

RELATÓRIO TÉCNICO

**MODELAGEM DETERMINÍSTICA DE DISPERSÃO DE DERRAMES
DE ÓLEO**

PPER-1 – BACIA DO ESPÍRITO SANTO

Por

Oceansat Ltda

Agosto de 2002

1 – INTRODUÇÃO GERAL

Este relatório preliminar apresenta as premissas teóricas, a abordagem metodológica e informações sobre os dados que serão empregados na execução de modelagem determinística para um ponto ao longo do Complexo Peroá-Cangoá, na Bacia do Espírito Santo (Figura 1).

2 – METODOLOGIA

2.1 – Considerações sobre o modelo de análise de trajetória

As características e o comportamento de derrames de óleo em ambientes marinhos são determinados por nove principais processos físicos, químicos e biológicos, a saber: advecção, espalhamento, evaporação, dissolução, emulsificação, dispersão, biodegradação, auto-oxidação e afundamento. Destes mecanismos atuantes, verifica-se que a advecção, o espalhamento e a evaporação são os processos mais importantes e por este motivo são considerados em modelos matemáticos de estimativa quantitativa de dispersão de óleo no mar. Tal metodologia de abordagem do problema tem se mostrado muito útil e eficiente como uma primeira ferramenta na previsão de impactos ambientais causados por derrames acidentais (Huang, 1983).

Os equacionamentos dos processos, que descrevem a trajetória e a composição da mancha de óleo no mar estão relacionados aos processos físicos, químicos e biológicos decorrentes da interação óleo/água. O principal processo que governa a trajetória do óleo na água é a advecção, que é resultante da circulação oceânica.

Segundo Defant (1960), a circulação oceânica é resultante de forças internas, externas e secundárias. Quanto mais completo o equacionamento destas forças, mais são necessários dados de campo, tempo de desenvolvimento, e computadores de grande capacidade. Sendo assim, coerentes com o escopo de trabalho, adotou-se, em conformidade com a literatura existente, uma abordagem vetorial para a circulação. A influência discriminada das funções de força da circulação oceânica na área de estudo, deve ser objeto de uma versão mais complexa deste modelo.



Figura 1 - Localização da área de interesse e do ponto inicial da simulação (círculo amarelo) Fonte: Petrobras.

2.1.1 – Advecção

O mecanismo de advecção considerado no modelo está baseado na adição vetorial dos componentes de transporte decorrentes da ação de correntes e ventos sobre a mancha de óleo. Desse modo, a cada passo de tempo, o centro de massa da mancha é deslocado em função dos valores de intensidade e direção das correntes e dos ventos considerados naquele intervalo temporal. O equacionamento matemático deste processo é descrito a seguir:

$$x_{k+1} = x_k + [\text{COFC} \cdot C_k \cdot \cos(\psi_k) + \text{COFV} \cdot V_k \cdot \cos(\theta_k + \alpha_k) \cdot \Delta t] \quad (1)$$

$$y_{k+1} = y_k + [\text{COFC} \cdot C_k \cdot \sin(\psi_k) + \text{COFV} \cdot V_k \cdot \sin(\theta_k + \alpha_k) \cdot \Delta t] \quad (2)$$

$$k = 1, 2, 3, \dots, \text{NDD}$$

onde:

x_{k+1} = coordenada ESTE do centro de massa da mancha no sistema de referência do modelo no passo $k+1$ (m)

y_{k+1} = coordenada NORTE do centro de massa da mancha no sistema de referência do modelo no passo $k+1$ (m)

x_k = coordenada ESTE do centro de massa da mancha no sistema de referência do modelo no passo k (m)

y_k = coordenada NORTE do centro de massa da mancha no sistema de referência do modelo no passo k (m)

COFC = coeficiente de ajuste de advecção por ação de correntes

COFV = coeficiente de ajuste de advecção por ação de ventos

C_k = intensidade do vetor velocidade da corrente no passo k (cm/s)

V_k = intensidade do vetor velocidade do vento no passo k (m/s)

ψ_k = ângulo entre a direção do vetor velocidade da corrente no passo k e o eixo ESTE de referência no modelo (rad.)

