

FACTA
FIGURAS
GRANDES LEN
PLANTA
MÁS DE OTRA ESTO
27/02

ESTUDO DE DISPERSÃO DE EFLUENTES NO RIO
NEGRO, A JUSANTE DA REGIÃO PREVISTA
PARA O FUTURO PORTO DE MANAUS, AM

Divisão de Radioisótopos/DERL
Setembro de 1980

- DERL.PD-045/80 -

ESTUDO DE DISPERSÃO DE EFLUENTES NO RIO NEGRO, A JUSANTE
DA REGIÃO PREVISTA PARA O FUTURO PORTO DE MANAUS

AUTORES

Rubens Martins Moreira
Pedro Edmundo Aun
Amenônia Maria Ferreira Pinto
Jefferson Vianna Bandeira

EQUIPE DE CAMPO

Rubens Martins Moreira
Jefferson Vianna Bandeira
Amenônia Maria Ferreira Pinto
Antônio Fioravante Neto
Ricardo da Silva Gomes

EQUIPE DE ANÁLISE

Rubens Martins Moreira
Pedro Edmundo Aun
Amenônia Maria Ferreira Pinto
Altair Drumond de Souza
Paulo Sérgio Pelôgia Minardi
Virgílio Lopardi Bomtempo

DIVISÃO DE RADIOISÓTOPOS/DERL - CDTN/NUCLEBRÁS

- Setembro de 1980 -

ÍNDICE

	PÁGINA
1. INTRODUÇÃO	1.
1.1 Histórico	1.
1.2 Providências Preliminares	4.
2. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	8.
3. METODOLOGIA	13.
3.1 Flutuadores	13.
3.2 Radiotraçadores	14.
3.2.1 Injeção	16.
3.2.2 Detecção	18.
3.3 Tratamento dos Dados	20.
4. ESTUDOS COM FLUTUADORES	27.
4.1 Descrição das Medições	27.
4.2 Análise dos Dados	28.
5. MEDIÇÕES COM TRAÇADORES	35.
5.1 Descrição das Medições	35.

5.2	Análise dos Dados	37.
	5.2.1 Trajetórias	37.
	5.2.2 Estimativa de advecção	39.
	5.2.3 Teste dos modelos	44.
	5.2.4 Coeficientes de dispersão	51.
	5.2.2 Profundidade do campo	53.
5.3	Diluição dos Efluentes	55.
5.4	Análise Simplificada de Dados de Ven <u>to</u> em Manaus, no Período <u>Experimen</u> <u>tal</u>	62.
5.5	Níveis D'Água	72.
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	74.

REFERÊNCIAS

APÊNDICE 1

APÊNDICE 2

APÊNDICE 3

APÊNDICE 4

APÊNDICE 5

LISTA DAS FIGURAS

NÚMERO		PÁGINA
4.1	Trajeto <u>ri</u> as dos flutuadores	32.
4.2	Distâncias percorridas em função do tempo - velocidades médias. Flutuador a 1m da superfície	33.
4.3	Distâncias percorridas em função do tempo - velocidades médias. Flutuador a 7m da superfície	34.
5.1	Trajeto <u>ri</u> a da mancha de traçador	38.
5.2	Gráfico da distância percorrida pelo pico versus tempo - 1a. detecção	40.
5.3	Gráfico da distância percorrida pelo pico versus tempo - 2a. detecção	41.
5.4	Gráfico da distância percorrida pelo pico versus tempo - 3a. detecção	42.
5.5	Gráfico da distância percorrida pelo pico versus tempo - 4a. detecção	43.
5.6	Gráfico da contagem máxima versus tempo - 1a. detecção	45.
5.7	Gráfico da contagem máxima versus tempo - 2a. detecção	46.

NÚMERO		PÁGINA
5.8	Gráfico de contagem máxima versus tempo - 3a. detecção	47.
5.9	Gráfico de contagem máxima versus tempo - 4a. detecção	48.
5.10	Distribuição em profundidade do traçador	54.
5.11	Curvas de isodiluição - trecho inicial	56.
5.12	Curvas de isodiluição - trecho intermediário	57.
5.13	Curvas de isodiluição - trecho final	58.
5.14	Diluição no eixo da mancha em função da distância do ponto de lançamento contínuo (composição da 1a., 2a. e 3a. detecções)	60.
5.15	Diluição no eixo da mancha em função da distância do ponto de lançamento contínuo (4a. detecção)	61.
5.16	Frequência de ocorrências de velocidades máximas de vento por direção (junho de 1980)	65.

NÚMERO		PÁGINA
5.17	Média das velocidades máximas de vento por direção (junho de 1980)	66.
5.18	Ventos médios mensais (janeiro de 1979 a junho de 1980)	71.
5.19	Níveis d'água - Médias mensais em 1980	73.
A5-1	Média e desvio padrão das médias mensais de 1952 a 1978	A.5.3
A5-2	Previsão do nível atingido pelas águas do Rio Negro em 1980	A.5.4

ESTUDO DE DISPERSÃO DE EFLUENTES NO RIO NEGRO, A JUSANTE
DA REGIÃO PREVISTA PARA O FUTURO PORTO DE MANAUS

1. INTRODUÇÃO

1.1 Histórico

Este relatório apresenta os resultados dos estudos realizados no Rio Negro, entre a tomada d'água da cidade de Manaus e um ponto situado a cerca de 30km a montante do mesmo. Tais estudos foram realizados para a Empresa de Portos do Brasil S.A. - PORTOBRÁS - pela Divisão de Radioisótopos (DIRAD) do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) da Empresas Nucleares Brasileiras S.A. - NUCLEBRÁS. Para a sua execução foi assinado, em Abril de 1980, um Contrato de números 3/80/04 (NUCLEBRÁS) ou 80/032/00 (PORTOBRÁS) entre as duas empresas. O presente relatório visa satisfazer a previsão do item b da Cláusula Quarta do Referido Contrato.

A implantação de um novo porto na área de influência de Manaus havia-se tornado prioritária, em função das limitações do atualmente existente, principalmente em relação à existência de áreas disponíveis para a ampliação do retroporto. Os projetos existentes previam também a implantação, na região do novo porto, de um Distrito Industrial da SUFRAMA. O conjunto de obras porto - Distrito Industrial é uma fonte potencial de poluentes, exigindo, conforme a área definida para as instalações por

tuárias e industriais, estudos sobre a dispersão e a di l u i ç ã o dos poluentes por ela gerados. O objetivo final dos estudos era evitar possíveis efeitos negativos à popu l a ç ã o ou ao ambiente, gerados por estas novas fontes de poluição. Consciente do problema, a PORTOBRÁS estabeleceu um programa intensivo de estudo nas regiões que ela considerava como viáveis para a instalação do complexo portuário - industrial, estudos esses que já se haviam i n i c i a d o há alguns anos.

A Hidrologia S.A. - Engenharia, Indústria e Comércio, havia realizado, em 1978, serviços de topografia na região, apresentados no relatório "Serviços de topografia em áreas do Rio Negro e do Rio Amazonas, referentes aos estudos para a implantação de um novo porto próximo a Manaus, AM". As áreas estudadas como possíveis para a im pl a n t a ç ã o do novo porto, foram denominadas áreas ALFA (Rio Negro) e BRAVO (Rio Amazonas).

A mesma empresa realizou também:

- um levantamento batimétrico e geofísico das áreas em estudo, em outubro de 1978;
- coleta de dados de linígrafo e anemógrafo;
- medição de corrente, a correntômetro, em 12 pontos em cada área, nos meses de novembro de 1978, janeiro, abril e junho de 1979.
- medições a flutuadores em 3 pontos, na su per f í c i e e a 7m de profundidade, nas mesmas épocas do item anterior.

Além destes dados, havia um importante conjunto de observações sobre a variação do nível d'água no Rio Negro em Manaus. A existência destes dados constituiu-se em importante auxílio para o planejamento do trabalho a ser realizado pela DIRAD.

A participação oficial da DIRAD no estudo do problema foi iniciada por uma carta da PORTOBRÁS, datada de 01/10/79. Nesta, foram solicitados os seguintes estudos, a serem realizados no Rio Negro, a partir da região denominada Área ALFA, localizada 30km a montante de Manaus, até a tomada d'água:

1. Realização de uma campanha de medição de correntes com flutuadores.
2. Estudo da dispersão de efluentes com a utilização de traçadores.

É essencial notar-se que, a jusante da Área ALFA e cerca de 10km a montante da cidade, localiza-se a tomada d'água que abastece Manaus, operada pela Companhia de Saneamento do Amazonas - COSAMA. É, portanto, de grande importância determinar-se se a tomada d'água poderia ser atingida por poluentes oriundos da região portuária e, caso isto ocorresse, quais as concentrações a serem esperadas.

A partir da solicitação contida na carta acima referida e dos dados disponíveis de estudos anteriores, a DIRAD iniciou os estudos preliminares que resultariam no plano de trabalho a ser efetuado na região.

1.2 Providências Preliminares

O planejamento do trabalho foi iniciado por uma viagem de 2 engenheiros da DIRAD a Manaus, a fim de conhecer o local de trabalho, verificar a existência de bases para posicionamento do barco a ser utilizado no estudo, colher dados hidrológicos disponíveis, localizar uma embarcação adequada e obter informações gerais sobre a região.

Após esta viagem, buscou-se uma época adequada para a realização dos estudos, tendo em vista que o regime do Rio Negro, em Manaus, apresenta importantes flutuações de nível, entre os regimes de seca e cheia. O resultado destes cálculos foi apresentado como uma Nota Técnica, intitulada "Estudos de dispersão no Rio Negro tendo em vista o ciclo hidrológico", de março de 1980. A PORTOBRÁS forneceu à DIRAD os registros diários de variação do nível d'água no Rio Negro, em Manaus, entre 1952 e 1978. A partir destes dados, foram calculadas inicialmente as médias mensais e o desvio padrão, para cada ano do período. Em seguida, foram calculadas as médias mensais para todo o período, usando-se as médias mensais de cada ano.

Foram também calculados os desvios padrões e a média destes, para o mesmo período. Os resultados obtidos mostram um regime hidrológico bem caracterizado, dividido em períodos de chuva e estiagem, sendo que a máxima cheia ocorre em junho e as águas mínimas aparecem em outubro-novembro.

A partir das médias mensais, foram calculadas as tendências no tempo, pelo método dos mínimos quadrados. Este ajuste possibilitou a previsão das médias para o ano de 1980.

O conhecimento completo das características de dispersão do Rio Negro poderia, então, ser obtido com estudos em 3 épocas distintas: cheia, vazante e período intermediário.

Outro problema preliminar que foi estudado pela DIRAD consistiu na tentativa de se obter um corante adequado para utilização nas águas escuras do Rio Negro. Testes preliminares foram feitos com corantes habitualmente utilizados em trabalhos com traçadores fluorescentes - rodamina e fluoresceína. O objetivo era obter-se um material capaz de, permanecendo visível por um tempo longo, ajudar a localização, por parte da equipe de campo, da posição da atividade máxima, durante um trabalho com traçador radioativo. A rodamina e a fluoresceína tornavam-se não mais visíveis alguns minutos após o lançamento. Foram testadas outras opções, tais como a utilização de óleos como carregadores do corante, o emprego de vários corantes comerciais e o uso de pigmentos e tintas. Entretanto, nenhum deles apresentou um bom resultado. Resolveu-se, então, usar como auxiliares na detecção, flutuadores. Isto foi feito lançando-se flutuadores no ponto do lançamento do traçador radioativo. O decorrer do trabalho demonstrou que os flutuadores seguiram adequadamente a nuvem de traçador.

Após estes estudos preliminares e a análise dos outros dados disponíveis, foi proposta à PORTOBRÁS a

realização de 4 lançamentos de um traçador radioativo (Br^{82}), sendo o primeiro deles efetuado na área ALFA, na secção denominada TUPÉ. O primeiro lançamento seria seguido, por sondas de detecção de radiação, enquanto as condições de diluição o permitissem. O término da primeira injeção seria o local de início do trabalho seguinte, e assim sucessivamente, até se atingir a região da tomada d'água de Manaus. O intervalo entre lançamentos foi previsto como sendo de 2 dias. Além dos estudos com traçadores, foi também proposto um estudo do campo de correntes no Rio Negro, desde a região do novo porto até a tomada d'água de Manaus. Cada lançamento deveria constar de 2 flutuadores, um lastrado a 1m e outro a 7m da superfície, construídos de modo a minimizarem o arraste do vento e maximizarem o da corrente do rio. Esta proposta foi orçada e apresentada à PORTOBRÁS, dando origem ao Contrato de Trabalho ora em execução.

Foi acertado entre as partes que o trabalho de campo seria realizado em Junho de 1980.

Imediatamente antes do início do trabalho, em 18/06/80, um engenheiro da DIRAD viajou para Manaus, a fim de acertar os detalhes finais.

Os objetivos eram o reconhecimento final das bases a serem utilizadas, a verificação da adequação das modificações que haviam sido realizadas na embarcação que seria utilizada, a realização de contatos com os órgãos interessados no problema (Instituto de Pesquisas Hidroviárias, Administração do Porto de Manaus, Hidrovias, COSAMA e SUFRAMA), a obtenção de autorização para utilizar a base

de Ponta Negra e a tomada de diversas providências administrativas. Nas reuniões técnicas finais, das quais participaram outros membros da equipe, foi decidido que, caso não fossem necessários 4 lançamentos de traçador para cobrir a área desde a secção do TUPÉ até a tomada d'água, as injeções restantes também seriam feitas na secção do TUPÉ, em pontos mais próximos da margem esquerda do rio. Esta injeção teria por finalidade verificar o que ocorreria com uma descarga de poluente realizada mais próxima da margem esquerda, tal como ocorreria no caso de se utilizar um emissário de rejeitos mais curto do que o inicialmente previsto. No decorrer do trabalho, foi realizada, efetivamente, uma injeção neste local, a qual forneceu informações importantes, citadas na análise dos resultados.

2. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Os estudos de dispersão de poluentes realizados em Manaus eram iniciados pelo lançamento instantâneo, em um ponto previamente determinado do Rio Negro, de uma certa quantidade de traçador radioativo. A evolução da nuvem de traçador era, então, acompanhada, enquanto as diluições estivessem dentro dos limites de detecção e de registro. A técnica de detecção utilizada consistiu em cruzar-se a nuvem no sentido transversal, buscando-se detectar a região de máxima atividade, tantas vezes quantas possível. O conjunto de dados obtidos sofre, posteriormente, um tratamento, especificado em capítulos posteriores, o qual permite obter-se a diluição, em cada ponto do rio, resultante de um lançamento contínuo de poluente.

O traçador escolhido para utilização em Manaus foi o Br^{82} , emissor gama de espectro complexo, com meia-vida de cerca de 36h. O Br^{82} é utilizado habitualmente em estudos deste tipo para simular o comportamento de poluentes cuja densidade não difira muito da densidade da água. Ele apresenta a propriedade de ser pouco adsorvido por sedimentos, tanto em suspensão, como em fundos, o que é essencial para a interpretação dos dados, já que se parte da hipótese do traçador ser conservativo. O traçador era irradiado sob a forma de pastilhas de KBr, com o peso aproximado, cada uma, de 6g.

O problema principal em relação ao Br^{82} , era a meia-vida relativamente curta. Embora adequada para este tipo de detecção de curta duração, resultava em um de

caimento considerável entre o final da irradiação e o instante da injeção. Isso nos obrigava, para ter uma atividade no momento do lançamento da ordem de 1Ci, a especificar uma atividade, no final da irradiação em reator nuclear, da ordem de 3Ci. O Bromo apresenta, além disso, alguma radiação gama de energia bastante alta, superior a 1 MeV, o que obriga à utilização de blindagens de transporte, para proteção de pessoal, bastante pesadas.

Estas blindagens, construídas em chumbo protegido por aço, pesavam acima de 300kg. O único modo de transportá-las até Manaus, nos prazos necessários, era por via aérea. Este problema, teoricamente simples, provou ser bastante difícil, ocasionando alguns desvios no cronograma inicialmente previsto. Para o envio da última carga de traçador, a DIRAD despachou a blindagem para Brasília, acompanhada por um dos engenheiros da Divisão. A sua tarefa era assegurar que, após a chegada e o desembarque em Brasília, ela fosse recolocada em outro avião, com destino a Manaus, o que ocorreu às 4 horas da madrugada.

A embarcação utilizada, o barco "Marajozinho", também conhecido como "Gigante", teve que sofrer algumas adaptações para ser utilizado nas detecções, visando principalmente a proteção do equipamento eletrônico contra água. O barco, com cerca de 10m de comprimento e 1,8m de boca, foi utilizado durante todo o trabalho. Foi também empregada, como barco de apoio, uma lancha rápida fornecida pela PORTOBRÁS, utilizada para posicionar e retirar o equipamento de localização das bases de triangulação. Em um certo dia, esta lancha perdeu-se do barco principal e não pode retornar por seus próprios meios a Manaus. Isto

ocasionou o acionamento de um esquema de busca, no decorrer da noite, já que a lancha permanecera no Rio Negro, na região de trabalho. A sua localização ocorreu por volta de meia-noite, encontrando-se a tripulação da lancha em perfeitas condições, apesar dos ataques sofridos por mosquitos e muriçocas.

O posicionamento da embarcação, a intervalos de 30s, foi assegurado por um sistema de radio-localização, tipo Motorola Mini Ranger Mk III. O mesmo tipo de posicionamento foi utilizado no decorrer dos estudos com flutuadores. As bases utilizadas foram as seguintes, em coordenadas UTM, referidas à origem de Córrego Alegre:

NOME	COORDENADA N	COORDENADA E
Ponta Negra	9.660.943,28	821.432,45
Maria Barraca	9.661.576,74	804.120,97
Meio	9.663.719,11	811.922,28
Tupê	9.663.211,27	805.785,00
Tomada d'Água	9.655.076,51	826.919,21

A equipe de campo constou, nos primeiros dias de trabalho, de 2 engenheiros - sênior, um engenheiro - júnior, um técnico em mecânica e um técnico em eletrônica. Após ter o serviço entrado em regime, um dos engenheiros sênior retornou a Belo Horizonte.

O equipamento de detecção constou basicamente de:

Detectores de radiação SRAT, tipo SPP3, com cristais de NaI (Tl).

Contador de impulsos ORTEC

Impressoras de dados ORTEC

Registrador mono-canal Moseley

Equipamento de posicionamento Motorola, Mini - Ranger Mk III

Gerador de corrente Honda, 300 W.

Todo o equipamento foi transportado por via aérea. Durante a detecção, o detector de radiação era mantido a uma profundidade de cerca de 1m, fixado a um suporte preso ao barco.

Cartas da região permitiram que se fizesse o posicionamento do barco a intervalos de 30s, lançando-se na carta as posições sucessivas e orientando-se a navegação na direção desejada.

O trabalho de campo iniciou-se em 18/06/80, com a viagem de um engenheiro e um técnico para Manaus. Os dias 19, 20 e 21 foram ocupados em reuniões técnicas e providências administrativas. Neste intervalo, ocorreu também a chegada do restante da equipe e a montagem, no barco, do equipamento de detecção.

No dia 22, foram feitos os testes iniciais do equipamento. A partir dele, começaram as medições, conforme o esquema abaixo:

- 22/06 - Testes do equipamento
- 23/06 - Flutuadores
- 24/06 - Trabalho com traçador
- 25/06 - Flutuadores
- 26/06 - Calibração de atividade
- 27/06 - Flutuadores
- 28/06 - Trabalho com traçador para a COSAMA
- 29/06 - Trabalho com traçador
- 30/06 - Descanço
- 01/07 - Flutuadores
- 02/07 - Trabalho com traçador
- 03/07 - Calibração de atividade
- 04/07 - Trabalho com traçador
- 05/07 - Desmobilização da equipe.

As calibrações de atividade realizadas consistem em determinar-se a resposta da sonda de detecção a uma fração da atividade injetada, diluída em volume conhecido. Esta calibração permite a determinação da atividade efetivamente lançada no rio.

Finalmente deve-se ressaltar o apoio que foi prestado à equipe da DIRAD pelo pessoal de Manaus, que muito contribuiu para o sucesso do trabalho experimental e pelo qual expressamos nossa gratidão.

3. METODOLOGIA

3.1. Flutuadores

O transporte advectivo pode ser determinado diretamente com as medições de traçadores, como será comentado no parágrafo 3.2. Esta informação pode ainda ser inferida de medições com correntômetros. Entretanto estas medidas se fazem em um sistema euleriano e vários aparelhos podem ser necessários para cobrir o campo de estudo.

A maneira mais simples e barata consiste no uso de flutuadores. É, conseqüentemente, a mais facilmente repetível. Por outro lado, é menos precisa.

Por estes motivos procurou-se aproveitar ao máximo esta técnica para complementar as medições com o traçador. Dado que, por motivos de logística, não seria possível fazer medições com traçadores em dias consecutivos, os flutuadores foram utilizados nos dias intermediários. A medição prévia com flutuador em cada trecho que seria subseqüentemente estudado com o traçador, auxiliava a posterior detecção do material radioativo - o que era particularmente interessante nas difíceis condições de rastreamento observadas no Rio Negro.

A técnica, bastante conhecida, consiste simplesmente em periodicamente posicionar a embarcação ao lado do flutuador e registrar a posição e o tempo correspondente. Em princípio vários flutuadores podem ser si

multaneamente perseguidos. Nossa experiência entretanto demonstrou que, no mais das vezes, a observação de mais de dois flutuadores torna-se muito difícil, a não ser em condições de excepcional homogeneidade espacial do fluxo. Foram por esta razão utilizados dois flutuadores: a 1m e 7m de profundidade.

