

**ANDRÉ GAMA DE ALMEIDA**

**ESTIMATIVA DE PROPRIEDADES HIDRODINÂMICAS  
NO PROJETO DE UM ROV**

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

Área de Concentração:  
Engenharia Naval

Orientador:  
Kazuo Nishimoto

São Paulo  
1995

**DEDALUS - Acervo - EPMN**



31600010055

Aos meus pais. Este trabalho nada mais é do que o fruto do grande amor de vocês.

## ERRATA

**TÍTULO:** Estimativa de Propriedades Hidrodinâmicas no Projeto de um ROV.

**AUTOR:** André Gama de Almeida.

**ORIENTADOR:** Kazuo Nishimoto.

Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da EPUSP.

PÁGINA	LINHA	ONDE SE LÊ	LEIA-SE
Agradecimentos	3	Flávio Soares Corrêa	Flávio Soares Corrêa da Silva
Abstract	1	ROV project	ROV design
Abstract	10	Incipient experimental results	Experimental results
Abstract	11	The developed not only	The developed tool not only
Sumário		4.2. Metodologias Exixtentes	4.2. Metodologias Existentes
Sumário		7.2.5	7.2.5
Sumário		9. Interface do Sombra com o Sistema Integado	9. Interface do Sombra com o Sistema Integrado
8	11	aqdeuados	adequados
13	1	3.1.1. Modelador de Sólidos Didático.	3.1.1. Modelador de Sólidos Didático (MSD).
13	11	TSUZUKI	TSUZUKI (1992)
15	14	(TSUZUKI E MIYAGI, 1991, SOBRACON)	(TSUZUKI E MIYAGI - 1991)
16	14	Fig. 3 5 - Exemplo de Curvas de Propiedades Hidrodinâmicas.	Fig. 3.5 - Exemplo de Curvas de Propiedades Hidrodinâmicas.
18	7	$F_g$	$F_g$
30	4	pode se	pode-se
42	11	râpidos	rápidas
63	14	anasizadas	analizadas
63	15	systems	systems
63	17	systems	systems
92	15	realação	relação
96-97	Nas tabelas	Medolologia	Metodologia
98	8	corficientes	coeficientes
105-106	Nas tabelas	Medolologia	Metodologia
125	4	BEARMAN, P.W.; WADCOCK, A.J. The interaction between a pair of circular cylinders normal to a stream.	BEARMAN, P.W.; WADCOCK, A.J. The interaction between a pair of circular cylinders normal to a stream. <b>Journal Fluid Mechanics</b> . Vol 61, p.499-511, 1973

<b>PÁGINA</b>	<b>LINHA</b>	<b>ONDE SE LÊ</b>	<b>LEIA-SE</b>
126	Acrescentar		TSUZUKI, M.S.G. MSD - Modelador de Sólidos Didático. <b>SIBGRAPI V</b> , novembro, p. 17-20, 1992.
126	Acrescentar		TSUZUKI, M.S.G.; MIYAGI, P.E. Modelador de Sólidos Didático. In: Seminário sobre Computação Gráfica em A.E.C. (Arquitetura, Engenharia e Construção). São Paulo, 4 a 6 de novembro, 1992. Anais. SOBRACON, 1992.
Apêndice 3	15	entender	entender
Apêndice 3	18	como próprio	como o próprio

Todos os títulos de tabelas deveriam vir acima e não abaixo das tabelas.

## AGRADECIMENTOS

Ao amigo e orientador Prof. Dr. Kazuo Nishimoto pelas diretrizes seguras e permanente incentivo.

Aos professores Marcos Tsuzuki e Flávio Soares Corrêa, pelo apoio, tempo e dedicação a este trabalho.

A Paulo Mancuso Tupinambá, pelo apoio que sempre me prestou.

A Pedro Salomão Santoro por seu trabalho e contribuições.

A Henrique Elfes, pelas sugestões e correções.

A Ricardo Ueda, por suas dicas na hora certa.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram na execução deste trabalho.

## Lista de Figuras

- Fig 2.1 - Espiral de Projeto de um ROV.
- Fig. 3.1 - Esquema do Sistema Integrado.
- Fig. 3.2 - ROV modelado pelo MSD.
- Fig. 3.3 - Destaque da Espiral de Projetos.
- Fig. 3.4 - Destaque da Espiral de Projetos.
- Fig. 3.5 - Exemplo de Curvas de Propriedades Hidrodinâmicas.
- Fig. 3.6 - Destaque da Espiral de Projetos.
- Fig. 3.7 - Destaque da Espiral de Projetos.
- Fig. 4.1 - Força de Arrasto.
- Fig. 4.2 - Partícula Fluida na Superfície dum Corpo.
- Fig. 4.3 - Escoamento potencial em torno de um cilindro.
- Fig. 4.4 - Distribuição de pressão em volta de um cilindro.
- Fig. 4.5 - Uma comparação energética.
- Fig. 4.6 - Geometria da interferência.
- Fig. 4.7 - Perfil da distribuição de pressões para vários  $L/D$  diferentes.
- Fig. 4.8 - Imagens de emissões de vórtices para vários  $L/D$  diferentes.
- Fig. 4.9 - Coeficientes de pressão entre dois corpos.
- Fig. 4.10 - Descontinuidade na distribuição de pressões entre dois corpos.
- Fig. 4.11 - Variação do coeficiente de arrasto com o  $L/D$ , para vários números de Reynolds.
- Fig. 4.12 - Interferência entre dois cilindros em diferentes  $T/D$ .
- Fig. 4.13 - Visualização de escoamentos para várias posições relativas diferentes.
- Fig. 4.14 - Interferência entre parede e barra inclinada.
- Fig. 5.1 - Exemplo de um ROV.

**Fig. 5.2 - Barra normal ao escoamento.**

**Fig. 5.3 - Barra oblíqua ao escoamento.**

**Fig. 5.4 - Fluxograma utilizado para o cálculo do método da superposição.**

**Fig. 5.5 - Torre ensaiada para verificar a metodologia.**

**Fig. 5.6 - Coeficientes de arrasto para barra de perfil L.**

**Fig. 5.7 - Curva polinomial do fator de correção de barras de comprimento finito.**

**Fig. 5.8 - Interferência entre duas barras de seção circular.**

**Fig. 5.9 - Interferência entre duas barras com perfil L.**

**Fig. 5.10 - Interferência múltipla.**

**Fig. 6.1 - Interferência entre duas barras circulares.**

**Fig. 6.2 - Matriz da busca no banco de dados.**

**Fig. 6.3 - Matriz da busca no banco de dados.**

**Fig. 7.1 - Arquitetura do SIDP.**

**Fig. 7.2 - Solucionador de Problemas = Mecanismo de inferência + JTMS**

**Fig. 7.3 - Uma Árvore E/OU.**

**Fig. 7.4 - Arquitetura do Sombra.**

**Fig. 7.5 - Um Caso Concreto de Interferência.**

**Fig. 7.6 - Grafo JTMS de Interferência entre Barras Quadradas e Circulares**

**Fig. 7.7 - Variação do coeficiente de arrasto para barras de seções transversais diferentes.**

**Fig. 8.1 - Torre analisada com a metodologia descrita.**

**Fig. 8.2 - DOLPHIN 3K modelado pelo MSD.**

**Fig 8.3 - DOLPHIN 3K.**

**Fig 8.4 - Interferência entre duas barras oblíquas lado a lado.**

- Fig 8.5** - Duas barras formando uma quina.
- Fig. 8.6** - DOLPHIN simples sem o flutuador modelado pelo MSD.
- Fig. 8.7** - DOLPHIN completo modelado pelo MSD.
- Fig. 9.1** - Interação MSD, SOMBRA E CALCULA.
- Fig. 9.2** - Dimensões Relevantes numa Barra.
- Fig. 9.3** - Dimensões Relevantes num Sólido.
- Fig. 9.4** - Dimensões Relevantes numa Placa.
- Fig. 9.5** - Esquema da Determinação da Atitude em Relação ao escoamento de uma Barra.
- Fig. 9.6** - Situação 1.
- Fig. 9.7** - Situação 2.
- Fig. 9.8** - Limites da interferência e corpos que interferem no escoamento do corpo em estudo.
- Fig. 9.9** - Determinação da Distância Relativa entre Dois Pontos.
- Fig 9.10** - Dimensão principal de uma barra.
- Fig. 9.11** - Dimensão principal de uma placa tangente ao escoamento.
- Fig. 9.12** - Dimensão principal de uma placa normal ao escoamento.
- Fig. 9.13** - Dimensão principal de um sólido.
- Fig. A.1.1** - Ponto de Descolamento.
- Fig. A.1.2** - Coeficiente de Arrasto de um Cilindro Circular.
- Fig. A.1.3** - Coeficientes de Arrasto de Corpos Arredondados.
- Fig. A.1.4** - Formação da Esteira de um Corpo com Cantos Vivos.
- Fig. A.1.5** - Coeficientes de Arrasto de Corpos com Cantos Vivos.
- Fig. A.3.1** - Rede de Dependências para Algumas Pessoas.



**Fig. A.4.1** - Interferência entre dois sólidos iguais.

**Fig. A.4.2** - Interferência entre dois sólidos diferentes.

**Fig. A.4.3** - Interferência entre dois sólidos paralelos.

**Fig. A.4.4** - Interferência entre dois sólidos com ângulo qualquer.

**Fig. A.4.5** - Interferência entre um sólido e uma barra na horizontal.

**Fig. A.4.6** - Interferência entre uma barra na vertical e um sólido.

**Fig. A.4.7** - Interferência entre uma barra num ângulo qualquer e um sólido.

**Fig. A.4.8** - Interferência entre barras com seções transversais iguais.

**Fig. A.4.9** - Interferência entre barras com seções transversais diferentes.

**Fig. A.4.10** - Interferência entre barras com linhas de eixo paralelas.

**Fig. A.4.11** - Interferência entre barras com linhas de eixo perpendiculares.

**Fig. A.4.12** - Interferência entre barras com linhas de eixo num ângulo qualquer.

## **Lista de Tabelas**

**Tabela 4.1** - Coeficiente de forma efetivo.

**Tabela 4.2** - Fator de Sombreamento  $\eta$ .

**Tabela 4.3** - Fator de correção de efeitos tridimensionais.

**Tabela 4.4** - Resultados do Método de SAYER e PEDRED.

**Tabela 5.1** - Coeficientes de correção para barras de comprimento finito.(NBR 6132).

**Tabela 5.2** - Coeficientes da polinomial da curva do fator de correção para barras de comprimento finito.

**Tabela 5.3** - Resultados da metodologia descrita.

**Tabela 6.1** - Sombreamento entre duas barras circulares.

**Tabela 6.2** - Exemplo de dado interpolado

**Tabela 8.1** - Resultado da análise da torre.

**Tabela 8.2** - Resultados para ângulo de ataque de zero graus.

**Tabela 8.3** - Resultados para ângulo de ataque de 90 graus.

**Tabela 8.4** - Resultados para ângulo de ataque de 180 graus.

**Tabela 8.5** - Resultados para ângulo de ataque de 270 graus.

**Tabela 8.6** - Resultados para fluxo por cima.

**Tabela 8.7** - Resultados para fluxo por baixo.

**Tabela 8.8** - Porcentagem de Regras disparadas em cada caso.

**Tabela 8.9** - Sombreamento aproximado para duas barras oblíquas ao escoamento, lado

**Tabela 8.10** - Comparação com a estimativa de alguns coeficientes de sombreamento.

**Tabela 8.11** - Comparação com a estimativa de alguns coeficientes de sombreamento.

- Tabela 8.12** - Comparação com a estimativa de alguns coeficientes de sombreamento.
- Tabela 8.13** - Comparação entre a metodologia proposta e a DNV em zero grau.
- Tabela 8.14** - Comparação entre a metodologia proposta e a DNV em 90 graus.
- Tabela 8.15** - Comparação entre a metodologia proposta e a DNV em 180 graus.
- Tabela 8.16** - Comparação entre a metodologia proposta e a DNV em 270 graus.
- Tabela 8.17** - Comparação entre a metodologia proposta e a DNV por cima.
- Tabela 8.18** - Comparação entre a metodologia proposta e a DNV por baixo.
- Tabela 8.19**- Resultados para ângulo de ataque de zero grau.
- Tabela 8.20**- Resultados para ângulo de ataque de 90 graus.
- Tabela 8.21**- Resultados para ângulo de ataque de 180 graus.
- Tabela 8.22** - Resultados para ângulo de ataque de 270 graus.
- Tabela 8.23** - Resultados para fluxo por cima.
- Tabela 8.24** - Resultados para fluxo por baixo.
- Tabela 8.25** - Comparação com a estimativa de alguns coeficientes de sombreamento.

## Resumo

No projeto de um ROV, o comportamento hidrodinâmico afeta e dita as soluções do projeto do ponto de vista tanto do controle do ROV como de sua estabilidade dinâmica. Devido à sua importância, a obtenção das propriedades hidrodinâmicas carece de uma ferramenta confiável desde o início do projeto, principalmente pelo fato de a geometria do ROV ser composta por corpos bojudos.

Buscou-se aliar o uso de bancos de dados de coeficientes hidrodinâmicos a técnicas de inteligência artificial para obter-se um método que estimasse as características hidrodinâmicas levando em conta a interferência de um corpo sobre o outro.

Alguns testes realizados mostram que esta metodologia pode ser implementada com sucesso e com uma pequena margem de erro (em torno de 5%). Assim, esta ferramenta pode auxiliar não só no projeto do ROV, mas também facilitar a obtenção de características hidro-aerodinâmicas para uma estrutura composta por corpos bojudos.

## ABSTRACT

In any ROV project, the hydrodynamic behavior affects and determines as well the control as the dynamic stability solutions of the ROV project. Since the hydrodynamic properties are most important, they have to be established from the start through a trustful methodology, specially since the ROV geometry is composed of bluff bodies.

Hydrodynamic coefficient data bases, together with common artificial intelligence techniques were used in order to obtain a hydrodynamic characteristic estimate method which would take into consideration the interference of any body on the others.

Incipient experimental results obtained up to now show this methodology to be satisfactory, with a minor error around 5%. The developed not only can be useful for ROV projecting, but also simplifies hydroaerodynamic characteristic estimates for any structure composed of bluff bodies.

## SUMÁRIO

Lista de tabelas	
Lista de figuras	
Resumo	
"Abstract"	
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2. ESPIRAL DE PROJETO</b>	<b>6</b>
<b>3. SISTEMA INTEGRADO PARA ANÁLISE DINÂMICA DO ROV</b>	<b>11</b>
3.1. Sistema Integrado	12
3.1.1. Modelador de Sólidos Didático	13
3.1.2. Propriedades Físicas	15
3.1.3. Propriedades Hidrodinâmicas	16
3.1.4. Simulador	17
3.1.5. Animação	19
<b>4. PROPRIEDADES HIDRODINÂMICAS</b>	<b>20</b>
4.1. Coeficientes de Forças Hidrodinâmicas Viscosas x Interferência	20
4.2. Metodologias Existentes. Estado da Arte	30
<b>5. PROPOSTA PARA CÁLCULO DE COEFICIENTES DE FORÇAS HIDRODINÂMICAS DE NATUREZA VISCOSA COMO O SOMBREAMENTO</b>	<b>43</b>
5.1 Modo de Tratar a Interferência	45
5.1.1 Superposição simples	45

5.1.2 Método de cálculo do sombreamento	51
<b>6. ESTRUTURAÇÃO DO BANCO DE DADOS PARA O SISTEMA ESPECIALISTA DE OBTENÇÃO DE COEFICIENTES DE SOMBREAMENTO.</b>	<b>55</b>
6.1 Como deve ser a Base de Dados	56
6.2. Como devem ser as Regras	59
6.3. Como deve ser o Gerenciador	61
<b>7. O TMS UTILIZADO PARA A CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA PARA OBTENÇÃO DE COEFICIENTES HIDRODINÂMICAS DE NATUREZA VISCOSA</b>	<b>63</b>
7.1. O JTRE-JTMS	66
7.2. O programa SOMBRA	74
7.2.1. Representação da situação física	76
7.2.2. Representação das informações de controle	80
7.2.3. Os operadores	81
7.2.4. Um exemplo	84
7.25 Criando Regras para o SOMBRA	89
<b>8. RESULTADOS</b>	<b>92</b>
8.1. Metodologia de Avaliação	92
8.2. Torre de Alta Tensão	92
8.3. ROV	94
8.4. Análise de Resultados	98
<b>9. INTERFACE DO SOMBRA COM O SISTEMA INTEGADO</b>	<b>108</b>
9.1. MSD-SOMBRA	109

9.1.1. Tipos de Geometria	109
9.1.2. Hierarquia de posições	111
9.1.3. Distâncias relativas	114
9.1.4. Parâmetro de efeitos tridimensionais	118
9.1.5. Área projetada	119
9.1.6. Arquivos de saída	119
9.2. SOMBRA-CALCULA	120
<b>10. CONCLUSÕES</b>	<b>122</b>
<b>11. DESENVOLVIMENTOS POSTERIORES</b>	<b>124</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>125</b>

#### Apêndice

Apêndice 1 - Revisão de conceitos físicos.

Apêndice 2 - LISP.

Apêndice 3 - Conceitos básicos do JTMS

Apêndice 4 - Situações geométricas de interferência para acréscimo no banco de dados do SOMBRA.

#### Listagens.

*PROGRAMA SOMBRA - FUNÇÕES PRINCIPAIS.*

*PROGRAMA SOMBRA - REGRAS.*

*PROGRAMA SOMBRA - OPERADORES.*

*PROGRAMA CALCULA.*

*ENTRADA NO MSD - DOLPHIN SIMPLES.*

*ENTRADA NO MSD - DOLPHIN SEM FLUTUADOR.*

*ENTRADA NO MSD - DOLPHIN MAIS COMPLETO.*



*SAÍDA DO MSD PARA O SOMBRA - EXEMPLO PARA DOLPHIN SIMPLES  
COM ANGULO DE ATAQUE DE ZERO GRAU..*

*SAÍDA DO SOMBRA PARA O CALCULA - EXEMPLO PARA DOLPHIN  
SIMPLES COM ANGULO DE ATAQUE DE ZERO GRAU..*

*RESULTADOS DO CALCULA - EXEMPLO PARA DOLPHIN COMPLETO.*

## 1. Introdução.

Um ROV (Remotely Operated Vehicle) é um submersível não tripulado dependente de um umbilical de onde vem a energia para o sistema propulsor e demais sistemas e através do qual vêm as informações obtidas por seus sensores e câmeras. O ROV depende de um sistema de superfície que o alimenta de energia e é nesse sistema que o operador comanda suas manobras para executar as tarefas de determinada missão.

A missão para qual é feita um ROV afeta muito o seu projeto. Ao consultar-se um catálogo geral, vê-se que cada ROV apresenta uma missão diferente das dos outros. Isto implica numa diversidade grande de formas, equipamentos, sistemas de suporte e preço.

Segundo GRAZKE et al. (1993), os ROVs surgiram da necessidade de permitir uma exploração de longo período que pudesse ser realizada sem um sistema de suporte de vida no submersível e fosse capaz de realizar repetidas idas e vindas da superfície ao local explorado.

Com o desenvolvimento da indústria de petróleo *offshore*, com as suas plataformas e seus equipamentos de produção, surgiu a necessidade de um suporte às várias tarefas realizadas nesses locais. A inspeção de oleodutos e tubulações, bem como válvulas e demais equipamentos; a inspeção estrutural da plataforma; o apoio a mergulhadores ou a sua substituição em tarefas pesadas ou em lugares onde a profundidade é grande; suporte à operações de perfuração; construções submarinas; limpeza da plataforma e equipamentos; construção e auxílio da operação de completação são alguns dos importantes serviços que um ROV presta à indústria *offshore*.

A pesquisa oceanográfica é outro campo onde os ROVs têm importantes missões a desempenhar, missões como pesquisas do fundo do oceano, imagens da fauna e da flora de grandes profundidades, medidas das propriedades físicas da água, etc. GRAZKE et al. (1993) informam que recentemente foi feita uma pesquisa para determinar o espectro de energia e natureza de ventos hidrotérmicos no Mar de Cortez, entre o México e a península da Califórnia.

Outro uso destes veículos é o auxílio à arqueologia submarina e, em concreto, a recuperação de artefatos perdidos em navios antigos. Em 1986, explorou-se o Titanic, e depois também os destroços do cruzador alemão Bismark. Em 1987, um ROV foi utilizado para recolher ouro e moedas raras do naufrágio do navio *Central America*, que afundou em 1857.

Qualquer que seja a missão a ser desempenhada por um ROV, a estabilidade dinâmica e o controle do movimento são importantíssimos, pois a facilidade de operação diminuirá os custos de operação e o tempo de execução da missão. Também a barreira imposta por determinadas tarefas pode deixar de existir, como no caso da soldagem submersa, que exige um alto grau de precisão no posicionamento e estabilidade dinâmicos. Assim, qualquer que seja a missão, para se obter um bom projeto necessita-se levar em conta desde o início estes dois aspectos: estabilidade e controle dinâmicos.

Obviamente, o comportamento hidrodinâmico afeta e dita as soluções do projeto do ponto de vista do controle do ROV e também de sua estabilidade dinâmica. Assim, a estimativa das propriedades hidrodinâmicas no projeto de um ROV é muito importante para determinar se o veículo projetado pode cumprir o seu objetivo.

"Tanto projetistas como operadores necessitam de um meio de estimar o efeito de diferentes configurações de equipamentos na performance do ROV. A força de arrasto, e suas implicações para a potência e manobrabilidade, são de importância fundamental" (Sayer, 1993, p. 464).

Também SAYER (1993) afirma que o ponto de vista hidrodinâmico no projeto de um ROV está claramente relacionado com a eficiência do trabalho submarino, com a facilidade de acesso para os módulos de equipamentos, com o índice de manobrabilidade - especialmente no local de trabalho -, boa velocidade de deslocamento, sem a tendência de instabilidades de percurso, e grande operacionalidade.

Apesar da sua importância, a obtenção das propriedades hidrodinâmicas carece de uma ferramenta em que se possa confiar e que se possa aplicar desde o início do projeto. Sente-se a falta de critérios simples que norteiem o projetista logo nas primeiras fases do projeto.

Para estimar as propriedades hidrodinâmicas, necessita-se de uma ferramenta prática e precisa para o auxílio durante qualquer fase do projeto e até depois, caso se deseje realizar qualquer alteração na configuração básica do veículo após a operação. Os programas de cálculo de propriedades hidrodinâmicas existentes requerem altíssimas velocidades de processamento e grandes espaços de memória. Uma solução interessante é aliar o uso de bancos de dados de coeficientes hidrodinâmicos com a inteligência artificial para o uso num método de cálculo que prediga com boa precisão os coeficientes hidrodinâmicos do ROV.

Com este objetivo é que o presente trabalho foi desenvolvido, estudando os fenômenos físicos envolvidos para a partir deles construir uma ferramenta de cálculo.

Uma exposição sobre o projeto de um ROV é importante para ressaltar a importância da obtenção das propriedades hidrodinâmicas no seu projeto. É o que se faz no capítulo 2: apresenta-se o conceito de espiral de projeto, depois se propõe uma espiral própria para o projeto de um ROV, com a explicação de cada passo e uma discussão dos pontos mais relevantes: controle, propriedades hidrodinâmicas e arranjo geral.

Com base nestes três aspectos centrais, o capítulo 3 trata de um sistema integrado para o auxílio no projeto de um ROV que faça a análise dinâmica do seu movimento. Uma breve motivação do sistema integrado é apresentada e depois discutem-se as atribuições que deve ter cada uma das partes deste sistema: o módulo de desenho (MSD), o módulo de obtenção de propriedades físicas, o módulo de propriedades hidrodinâmicas, que é o objeto deste trabalho, o módulo de simulação do movimento de um ROV e finalmente o módulo de animação deste movimento. Destacam-se os pontos da espiral de projeto de que cada módulo se ocupa, dando uma noção clara de como este sistema auxiliará o projetista.

No capítulo 4 define-se o problema em estudo: o cálculo das propriedades das forças hidrodinâmicas de natureza viscosa apontando-se as dificuldades e alternativas atuais de solução. Uma revisão dos conceitos físicos básicos envolvidos no fenômeno e uma abordagem do problema da interferência entre corpos num escoamento mostram a complexidade do fenômeno físico que se estuda. Além disto, apresentam-se as metodologias existentes para efetuar os cálculos dos coeficientes que quantificam estas forças e o atual estado da arte para obtenção destes coeficientes.

Uma nova proposta para obtenção dos coeficientes hidrodinâmicos de natureza viscosa é apresentada no capítulo 5. Apresenta-se primeiro a aplicação do método da superposição simples num plano, ou seja, sem considerar o fenômeno físico da interferência; a seguir, este estudo fornece subsídios para propor uma metodologia que leva em conta os efeitos da interferência entre os corpos, o sombreamento. A proposta permite calcular o sombreamento de uma interferência múltipla sobre um corpo no caso tridimensional.

Para fazer com que essa proposta seja "automatizada", lança-se mão de um sistema especialista. O capítulo 6 procura responder a seguinte pergunta: "O que um sistema especialista deve conter para que a metodologia proposta possa ser executada por ele?". Assim, as partes básicas de um sistema especialista são

enfocadas do ponto de vista do que devem conter e de como devem ser para atender satisfatoriamente o que se pede dele. A base de dados, as regras e o gerenciador são apresentados já deste ponto de vista e vão mostrando como deve ser este sistema especialista de obtenção dos coeficientes hidrodinâmicos em estudo.

Das diversas técnicas de IA que existem hoje, cada uma possui características particulares que a tornam aplicável a um problema ou a outro. No problema em estudo, qual é a mais apropriada? O capítulo 7 traz a técnica do TMS (*Truth Maintenance System*) utilizada aqui para a construção do sistema especialista, que por suas características próprias é bastante apropriada para o problema em questão. O programa SOMBRA, que é o sistema especialista em si, é descrito pormenorizadamente. Este programa utiliza o TMS como plataforma e uma explicação detalhada desta plataforma é apresentada numa seção anterior à do programa SOMBRA.

O capítulo 8 traz os resultados da proposta feita para o cálculo dos coeficientes de forças de natureza viscosa. Descreve-se a metodologia de avaliação utilizada e os resultados para dois objetos ensaiados: uma torre de alta tensão e um ROV. Depois faz-se uma análise dos resultados obtidos.

Para conseguir estes resultados, foi muito importante a interface entre o SOMBRA e o sistema integrado. No capítulo 9, descrevem-se as funções criadas no MSD para gerar os arquivos que dão as informações geométricas necessárias para que o SOMBRA encontre os coeficientes que estimam o sombreamento. O SOMBRA, por sua vez, envia uma série de dados para serem aplicados no programa CALCULA que faz todos os cálculos matemáticos necessários com as informações do MSD e do SOMBRA.

As conclusões do trabalho estão no capítulo 10 e finalmente, no capítulo 11, apresenta-se uma proposta de uma série de desenvolvimentos posteriores seguindo esta linha de pesquisa.

## 2. Espiral de Projeto.

A espiral de projeto é a concretização de uma filosofia de projeto que divide sua execução em várias partes. No desenrolar do trabalho, o projetista vai passando por cada uma destas partes, desenvolve cada uma delas até o limite que naquele momento pode ser atingido; depois passa para outra etapa, e assim sucessivamente. Ao completar uma volta inteira, passando por todas as partes do projeto, ele completa um ciclo. Cada ciclo tende a possuir cada vez mais dados e aquele projeto vai convergindo para uma solução, por isso o nome de "espiral" para esta filosofia de projeto.

Esta divisão em partes pode levar ao erro de achar que cada parte é independente da outra e isto não é verdade. Basta pensar que, no projeto de um navio, a solução estrutural está amarrada a vários pontos da espiral, desde o arranjo da embarcação até o seu custo final.

Uma espiral de projeto não possui uma única forma, não é uma "receita de bolo", mas é algo dinâmico e que muda de embarcação para embarcação, podendo ser diferente nas diversas fases do projeto de uma mesma embarcação (o projeto de concepção é bastante diferente do projeto de detalhamento e ambos podem seguir uma espiral de projeto).

No projeto de um ROV, uma espiral de projeto poderia ser a seguinte:

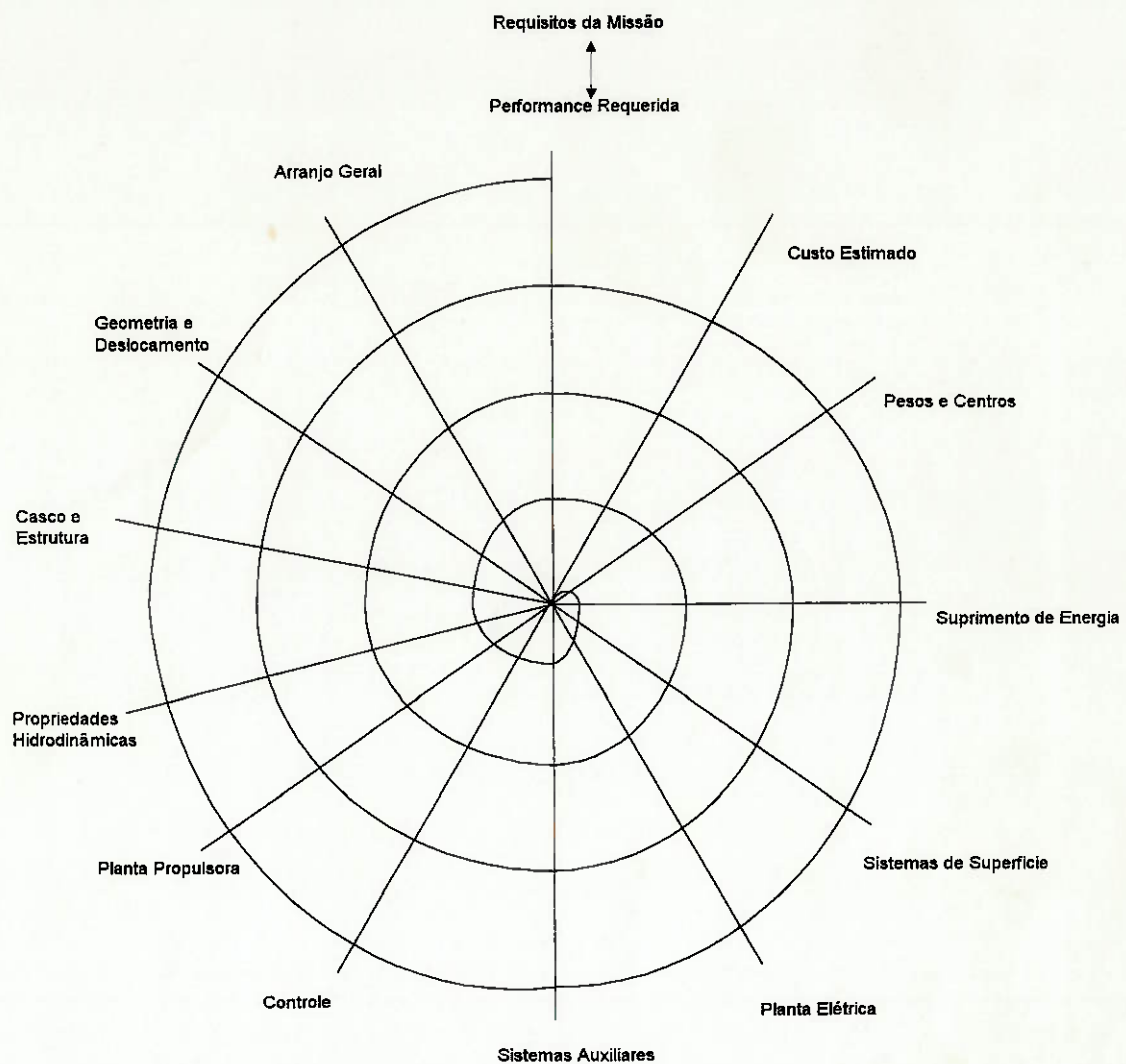


Fig 2.1 - Espiral de Projeto de um ROV.

O projeto de um ROV possui características próprias que o diferenciam do projeto de uma embarcação convencional. Existe uma espiral de projeto adequada a cada tipo de embarcação; por isso, com uma ou outra pequena modificação, pode-se usar a da figura 2.1 para projetar um ROV.

Em cada ponto da espiral de projeto executa-se uma parte do projeto:

- **Requisitos da Missão** são as tarefas que o ROV deve executar. É a entrada básica na Espiral de Projetos.
- **Performance Requerida** é função dos Requisitos da Missão. Aqui se traduz os requisitos em termos mensuráveis do ponto de vista técnico.



- **Arranjo Geral:** define a posição dos equipamentos e um esboço do veículo levando em conta a Performance Requerida.
- **Geometria e Deslocamento:** derivam do Arranjo Geral, mas aqui há uma preocupação de se definir o mais detalhadamente possível as dimensões da embarcação e não só um esboço; também se faz a estimativa de seu deslocamento,
- **Casco e Estrutura:** aqui se trata o veículo do ponto de vista da resistência estrutural.
- **Propriedades Hidrodinâmicas:** é onde se faz a estimativa dos coeficientes hidrodinâmicos do veículo.
- **Planta Propulsora:** neste passo é que os motores e os propulsores adequados são definidos para a embarcação.
- **Controle:** define o projeto de controle; aqui simula-se o movimento do ROV para fornecer a manobrabilidade necessária para o ROV cumprir sua missão.
- **Sistemas Auxiliares:** projeta-se os outros sistemas que o veículo necessita para cumprir sua missão, como por exemplo câmeras, iluminação, sensores, etc.
- **Planta Elétrica:** fornece a energia necessária para a planta propulsora e aos sistemas auxiliares.
- **Sistemas de Superfície:** são os equipamentos através dos quais o operador controla o ROV.
- **Suprimento de energia:** deve-se projetar um sistema de energia autônomo capaz de fornecer energia para o ROV e para os sistemas de superfície. Deve ser algo com possibilidade de ser levado de um lugar para outro.
- **Pesos e Centros:** neste ponto verifica-se a estabilidade estática do submersível.
- **Custo Estimado:** aqui faz-se uma estimativa do custo total do sistema: o veículo os sistemas de superfície e o sistema que fornece energia.

No começo de cada ciclo da espiral checa-se se o projeto do veículo está de acordo com a Performance Requerida e repete-se o mesmo ciclo descrito, só que com mais dados.

Das diversas partes apresentadas, há três que estão intimamente ligadas: o arranjo geral, o controle (manobrabilidade) e as propriedades hidrodinâmicas. Estas três estão intimamente interligadas; uma mudança numa acarreta mudanças nas outras. A solução de um problema de controle pode ser a mudança no arranjo do ROV, o que por sua vez altera a manobrabilidade e as propriedades hidrodinâmicas.

As propriedades hidrodinâmicas necessitam da definição de um determinado arranjo, pois sobre este arranjo é que o escoamento incidirá. Por sua vez, as propriedades hidrodinâmicas são um dado de entrada importantíssimo para o cálculo da estabilidade dinâmica e do controle do ROV.

No controle, por exemplo, as curvas das propriedades hidrodinâmicas servem para obter a matriz das forças hidrodinâmicas que será utilizada para a integração da aceleração e obtenção da velocidade e posição do ROV a cada instante. Dependendo do comportamento hidrodinâmico da embarcação, ela será mais ou menos controlável.

Pode-se entender agora a importância da obtenção das propriedades hidrodinâmicas para projetar um ROV capaz de desempenhar bem as tarefas da missão para qual foi pensado. Mesmo durante a operação do veículo, onde alterações na configuração de projeto podem ser feitas, esta estimativa das propriedades hidrodinâmicas podem servir para que uma missão seja executada com êxito.

Deve-se chamar a atenção de que no projeto de um ROV as características hidrodinâmicas não servem apenas para se obter a resistência hidrodinâmica para projetar todo o sistema de propulsão, coisa que pode parecer o principal no projeto de um navio, principalmente para reduzir seus custos de operação. No ROV o objetivo de seu projeto de máquinas não é um baixo custo de operação mas fundamentalmente cumprir sua tarefa, portanto a obtenção o mais correta possível das suas propriedades hidrodinâmicas fornecem dados para: a potência instalada, o projeto

de controle do veículo, a estabilidade dinâmica e, é claro, o custo de operação. Esta tendência é a que pode ser vista nos projetos atuais de ROV's que possuem uma estrutura totalmente aberta (*open frames*), sem uma "preocupação hidrodinâmica".

### **3. Sistema Integrado para Análise Dinâmica do ROV.**

Diante do panorama exposto na seção anterior, sentiu-se a necessidade de criar uma ferramenta que auxiliasse o projetista do ROV nas fases iniciais do projeto. No começo trabalhava-se só com um simulador de movimentos de um ROV com um módulo que permitia fazer um controle proporcional integral, proporcional derivativo e proporcional integral e derivativo (PI, PD e PID) para alguns movimentos do ROV.

Analisando-se a geometria de um ROV típico, fez-se a hipótese, bastante razoável, de aproximar todos os seus componentes a corpos geométricos simples. Esta hipótese fez com que o Modelador de Sólidos Didático, desenvolvido pelo professor Marcos Tsuzuki da engenharia de automação de sistemas da Escola Politécnica da USP, se transformasse numa ferramenta utilíssima para modelagem de um ROV, auxiliando muito na fase do arranjo geral da embarcação.

Com o simulador e o MSD em mãos, viu-se que construir alguns módulos que fornecessem dados para o simulador a partir do desenho feito no MSD seriam de grande utilidade. Assim, desenvolveu-se um módulo de cálculo de propriedades físicas do ROV modelado e também um módulo para calcular as propriedades hidrodinâmicas do ROV. Com estes módulos pode-se montar um sistema integrado que auxilie o projeto de um ROV, além de um módulo de animação que permite ao projetista visualizar uma determinada tarefa ou manobra do ROV.

O sistema em conjunto pode ser visto como:

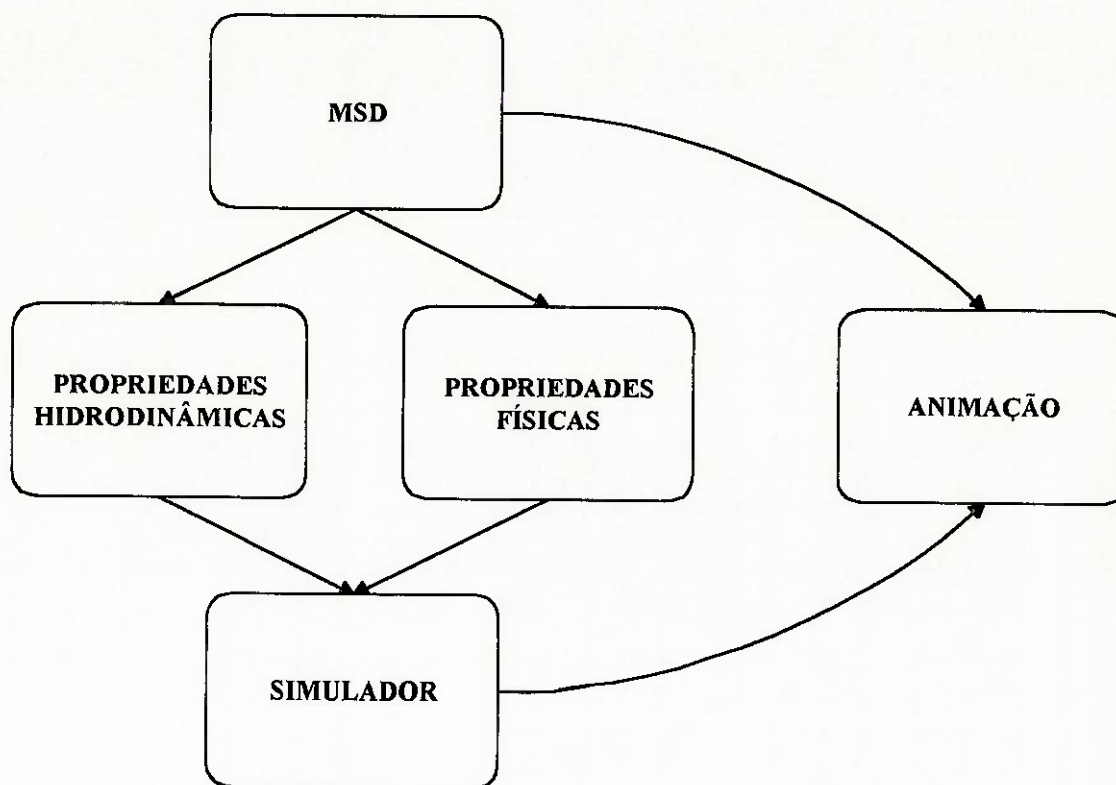


Fig. 3.1 - Esquema do Sistema Integrado.

### 3.1 Sistema Integrado.

A integração de todos estes sistemas num só é uma tendência que tende a facilitar o trabalho do projetista e a fornecer uma ferramenta mais confiável num determinado campo do saber. Neste sistema procura-se fornecer ao projetista a capacidade de desenhar o veículo - estabelecendo o seu Arranjo Geral, de analisar várias propriedades físicas e geométricas do ROV, de poder obter os coeficientes hidrodinâmicos do ROV e a partir destes dados fazer a simulação dinâmica do movimento do ROV, inclusive visualizando uma animação de seu movimento.

Cada módulo será tratado separadamente, embora a maior ênfase seja para o módulo de propriedades hidrodinâmicas, que é o objeto deste trabalho.

### 3.1.1. Modelador de Sólidos Didático.

Um modelo é um ente construído artificialmente que facilita a visualização de um objeto, real ou não. Os desenhos técnicos de engenharia são exemplos típicos de modelos que facilitam a observação porque facilitam o estudo de certas características do objeto, já que muitas vezes, o próprio objeto ainda não existe, dificultando uma série de estudos sobre ele.

No caso do projeto de uma embarcação não-convencional, como é um ROV, a representação por um modelo é de importância fundamental para o seu projetista. Por isso, ganha importância a possibilidade de representar um projeto do ROV num CAD.

Segundo TSUZUKI, o MSD baseia-se na técnica de modelagem geométrica chamada Modelagem de Sólidos (*Solid Modelling*), que oferece um grande número de vantagens sobre outras técnicas (Modelagem por Fio de Arame - *Wireframe Modelling* e a Modelagem por Superfície - *Surface Modelling*). A técnica de Modelagem de Sólidos incorpora muitas informações sobre o contorno e sobre a conectividade dos elementos primitivos; também facilita o cálculo de propriedades como a massa, o peso, o volume e o centro de gravidade; e possui uma grande capacidade de avaliar tanto a validade de seu conjunto como a possibilidade de transformar o modelo num objeto físico.

O MSD possui as seguintes funções: criação de primitivas, estrutura hierárquica, transformação, exibição, propriedades de cálculo integral, operadores booleanos, corte, animação, *undo* e outros.

Um ROV modelado pelo MSD pode ser visto na figura abaixo:

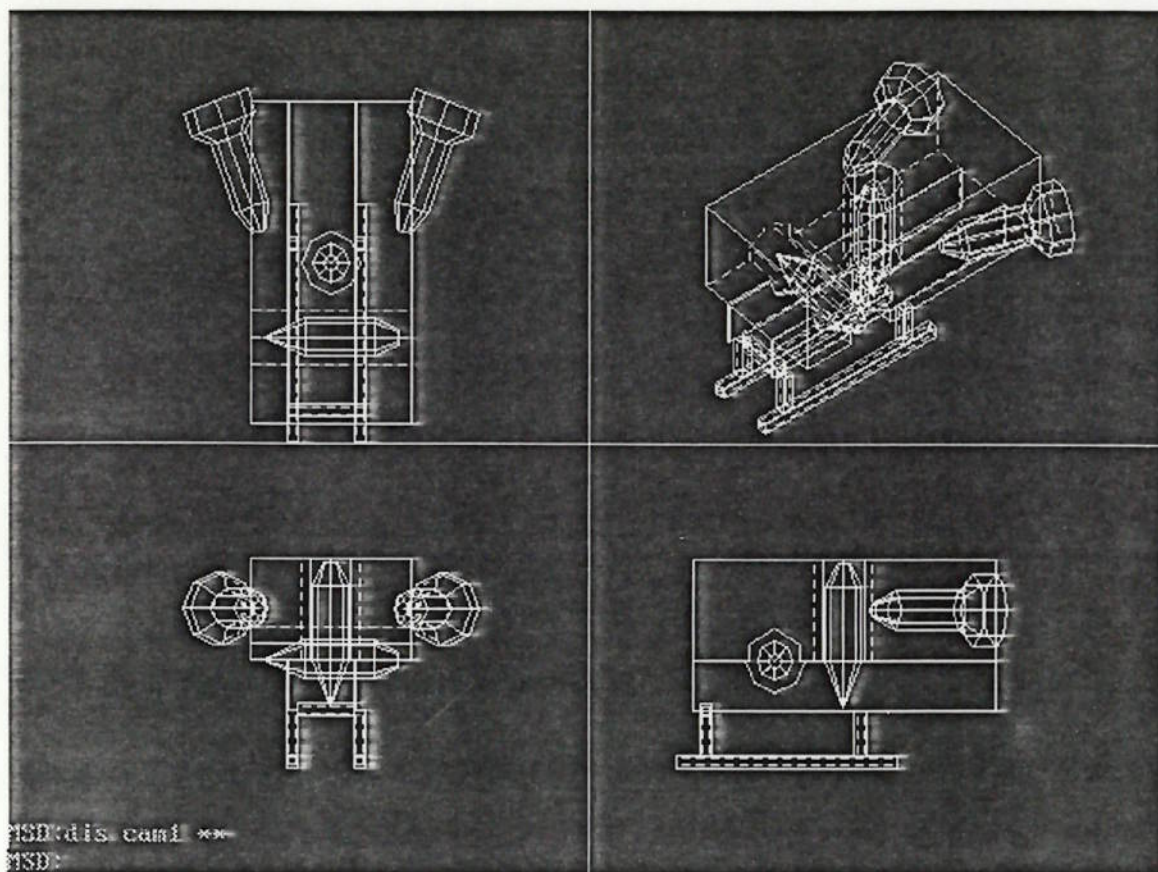


Fig. 3.2 - ROV modelado pelo MSD.

O Modelador servirá para o Arranjo Geral e para definir a Geometria no projeto do ROV. Ou seja, estaremos trabalhando nos pontos em destaque da espiral da figura abaixo.

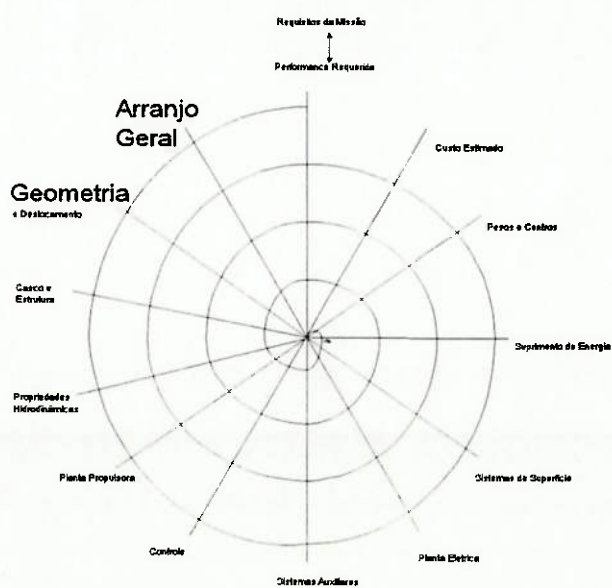


Fig. 3.3 - Destaque da Espiral de Projetos.

### 3.1.2. Propriedades Físicas.

Para que o ROV possa ser estudado quanto a sua operacionalidade e estabilidade, é importante que obtenhamos informações sobre:

- a massa do ROV;
- o deslocamento do ROV (sua fluutuabilidade);
- o centro de gravidade;
- o centro de carena;
- o volume total do ROV;
- a matriz de momentos e produtos de inércia; e
- a matriz de massas adicionais do ROV.

As seis primeiras propriedades necessárias foram obtidas utilizando-se as propriedades de cálculo integral do MSD. "Estas propriedades integrais podem ser avaliadas por meio do teorema de Green (também conhecido como teorema do divergente), onde se faz necessária uma correta orientação da superfície que envolve o volume sólido" (TSUZUKI E MIYAGI, 1991, SOBRACON).

A figura abaixo destaca os pontos onde este módulo auxilia a espiral de projetos.

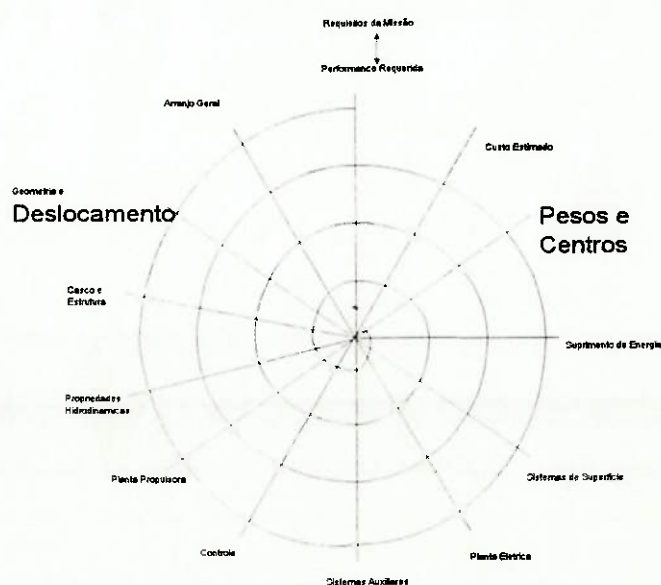


Fig. 3.4 - Destaque da Espiral de Projetos.



É importante chamar a atenção para o fato de que a obtenção dos PESOS E CENTROS na espiral de projetos pelo módulo de propriedades físicas é também muito importante no projeto do ROV, pois todos os estudos de estabilidade estática e dinâmica dependem destes dados.

### 3.1.3. Propriedades Hidrodinâmicas.

As propriedades hidrodinâmicas calculadas pelo sistema são as massas adicionais e os coeficientes de forças hidrodinâmicas.

O cálculo da matriz de massa adicional baseia-se no programa **3DHY** desenvolvido pelo professor Kazuo Nishimoto. Este programa está sendo adaptado para funcionar junto com o MSD, aproveitando a estrutura da malha gerada pelo MSD.