θ_k = ângulo entre a direção do vetor velocidade do vento no passo k e o eixo ESTE de referência no modelo (rad.)

α_k = deflexão entre a direção do vento e a direção do transporte advectivo da mancha gerado pela ação do vento no passo k (rad.)

Δt = intervalo computacional de simulação (s)

NDD = número de passos de simulação

No modelo o eixo vertical (NORTE) do sistema de coordenadas encontra-se referenciado ao Norte Verdadeiro e o eixo horizontal (ESTE) encontra-se referenciado à direção W-E. Os ângulos, conforme descritos, são referenciados a estes eixos, e no sentido anti-horário. O modelo, portanto, trata previamente os dados de entrada visando compatibilizá-los a estes novos referenciais, e às unidades do Sistema Internacional (SI).

Nesta fase, consideraram-se os valores clássicos 0.56 e 0.03 para os coeficientes COFC e COFV, respectivamente (SCHWARTZBERG, 1971). Neste trabalho, adotou-se uma deflexão α constante e de valor igual a 0.35 rad. (20°).

2.1.2 – Espalhamento

O modelo considera o espalhamento com base na Teoria de FAY (Fay, 1971), assumindo que o espalhamento gradual do óleo se dará pelo efeito combinado da energia potencial da massa de óleo e de sua tensão superficial. Desse modo, o mecanismo de espalhamento evolui ao longo de três estágios distintos, que dependerão da predominância das forças agentes sobre o volume de óleo ao longo do tempo. Nesta abordagem, a mancha é considerada circular, com o espalhamento se dando de forma radial e uniforme.

Na primeira fase do espalhamento, a energia potencial da massa de óleo flutuante é convertida em energia cinética de espalhamento. Numa segunda fase, a influência da inércia diminui, e a energia potencial é dissipada em forças de viscosidades. Na terceira e última fase, a mancha encontra-se tão espalhada que a ação da gravidade

torna-se pouco influente. O espalhamento se dá por efeito das forças da tensão superficial da película de óleo. Assim, o mecanismo de espalhamento sugerido por Fay chega a um limite que é função do volume de óleo derramado.

2.1.3 – Evaporação

O mecanismo de evaporação de óleo em ambientes marinhos é responsável muitas vezes pela redução de grande parte dos volumes das frações mais voláteis do óleo derramado. Desse modo, verifica-se a consideração deste processo na maioria dos modelos matemáticos desenvolvidos no mundo.

De acordo com Huang (1983), existem basicamente duas formas de modelar o processo de evaporação. A primeira delas, a mais simplista e clássica, foi utilizada no modelo SLIKTRAK (Blaikey, 1977) e utiliza observações de campo para quantificar as perdas por evaporação, que são equacionadas como função, principalmente, do estado de agitação do mar considerado nas simulações. A falta de embasamento físico para esta metodologia e o avanço decorrente de pesquisas de laboratório e campo fez surgir várias formulações para a estimativa destas perdas. Tais equacionamentos são aproximadamente semelhantes, seguindo direta e indiretamente as seguintes premissas:

- O derrame é composto de componentes ou grupos de componentes de hidrocarbonetos, cuja mistura possui o óleo derramado;
- A perda por evaporação de um dado componente hidrocarbono será adotada seguindo a característica logarítmica ou cinética de primeira ordem;
- A taxa de evaporação será função: da área da mancha de óleo, da intensidade do vento, da espessura da mancha e da temperatura do óleo.

O modelo empregado utiliza no cálculo da evaporação as expressões apresentadas em Audunson (1980), para cálculo de taxa de evaporação. O modelo de Audunson utiliza como premissa que a taxa de evaporação é função:

- 1- da intensidade do vento;
- 2- da espessura da mancha;
- 3- da área da mancha;
- 4- da temperatura do óleo.

