

SUGESTÕES SOBRE MEDIÇÕES RELATIVAS AO BALANÇO  
SEDIMENTOLÓGICO DO ESTUÁRIO DE SANTOS

Divisão de Engenharia Ambiental/DERL  
- CDIN/NUCLEBRÁS -

Setembro/1982

(VERSÃO PRELIMINAR)

## ÍNDICE

	PÁGINA
1. INTRODUÇÃO	1.
2. QUANTIFICAÇÃO DO TRANSPORTE DE FUNDO NO TRAMO SUPERIOR DO ESTUÁRIO	4.
2.1 Amostragem para Análise Granulométrica do Material da Superfície do Fundo	4.
2.2 Amostragem para Estudo Reológico	4.
2.3 Estudo da Movimentação de Sedimento de Fundo com a utilização de Traçadores Radioativos	5.
3. MEDIÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO E MEDIÇÕES DE PARÂMETROS HIDRÁULICOS	7.
3.1 Objetivo	7.
3.1.1 Metodologia	7.
4. MEDIÇÃO DE DENSIDADE "IN SITU" DOS MATERIAIS DE FUNDO	10.
5. MEDIÇÃO DA DENSIDADE "IN SITU" DO MATERIAL DRAGADO NO INTERIOR DE DRAGAS OU BATELÕES	11.
6. DETERMINAÇÃO DE VAZÕES SÓLIDAS FLUVIAIS NA ENTRADA DO ESTUÁRIO	12.
7. MODELAGEM MATEMÁTICA DO ESTUÁRIO	13.

12

SUGESTÕES SOBRE MEDIÇÕES RELATIVAS AO BALANÇO  
SEDIMENTOLÓGICO DO ESTUÁRIO DE SANTOS

1. INTRODUÇÃO

Em prosseguimento aos estudos que o Instituto de Pesquisas Hidroviárias (INPH) da Empresa de Portos do Brasil (PORTOBRÁS) está realizando no estuário de Santos, são apresentadas estas sugestões, elaboradas pela Divisão de Engenharia Ambiental (DIEAM.PD) do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear.

O presente documento teve origem nas análises realizadas pelo consultor do INPH, Dr. Donald McDowell, da Universidade de Manchester, sobre os trabalhos executados pela Sondotécnica S.A. no estuário de Santos e em sugestões oriundas do próprio INPH preparadas pelo Eng<sup>o</sup> Leo Fabiano B. Reis e pelo Eng<sup>o</sup> Laura Correia de Sá Freire. As idéias gerais nele contidas foram discutidas, em reuniões anteriores entre técnicos do INPH, técnicos da DIEAM.PD e o Dr. Donald McDowell, sendo também realizada, uma visita a Santos. As idéias foram retomadas no início de 1982, após o encerramento dos estudos que a DIEAM.PD realizou para o INPH na baía de Santos /1/ e que forneceram novas informações sobre o comportamento do sedimento de fundo no interior da mesma.

A idéia geral do presente trabalho é obter informações complementares às já disponíveis sobre Santos, de modo a permitir uma compreensão dos fenômenos globais que ocorrem no estuário.

O objetivo principal do estudo é esclarecer o balanço sedimentológico no estuário de Santos, tanto em relanção à movimentação de sedimento de fundo, quanto a uma definição mais precisa dos teores de sedimento em suspensão, principalmente nas proximidades do fundo. Deve ser ressaltado que, entre o período inicial de discussão deste trabalho e a fase atual, ocorreram modificações na parte superior do estuário, com o fechamento de algumas vias de circulação da água. Foi também aventada a recuperação de um trecho considerável de terreno na região da COSIPA e, mesmo, a possibilidade da separação dos estuários de Santos e de São Vicente em unidades isoladas.