Para a simulação do movimento do ROV e a avaliação do seu controle e estabilidade dinâmicos é necessária a obtenção dos coeficientes das forças hidrodinâmicas. Para todas as direções do ROV, pode-se traçar as seguintes curvas:

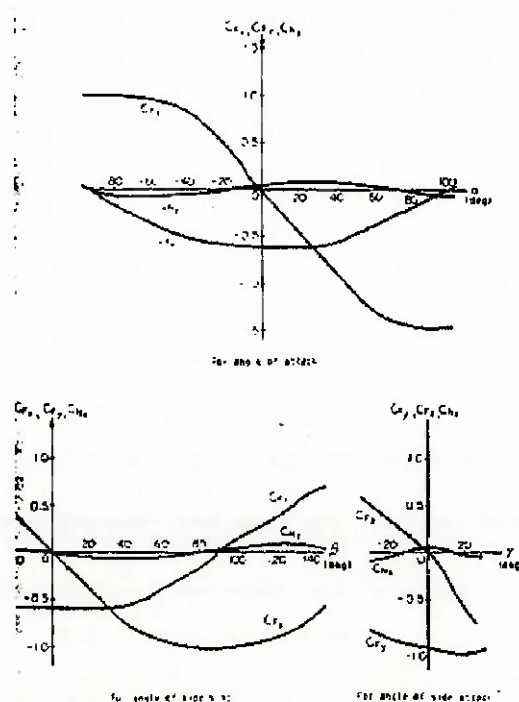


Fig. 3 5 - Exemplo de Curvas de Propiedades Hidrodinâmicas.

Estas curvas representam estes coeficientes hidrodinâmicos para cada plano do ROV, em um determinado ângulo de ataque.

Para obter curvas como estas é que o presente trabalho foi desenvolvido, procurando dar ao sistema integrado um meio eficiente de obter estes dados.

Também foi desenvolvida uma nova função do MSD para este módulo, o cálculo da área projetada num determinado ângulo de ataque, que permitirá calcular a força efetiva do fluido sobre o ROV num determinado ângulo de ataque.

Este módulo auxiliará a fase das propriedades hidrodinâmicas de um modo específico, embora auxilie em outros pontos da espiral, como já foi comentado na seção 2.

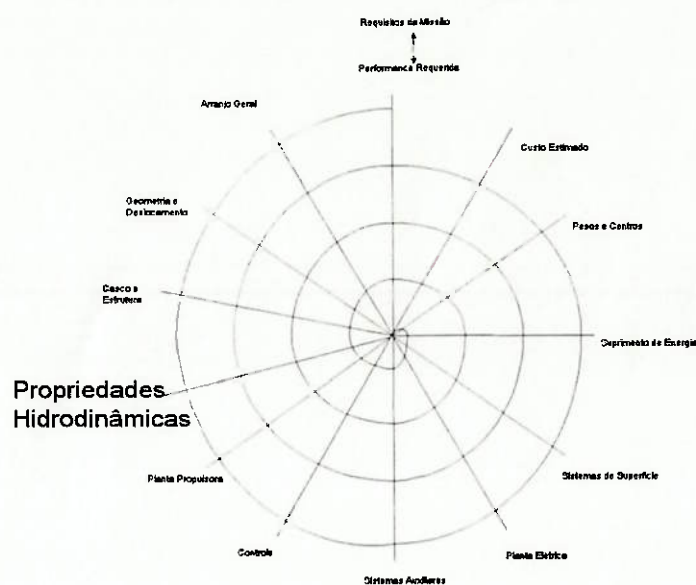


Fig. 3.6 - Destaque da Espiral de Projetos.

### 3.1.4. Simulador.

Baseada num modelo matemático da equação do movimento de um corpo rígido com seis graus de liberdade a simulação computacional do movimento de um ROV pode ser obtida pela resolução da seguinte equação diferencial:

$$[M] \cdot \begin{bmatrix} \dot{V} \\ \dot{\omega} \end{bmatrix} + F_i = F_h + F_g + F_b + F_t \quad (3.1)$$

onde:

- $[M]$  é a matriz de massa do veículo;
- $V$  e  $\omega$  são, respectivamente, as velocidades lineares e angulares;
- $F_i$  é a matriz de forças de inércia;
- $F_h$  é a matriz de forças hidrodinâmicas;
- $F_g$  é a matriz de forças de gravidade;
- $F_b$  é a matriz de forças de flutuabilidade; e
- $F_t$  é a matriz de forças dos propulsores.

Todos os dados de propriedades físicas e de propriedades hidrodinâmicas obtidos pelos dois módulos anteriores fornecem dados para resolução desta equação diferencial.

O resultado desta equação diferencial nos fornece a posição, a velocidade e a aceleração - tanto lineares quanto angulares - do veículo em vários instantes do tempo.

A integração do simulador com os outros módulos ainda não foi desenvolvida; embora seja simples, há sempre o problema de compatibilizar todo o sistema e isto será feito numa fase posterior.

A parte do projeto de concepção que este módulo virá auxiliar está destacada abaixo.

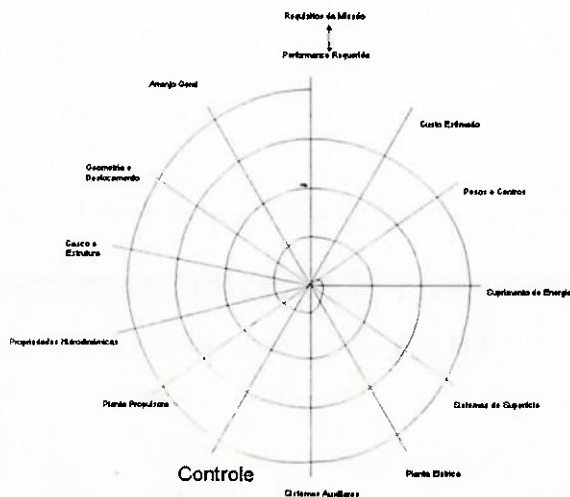


Fig. 3.7 - Destaque da Espiral de Projetos.

### 3.1.5. Animação.

Utilizando os dados de saída do simulador e as funções de animação do MSD pode-se construir este último módulo.

"O MSD utiliza a técnica de *frames* chaves para criar uma animação. Os *frames* intermediários entre dois *frames* consecutivos são criados por meio de interpolações lineares. A animação é criada em três passos principais: definição da estrutura de movimento, filtro da estrutura vetorial dos *frames*, e carregamento da estrutura de animação. A estrutura de movimentos armazena as transformações que serão aplicadas aos eixos de transformação. Cada *frame* possui a sua própria estrutura de movimento. A ordem em que os movimentos são fornecidos é muito importante, pois as transformações serão aplicadas nesta ordem fornecida. A cada iteração, durante a geração dos *frames* intermediários, as linhas escondidas são eliminadas. O *frame* é filtrado para evitar que arestas muito pequenas ou coincidentes sejam exibidas. Após a criação de todos os *frames* intermediários, a estrutura da animação é carregada e executada" (TSUZUKI, 1992, SIBGRAPI V).

Portanto, deve-se passar os dados obtidos no simulador para a estrutura de movimentos para que o MSD possa ir gerando cada *frame* e montar a animação completa.

## **4. Propriedades Hidrodinâmicas.**

Falou-se de espiral de projeto, depois de um sistema integrado para analisar o movimento do ROV e agora dá-se uma passo a mais neste "funil": esta seção procura focar o objeto de estudo do presente trabalho.

No módulo sobre "propriedades hidrodinâmicas" falou-se de que duas propriedades importantes devem ser calculadas; uma delas é a massa adicional do movimento do corpo no fluido, a outra são os coeficientes das forças hidrodinâmicas de natureza viscosa que atuam sobre o corpo. Este trabalho ocupa-se exatamente da obtenção deste coeficientes de forças.

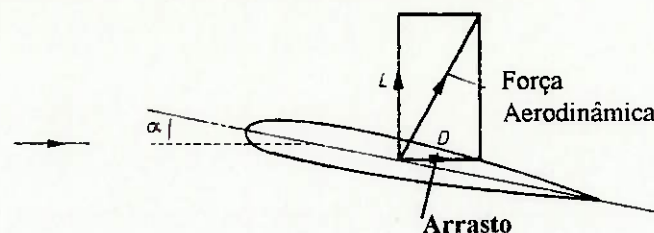
A tarefa possui uma importância prática muito grande, pois a partir destes dados podem ser feitos uma série de considerações decisivas para o projeto do veículo. Também possui importância e novidade porque o fenômeno físico que está por trás possui uma série de dúvidas e é pouco conhecido, como se discutirá a seguir, e vários métodos procuram prever os esforços hidrodinâmicos sobre um corpo.

### **4.1. Coeficientes de Forças Hidrodinâmicas Viscosas x Sombreamento.**

Deseja-se nesta seção recordar alguns conceitos físicos importantes para a compreensão de um fenômeno complexo como o escoamento de um fluido num corpo de formas complexas. Possuir estes conceitos claros ajudará na montagem de um modelo que prediga os esforços e momentos hidrodinâmicos do corpo movendo-se num fluido.

A resistência fluidodinâmica foi observada pelo homem desde há muito tempo. Ao caminhar dentro do mar ou de um lago, percebe-se uma nítida oposição ao movimento. Chama-se a esta força **resistência hidrodinâmica**.

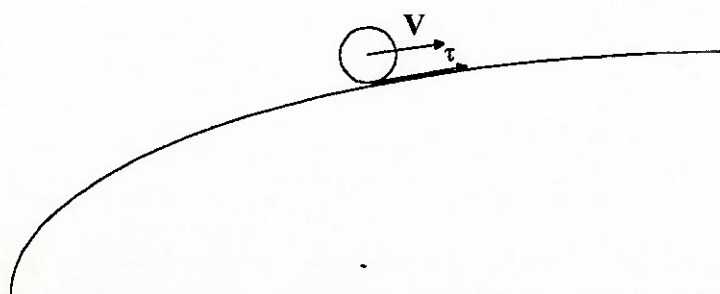
O **arrasto**, nada mais é que uma das componentes desta força fluida, aquela que coincide com a direção do fluxo não perturbado.



**Fig. 4.1 - Força de Arrasto.**

A viscosidade é a resistência "molecular" existente no movimento das partículas fluidas umas em relação a outras, ou entre as partículas fluidas e a superfície de um obstáculo sólido.

Em baixas velocidades e/ou em fluidos com alta viscosidade e/ou em dimensões muito pequenas - ou seja, para números de Reynolds pequenos -, a viscosidade é o parâmetro predominante no arrasto de um corpo. Pois a partícula fluida desliza sobre a superfície do corpo originando uma força tangencial ao movimento que é o **arrasto viscoso**.



**Fig. 4.2 - Partícula Fluida na Superfície dum Corpo.**

A viscosidade estará presente sempre, mesmo num escoamento onde as condições acima citadas não sejam satisfeitas, embora não seja predominante no arrasto.

Estará presente em escoamentos com  $Re$  mais altos, na camada-limite, e será o "gatilho" do fenômeno de separação e do arrasto de pressão.

O arrasto de pressão é o resultado da distribuição das forças normais à superfície do corpo, à diferença das forças tangenciais do arrasto viscoso. Num escoamento não viscoso em torno de um corpo simétrico, como num cilindro infinito, ter-se-ia uma distribuição de pressões que resultaria num arrasto de pressão nulo.

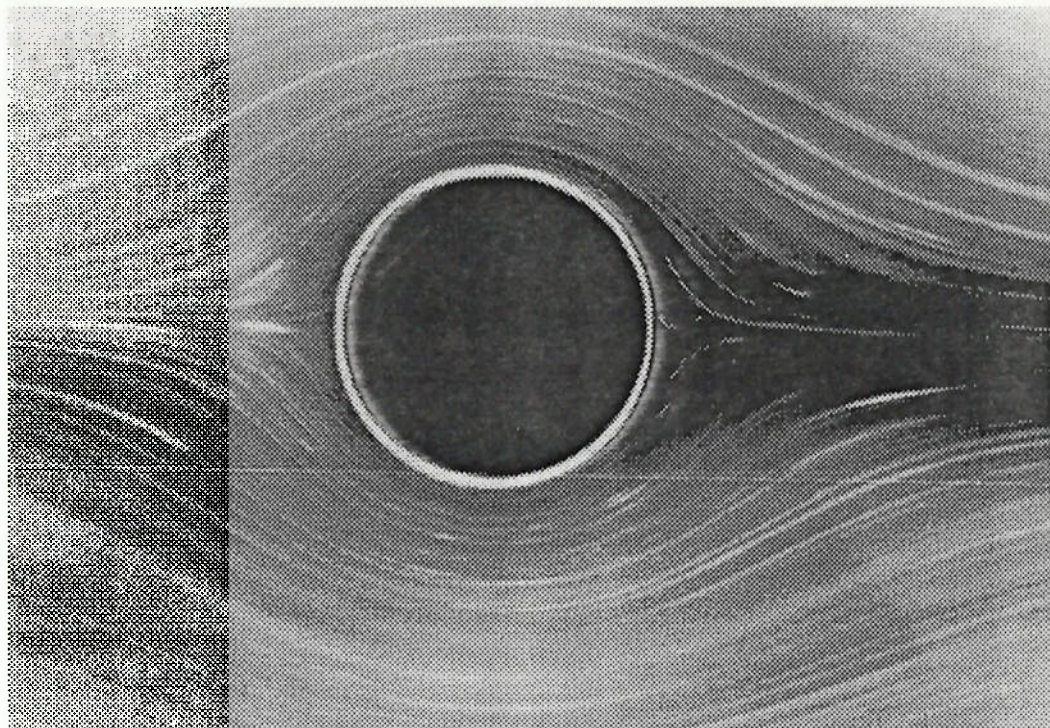


Fig. 4.3 - Escoamento potencial em torno de um cilindro.

Já que a distribuição de pressões seria

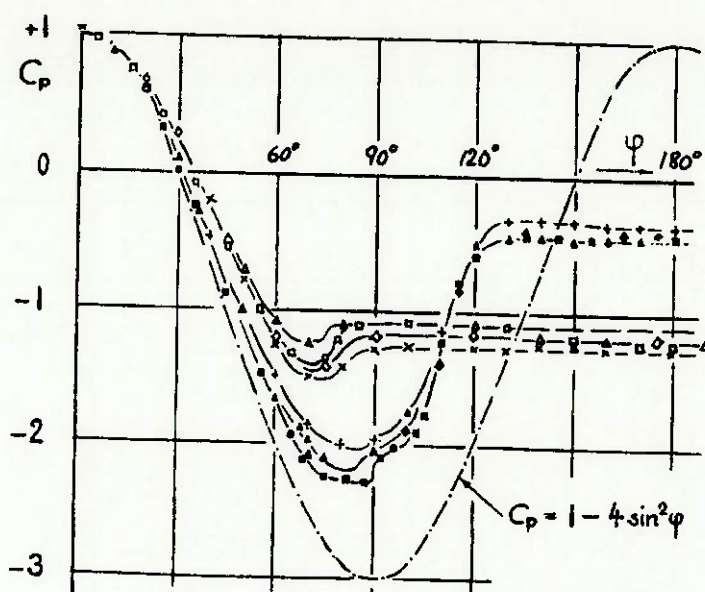


Fig. 4.4 - Distribuição de pressão em volta de um cilindro. (HOERNER - 1965)

Mas isto não acontece num fluido viscoso, onde há perdas de energia na camada-limite e, conseqüentemente, o fenômeno da separação.

A perda de energia na camada-limite pode ser comparada ao seguinte fato mecânico; num carro que tem que transpor um vale há conservação de energia no sistema. Assim, no caso potencial, toda energia potencial gravitacional do carrinho no ponto A transforma-se em energia cinética no ponto B, energia esta que faz o carro subir a encosta e voltar a possuir, no ponto C, a mesma energia do ponto A.

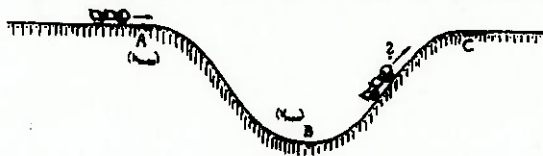


Fig. 4.5 - Uma comparação energética.

Esta comparação extremamente familiar traça um paralelo ao que acontece à partícula fluida no escoamento potencial (sem a presença da viscosidade).

Mas ao introduzir-se uma perda de energia no sistema descrito, por exemplo o atrito mecânico ou a resistência do ar, o carrinho não alcançará o ponto C.



No escoamento da partícula fluida, esta dissipação ocorrerá devido à presença da viscosidade, que fará com que a partícula fluida tenha a sua energia exaurida e se separe da superfície do corpo.

A figura 4.4 mostra que a pressão à ré do cilindro cai devido à perda de energia, resultando disso uma diferença de pressão entre a vante do cilindro e a ré do mesmo, ocasionando uma força para trás que é o chamado **arrasto de pressão**.

Por exemplo, para o cilindro o coeficiente de arrasto viscoso é da ordem de  $CA_v=0,01$ . Os coeficientes obtidos em ensaios são  $CA=0,3$  ou  $0,4$  para  $Re$  supercríticos e  $CA=1,2$  para  $Re$  subcríticos, ou seja, são entre 30 e 120 vezes mais altos do que o devido à ação das forças de atrito tangenciais ao longo da superfície. Vê-se por este exemplo que a viscosidade não é a principal componente do arrasto ( $CA_v=0,01$ ), mas é a causa, o "gatilho" do arrasto de pressão (na ordem de 0,3; 0,4; ou 1,2).

Os exemplos anteriores tratavam de escoamentos ao redor de um corpo isolado. Ao se considerarem os escoamentos possíveis ao redor de dois corpos, pode-se classificá-los logo de início em duas categorias: com e sem interferência. Todos os fenômenos físicos que se acabam de descrever são válidos: o arrasto viscoso, o arrasto de pressão, a camada-limite, etc, mas a interferência traz certas alterações no escoamento que tornam o fenômeno físico da interferência mais complexo.

O perfil da distribuição de pressões em torno de um cilindro se altera bastante. A distribuição de pressões torna-se função da distância entre os dois corpos e a dimensão principal do fenômeno, que é a relação  $L/D$ :

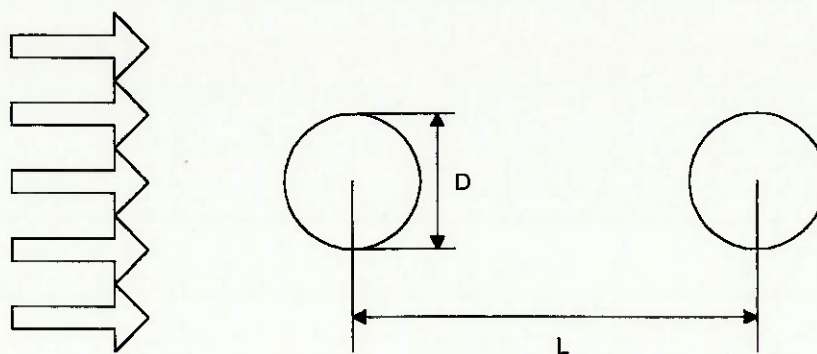


Fig. 4.6 - Geometria da interferência.

Assim, para várias relações  $L/D$  diferentes tem-se:

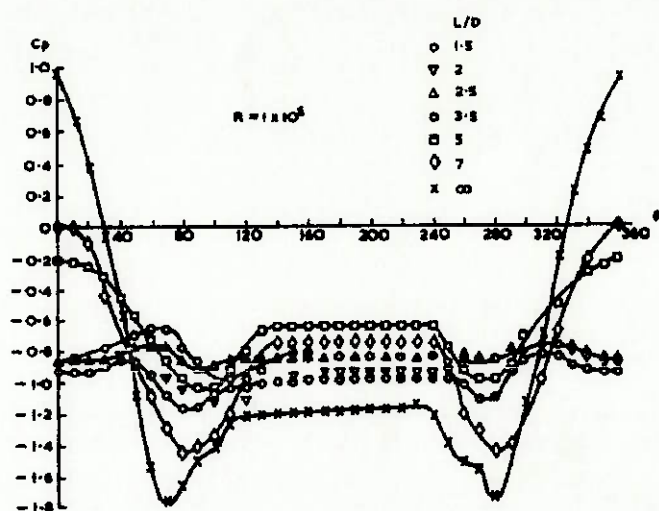
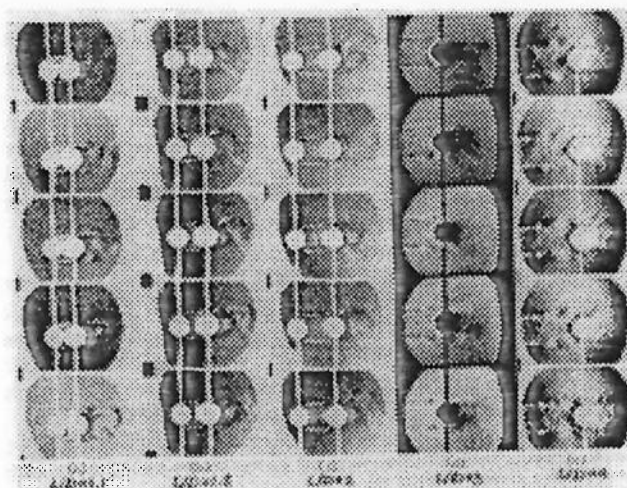


Fig. 4.7 - Perfil da distribuição de pressões para vários  $L/D$  diferentes.

(ZDRAVKOVICH - 1977)

Embora cada curva, para um determinado  $L/D$ , siga uma certa tendência semelhante, são curvas diferentes e terão como resultado um arrasto diferente para cada relação  $L/D$ .

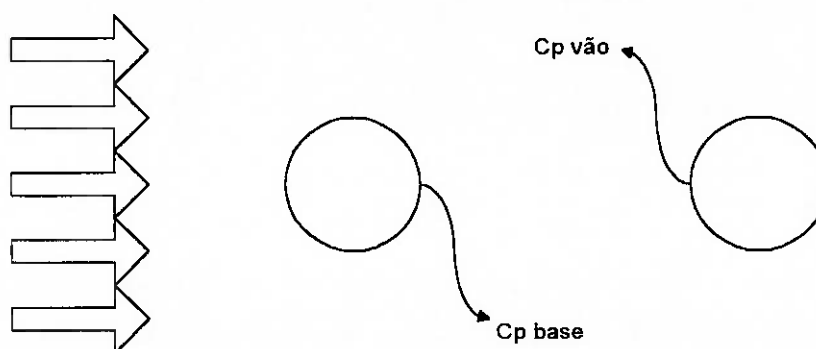
A emissão dos vórtices que causarão a esteira atrás do corpo também se altera bastante. A uma determinada distância relativa entre o corpo de vante e o corpo de ré, os vórtices surgem atrás do corpo de ré; em outras distâncias, surgem entre os dois corpos.



**Fig. 4.8 -** Imagens de emissões de vórtices para vários  $L/D$  diferentes.

(ZDRAVKOVICH -1977)

Há também uma descontinuidade na variação de pressões no "vão" entre os dois corpos. Para compreender este fenômeno são necessários dois conceitos adicionais: o coeficiente de pressões de base (que é o coeficiente de pressões exatamente atrás do corpo de vante) e o coeficiente de pressões de vão (que é o coeficiente de pressões do ponto mais avançado do corpo à ré).



**Fig. 4.9 -** Coeficientes de pressão entre dois corpos.

A descontinuidade de pressões entre estes dois pontos, numa determinada distância, dá um salto grande. Este salto ora é de acréscimo, ora é de redução, dependendo da relação  $L/D$ , como pode ser visto na figura abaixo.

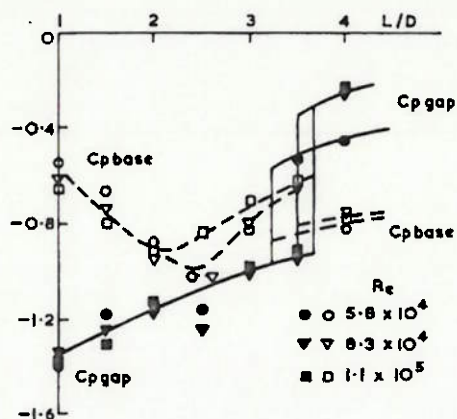


Fig. 4.10 - Descontinuidade na distribuição de pressões entre dois corpos.

(ZDRAVKOVICH -1977)

Além destes fenômenos, é necessário alertar sobre os efeitos do número de Reynolds no arrasto nestes escoamentos, principalmente no caso de corpos arredondados, como o cilindro. Esta influência pode ser vista no gráfico da figura que se segue.

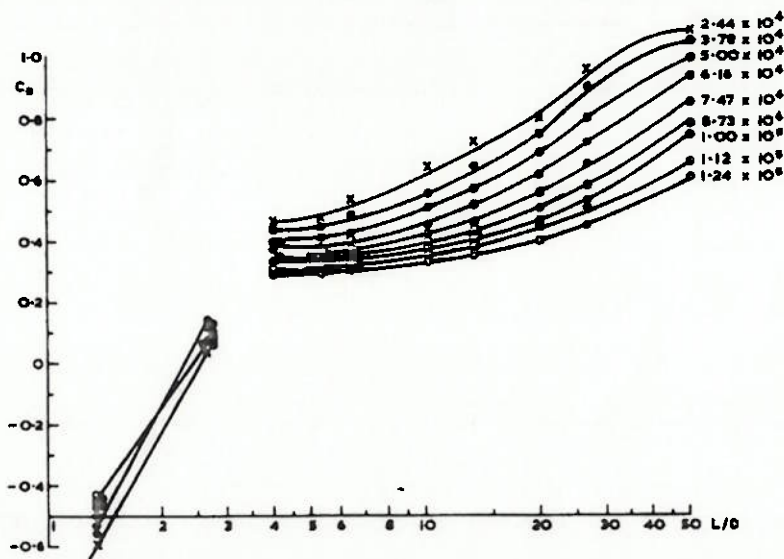


Fig. 4.11 - Variação do coeficiente de arrasto com o  $L/D$ , para vários números de Reynolds. (ZDRAVKOVICH -1977)

Todos os dados aqui apresentados, indicam que o fenômeno da interferência é extremamente complexo e, apesar de se ter um certo "sentimento físico" do que acontece, o assunto se complica no momento de determinar o arrasto ou qualquer outra força hidrodinâmica. Além disto, os exemplos e a discussão acima foram feitos sobre dois cilindros alinhados, ao passo que, quando se estudam estes mesmos cilindros num arranjo qualquer, vê-se que para cada posição relativa entre os dois cilindros existe um escoamento diferente e conseqüentemente os fenômenos físicos levantados acima devem ser tratados de outro modo como se vê pela figura abaixo.

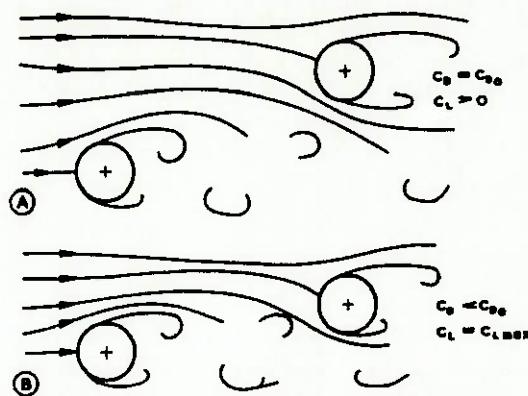
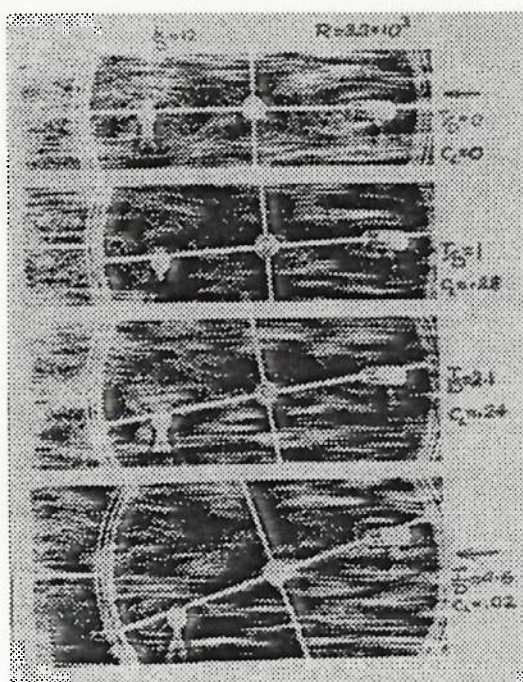


Fig. 4.12 - Interferência entre dois cilindros em diferentes T/D. (ZDRAVKOVICH - 1977)



**Fig. 4.13** - Visualização de escoamentos para várias posições relativas diferentes.

(ZDRAVKOVICH -1977)

Também quando se pensa em estudar vários corpos diferentes em várias situações de interferências, pode se ter uma idéia da dificuldade e complexidade de se obterem os coeficientes de forças hidrodinâmicas viscosas para um corpo complexo formado por outros corpos bojudos menores com interferência entre eles.

Como este cálculo é feito atualmente? Como se quantifica este fenômeno da interferência? São as questões que se tenta responder na seção seguinte.

## 4.2. Metodologias Existentes - Estado da Arte.

Historicamente, a engenharia naval vem enfatizando a pesquisa em áreas relacionadas ao escoamento em corpos afilados, com perfil hidrodinâmico. Este enfoque é correto, já que a maior parte das embarcações possui este formato, como por exemplo o casco de navios, submarinos, torpedos, etc. Mas o fato de se concentrar os esforços nesta área teve como resultado dar pouca atenção à hidrodinâmica de corpos bojudos.

Atualmente a engenharia naval tem se ocupado muito do projeto de embarcações e estruturas próprias para a exploração *off-shore*. Para atender a este uso, plataformas e veículos de apoio à exploração tem sido objeto do desenvolvimento de projetos e pesquisas em engenharia naval. Aqui, a forma dos corpos não é mais aquela afilada que se vinha estudando, mas se trata de formas compostas por vários corpos bojudos. Uma plataforma semi-submersível, por exemplo, é uma verdadeira teia de tubos, apoiada sobre dois cascos submersos, com vários equipamentos dentro desta teia de tubulações. Estas diferenças no projeto hidrodinâmico necessitam de um método alternativo para prever e calcular as forças hidrodinâmicas.

O problema do cálculo das forças hidrodinâmicas de estruturas ou veículos compostos por corpos bojudos reside no problema da interferência de um corpo sobre o outro, o que causa uma alteração nas características do escoamento que torna impossível uma modelagem matemática exata. HOERNER (1965) diz que o cálculo das forças hidrodinâmicas causado pela interferência "é complicado e métodos específicos para resolver estes problemas de acordo com os princípios da teoria aerodinâmica ainda não foram desenvolvidos" (HOERNER, 1965, p. 8-1). Mas estimula a procura de uma solução: "o fenômeno físico da interferência pode ser expresso; e funções aproximadas, bastante razoáveis, podem ser apresentadas" (HOERNER, 1965, p. 8-1).

Vê-se pela natureza complexa do fenômeno físico que este assunto é pouco conhecido, mas como o próprio HOERNER diz, formulações aproximadas podem descrever satisfatoriamente o fenômeno.

Ele próprio propõe diversas formulações para problemas específicos, mas nada que tenha aplicação genérica. Diz que a força de arrasto da interferência poderia ser descrita por:

$$\Delta D = D_{1+2} - (D_1 + D_2) \quad (4.1)$$

onde  $\Delta D$  é o arrasto de interferência,  $D_{1+2}$  é o arrasto total dos dois corpos e  $D_1$  e  $D_2$  são os arrastos dos dois corpos separados em escoamento livre.

HOERNER faz também um estudo sobre o arrasto entre dois corpos bojudos, depois o arrasto de metades de corpos 3-D junto a uma parede, e tira consequências práticas para a interferência entre a fuselagem e a cabine do avião e também sobre a fuselagem e o tanque de combustível num avião. Trata também da interferência entre barra de perfil aerodinâmico, como uma asa, e uma parede apresentando resultados da variação da inclinação de ângulo entre uma barra e uma parede:

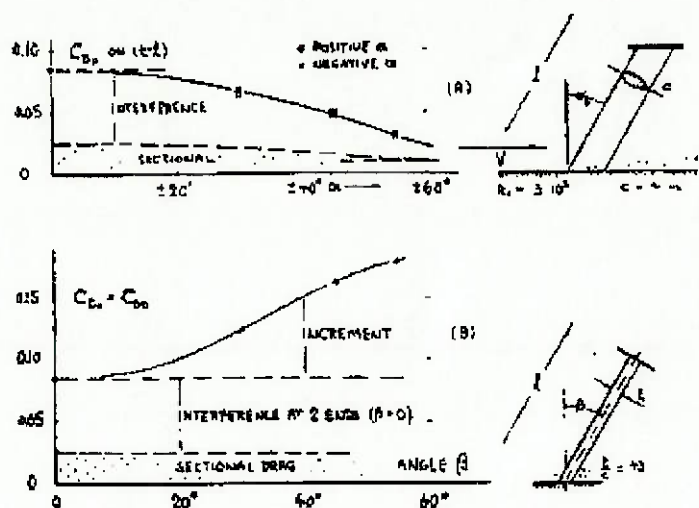


Fig. 4.14 - Interferência entre parede e barra inclinada. (HOERNER - 1965)

Também trata de junções de duas asas para apresentar dados práticos da interferência entre a cauda do avião e a sua fuselagem e também da junção de dois tubos.

HOERNER inclui um estudo sobre a variação no arrasto em asas devido ao arrasto "parasita" correspondente à camada-limite, a perdas de pressão causadas pela presença de um outro corpo. Finaliza com um estudo sobre a disposição das asas no corpo do avião, apresentando várias configurações e seus resultados.



Há outros trabalhos onde se estuda com mais detalhes a interferência entre duas barras cilíndricas, como os trabalhos de ZDRAVKOVICH (1977) e de BEARMAN, P.W.; WADCOCK, A.J. (1973). Também BLEVINS (1984) apresenta vários casos de interferência.

Voltando ao enfoque que se quer dar de encontrar um método alternativo para calcular as forças em corpos bojudos, poucos resultados práticos de HOERNER podem ser utilizados para se propor uma alternativa para o projeto hidrodinâmico do ROV.

As normas das sociedades classificadoras, ao propor um cálculo para estruturas *off-shore*, utilizam o método da superposição simples com algumas correções para determinados casos. O método da superposição consiste em partir toda a estrutura em pedaços menores. O arrasto sobre cada um destes componentes é calculado e o arrasto total é obtido pela soma do arrasto individual de todos os componentes. Embora esta técnica seja simples, pode gerar resultados bastante errôneos.

As sociedades classificadoras, atentas a este erro, procuram dar correções para ele. A DNV (DET NORSKE VERITAS - 1977) propõe dois efeitos, o de solidificação e o de sombreamento. O efeito de solidificação é uma correção para o caso de estruturas treliçadas, como uma plataforma. A força é dada por:

$$F_{sol.} = C_e \cdot q \cdot A \cdot \phi \cdot \text{sen } \alpha \quad (4.2)$$

onde :

$C_e$  É o coeficiente de forma efetivo dado pela seguinte tabela:

Razão de Solidificação - $\phi$	Membros de faces planas	Seções Circulares ( $R_e < 4.2 \cdot 10^5$ )	Seções Circulares ( $R_e \geq 4.2 \cdot 10^5$ )
0.1	1.9	1.2	0.7
0.2	1.8	1.2	0.8
0.3	1.7	1.2	0.8
0.4	1.7	1.1	0.8
0.5	1.6	1.1	0.8
0.75	1.6	1.5	1.4
1.0	2.0	2.0	2.0

Tabela 4.1 - Coeficiente de forma efetivo.

$$q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \quad (4.3) \text{ , onde } \rho \text{ é a densidade do fluido e } V \text{ é a velocidade do}$$

escoamento.

$A$  é a área projetada dos membros na normal à direção da força.

$\phi$  é a razão de solidificação; é a área exposta projetada na direção do escoamento dividida pela área delimitada pelo contorno do corpo na direção normal à direção do escoamento.

$\alpha$  é o ângulo de ataque.

O efeito de sombreamento computa o arrasto de interferência e é dado por:

$$F_{SH} = F \cdot \eta \quad (4.4)$$

onde  $\eta$  é o fator de sombreamento que é dado na norma.

$\alpha$	$\beta=0,1$	$\beta=0,2$	$\beta=0,3$	$\beta=0,4$	$\beta=0,5$	$\beta=0,6$	$\beta=0,7$	$\beta>0,8$
1,0	1,0	0,96	0,90	0,80	0,68	0,54	0,44	0,37
2,0	1,0	0,97	0,91	0,82	0,71	0,58	0,49	0,43
3,0	1,0	0,97	0,92	0,84	0,74	0,53	0,54	0,48
4,0	1,0	0,98	0,93	0,86	0,77	0,67	0,59	0,54
5,0	1,0	0,98	0,94	0,88	0,80	0,71	0,64	0,60
> 6,0	1,0	0,99	0,95	0,90	0,83	0,75	0,69	0,66

**Tabela 4.2 - Fator de Sombreamento  $\eta$ .**

Na tabela,

$\alpha$  é a razão de espaçamento, ou seja a distância centro a centro de dois corpos dividida pela menor dimensão principal dos dois corpos.

$$\beta = \phi \cdot a$$

onde, por sua vez ,

$\phi$  é a razão de solidificação, que é a área projetada do corpo, dividida pela área delimitada pelo seu contorno.

$a$  é uma constante onde:

$a = 1,6$  para corpos de faces planas.

$a = 1,2$  para corpos de faces arredondadas em conjunção com corpos de faces planas.

$a = 0,5$  para corpos com as duas faces arredondadas.

Estas normas também trazem uma correção para o efeito tridimensional de barras de comprimento finito. Normalmente os dados de coeficientes de arrasto de corpos bojudos são para o caso bidimensional, e aplicá-los no caso tridimensional exige uma correção que é dada por:

$$C_{3-D} = K \cdot C_{\infty} \quad (4.5)$$

e o fator de correção **K** em função da razão  $L/D$  é dado pela tabela abaixo

$L/D$	2	5	10	20	40	50	100	
Cilindros circulares em escoamento sub-crítico	0.58	0.62	0.68	0.74	0.82	0.87	0.98	1.0
Cilindros circulares em escoamento super-crítico	0.80	0.80	0.82	0.90	0.98	0.99	1.0	1.0
Placa plana perpendicular ao escoamento	0.62	0.66	0.69	0.81	0.87	0.90	0.95	1.0

**Tabela 4.3 - Fator de correção de efeitos tridimensionais.**

onde **L** é o comprimento do corpo e **D** é a dimensão principal da seção transversal do corpo.

Deste modo pode-se estimar melhor a força de arrasto sobre uma estrutura.

O BUREAU VERITAS (1987) propõe uma formulação diferente para a interferência entre dois membros, ele apenas propõe uma correção na área através de uma "área exposta reduzida", dada por:

$$A_r = A_1 - A \cdot \left(1 - \frac{r}{7} \cdot D_w\right) \quad (4.6)$$

onde:

- $A_1$  é área do corpo à ré.
- $A$  é a menor área entre o corpo à ré e o à vante.
- $r$  é a distância entre os corpos centro a centro.
- $D_w$  é a dimensão principal do corpo à vante.

O GERMANISCHER LLOYD (1976), numa regra mais antiga, não apresenta nenhuma correção para o método da superposição.

Na maior parte da literatura, simulações em laboratórios e predição/cálculo teórico de escoamentos em corpos bojudos são tratados para corpos bi-

dimensionais estimulados pela necessidade de se conhecer forças de vento em construções.

A ABNT possui uma norma sobre forças devidas ao vento em edificações, a **NBR 6123** de novembro de 1980; ela apresenta muitos dados reunidos sobre coeficientes de arrasto em corpos das mais variadas formas, bem como a correção para corpos finitos da DNV, mostrada anteriormente, e apresenta um procedimento para o cálculo das forças devidas ao vento nas edificações e coeficientes aerodinâmicos para barras prismáticas e reticulados.

O cálculo das forças de vento em edificações também é tratado no **TIMBER CONSTRUCTION MANUAL** (1966) que indica que o cálculo deve ser baseado na *Transaction* do *American Society of Civil Engineers*, que remete aos trabalhos originais de PAGON (1958) sobre forças de vento em estruturas reticuladas. PAGON ensaiou diversas estruturas reticuladas e propôs os valores de redução do arrasto neste tipo de estruturas. Estes valores são a origem deste dado em todas as normas mais ou menos recentes, inclusive na norma da DNV.

Mas estes dados não são totalmente aplicáveis ao cálculo dos coeficientes hidrodinâmicos do ROV, que é o problema em questão, e o método da superposição não é o melhor.

A predição do arrasto por técnicas numéricas ainda possui limites que a curto prazo não possuem uma solução simples.

Com os avanços rápidos na dinâmica dos fluidos computacional dos anos 70 e do início dos anos 80, criou-se a idéia que os computadores poderiam substituir os aparelhos de ensaio em laboratório, como túneis de vento e tanques de provas. Esta visão, equivocada, vem do crescimento muito rápido da capacidade e da performance dos computadores. Está claro que a dinâmica dos fluidos computacional vem dando uma grande contribuição para se entender e resolver determinados problemas de mecânica

dos fluidos de importância científica e tecnológica que apresentam uma dinâmica complexa. O problema de interferência encaixa-se neste rol de problemas complexos.

"Idealmente, dever-se-a ser capaz de resolver um campo de escoamentos inteiro pela solução das equações tridimensionais de Navier-Stockes. Este método, que é conhecido como simulação numérica direta (DNS - *Direct Numerical Simulation*), deve descrever uma faixa ampla de movimentos turbulentos como também fenômenos de transporte do escoamento. O DNS é uma alternativa para a realização experimental em laboratório com todos os aspectos atrativos de exploração e descoberta que são únicos aos experimentos. No entanto, as restrições causadas pelos requisitos de resolução impedem a aplicação prática do DNS na simulação de escoamentos turbulentos com números de Reynolds superiores a  $10^4$ " (GHARIB, 1995). No ROV trabalha-se exatamente em faixas superiores a estas, fato que a curto prazo descartada o uso do DNS.

GHARIB(1995) também afirma que as necessidades práticas da indústria necessitam de soluções intermediárias para escoamentos com altos números de Reynolds e conclui afirmando que deve haver um sinergismo entre a dinâmica dos fluidos computacional e os experimentos para obter uma simulação realística na faixa de número de Reynolds das aplicações práticas.

Levando em conta o que se expôs até agora, atualmente a predição das forças atuando sobre um corpo são normalmente uma mistura de técnicas analíticas, métodos numéricos e dados de resultados experimentais.

Seguindo esta linha, os trabalhos de PEDRED e SAYER (1988) e de SAYER (1993) tem encontrado ótimos resultados. PEDRED e SAYER construíram um sistema especialista que parte de um ROV básico e vai estimando a variação do arrasto devido ao acréscimo de apêndices (outros equipamentos diferentes da estrutura básica do ROV, seus "acessórios"), ou a mudança de posição destes apêndices. Assim, o arrasto

total de um ROV é atribuído ao escoamento sobre o veículo, sobre o apêndice e os efeitos de mútua interferência. Para um apêndice somente, isto pode ser representado por:

$$D_T = D_V + D_A + \sum_{i=1}^N \left( I_{V/A_i} + I_{A_i/V} \right) \quad (4.7)$$

onde  $D_V$  é a força de arrasto de um veículo "limpo" (isto é, sem apêndices),  $D_A$  é a força de arrasto total dos apêndices, no escoamento livre,

$$I_{V/A_i} \text{ e } I_{A_i/V}$$

são os termos de interferência do veículo sobre os apêndices e da interferência dos apêndices sobre o veículo, respectivamente. Dado que o veículo possui múltiplos apêndices próximos um do outro, termos adicionais devem ser introduzidos para contabilizar a interferência mútua entre os próprios apêndices, gerando a seguinte equação:

$$D_T = D_V + D_A + \sum_{i=1}^N \left( I_{V/A_i} + I_{A_i/V} \right) + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N I_{A_i/A_j} \quad (4.8)$$

onde  $N$  é o número de apêndices e  $I_{A_i/A_j}$  é a interferência mútua entre os apêndices  $A_i$  e

$A_j$ .

Para estudar cada um destes efeitos, PEDRED e SAYER, acharam conveniente trabalhar em termos de um coeficiente de interferência,  $K_i$ :

$$K_i = \frac{\Delta D_V}{\sum_{i=1}^N D_{A_i}} \quad (4.9)$$

onde  $\Delta D_V$  é a flutuação no arrasto do veículo (devido ao acréscimo de apêndices) e  $\sum_{i=1}^N D_{A_i}$  é a somatória dos arrastos dos componentes em escoamento livre. Está implícito que  $K_i$  leva em conta os efeitos de interferência de (4.7) e (4.8). Podemos então escrever:

$$D_T = D_r + \sum_{i=1}^N [D_A \cdot K_i] \quad (4.10)$$

SAYER e PEDRED, afirmam que o grande problema está na determinação dos  $K_i$ s e que o arrasto da maioria dos apêndices isolados pode ser estimada ou extrapolada de dados publicados para formas simples.

Para estimativa destes  $K_i$ s utilizam um modelo de regras por indução. Utilizam o algoritmo de indução chamado *ID3 (Interactive Dichotomizer)*. Este método baseia-se numa busca heurística dirigida pela probabilidade das diversas alternativas. Baseando-se nestas possibilidades o algoritmo dirige o caminho a ser percorrido na árvore de decisões. PEDRED e SAYER propõe um sistema especialista que tem como entrada uma situação concreta de interferência. Há uma base de dados com diversos exemplos de interferência. O sistema compara a situação concreta com a base de dados e, depois de varrer toda a base de dados, junta todos os exemplos semelhantes numa "regra" que será "induzida" (produzida) para o sistema. O protocolo desta busca, dado um exemplo, é:

- (i) Um subconjunto da base de dados é selecionado (a "janela").
- (ii) A função baseada nas probabilidades é aplicada à janela corrente.
- (iii) A base de dados inteira é varrida para encontrar as exceções para uma "regra".
- (iv) Se existem exceções, elas são inseridas na janela e a execução do programa recomeça no passo (ii); do contrário, o algoritmo pára e a "regra" é mostrada.

Estes resultados, em uma "regra" correta, serão gerados somente com uma pequena parte dos exemplos que estão armazenados na memória do computador.

Os autores não explicam como obtêm os coeficientes de interferência, e faltou também retomar a discussão sobre os  $K_i$ s. O sistema proposto possui alguns pontos falhos. O primeiro é a pequena flexibilidade de uma árvore de decisões: ao se criar um novo nó, todas as relações entre os nós de um mesmo ramo terá de ser refeita.



Também a busca parece ser lenta, uma vez que varre toda a base de dados (passo (iii)) e que este passo pode ser repetido diversas vezes (passo (iv)). A forma da representação do conhecimento também merece uma crítica. SAYER e PEDRED propõem um método da forma das "regras" do tipo:

**SE** (premissa) **ENTÃO** (conclusão).

Se numa "regra" possuo um grande número de exemplos, o número de exemplos destas expressões será grande e novamente cai-se no problema de ter um sistema lento por varrer um número muito grande de expressões.

Mas o caminho aberto por eles é muito interessante; talvez não proponham o melhor sistema e metodologia mas parece ser este meio termo de que se falava antes entre técnicas analíticas, métodos numéricos e dados de resultados experimentais. Os resultados apresentados no trabalho de SAYER e PEDRED indicam isto.

Flutuação na força de arrasto (%)	Razão de Predições Corretas	Percentagem de Predições Corretas (%)
5<CA<10	10/16	63
0<CA<5	41/41	100
-5<CA<0	34/36	94
-10<CA<-5	22/24	92
-15<CA<-10	7/8	88
-35<CA<-15	2/6	33
<b>TOTAL</b>	<b>116/131</b>	<b>78</b>

**Tabela 4.4 - Resultados do Método de SAYER e PEDRED.**

Ao prosseguir o desenvolvimento deste método, SAYER (1993) indica que o uso deste sistema para uma variação no coeficiente de arrasto de 20% consegue

um erro de 5% em 80% dos casos rodados. Novamente valida a sua metodologia como uma alternativa a ser seguida para calcular as forças hidrodinâmicas que atuam num ROV.

Um problema que se encontra nesta metodologia é o pequeno número de dados ensaiados para a determinação destes coeficientes de interferência. SAYER (1993) mostra a necessidade deste dados ensaiando e publicando vários destes dados de coeficientes de interferência.

O cálculo das forças hidrodinâmicas num veículo composto por corpos bojudos por este método é controvertido, uma vez que há uma aproximação no cálculo dos coeficientes e a geometria também é simplificada, mas parece ser um meio termo interessante entre o método da superposição simples e a espera de códigos e de máquinas suficientemente rápidos para resolver numericamente as equações de Navier-Stokes.

No compasso de espera de uma solução precisa, sistemas utilizando metodologias que aliem o uso de bancos de dados e técnicas de inteligência artificial parecem ser algo que melhorará muito a condição do usuário final, o engenheiro projetista, ou os técnicos que operam este tipo de veículo.

Existem muitas dúvidas a respeito do complexo fenômeno de interferência entre corpos num escoamento e esta metodologia precisará andar de mãos dadas à realização de ensaios para ir determinando seus limites.

## 5. Proposta para Cálculo de Coeficientes de Forças Hidrodinâmicas de Natureza Viscosa com o Sombreamento.

Este capítulo tratará de uma metodologia que permita estimar os coeficientes hidrodinâmicos do ROV, se apresentará a metodologia para lidar com o mecanismo do sombreamento.

O arranjo de um ROV é bastante simples: uma estrutura tubular suporta uma série de equipamentos e propulsores, e um volume de espuma sintética garante as condições de flutuabilidade necessárias.

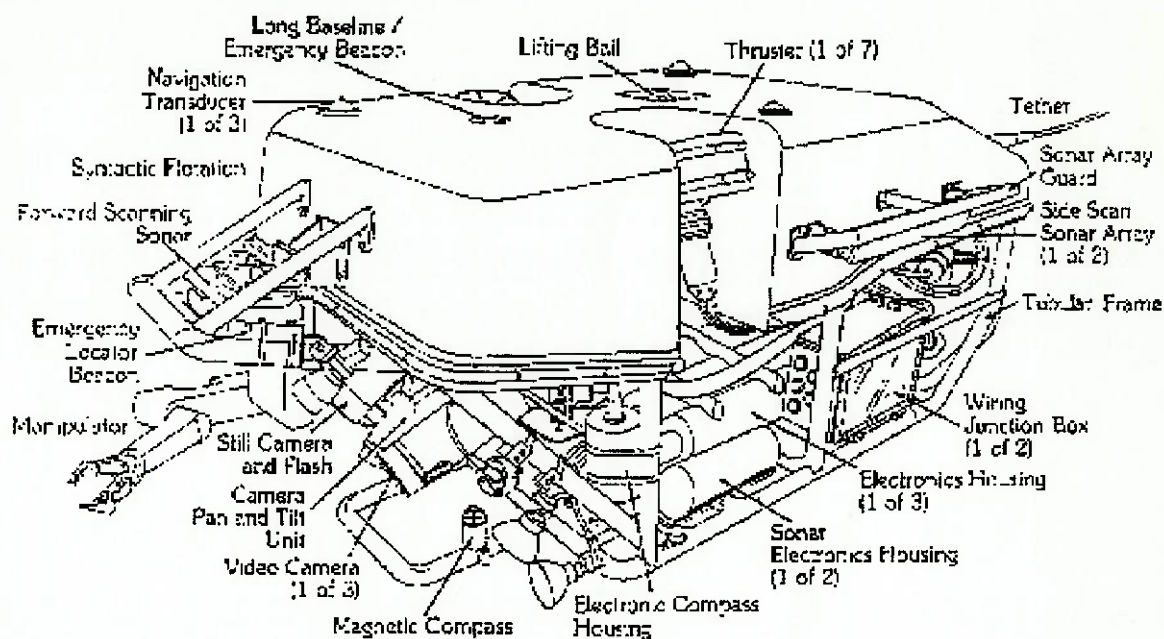


Fig. 5.1 - Exemplo de um ROV (GRAZKE et alli, 1993, p. 505).