Os flutuadores são muito sensíveis à influência do vento atuando nos elementos do flutuador sobre a superfície. O projeto dos flutuadores do CDTN/NUCLEBRÁS procura minimizar as superfícies de resistência ao vento, ao mesmo tempo mantendo sua visibilidade à distância. O elemento submerso sensível às correntes é de dimensão o menor possível afim de evitar integrar variações verticais e sua densidade é ajustada para torná-lo neutro. Quanto mais intensas as correntes, tanto menor se torna a influência relativa do vento. Como as velocidades de advecção no trecho estudado eram altas, os flutuadores produziram resultados bastante precisos.

3.2 Radiotraçadores

As substâncias solúveis no fluido sob estudo e de densidade equivalente, que não são adsorvidas pelos sedimentos e nem reagem de qualquer forma que altere suas características de transporte, podem ser empregadas como traçadores. Ao simular perfeitamente o comportamento dos poluentes conservativos, podem predizer tanto a advecção como a dispersão dos efluentes antes destes serem efetivamente lançados no ambiente. Em se tratando de poluentes não conservativos, a cinética de desapareci

mento deve ser determinada independentemente e aplicadas as correções correspondentes sobre a diluição puramente física. A advecção é medida em duas etapas conceituais: inicialmente traça-se a trajetória passando pelos baricentros das distintas varreduras da mancha do traçador; em seguida, as velocidades nos vários trechos são determinadas dividindo-se a distância entre dois baricentros consecutivos pelo tempo transcorrido entre suas respectivas detecções.

A dispersão é qualitativamente obtida de maneira imediata pela observação do espalhamento da mancha. Para ser quantificada pode-se determinar a variância das concentrações de traçador ou, mais significativamente, os parâmetros (coeficientes) de dispersão cujos significados estão relacionados com os modelos matemáticos empregados para descrever o fenômeno.

Os traçadores radioativos são recomendáveis devido à alta sensibilidade dos detectores de radiação. Um subproduto dos estudos da física das partículas elementares, os detectores de cintilação se revelaram uma verdadeira benesse à engenharia, porquanto permitiram a utilização de atividades suficientemente baixas de modo a minimizar os problemas de radioproteção. O radionuclídeo mais comumente empregado para a água é o Br^{82} , favorecido pela facilidade de produção, solubilidade, inércia química e meia vida (36h) ideal para aplicações de curta duração. Este radionuclídeo emite radiações gama de grande penetração ($E_{\gamma, \text{max}} \approx 1,48 \text{ MeV}$) concorrendo para a sensibilidade do detector a concentrações mínimas.

As diluições obtidas no corpo receptor (ao ponto das sondas não mais detectaram suficientemente o traçador) garantiram a observação dos níveis de concentração máxima permissível previstos pelas normas de proteção radiológica.

3.2.1 Injeção

As cargas de radioisótopo, produzidas por irradiação de pastilhas de brometo de potássio no reator Tri ga do CDTN/NUCLEBRÁS, seguiram por via aérea para Manaus, em blindagens previamente qualificadas de acordo com as normas para transporte de material radioativo recomendadas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (I.A.E.A.- Safety Series nº 6, Vienna, 1973). As atividades disponíveis no momento da injeção eram aproximadamente 1 Ci.

Imediatamente antes de zarpar para a experiência com o traçador, o radioisótopo era transferido para uma blindagem montada na embarcação e dissolvido, diretamente no recipiente utilizado para a injeção, em um volume de 3ℓ de água.

A injeção era feita de maneira puntual e instantânea, basculando o recipiente com um sistema simples de haste e cabos, a embarcação tendo sido posicionada no ponto de injeção previamente determinado. As coordenadas e instante precisos da injeção eram então registrados.

Como comentado anteriormente, foram realizadas três injeções sequenciais para cobrir o trecho entre a secção do porto planejado e a da tomada d'água. A quarta injeção foi também efetuada na secção do porto, em um ponto mais próximo da margem esquerda (aproximadamente a meia distância entre o primeiro ponto de injeção e a margem esquerda).

As coordenadas UTM dos quatro pontos de injeção foram as seguintes:

1a. injeção: N - 9660495
E - 804452

2a. injeção: N - 9659161
E - 810311

3a. injeção: N - 9657199
E - 816496

4a. injeção: N - 9660745
E - 805093

Simultaneamente com o radioisótopo foram lançados corantes e flutuadores para facilitar a localização da mancha. Os corantes (foram tentados fluoresceína e tintas comerciais) desapareciam quase que imediatamente nas águas escuras do rio e foram de pouca valia.

3.2.2 Detecção

A medição da dispersão em rios de médio porte, nos quais o traçador atinge o misturamento transversal em um tempo relativamente curto, é normalmente conduzida com detectores estacionários (sistema euleriano) [1]. Dadas as dimensões do Rio Negro, este misturamento já mais seria atingido no trecho compreendido entre o futuro porto e a cidade de Manaus. As dimensões do Rio Negro neste local são tais que ele pode ser comparado com uma pequena baía ou braço de mar, com fluxo unidirecional. Sendo assim a metodologia de detecção mais adequada ao caso seria a utilizada para os estudos de dispersão em lagos e oceanos. Estas detecções consistem em uma varredura da mancha por meio de vários cruzamentos paralelos e perpendiculares à direção do transporte advectivo. As curvas de isoconcentração podem ser assim definidas e o cálculo da diluição é feito diretamente, sem recurso a modelos de dispersão [2].

Uma característica importante do trecho estudado no Rio Negro difere porém das condições habitualmente encontradas em largos e baías: as altas velocidades das correntes. Isto teve uma consequência de monta para o presente estudo, pois o sistema de varredura minuciosa da mancha revelou-se impraticável. Embora tivesse sido tentado no início dos trabalhos, o resultado foi insatisfatório. Com as altas velocidades de deslocamento da mancha, o pequeno espalhamento no sentido longitudinal (manchas achatadas) e a necessidade de manobrar a embarcação após se ter atingido uma região sem atividade, resultou que no máximo três cruzamentos podiam ser feitos

sobre a mancha, o que é insuficiente para a aplicação do método.

Nestas circunstâncias optou-se por uma detecção consistindo no maior número possível de cruzamentos perpendiculares à direção de transporte, passando o mais próximo possível do ponto de máxima atividade. Ocasionalmente alguns cruzamentos longitudinais foram também realizados. Os resultados obtidos permitem a determinação do coeficiente de dispersão transversal e o cálculo da diluição resultante de um lançamento contínuo de efluentes, mas requerem a utilização de modelos. A justificativa para este esquema de navegação é que, em um lançamento contínuo de efluentes, a dispersão transversal assume muito maior importância do que a longitudinal (vide Apêndice 1) e desta maneira procura-se compensar as incertezas da detecção com o maior número possível de determinações do coeficiente de dispersão transversal. Este método é também utilizado nas medições do transporte de sedimentos em suspensão, que são tipicamente dinâmicas⁽³⁾.

O detector foi arrastado pelo barco por meio de um sistema rígido de suporte que o posicionou à profundidade de 1m sob a superfície. Entre varreduras sucessivas deve-se medir os perfis verticais de distribuição de atividade do traçador em uma posição próxima ao ponto de atividade máxima da mancha. Com os dados assim obtidos torna-se possível a estimativa direta da profundidade do campo de efluentes. Devido à rapidez do deslocamento da mancha esta perfilagem também revelou-se de execução difícil no presente estudo.

As detecções conforme o esquema acima prosse

quem até que a diluição do traçador atinja o limite de detecção ou as distâncias às bases ultrapassem o alcance do sistema radioposicionador. No Rio Negro ocorreu um terceiro fator limitante: a ocorrência frequente de ventos do quadrante leste provocando forte agitação das águas ("banzeiro") e impedindo a navegação. A segunda detecção (dia 29/06/80) teve de ser interrompida por este motivo.

3.3 Tratamento dos Dados

Inicialmente todas as contagens são corrigidas em relação ao ruído de fundo e decaimento. As posições dadas pelas distâncias às bases são convertidas em coordenadas UTM. Isto feito, a evolução da mancha pode ser plotada, sendo então a trajetória e velocidade de advecção determinadas.

A seguir torna-se necessário escolher um modelo que represente adequadamente a distribuição de traçador observada, para que então possam ser determinados os valores dos parâmetros de dispersão.

Supondo que a distribuição de concentração do traçador obedeça a uma função de densidade de probabilidade gaussiana (ver Apêndice 1) deve-se verificar a dimensionalidade do fenômeno. Ou seja, é preciso averiguar se o espalhamento se dá predominantemente em duas ou três dimensões. Neste último caso seria também necessário quantificar a dispersão vertical.

Para esclarecer o método de verificação será

tomado como exemplo a distribuição fickiana, que é a mais comumente utilizada como modelo. No caso de uma injeção instantânea de traçador obtém-se:

2 dimensões:

$$C(x,y,t) = \frac{M}{4\pi d t \sqrt{D_x D_y}} \exp \left[-\frac{x^2}{4D_x t} + \frac{y^2}{4D_y t} \right] \quad (3.3.1)$$

3 dimensões:

$$C(x,y,z,t) = \frac{M}{\sqrt{(4\pi t)^3 D_x D_y D_z}} \exp \left[-\frac{x^2}{4D_x t} - \frac{y^2}{4D_y t} - \frac{z^2}{4D_z t} \right] \quad (3.3.2)$$

onde

$$X = x - \bar{u}t \quad (3.3.3)$$

significando:

C = concentração do traçador

M = massa de traçador injetada

D_x, D_y, D_z = coeficientes de dispersão nas dire

ções longitudinais, transversal e vertical respectivamente.

x, y, z = coordenadas em relação a um sistema cartesiano com origem no ponto de injeção.

X = abcissa em relação a um sistema com origem no baricentro da mancha e se deslocando com a mesma velocidade, \bar{u} , que esta.

t = tempo contado a partir da injeção.

d = profundidade do campo de traçador.

O ponto de maior concentração, é aquele para o qual $x = \bar{u}t$ e $y = z = 0$. As concentrações máximas serão:

2 dimensões:

$$C_{\max} = \frac{M}{4\pi d t \sqrt{D_x D_y}} = \frac{a_1}{t} \quad (3.3.4)$$

3 dimensões:

$$C_{\max} = \frac{M}{\sqrt{(4\pi t)^3 D_x D_y D_z}} = \frac{a_2}{t^{3/2}} \quad (3.3.5)$$

onde a_1 e a_2 são constantes.

Tomando-se os logarítmos naturais nas equações acima:

2 dimensões:

$$\ln C_{\max} = - \ln t + \ln a_1 \quad (3.3.6)$$

3 dimensões:

$$\ln C_{\max} = - \frac{3}{2} \ln t + \ln a_2 \quad (3.3.7)$$

O teste consiste portanto em se plotar as concentrações máximas obtidas nas várias travessias em função do tempo em que foram observadas, em papel log-log. A seguir ajusta-se uma reta "envoltória" destes pontos (um ajuste por regressão linear atribuiria iguais pesos aos pontos em que não se logrou perfeita aproximação da posição de concentração máxima da mancha). O valor obtido para o coeficiente angular desta reta indicará se o fenômeno é bi ou tridimensional. Se este valor diferir significativamente de -1 ou -1,5, a distribuição fickiana pode não ser a mais aplicável e neste caso há que se pesquisar outros modelos.

Um destes modelos alternativos é o de Joseph e Sendner:

$$C(r,t) = \frac{M}{2\pi p^2 d t^2} \exp\left(-\frac{r}{pt}\right) \quad (3.3.8)$$

onde se supôs simetria radial da distribuição de concentrações, para simplificar a análise. O parâmetro p é denominado "velocidade de difusão" (m/s) e constitui uma constante de proporcionalidade entre o coeficiente da dispersão radial e a dimensão da mancha (vide o Apêndice 1):

$$D_r = p r \quad (3.3.9)$$

Os demais símbolos têm o mesmo significado da equação (3.3.1).

A concentração máxima, que ocorre no ponto em que $r = 0$, é portanto:

$$C_{\max} = \frac{M}{2\pi p^2 d t^2} = \frac{a_3}{t^2} \quad (3.3.10)$$

onde a_3 é uma constante.

Tomando-se os logarítmos em ambos os lados da equação acima:

$$\ln C_{\max} = -2\ln t + \ln a_3 \quad (3.3.11)$$

Deste modo, uma detecção em que se pode ajustar uma reta com declividade igual à -2, em um gráfico de C_{\max} versus t em papel log-log, pode ser descrita pelo modelo de Joseph e Sendner.

Uma vez escolhido o modelo adequado para a representação da distribuição de traçador observada, torna-se preciso determinar o valor do parâmetro de dispersão (D_y no modelo fickiano, p no modelo de Joseph e Sendner, etc.). Isto se consegue pela técnica dos mínimos quadrados. Foram desenvolvidos algoritmos que possibilitam ao computador escolher um valor do parâmetro que minimize os desvios entre as concentrações observadas e as calculadas pelo modelo.

O último passo consiste em simular o campo de poluentes que resultará de uma descarga contínua de efluentes no local estudado. As curvas de iso-diluição são previstas usando-se as informações dos modelos, neste ponto já devidamente calibrados.

A diluição Φ representa a relação entre a concentração do poluente no rio no ponto (x,y) e a concentração do mesmo no efluente antes do despejo:

$$\Phi(x,y) = \frac{C(x,y)}{C_0} \quad (3.3.12)$$

As coordenadas (x,y) são referidas a um sistema de eixos cartesianos com origem no ponto de despejo e abcissa coincidente com a direção do transporte advectivo.

O modelo fickiano prevê a diluição:

$$\Phi(x,y) = \frac{q}{2d \sqrt{\Pi D_y \bar{u} x}} \exp\left(-\frac{\bar{u} y^2}{4D_y x}\right) \quad (3.3.13)$$

para um lançamento contínuo de efluente com vazão volumétrica igual a q (vide o Apêndice 1).

Já o modelo de Joseph e Sendner prevê:

$$\Phi(x, y) = \frac{q}{2\pi p^2 d} \int_0^{\infty} t^{-2} \exp \left[- \frac{\sqrt{y^2 + (\bar{u}t - x)^2}}{pt} \right] dt \quad (3.3.14)$$

É necessário programar esta expressão em computador.

Para que todo o trecho de interesse pudesse ser coberto pelas detecções, foi necessário realizar injeções sucessivas ao longo do rio. Os seus resultados individuais foram então compostos para obter o espalhamento que resultará de uma descarga de efluente unicamente na secção do futuro porto. Isso se fez aplicando o princípio da superposição (vide Apêndice 2).

Deve-se observar que todas as expressões acima são deduzidas supondo-se uma descarga puntual dos poluentes e portanto fornecem previsões conservativas. No caso de se fazer a descarga através de um difusor o efluente já estará espalhado ao ser introduzido no rio e a subsequente diluição levará a concentrações inferiores às previstas pelas fórmulas.

4. ESTUDOS COM FLUTUADORES

4.1 Descrição das Medições

Dia 23/06/80

Foi coberto o trecho entre as secções do futuro porto e o extremo oeste da Ilha do Camaleão. Os flutuadores, ao serem lançados em um ponto equidistante das margens, caminharam em uma direção convergente para a margem direita e tomaram a trajetória do canal, que é mais próximo daquela margem no trecho em questão. O rastreamento foi interrompido ao se tornar excessiva a distância das bases de radiolocalização.

Dia 25/06/80

Os flutuadores lançados nas proximidades do final da detecção anterior foram rastreados ao largo da Ilha do Camaleão, numa extensão correspondente a aproximadamente 3/4 da extensão desta. Este rastreamento teve de ser interrompido entre 12:00h e 16:00h devido à ocorrência do "banzeiro" e terminou quando não mais se dispôs de condições de visibilidade.

Dia 27/06/80

Rastreou-se o trecho ao largo do extremo leste da Ilha do Camaleão. Neste dia também ocorreu o "banzeiro" antes do início do rastreamento. Os flutuadores continuaram em um percurso coincidente com o canal.

Dia 01/07/80

Foi rastreado o trecho compreendido entre as secções pelo extremo leste da Ilha do Camaleão e pela tomada d'água da COSAMA. A cerca de 3000m a montante desta secção, a isóbata de 15m se expande nas proximidades da Ilha do Camarão. Entretanto os flutuadores continuaram a caminhar mais próximos da margem direita e passaram a grande distância da tomada d'água.

4.2 Análise dos Dados

Estes dados abrangem uma região muito extensa e seria conveniente plotá-los em uma escala detalhada. Eles foram então reunidos em um único mapa que possibilita uma visão de conjunto das trajetórias (figura 4.1) e no Apêndice 4 são apresentadas as planilhas referentes aos rastreamentos.

Embora os dois flutuadores sempre fossem lançados simultaneamente, nem sempre foram recolhidos ao mesmo tempo. Normalmente um flutuador se distanciava do outro e, à medida que a tarde ia caindo, as condições de visibilidade diminuíam, tornando-se cada vez mais difícil rastrear os dois simultaneamente. Quando se corria o risco de perder um deles de vista, optava-se por recolher o de 7m e concentrar o rastreamento no flutuador de 1m, até quando possível. As medidas a 1m foram consideradas relativamente mais importantes porque poderiam ser comparadas com os resultados da detecção de traçador.

Nas figuras 4.2 e 4.3 são plotadas as distâncias percorridas pelos flutuadores em função do tempo (os valores das distâncias foram medidos ao longo da linha de transporte). Foram feitas regressões lineares com os pontos correspondentes a cada um dos dias. O coeficiente angular das retas ajustadas forneceu as velocidades médias em cada trecho no dia do rastreamento. O coeficiente de correlação linear dos ajustes foi sempre superior a 0,99 e os desvios padrões resultaram baixos, o que demonstrou a pequena variabilidade das velocidades em cada trecho (nos dias do rastreamento). Os valores duvidosos, possivelmente devidos a imprecisões no posicionamento, foram descartados nos cálculos. Estes resultados estão sintetizados na tabela 4.1.

Os resultados indicam que:

- i. as intensidades das correntes, tanto a 1m como a 7m, são altas no primeiro trecho, que fica logo a jusante do local projetado para o porto. Estes resultados foram confirmados pelo teste com traçador, como se verá no capítulo seguinte.
- ii. as velocidades médias decrescem à medida em que se afasta do primeiro trecho.
- iii. as velocidades em cada nível pouco variaram em cada um dos trechos, em cada dia de medição (o que é melhor indicado pelas figuras 4.2 e 4.3 e pelos coeficientes

TRECHOS (limites definidos pelas coordenadas UTM-E, conforme fig. 4.1	DIA	VELOCIDADES (m/s)									
		1m					7m				
		U_{min}	U_{max}	\bar{u}	s	U_{min}	U_{max}	\bar{u}	s		
804.400 E - 810.000 E	23/06/80	0,81	1,08	0,87	0,08	0,64	0,85	0,82	0,07		
810.000 E - 815.000 E	25/06/80	0,50	0,79	0,66	0,07	0,58	0,78	0,69	0,06		
815.700 E - 818.000 E	27/06/80	0,38	0,60	0,49	0,05	0,52	0,65	0,55	0,04		
818.000 E - 826.300 E	01/07/80	0,43	0,58	0,46	0,04	0,42	0,67	0,48	0,05		

TABELA 4.1 - RESULTADOS DE VELOCIDADES MEDIDAS COM OS FLUTUADORES (\bar{u} = velocidade média calculada pela regressão linear, s = desvio padrão).

tes de correlação linear das retas ajustadas: $r^2 > 0,99$, e desvios padrões: $s \leq 0,08$ m/s).

- iv. as velocidades não variam muito, em intensidades, de 1m para 7m.
- v. em três dias foi observado um caminhamento mais veloz do flutuador a 7m. A relação desta constatação com os efeitos dos ventos será examinada no capítulo 5.
- vi. a figura 4.1 mostra as divergências nas direções dos caminhamentos. No primeiro trecho o flutuador de 1m tendeu a se aproximar mais da margem direita. Nos segundo e terceiro trechos (ao longo da Ilha do Camaleão) esta tendência se repetiu, mas de maneira menos acentuada. No quarto trecho (a jusante do extremo leste da Ilha do Camaleão) esta tendência se inverteu e a divergência das direções de caminhamento foi a mais notável (aproximadamente 4°).
- vii. o canal atuou como um guia de corrente. Nas proximidades da Ilha do Camarão, quando o canal se expande, o caminhamento continuou mais próximo da estação de tomada de água. Este comportamento também se repetiu nos testes com traçados.