O esclarecimento do balanço sedimentológico do estuário envolveria, em princípio, as seguintes etapas:

- a) Quantificação do transporte de fundo no tramo inferior do estuário.
- b) Determinação de concentração de sólidos em suspensão ao longo de verticais, com ênfase especial na região próxima do fundo. Este trabalho seria acompanhado por medições hidráulicas (correntes, marés, salinidade e temperaturas) para quantificar os agentes hidrodinâmicos mais importantes que atuam no estuário.
- c) Determinação de vazões sólidas fluviais atuais, dadas as modificações introduzidas na geometria da parte a montante do estuário.



Estudos complementares são sugeridos, com o objetivo de quantificar as densidades "in situ" do material que compõe o fundo do estuário e as densidades "in situ" no interior dos poços das dragas que o mantêm nas profundidades adequadas.

Sugere-se também uma avaliação da viabilidade técnica de se efetuar a modelagem matemática do estuário, bem como de se introduzir, neste modelo, a possível separação dos estuários de Santos e de São Vicente. Com as sugestões deste documento, pretende-se fornecer subsídios para o estabelecimento de um plano de trabalho definitivo para o estudo, através de discussões entre as equipes técnicas do CDTN e do INPH. O plano de trabalho incluirá o cronograma para os estudos e a avaliação dos custos do mesmo.

## 2. QUANTIFICAÇÃO DO TRANSPORTE DE FUNDO NO TRAMO SUPERIOR DO ESTUÁRIO

### 2.1 Amostragem para Análise Granulométrica do Material da Superfície do Fundo

Com o objetivo de se estudar a composição granulométrica atual dos fundos no canal de acesso e no estuário de Santos serão efetuadas 57 amostragens do material de fundo, começando na secção zero do canal de acesso (Figura 1) e indo até a bacia de evolução da COSIPA, com intervalo entre as amostras de cerca de 500 metros. De cada local de amostragens serão colhidas, a partir de um ponto origem tomado como centro, cerca de 2 a 4 amostras diferentes. A mistura dessas amostras parciais constituirá a amostra representativa do local.

### 2.2 Amostragem para Estudo Reológico

Com o intuito de se pesquisar as condições críticas de início de movimento de material silteoso e argiloso do fundo do estuário de Santos serão realizadas 3 amostras nas secções S27, S34 e S43 indicadas por setas na Figura 1. Cada amostra será composta pela adição de material colhido ao longo da secção do estuário em cada local.

Sobre estas amostras, será realizado um estudo reológico, visando a determinação das condições críticas de início de movimento, utilizando a metodologia já utilizada em trabalhos anteriores /2/.

### 2.3 Estudo da Movimentação de Sedimento de Fundo com a Utilização de Traçadores Radioativos

O objetivo deste estudo é fornecer informações sobre o movimento do material da superfície do fundo, tentando-se determinar o sentido final da movimentação e avaliar as taxas de transporte.

São propostos 2 pontos de lançamento de material de fundo marcado com traçador radioativo. O primeiro deles deverá estar próximo à entrada do estuário, por volta da secção 20, Figura 1. O segundo poderá estar situado nas proximidades da secção 30, num trecho em que o estuário tem geometria mais regular.

É evidente que a definição destes pontos deverá levar em conta o programa de dragagem que estiver em andamento, para evitar interferências com os lançamentos de traçador.

Propõe-se que o trabalho seja iniciado com traçadores de meia-vida relativamente curta (Au-198), com o objetivo de se obter uma primeira avaliação das condições de movimentação, das dificuldades da detecção e de possíveis interferências da movimentação de navios sobre o comportamento do sedimento marcado. Conforme os resultados obtidos, será avaliada a conveniência de se utilizarem traçadores de meia-vida mais longa (irídio ou escândio) no prosseguimento do trabalho.

