

0416-027
Biblioteca da Escola Politécnica
Universidade de São Paulo

São Paulo
1997

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

PROJETO DE EMBARCAÇÃO COM PROPULSÃO DE RODA DE PÁS

SÉRGIO LUKINE

São Paulo
1997

Orientador:
Prof. Dr. Kazuo Nishimoto

Área de Concentração:
Engenharia Naval

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

PROJETO DE EMBARCAÇÃO COM PROPULSÃO DE RODA DE PÁS

SÉRGIO LUKINE

Aos professores, alunos e funcionários da
Escola Politécnica da USP e da Faculdade
de Tecnologia de Jahu, meus grandes
incentivadores neste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Kazuo Nishimoto, meu amigo e grande incentivador, tanto neste trabalho como nas atividades acadêmicas, na EPUSP e FATEC-Jahu.

À minha mulher Silvana, pelo incentivo e apoio na elaboração do trabalho, e por entender a redução das horas de lazer e dedicação à casa.

À Daniela, por tornar possível a montagem deste trabalho, graças a sua disposição e iniciativa nas diversas revisões do texto.

Ao Prof. Aramis, velho marinho, pela constância na busca de artigos e material bibliográfico, não deixando que o "fôlego" do trabalho fosse perdido.

Ao Prof. Kazuo Hirata, pelas sugestões de "papers", que constituíram as referências mestras do presente trabalho.

Aos meus filhos, Alexandre e Tatiana, razão pela qual tudo vale a pena.

Sergio de Kine

PROJETO DE EMBARCAÇÃO COM PROPULSÃO DE RODA DE PÁS

ERRATA

Página 1

Onde se lê:

O primeiro barco a vapor movido a roda de pás foi o "Charlotte Dundas", em 1802, de 16 metros de comprimento e 5,5 metros de boca, de casco duplo com roda central.

Leia-se:

O primeiro barco a vapor movido a roda de pás foi o "Charlotte Dundas", em 1802, de 16 metros de comprimento e 5,5 metros de boca, de casco duplo com roda central, projetado por William Symington.

Onde se lê:

O vapor construído em 1913, n os Estados Unidos,

Leia-se:

O vapor construído em 1913, nos Estados Unidos,

Página 29

Onde se lê:

5. OTIMIZAÇÃO DE RODA DE PÁS DO VAPOR "BENJAMIM GUIMARÃES"

GUIMARÃES"

5. OTIMIZAÇÃO DA RODA DE PÁS DO VAPOR "BENJAMIM

Leia-se:

Página 32

Onde se lê:

S - SLIP - Velocidade da pá em relação à água parada. (Deslizamento)
(Varia de 15 a 20 % - assumiremos para o Benjamim - 16%)

Leia-se:

S - SLIP - Velocidade da pá em relação à água parada. (Deslizamento)
(Varia de 15 a 20 % - assumiremos para o Benjamim - 16%) [8]

Página 33

Onde se lê:

A velocidade que a água pode fluir sob a influência da
gravidade à profundidade h, abaixo da superfície, é igual a $\sqrt{2gh}$.

Leia-se:

A velocidade que a água pode fluir sob a influência da
gravidade à profundidade h, abaixo da superfície, é igual a $\sqrt{2gh}$. [8]

Página 34

Onde se lê:

Em rodas de pás fixas o número de pás pode ser igual ao
número de pés do diâmetro.

Leia-se:

Em rodas de pás fixas o número de pás pode ser igual ao
número de pés do diâmetro. [8]

Onde se lê:

A largura da pá é de usualmente de ¾" a 1" por cada pé de diâmetro.

5.1.5 Área da pá (extrapolado de um critério para pás articuladas)

$$A = \frac{2(v+s) s}{R}$$

A largura da roda é geralmente de 1/3 a 1/2 da boca da embarcação.

Leia-se:

A largura da pá é usualmente de ¾" a 1" por cada pé de diâmetro. [8]

5.1.5 Área da pá (extrapolado de um critério para pás articuladas)

$$A = \frac{2(v+s) s}{R} \quad [8]$$

A largura da roda é geralmente de 1/3 a 1/2 da boca da embarcação. [8]

Página 35

Onde se lê:

5.2.1 Utilização de série sistemática.

Leia-se:

5.2.1 Utilização de série sistemática. [5]

Substituir:

Na coluna "Coeficiente de Imersão" - por ,

ex: 0-15 por 0,15

Acrescentar:

[20] Taggart, Robert. The Role Of The Paddle - Wheel In Maritime History - Journal of the American Society of Naval Engineers Inc., Vol. 70, n.º 3, August, 1958.

SUMÁRIO

Lista de Figuras e Tabelas
 Lista de Símbolos e Abreviaturas
 Resumo
 Abstract

CAPÍTULO 1

1.	Introdução.....	1
1.1	Roda de Pás - Pioneiros.....	1
1.2	Roda de Pás - "Benjamin Guimarães".....	1

CAPÍTULO 2

2.	Características da Embarcação de Roda de Pás "Benjamin Guimarães".....	5
----	---	---

CAPÍTULO 3

3.	Desenvolvimento do Projeto segundo uma Espiral Clássica.....	8
3.1	Itens principais da Espiral de Projeto abordados nesta dissertação.....	9
3.1.1.	Estima de Potência.....	9
3.1.2.	Sistema Propulsivo.....	10
3.1.2.1	Caldeira.....	11
3.1.2.2	Roda de Pás.....	11
3.1.2.3	Integração casco-motor-roda de pás.....	11
3.1.2.4	Transmissão para roda de pás.....	12
3.2	Demais itens da espiral de projeto.....	12

CAPÍTULO 4

4.	Funcionamento do Sistema Propulsor da Embarcação.....	25
4.1	Máquina a Vapor.....	25
4.2	Transmissão para roda de pás.....	26
4.3	Funcionamento da roda de pás.....	27

CAPÍTULO 5

5.	Otimização da Roda de Pás do Vapor	29
5.1	Crterios de Projeto	30
5.1.1	Determinação do diâmetro da roda de pás	31
5.1.2	Profundidade de trabalho das pás	33
5.1.3	Número de pás	34
5.1.4	Largura da pá	34
5.1.5	Área da pá	34
5.1.6	Largura da roda de pás	34
5.2	Melhorias no desempenho de operação do vapor	35
5.2.1	Utilização de série sistemática	35

CAPÍTULO 6

6.	Conclusões e Recomendações	41
----	----------------------------	----

ANEXOS	43
--------	----

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
----------------------------	----

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Figura 3.1	Espiral de Projeto.....	9
Figura 3.2	Critério de Estabilidade para embarcações da área 1.....	20
Figura 4.1	Esforços na roda de pás.....	28
Figura 5.1	Roda de pás fixas (não articulada).....	30
Figura 5.2	Roda de pás articulada.....	30
Figura 5.3	Eficiências máximas (Coeficiente de imersão 0,20).....	38
Figura 5.4	Efeito do número de pás na eficiência e empuxo.....	38
Tabela 3.1	Tripulação do "Benjamim Guimarães".....	
Tabela 3.2	(viagens de curta duração).....	17
	Tripulação do "Benjamim Guimarães".....	
	(viagens normais).....	17
Tabela 5.1	Rodas de pás da série sistemática.....	35

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

- A - Área da pá em pés quadrados
D - Diâmetro em FTS. da roda
N - Rotações por minuto (R.P.M.)
ρ - densidade da água (1,94 p/ água doce e 1,99 para água salgada)
R - Resistência ao avanço do barco em libras
S - Velocidade do centro da pá em relação à água em pés por segundo
V - Velocidade do barco em pés por segundo
Va - Velocidade de avanço em nós
T - empuxo em libras
 Va / \sqrt{D} - Parâmetro de Velocidade
 N / \sqrt{D} - Parâmetro de R.P.M.
 $T / \rho D^3$ - Parâmetro de Empuxo
 $100 \text{ d.h.p.} / \rho D^{3,5}$ - Parâmetro de Potência
 $\eta_o = 0,307 Va / \sqrt{D} \times T / \rho D^3 / (100 \text{ d.h.p.} / \rho D^{3,5})$ - Eficiência em água aberta da roda
- FAT - Fundação de Apoio à Tecnologia
Fatec-JH - Faculdade de Tecnologia de Jahu
FRANAVE - Companhia de Navegação do São Francisco
d.h.p - Delivered Horse Power
i.h.p - Installed Horse Power
IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas
W.L. - Linha d' água (water line)

RESUMO

A embarcação a vapor foi o resultado da engenhosidade de muitos homens. No século passado numerosas experiências nos Estados Unidos e Europa tiveram por objetivo aplicar o vapor na propulsão de embarcações.

O propósito deste trabalho é descrever os passos da espiral de projeto utilizada para a restauração da embarcação à roda de pás "Benjamim Guimarães", e as melhorias a serem implementadas em alguns sistemas selecionados.

O sistema propulsivo da embarcação receberá uma nova caldeira, flamatubular, porém com mais potência que a atual, e a roda de pás fixas terá seu diâmetro aumentado dos atuais 14,4 pés para 18 pés.

Foi selecionada a roda de pás como item que merecerá um estudo mais aprofundado neste trabalho.

ABSTRACT

The steamboat was product of the ingenuity of many men. During the eighteenth century, numerous experiments in the U.S.A. and Europe were dealing with the problem of applying steam power for the propulsion of vessels. The purpose of this paper is to explain the steps of the classical project spiral used for the restoration of the stern - wheel boat "Benjamin Guimaraes" and the improvements in some systems of the ship.

The propulsive system of the boat will receive a new fire tube boiler, more powerful, and the radial wheel will have its diameter increased from 14.4 ft to 18 ft. The paddle wheel of the steamboat was selected as the item which will be focused in detail in this investigation.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

1.1 Roda de pás - Pioneiros

O primeiro barco a vapor movido a roda de pás foi o "Charlotte Dundas", em 1802, de 16 metros de comprimento e 5,5 metros de boca, de casco duplo com roda central.

O primeiro barco a vapor de rodas do mundo e desempenhar um serviço comercial regular foi o "Clermont", em 1807, utilizado no transporte de passageiros e carga ao longo do rio Hudson, nos Estados Unidos da América.

Na Europa, o "Comet", um barco de 12 m de comprimento, em 1812, foi o primeiro barco de propulsão a vapor com roda de pás a exercer um serviço regular de transporte de passageiros, na Inglaterra.

Na realidade, a partir de 1820, é que os navios de roda de pás, movidos a vapor, se espalharam rapidamente em todo o mundo. O Brasil, em 1940, ainda registrava cerca de 20 barcos de roda de pás navegando no Rio Amazonas, São Francisco, Paraná, Lagoa dos Patos e no Alto Paraguai [1].

1.2 Roda de pás - "Benjamim Guimarães"

O vapor construído em 1913, nos Estados Unidos, pela firma James Rees Sons & Co., foi utilizado no Rio Mississippi até ser adquirido pela firma Amazon River Plate Co., com o nome de Petrópolis, navegando, por algum tempo, na Baía Amazônica até ser desmontado e

transportado para Pirapora - MG, onde foi remontado, na década de 20, e rebatizado com o seu nome atual.