Esta geometria não se assemelha à que é enfocada normalmente pela hidrodinâmica, que estuda principalmente corpos esguios e afilados, como o casco de um navio, submarinos, torpedos, etc. Como já foi comentado, a atenção destinada a corpos bojudos vem do cálculo de forças do vento sobre construções. Há muita literatura e ensaios de laboratório sobre este assunto para formas bidimensionais e algumas correções para os casos tridimensionais.

O método indicado por estas referências é o método da superposição, ou seja, calcula-se o arrasto sobre cada um dos componentes da estrutura e depois somam-se os valores obtidos, chegando-se assim ao arrasto total da estrutura. Esta técnica é passível de grandes erros por negligenciar os efeitos da interferência entre um corpo e outro.

As técnicas computacionais fluido-dinâmicas ainda não são capazes de oferecer uma contribuição significativa no campo dos ROVs, principalmente pelas seguintes razões: a complexidade do conjunto que forma o "casco" do ROV e as necessidades computacionais envolvidas.

A metodologia adotada neste trabalho procura um meio-termo entre os dois enfoques expostos acima: aliar à técnica da superposição um algoritmo capaz de contabilizar os efeitos da interferência de um corpo sobre outro. Assemelha-se ao método de SAYER E PEDRET por buscar aliar a superposição a um método computacional, mas o supera por apresentar uma generalização para todos os componentes de uma estrutura, ou veículo, e não trabalhar com o esquema veículo-apêndices proposto por SAYER E PEDRET. Também diferencia-se pelo uso de uma técnica de IA diferente da que os dois autores usam.

Para calcular os coeficientes, foi desenvolvido um sistema especialista baseado numa técnica de inteligência artificial chamada JTMS (*Justification-Based Truth Maintenance System*), que será melhor explicada num capítulo posterior. Este sistema especialista funciona como um banco de dados inteligente que utilizando os dados que possui e regras de aproximação procura encontrar o melhor coeficiente que represente a interferência sobre um corpo.

Convém fazer desde já uma ressalva: este método não pretende substituir um ensaio em tanque de provas ou túnel de vento; vem apenas para responder a uma série de perguntas nas fases iniciais do projeto e em eventuais alterações no arranjo do ROV em fases mais adiantadas do projeto.

## 5.1. Modo de Tratar a Interferência.

Este estudo realizou-se primeiro, com o método da superposição simples para uma estrutura no mesmo plano. Aqui só se efetuaram as correções previstas para a tridimensionalidade de dados de barras bidimensionais. Depois analisa-se o mecanismo do sombreamento propriamente dito apresentando um modo de calcular este efeito e como sobrepô-lo no caso de uma interferência múltipla tridimensional.

### 5.1.1. Superposição Simples.

Consideram-se os sólidos simples e as barras de um modo geral. Deve-se ter o cuidado de aplicar os fatores de correção para barras de comprimento finito, uma vez que os dados dos coeficientes fornecidos pela literatura são para o caso bidimensional.

A metodologia a ser adotada deve levar em conta a posição relativa de barras em relação ao escoamento. As barras podem estar normais ao escoamento, como na figura abaixo.

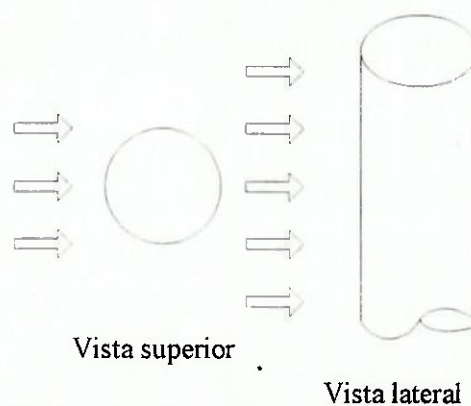


Fig. 5.2 - Barra normal ao escoamento.

Assim a seção transversal que o escoamento "enxerga" é sempre a mesma; ou então as barras podem estar oblíquas ao escoamento, caso em que surge um gradiente de pressão ao longo do comprimento da viga.

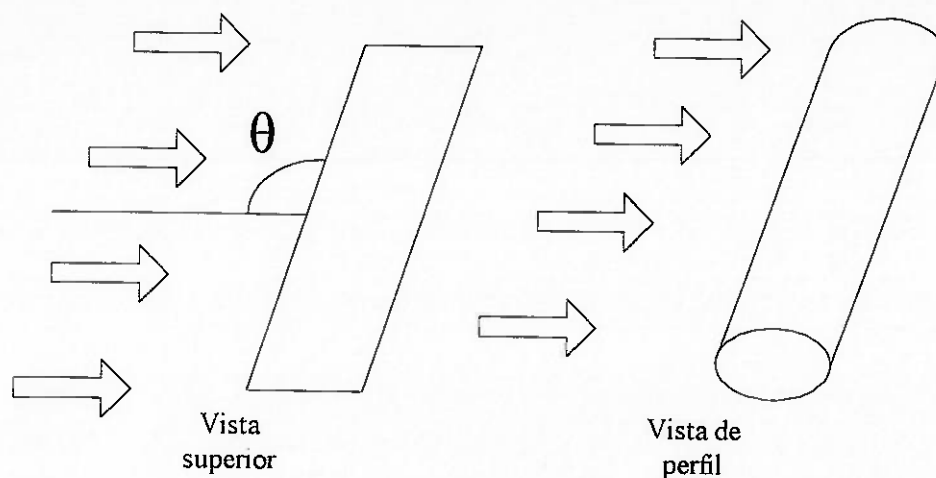


Fig. 5.3 - Barra oblíqua ao escoamento.

Agora, a área da seção transversal passa a ser função do ângulo de incidência do escoamento sobre a barra ( $\theta$ ).

Um fluxograma que representa o método empregado é:

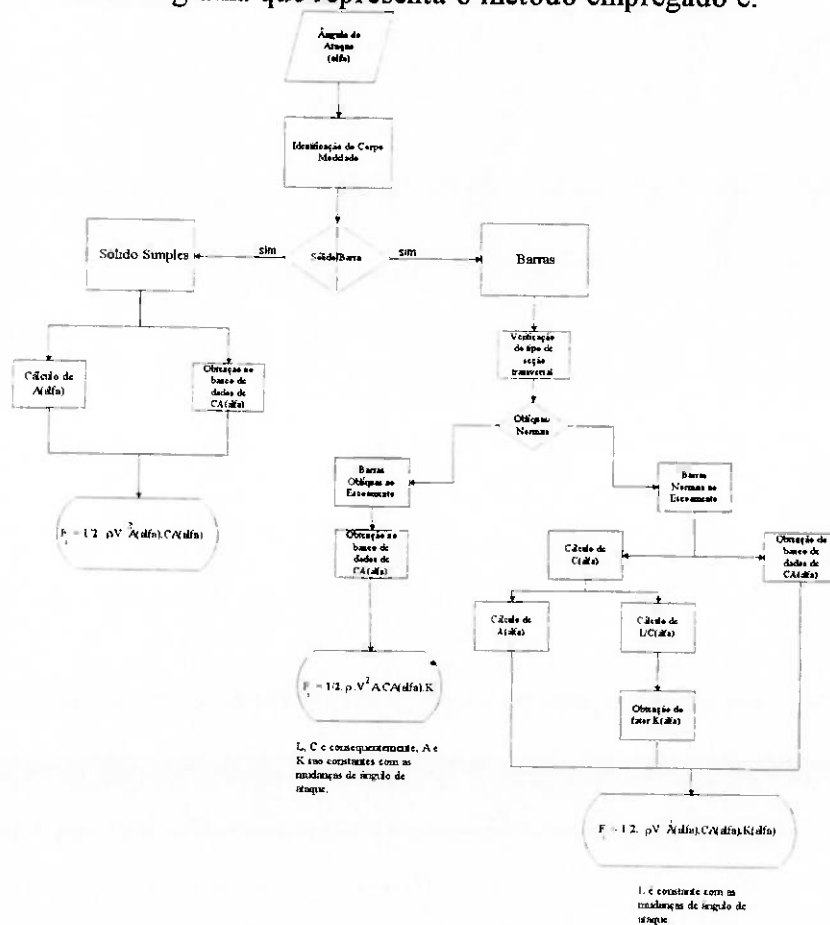


Fig. 5.4 - Fluxograma utilizado para o cálculo do método da superposição.

onde,

$A$  é a área exposta ao escoamento;

$CA$  é o coeficiente de arrasto;

$r$  é a densidade do fluido;

$L$  é o comprimento da viga;

$C$  é a largura da barra projetada na direção do escoamento; e

$K$  é o fator de redução para barras de comprimento finito.

obtendo-se a força de arrasto sobre cada elemento,  $F_i$ , faz-se a somatória do conjunto das forças,

$$F_t = \sum_{i=1}^n F_i \quad (5.1)$$

e finalmente obtém o coeficiente de arrasto total para determinado ângulo de ataque ( $\alpha$ ),

$$CA(\alpha) = \frac{F_t}{0,5 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A_t} \quad (5.2)$$

onde  $A_t$  é a área exposta total do corpo.

Para analisar este método utilizou-se uma estrutura simples ensaiada para vários ângulos de ataque, com os resultados do ensaio publicados. Os dados encontrados na literatura e que mais simplificada se assemelham a este projeto foram de ensaios de forças de vento em torres de alta tensão. A geometria da estrutura ensaiada é

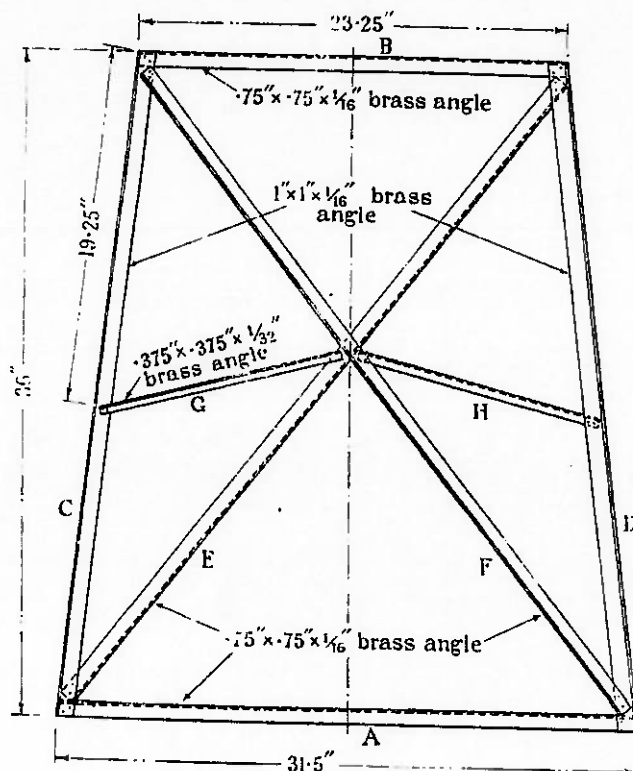


Fig. 5.5 - Torre ensaiada para verificar a metodologia (BRITISH ELECTRICAL AND ALLIED INDUSTRIES RESEARCH ASSOCIATION, 1935, p. 191).

Todas as barras são de perfil L, e o seu CA varia somente com o ângulo de ataque:

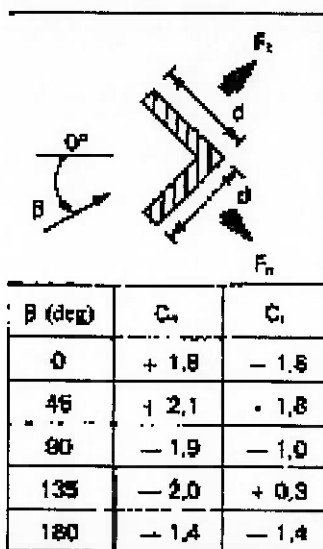


Fig. 5.6 - Coeficientes de arrasto para barra de perfil L (BUREAU VERITAS, 1987, p. 16).

A partir da tabela de coeficientes de redução para barras de comprimento finito:

$l/c$	2	5	10	20	40	50	100	∞
-------	---	---	----	----	----	----	-----	---



Placa plana perpendicular ao vento	0,62	0,66	0,69	0,81	0,87	0,9	0,95	1,0
---------------------------------------	------	------	------	------	------	-----	------	-----

Tabela 5.1 - Coeficientes de correção para barras de comprimento finito.(NBR 6132).

construiu-se uma curva e obteve-se os coeficientes de uma polinomial que representasse bem a curva abaixo:

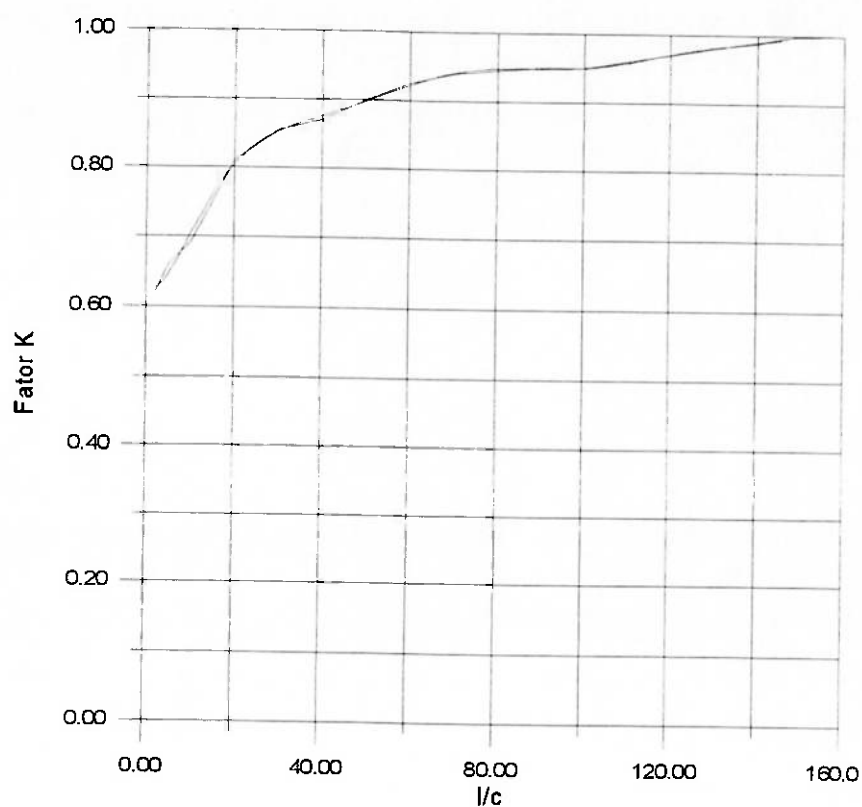


Fig. 5.7 - Curva polinomial do fator de correção de barras de comprimento finito.

a0	0.624255
a1	-0.00294553
a2	0.00199035
a3	-0.00012113
a4	3.55218E-006
a5	-5.95855E-008

a6	6.03248E-010
a7	-3.6917E-012
a8	1.2992E-014
a9	-2.28119E-017
a10	1.29788E-020

**Tabela 5.2 - Coeficientes da polinomial da curva do fator de correção para barras de comprimento finito.**

Assim, obtiveram-se os seguintes resultados:

Ângulo de ataque	F. Exata (N)	F. Estm. 1 (N)	F. Estm. 2 (N)	Erro 1	Erro 2
0	19.2163	22.80340	20.25421	18.67%	5.40%
5	19.1274	22.23431	19.65699	16.24%	2.77%
10	18.9049	21.20122	18.68690	12.15%	1.15%
15	18.5491	20.09687	17.69642	8.34%	4.60%
20	18.0153	19.15449	16.88039	6.32%	6.30%
25	17.3925	18.36152	16.20855	5.57%	6.81%
30	16.6363	17.67293	15.59128	6.23%	6.28%
40	14.6791	16.35127	14.56855	11.39%	0.75%
50	12.3661	15.53398	13.89407	25.62%	12.36%

**Tabela 5.3 - Resultados da metodologia descrita.**

Nessa tabela, consideram-se duas estimativas; a estimativa 1 não leva em consideração o fator de redução  $K$ , e a estimativa 2 considera-o em seus cálculos.

Os resultados da estimativa 2, que são os resultados do método descrito até agora, estão dentro de uma faixa de erro aceitável; são resultados "bons". Nota-se que a 25 e 30 graus, o erro da estimativa 1 é menor que o da estimativa 2. Num primeiro

momento, é difícil identificar as possíveis fontes destes desvios, mas com o decorrer do desenvolvimento do trabalho e da aplicação do método em outros corpos estas questões se tornarão mais claras.

### 5.1.2. Método de Cálculo do Sombreamento.

A metodologia desenvolvida nesta seção ainda merecerá um amadurecimento maior devido à complexidade do fenômeno físico que se pretende modelar. Num primeiro momento, podemos considerar a interferência membro a membro entre barras na vertical; assim, todos os parâmetros geométricos poderão ser escritos em função de dois parâmetros:

$$L/D ; e \quad (5.3)$$

$$T/D.$$

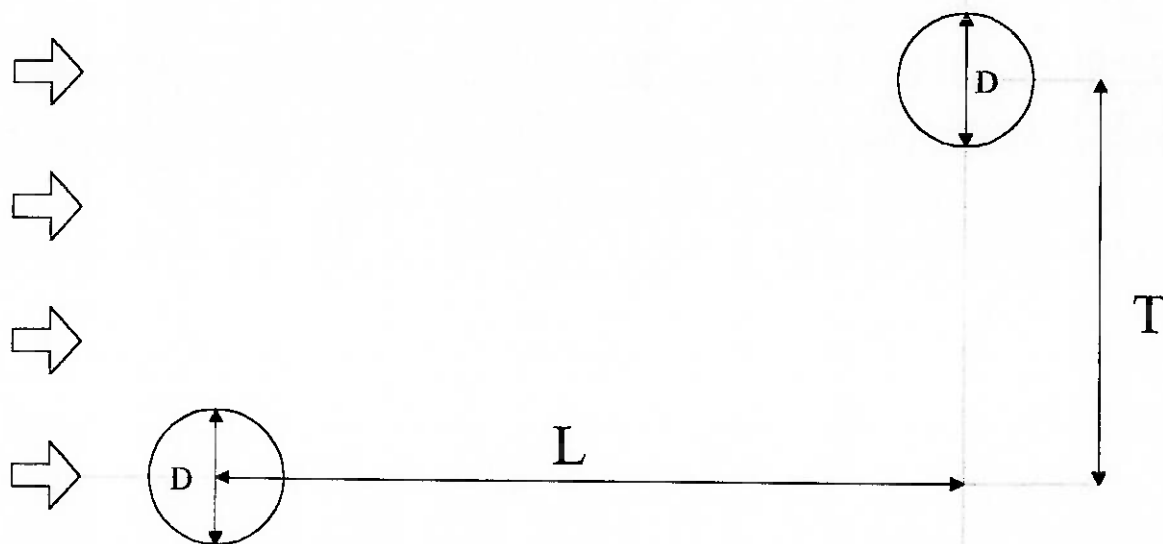


Fig. 5.8 - Interferência entre duas barras de seção circular.

Estes dois parâmetros localizam perfeitamente a posição relativa de um corpo atrás de outro, inclusive para a variação de ângulos de ataque. É claro que a abordagem feita acima se refere a um só plano, por exemplo o horizontal.

Neste exemplo acima tanto faz o ângulo relativo entre o escoamento e o cilindro, mas no caso de seções transversais diferentes, como um perfil L, deve-se levar em conta as variações da largura exposta ao escoamento,  $C(\alpha)$  e ao  $CA(\alpha)$ . Assim para perfis L, temos:

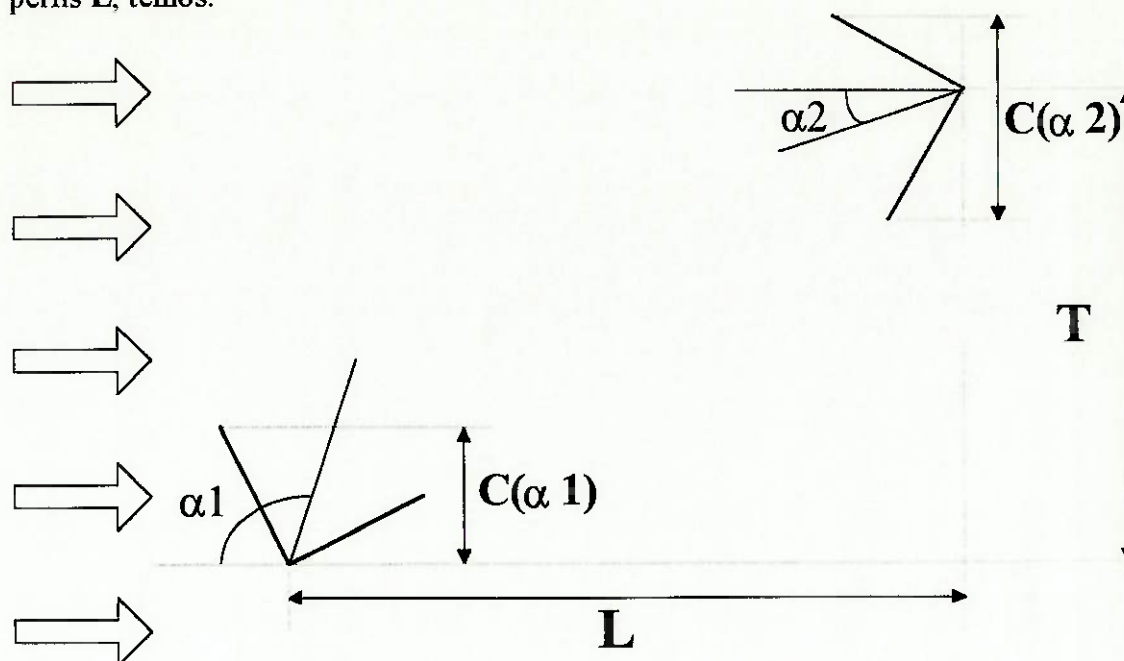


Fig. 5.9 - Interferência entre duas barras com perfil L.

Conclui-se que os dois parâmetros podem ser escritos para um caso genérico como:

$$\frac{L}{C_\alpha} \quad \text{e} \quad \frac{T}{C_\alpha} \quad (5.4)$$

Aparece uma dificuldade para representar a interferência por estes dois parâmetros no caso em que temos corpos com dimensões diferentes, mas por enquanto considera-se  $Ca$  constante. Assim os coeficientes de arrasto são função de:

$$CA_1 = CA_1(C\alpha_1, \alpha_1) \quad (5.5)$$

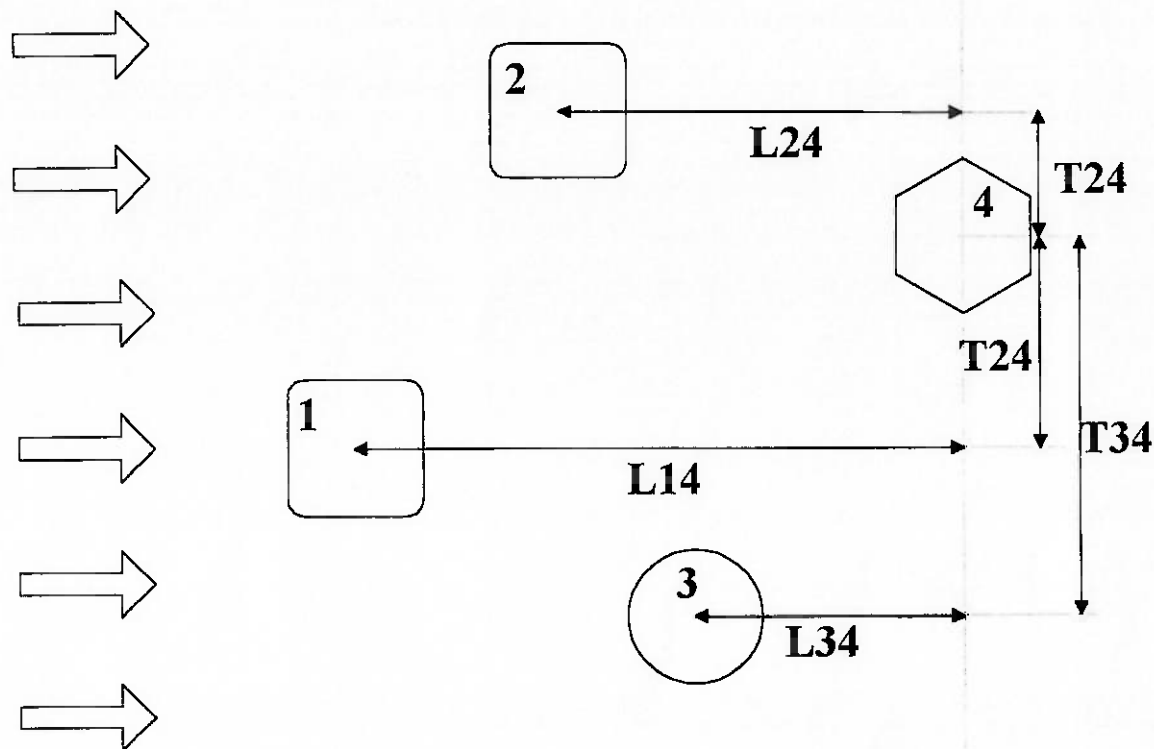
$$CA_2 = CA_2(C\alpha_2, \alpha_2, L/C\alpha, T/C\alpha) \quad (5.6)$$

Só coeficiente de arrasto do segundo membro é função dos parâmetros que caracterizam a interferência. Este poderia ser escrito como:

$$CA_2 = CA_2(C\alpha_2, \alpha_2) \times SB(L/C\alpha, T/C\alpha) \quad (5.7)$$

onde **SB** é definido como o **coeficiente de sombreamento**, que indica a percentagem de variação no **CA** do corpo num fluxo livre de interferências.

Deste modo uma interferência múltipla poderia ser escrita como:



**Fig. 5.10 - Interferência múltipla.**

$$CA_4 = CA_4(C\alpha_4, \alpha_4) \cdot SB_{14}(L_{14}/C\alpha_{14}, T_{14}/C\alpha_{14}) \cdot SB_{24}(L_{24}/C\alpha_{24}, T_{24}/C\alpha_{24}) \cdot SB_{34}(L_{34}/C\alpha_{34}, T_{34}/C\alpha_{34})$$

$$CA_3 = CA_3(C\alpha_3, \alpha_3) \cdot SB_{13}(L_{13}/C\alpha_{13}, T_{13}/C\alpha_{13}) \cdot SB_{23}(L_{23}/C\alpha_{23}, T_{23}/C\alpha_{23}) \quad (5.8)$$

$$CA_2 = CA_2(C\alpha_2, \alpha_2) \cdot SB_{12}(L_{12}/C\alpha_{12}, T_{12}/C\alpha_{12})$$

$$CA_1 = CA_1(C\alpha_1, \alpha_1)$$

Há uma grande dúvida, como computar o sombreamento múltiplo? Acima fez-se o produto simples, mas não será uma simplificação grande? Como calcular este sombreamento?, por uma soma ponderada?, ou o quê?

Relembrando os conceitos básicos descritos no Capítulo 2, pode-se sugerir alguns modos de se ponderar este sombreamento múltiplo. Uma primeira forma

será uma soma ponderada entre os coeficientes de arrasto e as distâncias relativas, tanto **L** como **T**, lembrando que,

$$SB = f((1-e^{-T}), (1-e^{-L})) \quad (5.9)$$

Assim quanto maior a distância **L**, e/ou maior a distância **T**, o sombreamento tenderá para 1. Assim:

$$SB_4 = \frac{SB_{14} \cdot \left(1 - e^{-\frac{T_{14}}{D_{14}}}\right) \cdot \left(1 - e^{-\frac{L_{14}}{D_{14}}}\right) + SB_{24} \cdot \left(1 - e^{-\frac{T_{24}}{D_{24}}}\right) \cdot \left(1 - e^{-\frac{L_{24}}{D_{24}}}\right) + SB_{34} \cdot \left(1 - e^{-\frac{T_{34}}{D_{34}}}\right) \cdot \left(1 - e^{-\frac{L_{34}}{D_{34}}}\right)}{\left(1 - e^{-\frac{T_{14}}{D_{14}}}\right) \cdot \left(1 - e^{-\frac{L_{14}}{D_{14}}}\right) + \left(1 - e^{-\frac{T_{24}}{D_{24}}}\right) \cdot \left(1 - e^{-\frac{L_{24}}{D_{24}}}\right) + \left(1 - e^{-\frac{T_{34}}{D_{34}}}\right) \cdot \left(1 - e^{-\frac{L_{34}}{D_{34}}}\right)} \quad (5.10).$$

Outra forma simples seria a simples média aritmética.

$$SB_4 = \frac{SB_{14} + SB_{24} + SB_{34}}{3} \quad (5.11)$$

Para aplicar a metodologia aqui descrita vê-se uma dificuldade, possuir um banco de dados de coeficientes hidrodinâmicos o mais completo possível para possuir os dados necessários para os cálculos. É claro que não existe algo tão completo assim, portanto no próximo capítulo desenvolver-se-á um procedimento de instalação desta metodologia.

## **6. Estruturação do Banco de Dados para o Sistema Especialista de Obtenção de Coeficientes de Sombreamento.**

Para implantar a metodologia descrita na seção anterior precisamos pormenorizar como aplicar os coeficientes de sombreamento. Que decisões precisa-se tomar para obtê-los? Como considerar os casos de interferência?

Para calcular os coeficientes hidrodinâmicos do ROV, podemos fixar um sistema de referências no veículo e varrer separadamente os planos XY, YZ e XZ. Assim para cada plano obteremos uma curva dos coeficientes hidrodinâmicos para vários ângulos de ataque diferentes.

Ao varrer cada um destes planos, num determinado ângulo de ataque, deve haver um sistema capaz de identificar quais são as interferências que um corpo sofre e ir definindo um coeficiente de sombreamento global para este corpo. Para entender melhor o que se quer dizer vamos utilizar um exemplo a partir da figura 5.10.

O sistema especialista deve identificar o corpo número 4 e ser capaz de responder a seguinte pergunta: "Quais são os corpos que interferem sobre mim para que não tenha o escoamento livre?", depois que o sistema identifique os corpos 1, 2 e 3 ele deve fazer uma série de novas perguntas: "Qual é o melhor coeficiente de sombreamento a ser aplicado para representar a interferência que o corpo 1 faz sobre o corpo 4?", e repetir esta pergunta para os corpos 2 e 3. Finalmente o sistema deve atribuir o coeficiente hidrodinâmico do corpo 4 e calcular o coeficiente de sombreamento global da interferência dos corpos 1, 2 e 3 sobre o corpo 4. Depois de ter feito isto para o corpo 4, o sistema deve repetir o mesmo processo para o corpo 3, depois para o corpo 2 e finalmente para o 1. Feito

isto pode-se somar cada um dos esforços resultantes e obter o coeficiente hidrodinâmico do ROV para aquele ângulo de ataque.

Existem poucos dados de interferências entre corpos bojudos. Para construir um banco de dados que satisfaça as necessidades de cálculo acima expostas, necessita-se fazer um sistema que:

- 1) procure o melhor coeficiente de sombreamento para cada caso concreto;
- 2) consiga fazer interpolações entre os dados que se possui;
- 3) tenha a capacidade de incorporar estes coeficientes interpolados e outros que se obtenham da literatura, ou de ensaios, ou de simulações computacionais; e
- 4) seja flexível o suficiente para modificações na fase de implantação.

Para implantar este sistema especialista pensa-se em utilizar técnicas de Inteligência Artificial (IA) que permitam a construção de um banco de dados inteligente que possua as características expostas acima.

O banco de dados inteligente possuirá uma base de dados, uma série de regras e um gerenciador capaz de ir checando estas regras e ir atrás do melhor dado existente na base de dados, ou de atualizar este banco de dados (através de interpolações, ou resultados obtidos da literatura, de ensaios, ou de simulações computacionais).

Este sistema deveria, além disso, acumular conhecimento através de regras, o que traria a vantagem que estes conhecimentos, ou regras, podem ser expandidas de acordo com as necessidades e estarão numa forma facilmente exprimível por um perito.

### **6.1. Como deve ser a Base de Dados.**

A base de dados deve possuir dados dos coeficientes hidrodinâmicos de corpos no escoamento livre e dados de redução destes coeficientes hidrodinâmicos ao sofrerem interferência de outros.



Por exemplo, além do dado do coeficiente de arrasto de um cilindro simples, podemos ter:

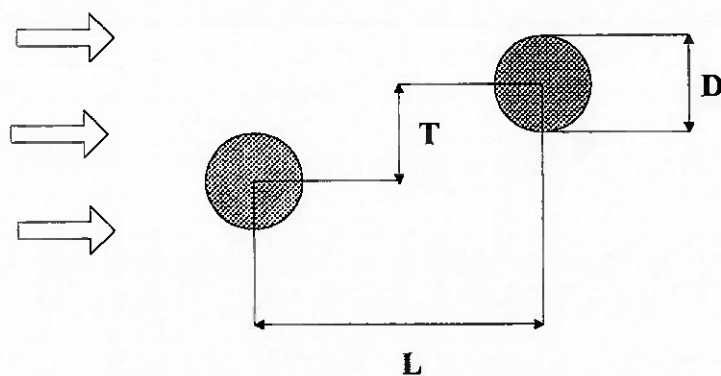


Fig. 6.1 - Interferência entre duas barras circulares.

<b>L/D=0</b>		
<b>T/D</b>	<b>CA</b>	<b>SB</b>
0	1.6	1.1429
0.25	1.0	0.7143
0.5	0.9	0.6429
1.0	1.1	0.7857
1.5	1.3	0.9286
2.0	1.2	0.8571
4.0	1.2	0.8571
6.0	1.2	0.8571

<b>T/D=0</b>		
<b>L/D</b>	<b>CA</b>	<b>SB</b>
1.0	-0.4	-0.2857
1.5	-0.2	-0.1429
2.0	0.0	0.0
2.5	0.2	0.1429
3.0	0.2	0.1429
4.0	0.3	0.2143

<b>T/D=0.5</b>		
<b>L/D</b>	<b>CA</b>	<b>SB</b>
1.0	0.65	0.4643
1.5	0.5	0.3571
2.0	0.45	0.3214
2.5	0.45	0.3214

<b>T/D=1.0</b>		
<b>L/D</b>	<b>CA</b>	<b>SB</b>
1.0	1,1	0.7857
1.5	1.0	0.7143
2.0	0.7	0.5
2.5	0.7	0.5

3.0	0.4	0.2857
4.0	0.4	0.2857

3.0	0.65	0.4643
4.0	0.65	0.4643

<b>T/D=2</b>		
<b>L/D</b>	<b>CA</b>	<b>SB</b>
1.0	1.1	0.7857
1.5	1.0	0.7143
2.0	1.0	0.7143
2.5	1.0	0.7143
3.0	1.0	0.7143
4.0	1.0	0.7143

**Tabela 6.1 - Sombreamento entre duas barras circulares<sup>1</sup>.**

Este banco de dados, como se pode ver, não cobre a totalidade dos casos possíveis. Para isto o gerenciador do sistema deve procurar uma solução através de uma interpolação, e este dado interpolado deve ser armazenado no banco de dados e guardar a informação de que é um dado interpolado.

O gerenciador deve interpolar um dado, identificá-lo e armazenar o valor do dado e o seu identificador, Assim, se quero obter o dado para  $L/D=0$  e  $T/D=0.3$ , o gerenciador deve interpolar e obter o resultado:

<b>L/D=0</b>		
<b>T/D</b>	<b>CA</b>	<b>SB</b>
(i) 0.3	0.98	0.7

onde (i) é o identificador que este dado é interpolado

**Tabela 6.2 - Exemplo de dado interpolado**

<sup>1</sup>Tabela construída a partir de dados do BUREAU VERITAS e do APPLIED FLUID DYNAMICS HANDBOOK.

4. "Qual é a seção transversal da barra?"

R: Circular.

5. "Qual a relação L/D?"

R: 2,2.

6. "Qual a relação T/D?"

R: 1,3.

Com estes dados o sistema especialista acharia várias possíveis soluções

T/D=1,0; L/D=2,0

SB=0,5

T/D=2,0; L/D=2,0

SB=0,7143

T/D=1,0; L/D=2,5

SB=0,5

T/D=2,0; L/D=2,5

SB=0,7143

a partir destes dados o gerenciador interpola estes dados encontrando o valor do coeficiente de sombreamento para o L/D=2,2 e T/D=1,3

SB=0,5643.

Podemos visualizar um caminho das decisões na seguinte figura:

		Corpo à ré					
		Sólido - Cubo	Sólido - Prisma	Sólido - Esfera	Barra - Circular	Barra - Elipse	Barra - Quadrada
Corpo a vante							
Sólido - Cubo							
Sólido - Prisma							
Sólido - Esfera							
Barra - Circular				◆			
Barra - Elipse							
Barra - Quadrada							

◆ Alternativa escolhida pelo sistema

Fig. 6.2 - Matriz da busca no banco de dados.

Desta matriz, o sistema vai para outra matriz que envolverá as perguntas das posições relativas e dimensões:

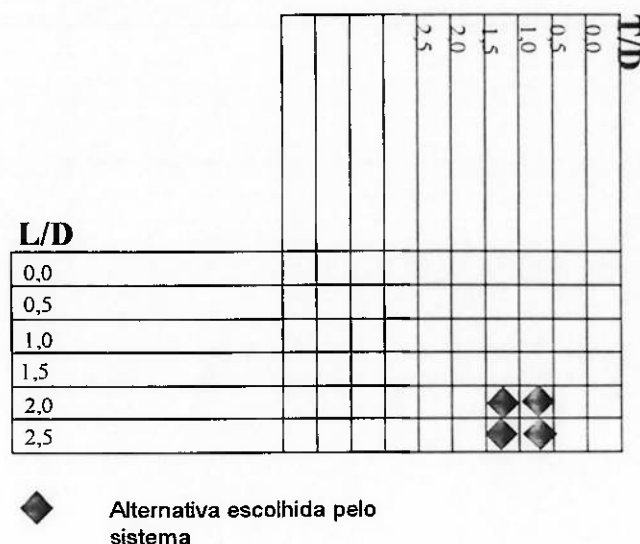


Fig. 6.3 - Matriz da busca no banco de dados.

### 6.3. Como deve ser o Gerenciador.

O gerenciador é quem toma as decisões, quem controla a base de dados, quem decide que caminho tomar dentro das regras dadas. É ele quem toma uma decisão que não consta nas respostas padrões do sistema. Na base de dados, usada como exemplo, só são fornecidos dados de barras com seção circular. Se o gerenciador encontra uma barra com seção quadrada, o que ele deve fazer? Neste primeiro caso ele aproximaria o coeficiente de sombreamento de uma barra com seção circular e faria os cálculos.

Para o gerenciador tomar estas decisões, um parâmetro novo deve estar embutido naquilo que descreva a geometria dos corpos. Este novo parâmetro deve considerar uma relação com a esteira e a geometria dos corpos, assim dizer se um corpo possui cantos vivos - aquele com ângulos bruscos no seu contorno - ou dizer que um corpo é arredondado - um que possui uma superfície suave - é um bom parâmetro para que o gerenciador tome a decisão de que corpo ele deve procurar se aproximar.

O gerenciador deve ser concebido com algumas facilidades para o controle do processo decisão. Ferramentas como ir mostrando o caminho de busca, permitir retrocessos e o usuário ter a capacidade de tomar a decisão em algum ponto que ele deseje, todas são bons recursos para a fase de instalação e uso do sistema.

## 7. O TMS Utilizado para a Construção de um Sistema Especialista para Obtenção de Coeficientes Hidrodinâmicos de Natureza Viscosa.

A implantação ocorre em níveis sucessivos. O primeiro sistema a ser implantado procura definir qual é o melhor método de busca e a arquitetura deste banco de dados. A IA tem hoje muitas técnicas que, de maneira análoga ao raciocínio humano, tentam conferir aos computadores a capacidade de "tomar decisões". Neste trabalho, decidiu-se utilizar, depois de se avaliarem várias técnicas e de se estabelecerem as necessidades descritas na seção anterior, a técnica chamada **JTMS** (*Justification-Base Truth Maintenance System*).

Um segundo passo foi dotar o sistema de uma grande flexibilidade para mudanças e acréscimo de regras e dados. Nesta fase, já se tem definido a estratégia de busca e a arquitetura do sistema de banco de dados inteligente.

Existem diferentes tipos de sistemas de manutenção da verdade. Cada divisão diz respeito no que se diferenciam os solucionadores de problemas, e portanto apoia diferentes tipos de iterações entre o solucionador de problemas e o mecanismo de inferência.

As duas famílias de TMS analisadas no trabalho foram:

- *Justification-based truth maintenance systems (JTMS)*. Estes sistemas são os mais simples dos TMSs sobre a qual todas as outras são baseadas.
- *Assumption-based truth mainfenance systems (ATMS)*. O ATMS é como o JTMS mas permite que o solucionador de problemas faça inferências em múltiplos contextos ao mesmo tempo.

O critério de seleção de qual destes TMS seria usado é:

- 1) se a tarefa necessita encontrar a maioria das soluções, ou todas as soluções; e

2) se o número de mudanças de contexto é muito maior que o número de perguntas sobre o estado de verdade dos nós.

Quando no critério (1) deve-se encontrar todas as soluções e quando o critério (2) é verdadeiro, decide-se pelo ATMS, caso contrário utiliza-se o JTMS.

O ATMS pode trabalhar de dois modos: em múltiplos ambientes ou focado. Quando trabalha em múltiplos ambientes ele faz o que lhe é particular, faz inferências em todos os ambientes ao mesmo tempo e ao trabalhar com a estratégia focada ele faz as inferências só nos ambientes focados.

Ao começar a utilizar as técnicas da família TMS optou-se inicialmente pela técnica ATMS porque esta técnica trabalha em múltiplos contextos e parecia que a implantação da metodologia exigiria isto, mas ao passar do primeiro passo para o segundo verificou-se que o ATMS deveria trabalhar numa estratégia focada. Ao trabalhar numa estratégia focada o ATMS assemelha-se muito ao JTMS, exceto no que se refere ao mecanismo de *back-tracking* que não existe no ATMS. A não existência do *back-tracking* no ATMS torna sua eficiência computacional mais alta num mesmo problema tratado pelo JTMS, que possui o *back-tracking* e portanto é mais lento que o ATMS. O mecanismo de *back-tracking* no JTMS não é uma desvantagem em si mas o é do ponto de vista da eficiência computacional, pelo contrário o *back-tracking* é muito importante para se resolver um problema utilizando o JTMS. Apesar de no ATMS não se possuir propriamente um *back-tracking*, algo de semelhante ocorre com as mudanças de contexto e isto garante também a resolução dos problemas pelo ATMS.

O JTMS foi escolhido entre vários da família TMS porque possui duas características importantes: a primeira é que um sistema muito semelhante ao que se queria desenvolver já estava implementado e a outra é a facilidade para se incrementar o sistema, criando nós e justificativas de acordo com as necessidades. Também o solucionador de problemas deveria encontrar a melhor solução dentre várias e não todas as soluções, além de se trabalhar num só contexto.

A terceira e última fase foi a interface entre este sistema e o Modelador de Sólidos Didático - MSD, para que o programa estime os coeficientes hidrodinâmicos a partir do desenho de um ROV executado pelo projetista no MSD e naqueles ângulos de ataque que lhe interessem para a obtenção das curvas de características hidrodinâmicas do ROV.

O programa utilizado na implantação do sistema para buscar o melhor coeficiente de sombreamento foi desenvolvido por FORBUS e DE KLEER e é descrito na seção 7.1. O programa JTRE-JTMS<sup>©</sup> foi desenvolvido para o usuário construir um solucionador de problemas com uma arquitetura definida pelo usuário.

O JTRE-JTMS<sup>©</sup> foi desenvolvido sobre uma plataforma LISP; mais precisamente, utilizou-se o *Common Lisp* por sua portabilidade. Os autores utilizaram o LISP por motivos didáticos: "escolhemos o LISP porque é geralmente a linguagem de melhor aceitação pela facilidade de comunicação de suas idéias. O tratamento LISP dos procedimentos como entidades de primeira classe, o fato do gerenciador fornecer abastecimento automático e a sua sintaxe simplificada que permitem que os problemas sejam fáceis de escrever e ser analisados por outros programadores, simplificando bastante nossos sistemas e minimizando a carga cognitiva" (FORBUS; DE KLEER, 1994, p. 3-4).

---

© Copyright (c) 1986-1993 Kenneth D. Forbus, Johan de Kleer and Xerox Corporation. All Rights Reserved.

Use, reproduction, and preparation of derivative works are permitted. Any copy of this software or of any derivative work must include the above copyright notice and this paragraph. Any distribution of this software or derivative works must comply with all applicable United States export control laws. This software is made available as is, and Kenneth D. Forbus, Johan de Kleer and Xerox Corporation disclaim all warranties, express or implied, including without limitation the implied warranties of merchantability and fitness for a particular purpose, and notwithstanding any other provision contained herein, any liability for damages resulting from the software or its use is expressly disclaimed, whether arising in contract, tort (including negligence) or strict liability, even if Kenneth D. Forbus, Johan de Kleer or Xerox Corporation is advised of the possibility of such damages.



## 7.1. O JTRE-JTMS.

Como dito anteriormente o JTRE-JTMS foi desenvolvido com a capacidade de ser uma ferramenta para a construção de um sistema baseado no JTMS. Ele é utilizado propriamente para a construção de solucionadores de problemas e foi empregado para implantar a metodologia descrita no capítulo anterior. Mas o que é um solucionador de problemas? Além do mais, como definimos exatamente um problema?

Um problema nada mais é do que "uma situação em que a obtenção de um objetivo requer uma ação" (SIMONS, 1986, p. 85). Como problema, poderíamos ter num jogo de xadrez a seguinte situação: em que dada uma determinada condição inicial do tabuleiro, em quantas jogadas pode-se dar o cheque-mate. Também obter a solução de uma equação algébrica dada caracteriza um problema.

"Suponhamos que estejamos jogando xadrez, ou resolvendo uma equação algébrica. O tipo de problema ou domínio que estamos trabalhando é representado como um **espaço do problema**. O espaço do problema é um conjunto de estados que representam as distintas configurações dos objetos e o relacionamento do domínio, e o conjunto de **operadores** definem como mover-se entre os estados. Se estamos jogando xadrez, os estados consistem nos arranjos das peças de xadrez no tabuleiro, os operadores são os movimentos legais entre os estados, e o espaço do problema é o conjunto de todas as configurações e movimentos. Se estamos resolvendo uma equação, a forma particular da equação que estamos resolvendo é o estado, os operadores são as leis da matemática que precisamos aplicar para transformar uma equação em outra, e o espaço do problema são todas as possíveis equações. Evidentemente, os espaços dos problemas são normalmente grandes, e muitas vezes infinitos" (FORBUS; DE KLEER, 1994, p. 20).

Observa-se que um problema está contido dentro dum espaço do problema. Já vimos que, num jogo de xadrez, o espaço do problema seriam todas as jogadas possíveis, mas um problema concreto seria dar o xeque-mate a partir de uma

configuração do tabuleiro num determinado número de lances. Portanto, para definir "um problema num dado espaço do problema requerem-se duas coisas: um estado inicial e um objetivo. O estado inicial é um estado distinto que representa o ponto inicial dentro do espaço, como por exemplo a posição de abertura num tabuleiro de xadrez ou a equação que você deve resolver. O objetivo é uma especificação de um subconjunto no espaço do problema que pode servir como solução do problema. No xadrez, o objetivo é encontrar uma posição no tabuleiro que deixa o rei do oponente em xeque-mate. Na álgebra, o objetivo é transformar a equação dada em uma nova equação cujo lado esquerdo consista de variáveis não conhecidas e cujo lado direito consista de uma expressão sem variáveis. Note que, enquanto sabemos exatamente com o que o estado inicial se parece, podemos não ter um estado simples e predeterminado no objetivo. Por exemplo, enquanto o problema da equação algébrica tipicamente tem uma única solução numérica, existem muitos modos de ganhar no xadrez" (FORBUS; DE KLEER, 1994, p. 20).

O problema a resolver é encontrar o melhor coeficiente de sombreamento a ser aplicado sobre um corpo que está sob a influência de outro(s) corpo(s). Os estados seriam todas as configurações relativas entre dois corpos que definam uma interferência, a geometria dos corpos e sua distância relativa. No caso em questão, os operadores seriam as regras que devem ser usadas para buscar esta melhor solução. Pode-se observar que se trabalha com um espaço do problema que é infinito, já que há inúmeras configurações físicas que definam uma interferência. Como na realidade não se dispõe de todos os dados possíveis para interferência, estas regras que compõem os operadores é que farão as aproximações convenientes para se encontrar a melhor solução.

Neste problema o estado inicial é o conjunto de informações que o programa recebe para definir a interferência: qual corpo está à vante, qual corpo está à ré e a posição relativa entre eles. Há sempre só um estado inicial para aquele caso concreto de interferência que se busca a solução e um só objetivo: o melhor coeficiente de sombreamento a ser aplicado.

Conceitualmente, um solucionador de problemas consiste em duas partes: uma interface para o suporte do espaço do problema para o usuário e um mecanismo de busca. Este sistema utiliza como modo de formalizar um conhecimento as asserções, que são uma declaração, uma codificação de algum tipo de conhecimento numa linguagem que pode ser usada num processo de raciocínio e também utiliza padrões de comparação que nada mais são do que fazer a comparação entre uma asserção dada e um determinado padrão. O uso dos padrões de comparação permite escrever as regras, os operadores, de modo compacto e com grande modularidade. Sistemas construídos assim são chamados de **sistemas de inferência dirigidos por padrão (SIDP)**.

Um SIDP é normalmente parte de um sistema maior. Um solucionador de problemas deve usar um ou vários SIDP como sua base de dados e deve ter muitos ou poucos de seus procedimentos moldados como regras. Normalmente a responsabilidade pelo controle reside em qualquer outra parte do solucionador de problemas. No JTMS-JTRE o SIDP é feito pelo programa JTRE e seus módulos.

Um sistema de inferências dirigido por padrão possui um modelo para o conhecimento (as asserções), um modelo de referência (o padrão de comparação) e o modelo de procedimento (as regras). Como é que está organizada a estratégia de ligação entre eles? Como é a execução do SIDP? Como estes três componentes se relacionam?