A técnica experimental a ser utilizada já foi amplamente descrita em relatórios anteriores, inclusive na

*m*

6.

referência 1.

m



### 3. MEDIÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO E MEDIÇÕES DE PARÂMETROS HIDRÁULICOS

#### 3.1 Objetivo

O objetivo destas medições é confirmar os resultados anteriormente obtidos em outras campanhas e obter dados sobre o teor de sólidos na camada líquida abaixo de um metro do fundo. Os teores nesta última camada, sobre os quais não existem dados anteriores, são extremamente importantes para um balanço sedimentológico do estuário, pois as maiores concentrações de sólidos em suspensão em estuários ocorrem geralmente nas proximidades do fundo.

#### 3.1.1 Metodologia

- a) As medições serão feitas, em princípio, nas verticais centrais das secções SE.1 e SE.2, Figura 1. Como foi afirmada em relatórios anteriores a existência de canais diversos para as fases de enchente e de vazante da maré, a localização dos pontos de medida poderá ser diferente em cada uma das fases, caso isto seja julgado necessário.
- b) Serão feitas medições simultâneas de intensidade e direção de corrente, salinidade, temperatura e turbidez da água.
- c) As medições serão feitas, no caso geral, a partir de 1 metro do fundo e a cada 2m sub

sequentes, até próximo à superfície. As medidas de turbidez e de velocidade e direção da corrente serão também feitas a 0,5m do fundo.

- d) A duração de cada conjunto de medições será de 25 horas, sendo o início de duas medições consecutivas separado por intervalos de 30 minutos.
- e) Em cada secção, as medidas deverão ser feitas em épocas de cheia e estiagem dos rios, e, em cada caso, em sizígia e quadratura. Além disso, deverão ser realizadas também em situações normais e pós-frontais. Isto corresponde a um total de 8 medições distintas em cada secção. Além disso, o conjunto de medidas deverá ser repetido em cada secção, em situações hidrometeorológicas análogas, para efeito de comparação, o que totaliza 16 medições em cada secção. Havendo duas secções, tem-se um total de, no mínimo, 32 medições de 25 horas cada uma. O trabalho total deverá se distribuir ao longo de 6 meses aproximadamente.
- f) As medições de velocidade de corrente deverão ser realizadas a correntômetro. As de salinidade e temperatura serão executadas com termosalinômetros. As medições de turbidez serão, em princípio, realizadas com um turbidímetro, cuja resposta será verificada

M

pela análise de amostras coletadas periodicamente. Na região próxima ao fundo, a medição de teores de sólidos em suspensão será feita por bombeamento de água e posterior pesagem dos sólidos nela contidos.

- g) As medições citadas no item a deverão ser a acompanhadas pelo registro contínuo dos níveis d'água ao longo do estuário. Para tal, serão operadas, no mínimo, marégrafos na Ilha das Palmas e no Clube de Pesca, além dos 2 marégrafos da Cia Docas de Santos. Caso seja julgado necessário, outros marégrafos poderão ser implantados. A operação dos marégrafos será de responsabilidade do INPH.
- h) As medições em SE.1 e SE.2 não deverão ser realizadas simultaneamente.
- i) O objetivo desta fase do trabalho é relacionar as medições obtidas na vertical central da secção com as já realizadas pela Sondotécnica, nas mesmas secções, em 3 verticais. O estabelecimento de correlações entre as medidas citadas ficará a cargo do INPH. Se não for possível a obtenção de boa correlação entre as medidas na vertical central e as medidas anteriores em 3 verticais, o plano de trabalho deverá ser alterado: as campanhas seguintes, a serem realizadas pela DIEAM, serão feitas em 3 verticais.

4. MEDIÇÃO DE DENSIDADE "IN SITU" DOS MATERIAIS DE FUNDO

- a) Será executada em todo o canal de acesso do porto de Santos, desde a baía até a COSIPA. As medições serão feitas a partir da secção zero (Figura 1) e com intervalo de 500 metros. São, portanto, os mesmos locais onde serão feitas as coletas de amostras para os estudos granulométricos, perfazendo 57 pontos.
- b) Deverão ser feitas, além disso, medições de densidade "in situ" em áreas típicas, como por exemplo junto aos cais e nos terminais sujeitos a dragagens frequentes. Esses locais devem ser indicados pelo INPH. Segundo as especificações do consultor da PORTOBRÁS para o estudo do estuário de Santos, esses pontos são da ordem de 20.
- c) O barco que fará as medições será posicionado por intermédio de visada simultânea de dois teodolitos ou por intermédio de equipamento eletrônico de posicionamento.
- d) As medições de densidade serão feitas, em princípio, com sondas radioativas.