FIG. 4.2 - DISTÂNCIAS PERCORRIDAS EM FUNÇÃO DO TEMPO - VELOCIDADES MÉDIAS
Flutuador a 1m da superfície

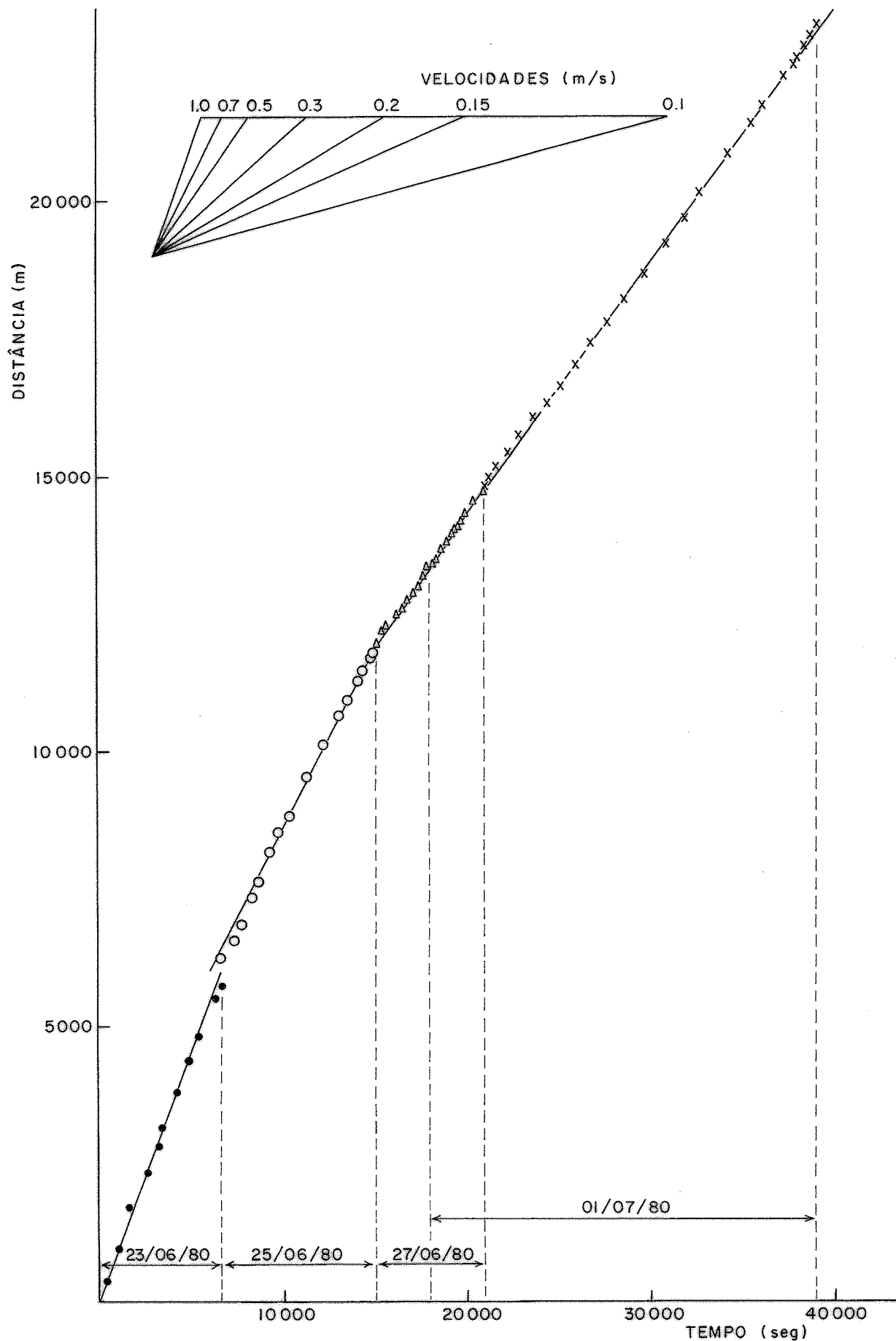
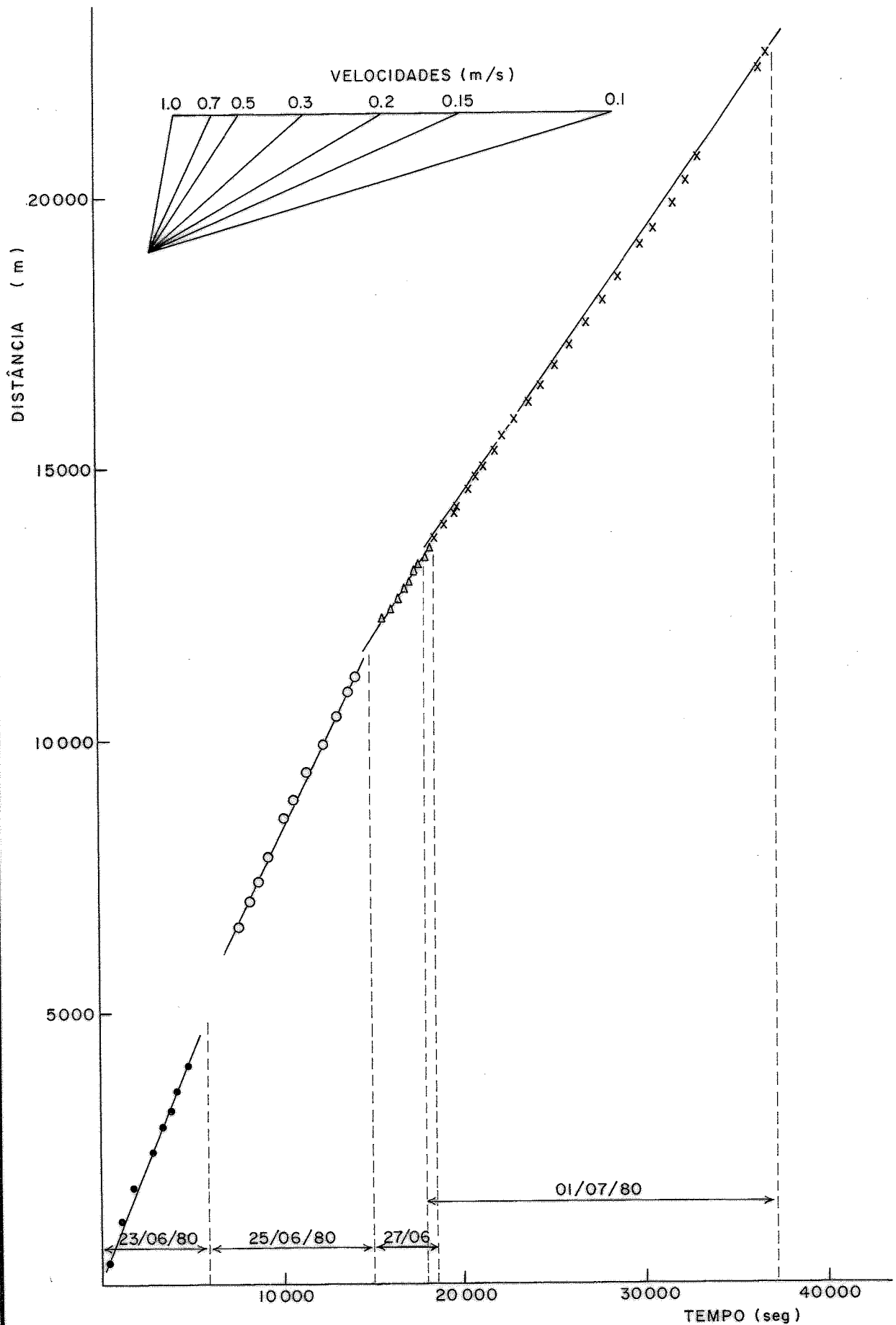


FIG. 4.3 - DISTÂNCIAS PERCORRIDAS EM FUNÇÃO DO TEMPO - VELOCIDADES MÉDIAS
Flutuador a 7m da superfície



5. MEDIÇÕES COM TRAÇADORES

5.1 Descrição das Medições

Dia 24/06/80

O traçador lançado em um ponto no centro da secção do futuro porto caminhou na mesma direção anteriormente percorrida pelos flutuadores e se aproximou da margem direita, tomando então o rumo do canal. Sua detecção prosseguiu por uma distância de aproximadamente 6500m, até às proximidades do extremo oeste da Ilha do Camaleão, quando ultrapassou o raio de alcance do radioposicionador. A injeção se deu após a ocorrência de um "banzeiro" e as águas se apresentavam extremamente calmas durante todo o transcorrer da detecção.

Dia 29/06/80

A detecção prosseguiu ao longo do canal, por cerca de 3000m ao largo da Ilha do Camaleão. A detecção iniciou-se aproximadamente às 13:00h com o rio calmo e sem ventos. Entretanto às 13:45h começaram a soprar fortes ventos de SE e a chover e às 14:00h o barco foi forçado a se refugiar nas margens, ficando interrompida a detecção. Após a passagem do "banzeiro" a nuvem foi reencontrada próxima ao extremo leste da Ilha do Camaleão; com a velocidade e direção previstas com base na detecção anterior à interrupção. Infelizmente uma das bases do radioposicionador já estava fora do alcance. Foi feita uma tentativa de reposicioná-la, mas sem resultados, devido

a problemas ocorridos com a lancha de apoio. (Este foi o dia em que a lancha se perdeu à noite).

Dia 02/07/80

Neste dia as condições meteorológicas foram excepcionalmente favoráveis e conseguiu-se detectar todo o trecho restante entre a secção que passa pela desembocadura do rio Tarumã-Mirim e a secção da tomada de água. Foi coberto um trecho de aproximadamente 10.000m. A detecção, que se iniciou aproximadamente às 13:00h, perdurou até cerca de 18h. Das 14:00h em diante as condições no rio eram de verdadeira calma. Tal como havia acontecido com os flutuadores, a mancha conservou-se próxima à margem direita, quase tendo sido interceptada pela Ilha do Camarão.

Dia 04/07/80

Tendo sido coberto todo o trecho de interesse com as detecções dos dias 24/06 e 02/07, a última carga prevista de traçador foi novamente injetada na secção do futuro porto, a meia distância entre o primeiro ponto de injeção e a margem esquerda, conforme havia sido combinado com os engenheiros do INPH/PORTOBRÁS. Desta vez a mancha não caminhou em direção à margem direita, como havia acontecido anteriormente. A trajetória resultou aproximadamente equidistante das duas margens. O tempo se apresentava chuvoso, com ocorrência de ventos e ondas que dificultavam a navegação. A distância coberta foi de cerca de 8000m, até às proximidades da foz do rio Tarumã-Mirim. A detecção foi terminada quando o nível de contagens

caiu abaixo dos limites de detectabilidade das sondas.

5.2 Análise dos Dados

5.2.1 Trajetórias

As posições dos baricentros dos picos de radioatividade foram plotadas no mapa. Ligando-se estes pontos obtem-se a linha representativa da trajetória que seguirão os efluentes lançados no mesmo local que o traçador e em condições hidráulicas semelhantes. Estas trajetórias estão indicadas na figura 5.1. Nesta figura foram superpostas as posições dos flutuadores, tal como na figura 4.1, para comparação das duas medições.

Observa-se imediatamente que as trajetórias foram semelhantes, quando os lançamentos foram nas mesmas posições. Novamente a advecção encaminhou o material para as proximidades da margem direita e para a posição do canal. Ao alcançar a Ilha do Camarão a mancha continuou próxima da margem direita, tendo ultrapassado a secção da tomada d'água a uma grande distância da casa de bombas.

Já na quarta detecção a tendência acima não foi verificada. O traçador tomou uma trajetória apontando para leste, ultrapassou a isóbata de 15m e se manteve aproximadamente equidistante das margens. Se esta trajetória fosse continuada, sem alterações de direção, a mancha dirigi-se-ia para as imediações da Ponta Negra. Ao chegar ao final a detecção, houve uma ligeira tendência da trajetória a curvar-se para a direção SE.

5.2.2 Estimativa da advecção

A velocidade de transporte advectivo foi determinada plotando-se o gráfico das posições dos picos em função do tempo decorrido após a injeção. Estes gráficos constituem as figuras 5.2 a 5.5. A velocidade foi determinada pela inclinação da reta ajustada por regressão linear. Os resultados obtidos são apresentados na tabela 5.1.

Deteção	Domínio (m)	Coordenada UTM-E do limite a jusante	Velocidade (m/s)	r^2
24/06/80	0-6000	810000 E	0.89	0.999
29/06/80	6000-12500	816000 E	0.66	0.997
01/07/80	12500-24000	827000 E	0.56	0.999
04/07/80	0-5500	810000 E	0.69	0.999
04/07/80	5500-8000	812500 E	0.51	0.992

TABELA 5.1 - Velocidades de Advecção obtidas nos testes com os traçadores.

Neste quadro, domínio significa a faixa de distâncias contadas a partir da primeira injeção; i. é, o trecho do rio, a jusante da secção do porto projetado pa

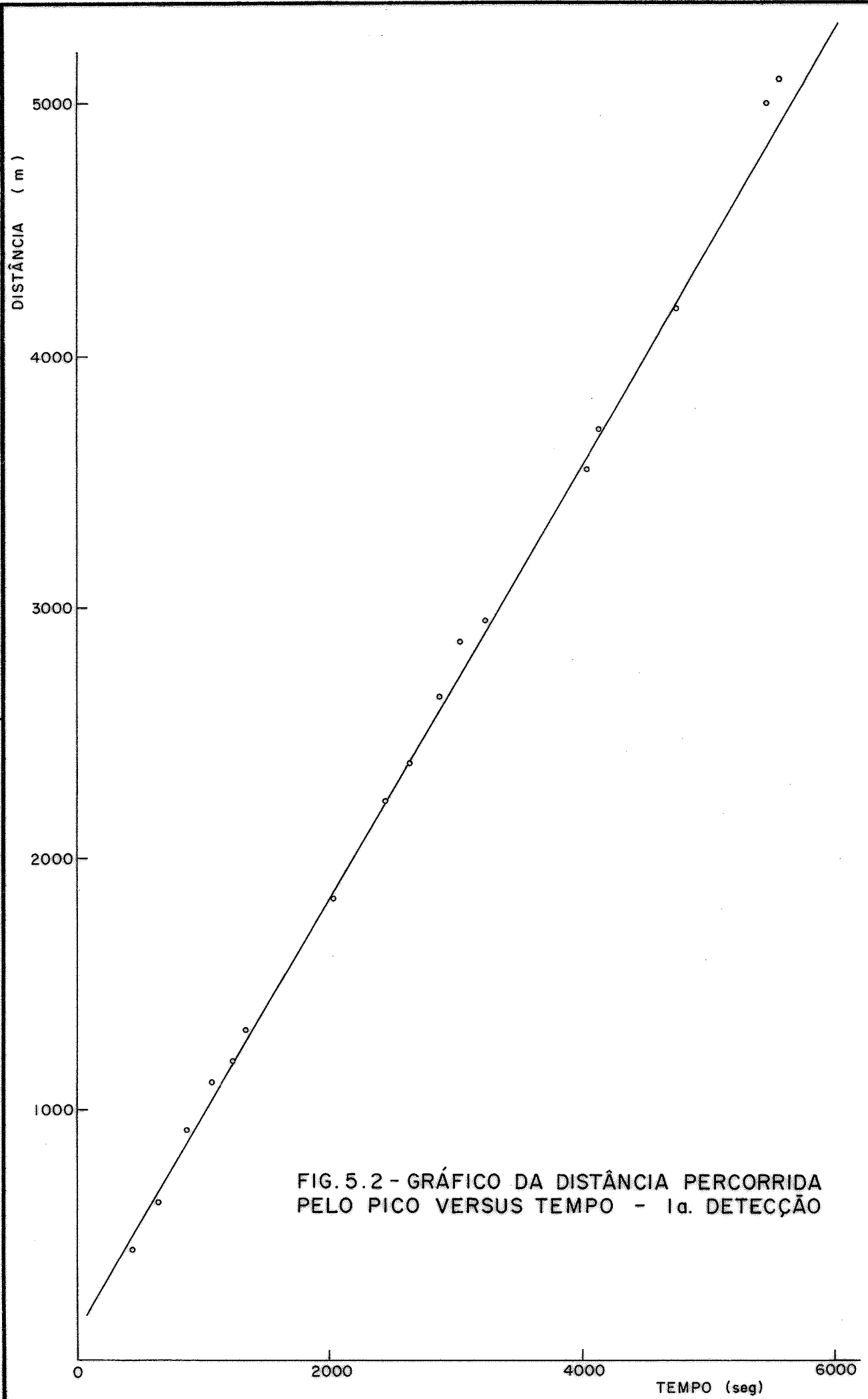


FIG. 5.2 - GRÁFICO DA DISTÂNCIA PERCORRIDA PELO PICO VERSUS TEMPO - 1ª. DETECÇÃO

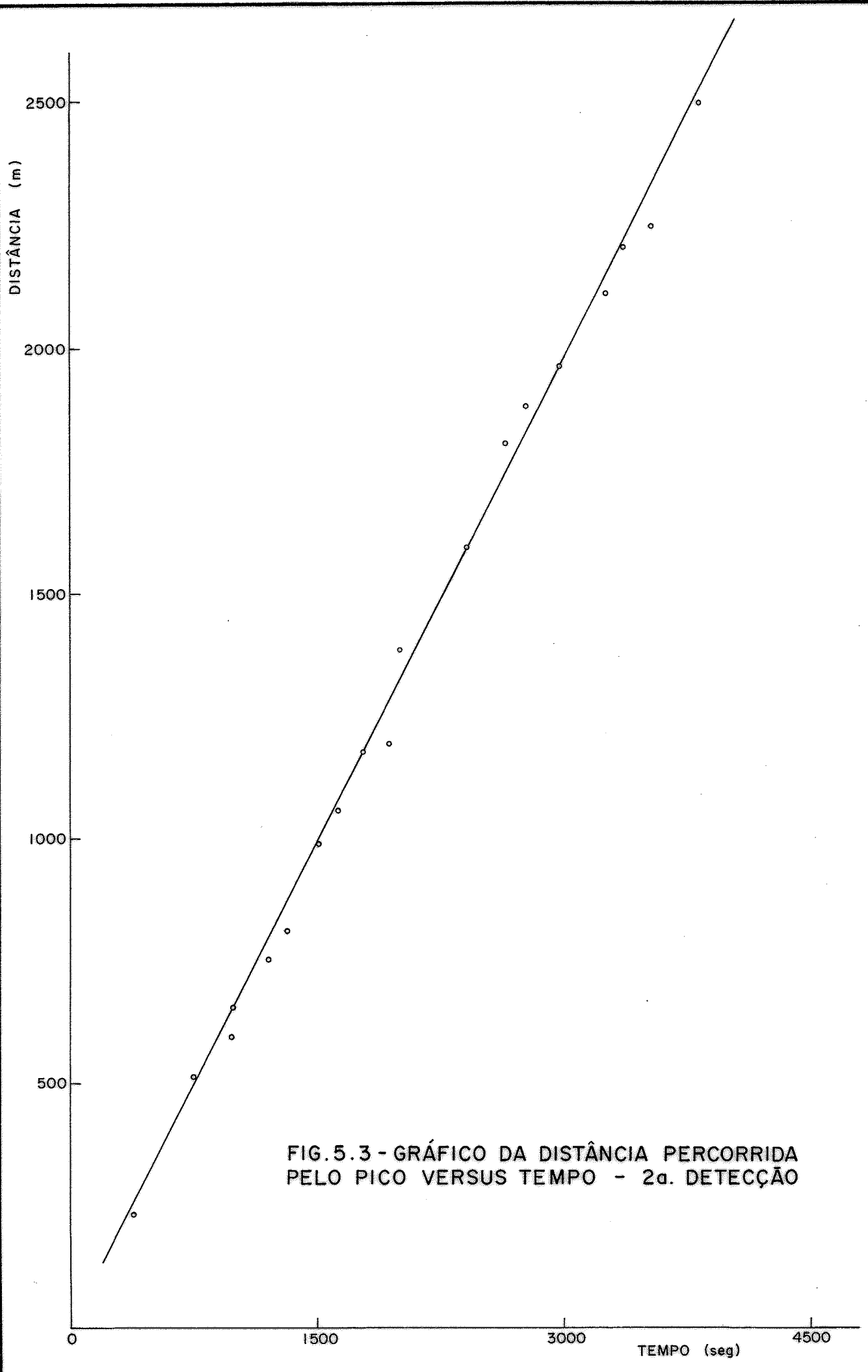
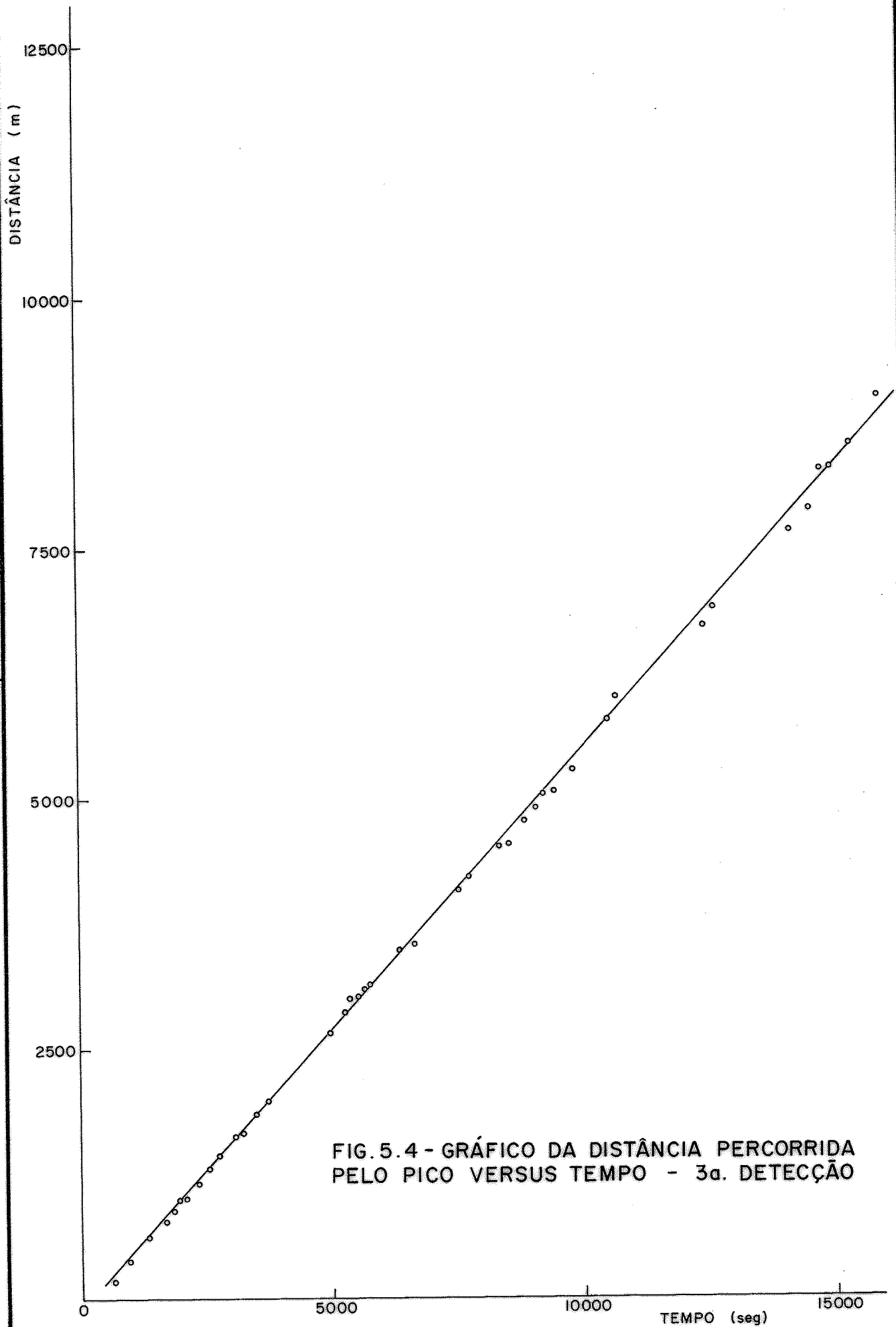