As seguintes expressões e relações são empregadas:

$$\lambda_{1,k} = [(0.0074 + 0.00187 V_k) \cdot P_i \cdot M_i] / (RGAS \cdot TEMP_k \cdot ESP_k \cdot \rho_{o,k})$$

$$\rho_{o,k} = \sum_{i=1}^{NCOMP} \rho_{oi} \cdot FCOMP_{i,k}$$

$$V_k = \sum_{i=1}^{NCOMP} V_{i,k}$$

$$ESP_k = V_k / (\pi \cdot R_k^2)$$

$$V_{i,k+1} = V_{i,k} \cdot e^{1-\lambda_{i,k} \cdot \Delta t}$$

onde,

$\lambda_{1,k}$ = taxa de evaporação do componente i no passo k (1/s)

V_k = volume total do óleo no passo k (m³)

P_i = pressão de vapor do componente i (atm)

M_i = peso molecular do componente i (kg/mol)

RGAS = constante universal dos gases (0,082 atm.m³/mol)

TEMPK = temperatura do óleo

ESP_k = espessura da mancha no passo k (m)

$\rho_{o,k}$ = densidade do componente i (kg/m³)

FCOMP_{i,k} = fração do volume do componente i no passo k (0.0-1.0)

NCOMP = número de componentes formadores do óleo

$V_{i,k+1}$ = volume do componente i no passo k+1 (m^3)

$V_{i,k}$ = volume do componente i no passo anterior k (m^3)

$ESP_k = V_k / (\pi \cdot R_k^2)$

R = raio (m)

O modelo trabalha de forma iterativa, pois as características físicas iniciais no passo k são empregadas para quantificar o volume evaporado, determinando o volume residual de óleo com suas novas características físicas. Estas serão usadas no passo k+1. A cada intervalo de tempo o óleo estará menor volátil e mais denso.

Como critério de parada utilizado o LC50, com 20 ppm (Markarian et al, 1995)

3 – DADOS UTILIZADOS

As condições de corrente e vento foram consideradas nos modos mais críticos na área do bloco BM-ES-2. Com isso foram utilizados dados de direção e intensidade do vento e corrente conforme as Figuras 2 e 3, respectivamente. Os dados de corrente foram extraídos de dados de corrente obtidos junto ao Bando Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO), correspondendo a medidas feitas no período de 1963 a 1997 e junto ao banco de dados da Oceansat, englobando diversos períodos entre 1978 e a presente data.

Além dos dados históricos de vento coletados *in situ*, foram também utilizados dados de vento da base de dados da Oceansat. Essa base de dados consiste de medições feitas por satélites, desde o ano de 1992 até a presente data correspondentes aos satélites ERS-1 e ERS-2. Tais dados apresentam uma alta qualidade, além terem uma boa resolução espacial e temporal.

Os valores de temperatura da superfície do mar utilizados na modelagem serão extraídos a partir de imagens termais processadas pela Oceansat. As imagens de Temperatura da Superfície do Mar foram derivadas do sensor Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) a bordo dos satélites NOAA 12 e 14. Os dados foram adquiridos no modo de alta resolução pela antena Smartstation HRPT (High Resolution Picture Transmission) instalada na sede da Oceansat.

Conforme pode ser observado na Figura 2, foi traçado uma linha de tendência (linha tracejada) das grandezas plotadas (intensidade e direção). Conforme pode ser observado pela linha tracejada rosa, a direção do vento é predominante de Sul (Vindo de Sul) com uma intensidade média de 6 m/s (linha tracejada azul). Porém existem picos que variam de 1 m/s chegando a 13 m/s.

Observando-se a Figura 3, através das linhas de tendência (linha tracejada), a corrente tem uma velocidade de 50 cm/s no início da simulação atingindo uma velocidade de 30 cm/s no final da simulação (linha tracejada azul). A direção da

corrente é predominante de Sul, ou seja, ela está fluindo para Sul. Isto pode ser observado pela linha tracejada rosa.