5. MEDIÇÃO DA DENSIDADE "IN SITU" DO MATERIAL DRAGADO NO INTERIOR DE DRAGAS OU BATELÕES

- a) Serão determinadas as densidades "in situ" dos materiais dragados nos locais mais característicos, no interior da draga quando esta for auto-transportadora ou nos batelões quando estes forem utilizados. Esses locais de dragagem serão determinados pelo INPH.
- b) As medições serão realizadas imediatamente após o enchimento da draga ou do batelão e, portanto, antes do início do seu trajeto para a área de despejo.
- c) Para efeito de comparação e melhoria na precisão das medidas, as determinações da densidade "in situ", em cada draga ou batelão, serão repetidas pelo menos duas vezes, para cada área crítica.
- d) As medições serão realizadas em princípio, com sondas radioativas nas dragas e nos batelões.
- e) A duração desse trabalho fica condicionada ao planejamento da dragagem na época do seu início e, também, ao interesse do INPH em cobrir todas as regiões possíveis de dragagem.

m

6. DETERMINAÇÃO DE VAZÕES SÓLIDAS FLUVIAIS NA EN  
TRADA DO ESTUÁRIO

O objetivo deste item é a definição da quantidade de material sólido que transita pelos rios que desaguan no estuário e que pode ter-se alterado com as modificações introduzidas neste último. A metodologia a ser adotada seria a medição de vazões sólidas em suspensão e por arraste, além do registro das descargas líquidas dos rios.

Trata-se de um dado importante para a avaliação dos processos de sedimentação do estuário de Santos, sendo esta a razão de sua inclusão neste documento. Deve ser lembrado, contudo, que este trabalho deverá cobrir um período longo, de ordem de um ano, para levar em consideração as variações que podem ocorrer no tempo. Haveria necessidade de coletar-se dados suficientes para o estabelecimento de um modelo da parte fluvial que permitisse a previsão de vazões sólidas a partir das vazões líquidas do rio, o que é um trabalho longo e caro.

Caso haja interesse do INPH neste serviço, será preparado um planejamento detalhado para sua execução.