FIG. 5.3 - GRÁFICO DA DISTÂNCIA PERCORRIDA PELO PICO VERSUS TEMPO - 2a. DETECÇÃO



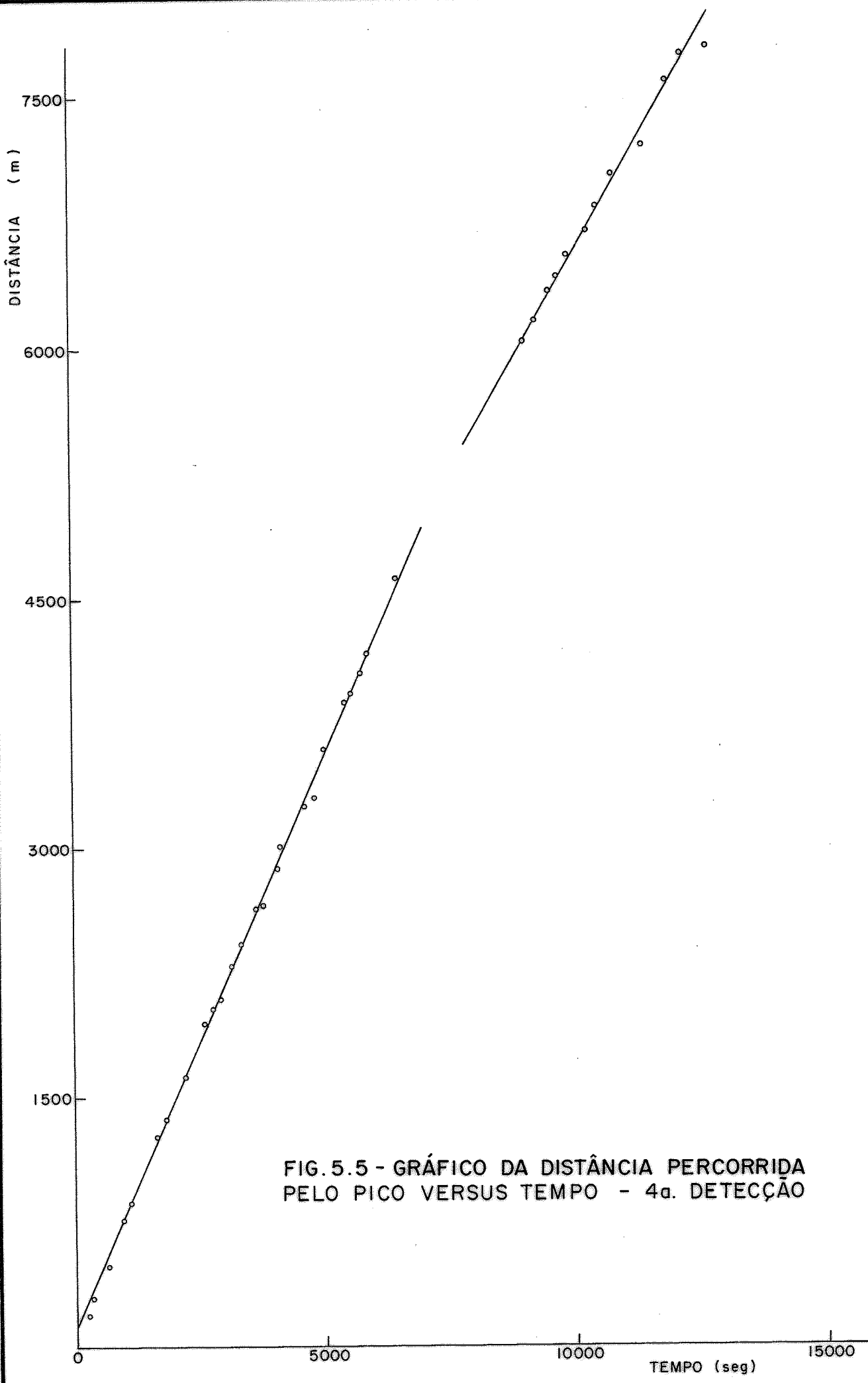


FIG. 5.5 - GRÁFICO DA DISTÂNCIA PERCORRIDA PELO PICO VERSUS TEMPO - 4a. DETECÇÃO

ra a qual é válida a velocidade indicada. São também apresentadas as coordenadas UTM-E dos limites a jusante destes domínios, para facilitar a comparação com os dados de flutuadores na tabela 4.1. r^2 indica o coeficiente de correlação linear obtido no ajuste da reta aos pontos.

Observa-se que, tal como aconteceu no teste com os flutuadores, as velocidades decaem com a distância à secção do porto projetado. Embora as detecções nos diversos trechos tenham sido feitas em dias diferentes, e portanto pudessem ter sido sujeitas a diferentes ações dos ventos, não deixa de ser significativa a constância desta tendência. A ação dos agentes hidráulicos será posteriormente comentada.

É também notável a constância da velocidade em cada trecho das três primeiras detecções. Isto pode ser apreciado pelo alto grau de correlação obtido nos ajustes.

A quarta detecção novamente exibiu um comportamento diferente. As velocidades mostraram valores mais baixos desde o início, sendo que se verificou uma diminuição significativa da velocidade quando a mancha havia percorrido cerca da metade do trecho detectado.

5.2.3 Testes dos modelos

Como mencionado na secção 3.3, a aplicabilidade dos modelos foi definida com base no comportamento das contagens máximas versus tempo e as retas envoltórias obtidas.

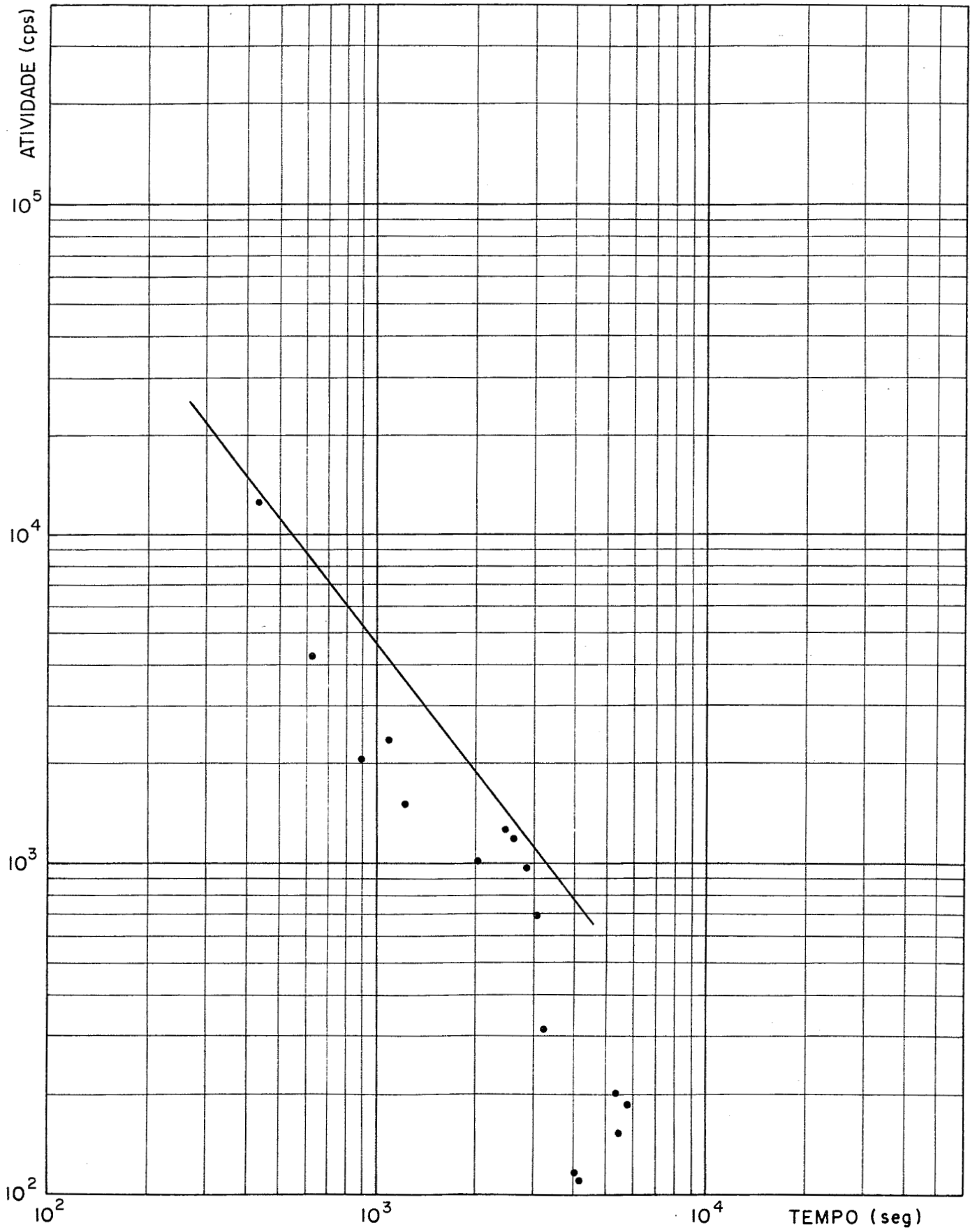


FIGURA 5.6

GRÁFICO DA CONTAGEM MÁXIMA VERSUS TEMPO - 1a. DETECÇÃO

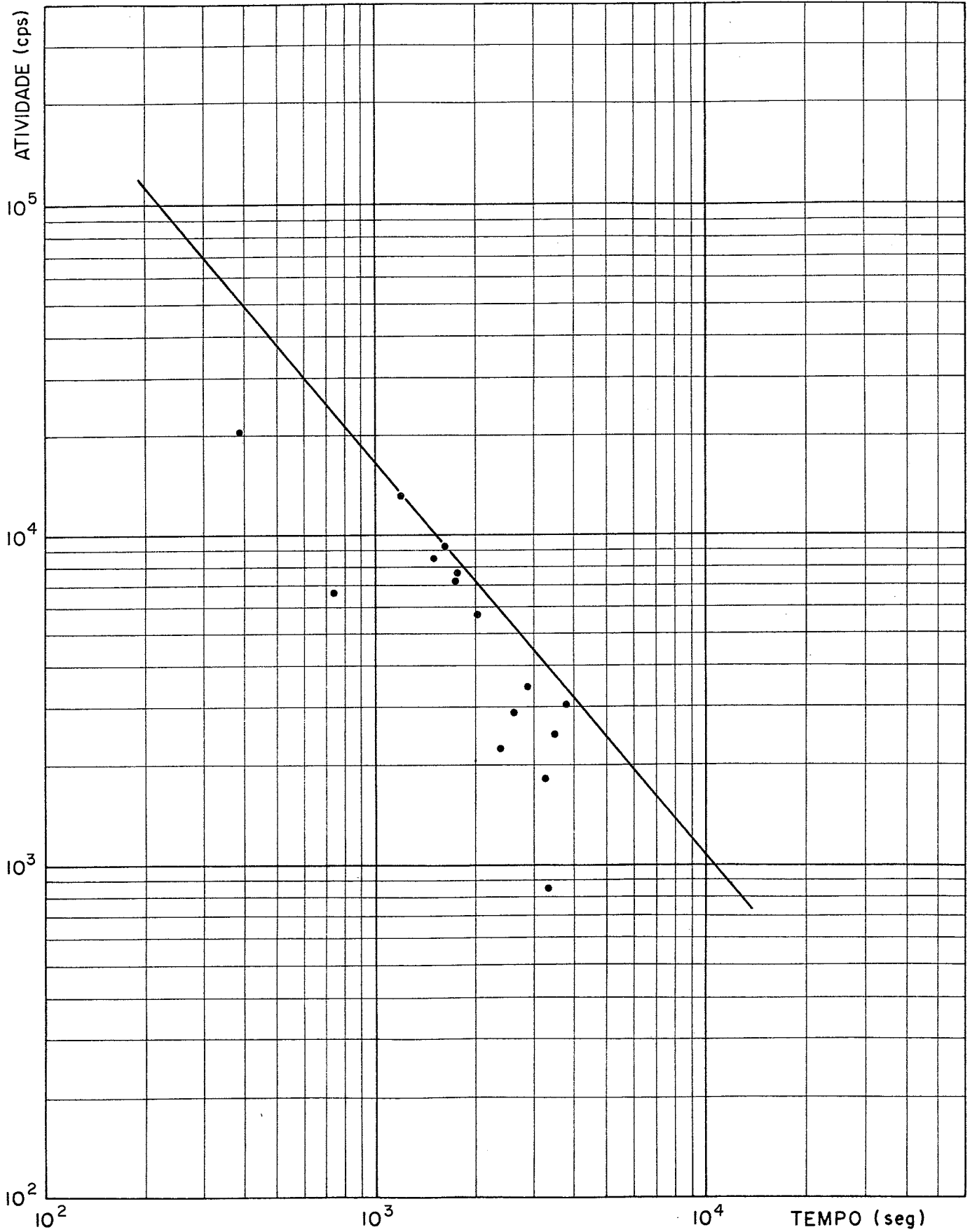


FIGURA 5.7

GRÁFICO DA CONTAGEM MÁXIMA VERSUS TEMPO - 2a. DETECÇÃO

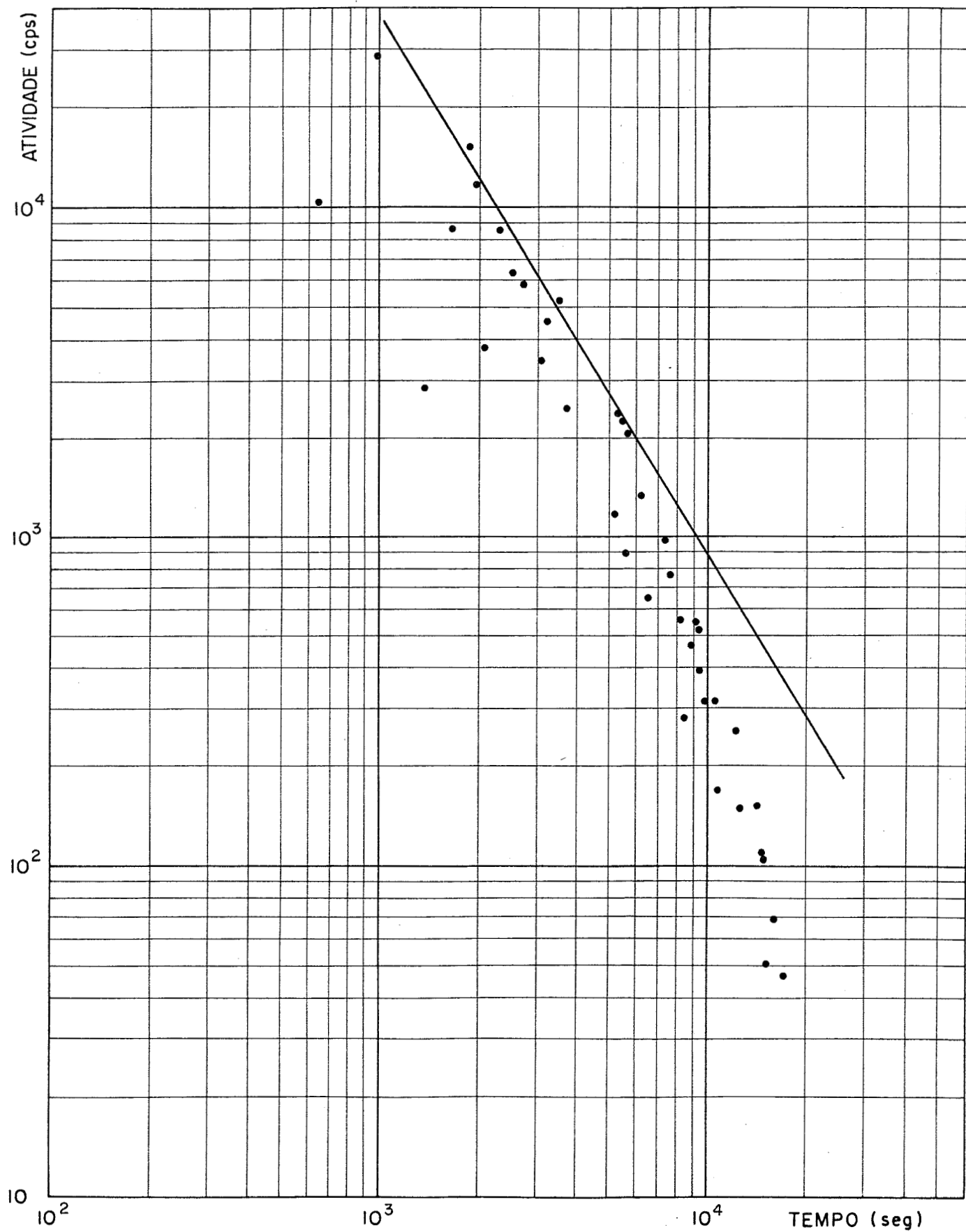


FIGURA 5.8

GRÁFICO DA CONTAGEM MÁXIMA VERSUS TEMPO - 3a. DETECÇÃO

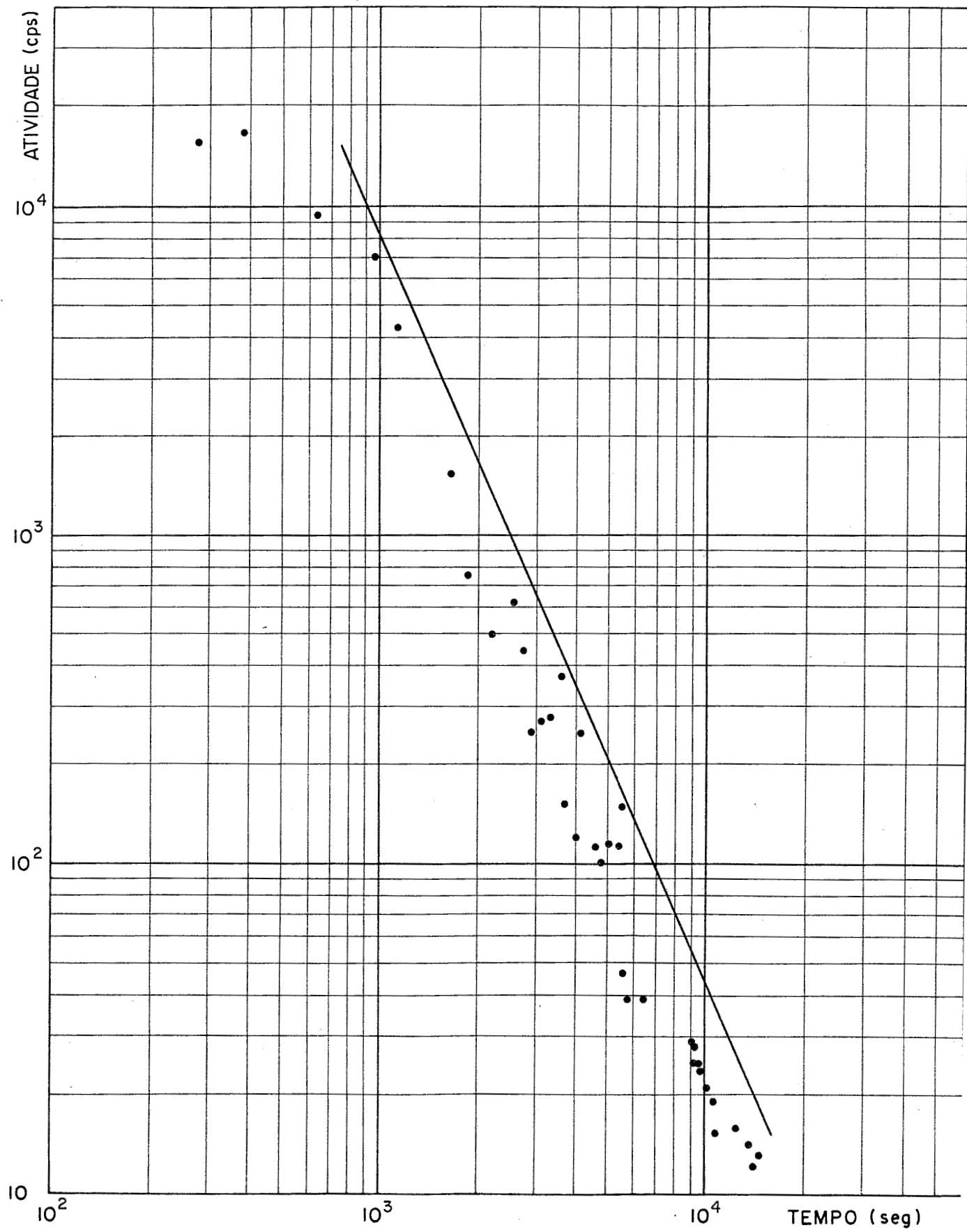


FIGURA 5.9

GRÁFICO DA CONTAGEM MÁXIMA VERSUS TEMPO - 4d. DETECÇÃO

A nem todos os pontos dos gráficos acima foi conferido o mesmo peso no traçado da envoltória. Aos pontos com atividades máximas aparentemente insuficientes não se conferiu tanta importância, pois pode ter se dado o caso em que o ponto mais ativo da nuvem não tenha sido atingido durante a navegação. Os coeficientes angulares das retas foram:

Detecção	Coefficiente Angular
1a.	- 1.29
2a.	- 1.18
3a.	- 1.62
4a.	- 2.13

Embora admita-se um certo grau de subjetividade nestas retas, pode-se afirmar que as respectivas inclinações agrupam as três primeiras detecções numa categoria distinta da quarta.