Em janeiro de 1997, o Capitão dos Portos do Estado de Minas Gerais convidou a Faculdade de Tecnologia de Jahu - FATEC-JAHU - para assumir a responsabilidade técnica da restauração do vapor "Benjamim Guimarães", junto a Prefeitura Municipal de Pirapora, proprietária da embarcação. O barco encontrava-se paralisado desde 1993, após vistoria da Capitania, com exigências não atendidas. Após visita realizada ao vapor e, em discussão com os Professores do Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da EPU SP, surgiu a ideia de apresentar o trabalho de sua restauração como tema da Dissertação de Mestrado.

A embarcação é tombada pelo Patrimônio Histórico de Minas Gerais, e ao longo de seus 70 anos de vida em Pirapora, criou uma grande empatia com a comunidade local. A expectativa criada na cidade com as notícias da restauração do barco nos dá a dimensão exata do carinho e envolvimento da população com o vapor "Benjamim Guimarães". Na década de 40 o vapor foi adquirido pela empresa de Navegação e Comércio do São Francisco, e ainda nessa década, se integrou à Companhia Indústria e Viação de Pirapora. Por ocasião da 2ª. Grande Guerra, com a interligação em Pirapora do transporte ferroviário pela estrada de ferro Central do Brasil, e do transporte fluvial, o Vapor transportou cargas e passageiros, numa intensa atividade, possibilitaram a ligação segura entre o sul e o nordeste do país, por ocasião da 2ª. Grande Guerra, evitando o litoral, e o consequente risco dos torpedos dos submarinos alemães.

O Rio São Francisco é totalmente navegável de Pirapora à Juazeiro-BA, no chamado Médio São Francisco, com 1371 Km e desnível

de 110 m. Nesse trecho encontra-se o lago formado pela Barragem de Sobradinho.

Em 1957, com a desapropriação pela União, da Companhia Indústria e Viação de Pirapora, o vapor passou, provisoriamente, ao Serviço de Navegação da Comissão do Vale do São Francisco até que se formasse a FRANAVE em 1963.

Em 1985 o vapor sofreu sua primeira restauração, e foram restabelecidas algumas de suas características originais do princípio do século. Essa restauração foi executada em Pirapora pelos funcionários da própria FRANAVE.

Em 1997 o vapor, última embarcação do lote de cem unidades adquiridas pela Amazon River Plate Co., passa para a responsabilidade da Prefeitura da cidade de Pirapora, que decide, então, conduzir uma segunda restauração.

Esta dissertação consiste em descrever as fases de projeto de uma embarcação com propulsão à roda de pás e a melhoria da eficiência do sistema propulsor, visando, principalmente, a otimização da integração casco-motor-roda de pás.

O Capítulo 2 consiste na descrição das características do vapor "Benjamim Guimarães". Um aspecto interessante é o seu sistema de estaiamento rígido, que tem como função minimizar as solicitações longitudinais na embarcação. Outro aspecto, digno de nota é a localização de todas as máquinas no convés principal.

O Capítulo 3 desenvolve o processo de restauração do vapor através uma espiral de projeto clássica. Os itens citados na espiral foram divididos em dois grupos : itens principais da espiral de projeto abordados nesta dissertação e demais itens. Os itens principais são : estima de potência e sistema propulsivo. O sistema propulsivo consta da caldeira, roda de pás, integração casco-motor-roda de pás e transmissão para a roda de pás.

O Capítulo 4 focaliza o funcionamento do barco, atendo-se à máquina a vapor, transmissão para a roda de pás e funcionamento da roda de pás.

O Capítulo 5 estuda a figura de mérito do presente trabalho, a roda de pás, abordando critérios de projeto e utilização de gráficos de uma série sistemática.

O Capítulo 6 apresenta as conclusões do presente trabalho e as recomendações para uma continuidade nos estudos de melhorias a serem implementadas no vapor "Benjamim Guimarães".

Enfim, este trabalho se propõe a ser uma contribuição para o processo de restauração do vapor.

CAPÍTULO 2

2. CARACTERÍSTICAS DA EMBARCAÇÃO DE RODA DE PÁS “BENJAMIM GUMARÃES”

O vapor “Benjamim Guimarães” se constitui em uma chata metálica, com a superestrutura em madeira apoiada em perfis metálicos.

O Vapor tem as seguintes características:

Comprimento total = 43,70 m

Comprimento entre perpendiculares = 38,40 m

Boca moldada = 7,90 m

Portal moldado = 1,21 m

Deslocamento carregado = 266,53 t

Deslocamento leve = 195,77 t

Calado carregado = 1,00 m

Calado Leve = 0,75 m

Arqueação Bruta = 250

Sua tripulação é de 31 homens. São 130 passageiros que podem ser transportados, sendo 30 na 1ª classe e 100 na 2ª classe (a lotação será revista após novo estudo de estabilidade).

A propulsão é provida por instalação à vapor, com caldeira flamatubular à lenha, localizada na região da proa, e duas máquinas alternativas, com capacidade de reversão, tocando uma roda de pás de madeira na popa.

O maquinário é todo exposto no convés principal.

A embarcação possui um estaiamento rígido, conforme pode-se observar no plano de Arranjo Geral (anexo A), com o intuito de reduzir os esforços longitudinais na estrutura, basicamente os de alquebramento, pois os de tosamto já são minimizados pela

distribuição de maiores pesos na popa e na proa, onde se tem menor empuxo em razão da redução da área da seção submersa.

Sua velocidade máxima é de 10,8 nós e sua velocidade de serviço é de 6,5 nós. Seu raio de ação é de 250 km. As características de velocidade e raio de ação serão revistas após instalação da nova caldeira (ainda flamaturbular, porém, mais compacta, e usando óleo como combustível) e da ampliação da capacidade de água potável.

Os lemes são em madeira, em número de três e localizados à vante da roda de pás, com acionamento mecânico por cabos de aço, exigindo o trabalho de dois timoneiros em função da baixa razão de redução do sistema.

O casco, uma chata metálica, de estrutura transversal, é dividido por quatro anteparas transversais estanques e três anteparas longitudinais não totalmente estanques.

A embarcação empregava chapas galvanizadas e era rebitada. Embora ainda presentes em parte da estrutura, as chapas galvanizadas foram quase todas substituídas e soldadas, por aço comum ASTM - A36, principalmente durante o último grande reparo, realizado em 1985/86, quando da primeira restauração.

O gerador original é dependente da propulsão principal. Um grupo motor-gerador e um quadro elétrico foram instalados posteriormente.

Do grupo motor-gerador está faltando o gerador.

Atualmente o barco tem um rádio HF-SSB de 100 Watts, e a sala de rádio localiza-se no convés 02, no antigo camarote do comissário.

O vapor conta com um ferro almirantado, localizado na roda de proa (ferro de roda) e um cabrestante a vapor de 100 CV.

O vapor, cujo arranjo geral constitui o anexo A, está autorizado a navegar no trecho estritamente fluvial do Rio São Francisco, pois na restauração de Set/85 à Out/86 foi retirada a Borda Falsa, instalada em 1979, para permitir navegação segura na Represa de Sobradinho. Está tecnicamente vedada sua navegação na parte lacustre do Rio São Francisco.

A Barragem de Sobradinho, a 47 Km a montante de Juazeiro, é o maior reservatório artificial do mundo, com 350 km de extensão e 4.214 Km² de espelho d'água. Para transpor sem risco suas águas profundas e revoltas - em virtude da ocorrência de ventos fortes na região - o vapor tem de navegar a contrabordo de um empurrador. (anexo B - Bacia do Rio São Francisco).

A Prefeitura de Pirapora explorará seu potencial turístico com viagens no trajeto Pirapora/São Francisco/Pirapora, num total de 460 Km; passeios aos sábados e domingos com duração de 03 (três) horas; além de viagens culturais no percurso Pirapora - MG à Juazeiro - BA, com 1.371 Km.

Embora esse tipo de embarcação tenha sido empregado no período de 1820 a 1930 (aproximadamente), ainda em 1984, foi lançado o "Creole Queen", embarcação de roda de pás construída e projetada pela "Halter Marine Services" para a "New Orleans Paddle-Wheels, Inc.", comportando 1000 passageiros e com as seguintes dimensões principais: Lpp = 189 FT, Boca = 40FT, Pontal = 8 FT, Calado = 5,5 FT. O diferencial é sua moderna planta propulsora diesel-elétrica com 900 Kw de produção de eletricidade para dois motores de 350 Hp cada, que movem a roda de pás.

CAPÍTULO 3

3. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO SEGUNDO UMA ESPIRAL

CLASSICA.

Existe uma metodologia bem conhecida na Engenharia Naval, utilizada no planejamento de uma nova obra, ou ainda, em uma reforma de grandes proporções de uma embarcação, chamada Espiral de Projeto. A Espiral de Projeto para abordar a restauração do vapor "Benjamim Guimarães" é a da Figura 3.1.

Nesta dissertação dar-se-á maior ênfase aos seguintes itens da espiral: Estima de Potência, Propulsão, Caldeira, Roda de Pás, Integração Casco-Motor-Roda de Pás e Transmissão para a roda de pás. Os itens citados, à exceção da Estima de Potência, foram englobados como: Sistema Propulsivo.

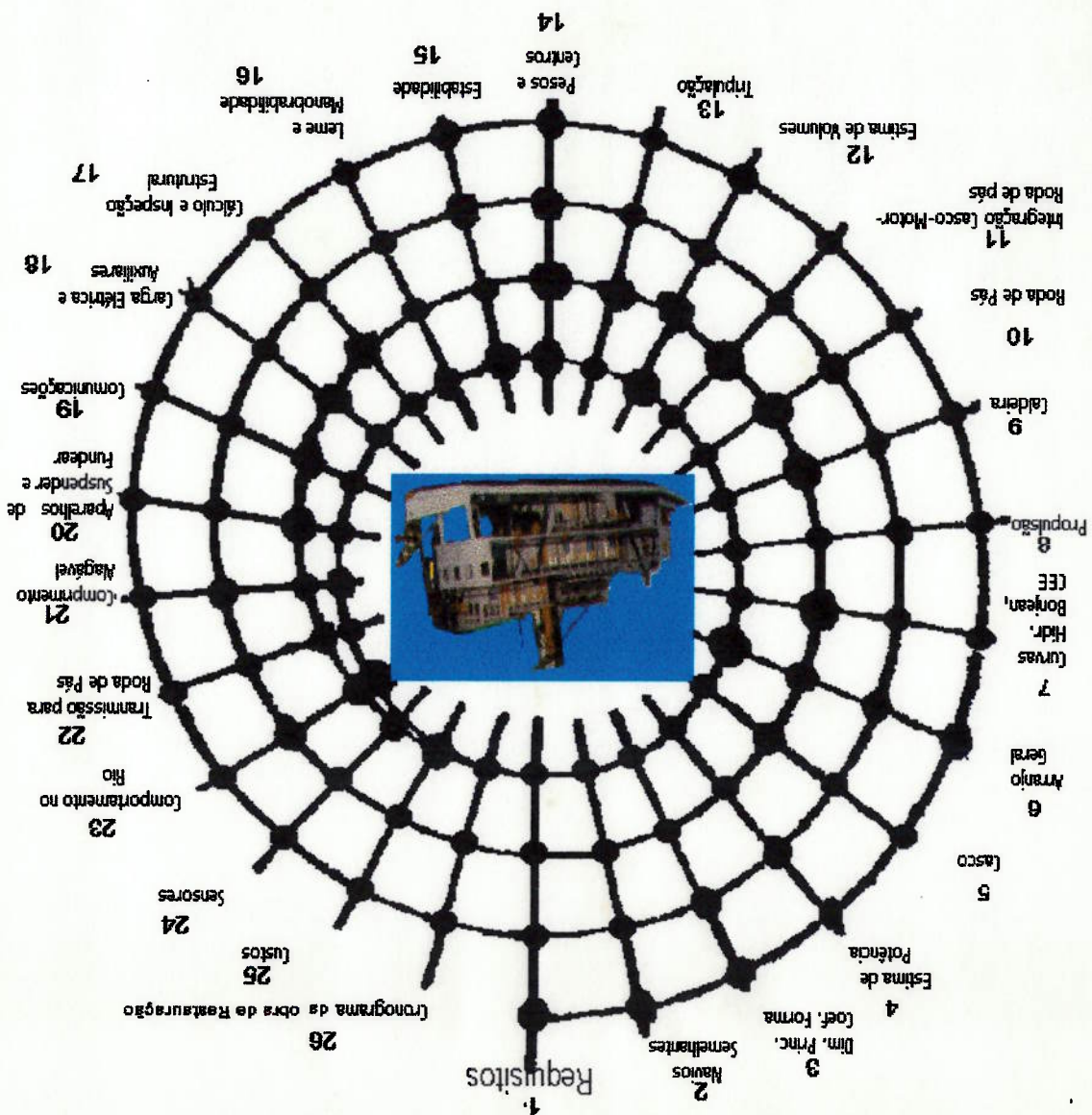
Os demais itens serão agrupados após esses, e serão alvo de comentários mais genéricos no presente trabalho.