M

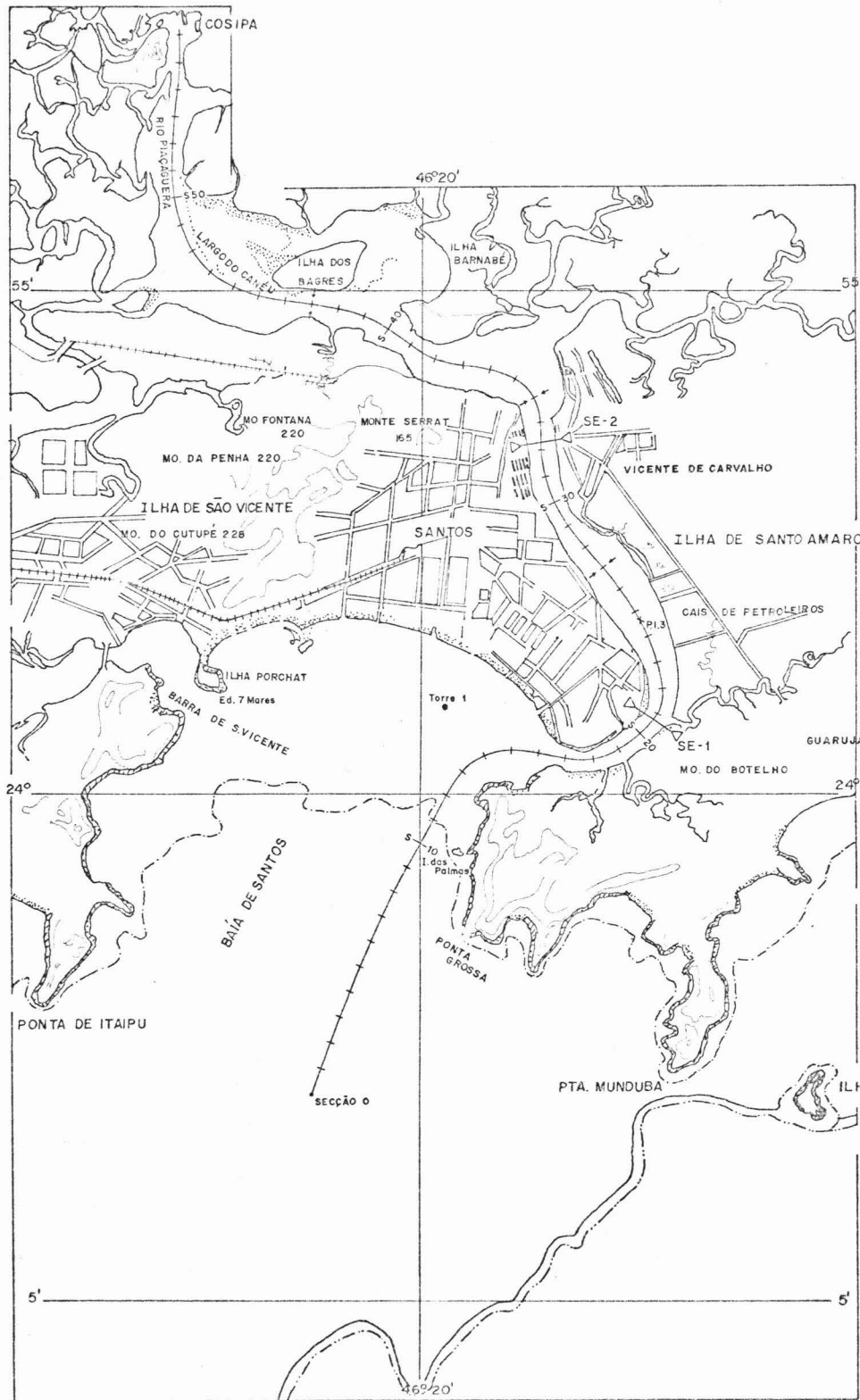
## 7. MODELAGEM MATEMÁTICA DO ESTUÁRIO

É sugerida também a avaliação da viabilidade técnica e econômica de se modelar matematicamente o estuário, o que permitiria o cálculo da propagação da maré através do mesmo, a avaliação de prismas de maré em função de modificações em sua morfologia, a propagação de salinidade ao longo do estuário, etc..

A DIEAM.PD deverá iniciar este ano um esquema de colaboração com especialistas do Massachusetts Institute of Technology, na área de modelagem matemática. Propõe-se que o problema da modelagem do estuário de Santos seja avaliado em reunião técnica entre o INPH, a DIEAM e os especialistas do MIT durante uma das primeiras missões que estes realizarem no Brasil. Nesta reunião, poderia ser mais bem definido o escopo global do estudo, incluindo possíveis modificações no sistema estuarino, tais como a separação completa dos estuários de Santos e São Vicente, se esta obra estiver em consideração.

Dessa reunião participaria também o Dr. Donald McDowell.