Com base nestes resultados julgou-se justificável do representar as três primeiras detecções pelo modelo fickiano (para o qual a declividade deveria ser igual a -1 ou -1.5). A terceira detecção indica claramente um fenômeno mais próximo da dispersão tridimensional. Como não foram obtidos suficientes dados de atividade em profundidade (o que seria de qualquer maneira difícil, mesmo com correntes muito mais fracas que as do Rio Negro), optou-se por também representar a terceira detecção por um modelo bi-dimensional. Com este procedimento fica-se do

lado da segurança pois, inibindo-se a dispersão vertical, os resultados de diluição serão conservativos.

A quarta detecção foi representada pelo modelo de Joseph e Sendner (ao qual corresponderia uma declividade igual a -2). Isto comprova as observações anteriores de que os fenômenos que atuaram sobre a mancha foram diferentes nesta quarta detecção.

O modelo de Joseph e Sendner difere do modelo fickiano com respeito ao estágio do processo de dispersão em que são aplicáveis (vide Apêndice 3). O modelo de Joseph e Sendner caracteriza um processo de dispersão ainda no estágio inicial no qual o tamanho das manchas é muito inferior ao do tamanho médio dos vórtices do fluxo turbulento. O fato de que ele se tenha aplicado à quarta injeção indica que o mecanismo de dispersão foi nela qualitativamente diferente (deve-se ressaltar que o ajuste das concentrações calculadas pelo modelo às concentrações medidas foi muito bom). As razões para isto somente podem ser aqui especuladas. É possível que na região atravessada pela mancha o padrão de circulação, com correntes de intensidades inferiores às do canal, exiba grandes vórtices que provoquem algum grau de recirculação. O contorno da margem esquerda e a topografia do fundo, de fato, podem abrigar esta região da ação do fluxo principal e favorecer a formação de vórtices com uma escala maior do que os vórtices do canal. Foram observadas, por exemplo, nas proximidades da margem esquerda, correntes fracas em oposição à direção do fluxo principal do rio. O comportamento dos agentes hidráulicos no dia desta detecção pode ter sido outro fator. Estas hipóteses poderiam ser veri

ficadas, caso desejado, com flutuadores.

5.2.4 Coeficientes de dispersão

Os valores dos coeficientes, determinados conforme os métodos descritos no Apêndice 1, são apresentados na tabela 5.2.

Os valores de D_y e p nesta tabela foram obtidos nos vários cruzamentos da mancha. σ , o desvio padrão, indica a dispersão dos valores em torno da média.

Os valores de D_y são relativamente baixos dentro da escala comumente observada em rios não sujeitos à influência da maré, para os quais a literatura indica valores na faixa de 0.01 a 10 m²/s, enquanto que no oceano estes valores caem na faixa de 0.1 a 0.5 m²/s⁽⁴⁾. Os valores da tabela 5.2 indicam uma tendência para a diminuição da dispersão no trecho do canal, o que poderia ser atribuído a menores gradientes transversais de velocidade dentro da faixa do canal. A obtenção de três valores no último trecho (dia 01/07/80) também não é de estranhar dado que a detecção neste dia cobriu uma distância muito maior do que nos outros. Deve-se porém levantar aqui uma palavra de precaução a respeito de julgamentos com base nestes valores. É que eles estão sujeitos a uma série de deficiências do método experimental e da própria teoria sobre a qual se baseiam os modelos; devem portanto ser considerados apenas como ordens de grandeza, úteis para fins de engenharia.

Detecção	Domínio (m)	Coordenada UTM-E do Limite a Jusante	Parâmetro de Dispersão	σ
24/06/80	0-6000	810000 E	$D_y = 0.11 \text{ m}^2/\text{s}$	0.056 m^2/s
29/06/80	6000-12500	816500 E	$D_y = 0.04 \text{ m}^2/\text{s}$	0.019 m^2/s
	12500-14000	818000 E	$D_y = 0.03 \text{ m}^2/\text{s}$	0.017 m^2/s
01/07/80	14000-16500	820000 E	$D_y = 0.09 \text{ m}^2/\text{s}$	0.065 m^2/s
	16500-24000	827000 E	$D_y = 0.25 \text{ m}^2/\text{s}$	0.065 m^2/s
04/07/80	0-13500	812000 E	$p = 0.0067 \text{ m/s}$	0.0027 m/s

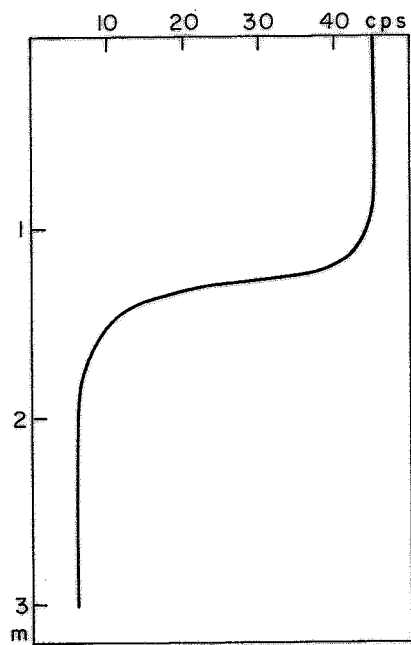
TABELA 5.2 - Parâmetros de dispersão obtidos com os testes de traçador

Os valores encontrados para a velocidade de difusão, p , estão na média da faixa de magnitudes citada pela literatura: 0,002 a 0,015 m/s^(4, 5).

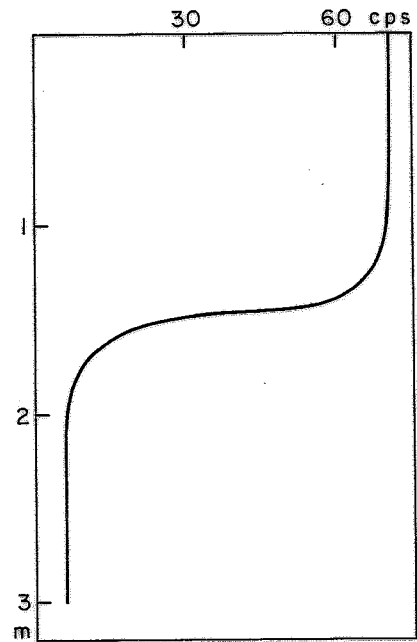
5.2.5 Profundidade do campo

Nos itens anteriores foram apresentados os valores dos parâmetros necessários para o cálculo dos fatores de diluição de acordo com as equações (3-3.13) e (3-3.14). O único dado que resta é a profundidade, d . As medidas em profundidade estão apresentadas na figura 5.10.

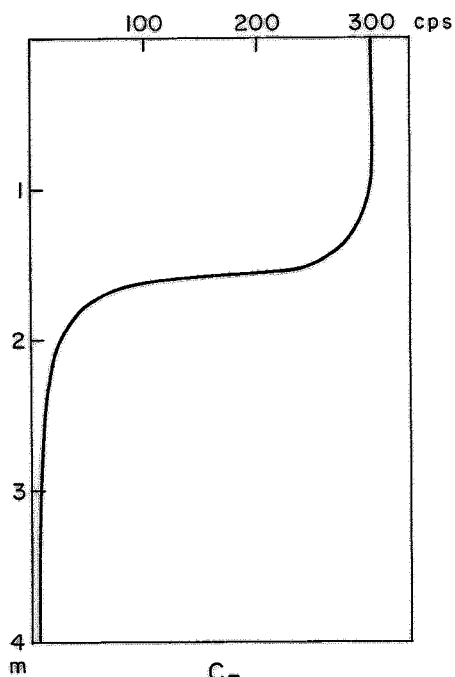
Os perfis indicam em valor de $d = 1,5\text{m}$ para as três primeiras detecções e $d = 4,5\text{m}$ para a quarta detecção. Como já foi mencionado estes valores são aproximações pouco precisas, devido à dificuldade em se localizar o local exato das concentrações máximas nas manchas em rápido movimento. Este problema foi mais crítico nas três primeiras detecções. Uma perfilagem no ponto exato da máxima concentração poderia fornecer valores superiores a 1,5m, mas nunca inferiores pois a sonda fixa utilizada em todo rastreamento estava situada a 1m de profundidade e o raio infinito para o Br^{82} (distância a partir da qual uma fonte de radioisótopo não mais seria detectada pela sonda) é superior a 0,5m. O valor de d adotado é portanto conservativo para fins de cálculo de diluição.



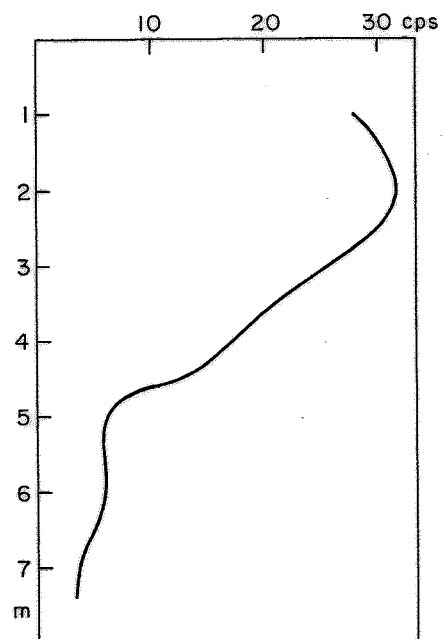
C₁



C₂



C₃



ME

FIGURA 5.10

DISTRIBUIÇÃO EM PROFUNDIDADE DO TRAÇADOR

C₁, C₂, C₃ - Perfis no canal

ME - Perfil perto da margem esquerda (4a. detecção)

5.3 Diluição dos Efluentes

Os fatores de diluição que seriam obtidos no rio com uma descarga contínua à vazão unitária $q = 1 \text{ m}^3/\text{s}$ de poluentes conservativos são indicados nas figuras 5.11 e 5.12.

Observa-se que os campos de poluente consistirão de faixas estreitas em que se obterá baixas concentrações para posições afastadas do eixo de transporte. Este padrão indica uma situação em que a influência da advecção é muito superior à da dispersão transversal. Uma maneira de se quantificar estas influências relativas é por meio do fator H que representa a razão entre as duas taxas de transporte:

$$H = \frac{\text{taxa de dispersão}}{\text{taxa de advecção}} = \frac{D_y \frac{\partial C}{\partial y}}{\bar{u}C} = \frac{D_y}{\bar{u}} \frac{\partial (\ln C)}{\partial y}$$

(5.3-1)

Para $H > 1$ a dispersão dominará, enquanto que para $H < 1$ a advecção terá maior influência. Em face dos valores dos parâmetros mencionados na tabela 5.2 e dos valores da derivada, que podem ser estimados nas figuras 5.11 e 5.12, é fácil verificar que $H \ll 1$.

Isto tem uma consequência importante para futuros trabalhos experimentais: fica patente que tais traba

lhos deverão se concentrar no estudo da advecção. Assumi
rá maior importância o estudo da trajetória do eixo do
transporte, os fatores que a determinarão e o decaimento
das concentrações ao longo daquele eixo. (Entretanto, nas
condições em que o material tender para a margem esquer
da, esta assertiva deve ser considerada com maior reser
va, pelas razões expostas na seção 5.2).

As concentrações no eixo da mancha - corresponde
ntes às menores diluições - são mostradas nas figuras
5.14 e 5.15. Para o modelo fickiano estas concentrações
podem ser obtidas fazendo-se $y = 0$ na equação (3-3.13) para
obter

$$\Phi(x, 0) = \Phi_{\min} = \frac{q C_0}{2d \sqrt{HD_y \bar{u} x}} \quad (5.3-2)$$

Na impossibilidade de se prever a posição exata
do eixo, em condições diferentes das observadas durante
as medições, pode-se pelo menos prever que a diluição que
será obtida, numa seção à distância x do local do lança
mento, será igual ou superior a Φ_{\min} .

O efeito das variações dos parâmetros sobre a
diluição pode ser facilmente estimado pela equação
(5.3-2). Supondo que os parâmetros variem dentro das fai
xas de valores abaixo - que podem ser consideradas bastan
te amplas:

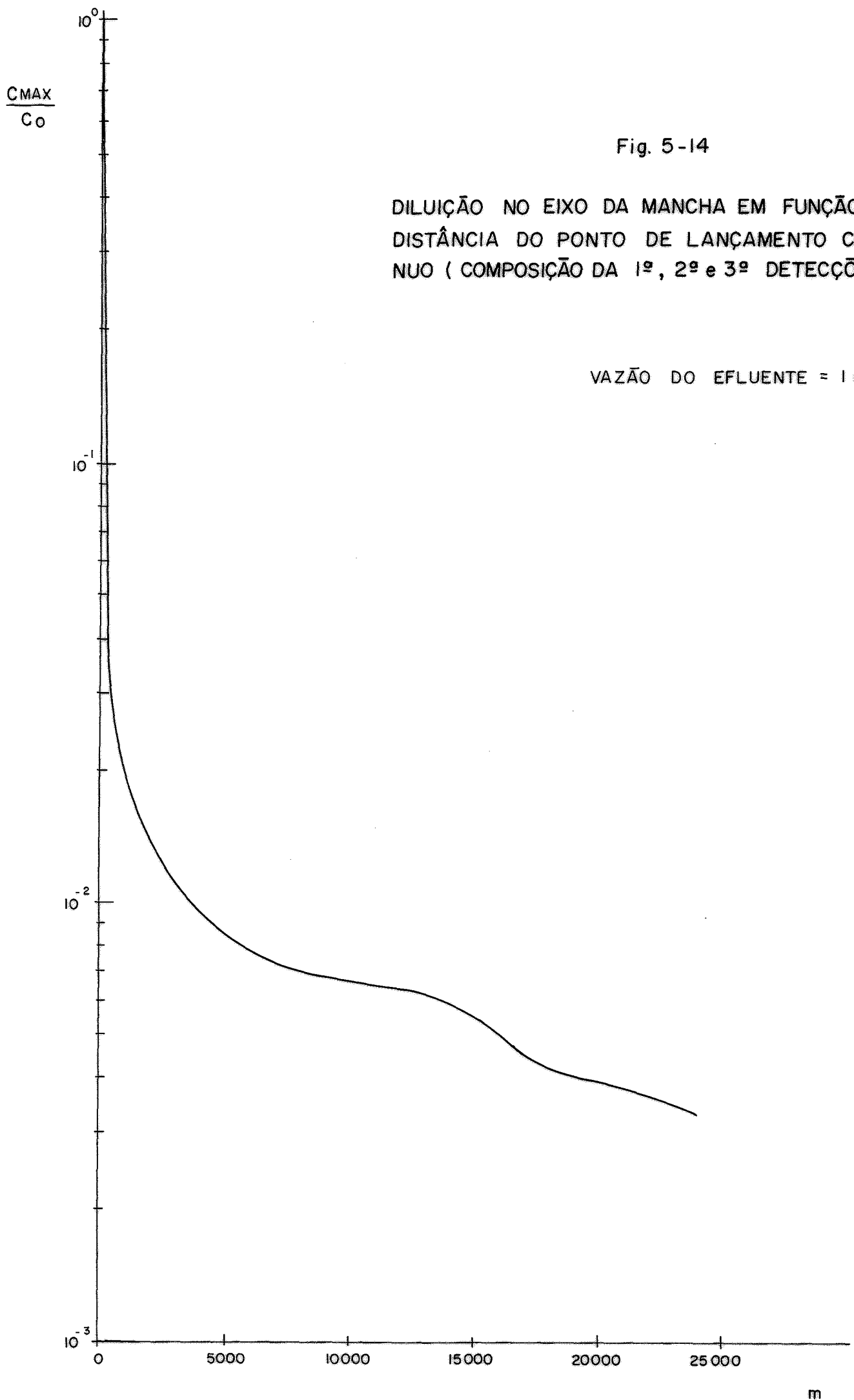
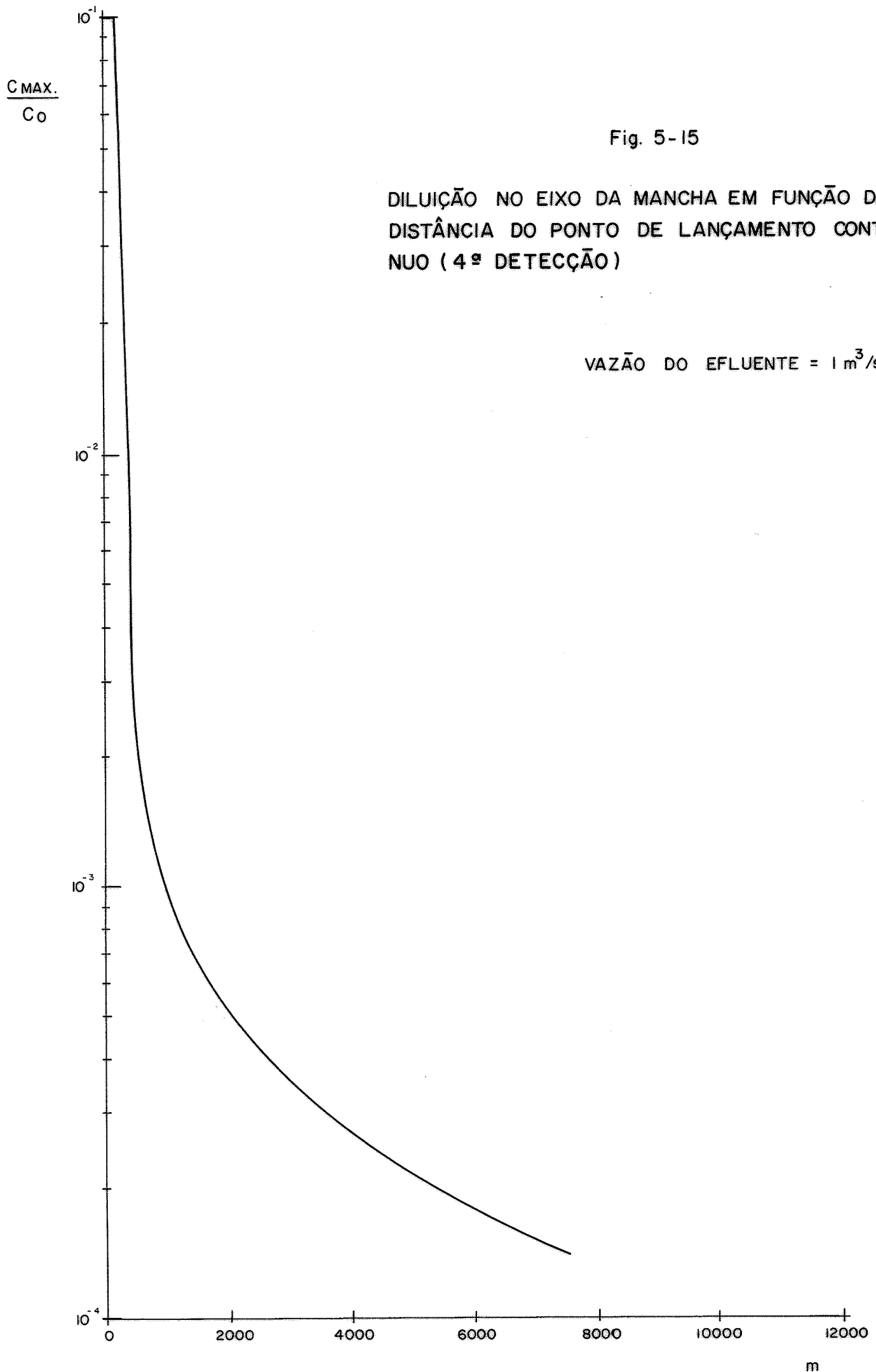


Fig. 5-14

DILUIÇÃO NO EIXO DA MANCHA EM FUNÇÃO DA DISTÂNCIA DO PONTO DE LANÇAMENTO CONTÍNUO (COMPOSIÇÃO DA 1ª, 2ª e 3ª DETECÇÕES)

VAZÃO DO EFLUENTE = $1 \text{ m}^3/\text{s}$



$$1\text{m} < d < 10\text{m}$$

$$0.01 \text{ m}^2/\text{s} < D_y < 0.5 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$0.3 \text{ m/s} < \bar{u} < 1.0 \text{ m/s}$$

Os valores da diluição no eixo da mancha varia
rão entre os extremos:

$$5.15 \frac{W}{\sqrt{x}} < \phi_{\min} < 0.04 \frac{W}{\sqrt{x}}$$

onde $W = q C_0$ é a vazão mássica do poluente.