O casco possui características similares à uma barça com calado carregado de 1,00 m, comprimento total de 43,70 m, boca 7,90 m e deslocamento carregado de 266, 53 t.

3.1.1 Estima de Potência

3.1 Itens principais da Espiral de Projeto abordados nesta dissertação.

Figura 3.1 - Espiral de Projeto



A caldeira original utilizada é do tipo flamatubular , e o barco atinge uma velocidade de serviço de 6,5 nós.

A potência instalada na embarcação atual é de aproximadamente 60 HP.

A nova caldeira terá uma potência de cerca de 250 HP.

As restrições atuais ao funcionamento da caldeira são em razão, principalmente, de seu tempo de instalação no vapor, 84 anos.

O acréscimo de potência, juntamente com as alterações na roda de pás, farão com que a embarcação tenha um melhor desempenho.

3.1.2 Sistema Propulsivo

A primeira intenção é a substituição da caldeira. Prevê-se também, um grande trabalho na área de ferramentaria, devido às transmissões mecânicas da máquina à vapor não serem mais encontradas no mercado. Um amplo trabalho na parte de isolamento térmico é esperado, além da colocação de manômetros, termômetros e tacômetros para melhorar o controle da propulsão. Com a intenção de tentar reduzir o número de tripulantes, atualmente 31, e assim viabilizar uma operação econômica do barco, pensa-se em um painel com monitoração à distância dos aparelhos de medição acima citados, configurando-se assim, um sistema de monitoração da propulsão.

Como a caldeira fica exposta no convés principal, e caso haja a necessidade de manutenção do perfil externo da caldeira flamatubular original, é intenção manter o invólucro externo existente da atual caldeira.

As máquinas alternativas existentes serão mantidas, por se entender que são a essência histórica desse sistema de propulsão, necessitando uma revisão nas transmissões mecânicas.

O estudo de integração Casco-Motor-Roda de pás deverá ser conduzido com bastante cuidado em razão de uma provável substituição da caldeira (motor), visando devolver ao barco suas características

3.1.2.3 Integração Casco - Motor - Roda de Pás

A roda de pás do vapor "Benjamim Guimarães" tem 11 pás fixas e planas e um diâmetro de 14,4 pés. O Capítulo 5 aplica critérios de projeto para a roda de pás do vapor. Podemos concluir que a roda de pás do "Benjamim Guimarães" pode ser otimizada após análise dos resultados obtidos. Embora neste trabalho procuramos melhorar o desempenho do barco alterando as características de sua roda de pás, ainda a mativemos como roda de pás fixas. Uma segunda alteração seria adotar uma a roda de pás articulada, que ficará como recomendação para continuidade destes estudos.

3.1.2.2 Roda de Pás

O "Benjamim Guimarães" tem sua propulsão à vapor, com uma caldeira de corpo flamatubular, à lenha, localizada na região de proa. A caldeira, considerada de média pressão (12 Kg/cm^2), utiliza cerca de 10.000 litros de água. A Caldeira não tem ventiladores; a tiragem é natural. Conta com uma chaminé de 11,0 metros de altura por 0,90 metros de diâmetro. Tem um indicador de nível de água e um manômetro de pressão de vapor, marca "Willly". Tem um válvula de segurança, de corpo duplo, localizada na parte superior do corpo da caldeira. Todos os dispositivos da caldeira são de acionamento manual

3.1.2.1 Caldeira

originais de pressão de trabalho do vapor (12 Kgf/cm²) e velocidade (10,8 nós), além de alterações na roda de pás (aumento de diâmetro e do número de pás), visando melhorar o aproveitamento da potência entregue à roda (d.h.p.), como veremos nos capítulos 4 e 5.

3.1.2.4 Transmissão para roda de pás

Em teste realizado em julho/96 pelos Oficiais-Engenheiros Navais Clythio e Carlos Freire, da Diretoria de Engenharia Naval, foi acesa a caldeira e transmitida a potência para a roda de pás. É necessária uma revisão de todo o sistema de transmissão, com uma previsão de mão-de-obra de ferramenteiros, para a execução de peças artesanais, para que o sistema tenha plena confiabilidade na operação.

A inspeção feita por mim na embarcação mostrou um sistema de transmissão em bom estado. A filmagem realizada nessa ocasião ajuda a nos dar uma idéia do estado das transmissões. O capítulo 4 desenvolverá com detalhes o funcionamento da embarcação no tocante às transmissões para a roda de pás.

3.2 Demais itens da Espiral de Projeto

3.2.1 Requisitos

Melhorar o sistema propulsivo e restaurar a embarcação "Benjamim Guimarães" atendo-se ao fato do vapor ser tomado pelo Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico de Minas Gerais, em 01/08/1985, conforme decreto nº. 24840 do, então, Governador Hélio Carvalho Garcia.

3.2.2 Navios Semelhantes

Existem embarcações semelhantes em operação em Nova Orleans, embora os barcos que navegam lá sejam réplicas de embarcações antigas e não restaurados, como será o caso do vapor "Benjamim Guimarães". A documentação relacionada nas referências bibliográficas [7], [9] e [10] trouxe dados do acervo americano sobre esse tipo de barco.

Das cem unidades vindas para o Brasil, no início do século , conseguimos informações de mais duas embarcações, a "Wenceslau Braz" e a "São Francisco".

A "Wenceslau Braz" foi desativada como vapor em 1970. Foi transformada em chata para transporte de carvão vegetal e operou até maio de 1987. Foi vendida como sucata.

A embarcação "São Francisco" foi reformada no biênio 1982/83, e operou na cidade de Pirapora em passeios até Guacuí, distante 30 Km da cidade (vide anexo B). Em 01/01/84, após retornar de uma viagem , foi consumida por um incêndio, atacadada, causado pelas faulhas provenientes da caldeira, que estava com a porta da fornalha aberta.

Portanto, não temos uma embarcação semelhante para elegermos. O processo de restauração será conduzido visando manter as características históricas do barco mas com a preocupação de assegurarmos a segurança e confiabilidade dos sistemas da embarcação. Exemplo disso é a rede de incêndio com uma bomba independente (a rede já existe, a bomba independente está programada nas obras de restauração).

A documentação existente na Capitania dos Portos de Minas Gerais, em Pirapora, e na Companhia de Navegação do São Francisco

(FRANAVE) fornecem subsídios sobre o "Benjamim Guimarães":

3.2.3 Dimensões Principais/ Coeficientes de Forma

As características de nossa embarcação são:

$$C_b = 0,88, \quad C_p = 0,88, \quad C_o = 1,00, \quad L/B = 4,9, \quad B/T = 6,5, \\ L/T = 31,7, \quad L_t = 43,70m, \quad L_{pp} = 38,40m, \quad B = 7,90m, \quad T = 1,21m, \\ \Delta_c = 266,53t, \quad \Delta_L = 195,77t, \quad H_c = 1,00m, \quad H_l = 0,75m, \quad AB = 250.$$

3.2.4 Casco

O casco, já descrito no Capítulo 2, pode ser melhorado para diminuir a potência necessária para rebocá-lo, porém a mudança na forma implica em mudança estrutural, o que não será conveniente nesta restauração da embarcação.

3.2.5 Arranjo Geral

Quanto ao Arranjo Geral, o "Bambuzinho", casaria no convés 02, foi estudada com bastante cuidado, e, apesar de não pertencer ao projeto original da embarcação, decidiu-se por mantê-la.

O plano de Arranjo Geral deverá ser refeito e o número de banheiros deverá ser revisito caso se mantenha a atual lotação de passageiros de 2ª classe (100 passageiros).

A colocação de tanques hidrôforos (pressurizados) de água potável, juntamente com tanques nos porões permitiria uma melhoria nas características de estabilidade da embarcação (KG maior), além de permitir um aumento da capacidade de água. As caixas d'água

seriam mantidas para não modificar o perfil original do vapor, porém vazias.

Devido à grande quantidade de madeira do barco será feita uma revisão geral na rede de incêndio, dotando a embarcação com uma bomba de incêndio independente.

A pintura final será com tinta fogo-retardante, após um tratamento químico anti-fogo em toda madeira do barco.

Portas de escape para passageiros e tripulação deverão ser estudadas, pois as atuais vias de acesso entre o convéses são estreitas e não suportam uma emergência, como o de abandono da embarcação por grande quantidade de passageiros, sem congestionamento. A colocação de coletes salva-vidas em pontos estratégicos deverá ser providenciada. Da mesma forma as embarcações salva-vidas deverão ser em número suficiente para atender as normas da Diretoria de Portos e Costas do Ministério da Marinha.

O anexo A mostra o Arranjo Geral atual da embarcação.

3.2.6 Curvas Hidrostáticas, Bonjean, Curvas Cruzadas de Estabilidade, Curvas de Estabilidade Estática

O plano de linhas será referido, por solicitação da própria Capitania Fluvial do São Francisco, e, por consequência, as curvas hidrostáticas, de Bonjean, curvas cruzadas de estabilidade e curvas de estabilidade estática.

