



# RELATÓRIOS CIENTÍFICOS E TÉCNICOS

SÉRIE DIGITAL

**SIMULAÇÃO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL  
EM ARRASTÕES COSTEIROS**

Joaquim Parente

2009

50



Os **RELATÓRIOS CIENTÍFICOS E TÉCNICOS DO IPIMAR** destinam-se a uma divulgação rápida de resultados preliminares de carácter científico e técnico, resultantes de actividades de investigação e de desenvolvimento e inovação tecnológica. Esta publicação é aberta à comunidade científica e aos utentes do sector, podendo os trabalhos serem escritos em português, em francês ou em inglês.

A **SÉRIE COOPERAÇÃO** destina-se, primordialmente, à divulgação de trabalhos realizados com países terceiros no âmbito de programas de cooperação.

A **SÉRIE DIGITAL** destina-se a promover uma Consulta mais diversificada e expedita dos trabalhos na área da investigação das pescas e do mar.

#### **Edição**

IPIMAR

Avenida de Brasília

1449-006 LISBOA

Portugal

#### **Corpo Editorial**

Francisco Ruano – Coordenador

Aida Campos

Irineu Batista

Manuela Falcão

Maria José Brogueira

Maria Manuel Martins

Rogélia Martins

#### **Edição Digital**

Anabela Farinha / Irineu Batista / Luís Catalan

As instruções para os autores estão disponíveis no sítio web do IPIMAR <http://ipimar-iniap.ipimar.pt/> ou podem ser solicitadas aos membros do Corpo Editorial desta publicação

#### **Capa**

Luís Catalan

#### **ISSN**

1645-863x

Todos os direitos reservados

# SIMULAÇÃO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL EM ARRASTÕES COSTEIROS

**Joaquim Parente**

Unidade de Recursos Marinhos e Sustentabilidade – IPIMAR

Av. Brasília 1449-006 LISBOA

Email: [jparente@ipimar.pt](mailto:jparente@ipimar.pt)

Recebido em 2009.07.25 ; Aceite em 2009.12.16

## RESUMO:

No sector da pesca os navios arrastões são os maiores consumidores de energia, sendo, por isso, os mais afectados pela volatilidade do preço do barril de crude nos mercados. A utilização de simuladores numéricos, que possam informar o mestre sobre o consumo de combustível esperado face a dado cenário operacional, pode proporcionar ganhos energéticos importantes. Foi concebido um modelo estimador do consumo total de combustível e do consumo total por hora de arrasto no final de uma viagem de pesca, para arrastões costeiros com parâmetros adimensionais situados dentro de limites definidos. O modelo permite determinar ainda uma série de parâmetros adicionais que quantificam o desempenho do motor em cada fase operacional da viagem de pesca (consumo total, consumo horário e potência debitada), a duração de cada fase operacional e a adequação do motor face às diferentes condições de carga que surgem no decurso da viagem de pesca. É fornecida informação sobre o consumo específico (por milha navegada e por m<sup>2</sup> de área da boca da rede) em função da velocidade através de um gráfico demonstrativo, bem como a quantificação dos gases da combustão emitidos para a atmosfera.

**Palavras chave:** Pesca, energia, consumo de combustível.

## ABSTRACT:

**Title:** Simulation of fuel consumption in coastal trawlers.

Fishing trawlers are the most energy consuming vessels in the fishing industry being the most affected by the high volatility of the crude barrel price in the markets. The use of numerical simulators can provide important energetic savings since the ship captain will be able to anticipate the fuel consumption for each operating scenery. A mathematical model was developed to estimate the total fuel consumption and the fuel consumption per hour of trawling in the end of the fishing trip, for coastal trawlers with non-dimensional parameters situated between well defined limits. The model also determines additional parameters that quantify the engine performance for each operating phase of the fishing trip (total fuel consumption, hourly consumption and output engine power), the duration of each operating phase and the fitting of the engine to the different load conditions in the course of the fishing trip. Information is also provided on the variation of specific fuel consumption (per navigated mile and per m<sup>2</sup> of the net mouth area) with vessel speed and quantification of the different components of the exhaust gases expelled to the atmosphere.

**Keywords:** Fishing, energy, fuel consumption.

---

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA. Simulação do consumo de combustível em arrastões costeiros. *Relat. Cient. Téc. IPIMAR, Série digital* (<http://ipimar-iniap.ipimar.pt>) n° 50, 26pp.

## 1. INTRODUÇÃO

A energia é um factor de produção cada vez mais caro e menos abundante. As estimativas apontam para um decréscimo progressivo das descobertas de novas reservas de crude em oposição à procura crescente desta matéria-prima (Fig.1).

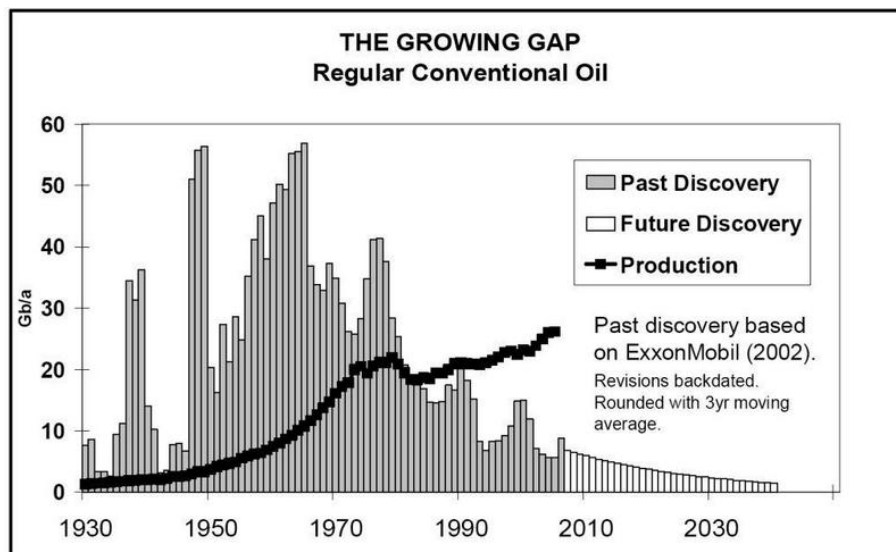


Figura 1 - Evolução das descobertas de reservas petrolíferas. Fonte: ASPO Ireland Newsletter N° 79, Julho 2007.

A grande volatilidade do preço do barril de crude nos mercados, cuja lei da oferta e da procura é bastante sensível à especulação, concorre para os problemas crescentes dos sectores industriais mais dependentes da energia.

No sector da pesca, em particular, os navios arrastões são os mais afectados uma vez que são grandes consumidores de energia. Por exemplo, um arrastão costeiro consome diariamente cerca de 3000 litros de combustível numa viagem de apenas 30 horas.

O aumento recente do preço dos combustíveis tem acrescentado drasticamente a rubrica dos combustíveis na conta de exploração dos arrastões, sendo urgente desenvolver esforços para atenuar os desequilíbrios daí resultantes. Em virtude do aumento de 40 cêntimos no preço por litro de gásóleo subsidiado, verificado entre Fev. 2007 e Jul. 2008, a factura energética deste tipo de arrastões terá sofrido um aumento de 1200 € numa única viagem de curta duração.