5.4 Análise Simplificada de Dados de Vento em Ma naus, no Período Experimental

Os trabalhos de campo cobriram o período entre 23/06/80 e 04/07/80. Para este período, dados de vento foram obtidos no Serviço Regional de Proteção ao vôo de Belém. O registro destes dados fôra efetuado pelo Dest
camento de Proteção ao Vôo Eduardo Gomes, sediado no aero
porto de Manaus. Eles constam de:

- a. Dados horários de vento (velocidade e dire
ção) para o período entre 01/07/80 e
10/07/80.
- b. Dados sobre valores máximos diários e valo

res médios diários de vento para todo o mês de junho de 1980.

- c. Dados sobre velocidades médias mensais, velocidades máximas mensais e direções predominantes para o ano de 1979.
- d. Dados sobre velocidades médias mensais, velocidades máximas mensais e direções predominantes para o período janeiro a junho de 1980.

Os dados mais importantes referentes ao mês de junho de 1980 são resumidos a seguir:

- a. A velocidade média do vento ao longo do mês foi de 6 nós. A direção predominante foi de 50° .
- b. A velocidade máxima observada no período foi de 14 nós, em uma direção de 80° . Foi também calculada a velocidade média das máximas, que foi de 7,4 nós, a uma direção de 90° . A direção em que ocorreram ventos máximos com maior frequência foi de 60° , com 30% de ocorrência; em seguida, vêm as direções de 90° e 120° , com 20% de ocorrência e a de 180° , com 10% de ocorrência.

Os dados sobre velocidades máximas são resumidos em dois gráficos: frequência de ocorrência de velocidades máximas por direção (figura 5.16) e média das velo

idades máximas por direção (figura 5.17). É interessante notar-se que as velocidades máximas ocorreram todas entre as direções 0° e 180° .

Comparando estes dados com os referentes a junho de 1979, os dados para aquele mês indicam a ocorrência de vento máximo de 20 nós; a velocidade média em junho de 1979 foi de 6 nós e a direção predominante de 90° . Em junho de 1980, observou-se a mesma velocidade média que no ano anterior, 6 nós, sendo a direção predominante de 50° . Como já foi observado, em junho de 1980, a velocidade máxima foi de 14 nós.

Os diagramas das figuras 5.16 e 5.17 confirmam a informação da A.P.M. que as águas do Rio Negro sofrem um represamento nesta época do ano, que contribui para a elevação do seu nível.

No final de junho, foram realizados 2 lançamentos de traçador radioativo, e 3 acompanhamentos de flutuadores, assim distribuídos:

Fig. 5-16

FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DE VELOCIDADES
MÁXIMAS POR DIREÇÃO (junho de 1980)

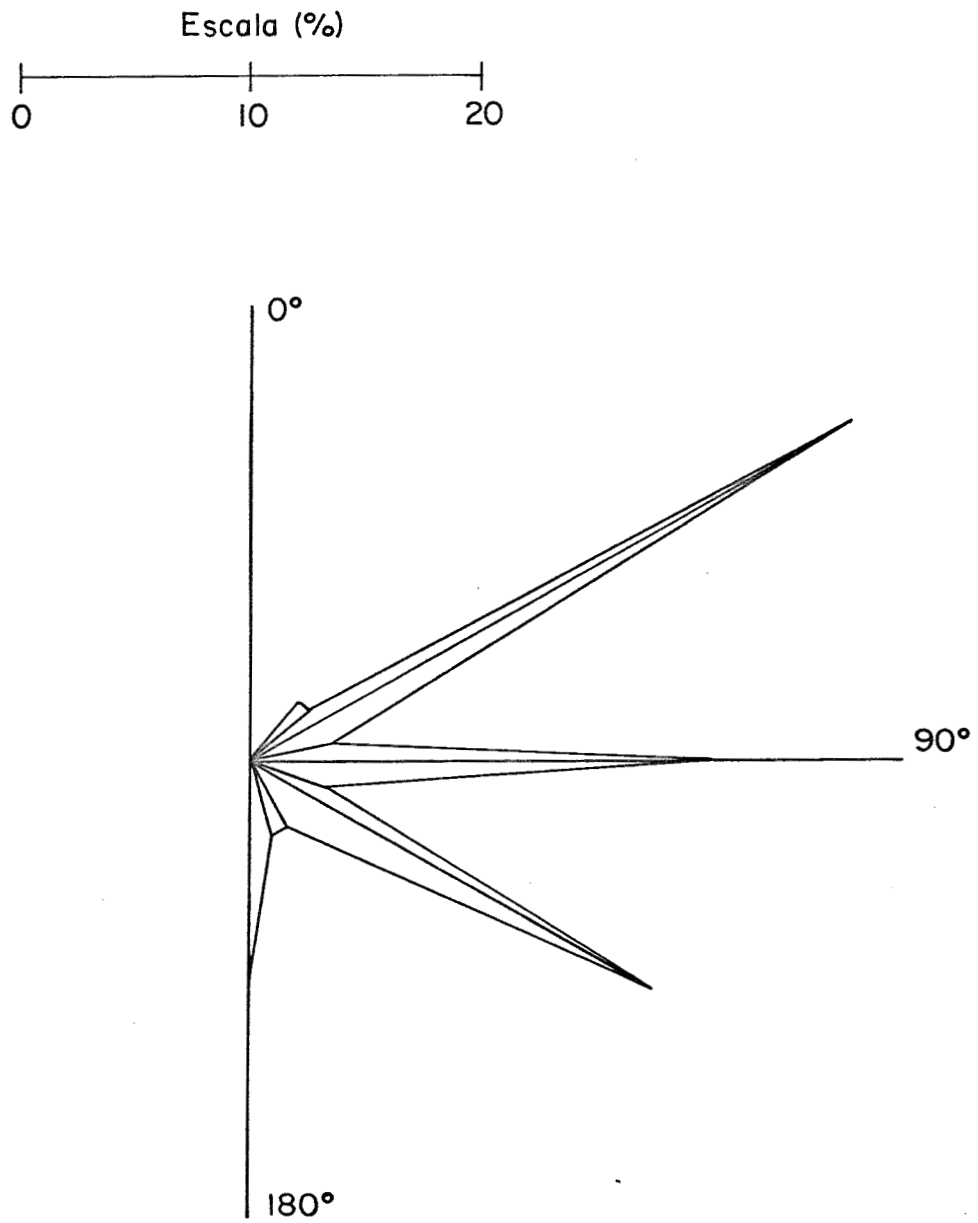
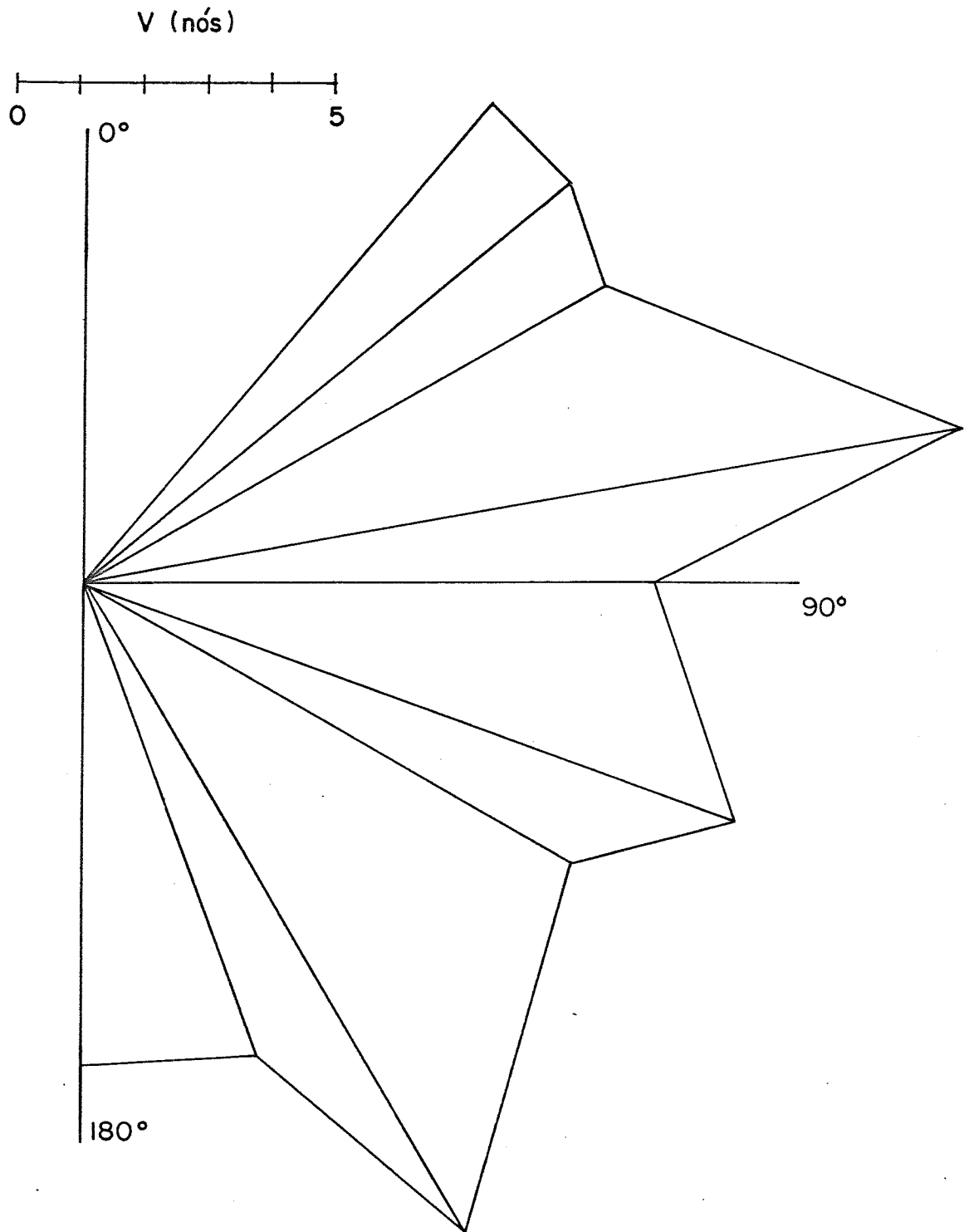


Fig. 5-17

MÉDIA DAS VELOCIDADES MÁXIMAS POR DIREÇÃO (junho de 1980)



Data	Tipo de Trabalho	Velocidade Média do Vento (nós)	Velocidade Máxima do Vento (nós)	Direção da Velocidade Máxima
23/06/80	F	05	07	60°
24/06/80	T	06	10	50°
25/06/80	F	07	12	150°
27/06/80	F	06	08	90°
29/06/80	T	06	08	180°

A velocidade média no período experimental manteve-se razoavelmente constante. A maior interferência com o trabalho executado ocorreu em 29/06/80, quando a direção do vento durante o trabalho experimental causou agitação suficiente, nas águas do Rio Negro ("banzeiro"), para obrigar a paralisação das medições. Aparentemente, o vento não causou grande interferência nas medições realizadas a flutuador.

No dia 23/06/80 a direção do vento fez um ângulo de cerca de -45° com a do fluxo da água. Pode-se observar na figura 4.1 que neste dia o flutuador de 1m caminhou mais para a margem direita, em relação ao de 7m. A direção do vento influiu nesta divergência.

No dia 25/06/80 o vento fez um ângulo de $+45^{\circ}$ com a direção do fluxo. Nota-se que neste caso a influência do fluxo foi dominante e a divergência entre as direções dos flutuadores foi pequena. Mas o flutuador de 1m

ficou para trás do de 7m, indicando a ação do vento sobre a camada superior.

No dia 27/06/80 a direção do vento foi aproximadamente oposta à do fluxo mas não houve muita divergência no caminho dos flutuadores. O flutuador de 1m ficou ligeiramente atrasado e mais próximo da margem direita. Entretanto, a diferença de velocidades, como foi mencionado no capítulo 4, nunca foi muito grande.

O caminhamento dos traçadores em direção à margem direita no dia 24/06/80 pode ter sido auxiliado pelo vento dirigido de 50° . Já o caminhamento ao longo do canal no dia 29/06/80 aparentemente não foi defletido pelo vento de 180° .

A seguir são comentados os dados referentes a julho de 1980. Para o período de 01/07 a 10/07/80, dispunha-se de dados horários de vento.

Um dado que aparece imediatamente é a existência de um período de calmaria que ocorre entre a meia-noite e as 9 horas da manhã. É também frequente a ocorrência de ventos do quadrante sul por volta do meio-dia. Em 4 e 5 de julho, que foram os dias com maior ocorrência de ventos, ventos entre 170° e 210° sopraram quase continuamente.

Devido ao horário de execução do trabalho experimental e à ocorrência habitual de calmaria até às 09:00 horas, calculou-se a média vetorial dos ventos dos dez primeiros dias de julho para o período entre 09:00 horas

e 17:00 horas.

Os dados são apresentados na tabela abaixo, a qual mostra também os trabalhos experimentais realizados no período.

Velocidade Média de Ventos entre 09:00 e 17:00 horas

Data	Trabalho Executado	Velocidade Média (nós)	Direção (graus)	Velocidade Máxima (graus)	Direção (graus)
01/07/80	F	4.7	170	10	180
02/07/80	T	1.6	165	6	180
03/07/80		8.6	180	12	180
04/07/80	T	7.8	190	12	190
05/07/80		3.2	180	7	190
06/07/80		0.5	180	5	180
07/07/80		2.9	140	12	090
08/07/80		2.7	180	5	210
09/07/80		2.6	155	6	variável
10/07/80		4.3	105	8	130

Observa-se que, no início do período, dominou o

vento do quadrante sul. A detecção do dia 04/07/80 foi realizada sob alguma agitação das águas do Rio Negro, sem que isto prejudicasse, entretanto, o trabalho experimental.

A direção do vento no dia 01/07/80 explica porque a direção do flutuador de 1m divergiu acentuadamente em direção à margem esquerda.

No período em que foi executada a detecção do dia 02/07/80 (após 13:00h) observou-se quase completa calma e o fluxo da água controlou completamente a direção do transporte.

Já no dia 04/07/80 a direção do vento de 190° e a sua intensidade durante a detecção seguramente tiveram um efeito muito importante. Foi justamente neste dia que o traçador deixou de se encaminhar para a margem direita e divergiu da direção do canal. Deve-se, portanto, incluir a ação do vento às causas já aventadas para o comportamento observado neste dia.

Esta comparação simples entre o comportamento dos ventos, de um lado, e o dos flutuadores e do traçador, do outro, permite uma apreciação sobre a influência do vento no transporte na camada de água superior.

É ilustrativo comparar as condições obtidas durante a campanha com as que predominam em outras épocas do ano. A figura 5.18 mostra o diagrama dos ventos resultantes mensais durante o período de janeiro de 1979 a junho de 1980.

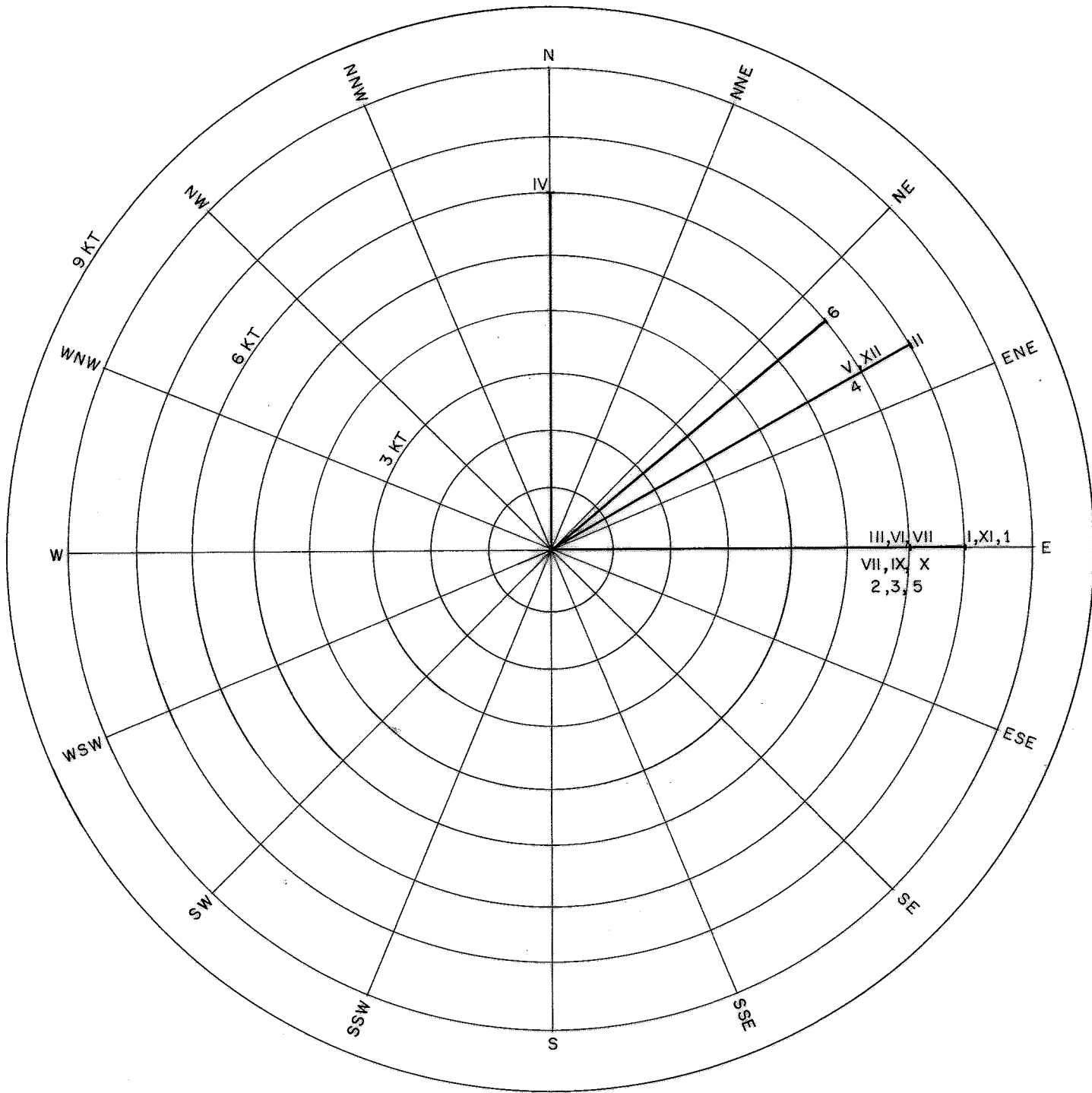


Fig. 5 -18

VENTOS MÉDIOS MENSAIS (JAN./79 a JUN./80)- Os algarismos romanos correspondem aos meses de 1979 e os árabes aos meses de 1980

Pode-se observar que tanto em intensidade como em direção, os ventos não variam muito nesta região. Concentram-se praticamente apenas no setor NE a E, com frequência mais acentuada para os ventos de E e velocidades entre 6 e 7 nós. Quanto aos ventos, a época do trabalho foi portanto representativa.

É interessante mencionar que a oposição entre os fluxos de ar e água favorece uma maior intensidade de turbulência na camada de água superficial. Mesmo assim, a dispersão é muito menos influente do que a advecção no rio.