REFERÊNCIA\_Carta DHN.1711  
 ESCALA 1:80000

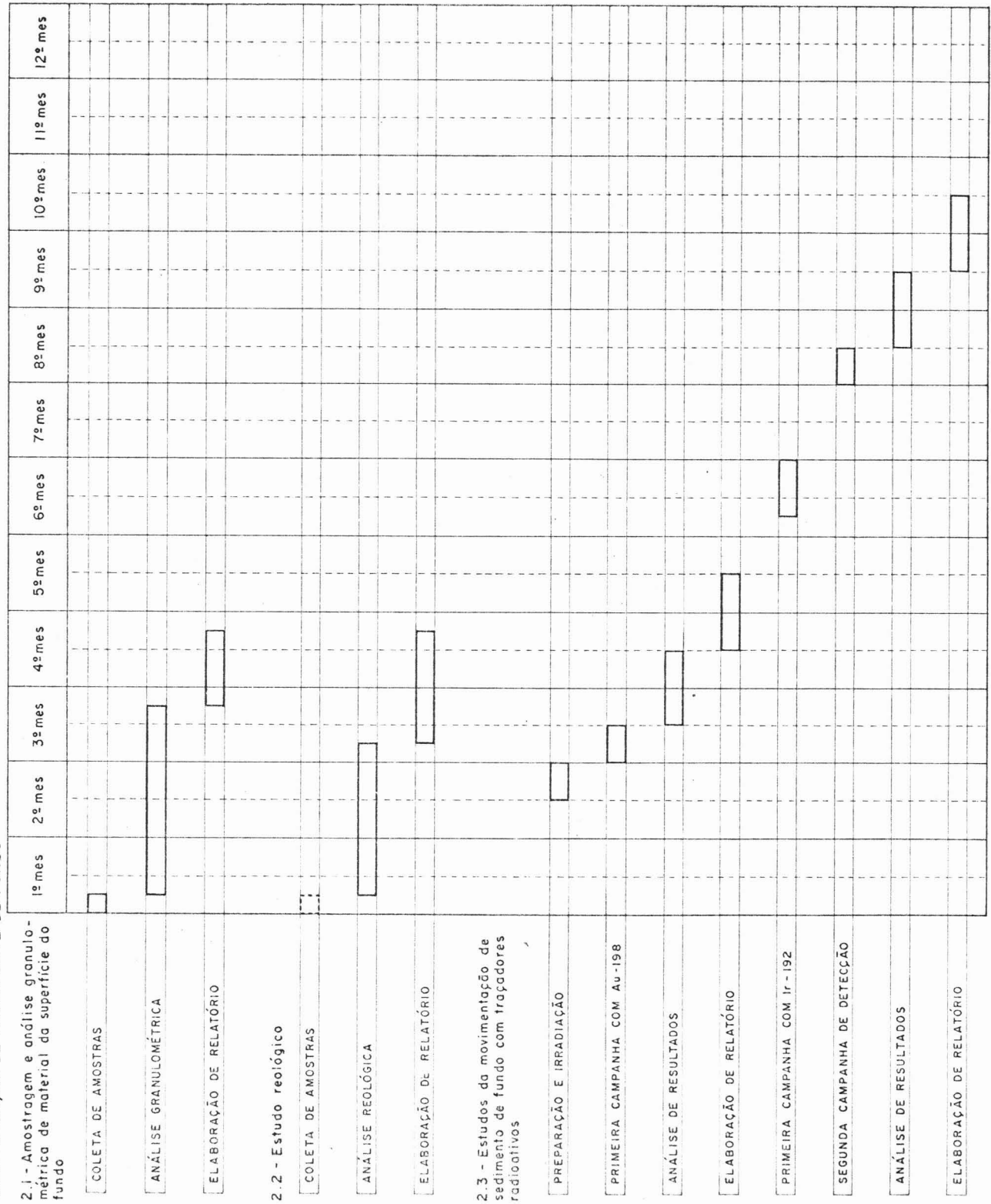
12

FIGURA 1 - BAIÁ E ESTUÁRIO DE SANTOS