Existem várias áreas de intervenção que podem proporcionar ganhos energéticos importantes. Essas áreas abrangem três sectores distintos envolvendo o navio e os seus equipamentos, a arte de pesca e a gestão operacional da embarcação. Considera-se gestão operacional o controlo de vários itens operacionais como sejam a velocidade de arrasto e de navegação livre, a distância aos pesqueiros, o número de dias da viagem de pesca, o número médio de operações de arrasto por viagem, e a profundidade de pesca, entre outros.

De entre as acções que poderão ser tomadas, no sentido de reduzir a factura energética de um arrastão, poderão enumerar-se as seguintes ([Energy Federation of New Zealand, 2004](#)):

1. Redução da tracção do aparelho de arrasto;
2. Redução da velocidade;
3. Eliminação de pesos inúteis a bordo;
4. Racionalização da utilização de energia a bordo;
5. Manter o casco e o hélice limpos;
6. Utilização de apêndices no casco de forma criteriosa;
7. Manutenção adequada do motor;
8. Melhoria do rendimento do motor através de um melhor aproveitamento das perdas térmicas;
9. Escolha dos aparelhos eléctricos e hidráulicos em função do seu consumo energético;
10. Redimensionamento dos motores para uma potência inferior caso o novo balanço energético, resultante das acções redutoras do consumo, e a economia esperada o justifiquem;
11. Escolha criteriosa dos pesqueiros;
12. Utilização de novas tecnologias no projecto e construção dos aparelhos de arrasto;
13. Utilização de medidores do caudal de combustível (caudalímetros) que possam fornecer informação ao mestre da embarcação sobre o consumo de combustível a qualquer instante da viagem;
14. Utilização de simuladores numéricos que possam informar o mestre sobre o consumo de combustível esperado face a um dado cenário operacional ou à alteração de diferentes parâmetros desse mesmo cenário.

As diferentes medidas enunciadas, algumas mais complexas que outras na sua aplicação, têm um efeito cumulativo na poupança energética e requerem um empenho conjunto tanto da parte do armador como do mestre e da tripulação. Esse empenho pode advir de uma maior consciencialização por parte da tripulação relativamente aos benefícios ambientais resultantes da poupança energética, podendo também resultar de um acordo armador/tripulação no sentido de repercutir a poupança de energia em futuros dividendos a distribuir por todos os intervenientes na pesca.

Foi concebido um modelo estimador do consumo total de combustível e do consumo por hora de arrasto no final de uma viagem de pesca, para arrastões costeiros com parâmetros adimensionais ( $C_p$ ,  $L/B$ ,  $B/T$  e  $F_n$ ) situados dentro de limites definidos. Os dados de entrada, solicitados no programa, serão tratados em 6 folhas de cálculo distintas. Esses dados permitem caracterizar a viagem de pesca e definir uma série de elementos do navio e da arte de pesca, como sejam o motor principal e gerador, circuito hidráulico, componentes do sistema propulsor, velocidade de enrolamento do guincho de arrasto e valor da tração exercida pelo aparelho de arrasto (este último dado não é imprescindível para a simulação).

O modelo foi desenvolvido em MS-Excel e permite determinar ainda uma série de parâmetros adicionais que quantificam o desempenho do motor em cada fase operacional da viagem de pesca (consumo total, consumo horário e potência debitada), a duração de cada fase operacional e a adequação do motor face às diferentes condições de carga que surgem no decurso da viagem de pesca.

Caso o utilizador disponha de valores relativos ao consumo horário e à área da boca da rede para diferentes velocidade de arrasto, é proporcionado um gráfico demonstrativo do consumo específico (por milha navegada e por  $m^2$  de área da boca da rede) em função da velocidade. A quantificação dos gases da combustão emitidos para a atmosfera é também apresentada no quadro final de resultados.

O diagrama da figura 2 exemplifica de forma resumida as fases de execução do programa.

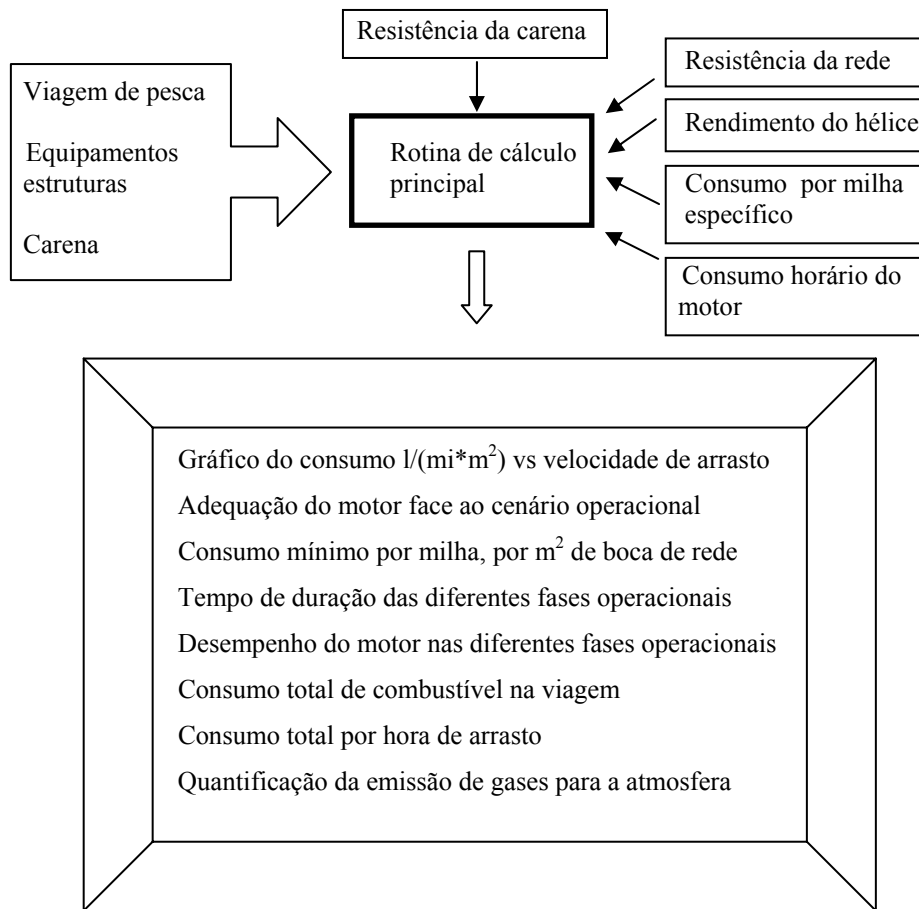


Figura 2 - Fases de execução do programa

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Dados de entrada

O cálculo do consumo total de combustível na viagem pressupõe o conhecimento de uma série de dados relativos à operacionalidade do navio e às suas características. Estes dados poderão ser alterados sempre que se queira, possibilitando um melhor conhecimento sobre os factores que mais influenciam o consumo total de combustível numa viagem de pesca. O controlo destes parâmetros permitirá uma escolha mais criteriosa do cenário operacional, potenciando assim a poupança.

#### Viagem de pesca

De entre os parâmetros que caracterizam a viagem de pesca constam a localização do pesqueiro (distância e profundidade de pesca), a velocidade do navio nas diferentes fases operacionais da viagem (navegação livre, largada da rede, arrasto e alagem da rede) e a duração de tempo média das operações que integram um ciclo completo de arrasto.

### Motor principal

Relativamente ao motor principal, é solicitada a sua cilindrada, o número de cilindros e o débito de combustível à potência máxima a fim de calcular a potência média efectiva do motor e o débito horário de combustível em cada uma das situações típicas de carga do motor (navegação, largada da rede, arrasto e alagem da rede).