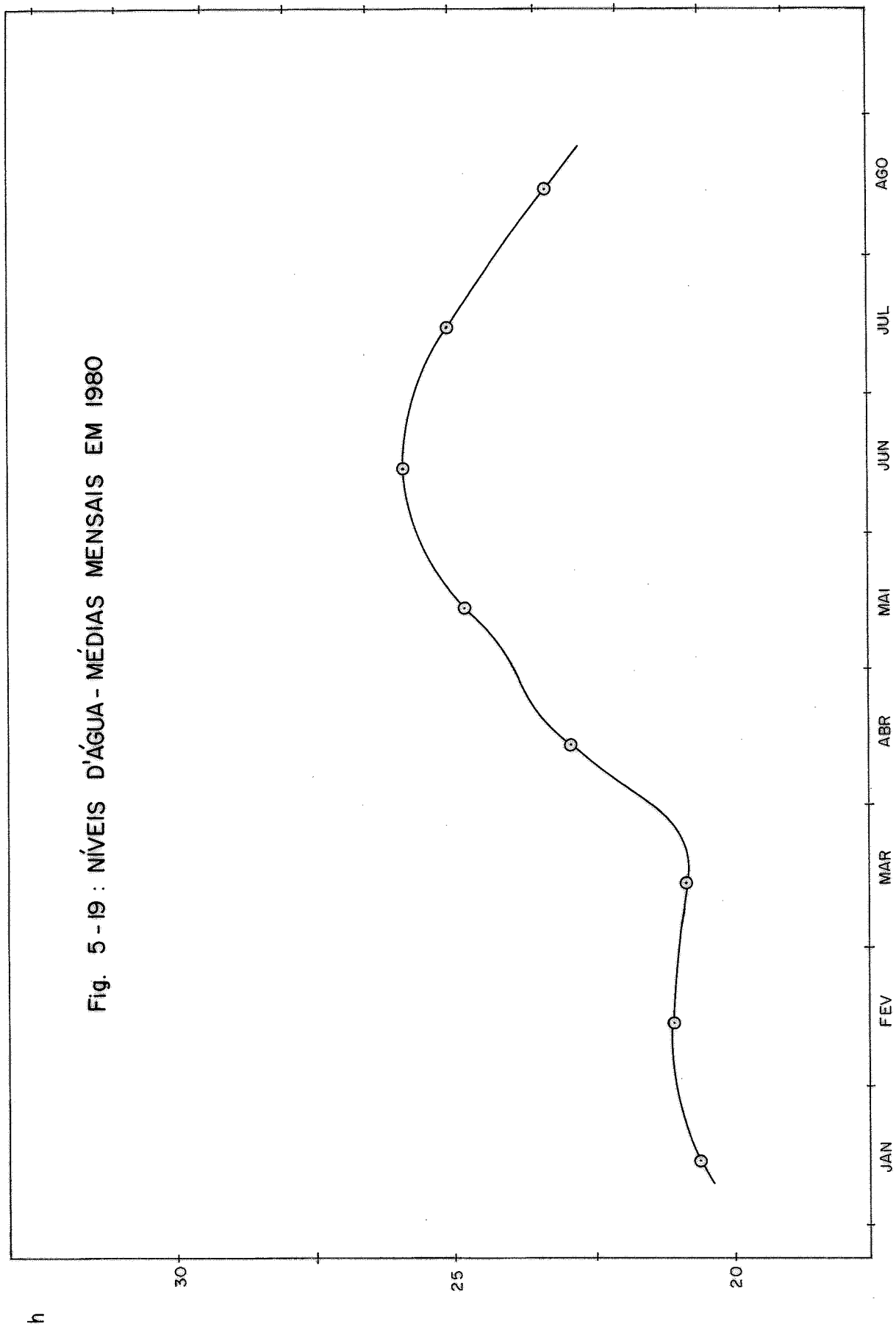
5.5 Níveis d'Água

A variação dos níveis d'água no Rio Negro no período de janeiro a agosto de 1980 foi fornecida pela PORTOBRAS e está plotada na figura 5.19.

Comparando este gráfico com as médias no período de 1925 a 1978 e a variação prevista para 1980 (Apêndice 5), observa-se que, no corrente ano, os níveis demoram mais a subir e o nível máximo foi inferior. Porém, a previsão de níveis máximos para fins do mês de junho foi aproximadamente confirmada.

O trabalho realizou-se pois quando o nível estava começando a baixar e cobriu portanto uma condição hidrológica extrema.

Fig. 5 - 19 : NÍVEIS D'ÁGUA - MÉDIAS MENSAIS EM 1980



6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As conclusões parciais dispersas pelos capítulos anteriores são agora destacadas em conjunto. Também são assinaladas as recomendações que delas se depreendem.

- i. A direção preferencial do transporte ad vectivo, no centro da secção do porto pla nejado, é no sentido da margem direita, onde se situa o canal.
- ii. O canal atua como um guia de correntes. O material que foi conduzido para a proximi dade da margem direita, flui pelo canal até as proximidades da Ilha do Camarão.
- iii. Neste ponto, onde o canal sofre uma expan são, a tendência do material é continuar a fluir mais próximo da margem direita e passar distante da tomada de água da COSA MA.
- iv. O material lançado na secção do porto pla nejado, a meia distância entre o centro do rio e a margem esquerda, pode, sob cer tas condições, divergir do canal e pene trar na região de menores profundidades que ali existe (figura 5.1). Este é um comportamento desfavorável e deve-se ten tar evitá-lo.

- v. O transporte advectivo é muito mais importante do que a dispersão, principalmente no trecho do canal ao longo da Ilha do Camaleão.
- vi. Se o material penetrar na região de baixas profundidades, próxima à margem esquerda, a advecção ainda é mais importante. Mas o teste com traçadores indicou que a escala da turbulência é aidiferente, enquanto que observações visuais revelaram circulação em sentido contrário ao do fluxo principal, próximo da margem esquerda.
- vii. A região próxima à margem esquerda precisa ser mais bem estudada, pois é possível que constitua uma região morta, ou de baixa taxa de troca, com o fluxo principal. Se isto for verdade, o material que nela penetrar poderá, acumulando-se, provocar concentrações superiores à do resto do rio. Como os dados obtidos ainda são insuficientes para uma afirmação definitiva a este respeito, seria necessário pesquisá-la melhor.
- viii. Como a advecção prepondera, os estudos com flutuadores poderão ser muito valiosos, desde que se consiga mitigar, ou corrigir, o efeito dos ventos.

- ix. Os ventos do quadrante leste predominaram, com velocidades médias de 6 a 7 nós. Ventos de norte e sul também ocorrem, com menor frequência. A ação deles costuma provocar uma desaceleração do fluxo da camada de água superior. Assim, em algumas ocasiões, foi observado um atraso do flutuador a 1m em relação ao de 7m. Os ventos também tendem a provocar agitação das águas superficiais, que frequentemente se tornam violentas ("banzeiro"). Por esta razão, não foi medida a dispersão nestas ocasiões. Com uma embarcação maior, estas medições poderiam ser efetuadas em tais períodos de extrema agitação.
- x. Na época da seca, as correntes fluviais deverão ser menos fortes. Como os ventos pouco variam, a influência deles deverá ser relativamente maior nesta época. Deste modo, a turbulência por eles provocada poderá conferir maior importância à dispersão no período da estiagem. Isto pode caracterizar a necessidade de se repetirem os estudos em período de águas baixas.
- xi. O fenômeno na região do canal foi aproximadamente bidimensional. As medidas em profundidade, se bem que reconhecidamente precárias, não indicaram a presença

de traçador abaixo de 1,5m de profundidade. A difusividade vertical é, portanto, pequena. Isto indica perfis de velocidade homogêneos, tais como os que foram observados nas medições a correntômetros na área Alfa. (A literatura⁽⁴⁾ indica que os coeficientes de dispersão vertical são uma ordem de grandeza menor que os transversais).

- xii. Mesmo se considerando as diluições relativamente altas, que foram observadas, pode-se indicar que o sistema de descarga deveria maximizar a diluição inicial por meio de um projeto que assegurasse grande diluição inicial. Desta maneira descargas superficiais, por meio de canais, próximas à margem, seriam menos aconselháveis. De preferência, a descarga deveria ser feita através de um emissário submerso dispondo de um difusor em sua extremidade. O difusor já possibilitará um espalhamento transversal desde o início. O lançamento submerso evitará que a água poluída - que pode ficar confinada à camada superficial, devido à baixa dispersividade vertical - seja muito influenciada pela ação dos ventos, que pode transportá-la para regiões indesejáveis. O local de lançamento ideal seria o mais próximo possível da margem direita.

xiii. Os resultados apresentados neste estudo cobrem apenas as condições de níveis máximos d'água. Para a caracterização das condições de estiagem, as medições deveriam ser repetidas. A finalidade principal do estudo foi a observação das condições ao longo do extenso trecho de cerca de 24km desde o local para o futuro porto até a tomada d'água da COSAMA. Caso o projeto se efetive, os estudos deveriam se concentrar na região próxima ao futuro porto, para se obter uma melhor estatística dos resultados com traçadores sob várias condições.

xiv. Sucintamente, o estudo mostrou que:

a. para um lançamento no centro do rio na secção do porto planejado, o material se comporta da seguinte maneira:

1 - numa fase inicial, é transportado para as proximidades da margem direita, a uma alta velocidade e dispersividade moderada.

2 - a seguir é transportado no trecho estreito do canal, a uma velocidade menos elevada e com dispersividade muito baixa.

3 - ao se expandir o canal, a velocidade torna a cair e a dispersividade aumenta, mas as trajetórias

mantêm-se próximas da margem di
reita; o material passa pela sec
ção da tomada d'água muito afasta
do da casa das bombas.

- b. para um lançamento a meia distância
entre o centro do rio e a margem es
querda, ficou demonstrada a possibili
dade do material penetrar na zona de
profundidades mais baixas à esquerda
do canal. Nesta região, apesar das
taxas iniciais de diluição terem se
revelado maiores, constatou-se um me
canismo diferente de turbulência, o
que indica a possibilidade de ocorrer
recirculação de parte do material nu
ma descarga contínua.

xv. Com base nos resultados obtidos até ago
ra, os estudos com traçadores que nos pa
recem mais recomendáveis numa fase futu
ra são, em ordem aproximada de priorida
de:

- a. estudos durante as condições de es
tiagem.
- b. estudos mais detalhados na secção do
porto planejado, e na região de meno
res profundidades próxima à margem
esquerda, a jusante da secção do por
to planejado.

c. estudos na região a montante da Ilha do Camarão, onde o canal se expande.

O transporte na região estreita do canal, aproximadamente entre a Paricatuba e a Ilha do Camarão, caracterizou-se como paralelo ao eixo do canal e com baixa dispersividade. Nesta região, medidas convencionais deverão ser suficientes para a obtenção de informações adicionais, caso desejado.

REFERÊNCIAS

- [1] MONTEIRO DE CASTRO, J.O.N.; RENNÔ, M.G.; MOREIRA, R.M. - "Tracer measurement and Analysis of Pollution in Streams" - CDTN/NUCLEBRÁS (1977).
- [2] AUN, P.E., et al. - "Relatório Final sobre a Viabilidade de Novas Áreas de Dragagem na Região de Santos" - IPR (CDTN)/NUCLEBRÁS (1974).
- [3] AUN, P.E., et al. - "Estudo de Novos Locais de Despejo de Dragagem no Porto de Recife: Movimento de Sedimento em Suspensão" - CDTN/NUCLEBRÁS (1978).
- [4] ODGAARD, J. - "Dispersion Models", W.H.O. Training Course on Coastal Pollution Control, Copenhagen (1971).
- [5] OKUBO, A. - "A Review of Theoretical Models of Turbulent Diffusion in the Sea". Chesapeake Bay Institute, Johns Hopkins University, Tech. Report 30 (1962).

APÊNDICE 1

OS MODELOS DA DISPERSÃO

APÊNDICE 1

OS MODELOS DA DISPERSÃO

A.1 Modelo Fickiano

Supondo um traçador sendo transportado por uma corrente turbulenta e exibindo gradientes de velocidade e fazendo-se um balanço de massa, obtem-se:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial C}{\partial x} = D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2}$$

(A-1.1)

O segundo termo do lado esquerdo representa o transporte advectivo e os termos do lado direito representam a dispersão nas direções longitudinal e transversal, respectivamente.

Algumas suposições menos evidentes na forma da equação (A-1.1) foram feitas no seu desenvolvimento e precisam ser explicitadas:

- a. a velocidade \bar{u} na direção do transporte advectivo (eixo dos x) representa na realidade uma média espacial, dado que sempre ocorrem gradientes transversais e verticais da velocidade. Além disto \bar{u} foi suposta cons

tante, espacial e temporalmente.

- b. os coeficientes D_x e D_y englobam não somente a difusão turbulenta (provocada pelos turbilhões). Englobam também, o que é mais importante, o efeito dos gradientes de velocidade. Velocidades variáveis no espaço, ao transportar o traçador mais ou menos rapidamente dependendo da região, provocam uma deformação da mancha que representa uma dispersão (comumente muito mais intensa do que a difusão turbulenta). A dispersão foi suposta diretamente proporcional aos gradientes de velocidade (lei de Fick), em analogia com a difusão molecular, e as constantes de proporcionalidade, os coeficientes D_x e D_y , supostos constantes no tempo e no espaço.
- c. supôs-se o misturamento vertical completado na camada, de espessura d , onde se distribui o traçador. Deste modo não aparece um termo em z no lado direito da equação (A-1.1).

As suposições no item b não são óbvias. Na realidade a dispersão passa por diversas fases e escalas, à medida que a mancha se expande, abrangendo torvelinhos cada vez maiores. Eventualmente o fenômeno atingirá uma escala em que a lei de Fick passa a ser uma suposição adequada. Na prática este modelo tem representado com sucesso um grande número de observações com traçadores, mas é sempre necessário verificar a sua aplicabilidade em cada

caso particular, empregando-se o teste descrito no capítulo 3.

Quando o modelo fickiano for válido, uma injeção instantânea e puntual de traçador resultará numa distribuição espacial de concentrações aproximadamente igual à solução da equação (A-1.1), para as condições de contorno que representam o pulso injetado:

$$C(x,y,t) = \frac{M}{4\pi d t \sqrt{D_x D_y}} \exp \left[-\frac{(x - \bar{u}t)^2}{4D_x t} - \frac{y^2}{4D_y t} \right] \quad (A-1.2)$$

Supondo que a embarcação transportando o detector atravessasse a mancha do traçador numa trajetória passando pelo seu baricentro e perpendicular ao fluxo, obter-se-á $x = \bar{u}t$ e a equação acima se reduz a:

$$C(y,t) = \frac{K}{t \sqrt{D_y}} \exp \left(-\frac{y^2}{4D_y t} \right) \quad (A-1.3)$$

onde K é uma constante. A determinação do coeficiente de dispersão consiste então em escolher os valores para D_y e K que melhor ajustem $C(y,t)$ calculado pela equação acima às concentrações do traçador medidas na detecção. Para isto usa-se o método dos mínimos quadrados que escolhe, por um processo de tentativa e erro, os valores de D_y e K que minimizem a soma dos quadrados das diferenças entre os valores calculados $C(y_i,t)$ e os medidos R_i :

$$S = \sum_i \left[R_i - \frac{K}{t \sqrt{D_Y}} \exp \left(- \frac{y_i^2}{4D_Y t} \right) \right] \quad (\text{A-1.4})$$

onde o sub-índice i indica que se trata de valores discretos, tais como são obtidos nas medições. S é minimizado quando:

$$\frac{\partial S}{\partial K} = 0 \quad \text{e} \quad \frac{\partial S}{\partial D_Y} = 0 \quad (\text{A-1.5})$$

A solução deste sistema de equações é:

$$E_i = \exp \left(- \frac{y_i^2}{4D_Y t} \right) \quad (\text{A-1.6})$$

$$\sum_i E_i^2 \sum_i R_i E_i y_i^2 = \sum_i R_i E_i \sum_i E_i^2 y_i^2 \quad (\text{A-1.7})$$

$$K = \sqrt{D_Y} \left(\frac{\sum_i R_i E_i}{\sum_i E_i^2} \right) \quad (\text{A-1.8})$$

Sendo D_Y a única incógnita na equação (A-1.7), a sua solução fornecerá diretamente o valor do coeficiente de dispersão. Porém, tratando-se de uma equação trans

cidental, sua solução também requer um processo numérico iterativo. Foi utilizado o método de Newton, tendo neste trabalho sido desenvolvido um algoritmo para aplicá-lo em uma calculadora eletrônica programável HP 9820-A.

Obtidos os valores de D_y , as curvas de diluição para um lançamento contínuo de efluentes podem ser estimadas. O campo de concentrações, neste caso, é representado pelo modelo da equação (A-1.1) sem o termo transiente $\partial C/\partial t$. Nestas condições a solução da equação é:

$$C(x,y) = \frac{q C_0}{2\pi d \sqrt{D_x D_y}} \exp\left(-\frac{\bar{u}x}{2D_x}\right) K_0\left[\frac{\bar{u}}{2D_x} \sqrt{x^2 + \frac{D_x}{D_y} y^2}\right]$$

(A-1.9)

onde C_0 é a concentração inicial do poluente sendo lançado a uma vazão constante q e K_0 é a função de Bessel modificada de segunda espécie, de ordem zero. Esta expressão se simplifica quando

$$\frac{x}{y} \gg \sqrt{\frac{D_x}{D_y}} \quad \text{e} \quad x \gg \frac{2D_x}{\bar{u}} \quad (\text{A-1.10})$$

para

$$C(x,y) = \frac{q C_0}{2 d \sqrt{\pi D_y \bar{u} x}} \exp\left(-\frac{y^2 \bar{u}}{4D_y x}\right) \quad (\text{A-1.11})$$

As condições (A-1.10) já são observadas para valores pequenos de x nos casos habituais. No caso do Rio Negro as condições já serão verificadas para distâncias da fonte superiores a cerca de 30m. Desta maneira, a equação (A-1.11) descreve com boa aproximação todo o campo de interesse.

Outra maneira de obter a equação (A-1.11) do modelo, é fazer

$$\frac{\partial C}{\partial t} = 0 \quad e \quad D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \ll \bar{u} \frac{\partial C}{\partial x}$$

na equação (A-1.1). Deste modo o termo da dispersão longitudinal pode ser desprezado, por ser sua contribuição negligível em comparação com o termo advectivo. Neste caso a solução (A-1.11) é obtida diretamente. (Uma outra maneira de obtê-la seria utilizando a solução para um impulso, equação (A-1.2), e o princípio da superposição).

Finalmente, considerando-se que os fatores de diluição são a relação entre as concentrações no corpo receptor e no efluente bruto:

$$\phi(x,y) = \frac{C(x,y)}{C_0} \quad (A-1.12)$$

é possível calculá-los simplesmente dividindo-se a equação (A-1.11) por C_0 .

A.2 Modelo de Joseph e Sendner

Como foi dito, nem sempre o modelo fickiano é adequado. Na busca de um modelo alternativo deve-se considerar a equação geral da dispersão em um sistema de coordenadas cuja origem se desloca juntamente com o baricentro da mancha. Considerando simetria radial (uma suposição que será posteriormente relaxada):

$$\frac{\partial C(r,t)}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} D r \frac{\partial C}{\partial t} \quad (\text{A-1.13})$$

É um fato notório que o coeficiente de dispersão pode variar à medida que a mancha se afasta da fonte (D função do tempo) e se expande abrangendo torvelinhos sempre maiores (D função da distância). Várias soluções da equação (A-1.13) têm sido propostas para diferentes formas desta funcionalidade:

$$D = K f(t) r^m \quad (\text{A-1.14})$$

Joseph e Sendner consideraram o caso em que $f(t) = 1$ e $m = 1$, obtendo

$$D = p r \quad (\text{A-1.15})$$

em que p é uma simples constante de proporcionalidade, i. é, consideraram o coeficiente de dispersão proporcional

às dimensões da mancha. Isto se baseia no conceito intuitivo que, à medida que a mancha se espalha, torvelinhos que anteriormente transportavam a mancha advectivamente, são abrangidos por ela e passam a dispersá-la, contribuindo assim para aumentar o valor do coeficiente de dispersão.

O parâmetro p tem as dimensões $L T^{-1}$ e por isso é denominado "velocidade de difusão".

A solução da equação (A-1.13), com $D = pr$, para um impulso instantâneo de traçador é:

$$C(r,t) = \frac{M}{2\pi d p^2 t^2} \exp\left(-\frac{r}{pt}\right) \quad (\text{A-1.16})$$

No esquema de navegação transversal à direção de advecção e passando pelo baricentro, tem-se

$$y = \sqrt{r^2 - x^2} = \sqrt{r^2 - 0} = r \quad (\text{A-1.17})$$

e assim, o parâmetro p pode ser determinado de uma maneira análoga à do parâmetro fickiano D_y na equação (A-1.4), i. é, minimizando S em

$$S = \sum_i \left[R_i - \frac{K}{p^2 t^2} \exp\left(-\frac{y_i}{pt}\right) \right]^2 \quad (\text{A-1.18})$$

onde já se levou em conta (A-1.17). A solução do sistema

$$\frac{\partial S}{\partial K} = 0, \quad \frac{\partial S}{\partial p} = 0 \quad (\text{A-1.19})$$

é agora:

$$E_i = \exp\left(-\frac{Y_i}{pt}\right) \quad (\text{A-1.20})$$

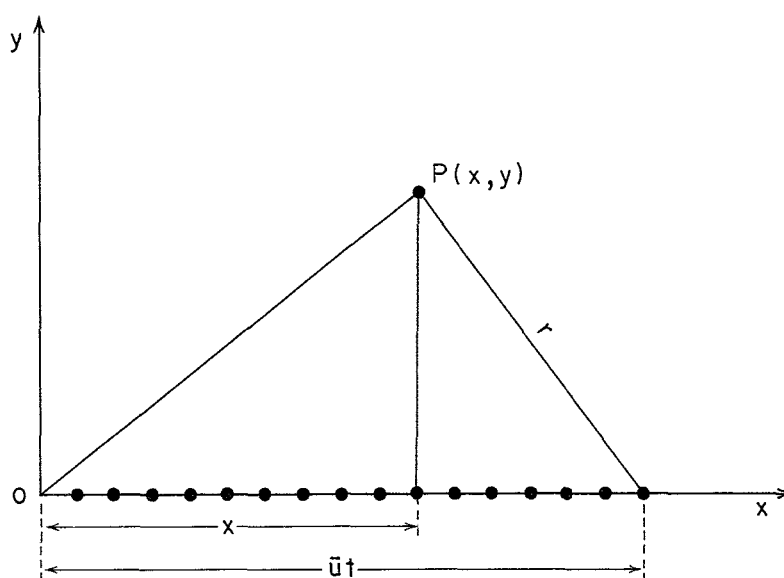
$$\sum_i E_i^2 \sum_i Y_i R_i E_i = \sum_i R_i E_i \sum_i Y_i E_i^2 \quad (\text{A-1.21})$$

$$C = p^2 t^2 \frac{\sum_i R_i E_i}{\sum_i E_i^2} \quad (\text{A-1.22})$$

A única incôgnita na equação (A-1.21) é p , e para obtê-la também se usa o método de Newton.