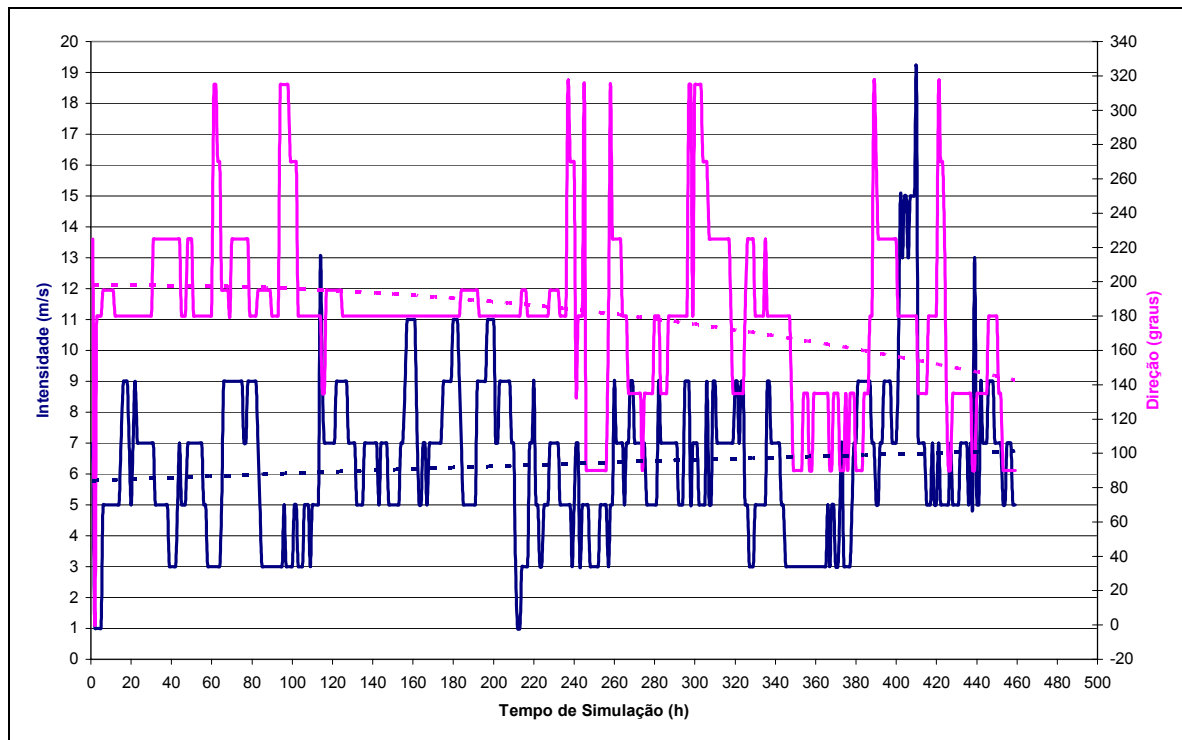


Figura 2 – Gráfico da intensidade (linha sólida azul) e direção (linha sólida rosa) do vento pelo tempo de simulação.