A injeção electrónica induz um menor consumo uma vez que o controlo da injeção de combustível na mistura ar/combustível é feito através de um módulo de comando electrónico. Assim sendo, o modo como se processa a injeção é contabilizado no processo de cálculo do consumo específico indicado do motor.

As rotações do veio podem estar limitadas a um número constante para satisfazer ao funcionamento de alguns equipamentos auxiliares que a ele estão directamente ligados e que requerem uma rotação constante. Neste caso não será necessário discriminar o diferente nível de rotações verificadas no veio para cada situação operacional, bastando introduzir no programa o regime de rotação imposto ao veio.

No quadro de entrada de dados é requerida ainda informação sobre a potência do gerador de 380/400V que será utilizada para estimar a potência eléctrica debitada por este gerador em cada fase operacional.

### Equipamentos e estruturas

Algumas estruturas e equipamentos interferem directamente com o consumo de combustível e por isso requerem especificação. Assim sendo, neste quadro de entrada de dados é solicitada informação sobre a existência, ou não, de uma série de equipamentos e estruturas como sejam a tubeira no hélice, regulador automático da tensão nos cabos reais, tipo de bomba utilizada na alimentação do circuito hidráulico e chumaceiras de apoio do veio.

A resistência total do aparelho de arrasto deverá ser especificada caso o navio disponha de equipamento de medição que permita a obtenção dessa informação. Caso contrário assume-se que a tracção do aparelho será uma função da potência instalada, deduzindo-se, para além das perdas no hélice, 4% para as perdas de potência na caixa redutora, 15% para os equipamentos com tomadas de potência ao veio e 20% para a contabilização da perda de potência que o motor regista quando se passa do banco de ensaios para o trabalho no mar.



A velocidade de enrolamento à espira média dos guinchos de arrasto é também solicitada no quadro de introdução de dados, uma vez que irá contribuir para definir a velocidade da rede durante a alagem e o valor da tracção da rede nessa fase operacional.

### Características da carena

As características da carena irão determinar a magnitude da resistência ao avanço da carena e, por consequência, o consumo de combustível registado em navegação.

O comprimento fora a fora, boca, imersão, volume de carena e a forma da carena (formas em U, V ou normal) são os elementos solicitados relativamente às características da carena, para além de informação relativamente à docagem e limpeza do casco e à existência de bolbo de proa.

## **2.2 Rotina principal de cálculo**

A rotina principal de cálculo tem por objectivo o cálculo do consumo de combustível nas quatro fases operacionais de um arrastão: navegação, largada da rede, arrasto e alagem da rede. A fase de navegação compreende o trajecto efectuado do porto para o pesqueiro e ainda o percurso eventualmente efectuado entre pesqueiros.

O consumo total estimado para a viagem de pesca corresponderá ao somatório dos consumos estimados nas diferentes fases operacionais.

O cálculo tem início com a determinação da duração das diferentes fases.

### **2.2.1 Duração das fases de uma viagem de pesca**

A duração de um ciclo de pesca consiste no somatório do tempo médio de uma operação de arrasto com os tempos médios das operações de largada e de alagem da rede.

O tempo total gasto a navegar, por viagem, é dado por:

$$T_n = [(2 * D_p) / V_n] + T_{(prosp)}$$

O tempo total gasto, por viagem, com as operações (i) que integram o ciclo de pesca é dado a por:

$$d_{(i)} = T_{pe} * T_{(i)} / T_{(ciclo)}$$

Sabendo-se que:

$$T_{pe} = \sum (\text{tempos de largada}) + \sum (\text{tempos de arrasto}) + \sum (\text{tempos de alagem})$$

### 2.2.2 Resistência da carena

A resistência da carena é calculada pelo método de [Holtrop and Mennen \(1982\)](#) que considera diversos parâmetros na previsão da resistência ao avanço e da potência propulsiva de embarcações de média dimensão, nomeadamente as dimensões principais, o caimento, os coeficientes de secção mestra e de flutuação, alguns parâmetros relativamente à forma da popa, a coordenada longitudinal do centro de carena (LCB), a velocidade de serviço, e a eventual presença de bolbo de proa, entre outros.

A resistência total é subdividida nos seguintes itens:

$$R_T = R_F(1+k_1) + R_W + R_{APP} + R_B + R_{TR} + R_{AR} + R_A$$

No modelo de Holtrop and Mennem os coeficientes foram obtidos através de uma análise de regressão realizados com dados de testes em tanque de ensaios com 334 modelos de carenas. Este modelo é aplicável a monocascos cujas características se situam dentro da seguinte gama de parâmetros adimensionais:

$$0.55 \leq CP \leq 0.85;$$

$$3.90 \leq L/B \leq 14.90;$$

$$2.10 \leq B/T \leq 4.00;$$

$$0.05 \leq Fn \leq 1.00.$$

### 2.2.3 Resistência da rede nas diferentes fases operacionais

A resistência da rede, aqui designada, consiste na resistência de todos os componentes do aparelho de arrasto, nomeadamente: Cabos reais, portas de arrasto, malhetas e tirantes e a rede propriamente equipada com arraçal e flutuadores.

A resistência da rede, na fase operacional do arrasto, pode ser estimada através da expressão:

$$R_{arr} = [MCO * \eta_{D(arr)} * \eta_{cx} * (1 - p_{eq}) * 1000] / [(1+ms) * V_{arr}]$$

Caso o navio disponha de sensores para medição da tracção da rede (medida em toneladas), será esse o valor a considerar, procedendo-se apenas à conversão de unidades (de ton para Nw).

A resistência da rede nas fases de largada e alagem terá em conta a lei da proporcionalidade entre a resistência da rede (R) e o quadrado da velocidade (V):

$$R = K * V^2$$

A resistência da rede durante a largada ( $R_l$ ) é directamente proporcional à resistência da rede em arrasto, na proporção do quadrado da razão entre as velocidades correspondentes:

$$R_l = R_{arr} * (V_l/V_{arr})^2$$

$V_l$ : Velocidade de largada (m/s).

O mesmo se passará com a resistência durante a fase de alagem ( $R_{al}$ ):

$$R_{al} = R_{arr} * (V_{al}/V_{arr})^2$$

$V_{al}$ : Velocidade de alagem (m/s).

## 2.2.4 Rendimento propulsivo do hélice

O rendimento propulsivo do hélice ( $\eta_p$ ) é o produto de vários rendimentos que consubstanciam todas as perdas de potência, desde a saída do freio do motor até ao hélice.

$$\eta_p = \eta_h * \eta_0 * \eta_R * \eta_n * \eta_{cx}$$

$\eta_h$ ,  $\eta_0$  e  $\eta_R$  contabilizam perdas hidrodinâmicas, cujo produto resulta no rendimento quasi-propulsivo ( $\eta_D$ ) enquanto  $\eta_n$  e  $\eta_{cx}$  contabilizam perdas de origem mecânica (respectivamente na linha de veios e na caixa redutora) (Fig. 3).