Obtendo-se p , calcula-se a distribuição resultante de um rejeito contínuo de q m³/s de efluente. A solução analítica é nesse caso muito complicada, a menos que não ocorra advecção. Uma maneira mais simples de se fazer esse cálculo é supor a injeção contínua e constante como composta de uma série ininterrupta de injeções instantâneas contendo uma massa $q C_0 \Delta t$ de traçador. A concen

tração resultante em um ponto é a soma (superposição) da contribuição de cada uma destas injeções instantâneas. O esquema abaixo explica melhor esta idéia:



Cada um dos pontos sôbre o eixo dos x (direção da advecção) representa um baricentro das mini-injeções que vão sendo expelidas da origem O a curtos intervalos de tempo. Tomados em conjunto constituem uma injeção contínua, aproximação tanto mais perfeita quanto menor o intervalo de tempo que decorre entre as mini-injeções, i. é, $\Delta t \rightarrow 0$.

Considere-se a contribuição para a concentração no ponto P da injeção mais à direita, no instante que seu baricentro dista r metros de P . Ela é dada pela equação

(A-1.16), substituindo-se r por:

$$r = \sqrt{y^2 + (\bar{u}t - x)^2} \quad (\text{A-1.23})$$

A concentração total em P será pois a soma desta e de todas as outras mini-injeções. Usando as equações (A-1.16) e (A-1.23) esta soma é dada por:

$$C(x,y) = \frac{q C_0}{2\pi p^2 d} \int_0^{\infty} t^{-2} \exp\left(-\frac{\sqrt{y^2 + (\bar{u}t - x)^2}}{p t}\right) dt \quad (\text{A-1.24})$$

A integral acima pode ser obtida numericamente. O limite superior pode ser substituído por um valor suficientemente alto de t , acima do qual o valor do integrando caia para níveis negligíveis. Dada a natureza deste integrando (uma exponencial de argumento negativo dividida pelo quadrado de t) é fácil de ver que o limite superior de integração pode ser substituído por um valor não muito elevado de t .

Após obter-se as linhas de iso-concentração obtêm-se as linhas de iso-diluição pela equação (A-1.12).

APÊNDICE 2

O MÉTODO DE SUPERPOSIÇÃO

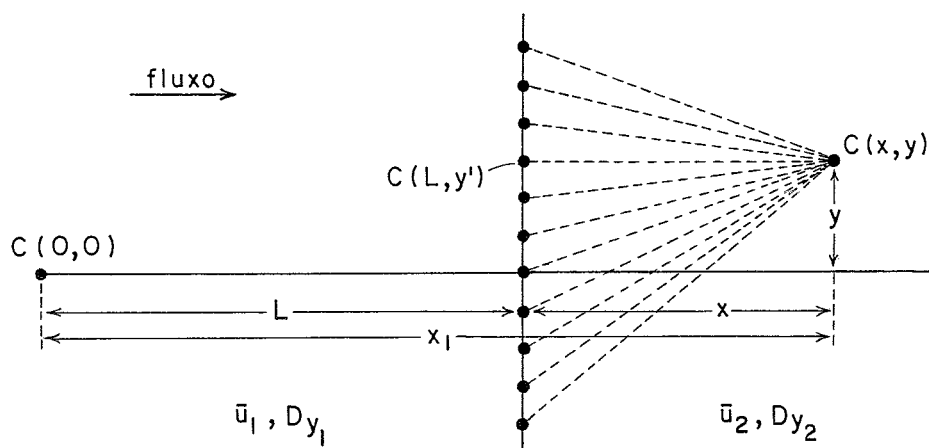
APÊNDICE 2

O MÉTODO DE SUPERPOSIÇÃO

O trecho a ser coberto no Rio Negro era muito longo, superando 20km. A única maneira de estudá-lo foi por meio de injeções sucessivas de traçador.

Ora, o fenômeno a ser simulado é uma descarga contínua em um único ponto. Assim sendo, tornava-se preciso compor as três injeções para se recuperar as diluições que teriam sido obtidas com só uma injeção, caso tivesse sido possível detectá-la até o final do trecho.

Considere-se o esquema abaixo:



Seja L a distância percorrida no primeiro trecho, i. é, o alcance da primeira detecção. As concentrações em qualquer ponto no semi-espaço $x_1 < L$ podem ser calculadas pela equação (A-1.11) (o modelo fickiano é considerado para ilustração, mas o tratamento é válido para qualquer outro modelo). Assim se obtém as concentrações em qualquer ponto do limite $x_1 = L$ entre as detecções.

Agora trata-se de obter a concentração em um ponto (x, y) no semi-espaço $x_1 > L$ correspondente à segunda detecção.

Pode-se imaginar cada ponto sobre a linha $x_1 = L$ como outras tantas fontes a alimentar o semi-espaço à direita com poluente de concentração $C(L, y')$ conhecida, a uma vazão $q = (\bar{u}_2 \cdot d) dy$. Cada uma destas semi-fontes contribui com o seu quinhão para a concentração $C(x, y)$. Esta será portanto a soma (superposição) de cada uma das contribuições acima. Como cada mini-fonte contribui com uma quota dada pela equação (A-1.11) com y substituído por $(y' - y)$, a contribuição total será:

$$C(x, y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{C(L, y')}{2 \sqrt{\pi D_{Y_2} x / \bar{u}_2}} \exp \left[- \frac{\bar{u}_2 (y' - y)^2}{4 D_{Y_2} x} \right] dy' \quad (\text{A-2.1})$$

que é uma integral de convolução. Deve ser lembrado que na equação (A-1.11) a vazão do poluente foi considerada unitária: $q = 1$. Esta pode ser aproximada por um somatório:

$$C(x,y) = \frac{\Delta y}{2d \sqrt{\Pi D_{Y_2} \bar{u}_2 x}} \sum_{i=-N}^{i=N} C(L, Y_i) \exp \left[- \frac{\bar{u}_2 (Y_i - y)^2}{4D_{Y_2} x} \right] \quad (A-2.2)$$

com:

$$Y_i = i \Delta y \quad ; \quad i = -N, \dots, 0, \dots, N.$$

Dada as propriedades de convergência da integral - pelas mesmas razões que a integral em (A-1.24) - não é necessário usar um valor de N muito elevado.

A diluição em (x,y) é calculada, como antes, pela expressão (A-1.12).

É digno notar que este cálculo simples de composição de injeções só é possível após ter-se ajustado a modelos analíticos as manchas de traçador obtidas experimentalmente.

APÊNDICE 3

ESCALAS DE DISPERSÃO

APÊNDICE 3

ESCALAS DE DISPERSÃO

Suponha duas partículas lançadas em um fluxo turbulento, muito próximas uma da outra. No início elas caminharão com velocidade e direção aproximadamente iguais, arrastadas que são pelos movimentos dentro do mesmo vórtice. Entretanto, como os movimentos jamais serão absolutamente idênticos, sempre ocorrerá um afastamento progressivo entre as partículas. À medida que o tempo corre o afastamento atinge uma magnitude tal que uma das partículas acaba por penetrar em um outro vórtice e, a partir deste instante, o seu movimento diferirá significativamente do da outra. Prosseguindo o processo, estas partículas penetrarão em vórtices de tamanhos cada vez maiores e os seus movimentos divergirão cada vez mais entre si. Eventualmente as partículas estarão afastadas de uma distância superior ao tamanho do maior vórtice (o que demora muito a acontecer no oceano, mas torna-se mais fácil em um corpo confinado onde os vórtices são naturalmente limitados).

É intuitiva a constatação de que, antes deste limite superior ser franqueado, a intensidade da dispersão será variável e crescente. Ou seja, os parâmetros (coeficientes) de dispersão serão variáveis em uma primeira (ou mais) fase(s) e se estabilizarão após um certo tempo.

Uma maneira de se quantificar este tamanho representativo, L , dos vórtices é usando o coeficiente de

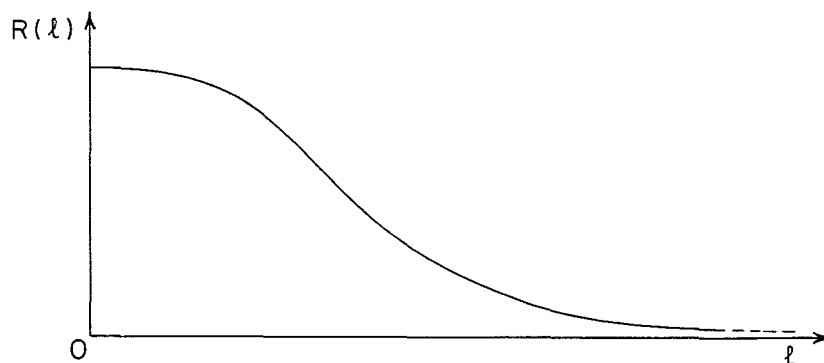
correlação euleriano:

$$R(\ell) = \frac{\overline{u(x) u(x + \ell)}}{\sqrt{\overline{u(x)^2} \overline{u(x + \ell)^2}}}$$

onde $u(x)$ é o componente turbulento da velocidade no ponto (x) e a barra superior indica uma média no tempo; por exemplo:

$$\overline{u(x)^2} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T u(x, t)^2 dt$$

Quando as partículas estão próximas (ℓ pequeno), estão contidas pelos mesmos vórtices e seus movimentos são altamente correlacionados. Neste caso o valor de $R(\ell)$ será próximo de 1, pois trata-se de uma correlação normalizada. Para partículas muito afastadas (ℓ grande), integrantes de vórtices distintos, o valor de $R(\ell)$ se aproxima de zero.



Pode-se então considerar a escala de turbulência como sendo

$$L = \int_0^{\infty} R(l) dl$$

que, fisicamente, representa o tamanho médio dos vórtices no fluxo turbulento.

Se o fluxo não for isotrópico existirá um valor diferente de L em relação a cada direção.

Costuma-se definir três escalas do processo de dispersão. Definindo r como o raio médio da mancha de traçador, as escalas são definidas como:

pequena escala: $r \ll L$

escala intermediária: $r \sim L$

grande escala: $r \gg L$

O modelo fickiano, no qual os coeficientes de dispersão não variam com o tempo, é um modelo válido para o último estágio.

No modelo de Joseph e Sendner o coeficiente de dispersão é ainda variável, proporcionalmente ao tamanho da mancha: $D = pr$, o que indica um outro estágio no fenômeno. Pode-se provar matematicamente que a escala que lhe corresponde é a pequena. O processo de dispersão ao

qual se ajusta fica então caracterizado como ainda no es
tágio inicial. Em outras palavras, o tamanho da mancha é
ainda bastante inferior ao tamanho médio dos vórtices.

APÊNDICE 4

DADOS DE RASTREAMENTO COM FLUTUADORES

RASTREAMENTO COM FLUTUADORES

LOCAL Rio Negro

BASE A Tomada D'Água

DATA 27/06/80

BASE B Ponta Negra

ANOTADOR Amenônia

PROFUNDIDADE 1 metro

PONTO	DISTÂNCIAS DO MOTOROLA		COORDENADAS UTM		TEMPO	VELOCIDADE	OBSERVAÇÕES
	BASE A	BASE B	X	Y			
1	11422	6807	815708	9657261	17:44:30	0,52	Lançamento simultâneo c/ 7m
2	11320	6764	5800	57199	48:03	0,48	Ventos de SW
3	11090	6619	6021	57132	56:05	0,38	
4	11015	6563	6096	57124	59:24	0,45	
5	10799	6456	6298	57030	17:07:35	0,73	
6	10731	6415	6364	57012	:09:08	0,52	
7	10567	6343	6517	56935	14:33	0,53	
8	10448	6293	6628	56880	18:26	0,43	
9	10308	6221	6762	56834	13:55	0,49	
10	10164	6154	6898	56776	28:53	0,44	
11	9933	6071	7116	56675	37:54	0,73	Ventos moderados
12	9851	6055	7190	56623	39:59	0,48	
13	9698	5978	7340	56587	45:17	0,50	
14	9571	5949	7457	56518	49:50	0,47	
15	9437	5902	7585	56468	54:41	0,60	
16	9368	5902	7647	56415	56:56	0,47	
17	9308	5869	7707	56409	59:05	0,49	
18	9225	5842	7787	56379	19:01:59	0,56	
19	9067	5811	7936	56303	19:06:57	0,43	
20	8865	5773	8127	56211	15:06	0,42	
21	8686	5751	18296	56123	22:40		

RASTREAMENTO COM FLUTUADORES

LOCAL Rio Negro

BASE A Tomada D'Água

DATA 01/07/80

BASE B Ponta Negra

ANOTADOR Amenônia

PROFUNDIDADE 1 metro

PONTO	DISTÂNCIAS DO MOTOROLA		COORDENADAS UTM		TEMPO	VELOCIDADE	OBSERVAÇÕES
	BASE A	BASE B	X	Y			
1	10098	6070	816974	9656825	9:18:45	0,52	Lançamento simultâneo
2	9960	6003	17106	56782	:23:11	0,58	
3	9802	5930	17258	56732	27:48	0,54	Vento sul
4	9617	5846	17436	56677	33:32	0,54	Moderado
5	9413	5774	17630	56599	39:57	0,52	
6	9182	5683	17853	56530	47:25	0,70	
7	9018	5638	18009	56464	51:28	0,44	
8	8742	5539	18277	56392	10: 2:00	0,49	
9	8525	5470	18487	56334	9:29	0,47	
10	8371	5438	18635	56280	15:06	0,45	
11	8154	5390	18845	56215	23:19	0,45	
12	7914	5349	19077	56141	32:19	0,44	
13	9618	5310	19364	56053	43:34	0,44	
14	7321	5311	19649	55941	55:10	0,45	
15	7016	5319	19945	55837	11: 6:53	0,44	
16	6707	5338	20245	55739	18:53	0,44	
17	6338	5385	20605	55623	33:13	0,43	
18	5947	5468	20987	55494	48:45	0,45	
19	5585	5575	21342	55369	12:02:48	0,43	
20	5203	5701	21719	55250	:18:02	0,45	
21	4748	5884	22171	55106	35:45	0,44	
22	4231	6111	22690	54963	56:00	0,46	

RASTREAMENTO COM FLUTUADORES

LOCAL Rio Negro

BASE A Tomada D'Água

DATA 01/07/80

BASE B Ponta Negra

ANOTADOR Amenônia

PROFUNDIDADE 7 metros

PONTO	DISTÂNCIAS DO MOTOROLA		COORDENADAS UTM		TEMPO	VELO-CIDADE	OBSERVAÇÕES
	BASE A	BASE B	X	Y			
2	9960	6003	817106	9656782	9:23:11	0,58	
3	9802	5930	17258	56732	27:48	0,67	
4	9668	5883	17384	56675	31:13	0,50	
5	9379	5777	17660	56569	41:05	0,51	
6	9153	5692	17878	56499	48:30	0,58	
7	9036	5660	17989	56452	52:00	0,52	
8	8747	5583	18265	56346	10:01:25	0,51	
9	8540	5530	18464	55278	08:14	0,50	
10	8316	5479	18680	56206	15:46	0,49	
11	8075	5442	18912	56121	24:14	0,48	
12	7811	5411	19167	56030	33:40	0,47	
13	7497	5405	19468	55908	45:13	0,44	
14	7201	5426	19753	55784	56:56	0,44	
15	6898	5455	20047	55668	11:08:46	0,45	
16	6581	5512	20354	55538	21:04	0,42	
17	6231	5500	20702	55492	34:55	0,49	
18	5841	5731	21080	55223	50:39	0,47	
19	5453	5884	21466	55060	12:05:35	0,45	
20	5071	6065	21852	54893	21:18	0,48	
21	4523	6363	22416	54657	42:30	0,45	
22	4253	6464	22683	54602	52:41	0,48	
23	3849	6735	23126	54425	13:09:15	0,52	

APÊNDICE 5

VARIAÇÕES DO NÍVEL D'ÁGUA NO RIO NEGRO

APÊNDICE 5

VARIAÇÕES DO NÍVEL D'ÁGUA NO RIO NEGRO

Para que se desse início a um estudo como o a apresentado, era necessário definir uma época representativa das condições hidrológicas do Rio Negro.

O trabalho foi planejado, inicialmente, para ser realizado em períodos de chuva e estiagem (junho e outubro), para verificar a influência nos resultados de uma condição hidráulica extrema em relação à média.

A PORTOBRÁS forneceu os registros diários de variação do nível d'água no Rio Negro, no porto de Manaus desde o ano de 1952 até o ano de 1978. Esta massa de dados, depois de tratada, definiu bem as variações das características hidrológicas do Rio Negro, em Manaus.

Primeiro foram calculadas as médias mensais e o desvio padrão, a partir dos registros diários, para cada ano no período de 1952 até 1978. Depois foram calculadas as médias mensais para todo o período (1952/1978), usando as médias mensais de cada ano. Calculou-se também os desvios padrões e a média destes para o mesmo período (figura A5-1).

Estes cálculos mostraram um ciclo hidrológico caracterizado, com os períodos de chuva e estiagem bem definidos, nos meses de junho e outubro respectivamente.

De posse destas médias mensais foram calculadas as tendências no tempo pelo método dos mínimos quadrados. O ajuste dos pontos possibilitou a projeção das médias para o ano de 1980.

Finalmente traçou-se a curva, altura média versus mês (figura A5-2). Como pode-se ver por esta figura, o período previsto de níveis máximos ficou aproximadamente localizado no fim do mês de junho, princípio do mês de julho.

FIGURA A5.1
 MÉDIA E DESVIO PADRÃO DAS MÉDIAS MENSUAIS
 DO PERÍODO DE 1952 A 1978 - RIO NEGRO (AM)

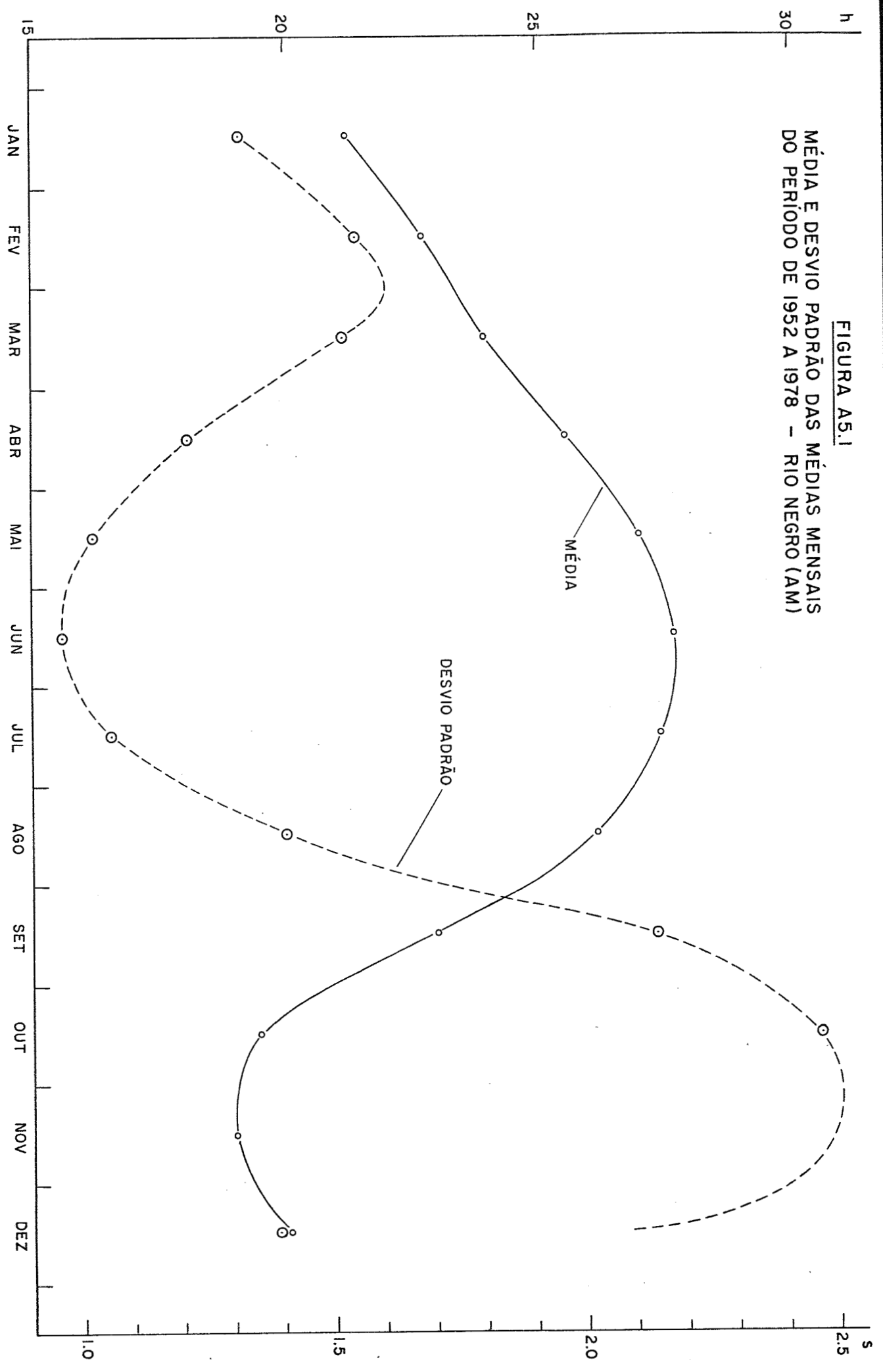


FIGURA A 5.2

PREVISÃO DO NÍVEL ATINGIDO PELAS ÁGUAS
DO RIO NEGRO (AM) EM 1980