3.2.7 Estima de Volumens

Os volumens abaixo do convés principal deverão ser totalmente redirecionados quanto à sua utilização. Não haverá mais necessidades de depósitos de lenha, com um baixo fator de estiva, mas sim de tanques de óleo combustível para a nova caldeira. Tanques de aguada, tanques hidrôforos, tanques de águas servidas ocuparão esses espaços abaixo do convés principal. É interessante a otimização da utilização desses volumes pelo fato de poder reduzir o KG da embarcação.

3.2.8 Tripulação

Este item será o alvo de um estudo acurado. Uma tripulação de 31 homens pode inviabilizar a futura exploração comercial do vapor.

A empresa que for explorar a embarcação após a restauração teria salários de 31 tripulantes e acomodações a bordo que poderiam ser ocupados por passageiros. É intenção inserir na condução do vapor um grau de modernização que possibilite uma redução para cerca de 15 homens em sua lotação. Isto pode ser feito através de painéis de monitoração à distância de sensores como: tacômetros, termômetros, pirômetros e manômetros.

Uma razão de redução maior na transmissão da roda do leme aos três lemes da embarcação possibilitará sua operação com apenas um timoneiro. Consta em documento da Capitania Fluvial do São Francisco uma lotação de apenas 09 tripulantes, quando a embarcação for realizar passeios de curta duração assim discriminada:

Tabela 3.2 - Tripulação do Benjamin Guimarães (Viagens normais)

01	Capitão Fluvial
01	Contra-Mestre Fluvial
04	Marinheiro Fluvial de Convés
01	Supervisor Maquinista - Motorista Fluvial
04	Marinheiro Fluvial de Máquinas
03	2º. Tafeiro Fluvial
01	Cozinheiro Fluvial
15	Total

para a tripulação:

embarcação para transporte de carga, fica assim a distribuição sugerida camarotes), em número de 100 atualmente, e não se utilize a Caso se restrinja o número de passageiros de 2ª. classe (sem sejam inseridas as alterações acima mencionadas.

número de 15 tripulantes para viagens mais longas não é absurdo, caso desatracar e realizar passeios de curta duração com 09 tripulantes, o Ora, se a embarcação nas atuais condições consegue

Tabela 3.1 - Tripulação do Benjamin Guimarães (Viagens de curta duração)

01	Capitão Fluvial
01	Piloto Fluvial
01	Contra-Mestre Fluvial
02	Marinheiro Fluvial de Convés
01	Supervisor Maquinista - Motorista Fluvial
02	Marinheiro Fluvial de Máquinas
01	2º. Tafeiro Fluvial
09	Total

3.2.9 Pesos e Centros

As alterações citadas anteriormente relativas a posicionamento de tanques de aguada e inserção do sistema de tratamento de águas servidas , além do novo estudo do número de passageiros e a decisão de não levar carga (carga esta que seria acondicionada nos convêses mais altos em razão dos equipamentos de propulsão ocuparem o convés principal), determinará um novo estudo de Pesos e Centros.

Uma primeira análise do número de passageiros aponta para o excesso na 2ª classe (100 passageiros) que seriam instalados em redes em caso de viagens com pernoite. Um novo estudo provavelmente reduzirá este número para, pelo menos, a metade. No caso de passeios sem pernoite poderá ser mantido tal número, tendo por consequência um provável aumento de banheiros. Caso haja necessidade de redução do KG um novo arranjo de tanques, como já citado, poderá solucionar a questão. Deverá ser elaborado um relatório de pesos, em várias edições, sendo a 1ª edição já prontificada para um mês após o início da obra (modelo de relatório de pesos - Anexo C).

3.2.10 Estabilidade

Uma das etapas mais importantes no projeto deste tipo de embarcação é avaliar sua estabilidade.

Um novo estudo de estabilidade, completo, com prova de inclinação, será realizado. Serão aplicados os critérios de estabilidade previstos nas Normas e Procedimentos para Navegação Interior (NPNI), publicada pela Diretoria de Portos e Costas (Portaria nº. 0063 de 12/12/96).

De acordo com as normas citadas as condições de carregamento para o vapor "Benjamin Guimarães" deverão ser as seguintes:

[(a) Embarcação na condição de carga total de partida, totalmente abastecida em gêneros e óleo, e com a lotação em gêneros e óleo, com a lotação máxima de passageiros com suas bagagens; (b) Embarcação na condição de carga total de regresso, com o número máximo de passageiros e suas bagagens, mas com apenas 10% de gêneros e combustível;

(c) Embarcação sem carga, mas com abastecimento total de gêneros e óleo e com número máximo de passageiros e suas bagagens; (d) Embarcação na mesma condição que a descrita em (c) acima, mas com apenas 10% de abastecimento de gêneros e combustível;

(e) Embarcação na condição de carga total de partida, totalmente abastecida de gêneros e óleo, porém sem passageiros; e (f) Embarcação na condição de carga total no regresso, com 10% de gêneros e combustível.]

O vapor opera na região classificada como área 1 nas referidas normas (áreas abrigadas, tais como lagos, lagoas, baías, rios e canais, onde normalmente não sejam verificadas ondas com alturas significativas que não apresentem dificuldades ao tráfego das embarcações) cujos critérios de estabilidade são:

[(a) o ângulo de equilíbrio estático da embarcação, quando submetida à ação isolada do acúmulo de passageiros em um bordo, do vento, da manobra de giro ou do rebouque deve ser inferior ao ângulo de imersão do Conves na condição de carregamento considerada ou 15°, o que for menor (ver figura 3.2);

(b) a área compreendida entre a curva de estabilidade estática (CEE) e as curvas dos braços de emborcamento devido ao acúmulo de passageiros em um bordo, ao vento, a manobra de giro ou ao rebouque,

até o ângulo de alagamento (θ) ou 40° , o que for menor, (área A_2 indicada na figura 3.2), deverá ser maior ou igual que a área sob a curva de dos braços de emborcamento antes da interseção com a curva de estabilidade estática (área A_1 representada na figura 3.2);

- (c) A altura metacêntrica inicial (GMo) deverá ser maior ou igual a 0,35m;
- (d) Ângulo de alagamento maior ou igual a 25° ; e
- (e) Braço de endireitamento máximo maior ou igual a 0,10 metros.

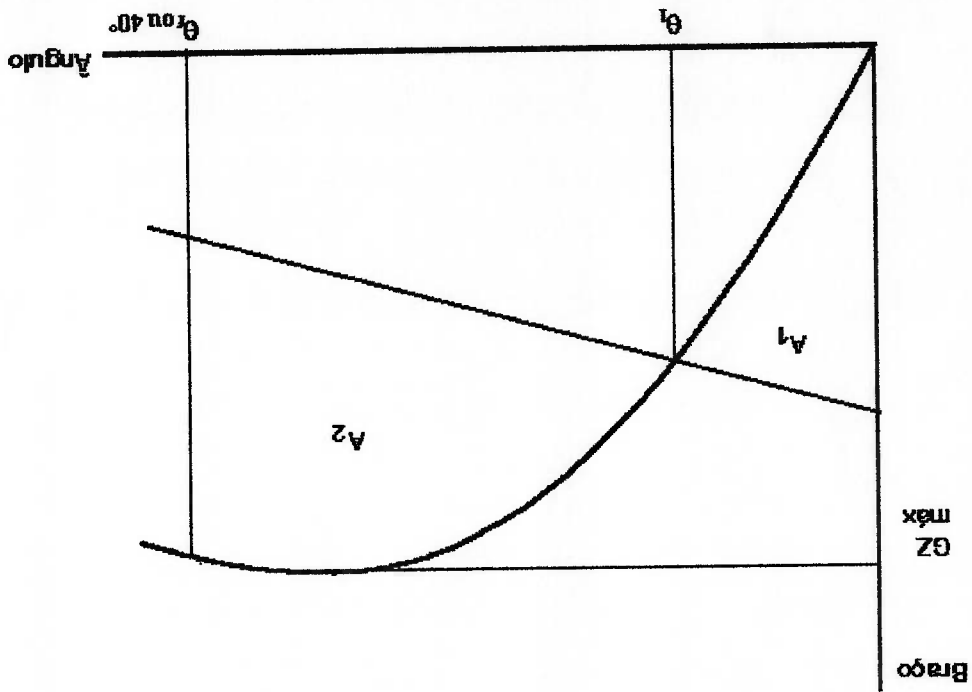


Figura 3.2: Critério de Estabilidade para Embarcações da Área 1

Critério:

- (a) $\theta_1 > \text{ângulo de imersão do convés ou } 15^\circ$
- (b) $A_2 \geq A_1$
- (c) $G M_0 \geq 0,35 \text{ m}$
- (d) $\theta_f \geq 25^\circ$
- (e) $G Z_{\text{max}} \geq 0,10 \text{ m}$

Alterações sensíveis de pesos deverão ocorrer com a restauração, como podemos concluir pela leitura do item anterior (Pesos e Centros).

3.2.11 Leme e Manobrabilidade

É intenção melhorar o perfil hidrodinâmico dos lemes para incrementar a manobrabilidade da embarcação. Um aumento na razão de redução do sistema permitirá ainda o acionamento da roda de leme por apenas um timoneiro o que teria consequências muito positivas no estudo de revisão da tripulação.

3.2.12 Cálculo e Inspeção Estrutural

Em inspeção realizada em janeiro último pode-se constatar a necessidade de substituição de chapas na região da popa e na antepara longitudinal central (que se encontra flambada na região de meio-navio).

O sistema de tirantes que corre pelos dois bordos do vapor colabora efetivamente para suportar os esforços longitudinais a que a embarcação fica submetida. Os engenheiros da Diretoria de Engenharia Naval atribuem aos tirantes ainda a função de evitar excessivo esforço de engastamento do conjunto propulsivo na estrutura da popa. Dos esforços longitudinais, o mais crítico a ser suportado pelos tirantes seria o alquebramento, pois o tosamento é compensado pela distribuição dos maiores pesos na popa e na proa, onde se tem menor empuxo em razão da redução da área da seção submersa.

Da inspeção estrutural realizada em julho de 1966 pelos engenheiros Clythio e Carlos Freire da Diretoria de Engenharia Naval do Ministério da Marinha [11] constatou-se:

[a] existe corrosão, deformação ou baixa espessura apenas em trechos do fundo e convés não substituídos na 1ª restauração (1985/86), como no trecho de ré e no pique-tanque;

b) o vínculo de solda entre os vãos do teto dos porões e o chapamento do convés é de forma geral insuficiente, com trechos de solda demasiadamente espaçados;

c) as anteparas transversais e longitudinais dos porões possuem diversos pontos não estanques provocados por cortes de maçario, passagem de redes ou deficiências de montagem/soldagem do reparo, prejudicando a capacidade de conter alagamentos;

d) de forma geral, todas as chapas substituídas no convés foram soldadas apenas na face superior, contrariando as normas de construção e reparos navais;

e) o tratamento superficial do teto e em alguns trechos do fundo dos porões necessita revisão para evitar o progresso da corrosão que, apesar de lenta, devido ao ambiente não salino do rio, já existe em alguns pontos;

f) alguns reforçadores (cavernas) foram mal conformados ou mal soldados ao casco, não garantindo a necessária resistência estrutural;

g) os vínculos que fixam os tirantes estruturais ao fundo estão soldados onde originalmente eram rebitados. Tais soldas devem ser inspecionadas e refeitas, caso necessário, bem como os elementos de vínculo intermediário (trechos de cantoneira) que já apresentam corrosão;

h) alguns trechos do convés na proa foram reparados de modo irregular, sem que fosse recomposto o vínculo soldado do chapamento;

i) em ambos os bordos da quilha do pique-tanque existe aplicação de cimento, indicando problemas com estanquidade e necessidade de reparo geral da região;

j) de forma geral é bom o estado da estrutura metálica acima do convés principal, necessitando de revisão em alguns perfis empenados;

1) há necessidade de se estabelecer um padrão de pintura para o convés principal, até então mantido na chapa nua, até mesmo para se evitar acidentes com pessoal devido ao piso escorregadio que se tem atualmente;

m) as espessuras observadas no fundo e nos conveses confirmam o emprego de chapas de aço 3/16" em todo o corpo paralelo do casco (fundo e convés), e de 1/4" em trechos de vante do convés e no fundo. De forma geral não foi observado corrosão digna de nota nesses trechos, no entanto, trechos do convés e do fundo não substituídos, como os citados no item a), apresentaram espessuras na faixa de 3 a 4 mm.]