As regras e asserções são acrescentadas incrementalmente. O objetivo do SIDP é garantir que cada regra seja executada para toda asserção que dispare esta regra. Uma regra é disparada quando seu gatilho se unifica com uma ou várias asserções e esta unificação é feita através do padrão de comparação. Para conseguir isto, toda vez que uma asserção é acrescentada, cada regra que é disparada por ela deve ser testada. Do mesmo modo, toda nova regra acrescentada deve ser testada para as asserções já existentes. Em ambos os casos, uma comparação concluída com sucesso resulta num conjunto de ligações que formam parte do ambiente para execução do corpo da regra. O corpo da regra e este ambiente são então enfileirados para a execução. A figura 7.1 mostra esquematicamente este modo de relacionar-se dentro do SIDP.

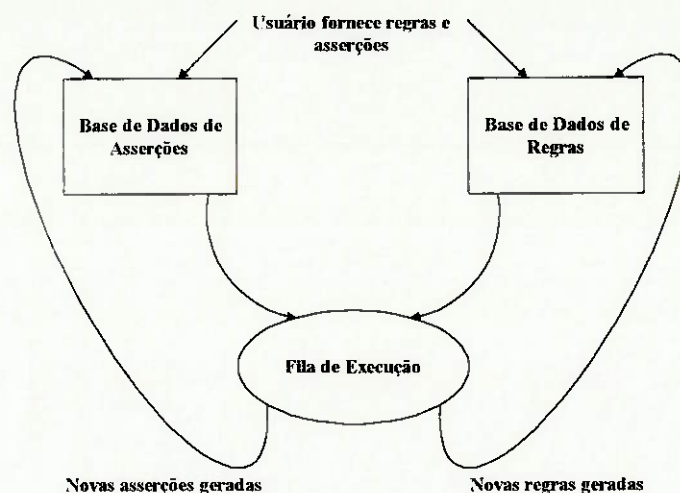


Fig. 7.1 - Arquitetura do SIDP.

As novas asserções e novas regras que saem da fila de execução são consequência da execução de uma determinada comparação de padrões. O corpo de uma regra pode, dentro de si, disparar outras regras ou fazer novas asserções que por sua vez disparam também outras regras. Então estas novas asserções e regras são comparadas com padrões e depois enfileiradas para execução.

Com a organização descrita acima, fazemos a constatação de que pode haver muito trabalho inútil dentro do SIDP, pois há determinadas regras e asserções que se relacionam só entre si e não há motivo para serem comparadas com todo o conjunto de regras e asserções dentro da base de dados. A solução para este problema é criar dentro da base de dados uma série de classes; estas classes são o conjunto de regras e asserções que se relacionam só entre si. No programa, estas classes são representadas pelas *dbclasses* (*database classes*) que estão na estrutura JTRE como JTRE-CLASSES. Portanto, a tarefa de comparação entre regras e asserções só será feita dentro de uma classe particular. Isto aumenta a eficiência do sistema, diminuindo bastante as tarefas inúteis.

Pela natureza do problema dos coeficientes de sombreamento, não se vê a necessidade de possuir classes diferentes, mas esta discussão será retomada mais a frente.

Solucionador de problemas, SIDP, JTMS: como estes três conceitos se relacionam? São excludentes ou se complementam?

Dizia-se que um solucionador de problemas tem que permitir um suporte para um espaço do problema e possuir um mecanismo de busca que encontre a solução do problema. Assim, a capacidade de acrescentar à base de dados fatos que possam ser recuperados mais tarde é de importância fundamental num solucionador de problemas. A principal razão para isto é que muitas tarefas de IA não podem ser resolvidas pela busca exaustiva. Solucionadores de problemas sofisticados têm que enfrentar escolhas mutuamente excludentes que podem satisfazer o problema; para isso, devem avançar sobre uma destas opções e, se for o caso, retroceder para executar uma outra. Assim, necessita-se de um mecanismo que auxilie o SIDP a manipular hipóteses conveniente e eficientemente.

O JTMS é o mecanismo que auxiliará o SIDP a tratar com as hipóteses. Assim se pode decompor a arquitetura fundamental de um solucionador de problemas em duas partes: um mecanismo de inferência (SIDP/JTRE) e o JTMS.

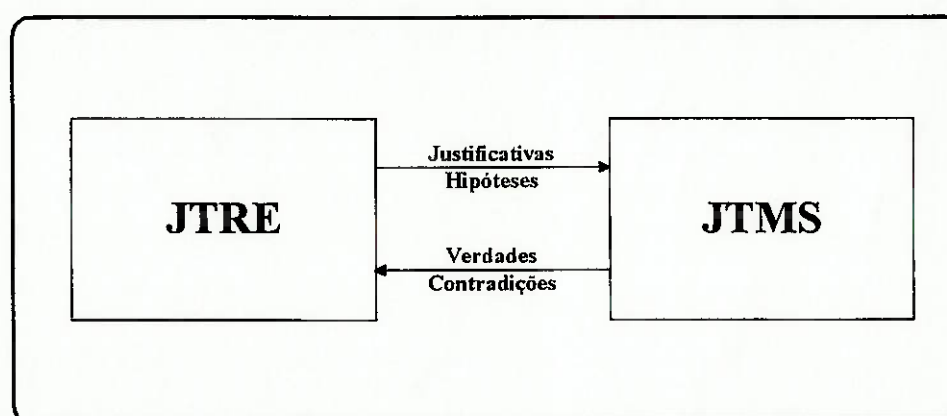


Fig. 7.2 - Solucionador de Problemas = Mecanismo de inferência + JTMS

Esta separação natural de assuntos permite ao mecanismo de inferência dedicar-se a extrair a inferência dentro do domínio da tarefa e o JTMS dedicar-se à veracidade das questões, hipóteses e contextos. Tem-se como resultado um solucionador de problemas muito simples e eficiente.

O JTMS contribui de três formas para o solucionador de problemas: (1) fornece uma estrutura geral que torna mais fácil construir diferentes tipos de solucionadores de problemas; (2) possibilita uma funcionalidade adicional como a geração de explicações e (3) fornece uma eficiência maior. Embora o JTMS forneça uma ferramenta extremamente útil para o solucionador de problemas, isto não é verdade sempre e para qualquer uso. Existem muitos casos no qual o JTMS reduz a eficiência do solucionador de problemas. O problema concreto que está sendo resolvido pode utilizar o JTMS da maneira que já foi discutido no início desta seção.

Uma pergunta natural que surge da observação da figura 7.2 é: como o JTMS e o mecanismo de inferência (JTRE) se relacionam?

Durante a resolução do problema, o mecanismo de inferência e o JTMS interagem continuamente num protocolo bem definido. Toda inferência importante feita pelo mecanismo de inferência é comunicada ao JTMS como uma justificativa (Apêndice 3).

A fim do mecanismo de inferência e o JTMS se comunicarem, um fundo comum deve ser estabelecido. Todo dado (*datum* na estrutura JTMS-JTRE do programa) importante do solucionador de problemas (que pode incluir asserções, fatos, regras de inferência e procedimentos) deve ser definido como um nó do JTMS. Então, na implementação, a estrutura de dados para um dado aponta para o nó JTMS associado, e a estrutura de um nó aponta para o dado associado do solucionador de problemas. A responsabilidade pode estabelecer esta conexão depende do mecanismo de inferência.

Toda comunicação entre o mecanismo de inferência e o JTMS é feita em termos destes nós. É importante notar que o JTMS e o mecanismo de inferência interpretam estes nós de modo bastante diferente. Para o solucionador de problemas os nós representam dados a partir dos quais ele pode extrair inferências. Por exemplo<sup>1</sup>, suponha que o nó N0001 tem como dado a seguinte regra do mecanismo de inferência:

N0001:

---

<sup>1</sup> Exemplo em FORBUS E DE KLEER, pg. 160.

(rule (Graduate-Student ?x)

(assert (and (Underpaid ?x) (Overworked ?x))))

e o nó N0002 tem como seu dado a asserção:

N0002:

(Graduate-Student Robbie).

O mecanismo de inferência pode agora deduzir (dedução esta que será representada pelo nó N0003),

N0003:

(and (Underpaid Robbie) (Overworked Robbie)).

O JTMS não pode fazer diretamente estas deduções já que não pode examinar o dado de um nó. No entanto, se o mecanismo de inferência informa o JTMS de que o nó N0003 resulta da conjunção dos nós N0001 e N0002, então ele pode fazer as deduções.

O JTMS suporta as cinco operações a seguir:

1. Ao ser requisitado, o JTMS cria um nó com as propriedades específicas (Apêndice 3);
2. O JTMS permite registrar deduções do mecanismo de inferência (normalmente as justificativas);
3. O JTMS mantém os rótulos corretos para os nós e fornece-os ao serem requisitados;
4. Quando uma contradição é detectada, o mecanismo de inferência é avisado; e
5. O JTMS aceita regras do mecanismo de inferência para serem incluídas na lista para execução quando as condições de verdade particulares são encontradas.

Esta operação 2 merece uma explicação mais detida. As deduções do mecanismo de inferência são comunicadas ao JTMS como restrições ou condições nos nós. A mais simples destas restrições é a justificativa (definida no Apêndice 3). Por exemplo a dedução anterior:

(and (Underpaid Robbie) (Overworked Robbie)).

deve ser comunicada ao JTMS como uma justificativa. Então, a inferência anterior a respeito de Robbie deve ser representada como:

(N0003 MODUS-PONENS N0002 N0001)

onde

N0003 é o conseqüente;

MODUS-PONENS é o informante; e

N0002 e N0001 são os antecedentes.

Este conjunto de nós e justificativas formam uma rede de dependência.

Por outro lado o JTMS também comunica uma série de informações para o mecanismo de inferência. Através dos rótulos dos nós (ver Apêndice 3) o JTMS diz para o mecanismo de inferência quais nós ele pode utilizar para fazer as inferências e quais não. Assim o tempo de busca da solução diminui bastante.

Com a descrição anterior pode se ter uma clara noção de como ocorre toda a interação dentro do solucionador de problemas para encontrar a solução. Agora pode-se passar para um nível mais profundo de compreensão do sistema. Para isto tem-se que entender melhor o mecanismo das regras, asserções e rótulos dos nós.

As asserções, lembrando, são uma declaração ou codificação de uma informação de modo que possa participar de um processo dedutivo. Elas são armazenadas num banco de dados, numa determinada classe se necessário; quando isto é feito, podemos dizer que elas passam a existir para o solucionador de problemas. Mas note-se que existir não define o seu estado de verdade e, como dito anteriormente, o estado de verdade é que define a utilização da asserção pelo mecanismo de inferência. Este estado de verdade é definido pelo nó JTMS associado com uma determinada asserção; assim, se o nó JTMS é IN(Apêndice I) a asserção é tida como verdadeira e é tida como falsa quando o nó é OUT(Apêndice I). Assim, a estrutura **datum** é que armazena a asserção e ao mesmo tempo aponta para o nó JTMS correspondente. Também a estrutura do nó JTMS possui um apontador para o **datum**; assim estabelece-se uma conexão entre o nó e o **datum** que contém a asserção na forma LISP.



## 7.2. O Programa SOMBRA. Implementação do JTMS para Obtenção de Coeficientes Hidrodinâmicos.

O programa SOMBRA foi desenvolvido a partir do programa JSAIN (FORBUS; DE KLEER, 1994) e adaptado para resolver o problema de encontrar o melhor coeficiente de sombreamento para uma dada situação de interferência. O JSAIN é um programa que exemplifica o uso do JTRE-JTMS na reconstrução do programa SAINT (SLAGLE apud FORBUS E DE KLEER (1993)), um programa clássico em IA que primeiro demonstrou que a integração indefinida pode ser resolvida através do computador. Mas como o SOMBRA trabalha?

Todo problema sofre uma transformação que define uma série de subproblemas mais simples. Os subproblemas são organizados em uma árvore E/OU, com os ramos E sendo os subproblemas que necessitam de uma solução e os ramos OU que são os métodos alternativos para resolver um determinado problema. A figura 7.3 ilustra a árvore.

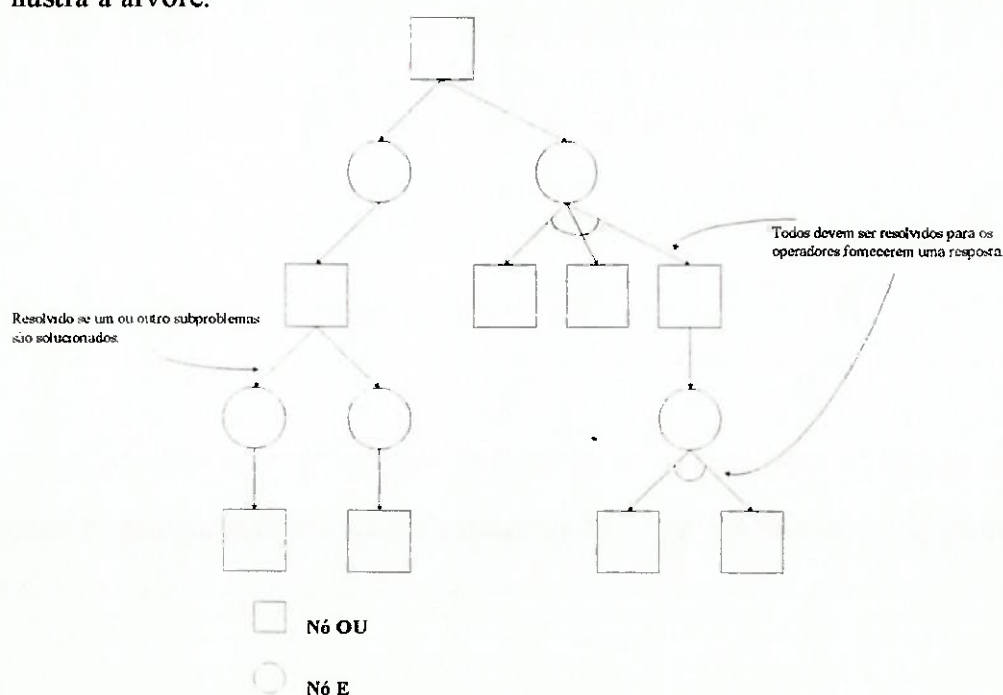


Fig. 7.3 - Uma Árvore E/OU.

Esta árvore vai sendo formada a partir das sugestões de uma biblioteca e dos comandos de um controlador. Toda esta interação pode ser vista na figura 7.4.:

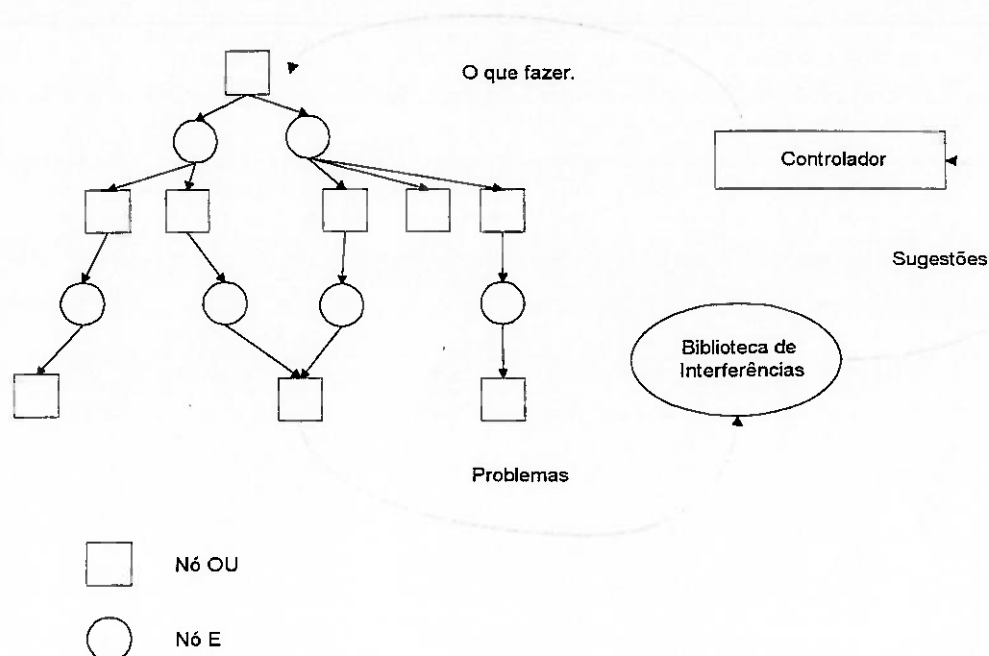


Fig. 7.4 - Arquitetura do Sombra.

Podemos dividir o SOMBRA em três partes principais, cada qual com as seguintes responsabilidades:

#### 1. Controlador Central

- Reúne as sugestões da Biblioteca de Interferências sobre como proceder;
- Escolhe que subproblemas trabalhar; e
- Garante que os limites dos recursos não serão ultrapassados.

#### 2. Árvore E/OU

- Mantém o *status* do progresso nos problemas e subproblemas; e
- Detecta quando os problemas estão resolvidos, ou quando eles não estão resolvidos.

#### 3. Biblioteca de Interferência

- Fornece sugestões diretas para problemas simples; e
- Faz sugestões de como decompor problemas complexos.

De modo genérico, o ciclo básico da arquitetura do SOMBRA é:

1. Se o problema original está resolvido, ou claramente não pode ser resolvido, ou se os limites dos recursos tem que ser ultrapassados, o programa encerra sua execução.
2. Seleciona o melhor subproblema P para trabalhar nele.
3. Se P pode ser resolvido diretamente, ele o faz.
4. De outro modo, reúne sugestões de como resolver P e estende o grafo E/OU convenientemente.

Mas como encaixar estas explicações do SOMBRA com o que se descreveu na seção anterior?

O SOMBRA utiliza a base de dados do JTRE para armazenar tanto o domínio do problema quanto as informações de controle. O grafo E/OU é implementado como um conjunto de asserções na rede de dependências. A Biblioteca de Interferências é implementada através de regras, estas regras são chamadas de operadores.

Num solucionador de problemas deve-se ter muito cuidado ao se definir a representação, que é o modo de se definir num código o conhecimento que se quer automatizar. Esta representação deve fornecer coerência e eficiência. Deve-se representar o caso concreto de interferência em linguagem LISP e também representar as informações de controle.

### **7.2.1. Representação da Situação Física.**

No capítulo anterior, as duas matrizes das figuras 6.2 e 6.3 serão a trilha que se toma para estabelecer esta representação.

A primeira matriz representa a definição do caso concreto de interferência, a geometria dos dois corpos; a segunda matriz encarrega-se de definir as distâncias relativas entre os dois corpos.

Para definir o caso concreto de interferência, um problema interessante foi descrever qual corpo estaria à vante e qual estaria à ré; a solução foi criar duas estruturas paralelas iguais, uma para vante e outra para ré, e fazer com que elas se encontrassem num nó que representasse o caso de interferência concreto. A estrutura de vante e de ré diferenciam-se apenas por um índice que indica se o dado pertence a de vante ou a de ré.

Cada corpo precisa de quatro dados para ficar representado:

1. Tipo do corpo;
2. Fronteira;
3. Particularidade geométrica; e
4. Atitude em relação ao escoamento.

O tipo do corpo pode ser de três tipos:

- a) barra - quando uma dimensão é muito maior que as outras duas.
- b) sólido - quando todas as dimensões são da mesma ordem de grandeza.
- c) placa - quando uma dimensão é muito menor diante das demais.

Esta divisão é importante para a aplicação de correções físicas, como por exemplo numa barra que possui comprimento finito, nela se pode aplicar as correções descritas na seção 5.1.1.

A fronteira é um parâmetro que surgiu da implantação do sistema de IA. A fronteira pode ser arredondada, ou possuir cantos vivos e foi dividida assim pela física do escoamento diferente destes dois grandes grupos. Este parâmetro serve como um indicador do tipo de aproximação que as regras podem fazer. Se não possuímos dados sobre barras elípticas no banco de dados, mas possuímos dados de barras circulares, estas últimas podem servir para aproximar um resultado de barra elíptica, já que as duas são arredondadas e o fenômeno do descolamento nas duas é, pelo menos, semelhante. Também, como em corpos bojudos a forma é o principal efeito na dinâmica do fluido, esta divisão em classes é bastante razoável.

O terceiro dado é que se define precisamente o corpo geométrico a ser representado. A particularidade geométrica depende do tipo geométrico definido. Se

tivermos uma barra, a particularidade geométrica será a geometria da seção transversal da barra. Se o tipo geométrico for um sólido, basta informar qual é o sólido. E, finalmente, se tivermos definido uma placa não há necessidade de se definir nenhuma particularidade geométrica.

O dado da atitude em relação ao escoamento é que define se uma barra está normal ou oblíqua ao escoamento e no caso de uma placa, se a placa está tangente ou normal ao escoamento.

Assim com estes três dados podemos representar o caso concreto de interferência. Por exemplo:

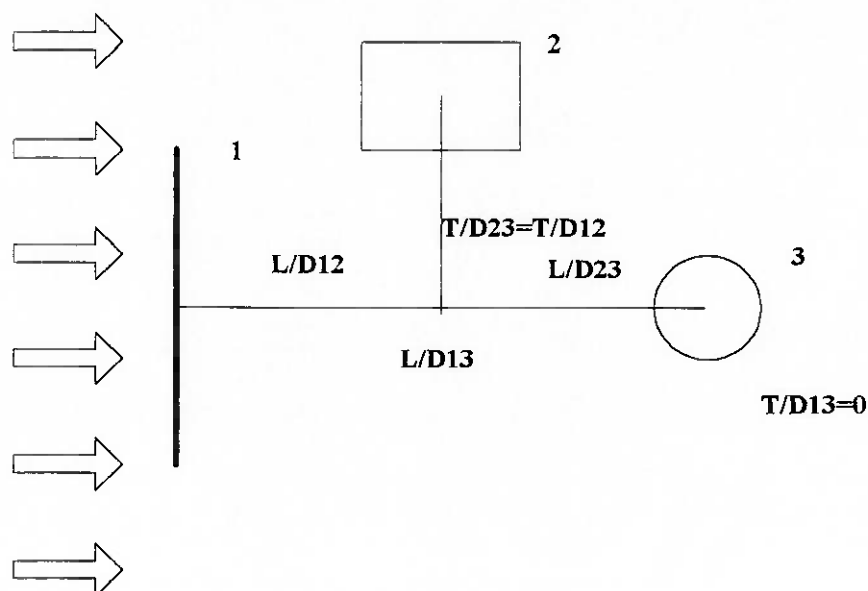


Fig. 7.5 - Um Caso Concreto de Interferência.

- |     |   |   |
|-----|---|---|
| ( 3 | 2 | SOLIDO-V CANTOS-VIVOS-V PRISMA-V<br>BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R<br>$L/D=L/D_{23}$ $T/D=T/D_{23}$ ) |
| ( 3 | 1 | PLACA-V NORMAL-V<br>BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R<br>$L/D=L/D_{13}$ $T/D=T/D_{13}$ )                 |
| ( 2 | 1 | PLACA-V NORMAL-V<br>SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R PRISMA-R<br>$L/D=L/D_{13}$ $T/D=T/D_{13}$ )                         |
| ( 1 |   | SOZINHO)  |

onde  $A_p$  é a área projetada do corpo.

Estas listas podem ser agrupadas genericamente no JTMS para formarem o grafo da rede de dependências. Pode-se visualizar, para o caso simples entre duas barras, uma com seção quadrada e outra com seção circular, a seguinte rede de dependências:

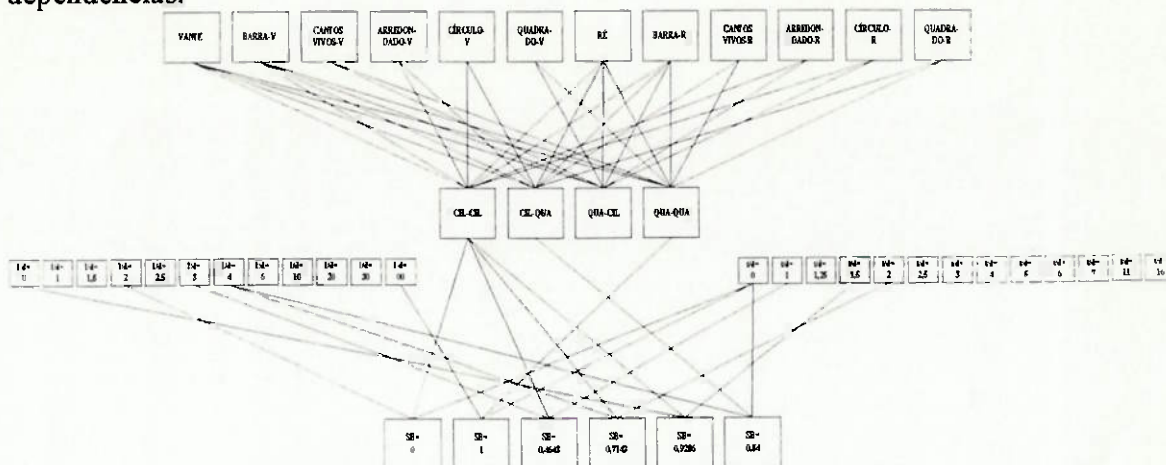


Fig. 7.6 - Grafo JTMS de Interferência entre Barras Quadradas e Circulares

O sistema aqui desenvolvido segue o modelo da figura 7.2, sendo mais amplo por se considerarem dados de interferência não só entre barras cilíndricas, mas também entre sólidos e barras, barras e barras, barras e placas, placas e sólidos.

Pode-se ver que as distâncias relativas unem-se ao caso de interferência concreto depois deste último estar completamente definido, como nas matrizes das figuras 6.2 e 6.3. Assim, finalmente, se chega ao coeficiente de sombreamento daquela situação física concreta.

Com esta representação apresentada, resolve-se o problema da representação do problema físico em LISP. Define-se um léxico que será utilizado na solução do problema pelo programa SOMBRA. Deve-se, agora, entender a forma da representação das informações de controle.

## 7.2.2. Representação das Informações de Controle.

Estas informações é que orientam a criação e a expansão da árvore E/OU na busca de uma solução para o problema. Dois conceitos semelhantes devem ser entendidos para compreender a representação do controle: o que são objetivos e o que são problemas?

Sempre os objetivos tem a forma "resolva este problema", e pode-se tratar "execute este objetivo" como um problema a ser resolvido.

Quando o SOMBRA começa a trabalhar num problema ou objetivo (<PO>) ele faz a asserção (**expanded <PO>**). Depois de expandido e enquanto o problema ainda não foi resolvido, ou não se sabe se é insolúvel, é feita a asserção (**open <P>**), o mesmo vale para um objetivo ainda não executado ou não executável, (**open <O>**).

Com o objetivo, ou problema, nesta situação a biblioteca indica uma possível solução através de duas outras asserções:

**(operator-instance <Oplnst>**)

**(suggest-for <P> <Oplnst>**)

e a árvore E/OU vai sendo criada através das seguintes asserções:

**(or-subgoals <G<sub>p</sub>> <G<sub>c1</sub>> <G<sub>c2</sub>> ... <G<sub>cn</sub>>**)

ou

**(and-subgoals <P<sub>p</sub>> <P<sub>c1</sub>> <P<sub>c2</sub>> ... <P<sub>cn</sub>>**)

**(parent-of <C<sub>i</sub>>**)

**(relevant <C<sub>i</sub>>**)

Todas as sugestões de solução de um determinado subproblema, ou problema, são levadas para a agenda, que é o mecanismo em torno do qual o controlador do SOMBRA é organizado. A agenda possui problemas e objetivos que ainda não foram expandidos. Note que este mecanismo é bastante diferente do mecanismo de filas no JTRE, o qual tem como finalidade que todo item colocado na fila

seja executado. Na agenda para todo item é feita uma estimativa de sua dificuldade para permitir ao SOMBRA selecionar a tarefa menos difícil e tentar ir adiante. Se a estimativa da dificuldade é bem precisa, este esquema descrito aumenta as chances de encontrar uma solução menos custosa antes de outra mais custosa.

Quando o controlador emite a asserção (**open <P>**) e existe um caminho de solução através de <C>, imediatamente é feita a asserção (**relevant <C>**), ela procura indicar que <C> tem, potencialmente, parte na solução do problema original <P>. (**solved <P>**) é a asserção, que quando é verdadeira, indica que o problema foi resolvido com sucesso. A asserção (**failed <P>**) é verdadeira quando <P> não pode ser resolvido pelo SOMBRA. Obviamente (**failed <P>**) e (**solved <P>**) são mutuamente inconsistentes.

O solucionador de problemas também necessita de um modo de ligar a solução do problema ao próprio problema. Para isso o controlador emite a asserção

**(solution-of <P> <A>)**

onde <A> é a solução do problema.

Estas são as asserções que o controlador utiliza, são a representação das informações de controle necessárias para conduzir um problema à sua solução.

### 7.2.3. Os Operadores.

A função dos operadores, regras da Biblioteca de Interferências, foi descrita anteriormente, mas por sua importância na construção da árvore de soluções e na condução das regras, uma seção que descreva os operadores mais detalhadamente ajuda na compreensão de como foi implantado o programa SOMBRA.

Os operadores, para cumprir sua finalidade, têm que executar três tarefas:

1. Um operador deve descobrir o problema, ele deve procurá-lo e ver se ele próprio é aplicável.



2. Um operador deve ser capaz de avisar o controlador que ele é relevante para um problema particular (isto é, sugere-se como solução).

3. Um operador deve aplicar-se a si próprio quando o controlador o seleciona.

A primeira tarefa é levada a cabo fazendo com que os operadores procurem as asserções **expanded**, já que estas asserções são o primeiro indicador que se está trabalhando em um nó. A segunda tarefa é executada fazendo com que os operadores criem novas asserções que representem sugestões que são asserções da forma:

**(suggest-for <P> <Oplnst>)**

onde <P> é o problema que será resolvido pela aplicação bem sucedida do operador sugerido <Oplnst>. A terceira tarefa, de aplicar-se a si próprio quando necessário, é efetuada pela emissão de uma asserção **expanded** para o objetivo **(try <Oplnst>)**.

Por exemplo, quando o controlador começa a trabalhar no problema

**(Busca (SH (BARRA-V ARREDONDADO-V CÍRCULO-V NORMAL-V  
BARRA-R ARREDONDADO-R CÍRCULO-R NORMAL-R  
0 2.5)))**

ele avisa os operadores através de uma asserção da forma

**(expanded (Busca (SH (BARRA-V ARREDONDADO-V CÍRCULO-V NORMAL-V  
BARRA-R ARREDONDADO-R CÍRCULO-R NORMAL-R  
0 2.5)))**

Para um determinado operador indicar ao operador que ele deve ser capaz de resolver o problema, ele usa uma asserção da forma

**(suggest-for (Busca (SH (BARRA-V ARREDONDADO-V CÍRCULO-V NORMAL-V  
BARRA-R ARREDONDADO-R CÍRCULO-R NORMAL-R  
0 2.5)))**

**(try (BCIR-BCIR (SH (BARRA-V ARREDONDADO-V CÍRCULO-V NORMAL-V  
BARRA-R ARREDONDADO-R CÍRCULO-R NORMAL-R  
0 2.5))))**



Este operador define a interferência entre duas barras cilíndricas normais ao escoamento, papel da matriz de busca 6.2, e cria um subproblema que é a aplicação das distâncias relativas, figura 6.3.

#### 7.2.4. Um Exemplo.

O melhor modo para observar como são emitidas as asserções de controle e entender a relação na arquitetura interna do SOMBRA é através de um exemplo. A seguinte situação é proposta: encontrar o coeficiente de sombreamento entre duas barras cilíndricas com  $L/D = 0$  e  $T/D = 2,5$ . Utilizando a representação da situação física definida na seção 7.2.1. tem-se:

(BARRA-V ARREDONDADO-V CÍRCULO-V NORMAL-V

BARRA-R ARREDONDADO-R CÍRCULO-R NORMAL-R

0 2.5)

Para dar entrada a solução deste problema no SOMBRA é preciso acrescentar Busca e SH, assim:

(Busca (SH (BARRA-V ARREDONDADO-V CÍRCULO-V NORMAL-V

BARRA-R ARREDONDADO-R CÍRCULO-R NORMAL-R

0 2.5)))

Na função *OPEN-SUBPROBLEM* são emitidas as seguintes asserções:

(expanded (Busca (SH (BARRA-V ARREDONDADO-V CÍRCULO-V NORMAL-V

BARRA-R ARREDONDADO-R CÍRCULO-R NORMAL-R

0 2.5)))) : IN

(open (Busca (SH (BARRA-V ARREDONDADO-V CÍRCULO-V NORMAL-V

BARRA-R ARREDONDADO-R CÍRCULO-R NORMAL-R

0 2.5)))) : IN

depois as regras são executadas gerando novas asserções:

(operator-instance (BCIR-BCIR (SH (BARRA-V ARREDONDADO-V CÍRCULO-V NORMAL-V  
V

BARRA-R ARREDONDADO-R CÍRCULO-R NORMAL-R  
0 2.5)))

(Busca (SH (BARRA-V ARREDONDADO-V CÍRCULO-V NORMAL-V  
BARRA-R ARREDONDADO-R CÍRCULO-R NORMAL-R  
0 2.5)))) : IN

e

(suggest-for (Busca (SH (BARRA-V ARREDONDADO-V CÍRCULO-V NORMAL-V  
BARRA-R ARREDONDADO-R CÍRCULO-R NORMAL-R  
0 2.5)))

(BCIR-BCIR (SH (BARRA-V ARREDONDADO-V CÍRCULO-V NORMAL-V  
BARRA-R ARREDONDADO-R CÍRCULO-R NORMAL-R  
0 2.5)))) : IN

em *PROCESS-SUBPROBLEM* tem-se:

(or-subgoals (Busca (SH (BARRA-V ARREDONDADO-V CÍRCULO-V NORMAL-V  
BARRA-R ARREDONDADO-R CÍRCULO-R NORMAL-R  
0 2.5)))

(try (BCIR-BCIR (SH (BARRA-V ARREDONDADO-V CÍRCULO-V NORMAL-V  
BARRA-R ARREDONDADO-R CÍRCULO-R NORMAL-R  
0 2.5)))) : IN

novamente as regras são executadas:

(parent-of (try (BCIR-BCIR (SH (BARRA-V ARREDONDADO-V CÍRCULO-V NORMAL-V  
BARRA-R ARREDONDADO-R CÍRCULO-R NORMAL-R  
0 2.5))))

(Busca (SH (BARRA-V ARREDONDADO-V CÍRCULO-V NORMAL-V  
BARRA-R ARREDONDADO-R CÍRCULO-R NORMAL-R  
0 2.5))) OR) : IN

(failed (Busca (SH (BARRA-V ARREDONDADO-V CÍRCULO-V NORMAL-V  
 BARRA-R ARREDONDADO-R CÍRCULO-R NORMAL-R  
 0 2.5)))) : OUT

(failed (try (BCIR-BCIR (SH (BARRA-V ARREDONDADO-V CÍRCULO-V NORMAL-V  
 BARRA-R ARREDONDADO-R CÍRCULO-R NORMAL-R  
 0 2.5)))) : OUT

(relevant (try (BCIR-BCIR (SH (BARRA-V ARREDONDADO-V CÍRCULO-V NORMAL-V  
 BARRA-R ARREDONDADO-R CÍRCULO-R NORMAL-R  
 0 2.5)))) : IN

e o programa começa a resolver o subproblema gerado em *OPEN-SUBPROBLEM*:

(expanded (try (BCIR-BCIR (SH (BARRA-V ARREDONDADO-V CÍRCULO-V NORMAL-V  
 BARRA-R ARREDONDADO-R CÍRCULO-R NORMAL-R  
 0 2.5)))) : IN

e

(open (try (BCIR-BCIR (SH (BARRA-V ARREDONDADO-V CÍRCULO-V NORMAL-V  
 BARRA-R ARREDONDADO-R CÍRCULO-R NORMAL-R  
 0 2.5)))) : IN

e as regras são executadas,

(solved (Busca (SH (BARRA-V ARREDONDADO-V CÍRCULO-V NORMAL-V  
 BARRA-R ARREDONDADO-R CÍRCULO-R NORMAL-R  
 0 2.5)))) : OUT

(solved (try (BCIR-BCIR (SH (BARRA-V ARREDONDADO-V CÍRCULO-V NORMAL-V  
 BARRA-R ARREDONDADO-R CÍRCULO-R NORMAL-R  
 0 2.5)))) : OUT

(and-subgoals (try (BCIR-BCIR (SH (BARRA-V ARREDONDADO-V CÍRCULO-V NORMAL-V

V

BARRA-R ARREDONDADO-R CÍRCULO-R

NORMAL-R

0 2.5))))

((Busca (SH (BCIR-BCIR 0 1)))) : IN

(parent-of ((Busca (SH (BCIR-BCIR 0 1))))

(try (BCIR-BCIR (SH (BARRA-V ARREDONDADO-V CÍRCULO-V NORMAL-V

BARRA-R ARREDONDADO-R CÍRCULO-R NORMAL-R

0 2.5)))) AND) : IN

(relevant ((Busca (SH (BCIR-BCIR 0 1)))) : IN

finalmente começa o processamento do último subproblema,

(expanded ((Busca (SH (BCIR-BCIR 0 1)))) : IN

e

(open ((Busca (SH (BCIR-BCIR 0 1)))) : IN

executam-se as regras:

(operator-instance (SH=1.1429 (SH (BCIR-BCIR 0 1)))) : IN

(solution-of (Busca (SH (BCIR-BCIR 0 1))) (SH (1.1429))) : IN

(solved ((Busca (SH (BCIR-BCIR 0 1)))) : IN

(open ((Busca (SH (BCIR-BCIR 0 1)))) : OUT

(open (try (BCIR-BCIR (SH (BARRA-V ARREDONDADO-V CÍRCULO-V NORMAL-V

### 7.2.5 Criando Regras para o SOMBRA.

A ênfase dada, desde a seção 6 até agora, no desenvolvimento da parte de inteligência artificial, foi proposital para facilitar a compreensão do ponto de ligação entre a hidrodinâmica e a IA.

Para o caso de interferência de duas barras cilíndricas descrita na seção 6.1. e na tabela 6.1 podemos definir os seguintes operadores para o caso  $L/D = 0$ :

;;; Operadores para duas barras com seção circular normais ao escoamento.

```
(defBusca BCIR-BCIR
  (SH (BARRA-V ARREDONDADO-V CIRCULO-V NORMAL-V
       BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R
       ?ld ?td))
  :TEST (setq CD 1.2)
  :SUBPROBLEMS ((?int (Busca (SH (BCIR-BCIR ?ld ?td))))))
  :RESULT (?int))
```

```
(defBusca SH=1.1429
  (SH (BCIR-BCIR 0 1))
  :RESULT (SH (1.1429)))
```

```
(defBusca SH=0.7143
  (SH (BCIR-BCIR 0 1.25))
  :RESULT (SH (0.7143)))
```

```
(defBusca SH=0.6429
  (SH (BCIR-BCIR 0 1.5))
  :RESULT (SH (0.6429)))
```

```
(defBusca SH=0.7857
  (SH (BCIR-BCIR 0 2))
  :RESULT (SH (0.7857)))
```

```
(defBusca SH=0.9286
  (SH (BCIR-BCIR 0 2.5))
  :RESULT (SH (0.9286)))
```

```
(defBusca SH=0.8571
  (SH (BCIR-BCIR 0 3))
  :RESULT (SH (0.8571)))
```

```
(defBusca SH=0.8571
  (SH (BCIR-BCIR 0 5))
  :RESULT (SH (0.8571)))
```

```
(defBusca SH=0.8571
  (SH (BCIR-BCIR 0 7))
  :RESULT (SH (0.8571)))
```

Do mesmo modo que se definiram os operadores para este caso de interferência, define-se a interferência entre outros corpos: sólido-sólido, placa-placa, sólido-barra etc, como o caso de interferência entre duas placas normais ao escoamento (aqui não se inseriram todos os dados correspondentes por serem semelhantes ao caso anterior).

;;; Operadores para duas placas normais ao escoamento.

```
(defBusca PNOR-PNOR
  (SH (PLACA-V NORMAL-V
        PLACA-R NORMAL-R
        ?Id ?td))
  :SUBPROBLEMS ((?int (Busca (SH (PNOR-PNOR ?Id ?td))))))
  :RESULT (?int))
```

Na seção 6.2. e na seção 7.2.1. falava-se de uma regra que aproximasse determinados tipos geométricos em função de grupos que possuíssem a mesma forma e ponto de descolamento semelhante (Apêndice1). Dividimos em dois grandes grupos, arredondados e cantos-vivos, mas como fazer um operador para executar esta operação? Um exemplo é o operador abaixo que aproxima os dados de uma barra de seção circular para um elipse, que não possui dados no banco de dados.

```
(defBusca BARREDONDADA-BARREDONDADA
  (SH (BARRA-V ARREDONDADO-V ?geometria-v NORMAL-V
        BARRA-R ARREDONDADO-R ?geometria-r NORMAL-R
        ?Id ?td))
  :TEST (cond ((equal ?geometria-r 'ELIPSE-R) (setq CD 1.0))
              (t (setq CD 1.0)))
  (not (equal ?geometria-r 'CIRCULO-R))
  :SUBPROBLEMS ((?int (Busca (SH (BCIR-BCIR ?Id ?td )))))
  :RESULT (?int))
```

Esta aproximação é um meio utilíssimo para contornar o problema de falta de dados de interferência para várias geometrias diferentes. Como o melhor modo de se obter um dado que só se obteria com a realização de ensaios num túnel de vento, ou tanque de provas, esta aproximação é válida para a faixa de número de Reynolds com que se



trabalha aqui, entre  $10^4$  e  $10^5$ , a figura abaixo mostra a semelhança na tendência destas curvas nesta faixa de Reynolds.

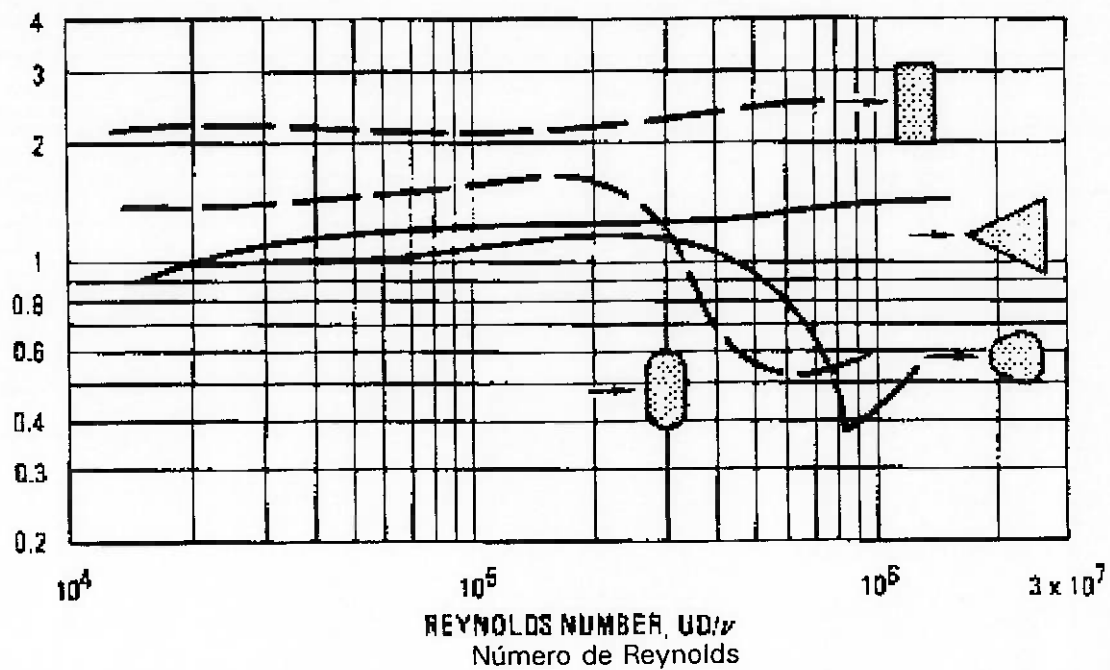


Fig. 7.7 - Variação do coeficiente de arrasto para barras de seções transversais diferentes.

## **8. Resultados.**

Para avaliar a metodologia proposta para o cálculo dos coeficientes hidrodinâmicos é necessário traçar qual vai ser a metodologia de avaliação desta proposta sobre alguns exemplos, para se fazer uma análise e depois mostrar, com os exemplos que a metodologia fornece, resultados confiáveis e suficientemente precisos.

### **8.1. Metodologia de Avaliação.**

Como já se falou na seção 4.2, há algumas formas de se obter os coeficientes de forças hidrodinâmicas de natureza viscosa, de corpos compostos por objetos bojudos e, embora não forneçam o melhor resultado, podem ser utilizados para a comparação que se quer traçar.

O método de avaliação será comparar quatro resultados que se pode obter, em relação a um mesmo exemplo. Os resultados serão o do cálculo através do método da superposição simples e o de uma Sociedade Classificadora, no caso a DNV, que já foram explicados na seção 4.2. Outro resultado será o da própria metodologia apresentada no trabalho e o quarto resultado será o resultado de ensaio, que representa a realidade. Assim, calculando-se as porcentagens do erro de cada uma das três metodologias em relação ao resultado exato do ensaio, chega-se a um bom padrão de comparação para os resultados.

### **8.2. Torre de Alta Tensão.**

O primeiro exemplo é o de uma torre de alta tensão; ela serve como um bom exemplo básico, por não requerer simplificações geométricas; a geometria está

muito bem definida e, assim, espera-se resultados próximos da realidade no caso em estudo.

A torre foi ensaiada, e os resultados publicados por BRITISH ELECTRICAL AND ALLIED INDUSTRIES RESEARCH ASSOCIATION. Embora neste trabalho haja resultados para inúmeros ângulos de ataque diferentes, só se calculou para o ângulo de zero grau, pois não se tem dados de coeficientes de sombreamento para barras de perfil L que não estejam alinhadas ao escoamento, ou seja  $T/D=0$ .

A geometria da torre está na figura abaixo, pode-se observar que a estrutura é bastante simples e "limpa" e por isso é um bom exemplo para testar a metodologia.

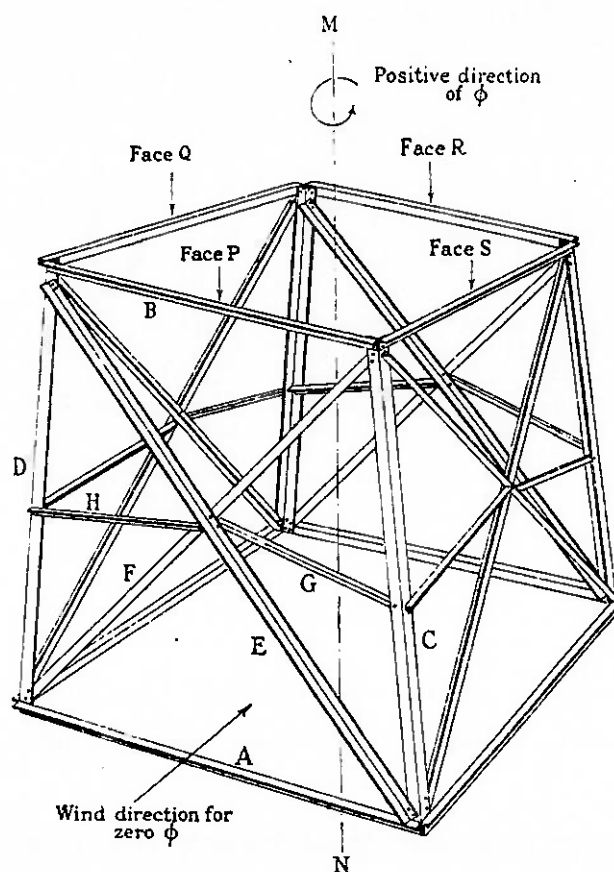


Fig. 8.1 - Torre analisada com a metodologia descrita.

Para o ângulo de ataque de zero graus, único que é possível aplicar à condição de escoamento alinhado, obteve-se o seguinte resultado:

Força Exata (N)	Metodologia Proposta (N)	Erro (%)	Superposição (N)	Erro (%)	DNV (N)	Erro (%)
31,98268	33,62181	5,12	45,6068	42,60	40,5084	26,66

**Tabela 8.1 - Resultado da análise da torre.**

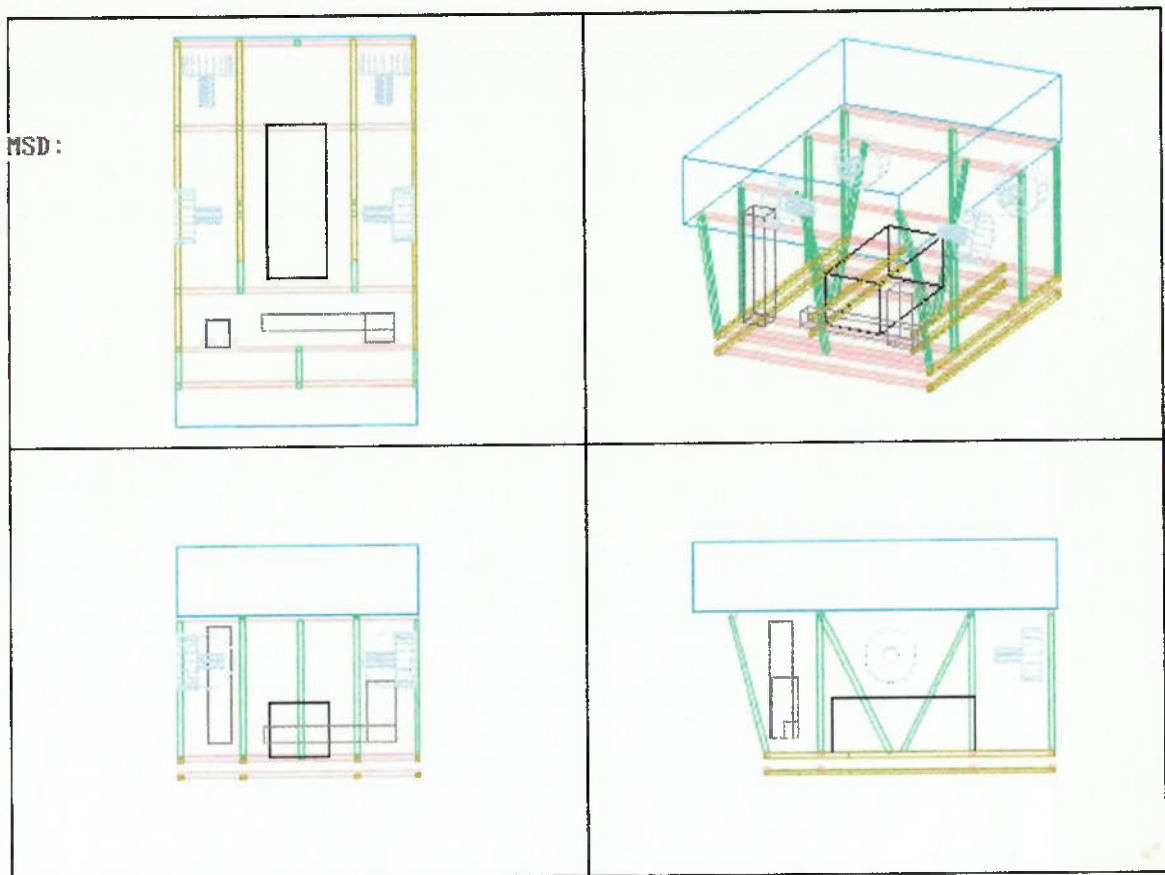
Neste exemplo vê-se que a metodologia proposta obtém resultados muito bons, com um erro de 5%, e que os outros dois métodos apresentam um erro muito maior para o mesmo exemplo. O resultado da DNV foi obtido utilizando o método do coeficiente de solidificação, recomendado para estruturas treliçadas.