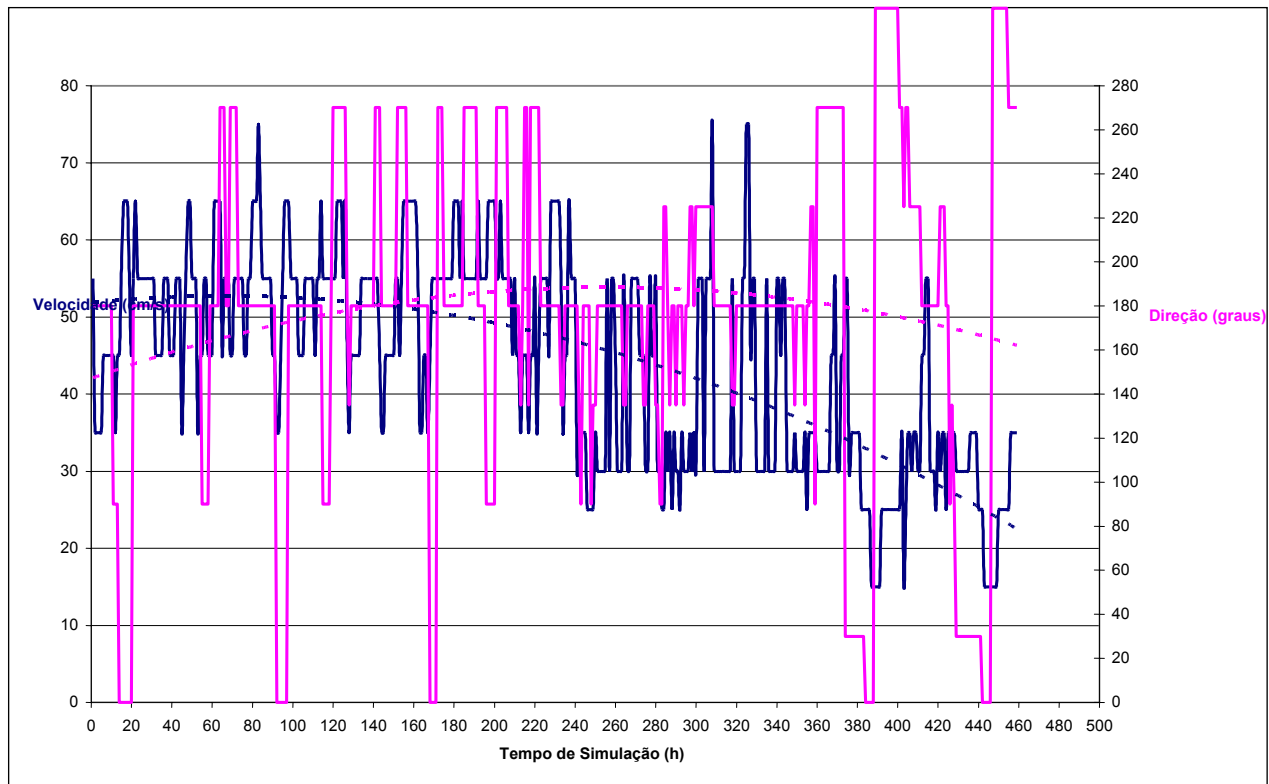


Figura 3 – Gráfico da velocidade (linha sólida azul) e direção (linha sólida rosa) da corrente pelo tempo de simulação.

A Tabela 1 mostra os cenários e parâmetros utilizados.

Tabela 1 – Cenários e parâmetros utilizados.

<p>Tipo de óleo: API 63^o Temperatura da água: 23,5^oC</p>

DETERMINÍSTICA – Cenário crítico

- Descarga de 5100 m³ /30 dias - 7,08 m³ /hora.
 - Condição de vento/corrente: ver Figuras 2 e 3.
- Critério de parada utilizado – LC50, com 20 ppm (Markarian et al, 1995)

4. RESULTADOS

A Figura 4 apresenta o resultado da simulação, A Figura 5 mostra o gráfico referente ao volume evaporado. As condições meteo-oceanográficas utilizadas nesta simulação determinística foram selecionadas visando criar um cenário mais crítico possível. A incidência do vento de E na área de interesse, de forma contínua (mais do que dois dias), representa uma porcentagem de 4% em relação à ocorrência total dos ventos na área, segundo dados processados obtidos junto ao BNDO. A direção predominante na área é a S e SW.

A área também sofre efeito de ressurgência localizada, que, embora não tão freqüente quanto a que ocorre na região do Cabo Frio (RJ), se faz presente. Assim, a abordagem utilizada para a configuração do cenário crítico da modelagem determinística pode ser considerada conservadora, não sendo consideradas as condições dominantes na área, nem os efeitos de processos de ressurgência (não assimilados pelos modelos), que podem criar gradientes térmicos que poderiam retardar ou redirecionar a trajetória do óleo.

A Figura 5 mostra a curva de evaporação. Após 320 horas cerca de 32% foi evaporado. A partir de 500 horas a evaporação atinge de 90%. Basicamente isto pode ser atribuído ao volume empregado (5100 m³) e à natureza do condensado, cuja taxa de evaporação é normalmente alta.

O resultado da simulação mostra que o óleo não chegaria à costa com base nas condições utilizadas.

