração/distância de comboios de empurra, programa para fazer a avaliação(BASIC)*
 - *velocidade de entrada e saída.*
 - ☞ **itens : 3.4, 4.4**

- * Elder, Rex A./Price, James T./Engle, Ward W.
 - Navigation Locks: TVA's Multiport Lock Filling and Emptying System.
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - february/1964
 - ∞ *tempos de enchimento e esgotamento*
 - ☞ **itens : 3.4**

- * Glover, James E.
 - Channel Widths for Shallow-Draft Push-Tows Navigations River Bends
 - Symposium - Aspectes of Navigability of Constraint Waterways- Delft/1978
 - largura dos canais
 - ☞ **itens : 4.4**

- * Grupo de Estudio del Rio Parana - Consórcio IECO-ELC
 - Proyecto Itaipú - Transbordo de Carga e Obras Permanentes de Navegação.
 - Comission Mista Tecnica Paraguayo-Brasileña - ANDE - ELETROBRÁS
 - ∞ *estimativas de capacidade de tráfego e de custos*
 - ☞ **itens : 6.2**

- * Gullatt, Doswell
 - Duplicate Locks for Illinois Waterway
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - Discussion - august/1965
 - ∞ *capacidade de tráfego de eclusas em paralelo*
 - ☞ **itens : 5.4**

- * Hartung, Fritz/ Berger, Werner/ Ruschenburg, Friedrich/
Saltzwedel, Martin/ Sturtzel, Wilhelm/ Winkler, Kurt
- La Technique du Poussage
- XX^o Congrès International de Navigation - Baltimore - USA
1961
 - ∞ *dimensões admissíveis dos comboios, folgas entre comboios e com a margem, comportamento em curvas, manobras, ângulo de deriva, raio de curvatura, velocidades, distância de frenagem*
 - ☞ **itens : 4.4**

- * Heuser, H
- Verbesserung der Manovrierfähigkeit von Schubverbanden der Binnenschifffahrt
- Schiff und Hafen
∞ *manobras das embarcações*
☞ **itens : 4.4**

- * Hoekstra, A.J.
- River Regulation at Bajibo(Nigeria) by Means of Small Scale Model Investigation Including Remote Controlled Craft.
- XXI^o Congrès International de Navigation - Stockholm - 1965
∞ *modelagem física de manobras de embarcações, controle a distância e escala que permite operador dentro da embarcação.*
☞ **itens : 4.4**

- * Howe, Charles W.
- Mathematical Model of Barge Performance
- Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - november/1967
∞ *velocidade e aceleração de comboios*
☞ **itens : 4.4**

- * Howe, Charles W./ Carroll, Joseph L./ Hurter, Arthur P./ Leininger, William J./ Ramsey, Steven G./ Schwartz, Nancy L./ Silberberg, Eugene/ Steinberg, Robert M.
- Inland Waterway Transportation - Studies in Public and Private Mangement and Investment Decisions
- Resources for the Future, Inc. - London
∞ *- modelo de tráfego, congestionamento, tempos de espera, custos de espera, entrada longa, entrada curta, composição de um ciclo de eclusagem, filas em séries de eclusas*
☞ **itens : 2.4, 4.4**

- * Huval, Carl J.
 - Physical and Mathematical Models for Improved Navigation Channel Design
 - Symposium - Aspectes of Navigability of Constraint Waterways- Delft/1978
 - ∞ *distância entre embarcações, distância embarcação/margem, modelagem das manobras*
 - ⇒ **itens : 4.4**

- * Ihnatowicz, Stefan/ Wolczacki, Pawel
 - Chutes dans les Écluses Construites sur les Fleuves Parcourant des Plaines
 - XXIº Congrès International de Navigation - Stockholm - 1965
 - ∞ *tempos de enchimento e esvaziamento, lei de abertura das comportas*
 - ⇒ **itens : 3.4**

- * IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A
 - Determinação das Características Físicas do Muro-Guia Flutuante para as Eclusas do Médio-Tiete
 - relatório Nº 14.753 - 1981
 - ∞ *- manobras de aproximação ao muro guia, angulo de aproamento no contato com muro-guia*
 - ∞ *- manobrabilidade dos comboios*
 - ⇒ **itens : 4.4**

- * Kolkman, P.A.
 - Ships Meeting and Generating Currents
 - Symposium - Aspectes of Navigability of Constraint Waterways- Delft/1978
 - ∞ *velocidade de entrada na câmara.*
 - ⇒ **itens : 3.4**

- * Kooman, C.
 - The Development and Application of Design Rules for Canals and Locks Suitable for Push-Tow Units and Traditional Craft
 - Symposium - Aspectes of Navigability of Constraint Waterways- Delft/1978
 - ∞ *cruzamento de embarcações, aproximação dos muro-guias, tempo de entrada e de saída, variação de velocidade durante a entrada e a saída*
 - ⇒ **itens : 3.4, 4.4**