### **8.3. O ROV.**

A metodologia proposta, desenvolvida para auxiliar o projeto de um ROV, foi aplicada ao ROV DOLPHIN 3K desenvolvido pelo JAMSTEC (Japan Marine Science and Technology Center) cujos dados de ensaio foram publicados por NOMOTO E HATTORRI (1986).

Tanto os dados de ensaio, como os poucos dados disponíveis de coeficiente de sombreamento só permitem a análise do ROV nos ângulos de 0, 90, 180 e 270 graus e também o fluxo incidindo por cima e por baixo do ROV.

Neste exemplo utilizou-se o MSD para modelar o ROV e obter os dados geométricos necessários para o programa SOMBRA. A geometria do ROV, modelado pelo MSD, pode ser vista na figura abaixo.



**Fig. 8.2 - DOLPHIN 3K modelado pelo MSD.**

Aqui, diferentemente do exemplo anterior, simplificou-se a geometria do ROV para ser modelado pelo MSD e também para estar dentro das possibilidades de dados de coeficientes de sombreamento que se possui. O DOLPHIN 3K pode ser visto na figura abaixo.

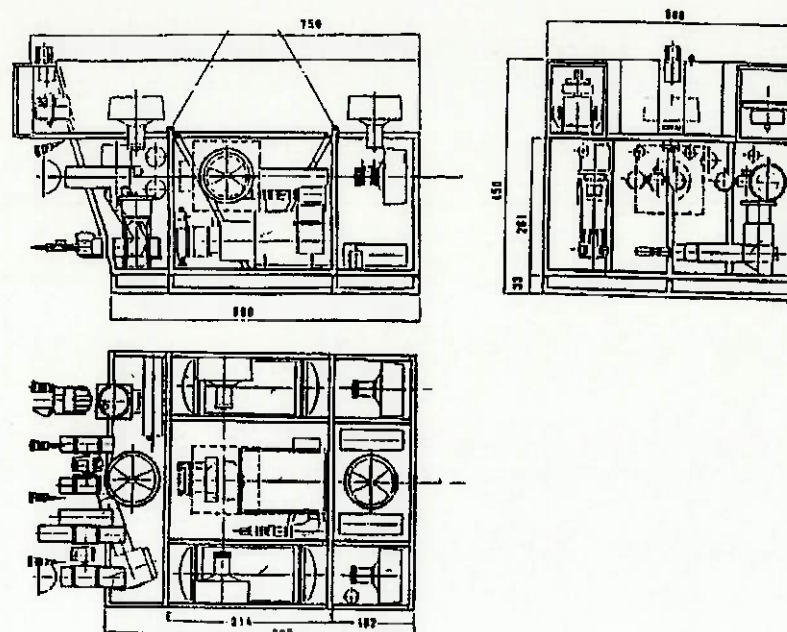


Fig 8.3 - DOLPHIN 3K.

Os resultados são os coeficientes hidrodinâmicos do ROV que podem ser vistos nas tabelas abaixo:

Alfa = 0	Área = 3,5 m <sup>2</sup>					
Ensaio	Medolologia Proposta	Erro (%)	Superposição	Erro (%)	DNV	Erro (%)
0,877	1,223515	39,51	1,540716	75,08	1,310378	43,34

Tabela 8.2 - Resultados para ângulo de ataque de zero graus.

Alfa = 90	Área = 3,8 m <sup>2</sup>					
Ensaio	Medolologia Proposta	Erro (%)	Superposição	Erro (%)	DNV	Erro (%)
1,218	1,154757	5,19	1,547936	21,31	1,241413	1,92

Tabela 8.3 - Resultados para ângulo de ataque de 90 graus.

Alfa = 180	Área = 3,5 m <sup>2</sup>					
Ensaio	Mediologia Proposta	Erro (%)	Superposição	Erro (%)	DNV	Erro (%)
0,914	1,243801	36,08	1,587864	73,73	1,339810	46,59

**Tabela 8.4 - Resultados para ângulo de ataque de 180 graus.**

Alfa = 270	Área = 3,8 m <sup>2</sup>					
Ensaio	Mediologia Proposta	Erro (%)	Superposição	Erro (%)	DNV	Erro (%)
1,186	1,077545	9,14	1,4356	21,05	1,0743	9,99

**Tabela 8.5 - Resultados para ângulo de ataque de 270 graus.**

Por cima	Área = 6,0 m <sup>2</sup>					
Ensaio	Mediologia Proposta	Erro (%)	Superposição	Erro (%)	DNV	Erro (%)
2,024	1,872996	7,46	2,818647	39,26	1,939497	4,18

**Tabela 8.6 - Resultados para fluxo por cima.**

Por baixo	Área = 6,0 m <sup>2</sup>					
Ensaio	Mediologia Proposta	Erro (%)	Superposição	Erro (%)	DNV	Erro (%)
1,999	1,901449	4,88	2,925650	46,36	2,203123	10,21

**Tabela 8.7 - Resultados para fluxo por baixo.**

A metodologia proposta é algo que só tende a melhorar, uma vez que, ao aumentar-se o banco de dados de interferências cada vez mais aproximaremos o modelo da realidade. Os outros métodos não tem como fazer isto, já que se baseiam num outro modo de se fazer o cálculo.

#### 8.4. Análise de Resultados.

Ao analisar os resultados obtidos, percebe-se algo interessante: os resultados entre a metodologia proposta e a DNV são próximos e quando o fluido incide por cima do ROV o resultado da DNV é melhor. Este fato possui algo positivo que é uma comprovação que a metodologia encontra valores confiáveis como os de uma sociedade classificadora mas também leva a pergunta: "porque então não utilizar a DNV?".

A resposta a esta questão parece residir no comentário final da seção anterior, que a metodologia proposta possui poucos dados de coeficientes de interferência e pode melhorar muito o resultado com o aumento do banco de dados. Uma tentativa de responder a esta pergunta é ver a porcentagem de regras disparadas que obtiveram algum resultado para cada ângulo de ataque. A tabela abaixo apresenta estes resultados:

Ângulo de ataque	0 graus	90 graus	180 graus	270 graus	Por cima	Por baixo
Regras disparadas (%)	26	21	25	21	38	14
Erro Metodologia Proposta (%)	39,51	5,19	36,08	9,14	7,46	4,88
Erro DNV (%)	43,34	1,92	46,59	9,99	4,18	10,21

**Tabela 8.8 - Porcentagem de Regras disparadas em cada caso.**

Esta primeira análise mostra que muito poucas regras chegam num resultado que possa ser aplicado, isto reforça o fato que a falta de dados de interferência dificulta a inferência de um coeficiente de sombreamento pelo sistema especialista.

Esta constatação leva a outra pergunta: "quais são os principais casos de interferência que estão sendo levados em conta?". Os principais casos são os que computam a interferência entre barra-barra, sólido-barra e sólido-sólido. No ROV a interferência de todas as barras entre si pode ser computada, também a interferência



entre o flutuador e todas as barras e a interferência da bomba e as barras que estão imediatamente à sua ré e finalmente a interferência que o flutuador causa sobre a bomba.

A afirmação de que o que está produzindo resultados tão próximos entre a metodologia proposta e a DNV pode ser reforçada na seguinte análise, faz-se uma estimativa aproximada do coeficiente de sombreamento que determinado corpo faz sobre o outro e introduz-se este resultado para ver o que acontece com a diferença do coeficiente de arrasto estimado pela DNV e pela metodologia proposta. Esta análise também mostrará a possibilidade de melhorá da ferramenta aqui desenvolvida para estimativa dos coeficientes das forças hidrodinâmicas de natureza viscosa.

Podemos estimar o coeficiente de sombreamento de duas barras lado a lado, muito próximas uma da outra, na posição oblíqua ao escoamento, como na figura abaixo.

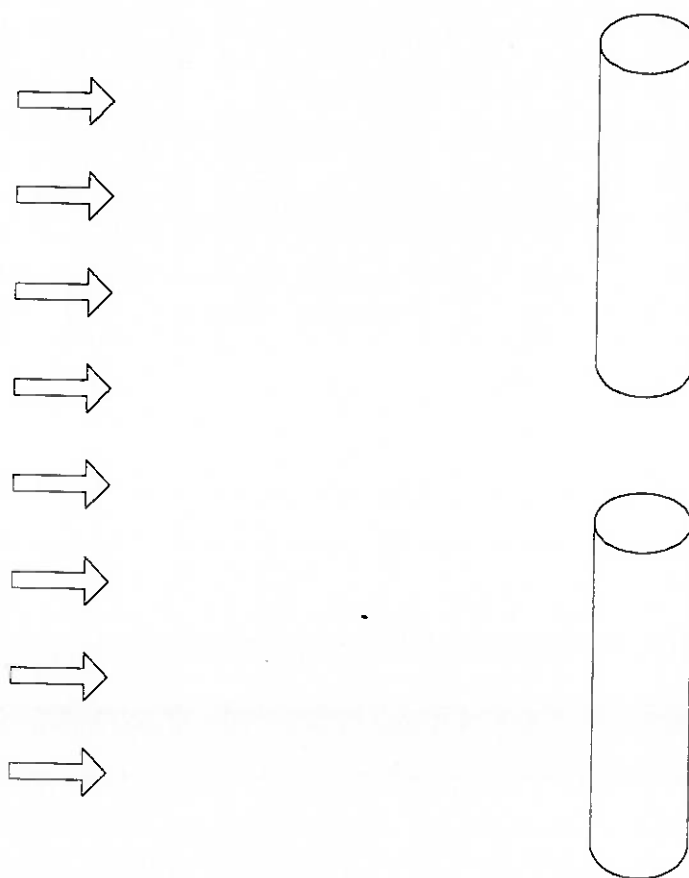


Fig 8.4 - Interferência entre duas barras oblíquas lado a lado.

Pode-se estimar o coeficiente de sombreamento através da aproximação entre duas placas normais ao escoamento com  $L/D = 0$  (BLEVINS - 1984), o efeito do jato entre as pontas mais próximas das duas barras é semelhante também, assim:

<b>T/D</b>	<b>SH</b>
1,5	0,74
2,0	0,8
3,0	1,0
4,0	1,05
6,0	1,03
11,0	1,0
16,0	1,0

**Tabela 8.9** - Sombreamento aproximado para duas barras oblíquas ao escoamento, lado a lado.

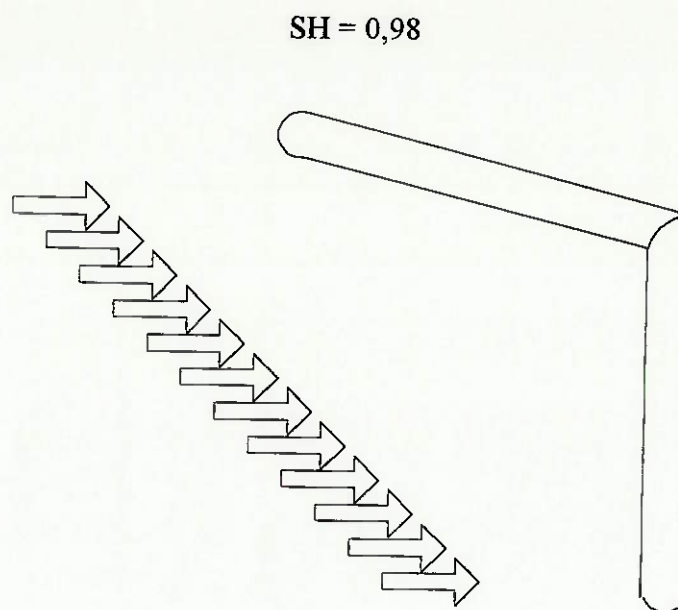
Fazendo uma interpolação para os valores de  $T/D = 0,73$ , encontramos:

$$SH = 0,6476$$

Aplicando este valor entre os motores e os dutos dos motores e vice-versa, chega-se ao seguinte resultado:

<b>Metodologia Proposta</b>	<b>DNV</b>
1,221625 (39,30 %)	1,310378 (43,34 %)

**Tabela 8.10** - Comparação com a estimativa de alguns coeficientes de sombreamento. Outra aproximação pode ser feita com relação ao braço do ROV que foi modelado por duas barras formando 90 graus uma em relação a outra na extremidade e também entre as barras verticais e horizontais que se encostam umas as outras. Aqui pode ser aplicado o coeficiente de sombreamento da junção de duas barra uma com relação a outra (HOERNER - 1965):



**Fig 8.5 - Duas barras formando uma quina.**

e chega-se ao seguinte resultado:

Metodologia Proposta	DNV
1,191939 (35,91 %)	1,310378 (43,34 %)

**Tabela 8.11 - Comparação com a estimativa de alguns coeficientes de sombreamento.**

Uma grande lacuna de dados é a análise dos corpos tridimensionais e sua interferência entre outros. A interferência de prismas sobre barras ou outros sólidos que estão sob a ação da sua esteira e vice-versa não é contemplada pela literatura e ensaios precisariam ser feitos. Supondo uma estimativa razoável, baseado numa extrapolação de corpos bidimensionais, poderíamos estimar os coeficientes de arrasto de duas barras, assim nos casos em que a bomba causa interferência sobre as barras do ROV e vice-versa pode-se chegar ao seguinte resultado:

Metodologia Proposta	DNV
1,180878 (35,55 %)	1,310378 (43,34 %)

**Tabela 8.12 - Comparação com a estimativa de alguns coeficientes de sombreamento.**

Todas estas estimativas são bastante razoáveis baseando-se nos dados que fornece a literatura embora necessitem de uma validação experimental para então serem incorporados com regras no SOMBRA, esta incorporação é bastante simples e basta seguir o modelo de criação de regras no SOMBRA como foi exposto na seção 7.2.5.

Todas as alterações acima foram feitas para o ângulo de ataque de zero grau e a aproximação que se obteve ocorrerá de maneira semelhante para os outros casos.

Assim a pergunta sobre se valia a pena investir no desenvolvimento do SOMBRA diante da DNV pode ser respondida afirmativamente, uma vez que fica claro que o aumento de regras traz uma melhoria na estimativa do coeficiente de arrasto.

Uma outra análise pode ser feita comparando os resultados do DOLPHIN sem o flutuador. Este modelo permite verificar a influência do sombreamento que causa o flutuador sobre todo o conjunto do ROV. A figura abaixo apresenta a geometria do ROV sem o flutuador. A comparação feita aqui só serve para averiguar a diferença entre a DNV e o método proposto.

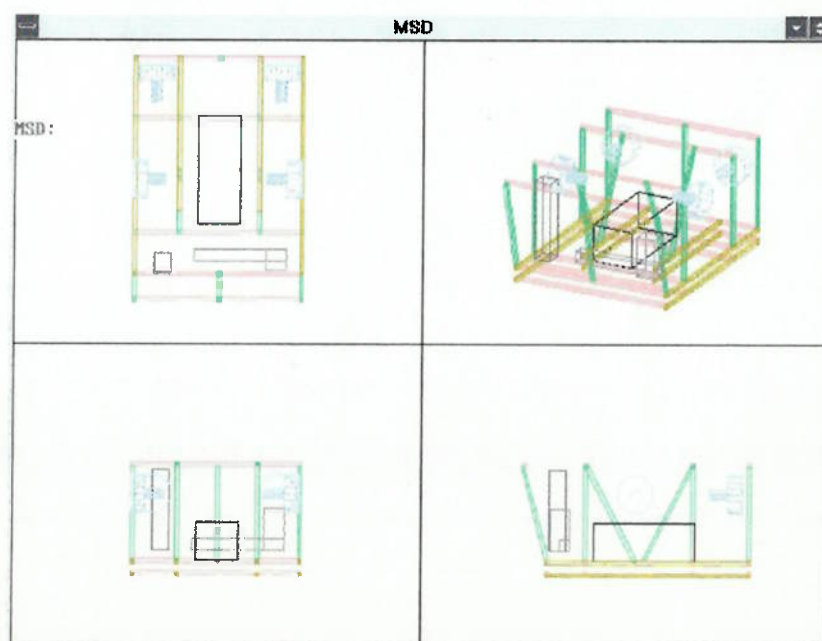


Fig. 8.6 - DOLPHIN simples sem o flutuador modelado pelo MSD.

<b>Alfa = 0</b>	
<b>Metodologia Proposta</b>	<b>DNV</b>
1,557662	1,638320

**Tabela 8.13 - Comparação entre a metodologia proposta e a DNV em zero grau.**

<b>Alfa = 90</b>	
<b>Metodologia Proposta</b>	<b>DNV</b>
1,548366	1,631280

**Tabela 8.14 - Comparação entre a metodologia proposta e a DNV em 90 graus.**

<b>Alfa =180</b>	
<b>Metodologia Proposta</b>	<b>DNV</b>
1,580395	1,673851

**Tabela 8.15 - Comparação entre a metodologia proposta e a DNV em 180 graus.**

<b>Alfa =270</b>	
<b>Metodologia Proposta</b>	<b>DNV</b>
1,541666	1,631280

**Tabela 8.16 - Comparação entre a metodologia proposta e a DNV em 270 graus.**

<b>Por cima</b>	
<b>Metodologia Proposta</b>	<b>DNV</b>
1,415139	1,552438

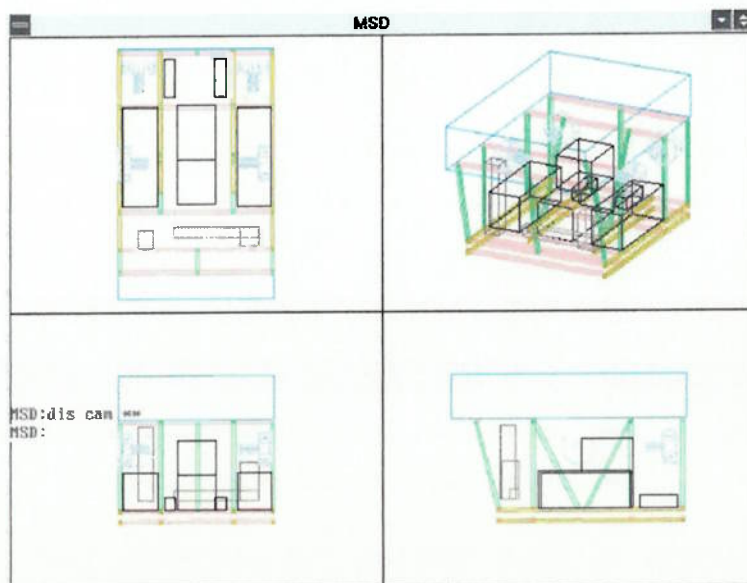
**Tabela 8.17 - Comparação entre a metodologia proposta e a DNV por cima.**

Por baixo	
Metodologia Proposta	DNV
1,349151	1,559246

**Tabela 8.18** - Comparação entre a metodologia proposta e a DNV por baixo.

Os resultados são semelhantes para os vários ângulos de ataque diferentes e isto era de se esperar, uma vez que, sem o flutuador, o ROV assemelha-se a uma caixa gradeada simples e, independente do ângulo de ataque, a geometria é semelhante. A diferença de coeficiente de arrasto entre a DNV e a metodologia proposta é pequena, e isto reforça a tese de que o melhor resultado será alcançado com um maior número de regras disparando, ou seja, com um banco de dados mais completo.

Outro teste na análise de dados que foi realizado, foi modelar o DOLPHIN com mais elementos para reforçar que aumentando o número de interferências a diferença entre a DNV e a modelagem proposta iria aumentar. Assim acrescentaram-se novos elementos presentes no DOLPHIN real, aproximando o ROV modelado do real, do ponto de vista geométrico. A figura 8.7 pode ser vista abaixo.



**Fig. 8.7** - DOLPHIN completo modelado pelo MSD.

Os resultado para este ROV mais completo pode ser visto nas tabelas abaixo.

Alfa = 0		Área = 3,5 m <sup>2</sup>				
Ensaio	Medolologia Proposta	Erro (%)	Superposição	Erro (%)	DNV	Erro (%)
0,877	1,335213	52,25	1,779078	102,86	1,520967	73,43

Tabela 8.19- Resultados para ângulo de ataque de zero grau.

Alfa = 90		Área = 3,8 m <sup>2</sup>				
Ensaio	Medolologia Proposta	Erro (%)	Superposição	Erro (%)	DNV	Erro (%)
1,218	1,133358	- 6,95	1,594208	30,89	1,123036	- 7,80

Tabela 8.20- Resultados para ângulo de ataque de 90 graus.

Alfa = 180		Área = 3,5 m <sup>2</sup>				
Ensaio	Medolologia Proposta	Erro (%)	Superposição	Erro (%)	DNV	Erro (%)
0,914	1,219116	33,38	1,601414	75,21	1,414647	54,78

Tabela 8.21- Resultados para ângulo de ataque de 180 graus.

Alfa = 270		Área = 3,8 m <sup>2</sup>				
Ensaio	Medolologia Proposta	Erro (%)	Superposição	Erro (%)	DNV	Erro (%)
1,186	1,095446	-7,64	1,382320	16,55	0,992953	-16,28

Tabela 8.22 - Resultados para ângulo de ataque de 270 graus.

Por cima		Área = 6,0 m <sup>2</sup>				
Ensaio	Medolologia Proposta	Erro (%)	Superposição	Erro (%)	DNV	Erro (%)
2,024	1,426494	-29,52	2,068380	2,19	1,471140	-27,32

Tabela 8.23 - Resultados para fluxo por cima.

Por baixo	Área = 6,0 m <sup>2</sup>					
Ensaio	Metodologia Proposta	Erro (%)	Superposição	Erro (%)	DNV	Erro (%)
1,999	2,089173	4,36	3,227133	61,44	2,190839	9,60

**Tabela 8.24 - Resultados para fluxo por baixo.**

Estes resultados permitem mostrar que a diferença entre a DNV e a metodologia proposta aumenta, quando se aumentam os casos de interferência que a DNV não considera em sua regra, como os corpos que estão desalinhados, e que a metodologia proposta considera. Fazendo o acréscimo de mais regras, como o que foi feito para o DOLPHIN simples, chega-se nos seguintes resultados.

Metodologia Proposta	DNV
1,282513 (46,24 %)	1,520967 (73,43 %)

**Tabela 8.25 - Comparação com a estimativa de alguns coeficientes de sombreamento.**

A pergunta que deve ser respondida agora é: "se melhorei a geometria, aproximando do caso real, por que os resultados aumentaram em erro com relação ao DOLPHIN mais simples?" A resposta está novamente na falta de mais regras, porque com o aumento dos elementos dentro do ROV aumentam os casos de interferência, e vários novos casos envolvendo prismas apareceram, e exatamente deste tipo de regras que mais se carece na literatura tornando difícil uma estimativa melhor.

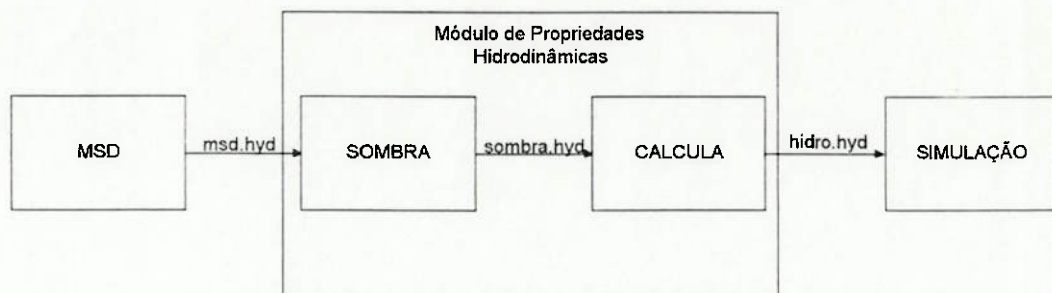
A diferença que existe entre o valor do coeficiente arrasto de ensaio pode ser explicada pela simplificação da geometria entre o DOLPHIN 3K real e o modelado pelo MSD, esta simplificação acarreta uma natural defasagem entre os dados da análise feita aqui e os dados de ensaio, isto já era esperado uma vez que a complexidade geométrica pode variar de acordo com as necessidades do usuário. Assim, dependendo



do ângulo de ataque, tem-se uma geometria melhor ou pior definida, basta pensar que, quando analisa-se o ROV com o ângulo de ataque incidindo por cima a geometria, é mais bem representada que quando o ROV é estudado para o ângulo de zero ou 180 graus.

## 9. Interface do SOMBRA com o Sistema Integrado.

A terceira fase de implantação é a interface entre o MSD, o programa SOMBRA e o programa CALCULA. O programa CALCULA existe para fazer o cálculo matemático com os dados obtidos no SOMBRA. Nesta seção vamos falar da interação dos três. A figura 9.1 mostra os três trabalhando juntos.



**Fig. 9.1 - Interação MSD, SOMBRA E CALCULA.**

A passagem de dados de um programa para outro é feita através dos três arquivos que aparecem na figura:

- msd.hyd - passa todas as listas necessárias para a obtenção do coeficiente de sombreamento e as propriedades geométricas necessárias para o cálculo dos coeficientes hidrodinâmicos.
- sombra.hyd - envia para o programa CALCULA os dados necessários para o cálculo dos coeficientes hidrodinâmicos do ROV numa determinada atitude diante do escoamento.
- hidro.hyd - fornece os coeficientes hidrodinâmicos para vários ângulos de ataque.

Vamos analisar parte a parte os detalhes de implantação relevantes.

## 9.1. MSD - SOMBRA.

### 9.1.1. Tipos de Geometria.

O MSD deve padronizar várias formas geométricas básicas para passar os diversos tipos de corpos para o SOMBRA dentro de um determinado padrão. Todo elemento gerado no MSD deve encaixar-se nos tipos geométricos existentes no SOMBRA. É a definição do tipo do corpo. Assim:

a) Barra  $L \gg D$

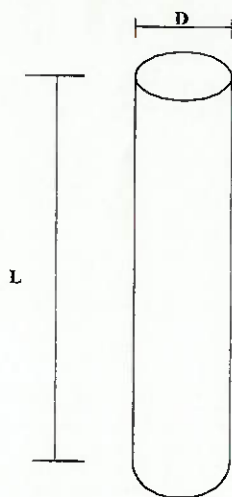


Fig. 9.2 - Dimensões Relevantes numa Barra.

b) Sólido  $L \sim D$

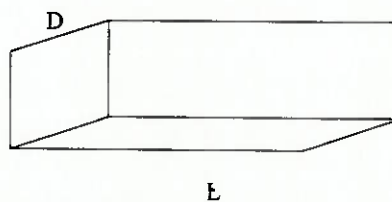


Fig. 9.3 - Dimensões Relevantes num Sólido.

c) Placa  $L \gg \gg \gg D$



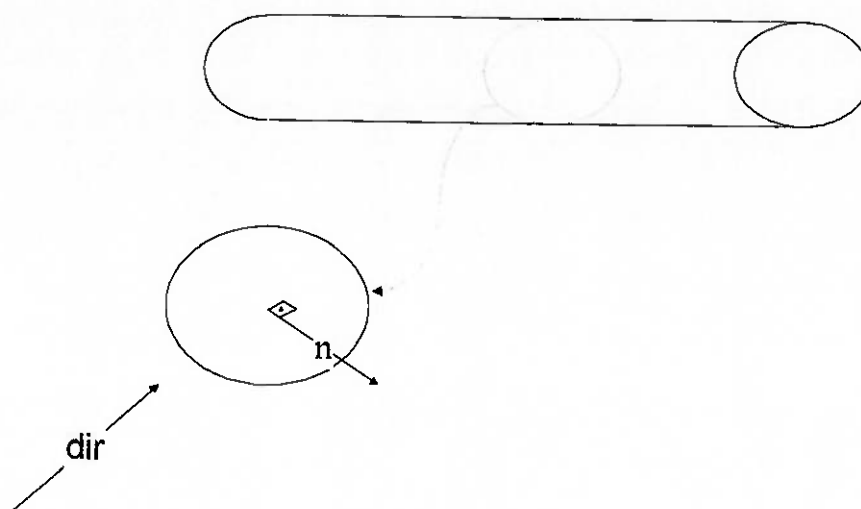
Fig. 9.4 - Dimensões Relevantes numa Placa.

Depois define-se, caso a caso, a fronteira e a particularidade geométrica, seguindo o esquema abaixo.

<b>BARRA</b>	Círculo	A
	Quadrado	CV
	Triângulo	CV
	Retângulo	CV
	Elíptica	A
	Perfil "L"	CV
	Perfil "T"	CV
<b>SÓLIDO</b>	Perfil "I"	CV
	Esfera	A
	Cubo	CV
	Prisma	CV
	Pirâmide	CV
<b>PLACA</b>	Cone	A ou CV (se o escoa- mento incide na base do cone)
Nenhuma	CV	

Estas definições de tipo, fronteira e geometria são feitas no MSD, no momento da criação dos corpos pelo usuário e, de acordo com o que se desenha, imediatamente se define todos estes três parâmetros da representação da interferência.

Finalmente, define-se a atitude da barra e da placa em relação ao escoamento. Isto é feito, através de um produto escalar, entre a direção do escoamento e a normal da seção transversal da barra, ou da placa.



**Fig. 9.5 - Esquema da Determinação da Atitude em Relação ao Escoamento de uma Barra.**

Se  $\vec{dir} \cdot \vec{n} = 0$  a barra é normal e se  $\vec{dir} \cdot \vec{n} \neq 0$  a barra é oblíqua.

### 9.1.2. Hierarquia de Posições.

O MSD deve ter a capacidade de fazer uma mudança de coordenadas sobre o vetor velocidade e em relação a ele hierarquizar quais corpos estão à vante de um determinado corpo e também dar as distâncias relativas entre os corpos.

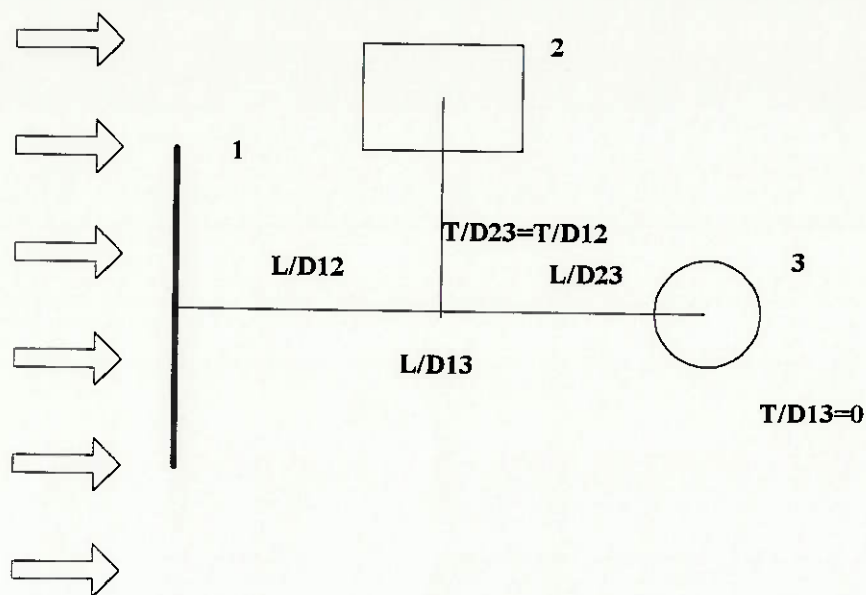


Fig. 9.6 - Situação 1.

Na situação 1 temos:

corpo 1 > corpo 2 > corpo 3 (hierarquia de posição)

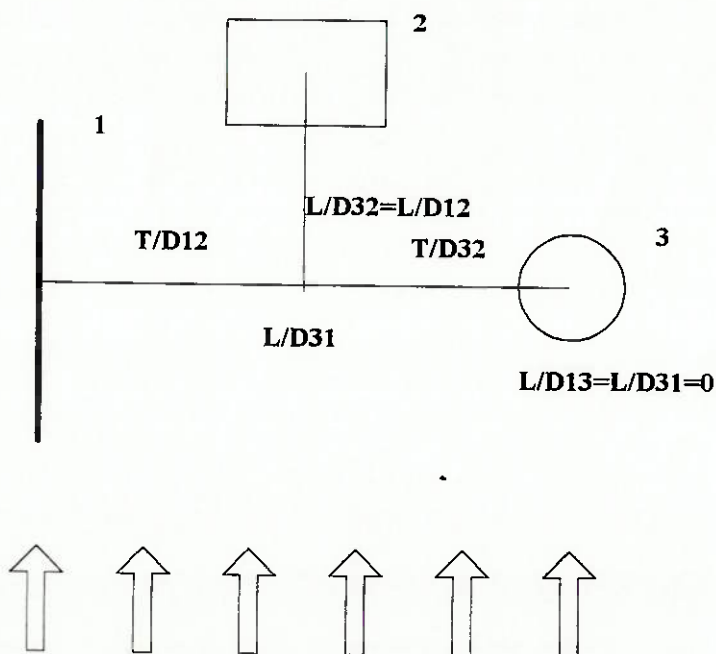


Fig. 9.7 - Situação 2.

Já, na situação 2 temos:

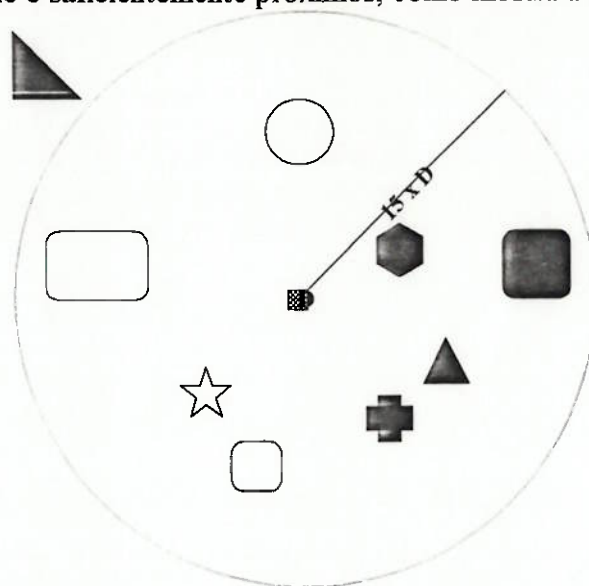
corpo 1=corpo 3>corpo 2 (hierarquia de posição)

O MSD tem que ordenar, hierarquizar, os diversos corpos que compõem uma figura complexa em relação a um determinado ângulo de ataque. Ao ir relacionando as interferências ele deve seguir dois critérios para ver que corpos interferem sobre ele:

1) Todos os corpos a ré do corpo são desprezados.

2) Todos os corpos distantes de 15 vezes (HIPÓTESE) a dimensão principal do corpo são desprezados.

Assim pode-se ver que o corpo em estudo só terá interferências consideradas entre os corpos à vante dele e suficientemente próximos, como mostra a figura abaixo.



**Fig. 9.8 - Limites da interferência e corpos que interferem no escoamento do corpo em estudo.**

Para fazer esta hierarquização o MSD executa três operações principais:

1) Ordena todos os corpos em relação à distância da origem do sistema de coordenadas ao centro de gravidade de cada corpo.

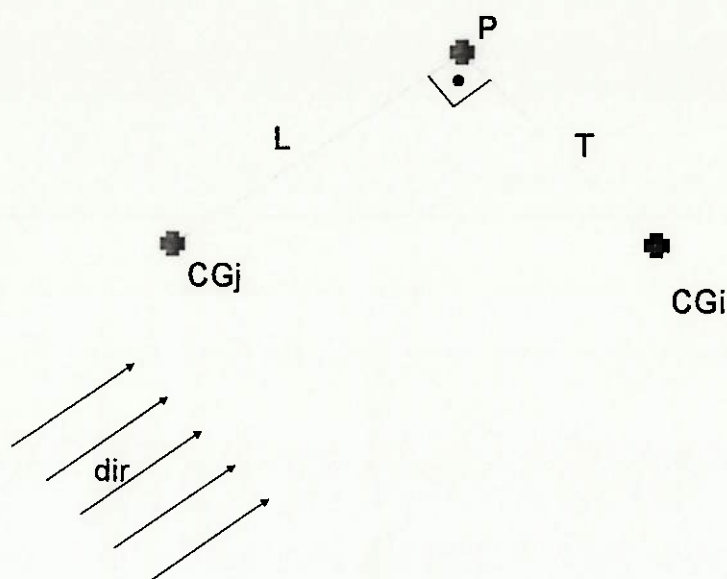
2) Varrendo a lista ordenada, o MSD vai desprezando os corpos que estão à ré do corpo em estudo.

3) Nesta mesma varredura, considera como corpos que interferem sobre o corpo em estudo todos aqueles que estiverem dentro de um raio de quinze vezes a dimensão principal do corpo em estudo.

### **9.1.3. Distâncias Relativas.**

As distâncias relativas, como pode ser visto na figura 9.5 e 9.6, variam conforme se varia o ângulo de ataque, por isso o MSD utiliza uma função que calcula a distância de um ponto até o plano que passa por outro ponto, plano este normal à direção do escoamento; esta distância é a dimensão  $L$ .



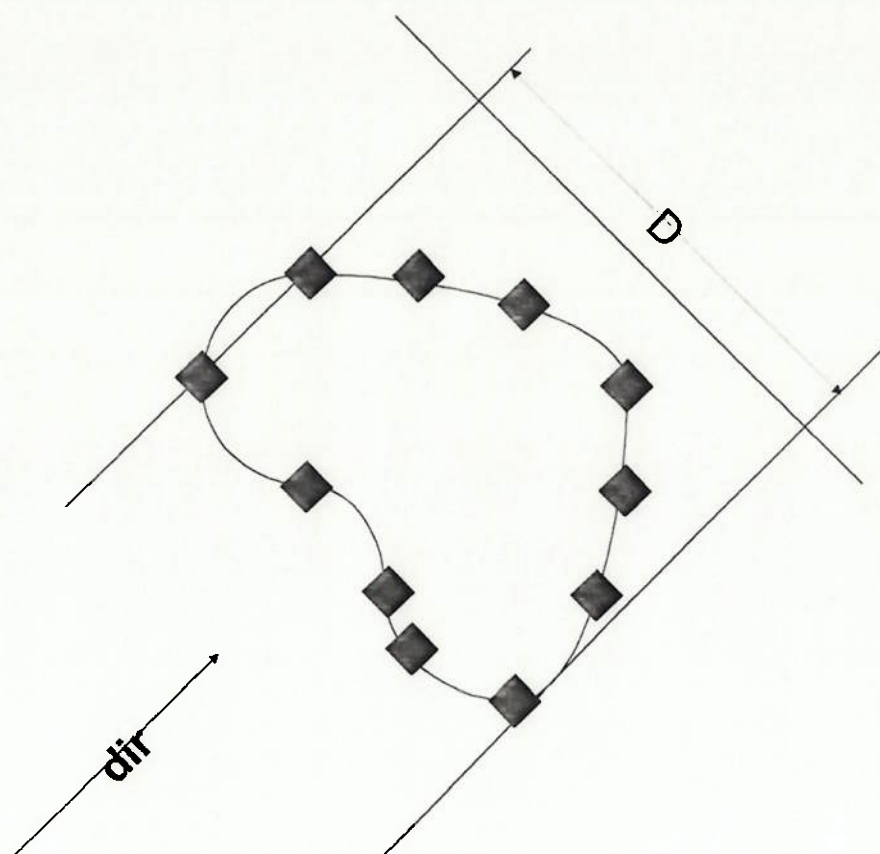


**Fig. 9.9 - Determinação da Distância Relativa entre Dois Pontos.**

Depois faz-se a soma do ponto  $CG_j$  com o vetor que liga o ponto  $CG_j$  ao plano para encontrar o ponto  $P$  e finalmente faz-se a subtração de  $CG_i-P$  para encontrar o vetor cujo módulo será a distância  $T$ .  $L$  e  $T$  devem ser medidas como a distância entre os centros de gravidade dos corpos.

A dimensão principal de cada corpo é calculada de acordo com o modo de como se parametriza no ensaio para obtenção dos coeficientes hidrodinâmicos de determinado corpo. Portanto, um estudo de cada caso de tipo geométrico foi exigido. As barras, as placas e os sólidos, possuem uma abordagem própria.

Para encontrar a dimensão principal de uma barra, utilizou-se, como ferramenta básica, a função que calcula a distância de um ponto a um plano numa dada direção, para ir varrendo os vértices do sólido que representa a seção transversal da barra e pegar os dois vértices extremos.  $D$  deve ser a média aritmética dos dois corpos (HIPÓTESE).



◆ Vértices

Fig 9.10 - Dimensão principal de uma barra.

No caso da placa, para cada atitude em relação ao escoamento, tangente ou normal, há um modo de se encontrar a dimensão principal. No caso da placa tangente é a maior dimensão da intersecção do plano da placa com o plano normal à placa que passa por *dir*.

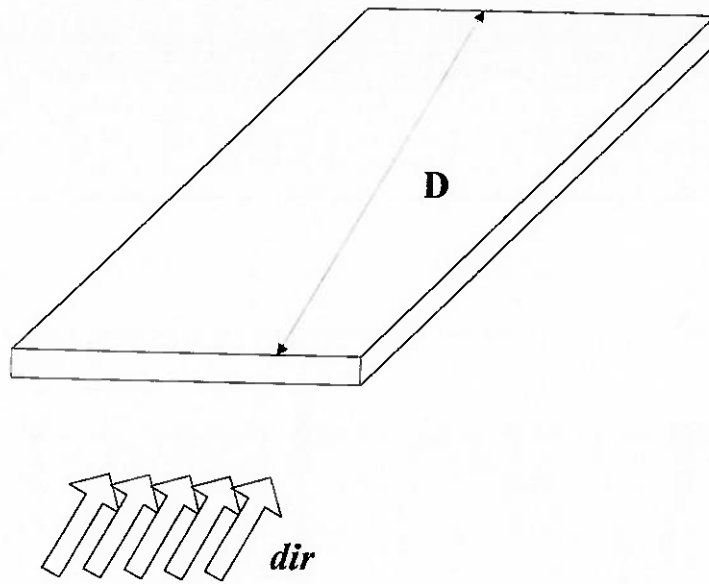


Fig. 9.11 - Dimensão principal de uma placa tangente ao escoamento.

Quando a placa é normal, basta saber qual é a menor dimensão da face que o escoamento incide.

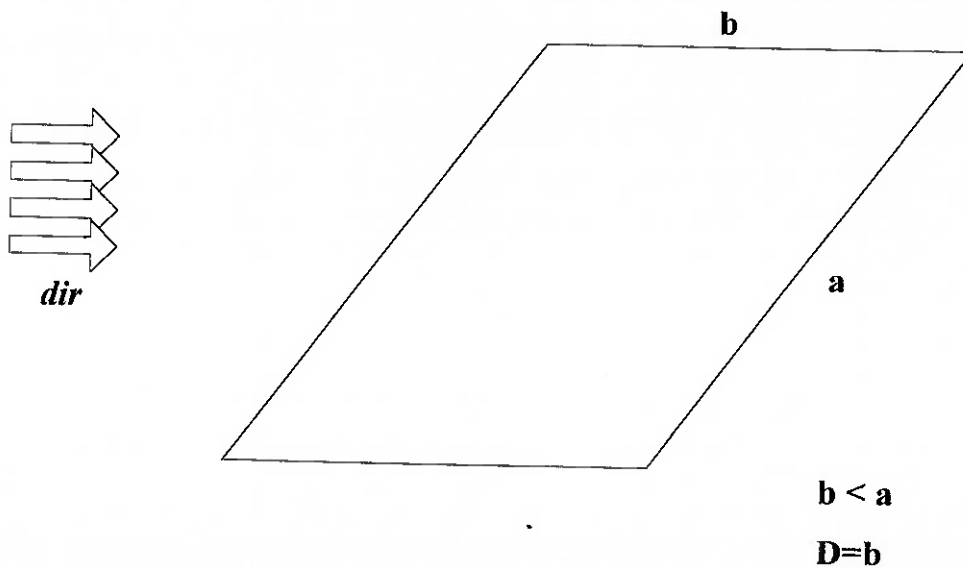


Fig. 9.12 - Dimensão principal de uma placa normal ao escoamento.

Quando estuda-se os sólidos a situação complica-se ainda mais, pois dependendo da atitude e do tipo de sólido há um modo diferente de se determinar a dimensão principal. Calcula-se, aqui, a dimensão principal como sendo a maior distância entre os vértices do poliedro da projeção do sólido num anteparo.

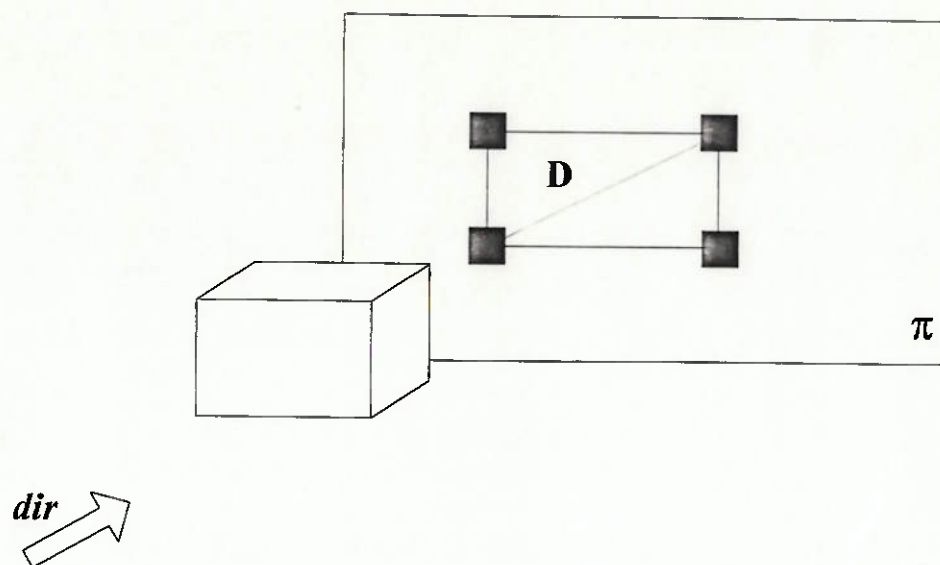


Fig. 9.13 - Dimensão principal de um sólido.

A constatação de que não há uma padronização para a publicação dos dados de ensaio de corpos 3D fez com que esta forma de se calcular a dimensão principal seja interessante, servindo para qualquer corpo, em qualquer atitude e possui uma consistência física, uma vez que a área projetada e a esteira formada pelo corpo estão relacionadas.

#### 9.1.4. Parâmetro de Efeitos Tridimensionais.



(3 3 Ap H/D MSD SOZINHO)

Este exemplo está baseado na figura 6.6.

## 9.2. SOMBRA-CALCULA.

O programa CALCULA faz o cálculo do coeficiente de arrasto global, num determinado ângulo de ataque, do corpo, ou veículo, que se quer obter os coeficientes hidrodinâmicos.

O programa SOMBRA gera um arquivo para o CALCULA com o seguinte formato:

<corpo em estudo> <corpo que interfere> <área projetada> <h/d> <CA> <SB>

A partir destes dados o programa calcula o coeficiente global de sombreamento, para o corpo em estudo, baseado na equação 5.10.

Com este coeficiente de sombreamento global, ele calcula a força de arrasto sobre o corpo em estudo conforme a equação:

$$F_i = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A_{pi} \cdot SH_i \cdot CA_i \cdot K_i \quad (9.1)$$

onde,  $\rho$  é a densidade do fluido;

$V$  é a velocidade do escoamento;

$A_{pi}$  é a área projetada do corpo em estudo;

$SH_i$  é o coeficiente de sombreamento global do corpo em estudo;

$CA_i$  é o coeficiente de arrasto do corpo em estudo; e

$K_i$  é o coeficiente de redução do efeito 3D, quando aplicável.

Depois de calcular todos os esforços sobre cada corpo o programa soma todas estas forças,

$$F_T = \sum_{i=1}^N F_i \quad (9.2)$$

onde N é o número de elementos que compõe o corpo. Finalmente, obtém o coeficiente de arrasto total do corpo, ou veículo,

$$CD = \frac{F_T}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A_p} \quad (9.3)$$

onde,  $F_T$  é a força de arrasto total; e

$A_p$  é a área projetada total.

Como saída o programa CALCULA gera uma lista de coeficientes de arrasto do corpo, ou veículo, para os ângulos de ataque estudados:

**alfa=<ângulo de ataque> CD=<coeficiente de arrasto>.**

Este arquivo de saída é o necessário para obter as curvas de coeficientes hidrodinâmicos como as da figura 3.5. Assim, pode-se utilizar estas curvas como entrada ao módulo de simulação do sistema integrado.

## 10. Conclusões.

Vale a pena repetir algo mencionado anteriormente: esta metodologia não visa a substituição de um ensaio num tanque de provas, mas apenas proporcionar uma ferramenta útil e poderosa para as fases iniciais de um projeto onde se tenha que estimar o comportamento hidro-aerodinâmico de um veículo ou estrutura.

Constatou-se uma lacuna na realização de ensaios para obter dados de vários casos possíveis de interferência. Estes ensaios podem ser realizados em série e, procurando varrer sistematicamente vários casos ainda não ensaiados. O custo da sua realização será baixo pelo fato de se utilizarem modelos extremamente simples e pela própria realização em série. Os resultados de tais ensaios terão grande utilidade para cada vez refinar mais o modelo apresentado, chegando-se assim mais próximo da realidade física que o modelo pretende representar.

A simplicidade do método, aliada a um mecanismo de inferência, pode tornar-se uma saída viável para uma solução barata, rápida e suficientemente precisa para estimar as propriedades hidrodinâmicas de um veículo ou estrutura. Pode-se contar, então, com uma ferramenta útil para o projetista desde as primeiras fases de um projeto.

A integração de todos os sistemas é uma ferramenta muito interessante e poderosa para resolver problemas concretos de engenharia; alia-se uma série de conhecimentos específicos de acordo com a natureza do problema a ser estudado para facilitar o trabalho do projetista. O sistema integrado facilita o trabalho de análise durante o projeto; podendo-se analisar muitos casos diferentes facilmente, como foi feito na análise de resultados.