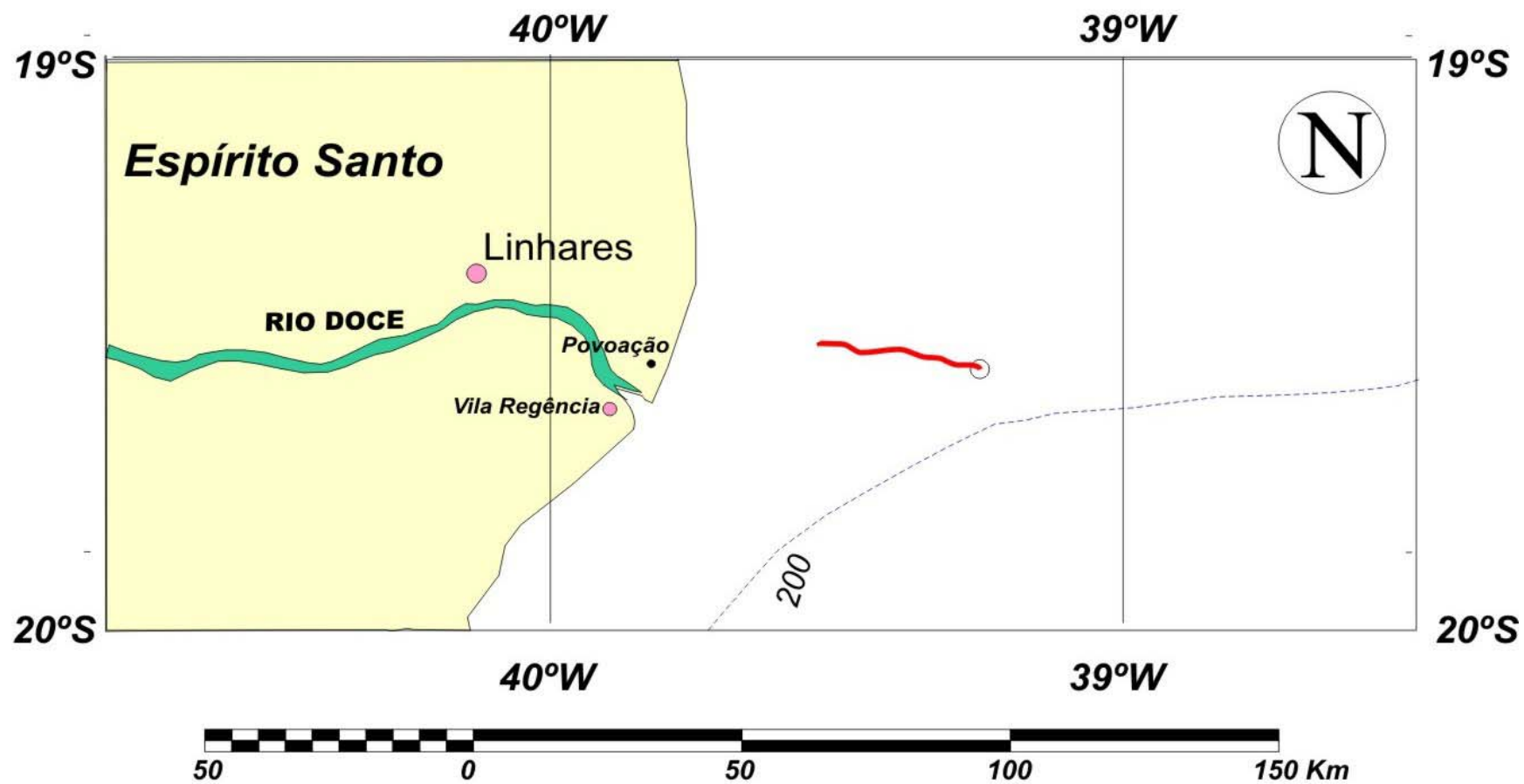


Figura 4 – Resultado da modelagem determinística.