O Relatório da inspeção conduzida pelos Oficiais-Engenheiros Navais é acompanhado de fotos que ilustram os itens a) à l) mencionados acima.

3.2.13 Carga elétrica e auxiliares

É intenção, por ocasião da restauração, recalcular o consumo de energia da embarcação e redimensionar os equipamentos de geração de energia. Com o emprego de tanques hidrôforos (pressurizados), unidades de tratamento de águas servidas, um radar, equipamentos de comunicação, etc. a elaboração de uma lista completa de equipamentos e seu consumo de energia é imprescindível para a análise da nova carga elétrica do vapor.

3.2.14 Comunicações

Serão adotados na embarcação os equipamentos exigidos na Seção II - Equipamentos de Comunicação do capítulo 22 - material de segurança para as embarcações, das Normas e Procedimentos para Navegação Interior (Diretoria de Portos e Costas - Ministério da Marinha).

A obra de restauração está prevista para 8 (oito) meses de trabalho. Ela será executada em Pirapora - MG, utilizando-se mão-de-obra da cidade e profissionais da FATEC-JH. O cronograma da obra de restauração será elaborado em consonância com um cronograma de eventos financeiros.

3.2.17 Cronograma da obra de Restauração

Uma planilha detalhada dos custos da restauração constitui o anexo D. Os itens abordados são: estrutura de aço; máquinas; redes; madeiramento; documentação; pintura e acabamento de aço; ferramentaria; horas de acompanhamento; viagens; hospedagem e alimentação. O valor da obra está orgado em R\$ 506.750,00.

3.2.16 Custos

São itens da espiral que não foram abordados no presente trabalho.

3.2.15 Aparelhos de suspender e fundear, comprimento alçável, comportamento no rio e sensores.

4. FUNCIONAMENTO DO SISTEMA PROPULSOR DA EMBARCAÇÃO

4.1 Máquina à Vapor

Chama-se máquina a vapor a máquina que transforma a energia térmica do vapor d' água em trabalho útil, transmitido através do movimento alternativo de uma haste.

Uma nova máquina a vapor será especificada para o "Benjamim Guimarães" em razão do baixo desempenho da máquina atual, bastante antiga, com 84 anos.

Temos um relatório da INSPESG [14], datado de Fev/93, que nos dá alguns subsídios para, juntamente com fabricantes tradicionais de caldeiras, especificarmos a nova caldeira.

A pressão de trabalho da caldeira é de $6,5 \text{ Kgf/cm}^2$ (máxima), segundo esse relatório. A válvula de segurança está regulada para abrir na pressão de $7,2 \text{ Kgf/cm}^2$. Em documento do Tribunal Marítimo, contido em [12], citando as características da embarcação, a pressão é de 175 lb/in^2 (cerca de 12 Kgf/cm^2).

Observa-se que a pressão original de 12 Kgf/cm^2 não é citada no relatório [14].

Com a pressão máxima de $6,5 \text{ Kgf/cm}^2$ a embarcação não atinge sua velocidade máxima original (20 Km/h - $10,8$ nós), portanto, a substituição da caldeira se faz necessária caso queiramos manter a velocidade máxima original.

No relatório, que constitui a referência [11], é citado na página 08 que a caldeira foi operada até 6 Kgf/cm^2 no teste executado, não apresentando vazamentos ou problemas operacionais de qualquer

ordem. Recomenda ainda o relatório o reparo e não a troca da caldeira, a qual implicaria em descaracterização da embarcação. Com a ideia de manter o invólucro externo e colocar uma caldeira moderna, teríamos a velocidade original de 10.8 nós atingida e o perfil externo do vapor não comprometido.

4.2 Transmissão para roda de pás

O órgão principal da máquina a vapor é o cilindro. No seu interior se move um pistão, com superfície cilíndrica ranhurada. Nestas ranhuras ficam alojados os anéis de segmento que têm a finalidade de minimizar a fuga de vapor pela folga existente entre o pistão e a parede do cilindro. Uma haste está conectada ao pistão para transmitir o movimento alternativo.

Possue a embarcação dois motores alternativos com capacidade de reversão, tocando uma roda de pás de madeira na popa. São ainda acionados por vapor: o cabestrante, a bomba de alimentação da caldeira, os 4 ejetores e a bomba de incêndio.

Um dado interessante, retirado da referência [18], é que as rodas situadas à ré, podem operar numa esteira positiva e causam pequena redução na força propulsora, tendo a tendência de ser mais eficientes do que as rodas laterais. Os mesmos autores recomendam a roda de pás para águas calmas e quando a profundidade não permite o uso de um hélice eficiente.

O vapor vindo da caldeira passa através de um separador (que retira eventuais gotículas de água arrastadas pelo vapor saturado) e segue para a válvula de comunicação de vapor principal. O vapor, após passar pela válvula, chega às máquinas alternativas (cuja característica é a baixa velocidade de rotação).

As principais vantagens da máquina alternativa são: grande controle em todos as cargas; fácil inversão de marcha, com desenvolvimento de quase a mesma potência na marcha a ré que a frente; velocidade econômica igual ou muito próxima à velocidade de maior rendimento da pá; e facilidade de condução e manutenção.

As vantagens são: que não pode ser construída para altas velocidades, pois seria necessária ter a máquina de tamanho e peso desproporcionais para produzir a desejada potência por cilindro; ocupa muito espaço e tem peso elevado a instalação completa (composta da caldeira, motores e auxiliares); tem grande número de peças móveis e o consumo de combustível é alto, em razão da máquina não permitir a expansão do vapor até as baixas pressões, obtidas nos condensadores modernos.

O percurso do vapor no motor é do tipo "unaflo" (um só percurso), isto é, o vapor é admitido por uma das extremidades do cilindro e, após realizar o trabalho é descarregado através janelas feitas na camisa do cilindro.

A válvula de distribuição de vapor do tipo convencional é assim eliminada. Nesse tipo de válvula o vapor entra e sai do cilindro pelo mesmo lugar, com consequente perda de rendimento devido à condensação inicial, ao ser admitido no cilindro.

Existe uma conexão que transmite o movimento horizontal das máquinas alternativas (são duas) para a roda de pás e, através um excêntrico, é transformado em movimento de rotação.

4.3 Funcionamento da roda de pás

A roda de pás gira impulsionando a embarcação para frente.

As forças desenvolvidas na pá, mostram que somente a pá que se encontra na posição mais baixa desenvolve um trabalho com máxima

eficiência, pois as demais realizam um trabalho em empurrar a água para baixo, quando estão no sentido descendente ou levantar a água, quando estão no sentido ascendente (vide figura 4.1) :

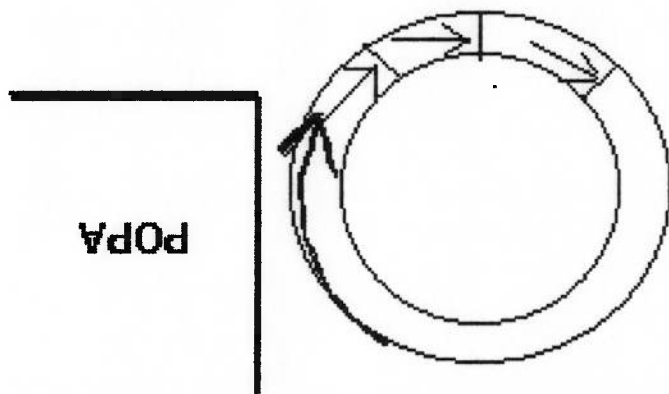


Figura 4.1 - Esforços na roda de pás

Na continuação deste trabalho é intenção estudar uma roda de pás articulada para o "Benjamim Guimarães", pois seu desempenho é melhor, conforme será comentado no Capítulo 5.

5. OTIMIZAÇÃO DE RODA DE PÁS DO VAPOR “BENJAMIM GUILMARAES”

As rodas de pás podem ter pás fixas ou pás capazes de se moverem em relação à roda. As rodas de pás articuladas são as que se movem em relação à roda e permitem que as pás atinjam a água de aresta, tendo como consequência uma redução do choque e melhorando a eficiência da roda. Para uma mesma razão entre a profundidade da pá e o diâmetro da roda (coeficiente de imersão) tem-se um melhor desempenho para a roda articuladas.

Neste trabalho a otimização ainda vai gerar uma roda de pás fixas, a intenção é que nos estudos posteriores programados considere-se a roda de pás articulada.

O aumento na velocidade da água à ré da roda de pás, implica em um aumento na resistência de atrito (que se constitui em mais da metade da resistência total da embarcação), comparando-se com a situação da mesma embarcação sendo rebocada.

As figuras 5.1 e 5.2 dão exemplos de roda de pás fixas e de roda de pás articuladas, respectivamente.

Neste item serão abordados critérios de projeto utilizados para dimensionar a nova roda de pás.