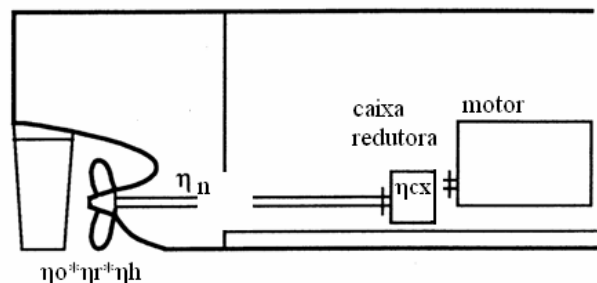


Figura 3 – Parcelas do rendimento propulsivo

Na fase operacional de navegação livre, a potência útil do motor necessária para vencer a resistência da carena é dada pela seguinte expressão:

$$(R_{carena} * V_n) / [\eta_n * \eta_{cx} * \eta_{D(n)}]$$

Na condição de arrasto, a potência do navio deverá ser suficiente para ultrapassar, a uma dada velocidade de arrasto, a soma da resistência da carena com a do aparelho de arrasto (Santarelli e Basañez, 1980).

$$[(R_{carena} + R_{rede}) * V_{arr}] / [\eta_n * \eta_{cx} * \eta_{D(arr)}]$$

O rendimento propulsivo do hélice pode ser calculado, em primeira aproximação, sem necessidade de recorrer a cálculos mais detalhados que dependem do conhecimento de parâmetros característicos de projecto do hélice. Implica apenas um conhecimento do hélice quanto à eventual existência de uma tubeira.

#### Hélice em tubeira

$$\eta_D = 0,5 \quad V \geq 8,5$$

$$\eta_D = a * V^n + b * V$$

#### Hélice sem tubeira

$$\eta_D = 0,55 \quad V \geq 10$$

$$\eta_D = a * V^n + b * V$$

Os valores de **n**, **a** e **b** variam consoante se trate de um hélice com ou sem tubeira.

### **2.2.5 Potência propulsiva requerida pelo navio**

O trabalho ( $W_{p(i)}$ ) necessário para a propulsão do navio depende da resistência total ao avanço do navio. Em navegação livre (fases de navegação do porto para o pesqueiro (e vice-versa) e navegação entre pesqueiros) a resistência total tem como componente apenas a resistência da carena à velocidade operacional da fase em questão. Nas restantes fases haverá que adicionar a componente de resistência oferecida pela rede ( $R_{rede}$ ).

Assim sendo, o trabalho propulsivo para qualquer fase operacional, será dado pela seguinte expressão:

$$W_{p(i)} = [(R_{(i) \text{ carena}} + R_{rede}) * V_{(i)}] * d_{(i)} * 1852 / [\eta_n * \eta_{cx} * \eta_{D(i)} * 3600 * 1000];$$

$R_{carena}$  será contabilizada em todas as fases enquanto  $R_{rede}$  será contabilizada apenas nas fase de largada, arrasto e alagem.

Dividindo o trabalho propulsivo de uma determinada fase pela sua duração obtém-se a potência total necessária para propulsionar o navio nessa condição operacional.

$$P_{p(i)} = W_{p(i)} / d_{(i)}$$

### **2.2.6 Potência eléctrica/hidráulica útil total**

#### **2.2.6.1 Componente eléctrica**

Os navios de pesca dispõem de inúmeros equipamentos, eléctricos e electrónicos, que requerem instalações eléctricas de qualidade necessária e suficiente para merecerem a aprovação aquando das vistorias obrigatórias das autoridades marítimas. Normalmente existem três voltagens a bordo para satisfazer as necessidades de carga eléctrica requeridas pelos diferentes sistemas e equipamentos existentes a bordo. A tensão de serviço de 380 V

(corrente alterna trifásica) servindo equipamentos de alta potência, a tensão de 220V (corrente bifásica) para controlo do quadro eléctrico principal e equipamentos de baixa potência, a tensão de 220V (monofásica) para iluminação geral e, finalmente, de 24 V (corrente contínua) para a iluminação de emergência, instrumentação e arranque do alternador de emergência.

As potências de serviço de 24 V ( $P_{24}$ ), 220 V ( $P_{220}$ ) e 380 V ( $P_{380}$ ) são estimadas a partir de valores e expressões empíricas, características de embarcações de pequena dimensão que, na sua maioria, são função do comprimento do navio (Bertrand, 2006).

### 2.2.6.2 Componente hidráulica

O método de estimação do trabalho devido aos equipamentos hidráulicos (com exclusão dos guinchos de pesca, cujo cálculo será executado separadamente) varia consoante a alimentação do circuito hidráulico seja feita por bomba com accionamento mecânico ou eléctrico. Caso a alimentação seja feita por bomba com accionamento eléctrico, o trabalho afecto aos equipamentos hidráulicos será obtido através de uma majoração das equações, referidas no capítulo anterior, que permitem calcular o trabalho da rede de 380V. Caso contrário o cálculo do trabalho requerido pelos hidráulicos ( $W_{h(i)}$ ), para qualquer fase operacional, é efectuado tendo em conta que os hidráulicos requerem 20% da potência requerida pelo aparelho de pesca, afectado pelo rendimento de transmissão ( $\eta_{tr1}$ ):

$$W_{h(i)} = [(0,2 * P_{pes}) / \eta_{tr1}] \times d_{(i)}$$

$$\eta_{tr1} = 0,6 \times (\eta_{cx} - 0,01)$$

O trabalho eléctrico/hidráulico total, na situação em que o circuito hidráulico é alimentado por bomba eléctrica, resulta no quociente entre o somatório das diferentes potências de serviço pela duração da fase operacional  $i$  ( $d_{(i)}$ ), afectado pelo rendimento de transmissão dos geradores/alternadores ( $\eta_{tr2}$ ) e pelo rendimento eléctrico ( $\eta_{elc}$ ):

$$W_{e/h(i)} = [(P_{24} + P_{220} + P_{380}) / (\eta_{tr2} + \eta_{elc})] \times d_{(i)} ;$$

Sendo:

$$\eta_{tr2} = \eta_{cx} - 0,01;$$

Caso o circuito hidráulico seja alimentado por bomba mecânica, então o trabalho eléctrico/hidráulico total será dado pela seguinte expressão:

$$W_{e/h(i)} = [(P_{24} + P_{220} + P_{380}) / (\eta_{tr2} + \eta_{elc})] \times d_{(i)} + W_{h(i)} ;$$

A potência eléctrica/hidráulica requerida ( $P_{e/h(i)}$ ), para cada fase operacional (i), obtém-se através da seguinte expressão:

$$P_{e/h(i)} = W_{e/h(i)} / d_{(i)}$$

### 2.2.7 Potência dos guinchos de pesca

O trabalho requerido pelo guincho de pesca nas fases de largada, alagem, e também na fase de arrasto (apenas caso o navio disponha de sistema de regulação automática dos cabos reais) depende do valor do esforço tangencial que é exercido sobre os guinchos em cada uma das referidas fases.

A potência útil requerida durante a alagem é dada pelo valor da tracção do aparelho de arrasto nesta fase, majorada de 20%. Na largada, considera-se que a potência requerida pelos guinchos corresponde a 40% da potência requerida durante a alagem.

A contabilização do trabalho requerido pelos guinchos na fase de arrasto só será executada caso o navio disponha de um sistema de regulação automática dos cabos reais. Nesse caso considera-se que potência requerida pelos guinchos de arrasto corresponde a 30% da média aritmética das potências requeridas na alagem e na largada.