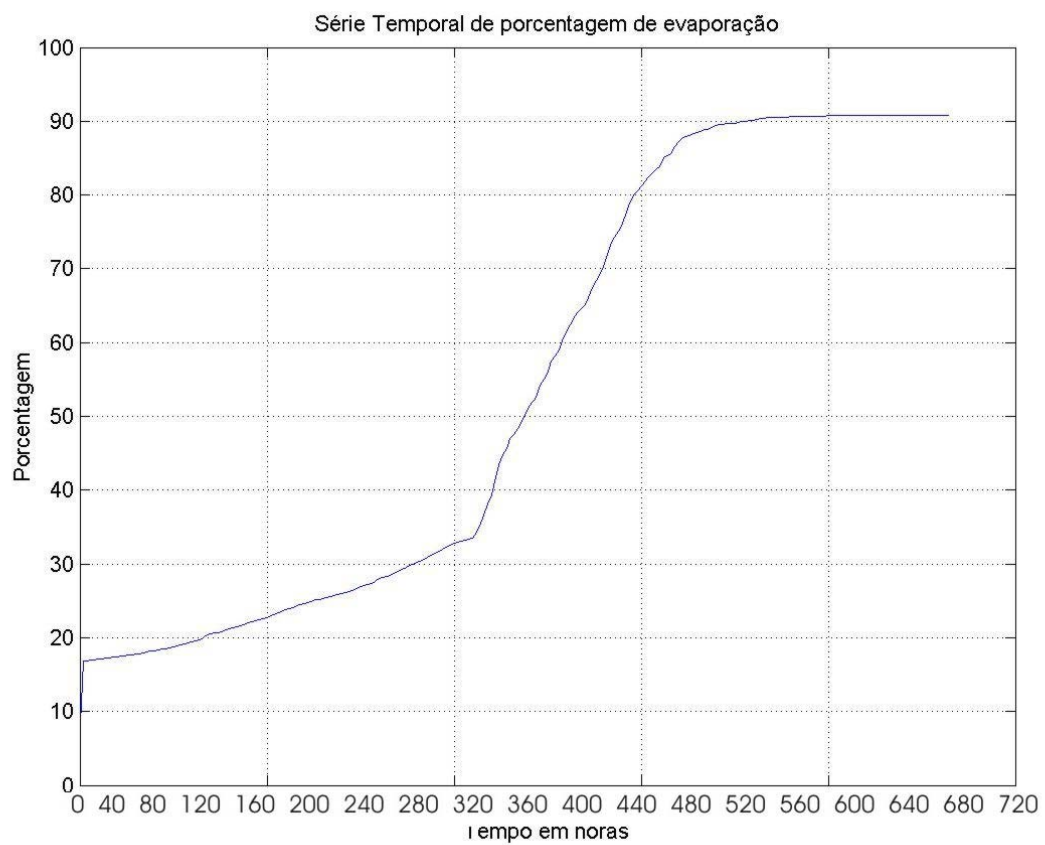


Figura 5 – Curva de evaporação do óleo.

5- REFERÊNCIAS

ADIOS2-NOAA. 1999. Automated Data Inquiry for Oil Spills, User's Manual, Seattle, Washington.

Audunson, T.V. **SLIKFORCAST** A simulation program for oil spill emergency tracking and long term contingency planning. Proc. Petromar'80, Monaco, 1980.

Baptista, M.C. 2000. Uma análise do campo de vento de superfície sobre o oceano Atlântico Tropical e Sul usando dados do escaterômetro do ERS. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 127 p.

Blaikley, D.R. **SLIKTRAK** A computer simulation of offshore oil spill, cleanup, effects and associated costs. Joint Conference on Prevention and Control of Oil Spills. Proc. pp. 45-52. Washington, D.C., 1977.

Defant, A. **Physical Oceanography**. Pergamon Press, 1960, p. 1319.

Fay, J.A. **Physical process in the spread of oil on water surface**. Joint Conference on Prevention and Control of Oil Spills. Proc. pp. 463-467. Washington, D.C., 1971.

Huang, J.C. **A review of the state of the art of oil spill fate/behavior models**. In: Oil Spill Conference Prevention, Behavior, Control, Cleanup. Proc. pp.313-322. San Antonio, TX, 1983.

Schwartzberg, H.G. **The movement of oil spills**. Joint Conference on Prevention and Control of Oil Spills. Proc. pp. 489-494. Washington, D.C., 1971.

Stolzenbach, K.D. **A review and evaluation of basic techniques for predicting the behavior of surface oil slicks**. MIT, Report n. 22, 1977.