- * Kume, Hitoshi
 - Statistical Methods for Quality Improvement
 - AOTS - Tóquio - 1987
 - ∞ *Coefficiente de Correlação e Regressão Estatística.*
 - ⇒ **itens : 3.4**

- * Latorre, Robert/ Warinner, Charles
 - The Resistance of a 5X3 Barge Tow Moving in Shallow Water
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - July/1986
 - ∞ *velocidade de comboios*
 - ☞ **itens : 4.4**

- * Lederer, A.
 - Rapport du Congo
 - XXº Congrès International de Navigation - Baltimore - USA 1961
 - ∞ *dimensões, folgas, frenagem, cruzamentos*
 - ☞ **itens : 4.4**

- * Liddel, Donald M.
 - Surge Problems in Canals With High-Lift Locks
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - November/1969
 - ∞ *tempo de enchimento e esvaziamento em diversas eclusas*
 - ☞ **itens : 3.4**

- * Maquet, J.F./ Ridder, Melle L. de
 - Determination du Niveau de Saturation d'une Ecluse
 - Bulletin PIANC - Permanent International Association of Navigation Congresses - Vol.II - 1981
 - ∞ *modelo de simulação de operação de eclusa.*
 - ☞ **itens ; 3.4**

- * Marchal, Maurice
 - Economic Role of the Waterway in Western Europe
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - May/1976
 - ∞ *capacidades reais, custos de operação*
 - ☞ **itens : 1.4, 6.2**

- * McCartney, Bruce L.
 - Inland Waterway Navigation Project Design
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - November/1986
 - ∞ *importância da capacidade de tráfego no projeto de uma via navegável, generalidades sobre projetos de eclusas, outros elementos e modelagem de eclusas e comboios, inclusive na aproximação da eclusa*
 - ☞ **itens : 1.4**

- * Nelson, Martin E./Johnson, Harvey J.
 - Navigation Locks : Filling and Emptying Systems for Locks
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - february/1964
 - ∞ *sistemas de enchimento e esvaziamento*
 - ☞ **itens : 3.4**

- * Opstal, H. Van/ Veld, J.K. in 'T/ Gerritsen F.
 - Adaptation of Existing Waterways in Relation to Pushed Tows
 - XXIº Congrès International de Navigation - Stockholm - 1965
 - ∞ *modelagem física de manobras de embarcações, tempos de enchimento e esvaziamento, uso de muros guias, velocidade de entrada, manobras*
 - ☞ **itens : 2.4, 3.4, 4.4**

- * Pariset, Ernest/Gagnon, André
 - High Lift Lock : Some Hydraulic Problems and Solutions
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - november/1964
 - ∞ *gráfico de alturas por tempos de enchimento (44 eclusas) com concentração em alguns tempos.*
 - ☞ **itens : 3.4**

- * PIANC - Permanent International Association of Navigation Congresses
 - Final Report of the International Commission for the Study of Locks - 1986
 - ∞ - *Tempos de enchimento de muitas eclusas*
 - ∞ - *Soluções de Projeto*
 - ☞ **itens : 3.4, 6.2**

- * Report of the Forty-Ninth Round Table on Transport Economics
 - Competitive Position and Future of Inland Waterway Transport
 - European Conference of Ministers of Transport - Paris/1980
 - ∞ *capacidades de tráfego reais, importância da capacidade de tráfego*
 - ☞ **itens : 1.4**

- * Richardson, George C.
 - Filling System for Lower Granite Lock
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - august/1969
 - ∞ - *tempo de enchimento e esvaziamento em diversas eclusas(não só na do título)*
 - ∞ - *variação na lei de aberturas das comportas*
 - ☞ **itens : 3.4**

- * Rutter, W. de
 - Studies Concerning The Behaviour of Push-Tow Units
 - Symposium - Aspects of Navigability of Constraint Waterways- Delft/1978
 - ∞ - *comportamento em curvas, ponto de giro*
 - ∞ - *modelagem fisica*
 - ⇒ **itens : 4.4**

- * Saijto, J.A.
 - General Policy for The Improvement of Ports
 - Bulletin N° 46 PIANC - Permanent International Association of Navigation Congresses - 1984
 - ∞ - *tempo de enchimento de eclusa*
 - ∞ - *eclusa sem muros laterais*
 - ⇒ **itens : 3.4**

- * Santina, William J./Wesler, George B.
 - Duplicate Locks for Illinois Waterway
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - november/1964
 - ∞ *capacidade de tráfego de eclusas em paralelo*
 - ⇒ **itens : 5.4**