A metodologia descrita neste trabalho precisa ainda de uma maturação para se definir limites e para ser comparada com a realização conjunta de ensaios.



O programa desenvolvido de IA dá um passo importante uma vez que define uma representação para o conhecimento deste problema específico e também mostra a viabilidade de se encontrar uma solução satisfatória. Mas deve-se, numa próxima fase, otimizar o sistema para garantir a eficiência do sistema, o próprio programa e a bibliografia utilizados para se desenvolver o programa SOMBRA tem finalidade didática e de desenvolvimento, mas não são um programa comercial.

A interface com o MSD suscitou uma série de problemas interessantes. Um é a representação e o reconhecimento de sólidos pelo modelador, outra é que para definir as propriedades hidrodinâmicas de maneira genérica é preciso dotar o módulo de propriedades hidrodinâmicas de um sistema exclusivo para determinação de coeficientes de arrasto e não só o desenvolvido para se encontrar o coeficiente de sombreamento. Também a parametrização dos ensaios deveria ser feita pelo parâmetro da área projetada do corpo; fazendo isto, consegue-se uma coerência física com a esteira dos corpos e a interferência que eles provocam.

## 11. Desenvolvimentos Posteriores.

Uma série de desenvolvimentos posteriores do módulo de propriedades hidrodinâmicas podem ser traçados:

- Otimizar o sistema especialista para aumentar a velocidade de execução das tarefas.
- Realizar uma série de ensaios de interferências para aumentar a base de dados. Os ensaios podem seguir os moldes do que é apresentado no apêndice 4.
- Realizar ensaios, com estruturas mais complexas, para fixar os limites da metodologia apresentada.
- Criar um módulo dedicado para atribuir o coeficiente de força hidrodinâmico adequado para várias situações geométricas diferentes.

Embora o presente trabalho enfoque principalmente a estimativa de propriedades hidrodinâmicas, através de um módulo especial, outros desenvolvimentos podem ser desenvolvidos a partir do sistema integrado.

- Anexar o módulo de simulação de movimentos.
- Criar um módulo de controle do movimento do ROV.
- Adaptar o módulo de animação para funcionar unido ao sistema integrado.
- Fazer uma integração completa entre todos os módulos do sistema integrado.

## **Referências Bibliográficas.**

ABNT - **NBR 6132**. Forças Devidas ao Vento em Edificações.

AMERICAN INSTITUTE OF TIMBER CONSTRUCTION. **Timber Construction Manual**. 1. ed. Washington, John Wiley and Sons, 1966.

BEARMAN, P.W.; WADCOCK, A.J. The interaction between a pair of circular cylinders normal to a stream.

BLEVINS, R. D.. **Applied Fluid Dynamics Handbook**. 1. ed. New York, Van Nostrand Reinhold Company, 1984.

BRITISH ELECTRICAL AND ALLIED INDUSTRIES RESEARCH ASSOCIATION. **Overhead Electric Lines**. Journal of IEE, Vol. 67, n. 386, 1929.

BRITISH ELECTRICAL AND ALLIED INDUSTRIES RESEARCH ASSOCIATION. **Wind Pressure on Latticed Towers - Test on Models**. Journal of IEE, Vol. 77, n. 464, 1935.

BUREAU VERITAS. **Rules and Regulamentations for the Classification of Mobile Offshore Drilling Units**. Part II, Structural safety, Chapter 4 , Structural design. 1987.

COMMITTEE ON WIND FORCES; COMMITTEE ON LOADS AND STRESSES STRUCTURAL DIVISION. **Wind Forces on Structures**. Transactions of the ASCE, vol 126, parte II, p.1124-98, 1961.

DE KLEER, J., An Assumption-Based Truth Maintenance System. **Artificial Intelligence** 28, p. 127-162, 1986.

DET NORSKE VERITAS. **Rules for the Design Construction and Inspection of Offshore Structures**. 1977, apêndice B, Loads.

DOYLE, J., A Truth Maintenance System. **Artificial Intelligence** 12, p. 231-72, 1979.

FORBUS, K. D.; DE KLEER, J. **Building Problem Solvers**. 1. ed. Cambridge, A Bradford Book, 1993.

GHARIB, M. The experimentalist in the age of supercomputers. In: ASME/JSME FLUID ENGINEERING DIVISION SUMMER MEETING, Hilton Head, 1995. **Proceedings**. ASME/JSME, 1995, p. 1-13.

GERMANIFCHER LLOYD. **Rules for the Construction and Inspection of Offshore Instalations**. 1976, Volume 1, Offshore Units (Marine Structures).

GRAZKE et alli. Deep Underwater Exploration Vehicles - Past, Present and Future. **Transactions of SNAME**, v. 101, p. 485-523, 1993.

HOERNER, S. F. **Fluid-Dynamic Drag**. 1.ed. New York, editado pelo autor, 1965.

NISHIMOTO, K.; ALMEIDA, A. G. Hydrodynamic Property Estimation in a ROV Design. In: **International Offshore Engineering**, 9. Rio de Janeiro, 1995. **Proceedings. COPPE**, 1995, p. 479-93.

NORMA ABNT - **NBR 6132**. Forças Devidas ao Vento em Edificações.

PAGON, W. W. Wind Forces on Structures: Plate Girders and Trusses. **Proc. Paper No. 1711, ASCE, Vol. 84, No. ST4, Julho, 1958**

JACKSON, P. **Introduction to Expert Systems**. 2.ed. Wokingham, Addison-Wesley Publishing Company, 1990.

SAYER, P. Research Developments in ROV Hydrodynamics. In: **International Offshore and polar Engineering Conference**, 3. Singapura, 1993. **Proceedings. ISOPE**, 1993. V. 2 , p 463-7.

SAYER, P.; BAKER, J.H.A. Steady Flow Force and Moment Coefficients for Application to Workboat Rovs. In: **International Conference on Offshore Mechanics and Artic Engineering** , 7. Houston, 1988. **Proceedings. OMAE**, 1988. V. 2 , p 431-8.

SAYER, P.; PEDRET, B. G. Developments of an Expert System for Predicting Hydrodynamic Drag Forces on Subsea Vehicles. In: **International Conference on Offshore Mechanics and Artic Engineering** , 7. Houston. 1988. **Proceedings. OMAE**, 1988. V. 2 , p 147-53.

SIMONS. G.L. **Introdução à Inteligencia Artificial**. 1. ed. Lisboa. Clássica Editora, 1986.

ZDRAVKOVICH, M. M. Review of Flow Interference Between Two Circular Cylinders in Various Arrangements. **Journal of Fluid Mecanics. Transactions of the ASME.**,December, p. 618-33, 1977.

## APÊNDICE 1.

### A.1.1. Número de Reynolds Crítico ( $Re_c$ ).

O  $Re_c$  será utilizado aqui para discussão da separação da camada limite. O fenômeno da separação, já discutido no item anterior, ocorre para o cilindro, variando-se a velocidade do escoamento em torno a ele, da seguinte forma

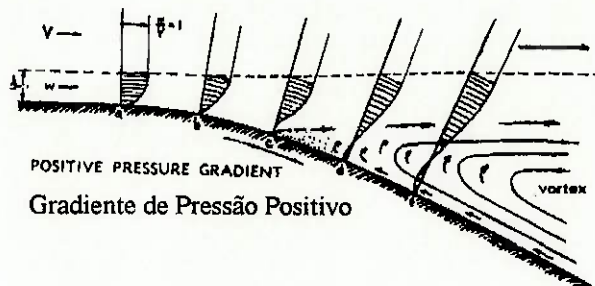


Fig. A.1.1 - Ponto de Descolamento.

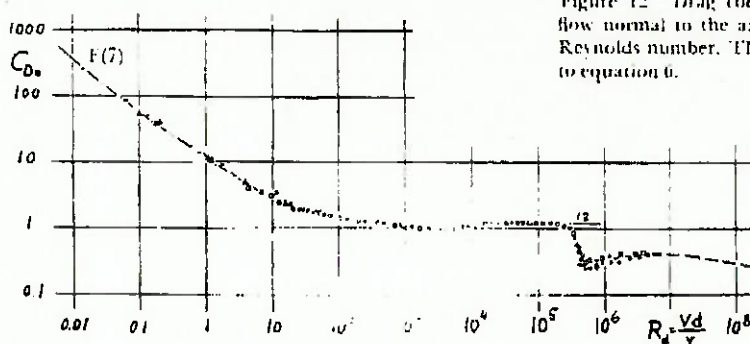


Figure 12 Drag coefficient of the circular cylinder in a flow normal to the axis (between walls), as a function of Reynolds number. The function below  $R = 1$ , corresponds to equation 6.

- PINE, AT LOW REYNOLDS NUMBERS (17.a)
- A WHITE, WIRTS FALLING IN LIQUID (17.b)
- X ZEPF - ARC. WIRE IN TUNNEL (17.c)
- WIESSBERGER IN WIND TUNNEL (18.a)
- ! SCHILLER-LINKE, DROP TESTS (18.c)
- ZINNEA, CORRECTED FOR TURBULENCE (14)
- H. A. C. A., CORRECTED FOR TUNNEL (18.d)
- GALCIS, CORRECTED FOR TURBULENCE (12)
- PEDESTRIAN, IN OPEN AIR ("WIND") (18.b)
- ONYDER (204), IN WIND TUNNEL (8.f)

Fig. A.1.2 - Coeficiente de Arrasto de um Cilindro Circular.

Analisando a variação do coeficiente de arrasto observa-se que, em torno ao  $Re=3$  ou  $4 \times 10^5$  o CA cai de aproximadamente 1,18 para aproximadamente 0,3. Pode-se identificar a região anterior a esta queda como a região subcrítica, onde ainda não se deu o fenômeno da separação e a região supercrítica, que tem seu início marcado pela

separação e é aí que se define o  $Re_c$ , que é aquele número de Reynolds onde se inicia a separação.

O  $Re_c$  depende da forma do corpo. Mas para a maior parte das formas a transição entre o regime subcrítico e o supercrítico se dá na faixa entre  $10^5$  e  $10^6$ . Há, nesta transição uma queda brusca do valor do coeficiente de arrasto.

Esta transição dá-se em corpos de perfil arredondado; assim, com  $Re$  baixo, há formação da camada-limite laminar, que com o aumento do número de Reynolds evolui para a camada limite turbulenta, passando pela separação. Assim para corpos arredondados o valor de  $CA \times Re$  sofre uma queda em torno de valores de Reynolds de  $10^5$  e  $10^6$ , como pode ser observado na figura abaixo:

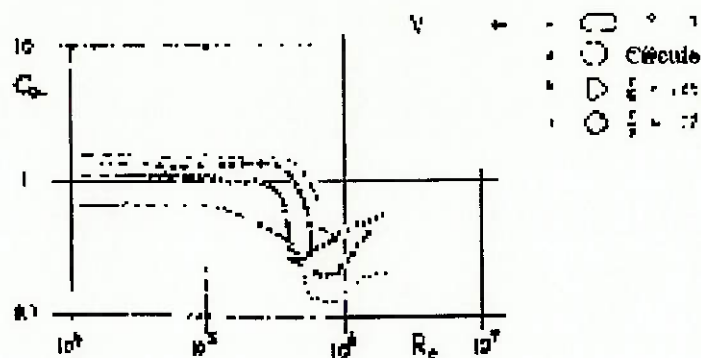


Fig. A.1.3 - Coeficientes de Arrasto de Corpos Arredondados.

Em corpos com cantos vivos a separação se dá desde um  $Re$  muito baixo.

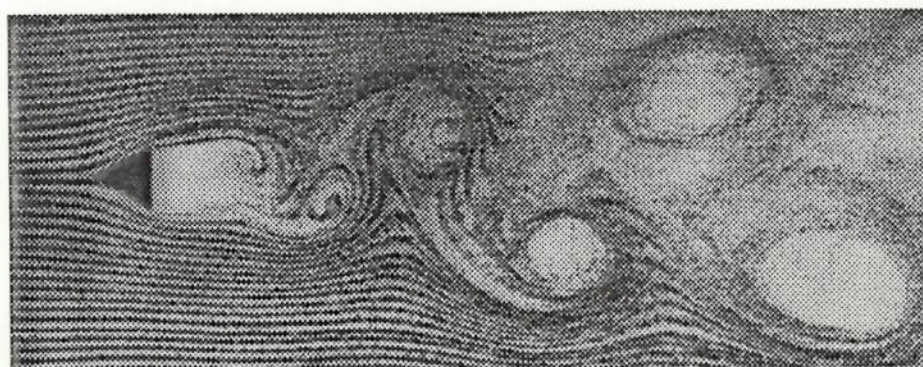


Fig. A.1.4 - Formação da Esteira de um Corpo com Cantos Vivos.

assim os coeficientes de arrasto possuem a seguinte variação com Reynolds;

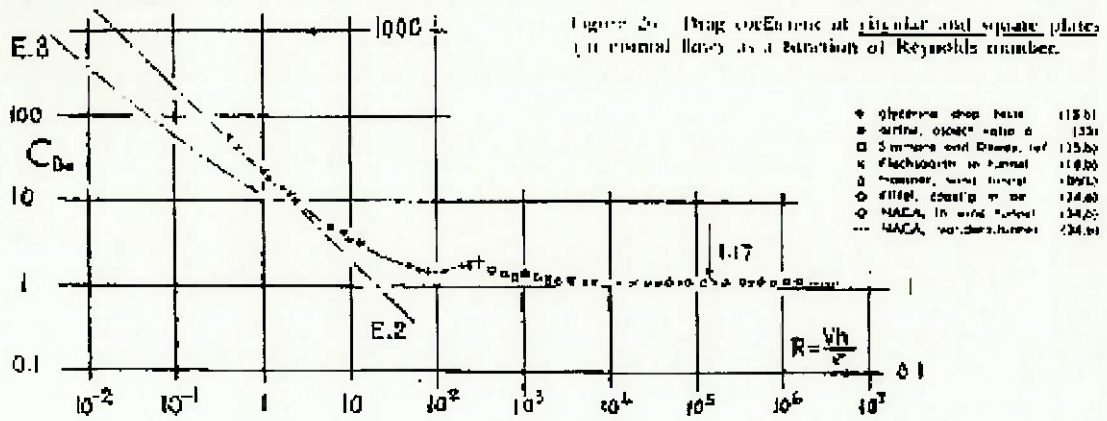


Fig. A.1.5 - Coeficientes de Arrasto de Corpos com Cantos Vivos.

pode-se ver que CA fica praticamente constante na faixa de Reynolds de  $10^5$  e  $10^6$ .

## APÊNDICE 2.

O LISP é a linguagem sobre a qual foram construídos os algoritmos de IA, por isso uma descrição simples da linguagem LISP foi incluída no trabalho.

Um algoritmo qualquer pode ser expresso de duas formas: a forma declarativa, em que a sua especificação em alto nível é imediatamente executável; e a forma procedimental, em que o algoritmo tem de ser convertido a uma forma orientada para sua execução em computador. O LISP favorece um estilo declarativo de programação. Baseia-se na teoria das funções recursivas.

Para entender esta teoria das funções recursivas é preciso entender o que é uma função, do que é composta a programação funcional e o que é uma função recursiva. A programação funcional envolve unicamente:

- a) definição de funções; e
- b) chamada de funções.

Define-se a função *succ*, que obtém o sucessor de um número inteiro *n*; do seguinte modo:

$$\text{succ}[n]=\text{plus}[n,1]$$

O símbolo *n* é o parâmetro da função *succ*, que por sua vez chama a função *plus*, previamente definida, que possui dois parâmetros: o símbolo *n* e o número 1.

Depois de definida, a função pode ser chamada apenas colocando o nome da função e os seus argumentos. Por exemplo,

$$\text{succ}[a]$$

aqui a função *succ* tem como argumento o símbolo *a*.

A programação funcional permite a composição de funções, que é a execução de mais de uma função para resolver um problema. Assim, ao se calcular a média aritmética entre dois números *m* e *n* pode-se fazer:



$$\text{m\u00e9dia}[m;n]=\text{divide}[\text{plus}[m;n];2]$$

onde **m\u00e9dia** \u00e9 a defini\u00e7\u00e3o da fun\u00e7\u00e3o e as fun\u00e7\u00f5es **divide** e **plus** s\u00e3o outras previamente definidas e que se comp\u00f5e para obter o resultado de **m\u00e9dia**. Na composi\u00e7\u00e3o o resultado de **plus** \u00e9 um argumento da fun\u00e7\u00e3o **divide**.

Outra importante capacidade \u00e9 a aplica\u00e7\u00e3o de condicional \u00e0s fun\u00e7\u00f5es, que pode ser formulada atrav\u00e9s de um funcional, isto \u00e9, uma fun\u00e7\u00e3o que utiliza outras fun\u00e7\u00f5es como argumentos. Tem-se,

$$\text{cond}[(p_1;q_1);(p_2;q_2); \dots;(p_n;q_n)]$$

onde  $p_i$  e  $q_i$  s\u00e3o as fun\u00e7\u00f5es. As fun\u00e7\u00f5es  $p_i$  est\u00e3o restritas a um resultado booleano (Falso - NIL ou verdadeiro - T), tais fun\u00e7\u00f5es s\u00e3o denominadas predicados. A interpreta\u00e7\u00e3o pretendida acima \u00e9 que o resultado de "cond" \u00e9 o resultado do primeiro  $q_i$  cujo  $p_i$  correspondente for verdadeiro. Uma not\u00e7\u00e3o mais compacta mostra melhor esta correspond\u00eancia entre  $p_i$  e  $q_i$

$$p_1 \rightarrow q_1; p_2 \rightarrow q_2; \dots; p_n \rightarrow q_n]$$

O uso de uma \u00faltima condi\u00e7\u00e3o *default* no **cond** \u00e9 bastante usada

$$\text{cond}[(p_1;q_1);(p_2;q_2); \dots;(p_n;q_n);(T;q_T)]$$

O uso de "T" acima, como uma fun\u00e7\u00e3o  $p_i$ , que \u00e9 sempre verdadeira, corresponde ao sentido da palavra "sen\u00e3o".

Finalmente, a programaa\u00e7\u00e3o funcional permite a aplica\u00e7\u00e3o recursiva de fun\u00e7\u00f5es, pela qual a pr\u00f3pria fun\u00e7\u00e3o que est\u00e1 sendo definida aparece na sua defini\u00e7\u00e3o. Definir uma fun\u00e7\u00e3o que calcule o fatorial pode ser feita assim:

$$\text{fat}[n]=\text{cond}[(\text{eq}[n;0];1)(T; \text{times}[n;\text{fat}[\text{minus}[n;1]])]$$

A aplica\u00e7\u00e3o recursiva na implica na chamada repetida das mesmas fun\u00e7\u00f5es, o que ficar\u00e1 claro se acompanharmos como se processa sua avalia\u00e7\u00e3o. Para avaliar uma fun\u00e7\u00e3o, s\u00e3o efetuadas substitui\u00e7\u00f5es utilizando sua defini\u00e7\u00e3o como regra de re-escrita, e levando em conta a ocorr\u00eancia de condicionais. A avalia\u00e7\u00e3o de fun\u00e7\u00f5es por substitui\u00e7\u00e3o se baseia num formalismo denominado lambda-c\u00e1lculo, introduzido por A. Church.

Para avaliar **fat[2]**, por exemplo,

`eq[2,1]` é falso, pois `eq` compara se seus dois argumentos são iguais retornando T ou NIL.

passa-se para a segunda condição

```
fat[2] =times[2; fat[minus[2;1]]]
      =times[2; fat[1]]
      =times[2;times[1;fat[minus[1;1]]]
      =times[2;times[1;fat[0]]]
      =times[2;times[1;1]]
      =times[2;1]
      =2
```

Em toda definição recursiva temos de garantir que a avaliação irá terminar. No caso de `fat`, o término está garantido pelo fato de que o argumento fornecido para cada chamada recursiva decresce até atingir o valor 0. O caso de  $n=0$  é a condição de parada que encerra as chamadas recursivas.

A linguagem LISP, proposta por J. McCarthy, é uma linguagem matemática formal, voltada para a avaliação de funções. A linguagem inclui os comandos de definir funções e de avaliá-las. Permite composição de funções, condicionais e recursividade.

Ela admite dois tipos de dados fundamentais: átomos e listas. Os átomos são elementos únicos, podem ser números valores booleanos ou ainda qualquer outro tipo de símbolo, como caracteres, por exemplo. As listas são recursivamente definidas como sequências de símbolos atômicos ou listas. sendo sequências de elementos, a ordem em que os elementos aparecem é significativa. Assim, as listas (a b c) e (b c a) são distintas.

As funções no LISP utilizam uma notação diferente da que mostramos até agora. Tal notação representa as próprias funções como listas, por exemplo, uma função para obter a união de dois conjuntos, representado os conjuntos como listas, será definida como

**defun union (lambda(x y)**

**(cond ((null x) y)**

**((member (car x) y) (union (cdr x) y))**

**(T (cons (car x) (union (cdr x) y))))**

esta função é definida através de uma pseudo-função defun. Para chamar a função **union** faz-se:

**union ((a b c) (b d f)).**

A grande vantagem de tratar dados e funções uniformemente como listas é que pode-se escrever funções que modificam outras funções (tratando essas últimas como se fossem dados). Programas em LISP podem assim ser auto-modificáveis durante a execução.

## APÊNDICE 3

### A.3.1. O QUE É JTMS ?

Discute-se aqui o JTMS (*Justification-Based Truth Maintenance System*) da família dos TMSs. O "*justification*" no nome vem do fato que somente uma restrição lógica possibilita a justificativa neste tipo de TMS.

JTMS é parte de uma família de técnicas chamadas TMS, que tem sua origem com DOYLE (1979). Estas técnicas surgiram com a finalidade de estender a monotonicidade da lógica clássica; assim, os sistemas TMS introduzem no mecanismo de inferência a não-monotonicidade que amplia os conceitos definidos na lógica clássica. Por extensão, a lógica TMS é muito utilizada para resolver o problema de busca exaustiva numa árvore de decisões, pois faz com que, a cada nó da árvore, o sistema avalie as inferências não as deixando acumular-se no resultado final da árvore de decisão. Detecta, assim, contradições no meio da árvore e encaminha a avaliação seguinte só para aqueles nós que não sejam contraditórios.

A estrutura básica de um sistema TMS pode ser resumida em três conceitos: os nós, as justificativas e os rótulos. Cada conceito destes deve ser bem entendido para entender o algoritmo particular do JTMS.

Um nó é aquele ente que possui a informação sobre a qual será verificada uma verdade ou uma contradição. Um nó pode ser uma **premissa** se ele é verdadeiro por si só, independente de outros nós. Um nó é uma **contradição** se ele, como próprio nome já diz, é falso. Finalmente, o nó pode ser uma **hipótese** que pode ou não ser verdadeiro, depende da verdade ou falsidade de outros nós.

Outro elemento importante são as **justificativas**, através das quais os nós se unem uns aos outros. Uma justificativa pode possuir três elementos essenciais: o **consequente**, que é o nó para o qual está se verificando sua veracidade, os **antecedentes** que são aqueles nós que são ligados anteriormente ao consequente, e, por último, o **informante** que contém a regra pela qual se fará a inferência.

Os **rótulos** estão associados a cada nó, eles contém a situação atual de cada nó, ou seja, se ele é verdadeiro ou falso.

Temos no JTMS um universo formado por justificativas e nós e estes últimos são rotulados quanto a sua veracidade. Estes nós são rotulados como **IN** se o nó é verdadeiro e como **OUT** se o nó é falso.

Depois de se definir os rótulos dos nós temos um **estado** no qual as hipóteses são assumidas verdadeiras ou falsas. Se alterarmos este estado com a mudança do rótulo de algum nó teremos um novo estado.

Para esclarecer melhor estas idéias montou-se um pequeno sistema com atributos de pessoas. Como premissas podemos definir os seguintes nós:

- ♦ Mulher
- ♦ Alta
- ♦ Jovem
- ♦ Magra
- ♦ Cabelo Preto
- ♦ Ocidental
- ♦ Homem
- ♦ Gorda
- ♦ Oriental

se para cada nó destes damos o nome de ATRIBUTO e um índice, podemos construir o JTMS da seguinte maneira:

```
(setq *JTMS* (create-JTMS "PESSOAS"))
```

```
(setq atributo-1 (tms-create-node *JTMS* "MULHER" :ASSUMPTIONP t)
atributo-2 (tms-create-node *JTMS* "ALTA" :ASSUMPTIONP t)
atributo-3 (tms-create-node *JTMS* "JOVEM" :ASSUMPTIONP t)
atributo-4 (tms-create-node *JTMS* "MAGRA" :ASSUMPTIONP t)
atributo-5 (tms-create-node *JTMS* "CABELO_PRETO" :ASSUMPTIONP t)
atributo-6 (tms-create-node *JTMS* "OCIDENTAL" :ASSUMPTIONP t)
atributo-7 (tms-create-node *JTMS* "HOMEM" :ASSUMPTIONP t)
atributo-8 (tms-create-node *JTMS* "GORDA" :ASSUMPTIONP t)
atributo-9 (tms-create-node *JTMS* "ORIENTAL" :ASSUMPTIONP t))
```

Depois criam-se pessoas que podem ser identificadas com estes atributos:

- ◆ Paula
- ◆ Humberto
- ◆ Daniela

que são inseridos da seguinte forma:

```
(setq pessoa-1 (tms-create-node *JTMS* "PAULA")
pessoa-2 (tms-create-node *JTMS* "HUMBERTO")
pessoa-3 (tms-create-node *JTMS* "DANIELA"))
```

finalmente une-se a cada pessoa os atributos que lhe correspondem, criando justificativas para os nós chamados PESSOAS, assim:

```
(justify-node "R1" pessoa-1 (list atributo-1 atributo-2 atributo-3 atributo-4
atributo-5 atributo-6))
(justify-node "R2" pessoa-2 (list atributo-2 atributo-3 atributo-5 atributo-7
atributo-8 atributo-9))
(justify-node "R3" pessoa-3 (list atributo-1 atributo-2 atributo-3 atributo-4
atributo-5 atributo-6))
```

## APÊNDICE 4

### A.4.1. Situações geométricas de interferência para acréscimo no banco de dados do SOMBRA.

O ideal deste banco de dados seria ser o mais completo possível, cobrindo os diversos casos de interferência de corpos dois a dois num escoamento. Poder-se-ia dividir os casos de interferência dois a dois entre sólidos em: **sólido-sólido**; **sólido-barra** e **barra-sólido**; e, finalmente entre **barra-barra**. Dentro de cada um destes grupos pode-se dividi-los ainda em outras subclasses.

#### a) Sólido-sólido

\* tipos de sólido, quando os sólidos são:

# iguais

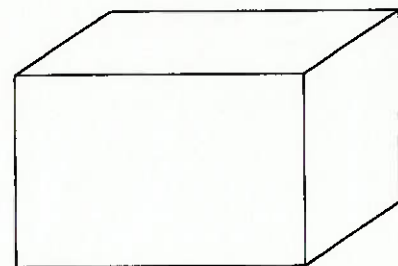
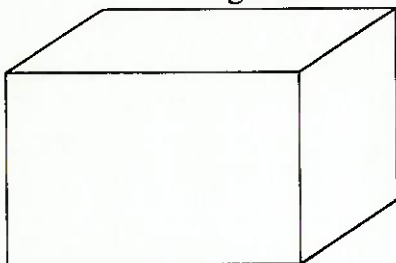
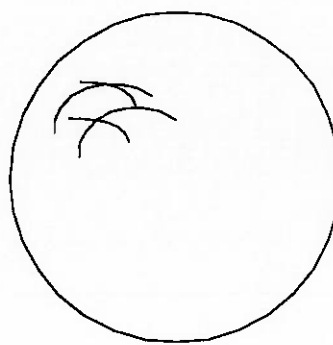
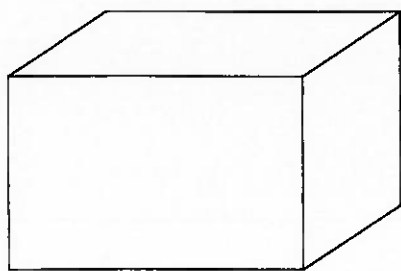


Fig. A.4.1 - Interferência entre dois sólidos iguais.

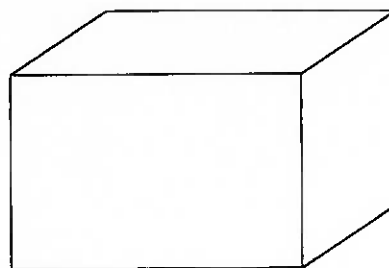
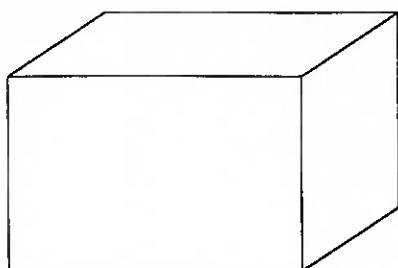
# diferentes



**Fig. A.4.2 - Interferência entre dois sólidos diferentes.**

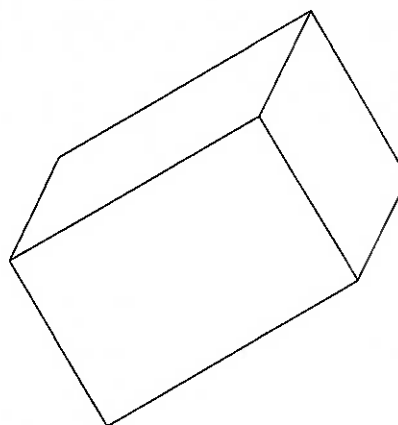
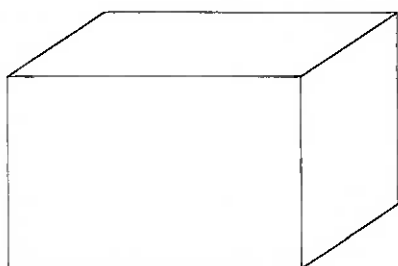
\* posição relativa, se seus eixos principais são:

# paralelos



**Fig. A.4.3 - Interferência entre dois sólidos paralelos.**

# com um ângulo qualquer



**Fig. A.4.4 - Interferência entre dois sólidos com ângulo qualquer.**

**b) Sólido-barra ou barra-sólido**



\* posição relativa

# horizontal

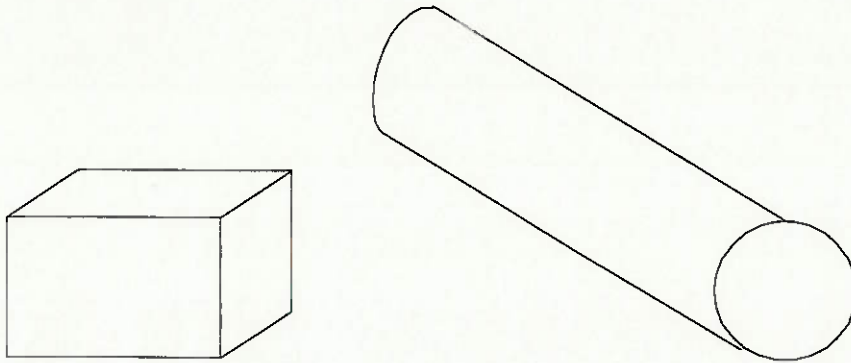


Fig. A.4.5 - Interferência entre um sólido e uma barra na horizontal.

# vertical

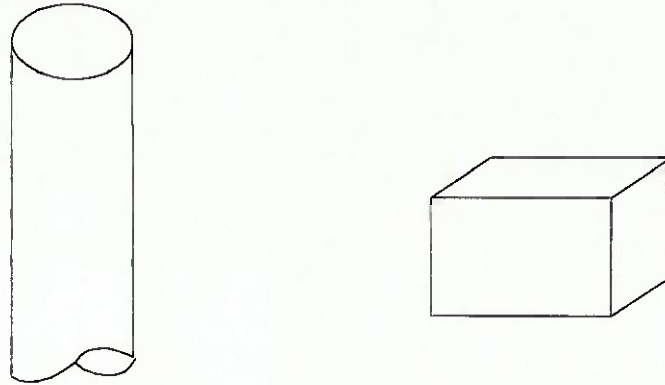


Fig. A.4.6 - Interferência entre uma barra na vertical e um sólido.

# ângulo qualquer

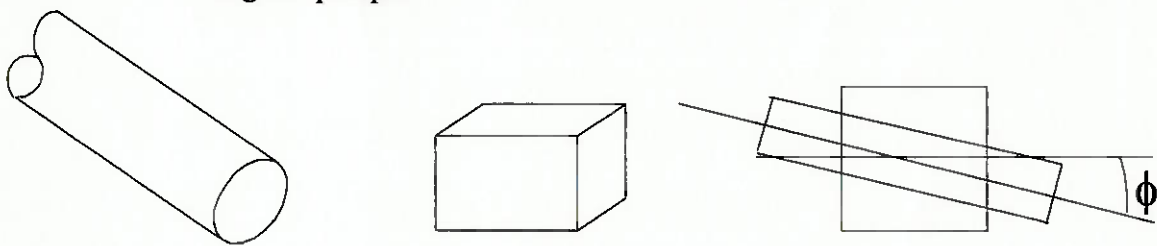
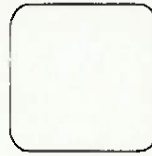


Fig. A.4.7 - Interferência entre uma barra num ângulo qualquer e um sólido.

b) Barra-barra

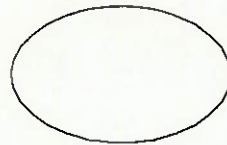
\* tipos de seções transversais

# iguais



**Fig. A.4.8 - Interferência entre barras com seções transversais iguais.**

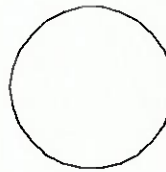
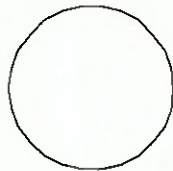
# diferentes



**Fig. A.4.9 - Interferência entre barras com seções transversais diferentes.**

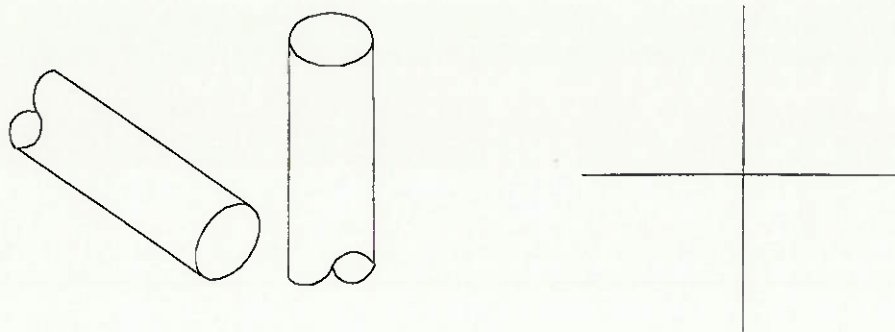
\* posição relativa

# linhas de eixo paralelas



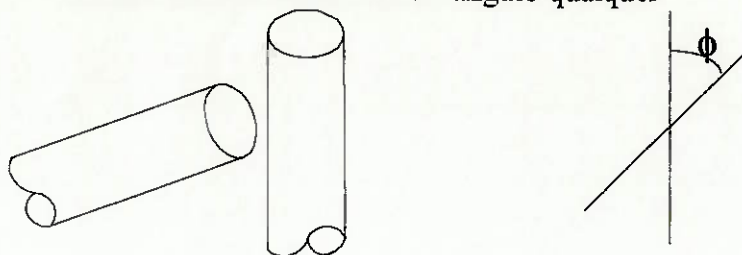
**Fig. A.4.10 - Interferência entre barras com linhas de eixo paralelas.**

# linhas de eixo perpendiculares



**Fig. A.4.11 - Interferência entre barras com linhas de eixo perpendiculares.**

# linhas de eixo formando um ângulo qualquer



**Fig. A.4.12 - Interferência entre barras com linhas de eixo num ângulo qualquer.**

Estes dados para corpos bojudos são uma lacuna na literatura existente e exigem uma maior atenção dos pesquisadores para uma série de aplicações práticas, principalmente para os vários casos de interferência que se sistematizou acima.

Por não se dispor de maneira completa os dados para construção de uma base para todos os casos, a base de dados que será construída possuirá todos os dados que se conseguir coletar e uma estrutura que possibilite a fácil inserção de novos dados para ir completando aos poucos a base de dados.

# LISTAGEM 1.

## *PROGRAMA SOMBRA - FUNÇÕES PRINCIPAIS.*

```
:: -*- Modo: Lisp; -*-

;;; SOMBRA: Fornece o melhor coeficiente de sombreado para uma dada
;;; condicao de interferencia
;;; Ultima alteracao: funcao IO. Em 31/10/95, por AG

:(in-package :COMMON-LISP-USER)

(defstruct (sombra
            (:PRINT-FUNCTION (lambda (a st ignore)
                              (format st "<Agenda ~A>"
                                      (sombra-title a))))))
  (title "")      ;; Name for printing
  (jtre nil)      ;; Associated JTRE
  (agenda nil)    ;; List of queued subproblems
  (problem nil)   ;; When solved, we are done.
  (problems nil)  ;; List of problems
  (solution nil)  ;; Cached answer.
  (n-subproblems 0) ;; Statistic
  (max-tasks 20)  ;; resource bound
  (debugging nil) ;; Debugging flag

;; Start with the usual encapsulation

(proclaim '(special *sombra*))

(defvar *sombra* nil)

(defun create-sombra (title problems &key (debugging nil)
                    (max-tasks nil))
  (let ((ag (make-sombra
              :TITLE title
              :PROBLEMS problems
              :JTRE (create-jtre
                    (concatenate 'string "JTRE of " title))
              :DEBUGGING debugging
              :MAX-TASKS (if (integerp max-tasks) max-tasks 20))))
    (in-jtre (sombra-jtre ag))
    (change-jtms (jtre-jtms (sombra-jtre ag))
                 :CONTRADICTION-HANDLER #'sombra-contradiction-handler)
    (use-sombra ag)))

(defmacro debugging-sombra (sb msg &rest args)
  `(when (sombra-debugging ,sb) (format t ,msg ,@ args)))

(defun change-sombra (sb &key (debugging :NADA) (problem :NADA)
                    (max-tasks :NADA))
  (unless (eq debugging :NADA) (setf (sombra-debugging sb) debugging))
  (unless (eq problem :NADA) (setf (sombra-problem sb) problem))
  (unless (eq max-tasks :NADA) (setf (sombra-max-tasks sb) max-tasks)))
```

```

(defun use-sombra (sb) (setq *sombra* sb))

(defmacro with-sombra (sb &rest forms) `(let ((*ag* ,sb)) ,@ forms))

;;; User entry point

(defvar *sombra-rules* ;; Regras fundamentais
  "c:\\ag\\sombra\\sombrule.lsp")
(defvar *sombra-operators* ;; Operadores
  "c:\\ag\\sombra\\sombops.lsp")

(defun faz-busca (SH
  &key (title (symbol-name (gensym)))
  (debugging nil)
  (max-tasks 20))
  (use-sombra (create-sombra title SH
    :DEBUGGING debugging
    :MAX-TASKS max-tasks))
  (setf (sombra-problem *sombra*) SH)
  (queue-problem (sombra-problem *sombra*) nil)
  (with-JTRE (sombra-jtre *sombra*)
    (load *sombra-rules*)
    (load *sombra-operators*))
  (run-sombra *sombra*))

(defun try-sombras(problems &optional title)
  (use-sombra (create-sombra title problems
    :DEBUGGING nil
    :MAX-TASKS 20))
  (with-JTRE (sombra-jtre *sombra*)
    (load *sombra-rules*)
    (load *sombra-operators*))
  (loop
    (setq aux (pop data))
    (setf (sombra-problem *sombra*) (list 'Busca (list 'SH (cdr (cddddr aux)))))
    (queue-problem (sombra-problem *sombra*) nil)
    (run-sombra *sombra*)
    (setq resultado (caadr (sombra-solution *sombra*)))
    (cond ((equal (first aux) (second aux)) (format fout "~A ~A ~A ~A ~A ~A ~A ~A ~%" (pop aux)
      (pop aux) (pop aux) (pop aux) cd (eval resultado) 0.00 0.00))
      (t (format fout "~A ~A ~A ~A ~A ~A ~A ~A ~%" (pop aux) (pop aux) (pop aux) (pop aux) cd
        (eval resultado) (nth (- (list-length aux) 2) aux) (nth (- (list-length aux) 1) aux))))))
  : (cond ((equal (first aux) (second aux)) (format fout "~A ~A ~A ~A ~A ~A ~A ~A ~%" (pop aux)
    (pop aux) (pop aux) (pop aux) cd (caadr (sombra-solution *sombra*)) 0.00 0.00))
  : (t (format fout "~A ~A ~A ~A ~A ~A ~A ~A ~%" (pop aux) (pop aux) (pop aux) (pop aux) cd
    (caadr (sombra-solution *sombra*)) (nth (- (list-length aux) 2) aux) (nth (- (list-length aux) 1) aux))))
  (setf (sombra-solution *sombra*) NIL)
  (when (= (list-length data) 0) (return))))

(defun explain-result (&optional (*sombra* *sombra*))
  (cond ((null (sombra-solution *sombra*))
    (format t "~% Problem not solved yet.")
    ((eq (sombra-solution *sombra*) '(SH (1)))
      ;;FAILED-PROBLEM)
    (explore-network (get-tms-node ` (failed ,(sombra-problem *sombra*)
      (sombra-jtre *sombra*)))
    (format t "~% Failed to find a solution."))

```

```

((eq (sombra-solution *sombra*) '(SH (1)))
      ;;FAILED-EMPTY)
(format t "~% Ran out of things to do.")
(explere-network (get-tms-node `(failed ,(sombra-problem *sombra*)
                                       (sombra-jtre *sombra*))))
(t (format t "~% Solved the problem:")
  (explere-network (get-tms-node
                    `(solution-of ,(sombra-problem *sombra*)
                                   ,(sombra-solution *sombra*)
                                   (sombra-jtre *sombra*))))))

```

;;; Basic algorithm

```

(defun run-sombra (*sombra*)
  (when (sombra-solution *sombra*)
    (return-from run-sombra ;; Don't re-solve
      (values (sombra-solution *sombra*) *sombra*)))
  (when (> (sombra-n-subproblems *sombra*)
            (sombra-max-tasks *sombra*))
    (return-from run-sombra ;; Respect resource limits
      (values :TIME-OUT *sombra*)))
  (do ((done? nil)
      (solution (fetch-solution (sombra-problem *sombra*) *sombra*)
                (fetch-solution (sombra-problem *sombra*) *sombra*))
      (failure-signal `(Failed (Busca ,(sombra-problem *sombra*))))
      (done? (values (sombra-solution *sombra*) *sombra*)))
    (cond (solution (setf (sombra-solution *sombra*) solution)
                    (debugging-sombra *sombra*
                                       "~% ~A: Solved original problem." (sombra-title *sombra*))
                    (setq done? t))
          ((in? failure-signal (sombra-jtre *sombra*))
           (debugging-sombra *sombra*
                              "~% ~A: Failed on original problem."
                              (sombra-title *sombra*))
           (setf (sombra-solution *sombra*) '(SH (1)))
                 ;;FAILED-PROBLEM)
          (setq done? t))
          ((null (sombra-agenda *sombra*))
           (debugging-sombra *sombra* "~% ~A: Agenda empty."
                              (sombra-title *sombra*))
           (setf (sombra-solution *sombra*) '(SH (1)))
                 ;;FAILED-EMPTY)
          (setq done? t))
          (t (process-subproblem (cdr (pop (sombra-agenda *sombra*))))))))

```

```

(defun process-subproblem (item &aux (jtre (sombra-jtre *sombra*))
                          (suggestions nil))

```

```

  (debugging-sombra *sombra* "~% Trying to solve ~A." item)
  (open-subproblem item)
  (when (fetch-solution item *sombra*)
    ;; Bookkeeping is done by pdis rules
    (debugging-sombra *sombra* "~% ..already solved.")
    (return-from process-subproblem T))
  (when (some #(lambda (f) (in? f jtre)) ;; Already expanded
            (fetch `(AND-SUBGOALS ,item ?subproblems) jtre))
    (debugging-sombra *sombra* "~% ..already expanded.")
    (return-from process-subproblem T))
  (dolist (suggestion (fetch `(SUGGEST-FOR ,item ?operator) jtre))

```

```

    (when (in? suggestion jtre)
      (queue-problem `(try ,(third suggestion)) item)
      (push `(try ,(third suggestion)) suggestions)))
  ;; Presume extra subgoals don't come along.
  (assert! `(OR-SUBGOALS ,item ,suggestions) :OR-SUBGOALS jtre)
  (run-rules jtre))

```

```

(defun open-subproblem (item &aux (jtre (sombra-jtre *sombra*)))
  (assert! `(expanded ,item) :EXPAND-AGENDA-ITEM jtre)
  (assume! `(open ,item) :EXPAND-AGENDA-ITEM jtre)
  ;; Look for quick win, extra consequences.
  (run-rules jtre))

```

```

;;; Queuing problems
;; Queue entries take the form (<difficulty> . <subproblem>)
;; Difficulty estimates are based on the form of the subproblem
;; alone, since there could be multiple parents for a subproblem.

```

```

(defun queue-problem (problem parent &aux entry)
  (setq entry (cons (estimate-difficulty problem) problem))
  (debugging-sombra *sombra* "~% Queueing ~A, difficulty = ~D"
    problem (car entry))
  (setf (sombra-agenda *sombra*)
    (merge 'list (list entry)
      (sombra-agenda *sombra*)
      #(lambda (a b) (< (car a) (car b))))))

```

```

(defun estimate-difficulty (problem)
  (+ (max-depth problem) (count-symbols problem)))

```

```

(defun count-symbols (pr)
  (cond ((null pr) 0)
        ((listp pr)
         (reduce #'+ (mapcar #'count-symbols pr)
           :INITIAL-VALUE 0))
        (t 1)))

```

```

(defun max-depth (pr)
  (cond ((not (listp pr)) 1)
        (t (1+ (reduce #'max (mapcar #'max-depth pr)
          :INITIAL-VALUE 0)))))

```

```

;;; Auxiliary routines

```

```

(defun fetch-solution (problem &optional (*sombra* *sombra*)
  &aux (jtre (sombra-jtre *sombra*)))
  (dolist (solution (fetch `(SOLUTION-OF ,problem ?answer) jtre))
    (when (in? solution jtre)
      (return-from fetch-solution (third solution)))))

```

```

(defun sombra-contradiction-handler (contradictions jtms)
  (ask-user-hander contradictions jtms)) ;; default

```

```

;;; Defining operators

```

```

(defmacro defBusca (name trigger &rest keyed-items
  &aux subproblems result test)
  (setq subproblems (cadr (member :SUBPROBLEMS keyed-items)))
  (setq result (cadr (member :RESULT keyed-items)))

```

```

(setq test (cadr (member :TEST keyed-items)))
(unless result
  (error "O operador de busca deve ter um resultado"))
`rule ((:IN (expanded (Busca ,trigger)) :VAR ?starter
  ,@ (if test `(:TEST ,test) nil)))
  (rlet ((?SH ,trigger)
    (?problem (Busca ,trigger)))
    (rlet ((?op-instance ,(name ?SH)))
      (rassert! (Operator-Instance ?op-instance)
        :OP-INSTANCE-DEFINITION)
      ;; If no subproblems, just create solution
      ,@ (cond ((null subproblems)
        `(rlet ((?solution
          ,result)
            (:EVAL (simplify ,(quotize result))))
              (rassert! (solution-of ?problem ?solution)
                ,(keywordize name)
                (Operator-Instance ?op-instance))))))
        (t ;; Usual case
          (let ((subs (calculate-subproblem-list subproblems)))
            `(rassert! (suggest-for ?problem ?op-instance)
              (:INTOEXPANDER ?starter)
              (rule ((:IN (expanded (try ?op-instance)) :VAR ?try))
                (rlet ,subs
                  ,@ (mapcar #(lambda (sub)
                    `(queue-problem ,(car sub) ?problem))
                    subs)
                  (rassert! (AND-SUBGOALS (try ?op-instance)
                    ,(mapcar #'car subs)
                    ,(keywordize (format nil "~A-DEF" name))
                    ?try))
                    ;; Solution detector
                    ,(multiple-value-bind (triggers antes)
                      (calculate-solution-rule-parts subs subproblems)
                      `(rule (,@ triggers)
                        (rlet ((?solution
                          ,result)
                            (:EVAL (simplify ,(quotize result))))
                              (rassert! (solution-of ?problem ?solution)
                                ,(keywordize name)
                                ,@ antes))))))))))))))

```

;;; Helpers for operator definition

```

(defun calculate-subproblem-list (subproblems &aux (counter -1))
  ;; Takes list of entries whose form is (?result-var ?form)
  ;; and returns a list of (?goal-var ?form)
  (mapcar #(lambda (pair)
    (incf counter)
    (list (intern (format nil "?GOAL~D" counter))
      (cadr pair)))
    subproblems))

```

```

(defun calculate-solution-rule-parts (sub-pairs res-pairs
  &aux (counter -1)
  (antes nil)
  (triggers nil))

```

```

(setq triggers
  (mapcar #(lambda (subpair respair)

```



```

      (incf counter)
      (let ((rvar (intern (format nil "?RESULT~D" counter))))
        (push rvar antes)
        `(:in (solution-of ,(car subpair) ,(car respair))
          :VAR ,rvar)))
      sub-pairs res-pairs))
(values triggers (nreverse antes)))

```

```

(defun keywordize (stuff)
  (cond ((null stuff) (error "Can't keywordize nothing."))
        ((listp stuff) (keywordize (car stuff)))
        (t (intern (format nil "~A" stuff) 'keyword))))

```

;;; Interrogatives

;;; SHOW-PROBLEM highlights the assertions relevant to  
 the given problem.

```

(defun show-problem (pr &optional (*sombra* *sombra*)
                    &aux stuff ands ors)
  (format t "~%~A.: (~D)" pr (estimate-difficulty pr))
  (with-JTRE (sombra-jtre *sombra*)
    (setq stuff (fetch `(parent-of ,pr ?x ?type)))
    (cond (stuff (format t "~% Parent(s): ")
            (dolist (p stuff)
              (if (in? p)
                  (format t "~%  ~A, ~A."
                          (third p) (fourth p))
                  (format t "~%  BUG: Should be in: ~A" p))))
          (t (format t "~% No parents found."))))
    (if (fetch `(expanded ,pr)) (format t "~% Expanded,")
        (format t "~% Not expanded,")
    (if (fetch `(open ,pr))
        (if (in? `(open ,pr)) (format t " open,")
            (format t " closed,")
        (format t " not opened,")
    (if (in? `(relevant ,pr)) (format t " relevant."
        (format t " not relevant."))
    (cond ((setq stuff (fetch-solution pr))
          (format t "~% Solved, solution = ~A" stuff))
          ((and (setq stuff (car (fetch `(failed ,pr))))
                (in? stuff)) (format t "~% Failed."))
          ((not (equal (car pr) 'try))
           (format t "~% Neither solved nor failed.")))
    (setq ands (fetch `(and-subgoals ,pr ?ands)))
    (when ands (format t "~% And subgoals:")
              (dolist (subg (third (car ands)))
                (format t "~%  ~A" subg))
              (format t ".")
    (setq ors (fetch `(or-subgoals ,pr ?ors)))
    (when ors (format t "~% Or subgoals:")
              (dolist (subg (third (car ors)))
                (format t "~%  ~A" subg))
              (format t "."))))