5.1 Critérios de Projeto

Figura 5.2 - Roda de Pás Articulada

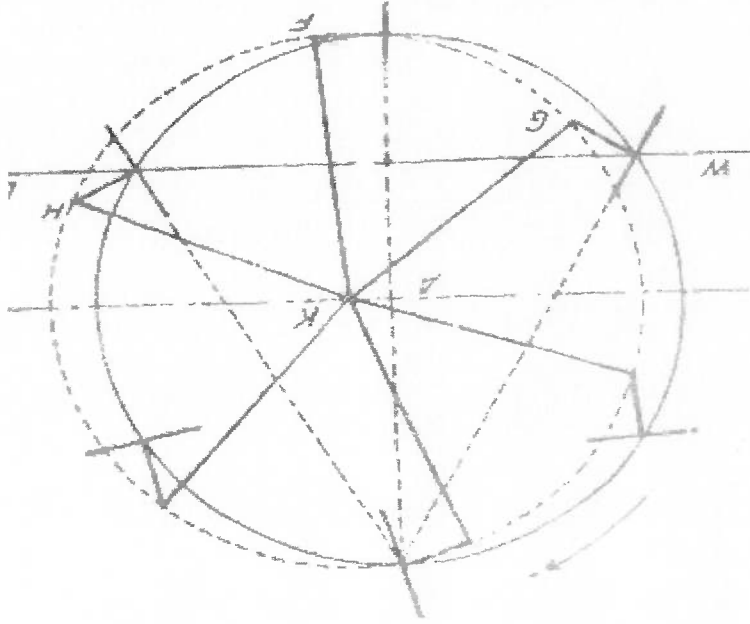
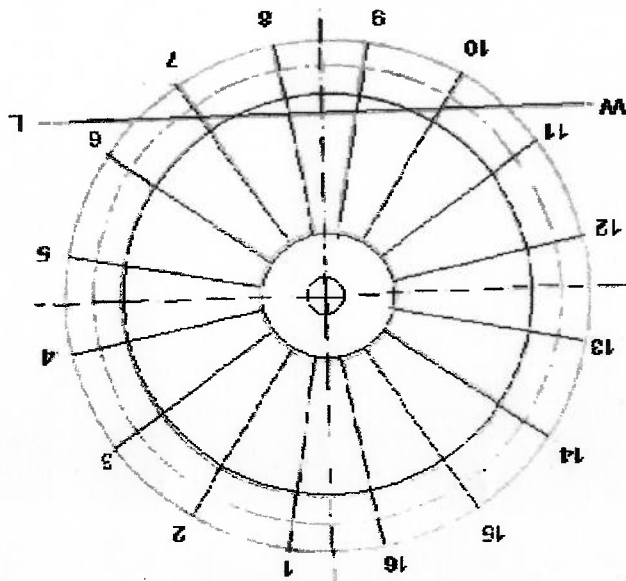


Figura 5.1 - Roda de Pás Fixas (não articulada)



Primeiramente dimensionaremos o diâmetro da roda, que passa a ser de 18 pés, depois, a profundidade de trabalho da pá que, com um aumento de RPM da roda, passa ter um melhor desempenho em profundidades maiores. Quanto ao número de pás, se recomenda passar para 18; e finalmente desenvolveremos algumas considerações quanto a largura e área da pá e largura da roda de pás.

5.1.1 Determinação do diâmetro da roda de pás.

$$\varnothing = \frac{\pi \times \text{RPM}}{V}$$

Demonstração:

$$V = w \cdot R$$

$$V = w \cdot \frac{\varnothing}{2}$$

$$\varnothing = \frac{2V}{w}$$

(1)

$$T = \frac{2\pi}{w}$$

$$T = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{2\pi}{w} \therefore w = 2\pi f \therefore w = 2\pi \text{ RPM} \quad (2)$$

T = Período do movimento

f = Frequência do movimento (RPM)

Substituindo (2) em (1), temos:

$$\phi = \frac{2\pi \cdot \text{RPM}}{2V}$$

$$\phi = \frac{\pi \cdot \text{RPM}}{V}$$

Aplicando a fórmula acima no Vapor "Benjamim Guimarães", temos:

$$\text{RPM} = 23$$

$$V \text{ do Navio} = 10,8 \text{ Nós}$$

assumiremos um "SLIP" de 16%

S - SLIP - Velocidade da pá em relação à água parada. (Deslizamento)
 (Varia de 15 a 20% - assumiremos para o Benjamim - 16%)

$$S = \frac{100 \times V}{100 \times V - V} - V = \frac{10,8 \times 1852}{0,3048 \times 60} \text{ FT/min}$$

$$V = 1094 \text{ FT/min}$$

desempenho, merece uma análise mais cuidadosa.

Como esse "descolamento" da água da pá afetará seu

empuxo!

um maior h. O ponto ótimo é que h = ponto mais baixo da pá - maior

Sugestão: Aumentarmos a RPM para termos maior v e assim

$$V = \frac{208}{60} \text{ FT/seg} = 3,47 \text{ FT/seg}$$

$$V = 208 \text{ FT/min}$$

$$h = \sqrt{\frac{2g}{(3,47)^2 \text{ FT}^2/\text{seg}^2}} = 0,19 \text{ FT}$$

Para o caso do nosso Vapor:

dorso.

À profundidade menores que h a pá não terá água no seu

2g

será capaz de se manter unida à pá.

relação à água parada, é somente à profundidade $h = \sqrt{\frac{2g}{V^2}}$ que a água

Se a pá da roda de pás move-se com a velocidade V em

gravidade à profundidade h, abaixo da superfície, é igual a $\sqrt{2gh}$.

A velocidade que a água pode fluir sob a influência da

5.1.2 Profundidade de trabalho das pás

FT, portanto, poderia ser otimizado seu \emptyset .

O diâmetro da roda de pás do Vapor "Benjamin Guimarães" é de 14,4

$$\emptyset = \frac{3,14 \times 23}{1302} = 18 \text{ FT}$$

Velocidade Periférica (Tangencial) da Pá = $1094 + 208 = 1302 \text{ FT/min}$

$$S = 100 \times \frac{1094 - 16}{100 - 16} = 208$$

5.1.3 Número de pás

Em rodas de pás fixas o número de pás pode ser igual ao número de pés do diâmetro.

No caso do nosso vapor o número de pás é igual a onze (11). Poderia ser otimizada até 18 (vide 5.1.1). Para a atual roda ainda poderia ser aumentado o número de pás para 14 ($\varnothing = 14,4 \text{ FT}$).

5.1.4 Largura da pá

A largura da pá é de usualmente de $\frac{3}{4}$ " a 1" por cada pé de diâmetro.

5.1.5 Área da pá (extrapolado de um critério para pás articuladas)

$$A = \frac{R}{2(v+s) s}$$

A - Área da pá em pés quadrados
R - Resistência ao avanço do barco em libras
V - Velocidade do barco em pés por segundo
S - Velocidade do centro da pá em relação à água em pés por segundo

$$S = \frac{100 V}{100 V - V} - \text{100 \% deslocamento}$$

$$R = \frac{w s}{g}$$

$$R = \frac{64 \times A(V+S)S}{32} = 2 \times A(V+S)S$$

5.1.6 Largura da roda de pás

A largura da roda é geralmente de $\frac{1}{3}$ a $\frac{1}{2}$ da boca da embarcação

5.2 Melhorias no desempenho de operação do Vapor.

5.2.1 Utilização de série sistemática.

Roda de pás	Coefficiente de imersão	Número de pás	Forma da pá	Tamanho da pá (polegada)
A	0-15	9	Curva	30x8
B	0-20	9	Curva	30x8
C	0-25	9	Curva	30x8
D	0-30	9	Curva	30x8
E	0-15	9	Plana	30x8
F	0-30	9	Plana	30x8
G	0-20	9	Curva	30x8
H	0-20	9	Curva	30x8
I	0-20	9	Curva	30x8
J	0-20	9	Curva	30x8
K	0-20	9	Curva	30x8
L	0-20	9	Curva	30x8
M	0-20	9	Curva	30x8
N	0-20	6	Curva	30x8
P	0-20	11	Curva	30x8
Q	0-25	6	Curva	30x8
R	0-25	11	Curva	30x8
S	0-20	9	Curva	22,5x8
T	0-25	9	Curva	22,5x8
U	0-20	8	Curva	30x8
V	0-25	8	Curva	30x8
W	0-20	9	Curva (madeira)	30x8
X	0-20	9	Curva (extremidades arredondadas)	27,25x8
Y	0-20	9	Curva (madeira com seção cresc.)	30x8

Tabela 5.1 - Rodas de pás da série sistemática

Definição dos parâmetros:

D - Diâmetro em FTS, da roda

Va - Velocidade de avanço em nós

N - Rotações por minuto (R.P.M.)

T - empuxo em libras

d.h.p. - h. p. entregue à roda

ρ - densidade da água (1,94 p/ água doce e 1,99 para água salgada)

$$\text{Parâmetro de Velocidade} = Va / \sqrt{D}$$

$$\text{Parâmetro de R.P.M.} = N / \sqrt{D}$$

$$\text{Parâmetro de Empuxo} = T / \rho D^3$$

$$\text{Parâmetro de Potência} = 100 \text{ d.h.p.} / \rho D^{3,5}$$

Eficiência em água aberta da roda

$$\eta_o = 0,307 Va / \sqrt{D} \times T / \rho D^3 / (100 \text{ d.h.p.} / \rho D^{3,5})$$

Exemplo: Se \emptyset , Velocidade e Potência são conhecidos, Va / \sqrt{D} e

100 d.h.p./ $\rho D^{3,5}$ podem se calculados e o empuxo, R.P.M. e eficiência diretamente determinados.

Alternativamente, se a potência e velocidade são conhecidas, curvas podem ser desenhadas no intuito de encontrar o diâmetro ótimo e R.P.M., ou, o diâmetro apropriado para qualquer R.P.M. dada.

Em seguida temos curvas desenvolvidas por Volpich/Bridge, [4], [5] e [15].

Vamos preparar os dados do "Benjamin Guimarães" para entrar nessa família de curvas. Então:

$$\emptyset = 14,4 \text{ FT}$$

$$\text{Veloc.} = 10,8 \text{ Nós}$$

$$(\text{i.h.p.}) = 400 \text{ HP (Installed Horse Power)}$$

(d.h.p.) = 320 HP (Delivered Horse Power)

$$\frac{d.h.p.}{i.h.p.} = 0,80$$

i.h.p.

$$R.P.M. = 23$$

$$\text{Coeficiente de Esteira} = 0,01$$

$$V_a = (1-0,01) \times 10,8 = 10,7 \text{ N\AA}s$$

$$\sqrt{D} = \sqrt{14,4} = 3,79$$

$$\text{Par\AAmetro de Pot\AAncia} = \frac{100 \times d.h.p.}{100 \times D^{3,5}} = \frac{100 \times 320}{1,94 \times 14,4^{3,5}} = 1,46$$