O trabalho requerido em cada fase operacional obtém-se multiplicando as potências calculadas para cada fase (i), afectadas do rendimento de transmissão ( $\eta_{tr1}$ ), pela sua duração correspondente  $d_{(i)}$ .

$$W_{gp(i)} = (P_{gp(i)} / \eta_{tr1}) \times d_{(i)}$$

### 2.2.8 Potência útil total

O trabalho útil total, em cada fase, obtém-se efectuando um somatório dos trabalhos parciais requeridos, nomeadamente:

$$W_{u(i)} = W_{p(i)} + W_{e/h(i)} + W_{gp(i)}$$

A potência útil total na fase (i) obtém-se dividindo o trabalho requerido na fase (i) pela duração  $d_{(i)}$ .

$$P_{u(i)} = W_{u(i)} / d_{(i)}$$

### 2.2.9 Consumo de combustível na fase operacional (i)

Uma vez calculado o valor da potência útil total requerida em cada fase (i), é possível estimar o consumo horário de combustível correspondente.

Para o efeito foi aplicada uma sub-rotina de cálculo (Bertrand, 2006) que pressupõe o prévio conhecimento dos dados relativamente às características e ao funcionamento do motor tais como cilindrada (Cil) e número de cilindros do motor ( $N_{cil}$ ), modo de injeção de combustível no motor, potência máxima do motor ( $P_{m\acute{a}x}$ ), rotações máximas do veio do motor ( $rpm_{m\acute{a}x}$ ), consumo específico à potência máxima ( $Cse_{m\acute{a}x}$ ) e consumo horário de combustível a uma dada potência, sendo o consumo específico à potência máxima obtido por:

$$Cse_{m\acute{a}x} = q_{P_{m\acute{a}x}} \times \eta_c / P_{m\acute{a}x}$$

Os catálogos de motores Caterpillar para motores Diesel semi-rápidos dispõem de informação que permite estimar a potência média efectiva máxima ( $pme_{m\acute{a}x}$ ), o coeficiente de cilindrada unitária ( $K_c$ ) e o consumo horário (l/h):

$$pme_{m\acute{a}x} = K_0 \times P_{m\acute{a}x} / (Cil \times rpm_{m\acute{a}x});$$

$$K_c = 1 + K_1 \times [K_2 - (cilindrada/N_{cil})];$$

$K_0, K_1, K_2 =$  Constantes;

Com base nestas expressões, e em alguns dados disponíveis do motor, é possível estimar o consumo específico indicado de referência à potência máxima ( $Csi_{m\acute{a}x}$ ) e o consumo específico indicado na origem ( $Csi_o$ ), sabendo-se que o consumo específico indicado por defeito ( $Csi_d$ ) varia consoante o tipo de injeção:

$$Csi_d \begin{cases} 173,2 & \text{injecção electrónica} \\ 179 & \text{injecção mecânica (bomba injectora)} \end{cases}$$

O consumo específico indicado de referência, à potência máxima, é dado por uma equação do tipo:

$$Csi_{m\acute{a}x} = f(Cse_{m\acute{a}x}, pme_{m\acute{a}x}, rpm_{m\acute{a}x})$$

$Cse_{m\acute{a}x}$ : Consumo específico à potência máxima (g/kWh);

$$Csi_o \begin{cases} Csi_{m\acute{a}x} - (pme_{m\acute{a}x} \times 0,0085) & \text{Se } q_{P_{m\acute{a}x}} \text{ é conhecido} \\ Csi_d \times K_c & \text{Se } q_{P_{m\acute{a}x}} \text{ é desconhecido} \end{cases}$$

A potência máxima efectiva na fase (i),  $p_{me(i)}$ , a que corresponde um dado regime de rotação do motor ( $rpm(i)$ ), é dada pela seguinte equação (Pereira, ?):

$$p_{me(i)} = K_0 \times P_{(i)} / (Cil \times rpm(i))$$

$K_0$ : Constante;

O consumo horário de combustível na fase (i),  $q(i)$ , será dado por uma equação que é função de parâmetros já conhecidos, nomeadamente:

$$q(i) = g (cil, rpm(i), Csi_d, p_{me(i)})$$

O consumo de combustível na fase operacional (i) obtém-se multiplicando o consumo horário na fase (i) pela duração da fase correspondente:

$$Q(i) = q(i) \times d(i)$$

### 3 Resultados

#### 3.1 Consumo de combustível na viagem

Repetindo a rotina de cálculo, descrita no ponto 2, para todas as diferentes fases que constituem a viagem de pesca (navegação, largada, arrasto, alagem), obtém-se os consumos parciais correspondentes a cada uma dessas fases. O consumo total de combustível estimado para a viagem obtém-se somando esses consumos parciais, nomeadamente:

$$Q_t = Q_n + Q_l + Q_{arr} + Q_{al}$$

#### 3.2 Consumo total por hora de arrasto

No quadro final de resultados é apresentado o consumo total de combustível por hora de arrasto. Este parâmetro mede o desempenho energético da embarcação por unidade de tempo útil de pesca numa viagem e é dado pelo quociente entre o consumo total de combustível e o tempo total de arrasto observados na viagem de pesca.

#### 3.3 Caracterização das fases operacionais

A caracterização das diferentes fases operacionais da viagem de pesca é efectuada através da quantificação numérica e percentual dos seguintes parâmetros:

- I. Consumo total de combustível (litros)
- II. Consumo horário de combustível (l/h)
- III. Tempo de duração (horas)



### 3.4 Consumo mínimo por milha de arrasto

Caso existam dados experimentais relativamente ao consumo horário de combustível e à área da boca da rede (produto da abertura entre asas pela distância do cabo de pana ao arraçal), para uma dada gama de velocidades de arrasto, será possível determinar o valor do consumo mínimo de combustível por milha de arrasto e por m<sup>2</sup> de área de boca da rede e ainda a velocidade de arrasto correspondente.

$$q_{mi} = q/[A \times V_{arr}]$$

O programa permite ainda visualizar um gráfico (Fig. 4) que ilustra a evolução do consumo por milha e por m<sup>2</sup> de área de boca da rede em função da velocidade de arrasto.

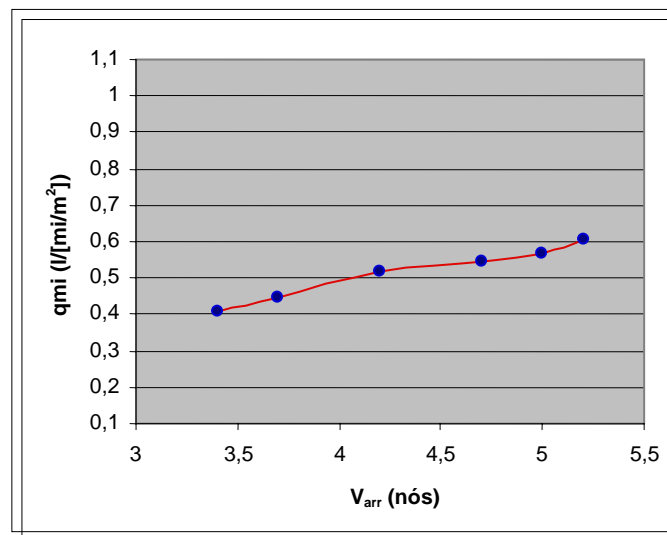


Figura 4 - Evolução do consumo por milha, por m<sup>2</sup> de área de boca da rede, em função da velocidade de arrasto.

A leitura do gráfico permite constatar se a velocidade a que corresponde o menor consumo por milha e por m<sup>2</sup> de área de boca da rede, é a mais vantajosa do ponto de vista energético e de exploração.