```

;;; Textual display of an AND/OR graph

```

(defun show-ao-graph (&optional (*sombra* *sombra*))
  (let* ((problems (get-problems))

```

```

(depth-table (update-ao-depth-table
              (sombra-problem *sombra*)
              0 (list (cons (sombra-problem *sombra*) 0))
                (list (sombra-problem *sombra*))))))
(setq depth-table
  (sort depth-table #(lambda (x y) (< (cdr x) (cdr y))))))
(dolist (pair depth-table)
  (format t "~%~D:" (cdr pair))
  (show-problem (car pair))))

(defun update-ao-depth-table (now depth depths path)
  (incf depth)
  (dolist (child (get-children now) depths)
    (unless (member child path :TEST 'equal) ;; Yes, can loop!
      (let ((entry (assoc child depths :TEST 'equal)))
        (unless entry
          (push (setq entry (cons child 0)) depths))
          (when (> depth (cdr entry))
            (setf (cdr entry) depth)
            (setq depths (update-ao-depth-table
                        child depth depths (cons child path))))))))))

(defun get-children (gp &optional (*sombra* *sombra*)
                    &aux children)
  (dolist (maybe-kid (fetch `(parent-of ?x ,gp ?type)
                             (sombra-jtre *sombra*)))
    children)
  (if (in? maybe-kid (sombra-jtre *sombra*))
      (push (cadr maybe-kid) children)))

(defun get-problems (&optional (*sombra* *sombra*))
  (mapcar 'cadr (fetch '(expanded ?x) (sombra-jtre *sombra*))))

;;; Debugging

(defun try-sombra (problem &optional (title "sombra Test"))
  (faz-busca problem :DEBUGGING t :TITLE title))

(defun jfetch (pattern) (fetch pattern (sombra-jtre *sombra*)))

(setq problem1 '(Busca (SH (BARRA-V ARREDONDADO-V CIRCULO-V NORMAL-V
                          BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R
                          3.00 0.25))))

(setq problem2 '(Busca (SH (BARRA-V ARREDONDADO-V CIRCULO-V NORMAL-V
                          BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R
                          6.90 0.00))))

(setq problem3 '(Busca (SH (BARRA-V ARREDONDADO-V CIRCULO-V NORMAL-V
                          BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R
                          7.10 3.25))))

(setq problem4 '(Busca (SH (BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V
                          BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R
                          0.00 3.22))))

(setq problem5 '(Busca (SH (SOZINHO BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-
                          V))))

```

```
(setq problem6 '(Busca (SH (BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V
BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R
6.99 12.80))))
```

```
;;; Input-output
```

```
(defun io (entrada saida)
  (setq fin (open entrada :direction :input
                  :if-does-not-exist :error))

  (setq fout (open saida :direction :output
                  :if-exists :append
                  :if-does-not-exist :create))

  (setq n (read fin))
  (setq atack-angle (list (read fin) (read fin) (read fin)))
  (setq alfa (pop atack-angle))
  (setq beta (pop atack-angle))
  (setq gama (pop atack-angle))
  (format fout "~A ~A ~A ~%" alfa beta gama)
  (setq area_projetada_total (read fin))
  (format fout "~A ~%" area_projetada_total)
  (setq dimensao_principal_total (read fin))

  (setq data nil)
  (loop
    (push (read fin) data)
    (decf n 1)
    (when (= n 0) (return)))

  (try-sombras data (format nil "~A" entrada))

  (close fin)
  (close fout))
```

## **PROGRAMA SOMBRA - REGRAS.**

;;; -\*- Modo: LISP; -\*-

;;; Regras basicas para o SOMBRA.

;;; Last edited 1/10/95, by AG

:(in-package :COMMON-LISP-USER)

;; Expanding os apontadores

```
(rule ( (:IN (AND-SUBGOALS ?parent ?children) :VAR ?def)
  (dolist (child ?children)
    (rlet ((?child (:EVAL child)))
      (rassert! (PARENT-OF ?child ?parent :AND)
        (:DEF-OF-AND ?def))
      (rule ( (:IN (failed ?child) :VAR ?delinquent)
        (rassert! (failed ?parent)
          (:AND-FAILURE ?def ?delinquent))))))
    (assert! `(solved ,?parent)
      `(:AND-SUCCESS ,?def
        ,@ (mapcar #(lambda (child)
          `(SOLVED ,child))
          ?children))))
```

```
(rule ( (:IN (OR-SUBGOALS ?parent ?children) :VAR ?def
  :TEST ?children))
  (dolist (child ?children)
    (rlet ((?child (:EVAL child)))
      (rassert! (PARENT-OF ?child ?parent :OR)
        (:DEF-OF-OR ?def))
      (rule ( (:IN (SOLVED ?child) :VAR ?winner)
        (rassert! (SOLVED ?parent)
          (:OR-SUCCESS ?winner ?def))))))
    (assert! `(FAILED ,?parent)
      `(:OR-FAILURE ,?def
        ,@ (mapcar #(lambda (child)
          `(FAILED ,child))
          ?children))))
```

```
(rule ( (:IN (PARENT-OF ?child ?parent ?type) :VAR ?lineage)
  (rassert! (RELEVANT ?child)
    (:STILL-WORKING-ON (OPEN ?parent) ?lineage)))
```

```
(rule ( (:IN (SOLUTION-OF ?problem ?answer) :VAR ?found)
  (rassert! (SOLVED ?problem) (:FOUND-ANSWER ?found)))
```

```
(rule ( (:IN (OR-SUBGOALS (Busca ?expr) NIL) :VAR ?no-ideas)
  (rassert! (FAILED (Busca ?expr)) (:NO-METHODS ?no-ideas)))
```

```
(rule ( (:IN (SOLVED ?problem))) ;; Can only happen once
  (retract! `(OPEN ,?problem) :EXPAND-AGENDA-ITEM t))
```

```
(rule ( (:IN (FAILED ?problem)))
  (retract! `(OPEN ,?problem) :EXPAND-AGENDA-ITEM t))
```

## **PROGRAMA SOMBRA - OPERADORES.**

:: \*- Modo: Lisp; \*-

;;; Operadores para o SOMBRA  
;; Last edited 6/11/95, by AG

:(in-package :COMMON-LISP-USER)

;;; Operadores para duas barras com secao circular normais ao escoamento.

```
(defBusca BCIR-BCIR
  (SH (BARRA-V ARREDONDADO-V CIRCULO-V NORMAL-V
        BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R
        ?ld ?td))
  :TEST (setq CD 1.20)
  :SUBPROBLEMS ((?int (Busca (SH (BCIR-BCIR ?ld ?td))))))
  :RESULT ?int)
```

```
(defBusca BARREDONDADA-BARREDONDADA
  (SH (BARRA-V ARREDONDADO-V ?geometria-v NORMAL-V
        BARRA-R ARREDONDADO-R ?geometria-r NORMAL-R
        ?ld ?td))
  :TEST (cond ((equal ?geometria-r 'ELIPSE-R) (setq CD 1.00))
            (t (setq CD 1.00)))
        (not (equal ?geometria-r 'CIRCULO-R)))
  :SUBPROBLEMS ((?int (Busca (SH (BCIR-BCIR ?ld ?td))))))
  :RESULT ?int)
```

```
(defBusca SH=1.1429
  (SH (BCIR-BCIR 0.00 1.00))
  :RESULT (SH (1.1429)))
```

```
(defBusca SH=0.7143
  (SH (BCIR-BCIR 0.00 1.25))
  :RESULT (SH (0.7143)))
```

```
(defBusca SH=0.6429
  (SH (BCIR-BCIR 0.00 1.50))
  :RESULT (SH (0.6429)))
```

```
(defBusca SH=0.7857
  (SH (BCIR-BCIR 0.00 2.00))
  :RESULT (SH (0.7857)))
```

```
(defBusca SH=0.9286
  (SH (BCIR-BCIR 0.00 2.50))
  :RESULT (SH (0.9286)))
```

```
(defBusca SH=0.8571
  (SH (BCIR-BCIR 0.00 3.00))
  :RESULT (SH (0.8571)))
```

```
(defBusca SH=0.8571
  (SH (BCIR-BCIR 0.00 5.00))
  :RESULT (SH (0.8571)))
```

(defBusca SH=0.8571  
(SH (BCIR-BCIR 0.00 7.00))  
:RESULT (SH (0.8571)))

(defBusca SH=-0.2857  
(SH (BCIR-BCIR 1.00 0.00))  
:RESULT (SH (-0.2857)))

(defBusca SH=-0.1429  
(SH (BCIR-BCIR 1.50 0.00))  
:RESULT (SH (-0.1429)))

(defBusca SH=0.00  
(SH (BCIR-BCIR 2.00 0.00))  
:RESULT (SH (0.00)))

(defBusca SH=0.1429  
(SH (BCIR-BCIR 2.50 0.00))  
:RESULT (SH (0.1429)))

(defBusca SH=0.1429  
(SH (BCIR-BCIR 3.00 0.00))  
:RESULT (SH (0.1429)))

(defBusca SH=0.2143  
(SH (BCIR-BCIR 4.00 0.00))  
:RESULT (SH (0.2143)))

(defBusca SH=0.6  
(SH (BCIR-BCIR 5.00 0.00))  
:RESULT (SH (0.60)))

(defBusca SH=0.66  
(SH (BCIR-BCIR 6.00 0.00))  
:RESULT (SH (6.00)))

(defBusca BCIR-BCIR\_>6\_0  
(SH (BCIR-BCIR ?ld 0.00))  
:TEST (> ?ld 6.00)  
:RESULT (SH (0.66)))

(defBusca SH=0.4643  
(SH (BCIR-BCIR 1.00 0.50))  
:RESULT (SH (0.4643)))

(defBusca SH=0.3571  
(SH (BCIR-BCIR 1.50 0.50))  
:RESULT (SH (0.3571)))

(defBusca SH=0.3214  
(SH (BCIR-BCIR 2.00 0.50))  
:RESULT (SH (0.3214)))

(defBusca SH=0.3214  
(SH (BCIR-BCIR 2.50 0.50))  
:RESULT (SH (0.3214)))

(defBusca SH=0.6071

(SH (BCIR-BCIR 3.00 0.50))  
:RESULT (SH (0.6071)))

(defBusca SH=0.6071  
(SH (BCIR-BCIR 4.00 0.50))  
:RESULT (SH (0.6071)))

(defBusca SH=0.7857  
(SH (BCIR-BCIR 1.00 1.00))  
:RESULT (SH (0.7857)))

(defBusca SH=0.7143  
(SH (BCIR-BCIR 1.50 1.00))  
:RESULT (SH (0.7143)))

(defBusca SH=0.5000  
(SH (BCIR-BCIR 2.00 1.00))  
:RESULT (SH (0.5000)))

(defBusca SH=0.5000  
(SH (BCIR-BCIR 2.50 1.00))  
:RESULT (SH (0.5000)))

(defBusca SH=0.4643  
(SH (BCIR-BCIR 3.00 1.00))  
:RESULT (SH (0.4643)))

(defBusca SH=0.4643  
(SH (BCIR-BCIR 4.00 1.00))  
:RESULT (SH (0.4643)))

(defBusca SH=0.7857  
(SH (BCIR-BCIR 1.00 2.00))  
:RESULT (SH (0.7857)))

(defBusca SH=0.7143  
(SH (BCIR-BCIR 1.50 2.00))  
:RESULT (SH (0.7143)))

(defBusca SH=0.7143  
(SH (BCIR-BCIR 2.00 2.00))  
:RESULT (SH (0.7143)))

(defBusca SH=0.7143  
(SH (BCIR-BCIR 2.50 2.00))  
:RESULT (SH (0.7143)))

(defBusca SH=0.7143  
(SH (BCIR-BCIR 3.00 2.00))  
:RESULT (SH (0.7143)))

(defBusca SH=0.7143  
(SH (BCIR-BCIR 4.00 2.00))  
:RESULT (SH (0.7143)))

(defBusca TD=0  
(SH (BCIR-BCIR ?ld 0.00))  
:TEST (< ?ld 6)  
:RESULT (SH ((+ 0.556905

```
(* -2.71674 ?1d)
(* 3.05246 ?1d ?1d)
(* -1.55519 ?1d ?1d ?1d)
(* 0.447672 ?1d ?1d ?1d ?1d)
(* -0.0796038 ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d)
(* 0.00912486 ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d)
(* -0.000678935 ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d)
(* 0.0000317696 ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d)
(* -0.000000850734 ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d)
(* 0.00000000994819 ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d))))))
```

(defBusca TD=0.5

```
(SH (BCIR-BCIR ?1d 0.50))
:TEST (not (> ?1d 15))
:RESULT (SH ((+ 1.90515
(* -3.20383 ?1d)
(* 2.73268 ?1d ?1d)
(* -1.25934 ?1d ?1d ?1d)
(* 0.341424 ?1d ?1d ?1d ?1d)
(* -0.0571608 ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d)
(* 0.00609452 ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d)
(* -0.000415906 ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d)
(* 0.0000176317 ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d)
(* -0.000000423793 ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d)
(* 0.00000000442114 ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d))))))
```

(defBusca TD=1.00

```
(SH (BCIR-BCIR ?1d 1.00))
:TEST (not (> ?1d 15))
:RESULT (SH ((+ 1.05297
(* -0.193259 ?1d)
(* -0.111962 ?1d ?1d)
(* 0.0582656 ?1d ?1d ?1d)
(* -0.00889768 ?1d ?1d ?1d ?1d)
(* 0.000573527 ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d)
(* -0.000013564 ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d))))))
```

(defBusca TD=2.00

```
(SH (BCIR-BCIR ?1d 2.00))
:TEST (not (> ?1d 15))
:RESULT (SH ((+ 1.81292
(* -2.2135 ?1d)
(* 1.74442 ?1d ?1d)
(* -0.682595 ?1d ?1d ?1d)
(* 0.134934 ?1d ?1d ?1d ?1d)
(* -0.00984852 ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d)
(* -0.000988801 ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d)
(* 0.00027105 ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d)
(* -0.0000237886 ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d)
(* 0.00000098339 ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d)
(* -0.000000016124 ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d ?1d))))))
```

(defBusca LD=0.00

```
(SH (BCIR-BCIR 0.00 ?td))
:TEST (not (> ?td 8))
:RESULT (SH ((+ 9.97767
(* -20.2718 ?td)
(* 17.6901 ?td ?td)
(* -8.20455 ?td ?td ?td)
```



```

(* 2.28726 ?td ?td ?td ?td)
(* -0.406989 ?td ?td ?td ?td ?td)
(* 0.0473855 ?td ?td ?td ?td ?td ?td)
(* -0.00359718 ?td ?td ?td ?td ?td ?td ?td)
(* 0.000171571 ?td ?td ?td ?td ?td ?td ?td ?td)
(* -0.00000466767 ?td ?td ?td ?td ?td ?td ?td ?td ?td)
(* 0.000000055238 ?td ?td ?td ?td ?td ?td ?td ?td ?td ?td)))))

```

```

(defBusca BC-BC_ld<0.45
  (SH (BCIR-BCIR ?ld ?td))
  :TEST (< ?ld 0.45)
  :SUBPROBLEMS ((?int (Busca (SH (BCIR-BCIR 0.00 ?td )))))
  :RESULT ?int)

```

```

(defBusca BC-BC_ld<1.00
  (SH (BCIR-BCIR ?ld ?td))
  :TEST (< ?td 1.00)
  :SUBPROBLEMS ((?int (Busca (SH (BCIR-BCIR ?ld 0.00))))))
  :RESULT ?int)

```

:: Operador de interpolacao entre duas barras circulares.

```

(defBusca BC-BC-interpoia
  (SH (BCIR-BCIR ?ld ?td))
  :TEST (and (> ?ld 0.45) (< ?ld 8) (< ?td 8))
  :SUBPROBLEMS ((?int1 (Busca (SH (TD0 ?ld))))
    (?int2 (Busca (SH (TD0.5 ?ld))))
    (?int3 (Busca (SH (TD1 ?ld))))
    (?int4 (Busca (SH (TD2 ?ld))))))
  :RESULT (SH ((+ (/ (* ?int1 (- ?td 0.5) (- ?td 1.0) (- ?td 2.0) (- ?td 7.0) (- ?td 8.0) (- ?td 15.0))
    (* -0.5 -1.0 -2.0 -7.0 -8.0 -15.0))
    (/ (* ?int2 ?td (- ?td 1.0) (- ?td 2.0) (- ?td 7.0) (- ?td 8.0) (- ?td 15.0))
    (* 0.5 -0.5 -1.5 -6.5 -7.5 -14.5))
    (/ (* ?int3 ?td (- ?td 0.5) (- ?td 2.0) (- ?td 7.0) (- ?td 8.0) (- ?td 15.0))
    (* 1.0 0.5 -1.0 -6.0 -8.0 -14.0))
    (/ (* ?int4 ?td (- ?td 0.5) (- ?td 1.0) (- ?td 7.0) (- ?td 8.0) (- ?td 15.0))
    (* 2.0 1.5 1.0 -5.0 -6.0 -13.0))
    (/ (* 1.0 ?td (- ?td 0.5) (- ?td 1.0) (- ?td 2.0) (- ?td 8.0) (- ?td 15.0))
    (* 7.0 6.5 6.0 5.0 -1.0 -8.0))
    (/ (* 1.0 ?td (- ?td 0.5) (- ?td 1.0) (- ?td 2.0) (- ?td 7.0) (- ?td 15.0))
    (* 8.0 7.5 7.0 6.0 1.0 -7.0))
    (/ (* 1.0 ?td (- ?td 0.5) (- ?td 1.0) (- ?td 2.0) (- ?td 7.0) (- ?td 8.0))
    (* 15.0 14.5 14.0 13.0 8.0 7.0))))))

```

```

(defBusca TD0
  (SH (TD0 ?ld))
  :RESULT (+ 0.556905
    (* -2.71674 ?ld)
    (* 3.05246 ?ld ?ld)
    (* -1.55519 ?ld ?ld ?ld)
    (* 0.447672 ?ld ?ld ?ld ?ld)
    (* -0.0796038 ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld)
    (* 0.00912486 ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld)
    (* -0.000678935 ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld)
    (* 0.0000317696 ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld)
    (* -0.000000850734 ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld)
    (* 0.00000000994819 ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld))

```

```
(defBusca TD0.5
(SH (TD0.5 ?ld))
:RESULT (+ 1.90515
(* -3.20383 ?ld)
(* 2.73268 ?ld ?ld)
(* -1.25934 ?ld ?ld ?ld)
(* 0.341424 ?ld ?ld ?ld ?ld)
(* -0.0571608 ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld)
(* 0.00609452 ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld)
(* -0.000415906 ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld)
(* 0.0000176317 ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld)
(* -0.000000423793 ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld)
(* 0.00000000442114 ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld)))
```

```
(defBusca TD1
(SH (TD1 ?ld))
:RESULT (+ 1.05297
(* -0.193259 ?ld)
(* -0.111962 ?ld ?ld)
(* 0.0582656 ?ld ?ld ?ld)
(* -0.00889768 ?ld ?ld ?ld ?ld)
(* 0.000573527 ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld)
(* -0.000013564 ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld)))
```

```
(defBusca TD2
(SH (TD2 ?ld))
:RESULT (+ 1.81292
(* -2.2135 ?ld)
(* 1.74442 ?ld ?ld)
(* -0.682595 ?ld ?ld ?ld)
(* 0.134934 ?ld ?ld ?ld ?ld)
(* -0.00984852 ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld)
(* -0.000988801 ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld)
(* 0.00027105 ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld)
(* -0.0000237886 ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld)
(* 0.00000098339 ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld)
(* -0.000000016124 ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld ?ld)))
```

:: Operador entre uma barra circular e uma de cantos vivos.  
:: As duas barras normais.

```
(defBusca BCIR-BQUA
(SH (BARRA-V ARREDONDADO-V CIRCULO-V NORMAL-V
BARRA-R CANTOS-VIVOS-R ?geometria-r NORMAL-R
?ld ?td))
:TEST (cond ((equal ?geometria-r 'ELIPSE-R) (setq CD 1.00)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'CIRCULO-R) (setq CD 1.20)) ;BV
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_0.1-R) (setq CD 1.90)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_0.2-R) (setq CD 2.10)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_0.4-R) (setq CD 2.35)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_0.5-R) (setq CD 2.50)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_0.65-R) (setq CD 2.90)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_0.8-R) (setq CD 2.30)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_1.0-R) (setq CD 2.20)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_1.2-R) (setq CD 2.10)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_1.5-R) (setq CD 1.80)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_2.0-R) (setq CD 1.60)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_2.5-R) (setq CD 1.40)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_3.0-R) (setq CD 1.30)) ;AFDH
```

```

((equal ?geometria-r 'RETANGULO_6.0-R) (setq CD 0.89)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'QUADARDO-R) (setq CD 2.20)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'BARRA_I_LADO-R) (setq CD 1.50)) ;DNV
((equal ?geometria-r 'BARRA_I_CIMA-R) (setq CD 1.90)) ;DNV
(t (setq CD 2.00)))
:SUBPROBLEMS ((?int (Busca (SH (BCIR-BCIR ?ld ?td))))))
:RESULT ?int)

```

;;; Operadores para duas barras com secao triangular normais ao escoamento.

```

(defBusca BTRI-BTRI
  (SH (BARRA-V ARREDONDADO-V TRIANGULO-V NORMAL-V
        BARRA-R ARREDONDADO-R TRIANGULO-R NORMAL-R
        ?ld ?td))
  :TEST (setq CD 1.60)
  :SUBPROBLEMS ((?int (Busca (SH (BTRI-BTRI ?ld ?td))))))
  :RESULT ?int)

```

```

(defBusca SH=1.0625
  (SH (BCIR-BCIR 0.00 0.00))
  :RESULT (SH (1.0625)))

```

```

(defBusca SH=0.5000
  (SH (BCIR-BCIR 0.00 0.25))
  :RESULT (SH (0.5000)))

```

```

(defBusca SH=0.9375
  (SH (BCIR-BCIR 0.00 0.50))
  :RESULT (SH (0.9375)))

```

```

(defBusca SH=0.9375
  (SH (BCIR-BCIR 0.00 1.00))
  :RESULT (SH (0.9375)))

```

```

(defBusca SH=1.0938
  (SH (BCIR-BCIR 0.00 2.00))
  :RESULT (SH (1.0938)))

```

```

(defBusca SH=1.0938
  (SH (BCIR-BCIR 0.00 3.00))
  :RESULT (SH (1.0938)))

```

;;; Operadores para duas barras obliquas.

```

(defBusca BOBLIQUA-BOBLIQUA
  (SH (BARRA-V ?fronteira-r ?geometria-v OBLIQUA-V
        BARRA-R ?fronteira-v ?geometria-r OBLIQUA-R
        ?ld ?td))
  :SUBPROBLEMS ((?int (Busca (SH (BARRA-V ?fronteira-r ?geometria-v NORMAL-V
        BARRA-R ?fronteira-v ?geometria-r NORMAL-R
        ?ld ?td))))))
  :RESULT ?int)

```

;;; Operadores para uma barra obliqua e outra normal.

```

(defBusca BOBLIQUA-BNORMAL
  (SH (BARRA-V ?fronteira-r ?geometria-v OBLIQUA-V

```

BARRA-R ?fronteira-v ?geometria-r NORMAL-R  
?ld ?td))

```
:TEST (cond ((equal ?geometria-r 'ELIPSE-R) (setq CD 1.00)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'CIRCULO-R) (setq CD 1.20)) ;BV
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_0.1-R) (setq CD 1.90)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_0.2-R) (setq CD 2.10)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_0.4-R) (setq CD 2.35)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_0.5-R) (setq CD 2.50)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_0.65-R) (setq CD 2.90)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_0.8-R) (setq CD 2.30)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_1.0-R) (setq CD 2.20)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_1.2-R) (setq CD 2.10)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_1.5-R) (setq CD 1.80)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_2.0-R) (setq CD 1.60)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_2.5-R) (setq CD 1.40)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_3.0-R) (setq CD 1.30)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_6.0-R) (setq CD 0.89)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'QUADARDO-R) (setq CD 2.20)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'BARRA_I_LADO-R) (setq CD 1.50)) ;DNV
((equal ?geometria-r 'BARRA_I_CIMA-R) (setq CD 1.90)) ;DNV
(t (setq CD 2.00)))
:RESULT (SH (1.00)))
```

(defBusca BNORMAL-BOBLIQUA

(SH (BARRA-V ?fronteira-r ?geometria-v NORMAL-V  
BARRA-R ?fronteira-v ?geometria-r OBLIQUA-R  
?ld ?td))

```
:TEST (cond ((equal ?geometria-r 'ELIPSE-R) (setq CD 1.00)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'CIRCULO-R) (setq CD 1.20)) ;BV
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_0.1-R) (setq CD 1.90)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_0.2-R) (setq CD 2.10)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_0.4-R) (setq CD 2.35)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_0.5-R) (setq CD 2.50)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_0.65-R) (setq CD 2.90)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_0.8-R) (setq CD 2.30)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_1.0-R) (setq CD 2.20)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_1.2-R) (setq CD 2.10)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_1.5-R) (setq CD 1.80)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_2.0-R) (setq CD 1.60)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_2.5-R) (setq CD 1.40)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_3.0-R) (setq CD 1.30)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_6.0-R) (setq CD 0.89)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'QUADARDO-R) (setq CD 2.20)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'BARRA_I_LADO-R) (setq CD 1.50)) ;DNV
((equal ?geometria-r 'BARRA_I_CIMA-R) (setq CD 1.90)) ;DNV
(t (setq CD 2.00)))
:RESULT (SH (1.00)))
```

;;; Operadores para duas barras com cantos vivos normais ao escoamento.

(defBusca BCANTOS\_VIVOS-BCANTOS\_VIVOS

(SH (BARRA-V CANTOS-VIVOS-V ?geometria-v NORMAL-V  
BARRA-R CANTOS-VIVOS-R ?geometria-r NORMAL-R  
?ld ?td))

```
:TEST (cond ((equal ?geometria-r 'RETANGULO_0.1-R) (setq CD 1.90)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_0.2-R) (setq CD 2.10)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_0.4-R) (setq CD 2.35)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_0.5-R) (setq CD 2.50)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_0.65-R) (setq CD 2.90)) ;AFDH
```

```

((equal ?geometria-r 'RETANGULO_0.8-R) (setq CD 2.30)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_1.0-R) (setq CD 2.20)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_1.2-R) (setq CD 2.10)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_1.5-R) (setq CD 1.80)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_2.0-R) (setq CD 1.60)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_2.5-R) (setq CD 1.40)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_3.0-R) (setq CD 1.30)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_6.0-R) (setq CD 0.89)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'QUADARDO-R) (setq CD 2.20)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'BARRA_I_LADO-R) (setq CD 1.50)) ;DNV
((equal ?geometria-r 'BARRA_I_CIMA-R) (setq CD 1.90)) ;DNV
(t (setq CD 2.00)))
:SUBPROBLEMS ((?int (Busca (SH (BCV-BCV ?ld ?td )))))
:RESULT ?int)

```

```

(defBusca SH=0.3700
(SH (BCV-BCV 1.00 0.00))
:RESULT (SH (0.3700)))

```

```

(defBusca SH=0.4300
(SH (BCV-BCV 2.00 0.00))
:RESULT (SH (0.4300)))

```

```

(defBusca SH=0.4800
(SH (BCV-BCV 3.00 0.00))
:RESULT (SH (0.4800)))

```

```

(defBusca SH=0.5400
(SH (BCV-BCV 4.00 0.00))
:RESULT (SH (0.5400)))

```

```

(defBusca SH=0.6000
(SH (BCV-BCV 5.00 0.00))
:RESULT (SH (0.6000)))

```

```

(defBusca SH=0.6600
(SH (BCV-BCV 6.00 0.00))
:RESULT (SH (0.6600)))

```

```

(defBusca BCV-BCV_>6_0
(SH (BCV-BCV ?ld 0.00))
:TEST (not (< ?ld 6.00))
:RESULT (SH (0.66)))

```

```

(defBusca BCV-BCV!=
(SH (BCV-BCV ?ld ?td))
:SUBPROBLEMS ((?int (Busca (SH (BCIR-BCIR ?ld ?td )))))
:RESULT ?int)

```

;;; Operadores para duas placas normais ao escoamento.

```

(defBusca PNOR-PNOR
(SH (PLACA-V NORMAL-V
PLACA-R NORMAL-R
?ld ?td))
:TEST (setq CD 1.9)
:SUBPROBLEMS ((?int (Busca (SH (PNOR-PNOR ?ld ?td )))))
:RESULT ?int)

```

(defBusca SH=0.7245  
(SH (PNOR-PNOR 0.00 0.50))  
:RESULT (SH (0.7245)))

(defBusca SH=0.8000  
(SH (PNOR-PNOR 0.00 1.00))  
:RESULT (SH (0.8000)))

(defBusca SH=1  
(SH (PNOR-PNOR 0.00 2.00))  
:RESULT (SH (1)))

(defBusca SH=1.0526  
(SH (PNOR-PNOR 0.00 3.00))  
:RESULT (SH (1.0526)))

(defBusca SH=1.0316  
(SH (PNOR-PNOR 0.00 5.00))  
:RESULT (SH (1.0316)))

(defBusca SH=1  
(SH (PNOR-PNOR 0.00 10.00))  
:RESULT (SH (1)))

(defBusca SH=1  
(SH (PNOR-PNOR 0.00 15.00))  
:RESULT (SH (1)))

(defBusca SH=0.0526  
(SH (PNOR-PNOR 2.00 0.00))  
:RESULT (SH (0.0526)))

(defBusca SH=0.3526  
(SH (PNOR-PNOR 3.00 0.00))  
:RESULT (SH (0.3526)))

(defBusca SH=0.4158  
(SH (PNOR-PNOR 4.00 0.00))  
:RESULT (SH (0.4158)))

(defBusca SH=0.5000  
(SH (PNOR-PNOR 6.00 0.00))  
:RESULT (SH (0.5000)))

(defBusca SH=0.5263  
(SH (PNOR-PNOR 10.00 0.00))  
:RESULT (SH (0.5263)))

(defBusca SH=0.6053  
(SH (PNOR-PNOR 20.00 0.00))  
:RESULT (SH (0.6053)))

(defBusca SH=0.7000  
(SH (PNOR-PNOR 30.00 0.00))  
:RESULT (SH (0.7000)))

(defBusca SH=1  
(SH (PNOR-PNOR 40.00 0.00))  
:RESULT (SH (1)))

;;; Operadores para uma placa normal ao escoamento e um cilindro oblíquo.

```
(defBusca PNOR-BCIR
  (SH (PLACA-V NORMAL-V
       BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R OBLIQUA-R
       ?ld ?td))
  :TEST (setq CD 1.2)
  :SUBPROBLEMS ((?int (Busca (SH (PNOR-BCIR ?ld ?td))))))
  :RESULT ?int)

(defBusca BCIR-PNOR
  (SH (BARRA-V ARREDONDADO-V CIRCULO-V OBLIQUA-V
       PLACA-R NORMAL-R
       ?ld ?td))
  :TEST (setq CD 1.9)
  :SUBPROBLEMS ((?int (Busca (SH (PNOR-BCIR ?ld ?td))))))
  :RESULT ?int)

(defBusca SH=0.5714
  (SH (PNOR-BCIR ?ld 0.00))
  :RESULT (SH (0.5714)))

(defBusca SH=0.7857
  (SH (PNOR-BCIR ?ld 0.25))
  :RESULT (SH (0.7857)))

(defBusca SH=0.8571
  (SH (PNOR-BCIR ?ld 0.50))
  :RESULT (SH (0.8571)))

(defBusca SH=0.9286
  (SH (PNOR-BCIR ?ld 1.00))
  :RESULT (SH (0.9286)))

(defBusca SH=0.8571
  (SH (PNOR-BCIR ?ld 1.50))
  :RESULT (SH (0.8571)))

(defBusca SH=0.8571
  (SH (PNOR-BCIR ?ld 2.00))
  :RESULT (SH (0.8571)))

(defBusca SH=0.8571
  (SH (PNOR-BCIR ?ld 4.00))
  :RESULT (SH (0.8571)))

(defBusca SH=0.8571
  (SH (PNOR-BCIR ?ld 6.00))
  :RESULT (SH (0.8571)))

(defBusca BARRA-SOZINHA
  (SH (SOZINHO BARRA-R ?fronteira-r ?geometria-r ?atitude-r))
  :TEST (cond ((equal ?geometria-r 'ELIPSE-V) (setq CD 1.00)) ;AFDH
              ((equal ?geometria-r 'CIRCULO-V) (setq CD 1.20)) ;BV
              ((equal ?geometria-r 'RETANGULO_0.1-V) (setq CD 1.90)) ;AFDH
              ((equal ?geometria-r 'RETANGULO_0.2-V) (setq CD 2.10)) ;AFDH
              ((equal ?geometria-r 'RETANGULO_0.4-V) (setq CD 2.35)) ;AFDH
              ((equal ?geometria-r 'RETANGULO_0.5-V) (setq CD 2.50)) ;AFDH
```

```

((equal ?geometria-r 'RETANGULO_0.65-V) (setq CD 2.90)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_0.8-V) (setq CD 2.30)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_1.0-V) (setq CD 2.20)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_1.2-V) (setq CD 2.10)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_1.5-V) (setq CD 1.80)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_2.0-V) (setq CD 1.60)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_2.5-V) (setq CD 1.40)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_3.0-V) (setq CD 1.30)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'RETANGULO_6.0-V) (setq CD 0.89)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'QUADARDO-V) (setq CD 2.20)) ;AFDH
((equal ?geometria-r 'BARRA_I_LADO-V) (setq CD 1.50)) ;DNV
((equal ?geometria-r 'BARRA_I_CIMA-V) (setq CD 1.90)) ;DNV
(t (setq CD 2.00)))
:RESULT (SH (1.00)))

```

;;; Operadores para um prisma e uma barra.

```

(defBusca SPRIS-BARRA
  (SH (SOLIDO-V CANTOS-VIVOS-V PRISMA-V
      BARRA-R ?fronteira-r ?geometria-r ?atitude-r
      ?ld ?td))
  :TEST (cond ((equal ?geometria-r 'ELIPSE-R) (setq CD 1.00)) ;AFDH
              ((equal ?geometria-r 'CIRCULO-R) (setq CD 1.20)) ;BV
              ((equal ?geometria-r 'RETANGULO_0.1-R) (setq CD 1.90)) ;AFDH
              ((equal ?geometria-r 'RETANGULO_0.2-R) (setq CD 2.10)) ;AFDH
              ((equal ?geometria-r 'RETANGULO_0.4-R) (setq CD 2.35)) ;AFDH
              ((equal ?geometria-r 'RETANGULO_0.5-R) (setq CD 2.50)) ;AFDH
              ((equal ?geometria-r 'RETANGULO_0.65-R) (setq CD 2.90)) ;AFDH
              ((equal ?geometria-r 'RETANGULO_0.8-R) (setq CD 2.30)) ;AFDH
              ((equal ?geometria-r 'RETANGULO_1.0-R) (setq CD 2.20)) ;AFDH
              ((equal ?geometria-r 'RETANGULO_1.2-R) (setq CD 2.10)) ;AFDH
              ((equal ?geometria-r 'RETANGULO_1.5-R) (setq CD 1.80)) ;AFDH
              ((equal ?geometria-r 'RETANGULO_2.0-R) (setq CD 1.60)) ;AFDH
              ((equal ?geometria-r 'RETANGULO_2.5-R) (setq CD 1.40)) ;AFDH
              ((equal ?geometria-r 'RETANGULO_3.0-R) (setq CD 1.30)) ;AFDH
              ((equal ?geometria-r 'RETANGULO_6.0-R) (setq CD 0.89)) ;AFDH
              ((equal ?geometria-r 'QUADARDO-R) (setq CD 2.20)) ;AFDH
              ((equal ?geometria-r 'BARRA_I_LADO-R) (setq CD 1.50)) ;DNV
              ((equal ?geometria-r 'BARRA_I_CIMA-R) (setq CD 1.90)) ;DNV
              (t (setq CD 2.00)))
  :SUBPROBLEMS ((?int (Busca (SH (FATOR-REDUCAO))))))
  :RESULT ?int)

```

```

(defBusca Fator_de_Reducacao
  (SH (FATOR-REDUCAO))
  :TEST (rplaca (caddr aux) (* 2 (caddr aux)))
  :RESULT (SH (1.00)))

```

;;; Operador para dois solidos de cantos vivos.

```

(defBusca SCV-SCV
  (SH (SOLIDO-V CANTOS-VIVOS-V ?geometria-v
      SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R ?geometria-r
      ?ld ?td))
  :TEST (cond ((equal ?geometria-r 'PRISMA-R) (setq CD 1.00)) ;AFDH
              (t (setq CD 0.95)))
  :SUBPROBLEMS ((?int (Busca (SH (PNOR-PNOR ?ld ?td))))))
  :RESULT ?int)

```



```
(defBusca PRISMA-SOZINHO
(SH (SOZINHO SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R PRISMA-R))
:TEST (setq CD 1.00) ;AFDH
:RESULT (SH (1.00)))
```

## LISTAGEM 2.

### PROGRAMA CALCULA.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <math.h>
#include <string.h>
#include <conio.h>

#define LIMITE 600

void abre_arquivo(void), fCD(int n);
int calcula (void);
float Sombreamento(float t_d);
float K (float x);

float alfa, beta, gama, APt, RO=1.025, V=2;

int n_el;          /* Numero de Listas do Arquivo de Entrada */
char el_int[LIMITE][9]; /* Elemento que Interfere */
char el_est[LIMITE][9]; /* Elemento em Estudo */
float AP[LIMITE]; /* Area Projetada do Elemt. Est. */
float H_C[LIMITE]; /* Razao Maior Dim. por Dim. Principal */
float CD[LIMITE]; /* Coeficiente de Arrasto do Elemt. Est. */
float SH[LIMITE]; /* Coeficiente de Sombreamento Individual */
float L_D[LIMITE]; /* Razao L/D */
float T_D[LIMITE]; /* Razao T/D */
char ELE[LIMITE][9];
float FH[LIMITE];
float SUPER[LIMITE];
float DNV[LIMITE];
float Apj[LIMITE];
float SH_DNV[LIMITE];
void main (void)
{
    int n;

    clrscr();

    abre_arquivo();

    n=calcula( );

    fCD(n);

}

void abre_arquivo (void)
{
    FILE *hyd;

    if((hyd=fopen("ROVFI__0.TES", "r"))==NULL){
        printf("O ARQUIVO NAO PODE SER ABERTO.\n");
        exit(1);
    }
}
```

```

}

n_el = 0;

fscanf(hyd, "%f %f %f", &alfa, &beta, &gama);
fscanf(hyd, "%f", &APt);

while (8 == fscanf(hyd, "%s %s %f %f %f %f %f %f", el_est[n_el],
                    el_int[n_el],
                    &AP[n_el],
                    &H_C[n_el],
                    &CD[n_el],
                    &SH[n_el],
                    &L_D[n_el],
                    &T_D[n_el]))

    n_el ++;

fclose(hyd);
}

int calcula (void)
{

    int a=0, i, j, n;
    float SSH;          /* Soma Ponderada dos Sombreamentos */
    float DENO;        /* Soma do Denominadores */
    float SHM,SMSH;    /* Sombreamento Medio */

    for(i = 0; i < n_el; i++){

        if ((L_D[i] == 0) && (T_D[i] == 0)) {
            SSH = SH[i];
            DENO = 1;
            SH_DNV[i] = 1;
        }
        if ((L_D[i] == 0) && (T_D[i] != 0)) {
            SSH = (SH[i] * (1 - exp(-T_D[i])));
            DENO = (1 - exp(-T_D[i]));
            SH_DNV[i] = Sombreamento(T_D[i]);
        }
        if ((L_D[i] != 0) && (T_D[i] == 0)) {
            SSH = (SH[i] * (1 - exp(-L_D[i])));
            DENO = (1 - exp(-L_D[i]));
            SH_DNV[i] = 1;
        }
        if ((L_D[i] != 0) && (T_D[i] != 0)) {
            SSH = (SH[i] * (1 - exp(-T_D[i])) * (1 - exp(-L_D[i])));
            DENO = ((1 - exp(-T_D[i])) * (1 - exp(-L_D[i])));
            SH_DNV[i] = 1;
        }
        SMSH = SH[i];
        n=1;

        for(j = (i+1); j < n_el; j++){

            if ( !strcmp (el_est[i], el_est[j]) ){

```

```

        if ((L_D[j] == 0) && (T_D[j] == 0)) {
            SSH = SSH + SH[j];
            DENO = DENO + 1;
        }
        if (L_D[j] == 0){
            SSH = SSH + (SH[j] * (1 - exp(-T_D[j])));
            DENO = DENO + (1 - exp(-T_D[j]));
        }
        if (T_D[j] == 0){
            SSH = SSH + (SH[j] * (1 - exp(-L_D[j])));
            DENO = DENO + (1 - exp(-L_D[j]));
        }
        if ((L_D[j] != 0) && (T_D[j] != 0)){
            SSH = SSH + (SH[j] * (1 - exp(-T_D[j]))
                * (1 - exp(-L_D[j])));
            DENO = DENO + ((1 - exp(-T_D[j]))
                * (1 - exp(-L_D[j])));
        }
        SMSH = SMSH + SH[j];
        n++;
    }

}

printf(" ");
SHM = SSH / DENO ;

// SHM = SMSH / n;
FH[a] = 0.5 * RO * (AP[i] / pow10(6)) * V * V * K(H_C[i]) * CD[i] * SHM ;
SUPER[a] = 0.5 * RO * (AP[i] / pow10(6)) * V * V * CD[i] ;
DNV[a] = 0.5 * RO * (AP[i] / pow10(6)) * V * V * K(H_C[i]) * CD[i] * SH_DNV[i] ;
printf("K(h/c) = %f/n", K(H_C[i]) );
Apj[a] = (AP[i] / pow10(6)) ;
strcpy(ELE[a], el_est[i]) ;
a++ ;
i = i + (n - 1) ;
}
return(a+1);
}

void fCD(int n)
{
    FILE *cd;
    FILE *AUX;

    int i;
    float FT=0, COMP1=0, COMP2=0, CDT, CD_SUPER, CD_DNV;

    //Apt = 0 ;
    for (i=0;i<=n;i++){
        FT = FT + FH[i] ;
        COMP1 = COMP1 + SUPER[i] ;
        COMP2 = COMP2 + DNV[i] ;
    // Apt = Apt + Apj[i] ;
    }

    CDT = FT/(0.5 * RO * (Apt / pow10(6)) * V * V);
    CD_SUPER = COMP1/(0.5*RO*(Apt / pow10(6))*V*V);
    CD_DNV = COMP2/(0.5*RO*(Apt / pow10(6))*V*V);

```

```

if((cd=fopen("ROVFIM_.ANL", "a+"))==NULL){
    printf("O ARQUIVO NAO PODE SER ABERTO.\n");
    exit(1);
}

fprintf(cd, "alfa= %f CDT= %f SUPER= %f DNV= %f\n",
        alfa, CDT, CD_SUPER, CD_DNV);

fclose(cd);

//if((AUX=fopen("FORCAS.DAT", "a+"))==NULL){
//    printf("O ARQUIVO NAO PODE SER ABERTO.\n");
//    exit(1);
//}

//for(i=0; i<n; i++) fprintf(AUX, "Corpo = %s FH = %f\n",ELE[i], FH[i]);

//fclose(AUX);