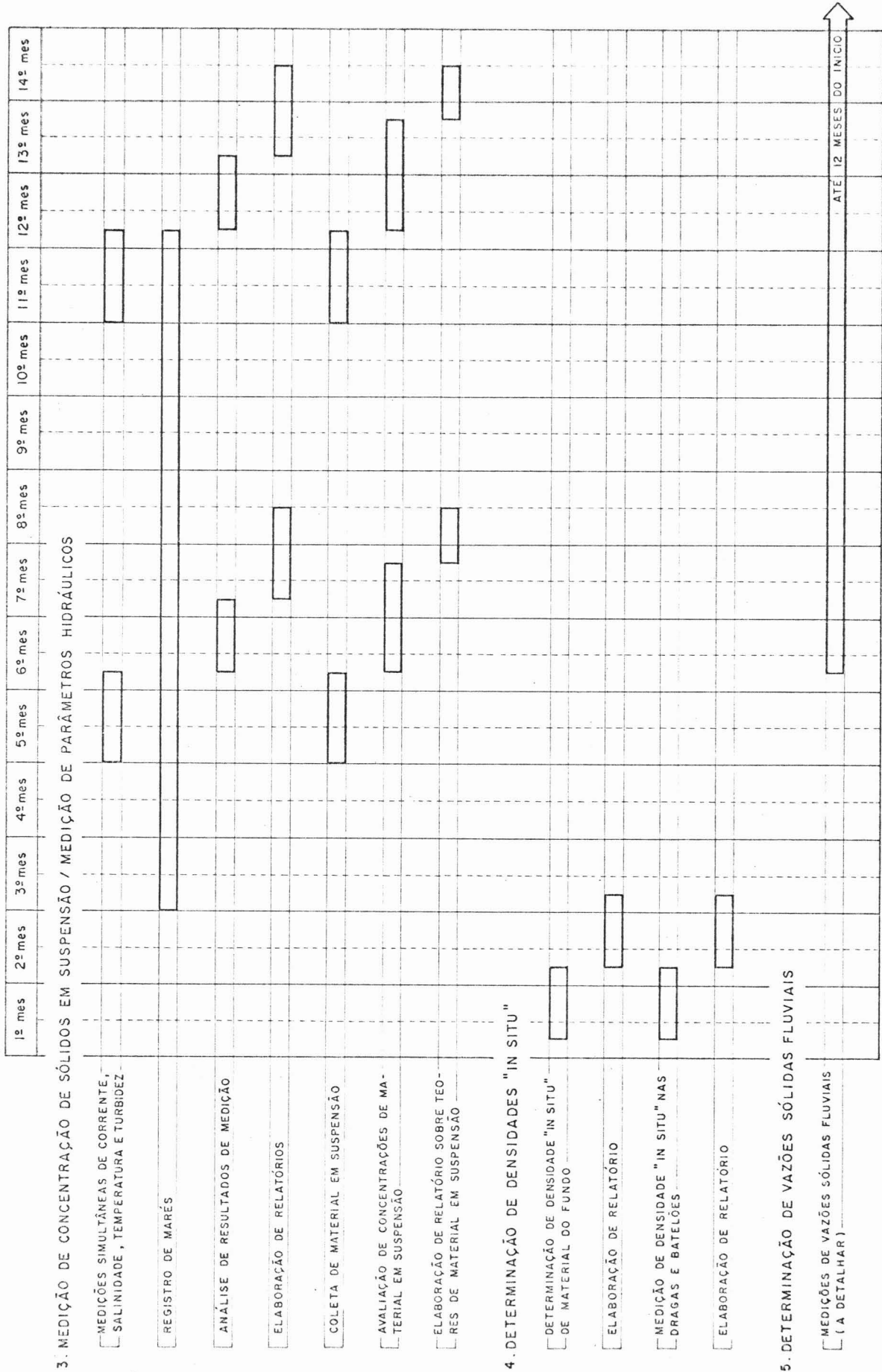


ESTUÁRIO DE SANTOS - CRONOGRAMA PRELIMINAR

2. QUANTIFICAÇÃO DE TRANSPORTE DE FUNDO



DA



↑ ATÉ 12 MESES DO INÍCIO

12