O gráfico da figura 4 mostra a evolução do consumo por milha unitário para um arrastão de peixe de 24 metros. Da leitura do gráfico observa-se que a velocidade de 3,4 nós é aquela que proporciona o menor consumo de 0,4 l/(mi x m<sup>2</sup>). Essa velocidade não é, no entanto, a mais vantajosa em termos económicos uma vez que algumas espécies-alvo escapariam a essa velocidade.

No intervalo de velocidades entre 4,2 e 4,7 nós o consumo específico mantém-se aproximadamente constante e corresponde ao valor mínimo que não compromete a velocidade comercial adequada à captura de espécies como o carapau, que é uma das espécies-alvo na

pesca de arrasto dirigida a espécies demersais. Esta análise deverá ser feita, portanto, caso a caso e em função do modo de exploração da embarcação e das suas características funcionais.

### 3.5 Emissão de gases para a atmosfera

A pesca interage duplamente com o clima: por um lado, contribui para as alterações climáticas através da combustão e, conseqüentemente, da emissão de gases com efeito de estufa; por outro, é afectada pelas alterações climáticas, que alteram os ecossistemas marinhos. O modelo de simulação desenvolvido, ao proporcionar uma discriminação dos gases emitidos para a atmosfera em função do consumo total de combustível, contribui para sensibilizar os agentes do sector sobre a repercussão da poupança energética na redução dos gases com efeito de estufa, contribuindo para a acção global definida pela União Europeia para limitar as emissões destes gases.

Os factores de emissão dos gases componentes da queima do combustível em navios (kg de emissão por tonelada de combustível queimado) variam consoante se esteja na presença de um motor a vapor, Diesel rápido, Diesel semi-rápido ou Diesel lento (Kesgin e Vardar, 2000). O programa de simulação considera, para a quantificação dos gases de emissão numa viagem de pesca, os seguintes factores de emissão (Tabela 1):

NOx	CO	CO2	Hidrocarbonetos	Partículas de matéria
51	7,4	3200	2,4	1,2

Tabela 1 - Factores de emissão (kg/ ton de combustível) para motores marítimos Diesel semi- rápidos.

### 3.6. Adequação da potência instalada aos requisitos operacionais

O último resultado do programa consiste apenas na verificação da compatibilidade da potência máxima instalada do motor face às condições de carga sobre o motor nas diferentes fases operacionais. Estas condições de carga resultam dos requisitos funcionais e operacionais definidos para a embarcação aquando da entrada dos dados no programa de simulação. Caso a potência máxima instalada satisfaça o conjunto de pré-requisitos estabelecidos no cenário operacional então o programa assinala esse facto. Caso contrário surge a informação “Potência do motor: **INSATISFAZ**”.

### **3.7 Fluxograma**

As figuras seguintes ilustram o fluxograma do simulador do consumo de combustível em arrastões costeiros, nomeadamente no que se refere às suas estruturas principal e final (Figs. 5 e 6, respectivamente).

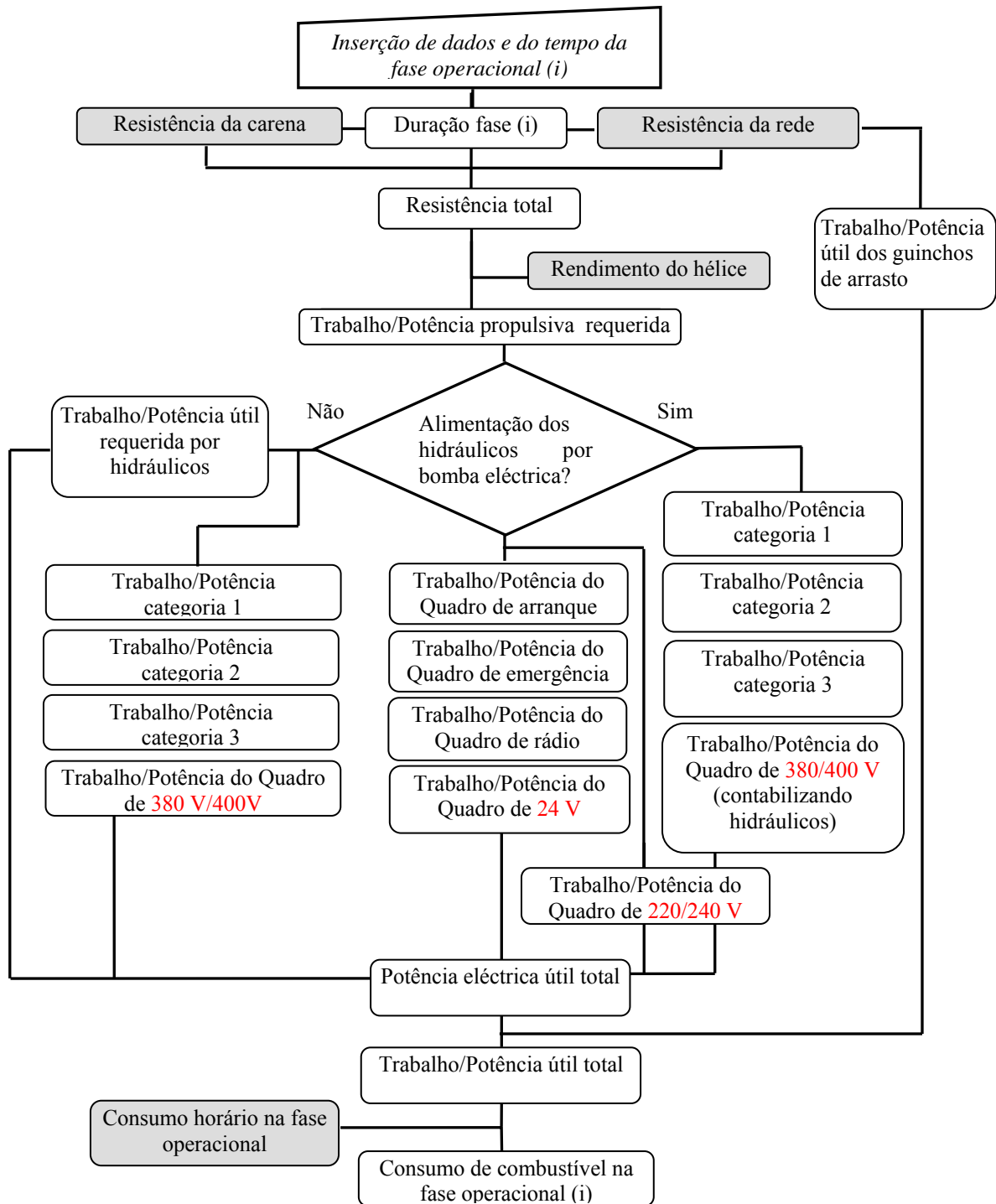


Figura 5 - Estrutura principal do Fluxograma.