11 P\AAs Fixas (Flat Floats)

Dimens\AAes do Navio: 126 FT x 26 FT x 4 FT

$$\text{Coeficiente de Imers\AAo: } \frac{0,90}{4,40} = 0,20$$

$$\frac{V_a}{\sqrt{D}} = \frac{10,7}{2,8} = 2,8$$

$$\sqrt{D} = 3,79$$

$$N \cdot \sqrt{D} = 23 \times 3,79 = 87,17$$

Vamos utilizar a Figura 5.3 do presente trabalho

$$\text{Entrando na Figura 5.3 com } \frac{\sqrt{D}}{V_a} = 2,8$$

N\AA. de p\AAs = 11

Retiro uma efici\AAcia de:

$$\eta_o = 0,82$$

Figura 5.4 Efeito do número de pás na eficiência e empuxo

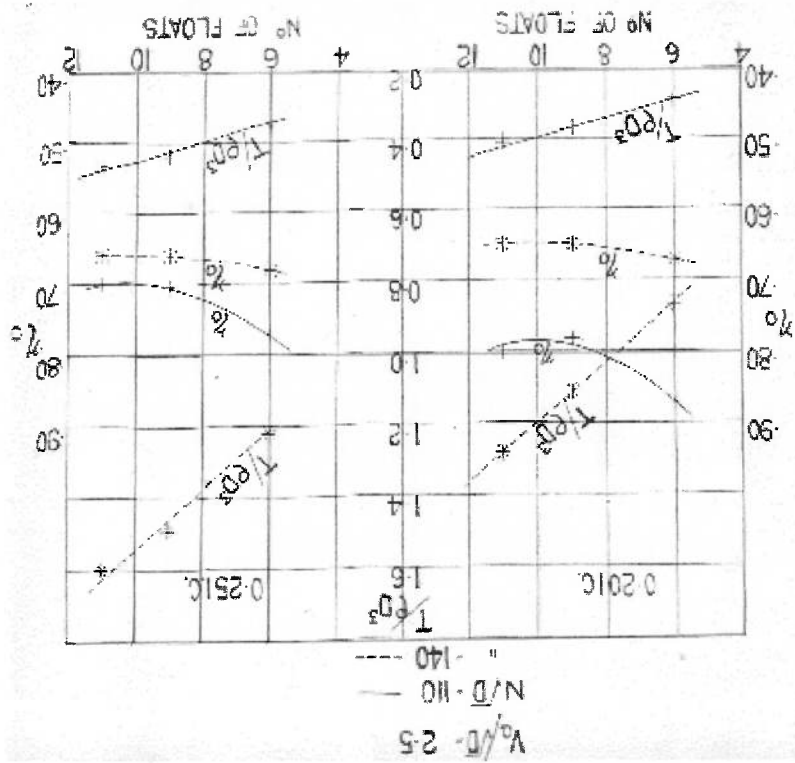
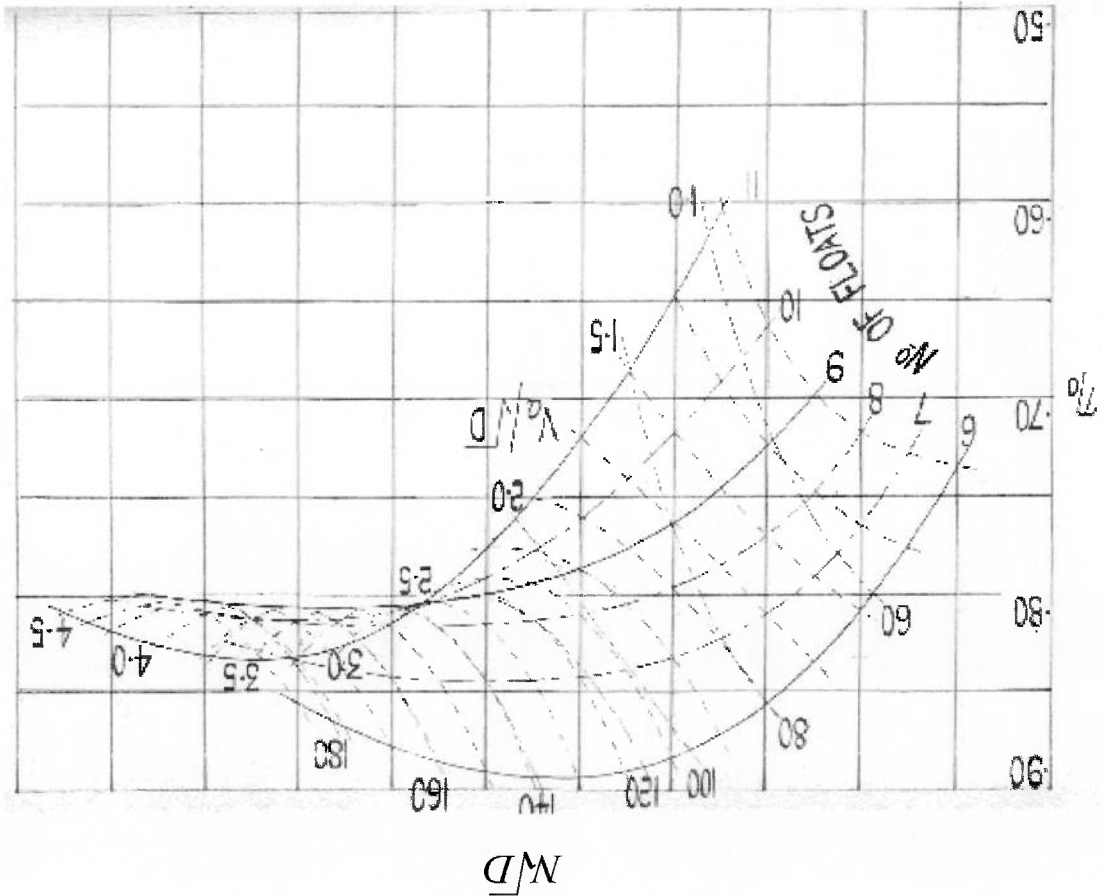


Figura 5.3 Eficiências máximas (coeficiente de imersão 0,20)



Para alcançar tal eficiência, necessário ter $N \cdot \sqrt{D} = 140$ (Vide Fig. 5.3).

Ora, mantendo o mesmo diâmetro da roda de pás, a única solução é aumentar a rotação, logo:

$$N \times \sqrt{14,4} = 140$$

$$N = \frac{140}{3,79} = 37$$

Para um aumento de eficiência, o ponto ótimo, para uma embarcação com 11 pás será

$$N \times \sqrt{D} = 160 \text{ e } \sqrt{Va} = 3,5 \quad (\eta_0 = 0,84)$$

Para tanto, mantendo o mesmo diâmetro da roda, teríamos:

$$N = \frac{160}{3,79} = 43 \quad \text{e } Va = 3,79 \times 3,5 = 13,3$$

O que implicaria em $V_{navio} = \frac{13,3}{13,4} N\acute{o}s = 0,99$

Cálculo do Empuxo:

$$\eta_0 = \frac{\frac{0,307 \times Va \times T}{\sqrt{D} \cdot D^3}}{\frac{100 \times d.h.p.}{100 \times d.h.p. \times D^{3,5}}} = \frac{0,307 \times Va \times T \times D^{3,5}}{100 \times d.h.p. \times D^{3,5}}$$

$$\begin{aligned} \text{(Atual)} &= 23 \cdot 14,4 = 331 \\ \text{(Proposta)} &= 27 \times 18 = 486 \end{aligned}$$

Cálculo de N . D :

$$\text{O parâmetro de empuxo vale: } \frac{T}{P \cdot D^3} = \frac{7805}{7805} = \frac{1,94 \cdot 18^3}{7805} = \frac{1,94 \cdot 5832}{7805} = 0,69$$

$$\frac{100 \times 320}{1,94 \times 24743} = 0,67$$

$$\text{Vamos calcular o parâmetro de potência: } \frac{100 \times \text{d.h.p.}}{100 \times 320} = \frac{P \times D^{3,5}}{1,94 \times 18^{3,5}}$$

R.P.M. (23 → 27) e tenho um ganho de empuxo de 1217 lb.
Uma condição bem mais viável. Assim, eu necessito aumentar apenas 4

$$T = \frac{0,307 \times V_a}{\eta_o \times 100 \times \text{d.h.p.}} = \frac{0,307 \times 10,7}{0,80 \times 100 \times 320} = 7805 \text{ lb}$$

$$e \quad N \sqrt{D} = 115 \quad ; \quad N = \frac{115}{4,24} = 27 \text{ R.P.M.}$$

Entrando na Fig. 5.3 com: $V_a / \sqrt{D} = 2,5$ e nº. de pás = 11, retiro $\eta_o = 0,80$

$$\frac{V_a}{\sqrt{D}} = \frac{10,7}{\sqrt{18}} = 2,5$$

roda ideal para o vapor, teremos:

Caso adotemos um $\phi = 18$ FT, como visto anteriormente, o diâmetro de

$$T = \frac{0,84 \times 100 \times 320}{0,307 \times 13,3} = 6588 \text{ lb}$$

$$\eta_o = \frac{100 \times \text{d.h.p.}}{0,307 \times V_a \times T} \quad ; \quad T = \frac{100 \times \text{d.h.p.}}{0,307 \times V_a}$$

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Conclusões

Esta dissertação teve como finalidade ser uma contribuição para a restauração do vapor "Benjamim Guimarães", possibilitando aplicarmos modernas tecnologias em uma embarcação do início do século, para que ela navegue com segurança e confiabilidade, preservando sua configuração original.

Como pode-se observar, dos itens analisados da espiral de projeto, foi dado ênfase à cinco deles. A roda de pás e a caldeira são os itens a serem substituídos para uma melhora no desempenho da embarcação.

O diâmetro de 18 pés mostrou ser a melhor solução para a roda de pás. A troca da roda não implica em grandes dificuldades. Uma melhor performance ainda pode ser conseguida aumentando-se o número de pás para 18 na nova roda sugerida.

Um certo grau de automação na embarcação pode ser conseguido, sem se comprometer o aspecto histórico. Nesse caso, uma consequência direta seria na redução da tripulação, que é crítica (31 homens).

Recomendações

O assunto comporta uma continuidade. A intenção é que o detalhamento da restauração seja desenvolvido em estudos posteriores.

Elaborar um modelo em escala da roda de pás e fazer um ensaio no Tanque de Provas do IPT é recomendado para dar continuidade ao assunto no Doutorado.

A possibilidade de colocarmos uma roda de pás articulada no vapor "Benjamin Guimarães" dá margem a estudos complementares ao presente trabalho.