- * Sayer, P./ Liang, H.K.
 - Wave Interactions Between Barges
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - may/1986
 - ∞ *cruzamento de embarcações*
 - ⇒ **itens : 4.4**

- * Schale, E
 - Naturgrobe Experimentelle Untersuchungen zur Ermittlung der Notwendigem Fahwasser Breite in Krümmungen Stromender Gewässer.
 - Versuchsanstalt für Binnenschiffbau E.V. Duisburg/1975
 - ∞ *manobrabilidade dos comboios.*
 - ⇒ **itens : 4.4**

- * Schofield, R. Bryan
 - Speed of Ships in Restricted Navigation Channels
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - may/1974
 - ∞ *velocidade das embarcações*
 - ⇒ **itens : 4.4**

- * Schuffel, H.
 - Navigation Channel by Means of Simulation
 - Symposium - Aspects of Navigability of Constraint Waterways- Delft/1978
 - ∞ *simulação de manobras em um comboio*
 - ⇒ **Itens : 4.4**

- * Semanov, N.A./ Belanin, V.V./ Varlamov, N.N.
 - Navigation Engineering Problems in a System of Multiple Purpose Dam.
 - XXº Congrès International de Navigation - Baltimore - USA 1961
 - ∞ - *tempos reais de enchimento e esvaziamento*
 - ∞ - *dimensões dos canais de aproximação*
 - ∞ - *folga entre embarcações*
 - ∞ - *lei de abertura de comportas.*
 - ⇒ **itens : 3.4, 4.4**

- * Starting, J., Delft Hydraulics Laboratory
 - Recent Developments in Navigation Research
 - Bulletin Nº 47 PIANC - Permanent International Association of Navigation Congresses - 1984
 - ∞ - *modelos de simulação de manobras*
 - ∞ - *modelos reduzidos de manobras*
 - ⇒ **itens : 4.4**

- * Themag Engenharia Ltda
 - Estudo de Viabilidade do Aproveitamento do Rio Doce para Navegação e Produção de Energia Elétrica
 - ∞ - *Portobrás - Empresa de Portos do Brasil S.A.*
 - ∞ - *previsões de capacidade de tráfego*
 - ∞ - *estimativa de custo de eclusa*
 - ⇒ **itens : 6.2**

- * Themag Engenharia Ltda
 - Rio Ivai - Síntese dos Principais Estudos Existentes nas Áreas de Transporte, Geração de Energia, Irrigação e Drenagem
 - Portobrás - Empresa de Portos do Brasil S.A.
 - ∞ *custo de eclusas.*
 - ⇒ **itens : 6.2**

- * Themag Engenharia Ltda
 - Viabilidade da Navegação No Rio Piracicaba no Trecho Compreendido entre a Cidade de Piracicaba e a sua Foz no Rio Tietê
 - Portobrás - Empresa de Portos do Brasil S.A.
 - ∞ *custo das obras de transposição*
 - ⇒ **itens : 6.2**

- * Thomas, H.A.M.J./Goetinck, R.R.G./Morlion, D.H.J.
 - The Sea-Lock "Berendrecht" at the Port of Antwerp
 - Bulletin N° 48 PIANC - Permanent International Association of Navigation Congresses - 1985
 ☞ *custos e volumes de uma eclusa marítima.*
 ☞ **itens : 6.2**

- * van de Kaa, Evert Jan
 - Power and Speed of Push-Tows in Canals
 - Symposium - Aspects of Navigability of Constraint Waterways- Delft/1978
 ☞ *velocidade de comboios*
 ☞ **itens : 4.4**

- * Vogel, Herbert D.
 - Navigation Engineering Problems in a System of Multiple Purpose Dam.
 - XX° Congrès International de Navigation - Baltimore - USA 1961
 ☞ *tempos reais de enchimento e desvazamento*
 ☞ **itens : 3.4**

- * Völker, H.
 - The Problem of Pushed Cargo-Vessels on the Upper Danube
 - XX° Congrès International de Navigation - Baltimore - USA 1961
 ☞ *distância de comboios durante cruzamentos, modelo físico de manobras.*
 ☞ **itens ; 4.4**

- * Windsor, James S./ Vallee, Herman
 - Computer Model for a Lock Manifold System
 - Proceedings of the American Society of Civil Engineers - Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division - may/1969
 ☞ *predição de tempos de enchimento e esvaziamento*
 ☞ **itens : 3.4**

- * Wyss, Fritz/ Boesch, Fred
 - Essais de Navigation Fluviale sur Bateaux Modèles Téléguidés
 - XXI° Congrès International de Navigation - Stockholm - 1965
 ☞ *modelagem física de embarcações, limitações, aplicabilidade.*
 ☞ **itens : 4.4**