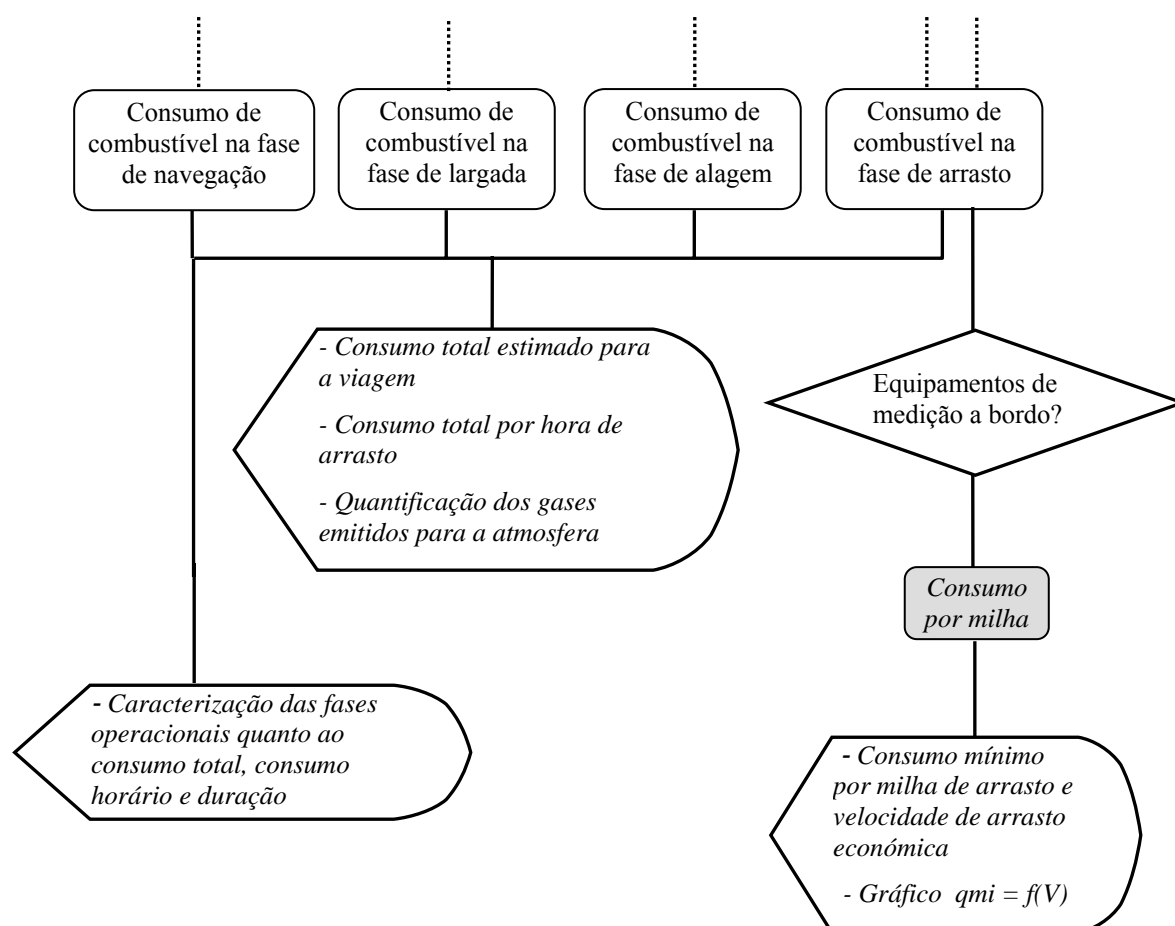


Figura 6 - Estrutura final do Fluxograma.

### 3.8 - Aferição do modelo

A validação do modelo será feita através de uma análise comparativa dos resultados fornecidos pelo modelo com os resultados experimentais, pressupondo que se conhecem as características construtivas e funcionais da embarcação exigidas pelo modelo e o consumo de combustível registado em determinada viagem de pesca.

Os dados do projecto FAR-TE 2408 (Parente *et al.*, 1996) permitiram estabelecer metodologias relevantes para a optimização do consumo de combustível em arrastões costeiros (Parente *et al.*, 2008). Com base nestes dados, foi possível efectuar uma primeira aferição dos resultados fornecidos pelo modelo, cujo grau de fiabilidade será tanto maior quanto mais dados experimentais existirem.

Tomemos o exemplo de 4 arrastões: “Ria de Aveiro”, “Tricana de Aveiro”, “João Macedo” e “Cidade de Tavira”.

Numa primeira situação, considerou-se, no âmbito da sequência de entrada de dados do modelo, a informação obtida relativamente à tracção das redes, uma vez que se dispunha de medidores de tracção a bordo de cada um dos navios. Numa segunda situação assumiu-se um desconhecimento desses valores de tracção, facto esse que está previsto no funcionamento do modelo.

A figura 7 mostra a diferença percentual entre o valor simulado do consumo de combustível e o valor obtido no final da viagem, nas duas situações atrás referidas.

Quando existe informação relativamente à tracção exercida pela rede (1ª situação), verifica-se uma diferença máxima de 8,6% para o caso do navio “João Macedo” e mínima (0,21%) para o navio “Ria de Aveiro”. As diferenças são igualmente razoáveis na situação em que se desconhecem os valores de tracção, verificando-se uma diferença máxima de 12,4% para o “Cidade de Tavira” e 0,53% para o navio “João Macedo”.

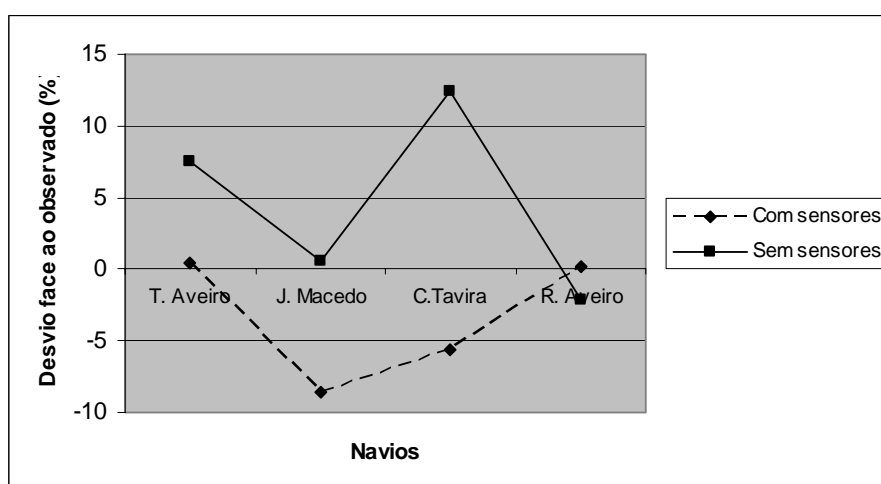


Figura 7 - Diferença percentual entre o valor simulado do consumo de combustível e o valor obtido no final da viagem

#### 4. Conclusões

Numa primeira análise, e pese embora a escassez de dados para uma melhor avaliação do grau de desfasamento entre os dados do modelo e os dados experimentais, pode-se concluir que o modelo é um bom indicador do consumo de combustível que se verifica num arrastão costeiro no final de uma viagem de pesca, desde que exista informação disponível sobre as características do navio e sobre alguns parâmetros operacionais relativos à viagem que se planeia concretizar.

**Referências:**

Bertrand, B., 2006. Consommation d'un chalutier type de 24m. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie.

Energy Federation of New Zealand, 2004. Energy efficient ways to improve the economic bottom line of your fishing business, 21 p.

Holtrop, J., Mennen, G.G.J, "An Approximate Power prediction Method", International Shipbuilding Progress, Vol.29, No. 335, July 1982.

Kesgin, U., Vardar, N., 2000. A study on exhaust gas emissions from ships in Turkish Straits. Atmospheric Environment 35, 1863-1870.

Parente, J., Fonseca, P., Brabant, J., 1996. Fuel Saving in Portuguese Trawlers. Research project financed by the Commission of the European Communities. Final report, 54 pp. + Annexes.