}

float K (float x)
{
    float a0, a1, a2, a3, a4, a5, a6, a7, a8, a9, a10, k;

    a0 = 0.624255 ;
    a1 = -0.00294553 * x ;
    a2 = 0.0019990035 * pow(x, 2) ;
    a3 = -0.00012113 * pow(x,3) ;
    a4 = 3.55218 * pow10(-6) * pow(x, 4) ;
    a5 = -5.95855 * pow10(-8) * pow(x, 5) ;
    a6 = 6.03248 * pow10(-10) * pow(x, 6) ;
    a7 = -3.6917 * pow10(-12) * pow(x, 7) ;
    a8 = 1.2992 * pow10(-14) * pow(x, 8) ;
    a9 = -2.28119 * pow10(-17) * pow(x, 9) ;
    a10 = 1.29788 * pow10(-20) * pow(x, 10) ;
    k = a0+a1+a2+a3+a4+a5+a6+a7+a8+a9+a10 ;
    return (k) ;
}

float Sombreamento(float t_d)
{
    float a;
    if ((t_d>0) && (t_d<1)) a = 0.37;
    if ((t_d>=1) && (t_d<2)) a = 0.37;
    if ((t_d>=2) && (t_d<3)) a = 0.43;
    if ((t_d>=3) && (t_d<4)) a = 0.48;
    if ((t_d>=4) && (t_d<5)) a = 0.54;
    if ((t_d>=5) && (t_d<6)) a = 0.60;
    if (t_d>=6) a = 0.66;
    return(a);
}

```

### **LISTAGEM 3.**

#### ***ENTRADA NO MSD - DOLPHIN SIMPLES.***

camera -g cam 20000 10000 9000 0 0 900 10 3 0 0 0

rcir motor1 62 228 20

rrot motor1 90 0 0

rdes motor1 -130.5 -607 910

color -o motor1 9

rcir duto1 206 165 20

rrot duto1 90 0 0

rdes duto1 -130.5 -835 910

color -o duto1 9

rcir motor2 62 228 20

rrot motor2 -90 0 0

rdes motor2 -130.5 566 910

color -o motor2 9

rcir duto2 206 165 20

rrot duto2 -90 0 0

rdes duto2 -130.5 794 910

color -o duto2 9

rcir motor3 62 228 20

rrot motor3 0 -90 0

rdes motor3 -982 -731 910

color -o motor3 9

rcir duto3 206 165 20

rrot duto3 0 -90 0

rdes duto3 -1210 -731 910

color -o duto3 9

rcir motor4 62 228 20

rrot motor4 0 -90 0

rdes motor4 -982 731 910

color -o motor4 9

rcir duto4 206 165 20

rrot duto4 0 -90 0

rdes duto4 -1210 731 910

color -o duto4 9

rqua brhrz1 125 1075

rrot brhrz1 90 0 0

rdes brhrz1 631 793.5 290

color -o brhrz1 8

rqua brhrz2 225 455

rdes brhrz2 631 568.5 290

color -o brhrz2 8

rqua brvert 200 890

rdes brvert 679.5 -751.7 290

color -o brvert 7

rqua bl11 41 2400

rrota bl11 0 90 0

rdesloca bl11 -1479.5 -1000 173

color -o bl11 6

rqua bl12 41 2400

rrota bl12 0 90 0

rdesloca bl12 -1479.5 -1000 41

color -o bl12 6

rqua bl21 41 1695

rrota bl21 0 90 0

rdesloca bl21 -1479.5 -475.8 173

color -o bl21 6

rqua bl22 41 1695

rrota bl22 0 90 0

rdesloca bl22 -1479.5 -475.8 41

color -o bl22 6

rqua bl31 41 1695

rrota bl31 0 90 0

rdesloca bl31 -1479.5 455.2 173

color -o bl31 6

rqua bl32 41 1695

rrota bl32 0 90 0

rdesloca bl32 -1479.5 455.2 41

color -o bl32 6



rqua bl41 41 2400

rrota bl41 0 90 0

rdesloca bl41 -1479.5 959 173

color -o bl41 6

rqua bl42 41 2400

rrota bl42 0 90 0

rdesloca bl42 -1479.5 959 41

color -o bl42 6

rprisma bomba 1180 498 414

rdesloca bomba -820 -249 180

rqua bv11 41 1088

rrota bv11 0 15.2690 0

rdesloca bv11 879.5 -1000 173

color -o bv11 2

rqua bv21 41 1088

rrota bv21 0 15.2690 0

rdesloca bv21 879.5 0 173

color -o bv21 2

rqua bv31 41 1088

rrota bv31 0 15.2690 0

rdesloca bv31 879.5 959 173

color -o bv31 2

rqua bv12 41 1044

rdesloca bv12 428.5 -1000 173

color -o bv12 2

rqua bv22 41 1218

rrota bv22 0 28.4429 0

rdesloca bv22 -150.8 -475.8 173

color -o bv22 2

rqua bv32 41 1218

rrota bv32 0 28.4429 0

rdesloca bv32 -150.8 455.2 173

color -o bv32 2

rqua bv42 41 1044

rdesloca bv42 428.5 959 173

color -o bv42 2

rqua bv13 41 1044

rdes bv13 -821.5 -1000 173

color -o bv13 2

rqua bv23 41 1218

rrota bv23 0 -28.4429 0

rdesloca bv23 -242.2 -475.8 173

color -o bv23 2

rqua bv33 41 1218

rrota bv33 0 -28.4429 0

rdesloca bv33 -242.2 455.2 173

color -o bv33 2

rqua bv43 41 1044

rdesloca bv43 -821.5 959 173

color -o bv43 2

rqua bv14 41 1044

rdesloca bv14 -1479.5 -1000 173

color -o bv14 2

rqua bv24 41 1044

rdesloca bv24 -1479.5 0 173

color -o bv24 2

rqua bv34 41 1044

rdesloca bv34 -1479.5 959 173

color -o bv34 2

rprism flut 3000 2000 546

rdesloca flut -1500 -1000 1254

color -o flut 3

rqua bh11 41 2000

rdesloca bh11 0 0 -1000

rrota bh11 90 0 0

rdesloca bh11 1148.5 0 1213

color -o bh11 4

rqua bh21 41 2000

rdesloca bh21 0 0 -1000

rrota bh21 90 0 0

rdesloca bh21 879.5 0 152.4

color -o bh21 4

rqua bh31 41 2000

rdesloca bh31 0 0 -1000

rrota bh31 90 0 0

rdesloca bh31 879.5 0 20.5

color -o bh31 4

rqua bh12 41 2000

rdesloca bh12 0 0 -1000

rrota bh12 90 0 0

rdesloca bh12 428.5 0 1213

color -o bh12 4

rqua bh22 41 2000

rdesloca bh22 0 0 -1000

rrota bh22 90 0 0

rdesloca bh22 428.5 0 152.5

color -o bh22 4

rqua bh32 41 2000

rdesloca bh32 0 0 -1000

rrota bh32 90 0 0

rdesloca bh32 428.5 0 20.5

color -o bh32 4

rqua bh13 41 2000

rdesloca bh13 0 0 -1000

rrota bh13 90 0 0

rdesloca bh13 -821.5 0 1213

color -o bh13 4

rqua bh23 41 2000

rdesloca bh23 0 0 -1000

rrota bh23 90 0 0

rdesloca bh23 -821.5 0 152.5

color -o bh23 4

rqua bh33 41 2000

rdesloca bh33 0 0 -1000

rrota bh33 90 0 0

rdesloca bh33 -821.5 0 20.5

color -o bh33 4

rqua bh14 41 2000

rdesloca bh14 0 0 -1000

rrota bh14 90 0 0

rdesloca bh14 -1479.5 0 1213

color -o bh14 4

rqua bh24 41 2000

rdesloca bh24 0 0 -1000

rrota bh24 90 0 0

rdesloca bh24 -1479.5 0 152.5

color -o bh24 4

rqua bh34 41 2000

rdesloca bh34 0 0 -1000

rrota bh34 90 0 0

rdesloca bh34 -1479.5 0 20.5

color -o bh34 4

cl -g

dis cam \*\*

rordena dolph\_\_0.hyd 15 -1 0 0

rordena dolph\_90.hyd 15 0 -1 0

rordena dolph180.hyd 15 1 0 0

rordena dolph270.hyd 15 0 1 0

rordena dolph\_up.hyd 15 0 0 -1

rordena dolphdow.hyd 15 0 0 1

***ENTRADA NO MSD - DOLPHIN SEM FLUTUADOR.***

camera -g cam 20000 10000 9000 0 0 900 10 3 0 0 0

rcir motor1 62 228 20

rrot motor1 90 0 0

rdes motor1 -130.5 -607 910

color -o motor1 9

rcir duto1 206 165 20

rrot duto1 90 0 0

rdes duto1 -130.5 -835 910

color -o duto1 9

rcir motor2 62 228 20

rrot motor2 -90 0 0

rdes motor2 -130.5 566 910

color -o motor2 9

rcir duto2 206 165 20

rrot duto2 -90 0 0

rdes duto2 -130.5 794 910

color -o duto2 9

rcir motor3 62 228 20

rrot motor3 0 -90 0

rdes motor3 -982 -731 910

color -o motor3 9

rcir duto3 206 165 20

rrot duto3 0 -90 0

rdes duto3 -1210 -731 910

color -o duto3 9

rcir motor4 62 228 20

rrot motor4 0 -90 0

rdes motor4 -982 731 910

color -o motor4 9

rcir duto4 206 165 20

rrot duto4 0 -90 0

rdes duto4 -1210 731 910

color -o duto4 9

rqua brhrz1 125 1075

rrot brhrz1 90 0 0

rdes brhrz1 631 793.5 290

color -o brhrz1 8

rqua brhrz2 225 455

rdes brhrz2 631 568.5 290

color -o brhrz2 8

rqua brvert 200 890

rdes brvert 679.5 -751.7 290

color -o brvert 7

rqua bl11 41 2400

rrota bl11 0 90 0



rdesloca bl11 -1479.5 -1000 173

color -o bl11 6

rqua bl12 41 2400

rrota bl12 0 90 0

rdesloca bl12 -1479.5 -1000 41

color -o bl12 6

rqua bl21 41 1695

rrota bl21 0 90 0

rdesloca bl21 -1479.5 -475.8 173

color -o bl21 6

rqua bl22 41 1695

rrota bl22 0 90 0

rdesloca bl22 -1479.5 -475.8 41

color -o bl22 6

rqua bl31 41 1695

rrota bl31 0 90 0

rdesloca bl31 -1479.5 455.2 173

color -o bl31 6

rqua bl32 41 1695

rrota bl32 0 90 0

rdesloca bl32 -1479.5 455.2 41

color -o bl32 6

rqua bl41 41 2400

rrota bl41 0 90 0

rdesloca bl41 -1479.5 959 173

color -o bl41 6

rqua bl42 41 2400

rrota bl42 0 90 0

rdesloca bl42 -1479.5 959 41

color -o bl42 6

rprisma bomba 1180 498 414

rdesloca bomba -820 -249 180

rqua bv11 41 1088

rrota bv11 0 15.2690 0

rdesloca bv11 879.5 -1000 173

color -o bv11 2

rqua bv21 41 1088

rrota bv21 0 15.2690 0

rdesloca bv21 879.5 0 173

color -o bv21 2

rqua bv31 41 1088

rrota bv31 0 15.2690 0

rdesloca bv31 879.5 959 173

color -o bv31 2

rqua bv12 41 1044

rdesloca bv12 428.5 -1000 173

color -o bv12 2

rqua bv22 41 1218

rrota bv22 0 28.4429 0

rdesloca bv22 -150.8 -475.8 173

color -o bv22 2

rqua bv32 41 1218

rrota bv32 0 28.4429 0

rdesloca bv32 -150.8 455.2 173

color -o bv32 2

rqua bv42 41 1044

rdesloca bv42 428.5 959 173

color -o bv42 2

rqua bv13 41 1044

rdes bv13 -821.5 -1000 173

color -o bv13 2

rqua bv23 41 1218

rrota bv23 0 -28.4429 0

rdesloca bv23 -242.2 -475.8 173

color -o bv23 2

rqua bv33 41 1218

rrota bv33 0 -28.4429 0

rdesloca bv33 -242.2 455.2 173

color -o bv33 2

rqua bv43 41 1044

rdesloca bv43 -821.5 959 173

color -o bv43 2

rqua bv14 41 1044

rdesloca bv14 -1479.5 -1000 173

color -o bv14 2

rqua bv24 41 1044

rdesloca bv24 -1479.5 0 173

color -o bv24 2

rqua bv34 41 1044

rdesloca bv34 -1479.5 959 173

color -o bv34 2

#rprism flut 3000 2000 546

#rdesloca flut -1500 -1000 1254

#color -o flut 3

rqua bh11 41 2000

rdesloca bh11 0 0 -1000

rrota bh11 90 0 0

rdesloca bh11 1148.5 0 1213

color -o bh11 4

rqua bh21 41 2000

rdesloca bh21 0 0 -1000

rrota bh21 90 0 0

rdesloca bh21 879.5 0 152.4

color -o bh21 4

rqua bh31 41 2000

rdesloca bh31 0 0 -1000

rrota bh31 90 0 0

rdesloca bh31 879.5 0 20.5

color -o bh31 4

rqua bh12 41 2000

rdesloca bh12 0 0 -1000

rrota bh12 90 0 0

rdesloca bh12 428.5 0 1213

color -o bh12 4

rqua bh22 41 2000

rdesloca bh22 0 0 -1000

rrota bh22 90 0 0

rdesloca bh22 428.5 0 152.5

color -o bh22 4

rqua bh32 41 2000

rdesloca bh32 0 0 -1000

rrota bh32 90 0 0

rdesloca bh32 428.5 0 20.5

color -o bh32 4

rqua bh13 41 2000

rdesloca bh13 0 0 -1000

rrota bh13 90 0 0

rdesloca bh13 -821.5 0 1213

color -o bh13 4

rqua bh23 41 2000

rdesloca bh23 0 0 -1000

rrota bh23 90 0 0

rdesloca bh23 -821.5 0 152.5

color -o bh23 4

rqua bh33 41 2000

rdesloca bh33 0 0 -1000

rrota bh33 90 0 0

rdesloca bh33 -821.5 0 20.5

color -o bh33 4

rqua bh14 41 2000

rdesloca bh14 0 0 -1000

rrota bh14 90 0 0

rdesloca bh14 -1479.5 0 1213

color -o bh14 4

rqua bh24 41 2000

rdesloca bh24 0 0 -1000

rrota bh24 90 0 0

rdesloca bh24 -1479.5 0 152.5

color -o bh24 4

rqua bh34 41 2000

rdesloca bh34 0 0 -1000

rrota bh34 90 0 0

rdesloca bh34 -1479.5 0 20.5

color -o bh34 4

cl -g

dis cam \*\*

rordena sflut\_\_0.hyd 15 -1 0 0

rordena sflut\_90.hyd 15 0 -1 0

rordena sflut180.hyd 15 1 0 0

rordena sflut270.hyd 15 0 1 0

rordena sflut\_up.hyd 15 0 0 -1

rordena sflutdow.hyd 15 0 0 1

***ENTRADA NO MSD - DOLPHIN MAIS COMPLETO.***

camera -g cam 20000 10000 9000 0 0 900 10 3 0 0 0

rprisma cilin\_d 1180 440 440

rdesloca cilin\_d -795 -940 180

rprisma cilin\_e 1180 440 440

rdesloca cilin\_e -795 530 180

rprisma bomba2 650 498 414

rdesloca bomba2 -820 -249 595

rprisma equip\_d 470 145 145

rdesloca equip\_d -1385 -410 180

rprisma equip\_e 470 145 145

rdesloca equip\_e -1385 235 180

rcir motor1 62 228 20

rrot motor1 90 0 0

rdes motor1 -130.5 -607 910

color -o motor1 9

rcir duto1 206 165 20

rrot duto1 90 0 0

rdes duto1 -130.5 -835 910

color -o duto1 9

rcir motor2 62 228 20

rrot motor2 -90 0 0



rdes motor2 -130.5 566 910

color -o motor2 9

rcir duto2 206 165 20

rrot duto2 -90 0 0

rdes duto2 -130.5 794 910

color -o duto2 9

rcir motor3 62 228 20

rrot motor3 0 -90 0

rdes motor3 -982 -731 910

color -o motor3 9

rcir duto3 206 165 20

rrot duto3 0 -90 0

rdes duto3 -1210 -731 910

color -o duto3 9

rcir motor4 62 228 20

rrot motor4 0 -90 0

rdes motor4 -982 731 910

color -o motor4 9

rcir duto4 206 165 20

rrot duto4 0 -90 0

rdes duto4 -1210 731 910

color -o duto4 9

rqua brhrz1 125 1075

rrot brhrz1 90 0 0

rdes brhrz1 631 793.5 290

color -o brhrz1 8

rqua brhrz2 225 455

rdes brhrz2 631 568.5 290

color -o brhrz2 8

rqua brvert 200 890

rdes brvert 679.5 -751.7 290

color -o brvert 7

rqua bl11 41 2400

rrota bl11 0 90 0

rdesloca bl11 -1479.5 -1000 173

color -o bl11 6

rqua bl12 41 2400

rrota bl12 0 90 0

rdesloca bl12 -1479.5 -1000 41

color -o bl12 6

rqua bl21 41 1695

rrota bl21 0 90 0

rdesloca bl21 -1479.5 -475.8 173

color -o bl21 6

rqua bl22 41 1695

rrota bl22 0 90 0

rdesloca bl22 -1479.5 -475.8 41

color -o bl22 6

rqua bl31 41 1695

rrota bl31 0 90 0

rdesloca bl31 -1479.5 455.2 173

color -o bl31 6

rqua bl32 41 1695

rrota bl32 0 90 0

rdesloca bl32 -1479.5 455.2 41

color -o bl32 6

rqua bl41 41 2400

rrota bl41 0 90 0

rdesloca bl41 -1479.5 959 173

color -o bl41 6

rqua bl42 41 2400

rrota bl42 0 90 0

rdesloca bl42 -1479.5 959 41

color -o bl42 6

rprisma bomba 1180 498 414

rdesloca bomba -820 -249 180

rqua bv11 41 1088

rrota bv11 0 15.2690 0

rdesloca bv11 879.5 -1000 173

color -o bv11 2

rqua bv21 41 1088

rrota bv21 0 15.2690 0

rdesloca bv21 879.5 0 173

color -o bv21 2

rqua bv31 41 1088

rrota bv31 0 15.2690 0

rdesloca bv31 879.5 959 173

color -o bv31 2

rqua bv12 41 1044

rdesloca bv12 428.5 -1000 173

color -o bv12 2

rqua bv22 41 1218

rrota bv22 0 28.4429 0

rdesloca bv22 -150.8 -475.8 173

color -o bv22 2

rqua bv32 41 1218

rrota bv32 0 28.4429 0

rdesloca bv32 -150.8 455.2 173

color -o bv32 2

rqua bv42 41 1044

rdesloca bv42 428.5 959 173

color -o bv42 2

rqua bv13 41 1044

rdes bv13 -821.5 -1000 173

color -o bv13 2

rqua bv23 41 1218

rrota bv23 0 -28.4429 0

rdesloca bv23 -242.2 -475.8 173

color -o bv23 2

rqua bv33 41 1218

rrota bv33 0 -28.4429 0

rdesloca bv33 -242.2 455.2 173

color -o bv33 2

rqua bv43 41 1044

rdesloca bv43 -821.5 959 173

color -o bv43 2

rqua bv14 41 1044

rdesloca bv14 -1479.5 -1000 173

color -o bv14 2

rqua bv24 41 1044

rdesloca bv24 -1479.5 0 173

color -o bv24 2

rqua bv34 41 1044

rdesloca bv34 -1479.5 959 173

color -o bv34 2

rprism flut 3000 2000 546

rdesloca flut -1500 -1000 1254

color -o flut 3

rqua bh11 41 2000

rdesloca bh11 0 0 -1000

rrota bh11 90 0 0

rdesloca bh11 1148.5 0 1213

color -o bh11 4

rqua bh21 41 2000

rdesloca bh21 0 0 -1000

rrota bh21 90 0 0

rdesloca bh21 879.5 0 152.4

color -o bh21 4

rqua bh31 41 2000

rdesloca bh31 0 0 -1000

rrota bh31 90 0 0

rdesloca bh31 879.5 0 20.5

color -o bh31 4

rqua bh12 41 2000

rdesloca bh12 0 0 -1000

rrota bh12 90 0 0

rdesloca bh12 428.5 0 1213

color -o bh12 4

rqua bh22 41 2000

rdesloca bh22 0 0 -1000

rrota bh22 90 0 0

rdesloca bh22 428.5 0 152.5

color -o bh22 4

rqua bh32 41 2000

rdesloca bh32 0 0 -1000

rrota bh32 90 0 0

rdesloca bh32 428.5 0 20.5

color -o bh32 4

rqua bh13 41 2000

rdesloca bh13 0 0 -1000

rrota bh13 90 0 0

rdesloca bh13 -821.5 0 1213

color -o bh13 4

rqua bh23 41 2000

rdesloca bh23 0 0 -1000

rrota bh23 90 0 0

rdesloca bh23 -821.5 0 152.5

color -o bh23 4

rqua bh33 41 2000

rdesloca bh33 0 0 -1000

rrota bh33 90 0 0

rdesloca bh33 -821.5 0 20.5

color -o bh33 4

rqua bh14 41 2000

rdesloca bh14 0 0 -1000

rrota bh14 90 0 0

rdesloca bh14 -1479.5 0 1213

color -o bh14 4

rqua bh24 41 2000

rdesloca bh24 0 0 -1000

rrota bh24 90 0 0

rdesloca bh24 -1479.5 0 152.5

color -o bh24 4

rqua bh34 41 2000

rdesloca bh34 0 0 -1000

rrota bh34 90 0 0

rdesloca bh34 -1479.5 0 20.5

color -o bh34 4

cl -g

dis cam \*\*

rordena rovfi\_\_0.hyd 15 -1 0 0

rordena rovfi\_90.hyd 15 0 -1 0

rordena rovfi180.hyd 15 1 0 0



rordena rovfi270.hyd 15 0 1 0

rordena rovfi\_up.hyd 15 0 0-1

rordena rovfidow.hyd 15 0 0 1

## LISTAGEM 4.

### *SAÍDA DO MSD PARA O SOMBRA - EXEMPLO PARA DOLPHIN SIMPLES COM ANGULO DE ATAQUE DE ZERO GRAU..*

185

0.00 0.00 0.00

0.00 0.00

(bv14 duto3 42804.00 25.46 MSD BARRA-V ARREDONDADO-V CIRCULO-V NORMAL-V  
BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 0.74 1.45)  
(bv14 motor3 42804.00 25.46 MSD BARRA-V ARREDONDADO-V CIRCULO-V NORMAL-V  
BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 4.40 3.98)  
(bh24 bv24 81999.99 48.78 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V  
BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R OBLIQUA-R 0.00 12.74)  
(bh24 bh34 81999.99 48.78 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V  
BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 0.00 3.22)  
(bv24 bh24 42804.00 25.46 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V  
BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R OBLIQUA-R 0.00 12.74)  
(bv24 bh14 42804.00 25.46 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V  
BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R OBLIQUA-R 0.00 13.14)  
(bv34 duto4 42804.00 25.46 MSD BARRA-V ARREDONDADO-V CIRCULO-V NORMAL-V  
BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 0.74 1.45)  
(bv34 motor4 42804.00 25.46 MSD BARRA-V ARREDONDADO-V CIRCULO-V NORMAL-V  
BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 4.40 3.98)  
(bh34 bh24 81999.99 48.78 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V  
BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 0.00 3.22)  
(bh14 bv24 81999.99 48.78 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V  
BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R OBLIQUA-R 0.00 13.14)  
(bh33 bh23 81999.99 48.78 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V  
BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 0.00 3.22)  
(bh33 bl32 81999.99 48.78 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V  
BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 3.41 9.62)  
(bh33 bl22 81999.99 48.78 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V  
BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 3.41 9.21)  
(bh33 bl31 81999.99 48.78 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V  
BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 3.41 9.87)  
(bh33 bl21 81999.99 48.78 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V  
BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 3.41 9.47)  
(bh23 bh33 81999.99 48.78 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V  
BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 0.00 3.22)  
(bh23 bl32 81999.99 48.78 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V  
BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 3.41 10.09)  
(bh23 bl22 81999.99 48.78 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V  
BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 3.41 9.70)  
(bh23 bl31 81999.99 48.78 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V  
BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 3.41 9.62)  
(bh23 bl21 81999.99 48.78 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V  
BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 3.41 9.21)  
(bh23 bomba 81999.99 48.78 MSD SOLIDO-V CANTOS-VIVOS-V PRISMA-V BARRA-R CANTOS-  
VIVOS-R QUADRADO-R OBLIQUA-R 1.66 0.62)  
(bv13 bv23 42804.00 25.46 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V  
BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 6.99 12.80)  
(bv43 bv33 42804.00 25.46 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V  
BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 6.99 12.30)

(bh13 bh13 81999.99 48.78 MSD BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R)

(bv23 motor1 44710.73 29.71 MSD BARRA-V ARREDONDADO-V CIRCULO-V OBLIQUA-V BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R OBLIQUA-R 4.65 3.97)

(bv33 duto2 44710.73 29.71 MSD BARRA-V ARREDONDADO-V CIRCULO-V OBLIQUA-V BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R OBLIQUA-R 1.69 1.96)

(bv33 motor2 44710.73 29.71 MSD BARRA-V ARREDONDADO-V CIRCULO-V OBLIQUA-V BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R OBLIQUA-R 4.65 3.40)

(bomba motor1 206171.98 0.00 MSD BARRA-V ARREDONDADO-V CIRCULO-V OBLIQUA-V SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R PRISMA-R 0.26 2.31)

(bomba duto1 206171.98 0.00 MSD BARRA-V ARREDONDADO-V CIRCULO-V OBLIQUA-V SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R PRISMA-R 0.19 1.99)

(bomba duto2 206171.98 0.00 MSD BARRA-V ARREDONDADO-V CIRCULO-V OBLIQUA-V SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R PRISMA-R 0.19 1.93)

(bomba motor2 206171.98 0.00 MSD BARRA-V ARREDONDADO-V CIRCULO-V OBLIQUA-V SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R PRISMA-R 0.26 2.22)

(bomba flut 206171.98 0.00 MSD SOLIDO-V CANTOS-VIVOS-V PRISMA-V SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R PRISMA-R 0.17 0.84)

(bomba bv22 206171.98 0.00 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R PRISMA-R 1.12 1.60)

(bomba bv32 206171.98 0.00 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R PRISMA-R 1.12 1.65)

(bomba bh22 206171.98 0.00 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R PRISMA-R 1.97 0.62)

(bomba bh32 206171.98 0.00 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R PRISMA-R 1.97 1.00)

(bomba bh12 206171.98 0.00 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R PRISMA-R 1.97 2.46)

(bomba bv42 206171.98 0.00 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R PRISMA-R 1.97 2.98)

(bomba bv12 206171.98 0.00 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R PRISMA-R 1.97 2.98)

(bomba brhrz1 206171.98 0.00 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R PRISMA-R 2.39 0.67)

(bomba brhrz2 206171.98 0.00 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R PRISMA-R 2.23 1.59)

(bomba brvert 206171.98 0.00 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R PRISMA-R 2.38 1.74)

(bomba bh21 206171.98 0.00 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R PRISMA-R 3.28 0.62)

(bomba bh31 206171.98 0.00 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R PRISMA-R 3.28 1.00)

(bomba bv11 206171.98 0.00 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R PRISMA-R 3.70 2.98)

(bomba bv21 206171.98 0.00 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R PRISMA-R 3.70 0.89)

(bomba bv31 206171.98 0.00 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R PRISMA-R 3.70 2.98)

(bomba bh11 206171.98 0.00 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R PRISMA-R 4.06 2.46)

(motor1 duto1 28272.00 1.84 MSD BARRA-V ARREDONDADO-V CIRCULO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 0.00 0.73)

(motor1 duto2 28272.00 1.84 MSD BARRA-V ARREDONDADO-V CIRCULO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 0.00 5.96)

(motor1 motor2 28272.00 1.84 MSD BARRA-V ARREDONDADO-V CIRCULO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 0.00 11.30)

(motor1 flut 28272.00 1.84 MSD SOLIDO-V CANTOS-VIVOS-V PRISMA-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R OBLIQUA-R 0.12 0.86)

(motor1 bv22 28272.00 1.84 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R OBLIQUA-R 3.49 4.11)  
(motor1 bv32 28272.00 1.84 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R OBLIQUA-R 3.49 14.73)  
(motor1 bh22 28272.00 1.84 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 7.02 12.50)  
(motor1 bh32 28272.00 1.84 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 7.02 13.69)  
(motor1 bh12 28272.00 1.84 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 7.02 9.58)  
(motor1 bv42 28272.00 1.84 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R OBLIQUA-R 7.02 20.78)  
(motor1 bv12 28272.00 1.84 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R OBLIQUA-R 7.02 4.08)  
(motor1 brhrz1 28272.00 1.84 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 6.62 9.04)  
(motor1 brhrz2 28272.00 1.84 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R OBLIQUA-R 5.01 8.34)  
(motor1 brvert 28272.00 1.84 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R OBLIQUA-R 5.62 1.16)  
(motor1 bh21 28272.00 1.84 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 12.49 12.50)  
(motor1 bh31 28272.00 1.84 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 12.49 13.69)  
(motor1 bv11 28272.00 1.84 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R OBLIQUA-R 14.22 4.10)  
(motor1 bv21 28272.00 1.84 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R OBLIQUA-R 14.22 9.37)  
(motor1 bh11 28272.00 1.84 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 15.75 9.58)  
(duto1 motor1 67980.00 0.40 MSD BARRA-V ARREDONDADO-V CIRCULO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 0.00 0.73)  
(duto1 duto2 67980.00 0.40 MSD BARRA-V ARREDONDADO-V CIRCULO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 0.00 4.35)  
(duto1 motor2 67980.00 0.40 MSD BARRA-V ARREDONDADO-V CIRCULO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 0.00 5.96)  
(duto1 flut 67980.00 0.40 MSD SOLIDO-V CANTOS-VIVOS-V PRISMA-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R OBLIQUA-R 0.11 0.89)  
(duto1 bv22 67980.00 0.40 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R OBLIQUA-R 1.27 2.24)  
(duto1 bv32 67980.00 0.40 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R OBLIQUA-R 1.27 6.22)  
(duto1 bh22 67980.00 0.40 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 2.56 5.20)  
(duto1 bh32 67980.00 0.40 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 2.56 5.58)  
(duto1 bh12 67980.00 0.40 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 2.56 4.30)  
(duto1 bv42 67980.00 0.40 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R OBLIQUA-R 2.56 8.43)  
(duto1 bv12 67980.00 0.40 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R OBLIQUA-R 2.56 0.99)  
(duto1 brhrz1 67980.00 0.40 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 3.07 4.84)  
(duto1 brhrz2 67980.00 0.40 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R OBLIQUA-R 2.74 5.17)  
(duto1 brvert 67980.00 0.40 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R OBLIQUA-R 2.97 1.04)

(duto1 bh21 67980.00 0.40 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 4.55 5.20)  
(duto1 bh31 67980.00 0.40 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 4.55 5.58)  
(duto1 bv11 67980.00 0.40 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R OBLIQUA-R 5.18 1.00)  
(duto1 bv21 67980.00 0.40 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R OBLIQUA-R 5.18 4.25)  
(duto1 bv31 67980.00 0.40 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R OBLIQUA-R 5.18 8.43)  
(duto1 bh11 67980.00 0.40 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 5.74 4.30)  
(duto2 motor1 67980.00 0.40 MSD BARRA-V ARREDONDADO-V CIRCULO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 0.00 5.96)  
(duto2 duto1 67980.00 0.40 MSD BARRA-V ARREDONDADO-V CIRCULO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 0.00 4.35)  
(duto2 motor2 67980.00 0.40 MSD BARRA-V ARREDONDADO-V CIRCULO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 0.00 0.73)  
(duto2 flut 67980.00 0.40 MSD SOLIDO-V CANTOS-VIVOS-V PRISMA-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R OBLIQUA-R 0.11 0.86)  
(duto2 bv22 67980.00 0.40 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R OBLIQUA-R 1.27 5.95)  
(duto2 bv32 67980.00 0.40 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R OBLIQUA-R 1.27 2.00)  
(duto2 bh22 67980.00 0.40 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 2.56 5.06)  
(duto2 bh32 67980.00 0.40 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 2.56 5.45)  
(duto2 bh12 67980.00 0.40 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 2.56 4.12)  
(duto2 bv42 67980.00 0.40 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R OBLIQUA-R 2.56 1.05)  
(duto2 bv12 67980.00 0.40 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R OBLIQUA-R 2.56 8.25)  
(duto2 brhrz1 67980.00 0.40 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 3.07 3.11)  
(duto2 brhrz2 67980.00 0.40 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R OBLIQUA-R 2.74 1.38)  
(duto2 brvert 67980.00 0.40 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R OBLIQUA-R 2.97 5.03)  
(duto2 bh21 67980.00 0.40 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 4.55 5.06)  
(duto2 bh31 67980.00 0.40 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 4.55 5.45)  
(duto2 bv11 67980.00 0.40 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R OBLIQUA-R 5.18 8.25)  
(duto2 bv21 67980.00 0.40 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R OBLIQUA-R 5.18 3.90)  
(duto2 bv31 67980.00 0.40 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R OBLIQUA-R 5.18 1.06)  
(duto2 bh11 67980.00 0.40 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 5.74 4.12)  
(motor2 motor1 28272.00 1.84 MSD BARRA-V ARREDONDADO-V CIRCULO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 0.00 11.30)  
(motor2 duto1 28272.00 1.84 MSD BARRA-V ARREDONDADO-V CIRCULO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 0.00 5.96)  
(motor2 duto2 28272.00 1.84 MSD BARRA-V ARREDONDADO-V CIRCULO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 0.00 0.73)

(motor2 flut 28272.00 1.84 MSD SOLIDO-V CANTOS-VIVOS-V PRISMA-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R OBLIQUA-R 0.12 0.84)  
(motor2 bv22 28272.00 1.84 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R OBLIQUA-R 3.49 14.00)  
(motor2 bv32 28272.00 1.84 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R OBLIQUA-R 3.49 3.56)  
(motor2 bh22 28272.00 1.84 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 7.02 12.15)  
(motor2 bh32 28272.00 1.84 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 7.02 13.37)  
(motor2 bh12 28272.00 1.84 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 7.02 9.13)  
(motor2 bv42 28272.00 1.84 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R OBLIQUA-R 7.02 4.47)  
(motor2 bv12 28272.00 1.84 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R OBLIQUA-R 7.02 20.28)  
(motor2 brhrz1 28272.00 1.84 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 6.62 5.63)  
(motor2 brhrz2 28272.00 1.84 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R OBLIQUA-R 5.01 2.25)  
(motor2 brvert 28272.00 1.84 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R OBLIQUA-R 5.62 8.29)  
(motor2 bh21 28272.00 1.84 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 12.49 12.16)  
(motor2 bh31 28272.00 1.84 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 12.49 13.37)  
(motor2 bv21 28272.00 1.84 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R OBLIQUA-R 14.22 8.42)  
(motor2 bv31 28272.00 1.84 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R OBLIQUA-R 14.22 4.49)  
(motor2 bh11 28272.00 1.84 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R ARREDONDADO-R CIRCULO-R NORMAL-R 15.75 9.13)  
(flut bv22 109199.88 0.00 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R PRISMA-R 0.15 0.89)  
(flut bv32 109199.88 0.00 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R PRISMA-R 0.15 0.90)  
(flut bh22 109199.88 0.00 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R PRISMA-R 0.42 1.28)  
(flut bh32 109199.88 0.00 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R PRISMA-R 0.42 1.41)  
(flut bh12 109199.88 0.00 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R PRISMA-R 0.42 0.28)  
(flut bv42 109199.88 0.00 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R PRISMA-R 0.42 1.22)  
(flut bv12 109199.88 0.00 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R PRISMA-R 0.42 1.22)  
(flut brhrz1 109199.88 0.00 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R PRISMA-R 0.63 1.09)  
(flut brhrz2 109199.88 0.00 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R PRISMA-R 0.65 1.06)  
(flut brvert 109199.88 0.00 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R PRISMA-R 0.69 0.90)  
(flut bh21 109199.88 0.00 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R PRISMA-R 0.85 1.28)  
(flut bh31 109199.88 0.00 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R PRISMA-R 0.85 1.41)  
(flut bv11 109199.88 0.00 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R PRISMA-R 0.99 1.22)

(flut bv21 1091999.88 0.00 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R PRISMA-R 0.99 0.79)  
(flut bv31 1091999.88 0.00 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R PRISMA-R 0.99 1.22)  
(flut bh11 1091999.88 0.00 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V SOLIDO-R CANTOS-VIVOS-R PRISMA-R 1.11 0.28)  
(bv22 bv12 44710.73 29.71 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 7.12 12.79)  
(bv32 bv42 44710.73 29.71 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 7.12 12.29)  
(bh22 bh32 81999.99 48.78 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 0.00 3.22)  
(bh22 brhrz1 81999.99 48.78 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 2.95 3.77)  
(bh22 bh21 81999.99 48.78 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 11.00 0.00)  
(bh22 bh31 81999.99 48.78 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 11.00 3.22)  
(bh32 bh22 81999.99 48.78 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 0.00 3.22)  
(bh32 brhrz1 81999.99 48.78 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 2.95 4.86)  
(bh32 bh21 81999.99 48.78 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 11.00 3.22)  
(bh32 bh31 81999.99 48.78 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 11.00 0.00)  
(bh12 bh12 81999.99 48.78 MSD SOZINHO BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R)  
(bv42 brhrz2 42804.00 25.46 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 2.21 2.61)  
(bv42 bv31 42804.00 25.46 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 14.48 0.06)  
(bv12 brvert 42804.00 25.46 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 2.74 2.74)  
(bv12 bv11 42804.00 25.46 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 14.48 0.06)  
(brhrz1 brhrz2 134374.98 8.60 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R OBLIQUA-R 0.29 2.61)  
(brhrz1 brvert 134374.98 8.60 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R OBLIQUA-R 0.53 6.06)  
(brhrz1 bh21 134374.98 8.60 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 2.49 3.77)  
(brhrz1 bh31 134374.98 8.60 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 2.49 4.86)  
(brhrz1 bv11 134374.98 8.60 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R OBLIQUA-R 4.21 15.44)  
(brhrz1 bv21 134374.98 8.60 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R OBLIQUA-R 4.21 4.98)  
(brhrz1 bv31 134374.98 8.60 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R OBLIQUA-R 4.21 9.63)  
(brhrz1 bh11 134374.98 8.60 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 5.73 11.05)  
(brhrz2 brvert 102375.00 2.02 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 0.17 6.35)  
(brhrz2 bh21 102375.00 2.02 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R OBLIQUA-R 1.18 5.74)  
(brhrz2 bh31 102375.00 2.02 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R OBLIQUA-R 1.18 6.25)

(brhrz2 bv11 102375.00 2.02 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V  
BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 2.25 12.55)  
(brhrz2 bv21 102375.00 2.02 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V  
BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 2.25 5.14)  
(brhrz2 bv31 102375.00 2.02 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V  
BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 2.25 2.60)  
(brhrz2 bh11 102375.00 2.02 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V  
BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R OBLIQUA-R 3.20 7.43)  
(brvert bh21 178000.00 4.45 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V  
BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R OBLIQUA-R 1.00 7.14)  
(brvert bh31 178000.00 4.45 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V  
BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R OBLIQUA-R 1.00 7.90)  
(brvert bv11 178000.00 4.45 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V  
BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 2.18 2.74)  
(brvert bv21 178000.00 4.45 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V  
BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 2.18 5.59)  
(brvert bv31 178000.00 4.45 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V  
BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 2.18 13.54)  
(brvert bh11 178000.00 4.45 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V  
BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R OBLIQUA-R 3.23 6.81)  
(bh21 bh31 81999.99 48.78 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V  
BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 0.00 3.22)  
(bh21 bv21 81999.99 48.78 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V  
BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R OBLIQUA-R 3.48 12.68)  
(bh31 bh21 81999.99 48.78 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V NORMAL-V  
BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R NORMAL-R 0.00 3.22)  
(bv11 bv11 43476.03 26.54 MSD SOZINHO BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R  
NORMAL-R)  
(bv21 bh11 43476.03 26.54 MSD BARRA-V CANTOS-VIVOS-V QUADRADO-V OBLIQUA-V  
BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R OBLIQUA-R 3.08 13.21)  
(bv31 bv31 43476.03 26.54 MSD SOZINHO BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R  
NORMAL-R)  
(bh11 bh11 81999.99 48.78 MSD SOZINHO BARRA-R CANTOS-VIVOS-R QUADRADO-R  
NORMAL-R)



## LISTAGEM 5.

### *SAÍDA DO SOMBRA PARA O CALCULA - EXEMPLO PARA DOLPHIN SIMPLES COM ANGULO DE ATAQUE DE ZERO GRAU..*

180.0 90.0 90.0

0.0

BH11 BH11 81999.99 48.78 2.0 1.0 0.0 0.0  
BV31 BV31 43476.03 26.54 2.0 1.0 0.0 0.0  
BV21 BH11 43476.03 26.54 2.0 1 3.08 13.21  
BV11 BV11 43476.03 26.54 2.0 1.0 0.0 0.0  
BH31 BH21 81999.99 48.78 2.0 0.9290279 0.0 3.22  
BH21 BV21 81999.99 48.78 2.0 1 3.48 12.68  
BH21 BH31 81999.99 48.78 2.0 0.9290279 0.0 3.22  
BRVERT BH11 178000.0 4.45 2.0 1.0513462 3.23 6.81  
BRVERT BV31 178000.0 4.45 2.0 1 2.18 13.54  
BRVERT BV21 178000.0 4.45 2.0 1.4363986 2.18 5.59  
BRVERT BV11 178000.0 4.45 2.0 0.97781986 2.18 2.74  
BRVERT BH31 178000.0 4.45 2.0 0.9411655 1.0 7.9  
BRVERT BH21 178000.0 4.45 2.0 0.9406543 1.0 7.14  
BRHRZ2 BH11 102375.0 2.02 2.0 0.92902404 3.2 7.43  
BRHRZ2 BV31 102375.0 2.02 2.0 0.93977624 2.25 2.6  
BRHRZ2 BV21 102375.0 2.02 2.0 1.5563375 2.25 5.14  
BRHRZ2 BV11 102375.0 2.02 2.0 1 2.25 12.55  
BRHRZ2 BH31 102375.0 2.02 2.0 1.1869045 1.18 6.25  
BRHRZ2 BH21 102375.0 2.02 2.0 1.2890265 1.18 5.74  
BRHRZ2 BRVERT 102375.0 2.02 2.0 0.88471985 0.17 6.35  
BRHRZ1 BH11 134374.98 8.6 2.0 1 5.73 11.05  
BRHRZ1 BV31 134374.98 8.6 2.0 1 4.21 9.63  
BRHRZ1 BV21 134374.98 8.6 2.0 1.0305617 4.21 4.98  
BRHRZ1 BV11 134374.98 8.6 2.0 1 4.21 15.44  
BRHRZ1 BH31 134374.98 8.6 2.0 1.6885892 2.49 4.86  
BRHRZ1 BH21 134374.98 8.6 2.0 1.5056543 2.49 3.77  
BRHRZ1 BRVERT 134374.98 8.6 2.0 3.7986271 0.53 6.06  
BRHRZ1 BRHRZ2 134374.98 8.6 2.0 0.903527 0.29 2.61  
BV12 BV11 42804.0 25.46 2.0 0.66 14.48 0.06  
BV12 BRVERT 42804.0 25.46 2.0 1.0682094 2.74 2.74  
BV42 BV31 42804.0 25.46 2.0 0.66 14.48 0.06  
BV42 BRHRZ2 42804.0 25.46 2.0 0.93488896 2.21 2.61  
BH12 BH12 81999.99 48.78 2.0 1.0 0.0 0.0  
BH32 BH31 81999.99 48.78 2.0 0.66 11.0 0.0  
BH32 BH21 81999.99 48.78 2.0 1 11.0 3.22  
BH32 BRHRZ1 81999.99 48.78 2.0 1.6838804 2.95 4.86  
BH32 BH22 81999.99 48.78 2.0 0.9290279 0.0 3.22  
BH22 BH31 81999.99 48.78 2.0 1 11.0 3.22  
BH22 BH21 81999.99 48.78 2.0 0.66 11.0 0.0  
BH22 BRHRZ1 81999.99 48.78 2.0 1.5203755 2.95 3.77  
BH22 BH32 81999.99 48.78 2.0 0.9290279 0.0 3.22  
BV32 BV42 44710.73 29.71 2.0 1 7.12 12.29  
BV22 BV12 44710.73 29.71 2.0 1 7.12 12.79  
FLUT BH11 1091999.9 0.0 2.0 1 1.11 0.28  
FLUT BV31 1091999.9 0.0 2.0 1 0.99 1.22  
FLUT BV21 1091999.9 0.0 2.0 1 0.99 0.79  
FLUT BV11 1091999.9 0.0 2.0 1 0.99 1.22

FLUT BH31 1091999.9 0.0 2.0 1 0.85 1.41  
FLUT BH21 1091999.9 0.0 2.0 1 0.85 1.28  
FLUT BRVERT 1091999.9 0.0 2.0 1 0.69 0.9  
FLUT BRHRZ2 1091999.9 0.0 2.0 1 0.65 1.06  
FLUT BRHRZ1 1091999.9 0.0 2.0 1 0.63 1.09  
FLUT BV12 1091999.9 0.0 2.0 1 0.42 1.22  
FLUT BV42 1091999.9 0.0 2.0 1 0.42 1.22  
FLUT BH12 1091999.9 0.0 2.0 1 0.42 0.28  
FLUT BH32 1091999.9 0.0 2.0 1 0.42 1.41  
FLUT BH22 1091999.9 0.0 2.0 1 0.42 1.28  
FLUT BV32 1091999.9 0.0 2.0 1 0.15 0.9  
FLUT BV22 1091999.9 0.0 2.0 1 0.15 0.89  
MOTOR2 BH11 28272.0 1.84 2.0 1 15.75 9.13  
MOTOR2 BV31 28272.0 1.84 2.0 1 14.22 4.49  
MOTOR2 BV21 28272.0 1.84 2.0 1 14.22 8.42  
MOTOR2 BH31 28272.0 1.84 2.0 1 12.49 13.37  
MOTOR2 BH21 28272.0 1.84 2.0 1 12.49 12.16  
MOTOR2 BRVERT 28272.0 1.84 2.0 1 5.62 8.29  
MOTOR2 BRHRZ2 28272.0 1.84 2.0 1 5.01 2.25  
MOTOR2 BRHRZ1 28272.0 1.84 2.0 1 6.62 5.63  
MOTOR2 BV12 28272.0 1.84 2.0 1 7.02 20.28  
MOTOR2 BV42 28272.0 1.84 2.0 1 7.02 4.47  
MOTOR2 BH12 28272.0 1.84 2.0 1 7.02 9.13  
MOTOR2 BH32 28272.0 1.84 2.0 1 7.02 13.37  
MOTOR2 BH22 28272.0 1.84 2.0 1 7.02 12.15  
MOTOR2 BV32 28272.0 1.84 2.0 1 3.49 3.56  
MOTOR2 BV22 28272.0 1.84 2.0 1 3.49 14.0  
MOTOR2 FLUT 28272.0 3.68 1.2 1.0 0.12 0.84  
MOTOR2 DUTO2 28272.0 1.84 1.2 1.9865595 0.0 0.73  
MOTOR2 DUTO1 28272.0 1.84 1.2 0.8590057 0.0 5.96  
MOTOR2 MOTOR1 28272.0 1.84 1.2 1 0.0 11.3  
DUTO2 BH11 67980.0 0.4 1.2 1 5.74 4.12  
DUTO2 BV31 67980.0 0.4 1.2 1 5.18 1.06  
DUTO2 BV21 67980.0 0.4 1.2 1 5.18 3.9  
DUTO2 BV11 67980.0 0.4 1.2 1 5.18 8.25  
DUTO2 BH31 67980.0 0.4 1.2 1 4.55 5.45  
DUTO2 BH21 67980.0 0.4 1.2 1 4.55 5.06  
DUTO2 BRVERT 67980.0 0.4 1.2 1 2.97 5.03  
DUTO2 BRHRZ2 67980.0 0.4 1.2 1 2.74 1.38  
DUTO2 BRHRZ1 67980.0 0.4 1.2 1 3.07 3.11  
DUTO2 BV12 67980.0 0.4 1.2 1 2.56 8.25  
DUTO2 BV42 67980.0 0.4 1.2 1 2.56 1.05  
DUTO2 BH12 67980.0 0.4 1.2 1 2.56 4.12  
DUTO2 BH32 67980.0 0.4 1.2 1 2.56 5.45  
DUTO2 BH22 67980.0 0.4 1.2 1 2.56 5.06  
DUTO2 BV32 67980.0 0.4 1.2 1 1.27 2.0  
DUTO2 BV22 67980.0 0.4 1.2 1 1.27 5.95  
DUTO2 FLUT 67980.0 0.4 1.2 1.0 0.11 0.86  
DUTO2 MOTOR2 67980.0 0.4 1.2 1.9865595 0.0 0.73  
DUTO2 DUTO1 67980.0 0.4 1.2 0.8267658 0.0 4.35  
DUTO2 MOTOR1 67980.0 0.4 1.2 0.8590057 0.0 5.96  
DUTO1 BH11 67980.0 0.4 1.2 1 5.74 4.3  
DUTO1 BV31 67980.0 0.4 1.2 1 5.18 8.43  
DUTO1 BV21 67980.0 0.4 1.2 1 5.18 4.25  
DUTO1 BV11 67980.0 0.4 1.2 1 5.18 1.0  
DUTO1 BH31 67980.0 0.4 1.2 1 4.55 5.58  
DUTO1 BH21 67980.0 0.4 1.2 1 4.55 5.2  
DUTO1 BRVERT 67980.0 0.4 1.2 1 2.97 1.04  
DUTO1 BRHRZ2 67980.0 0.4 1.2 1 2.74 5.17

DUTO1 BRHRZ1 67980.0 0.4 1.2 1 3.07 4.84  
DUTO1 BV12 67980.0 0.4 1.2 1 2.56 0.99  
DUTO1 BV42 67980.0 0.4 1.2 1 2.56 8.43  
DUTO1 BH12 67980.0 0.4 1.2 1 2.56 4.3  
DUTO1 BH32 67980.0 0.4 1.2 1 2.56 5.58  
DUTO1 BH22 67980.0 0.4 1.2 1 2.56 5.2  
DUTO1 BV32 67980.0 0.4 1.2 1 1.27 6.22  
DUTO1 BV22 67980.0 0.4 1.2 1 1.27 2.24  
DUTO1 FLUT 67980.0 0.4 1.2 1.0 0.11 0.89  
DUTO1 MOTOR2 67980.0 0.4 1.2 0.8590057 0.0 5.96  
DUTO1 DUTO2 67980.0 0.4 1.2 0.8267658 0.0 4.35  
DUTO1 MOTOR1 67980.0 0.4 1.2 1.9865595 0.0 0.73  
MOTOR1 BH11 28272.0 1.84 1.2 1 15.75 9.58  
MOTOR1 BV21 28272.0 1.84 1.2 1 14.22 9.37  
MOTOR1 BV11 28272.0 1.84 1.2 1 14.22 4.1  
MOTOR1 BH31 28272.0 1.84 1.2 1 12.49 13.69  
MOTOR1 BH21 28272.0 1.84 1.2 1 12.49 12.5  
MOTOR1 BRVERT 28272.0 1.84 1.2 1 5.62 1.16  
MOTOR1 BRHRZ2 28272.0 1.84 1.2 1 5.01 8.34  
MOTOR1 BRHRZ1 28272.0 1.84 1.2 1 6.62 9.04  
MOTOR1 BV12 28272.0 1.84 1.2 1 7.02 4.08  
MOTOR1 BV42 28272.0 1.84 1.2 1 7.02 20.78  
MOTOR1 BH12 28272.0 1.84 1.2 1 7.02 9.58  
MOTOR1 BH32 28272.0 1.84 1.2 1 7.02 13.69  
MOTOR1 BH22 28272.0 1.84 1.2 1 7.02 12.5  
MOTOR1 BV32 28272.0 1.84 1.2 1 3.49 14.73  
MOTOR1 BV22 28272.0 1.84 1.2 1 3.49 4.11  
MOTOR1 FLUT 28272.0 1.84 1.2 1.0 0.12 0.86  
MOTOR1 MOTOR2 28272.0 1.84 1.2 1 0.0 11.3  
MOTOR1 DUTO2 28272.0 1.84 1.2 0.8590057 0.0 5.96  
MOTOR1 DUTO1 28272.0 1.84 1.2 1.9865595 0.0 0.73  
BOMBA BH11 206171.98 0.0 1.2 1 4.06 2.46  
BOMBA BV31 206171.98 0.0 1.2 1 3.7 2.98  
BOMBA BV21 206171.98 0.0 1.2 1 3.7 0.89  
BOMBA BV11 206171.98 0.0 1.2 1 3.7 2.98  
BOMBA BH31 206171.98 0.0 1.2 1 3.28 1.0  
BOMBA BH21 206171.98 0.0 1.2 1 3.28 0.62  
BOMBA BRVERT 206171.98 0.0 1.2 1 2.38 1.74  
BOMBA BRHRZ2 206171.98 0.0 1.2 1 2.23 1.59  
BOMBA BRHRZ1 206171.98 0.0 1.2 1 2.39 0.67  
BOMBA BV12 206171.98 0.0 1.2 1 1.97 2.98  
BOMBA BV42 206171.98 0.0 1.2 1 1.97 2.98  
BOMBA BH12 206171.98 0.0 1.2 1 1.97 2.46  
BOMBA BH32 206171.98 0.0 1.2 1 1.97 1.0  
BOMBA BH22 206171.98 0.0 1.2 1 1.97 0.62  
BOMBA BV32 206171.98 0.0 1.2 1 1.12 1.65  
BOMBA BV22 206171.98 0.0 1.2 1 1.12 1.6  
BOMBA FLUT 206171.98 0.0 1.0 1 0.17 0.84  
BOMBA MOTOR2 206171.98 0.0 1.0 1 0.26 2.22  
BOMBA DUTO2 206171.98 0.0 1.0 1 0.19 1.93  
BOMBA DUTO1 206171.98 0.0 1.0 1 0.19 1.99  
BOMBA MOTOR1 206171.98 0.0 1.0 1 0.26 2.31  
BV33 MOTOR2 44710.73 29.71 2.0 0.9459689 4.65 3.4  
BV33 DUTO2 44710.73 29.71 2.0 0.70568895 1.69 1.96  
BV23 MOTOR1 44710.73 29.71 2.0 0.963401 4.65 3.97  
BH13 BH13 81999.99 48.78 2.0 1.0 0.0 0.0  
BV43 BV33 42804.0 25.46 2.0 1 6.99 12.3  
BV13 BV23 42804.0 25.46 2.0 1 6.99 12.8  
BH23 BOMBA 81999.99 48.78 2.0 1.0 1.66 0.62

BH23 BL21 81999.99 48.78 2.0 1 3.41 9.21  
BH23 BL31 81999.99 48.78 2.0 1 3.41 9.62  
BH23 BL22 81999.99 48.78 2.0 1 3.41 9.7  
BH23 BL32 81999.99 48.78 2.0 1 3.41 10.09  
BH23 BH33 81999.99 48.78 2.0 0.9290279 0.0 3.22  
BH33 BL21 81999.99 48.78 2.0 1 3.41 9.47  
BH33 BL31 81999.99 48.78 2.0 1 3.41 9.87  
BH33 BL22 81999.99 48.78 2.0 1 3.41 9.21  
BH33 BL32 81999.99 48.78 2.0 1 3.41 9.62  
BH33 BH23 81999.99 48.78 2.0 0.9290279 0.0 3.22  
BH14 BV24 81999.99 48.78 2.0 1 0.0 13.14  
BH34 BH24 81999.99 48.78 2.0 0.9290279 0.0 3.22  
BV34 MOTOR4 42804.0 25.46 2.0 0.9778278 4.4 3.98  
BV34 DUTO4 42804.0 25.46 2.0 0.7493026 0.74 1.45  
BV24 BH14 42804.0 25.46 2.0 1 0.0 13.14  
BV24 BH24 42804.0 25.46 2.0 1 0.0 12.74  
BH24 BH34 81999.99 48.78 2.0 0.9290279 0.0 3.22  
BH24 BV24 81999.99 48.78 2.0 1 0.0 12.74  
BV14 MOTOR3 42804.0 25.46 2.0 0.9778278 4.4 3.98  
BV14 DUTO3 42804.0 25.46 2.0 0.7493026 0.74 1.45

## LISTAGEM 6.

### **RESULTADOS DO CALCULO - EXEMPLO PARA DOLPHIN COMPLETO.**

alfa= 0.0	CDT= 1.335213 SUPER= 1.779078 DNV= 1.520967
alfa= 180.0	CDT= 1.219116 SUPER= 1.601414 DNV= 1.414647
alfa= 90.0	CDT= 1.133358 SUPER= 1.594208 DNV= 1.123036
alfa= 270.0	CDT= 1.095446 SUPER= 1.382320 DNV= 0.992953
alfa= UP	CDT= 1.426494 SUPER= 2.068380 DNV= 1.471140
alfa= DOW	CDT= 2.089173 SUPER= 3.227133 DNV= 2.190839