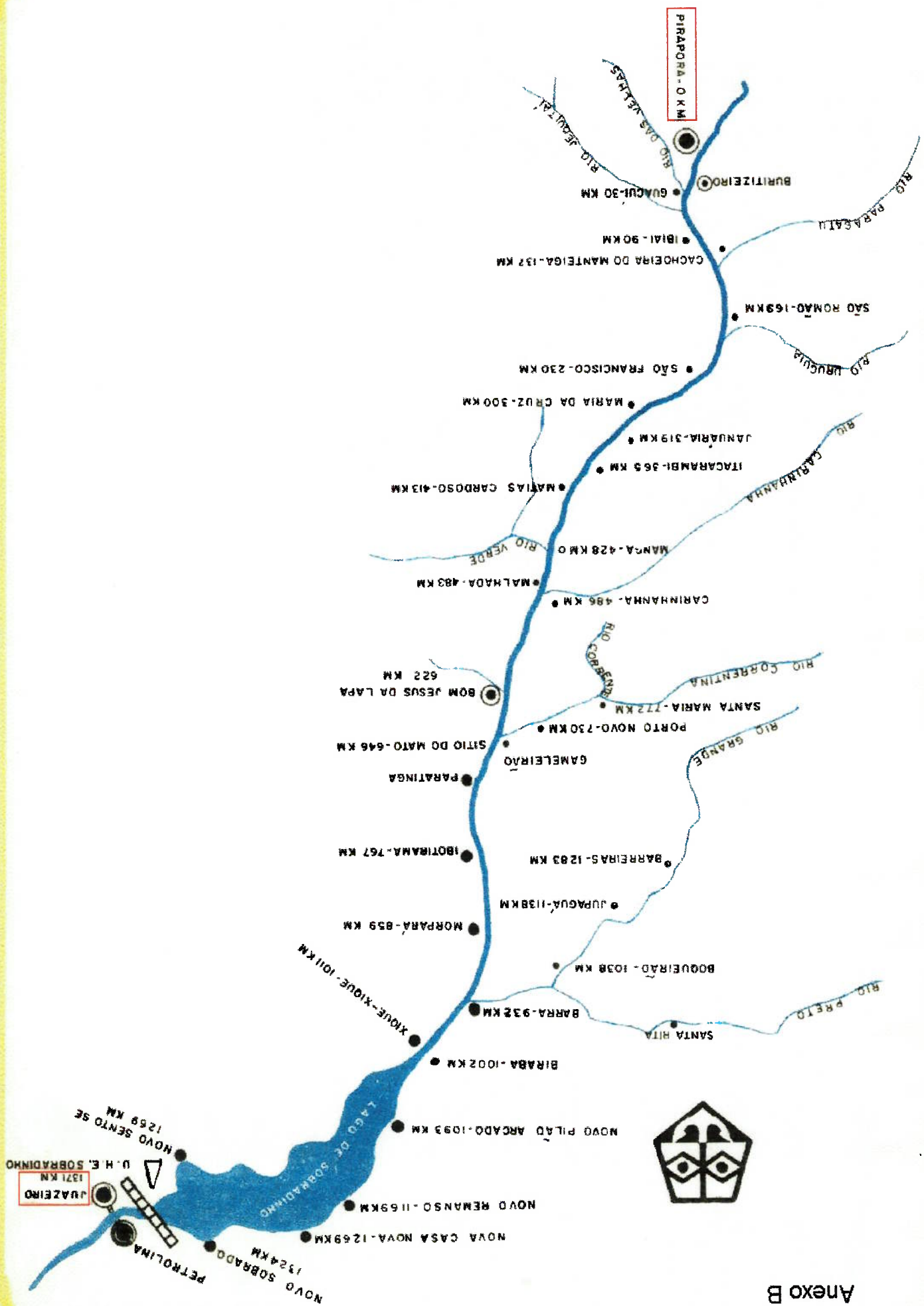
ANEXOS

- Anexo D - Planilha de Custos da Restauração do vapor
"Benjamim Guimarães"

- Anexo C - Modelo de Relatório de Pesos

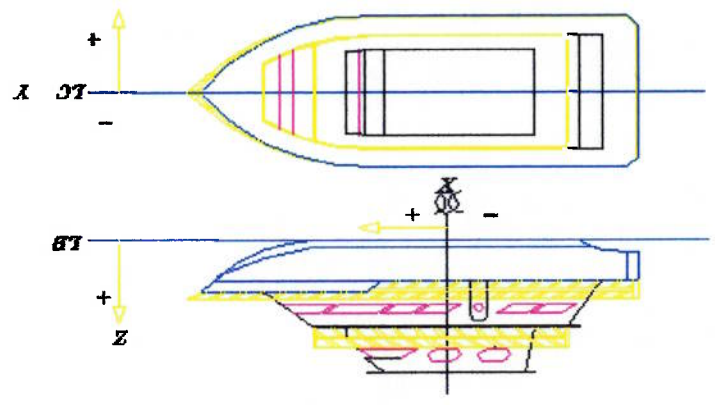
- Anexo B - Bacia do Rio São Francisco

- Anexo A - Plano de Arranjo Geral



RELATÓRIO DE PESOS (MODELO)

ITEM	CENTRO DE GRAVIDADE	PESO	GRAU DE CONFIABILIDADE
X	Y	Z	(1→4)
DENOMINAÇÃO	Kg		
Grupo 100 - Estrutura			
Grupo 200 - Máquinas			
Grupo 300 - Eletricidade			
Grupo 400 - Comando e Vigilância (Comunicações)			
Grupo 500 - Auxiliares			
Grupo 600 - Mobiliários e Acessórios			
Grupo 700 - Armamento (Não empregado)			
Grupo 800 - Carga variável (pertences da guarnição, óleo diesel, água destilada, água potável, etc.)			
Grupo 900 - Serviços de apoio ao navio (andaimas, gabaritos, serviços de limpeza, lançamento, docagem, etc.)			



Obs: Os grupos de peso acima foram constituídos utilizando o SWBS - Ship Work Breakdown Structure - que é um sistema de divisão do navio que facilita o acompanhamento da obra)

Total 506.750,00

12. Administração 7,5% FAT 33.049,00
7,5% FATEC-JH 33.049,00

11. Sub Total 440.652,00

1. Troca de Estrutura de Aço e Docagem 45.960,00
2. Troca de Máquinas e Instalação de Tanques 67.960,00
3. Redes Hidráulicas 6.000,00
4. Substituição de Madeiramento 217.200,00
5. Refazer Documentação e Planos 13.000,00
6. Tratamento e Pintura em Aço 8.832,00
7. Ferramentaria 8.000,00
8. Pessoal Técnico (FATEC-JAHU e Terceiros) 52.400,00
9. Viagens 9.600,00
10. Hospedagem e Alimentação 11.700,00

PLANILHA DE CUSTOS DA RESTAURAÇÃO DO VAPOR
"BENJAMIM GUMARÃES"

ANEXO D

1. Estrutura de Aço	1.1 Chapas/Perfis (Proa e Popa): 14x [8+1,2] x 6,35 x 7,85..	28.160,00
	1.2 Completar solda em chapas: 10% de 1.1	2.400,00
	1.3 Docagem: 60 dias a 256,66/dia	15.400,00
2. Máquinas	2.1 Substituição da caldeira	26.600,00
	2.2 Instalação de MCA/Gerador/QEP	37.400,00
	2.3 Tanque Hidróforo	2.160,00
	2.4 Tanque Sêptico	1.800,00
3. Redes	3.1 Revisão/Substituição	2.000,00
	3.2 Rede de incêndio/bomba(instalação)	4.000,00
4. Madeiramento	4.1 Troca(construtora Joaquim Trindade)	171.800,00
	4.2 Tratamento do Madeiramento	30.000,00
	4.3 Pintura do Madeiramento	15.400,00
5. Documentação	5.1 Refazer Planos, conforme D.P.C. (Planos, Memodesc)	10.000,00
	5.2 Prova de Inclinação/Estudo de Estabilidade	3.000,00
6. Tratamento, Pintura e Acabamento de Aço	6.1 Tratamento, Pintura e Chapas 2x2 [30x8+30x1,2]m2 x 8,00/m2	8.832,00
7. Ferramentaria	7.1 Recomposição de peças diversas (usinagem)	5.000,00
	7.2 Materiais	3.000,00
8. Horas de Acompanhamento - 8 meses x 6.550,00	2 estagiário/mês x 60 h/mês à 2,50 = 120,00 x 2,50	300,00
	1 técnico/mês x 160 h/mês à 5,00 = 160,00 x 5,00	800,00
	Engenheiro: 2 x (24 viagem + 51) horas/qui = 15,00 x 150	2.250,00
	Coordenação Técnica: 20 horas x 4 = 80 x 15,00	1.200,00
	Coordenação Administrativa : 20 horas x 2 = 40 x 15,00	600,00
	40 horas x 4 = 160 x 5,00 (secretárias)	800,00
	Coordenação Local: 2 d x 5 horas x 4 sem = 40 x 15,00	600,00
45.960,00		
67.960,00		
217.200,00		
6.000,00		
13.000,00		
8.832,00		
8.000,00		
52.400,00		

9.600,00

4.800,00

4.800,00

11.700,00

4.500,00

6.000,00

1.200,00

9. Viagens

- Jau a Pirapora: 1000 km = 8 x 600

2 vias/mês [1000 x 2] x 0,15 R\$/km = 600/mês

(8 x 2 + 8 x 1) x 200

10. Hospedagem e Alimentação

- 2 estagiário x 30 dias x 3 meses = 180 a 25

- 1 tecnólogo x 30 dias x 8 meses = 240 a 25

- 2 engenheiro x 3 dias x 8 meses = 48 a 25

11. Sub-Total

1. 45.960,00

2. 67.960,00

3. 6.000,00

4. 217.200,00

5. 13.000,00

6. 8.832,00

7. 8.000,00

8. 52.400,00

9. 9.600,00

10. 11.700,00

Total 440.652,00

12. Administração

7,5 % = para FAT

7,5 % = para FATEC/JAHU

= 33.049,00

= 33.049,00

Total Geral:**506.750,00**

- [1] Sachetti, Vicente. **A propulsão de Rodas-de-Pás no Brasil**. Revista Portos e Navios, Vol. XXIV - n.º 269, 1982.
- [2] Sachetti, Vicente. **Hélices de Superficie**. Revista Portos e Navios, Vol. XXIV n.º 268, 1981.
- [3] Larson, Chuck. **Rollin' on a River**. Revista Boating, n.º 644, Março/1991.
- [4] Volpich and Bridge. **Paddle Wheels, Part II: Systematic Model Experiments**. (IESS). Glasgow, 1955/56.
- [5] Volpich and Bridge. **Paddle Wheels, Part II a: Further Model Experiments - Part III: Ship/Model Correlation**. (IESS). - Glasgow, 1956/57.
- [6] Gebers, Friedrich. **Das Schaufelrad in Modell Versuch**. Wien, Springer Verlag, 1952.
- [7] Petsche, Jerome E. **The Steamboat Bertrand**. Washington, National Park Service, U.S. Department Of The Interior, 1974.
- [8] Barnaby, Sydney Walker. **Marine Propellers**. London, E. & F. N. Spon, LTD. 1921.
- [9] Petersen, William J. **Steamboating on The Upper Mississippi**. New York. Dover Publications, Inc., 1995.
- [10] Hunter, Louis C. **Steamboats on The Western Rivers - An Economic and Technological History**. New York. Dover Publications, Inc., 1993.
- [11] Moreira, Carlos Freire e Van Buggenhout, Clythio R.S.B. **Relatório de Inspeção no Vapor Benjamin Guimarães**. Rio de Janeiro. Diretoria de Engenharia Naval - Ministério da Marinha, 1996.
- [12] **Benjamin Guimarães - Restauração**. Ministério dos Transportes, Companhia de Navegação do São Francisco - Franave, 1986.
- [13] **Coletânea de Planos do Vapor Benjamin Guimarães**. Pirapora - MG. Capitania Fluvial da Hidrovia do São Francisco.
- [14] Rodrigues, José do Carmo. **Relatório de Inspeção da Caldeira do Benjamin Guimarães**. Belo Horizonte. Inspecog de Segurança, 1993.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [15] Volpich and Bridge. **Paddle - Wheel Experiments**. Transactions Of The Institution Of Engineers & Shipbuilders In Scotland (IESS). Glasgow, 1954/55.
- [16] McEntee, William, Captain U.S.N. **Model Experiments With River Towboats - Stern - Wheel And Tunnel Propeller Types Compared -** Transactions Of Sname , 1925.
- [17] Saunders, Harold. **Hidrodynamics In Ship Design**. Sname, 1957.
- [18] Manning George C. & Guerra, Yapery Tupiassu de Brito. **Fundamentos de Teoria de Arquitetura Naval - Vol. II - Dinâmica**. Rio de Janeiro. Imprensa Naval - Ministério da Marinha, 1962.
- [19] Fonseca, Maurílio M. **Arte Naval** , 5. Ed. Rio de Janeiro, Serviço de Documentação Geral da Marinha, 1989.