Parente, J., Fonseca, P., Henriques, V., e Campos, A., 2008. Strategies for improving Fuel Efficiency in the Portuguese Trawl Fishery. *Fisheries Research* , Vol. 93, pp. 117 -124.

Pereira, J.C, ?. Princípios de funcionamento, instalação, operação e manutenção de Grupos Diesel Geradores, 122 pp.[[http://www.joseclaudio.eng.br/geradores/motores\\_geradores.html](http://www.joseclaudio.eng.br/geradores/motores_geradores.html)], last accessed 2009/12/15.

Santarelli, M., Basañez, J., 1980. Consideraciones acerca del sistema propulsor de arrastreros en funcion del arte de pesca. II Congresso Ibero-Americano de Engenharia Naval, 61 pp. Lisboa.

ASPO, 2007. The Association for the Study of Peak oil and Gas. Newsletter nº 79 – July 2007 [[http://www.aspo-ireland.org/contentFiles/newsletterPDFs/newsletter79\\_200707.pdf](http://www.aspo-ireland.org/contentFiles/newsletterPDFs/newsletter79_200707.pdf)], last accessed 2009/12/15.

## Anexo I – Nomenclatura

A Área da boca da rede para uma dada velocidade de arrasto

Cil Cilindrada

Cp Coeficiente de finura prismático

Cse<sub>máx</sub> Consumo específico à potência máxima (g/kWh)

Csi<sub>d</sub> Consumo específico indicado por defeito

Csi<sub>máx</sub> Consumo específico indicado de referência à potência máxima

Csi<sub>o</sub> Consumo específico indicado na origem

B Boca (m)

d<sub>(i)</sub> Duração da fase operacional (i) (h)

D<sub>p</sub> Distância do porto ao pesqueiro (mi)

Fn Número de Froude

Kc Coeficiente de cilindrada unitária

L Comprimento entre perpendiculares (m)

MCO Potência máxima contínua do motor (kW)

ms Margem de serviço (25%)

N<sub>cil</sub> Número de cilindros do motor

P<sub>24</sub> Potência da rede 24V

P<sub>220</sub> Potência da rede 220V

P<sub>1380</sub> Potência da rede 380V (valor majorado de modo a incluir a potência eléctrica requerida pelos hidráulicos – caso de circuito alimentado por bomba eléctrica)

P<sub>2380</sub> Potência da rede 380V

P<sub>e/h(i)</sub> Potência eléctrica/hidráulica total requerida na fase operacional (i)

p<sub>ep</sub> Perdas de rendimento para equipamentos com tomadas de potência ao veio (0,15)

P<sub>gp(i)</sub> Potência requerida pelo guincho de pesca na fase operacional (i)

P<sub>(i)</sub> Potência requerida na fase (i)



$P_{\text{máx}}$  Potência máxima do motor (kW)

$p_{\text{me}(i)}$  Potência máxima efectiva na fase (i)

$p_{\text{me}_{\text{máx}}}$  Potência média efectiva máxima

$P_{\text{pes}}$  Potência requerida pelo aparelho de pesca aos hidráulicos (kW)

$P_{\text{p}(i)}$  Potência propulsiva requerida na fase operacional (i) (kW)

$P_{\text{u}(i)}$  Potência útil total na fase (i)

$q$  Consumo horário de combustível a uma dada velocidade de arrasto (l/h)

$Q_{\text{al}}$  Consumo total de combustível na fase de alagem (litros)

$Q_{\text{arr}}$  Consumo total de combustível na fase de arrasto (litros)

$Q(i)$  Consumo de combustível na fase operacional (i)

$q(i)$  Consumo horário de combustível na fase (i)

$Q_l$  Consumo total de combustível na fase de largada (litros)

$q_{\text{mi}}$  Consumo por milha, por  $\text{m}^2$  de área de boca da rede, a uma dada velocidade de arrasto ( $\text{l}/[\text{mi} \times \text{m}^2]$ )

$Q_n$  Consumo total de combustível na fase de navegação (litros)

$q_{\text{Pmáx}}$  Consumo horário de combustível à potência máxima (l/h)

$Q_t$  Consumo total de combustível estimado para a viagem (litros)

$R_A$  Efeito de correlação modelo-navio

$R_{\text{al}}$  Resistência durante a fase de alagem (Nw)

$R_{\text{APP}}$  Resistência dos apêndices de carena (NW)

$R_{\text{AR}}$  Resistência do ar (Nw)

$R_{\text{arr}}$  Resistência da rede à velocidade de arrasto (Nw)

$R_B$  Resistência de pressão adicional devido à presença do bolbo (Nw)

$R_F$  Resistência de atrito (método da 1957 ITTC) (Nw)

$R_{(i)\text{carena}}$  Resistência da carena na fase operacional (i) (Nw)

- $R_l$  Resistência da rede durante a largada (Nw)
- $rpm_{(i)}$  Regime de rotação do motor na fase (i)
- $rpm_{m\acute{a}x}$  Rotações máximas do veio do motor
- $R_{rede}$  Resistência da rede (Nw)
- $R_{TR}$  Resistência de pressão adicional devido à imersão do painel de popa (Nw)
- $R_w$  Resistência de onda (Nw)
- $T$  Imersão (m)
- $T_{(ciclo)}$  Tempo de um ciclo de pesca (h)
- $T_{(i)}$  Tempo médio gasto com a operação (i) do ciclo de arrasto (h)
- $T_n$  Tempo de navegação
- $T_{pe}$  Tempo total dedicado à pesca (h)
- $T_{(prosp)}$  Tempo total gasto a navegar entre pesqueiros (h)
- $V$  Velocidade do navio (nós)
- $V_{al}$  Velocidade de alagem (m/s)
- $V_{arr}$  Velocidade de arrasto (m/s)
- $V_{(i)}$  Velocidade de avanço do navio na fase operacional i (nós)
- $V_l$  Velocidade de largada (m/s)
- $V_n$  Velocidade de navegação (nós)
- $1+k_1$  Factor que contabiliza as formas do casco em RF
- $\eta_c$  densidade do combustível a 15°C (840 g/l )
- $\eta_{cx}$  Rendimento da caixa reductora (0,96)
- $\eta_{D(arr)}$  Rendimento propulsivo do hélice à velocidade de arrasto
- $\eta_{D(i)}$  Rendimento quasi-propulsivo (à velocidade de avanço, na fase operacional (i))
- $\eta_{D(n)}$  Rendimento propulsivo à velocidade de navegação livre
- $\eta_{elc}$  Rendimento eléctrico (0,82)

- $\eta_h$  Rendimento do casco
- $\eta_n$  Rendimento da linha de veios
- $\eta_0$  Rendimento do hélice em águas livres
- $\eta_p$  Rendimento propulsivo do hélice
- $\eta_R$  Rendimento rotativo relativo
- $\eta_{tr1}, \eta_{tr2}$  Rendimentos de transmissão
- $W_{h(i)}$  Trabalho requerido pelos hidráulicos (excluindo a componente dos guinchos de pesca) na fase operacional (i)
- $W_{p(i)}$  Trabalho propulsivo requerido na fase operacional (i) (kWh)
- $W_{e/h(i)}$  Trabalho eléctrico/hidráulico total requerido na fase operacional (i)
- $W_{gp(i)}$  Trabalho requerido pelo guincho de pesca na fase operacional (i)
- $W_{h(i)}$  Trabalho requerido pelos hidráulicos (excluindo os guinchos de pesca) na fase operacional (i)
- $W_{u(i)}$  Trabalho útil total requerido na fase (i)