

04/02

II SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE  
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

SALVADOR/BAHIA/BRASIL

26 A 29 DE AGOSTO DE 1986

ESTUDO DE ASPECTOS DA QUALIDADE  
SUPERFICIAL DA ÁGUA DO GUAÍBA ATRAVÉS  
DA INTERPRETAÇÃO DIGITAL DE DADOS  
LANDSAT

Prof. Liãna B.M. Milano  
Prof. Marley R.R. Gonçalves  
Prof. Lawson F.S. Beltrame  
José Carlos Nunes

TEMA: QUALIDADE DA ÁGUA

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS/UFRGS  
PORTO ALEGRE/RS  
CP. 530

ESTUDO DE ASPECTOS DA QUALIDADE SUPERFICIAL DA ÁGUA DO GUAÍBA  
ATRAVÉS DE INTERPRETAÇÃO DIGITAL DE DADOS LANDSAT

RESUMO

O presente estudo avalia as condições e distribuição da qualidade superficial da água na área superior do estuário do Guaíba, através da utilização de dados espectrais do satélite LANSAT IV, utilizando o programa LMS (Landsat Mapping System), associado a dados obtidos em campo. A listagem, classificação e mapeamento do estuário, através de níveis de cinza em relação ao parâmetro físico de turbidez, é discutido e interpretado como ferramenta adicional para acompanhamento da qualidade dos Recursos Hídricos.

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

A aplicação de dados obtidos por Sensoriamento Remoto Orbital abrange várias áreas de utilização, servindo entre elas como instrumento de avaliação da quantidade e qualidade dos Recursos Hídricos.

Com o advento da série de satélites para reconhecimento e mapeamento dos Recursos Naturais, a avaliação da qualidade da água pode apoiar-se numa visão regional sinóptica das mudanças no aspecto visual da superfície plana da água, elemento indicador da possibilidade de alteração física ou química de um manancial.

O uso da técnica de mapeamento visual das imagens de satélite em geral tem sensibilidade restrita na identificação de mudanças mais dinâmicas e complexas. Formas de estudo mais detalhadas, tal

como o emprego de programas especiais de análise digital destes dados, estão sendo desenvolvidas e aplicadas.

A interpretação das condições e distribuição da qualidade superficial da água em lagos e estuários, através da utilização de dados do satélite Landsat IV, utilizando o programa LMS (Landsat Mapping System), associado a dados obtidos em campo é o objetivo principal da pesquisa em desenvolvimento no IPH/UFRGS (Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul), da qual faz parte o presente trabalho.

O programa LMS primeiramente foi aplicado no Saco de Tapes (Lagoa dos Patos), onde a comparação dos resultados de classificação da água listados, com relação aos dados obtidos em campo, demonstrou sua aplicabilidade para acompanhamento da qualidade da água, principalmente em relação ao parâmetro turbidez (NTU).

Foram identificadas classes distintas de água mesmo com pequenas diferenças de turbidez e sólidos suspensos. Entretanto, esta área não se apresentou propícia para maiores diferenciações de qualidade da água.

O programa LMS passou a ser aplicado no estuário do Guaíba com finalidade preliminar de verificação e acompanhamento dos resultados obtidos no Saco de Tapes, em uma área mais heterogênea de qualidade da água, como é o Guaíba.

A finalidade principal da escolha do estuário do Guaíba para segunda área teste, reveste-se na importância deste manancial como fonte de abastecimento de água de Porto Alegre, apresentando variações de qualidade da água ao longo de sua extensão e largura.

O acompanhamento de sua qualidade através do programa LMS, serve como uma ferramenta adicional para controle e gerenciamento deste Recurso Hídrico e demonstra a aplicabilidade da técnica de interpretação digital de imagens de satélite, para avaliação superficial da qualidade da água de lagos e estuários.

O manancial do Guaíba é formado de cinco rios (Jacuí, Caí, Taquari, Sinos e Gravataí), apresentando uma média de 1.440.200.000 m<sup>3</sup>, formando o estuário que liga-se a Lagoa dos Patos, resultando um complexo hidrodinâmico desde o seu delta até a foz. O Jacuí contribui com maior parte da vazão, porém os Rios Sinos e Gravataí contribuem com poluição. As águas dos rios afluentes vem de regiões agrícolas e regiões de alto crescimento populacional e industrial, carreando quantidades crescentes de poluentes, aumentando as dificuldades para a administração pública, no setor de abastecimento à população, já problematizado pelas características físico-geográficas de assentamento da metrópole e seus vários lançamentos de poluição (despejos e arroios). Estes poluentes, alterando os aspectos físicos e químicos da água, ocasionam "manchas", principalmente na superfície, facilmente detectáveis por técnicas de sensoriamento remoto. Exemplos são os trabalhos de HOFFER(1978), HOLYER(1982), NANCY et alli (1981), PARK and MILLER (1978) e COLWELL et alli (1979).

Os melhores resultados para monitoramento e mapeamento destes fenômenos são obtidos por interpretação automática de dados LANDSAT, a partir de fitas magnéticas, aplicadas a programas que listam o mapeamento, eliminando os fatores de subjetividade e limitação visual.

Baseados nos fatores citados e também na facilidade de acesso à área, para testes e coletas de dados, o Guaíba foi escolhido como espaço físico ideal para a continuação da pesquisa financiada pela FINEP, sobre qualidade superficial de águas utilizando técnicas de interpretação digital de imagens do satélite (Fig. 1).

#### METODOLOGIA

Com o objetivo de desenvolver algoritmos que permitam monitorar a qualidade das águas do Guaíba, principalmente quanto a turbidez, foram utilizados como ferramentas básicas, as imagens do satélite LANDSAT IV, composição à cores dos canais 4, 5, e 7, da órbita 221, ponto 81, bem como fitas CCTs da mesma passagem (21 setembro de 1983 e 12 de fevereiro de 1984), fornecidos pelo INPE.

A classificação dos alvos-áreas com diferentes reflectâncias espectrais sobre o corpo d'água, foi realizada a partir de dados digitais das assinaturas espectrais destas variações, armazenadas em fitas compatíveis com computador. O método de classificação utilizado envolveu a técnica de clusterização, também chamada de classificação não supervisionada, na qual o computador é programado para analisar os dados de um determinado número de classes espectrais a serem impressas em forma de um mapa de cinzas, graymap. A clusterização foi realizada com base no algoritmo da distância Euclidiana modificada - Beltrame et alii, 1986.

Como este algoritmo permite um pequeno controle na classificação, devido ser um processo não iterativo, para completar a análise, as classes espectrais foram convertidas em classes de informação a partir dos dados de qualidade da água, e amostras selecionadas e analisadas pelo DMAE e IPH (Figs. 2, 3, 4 e 5).

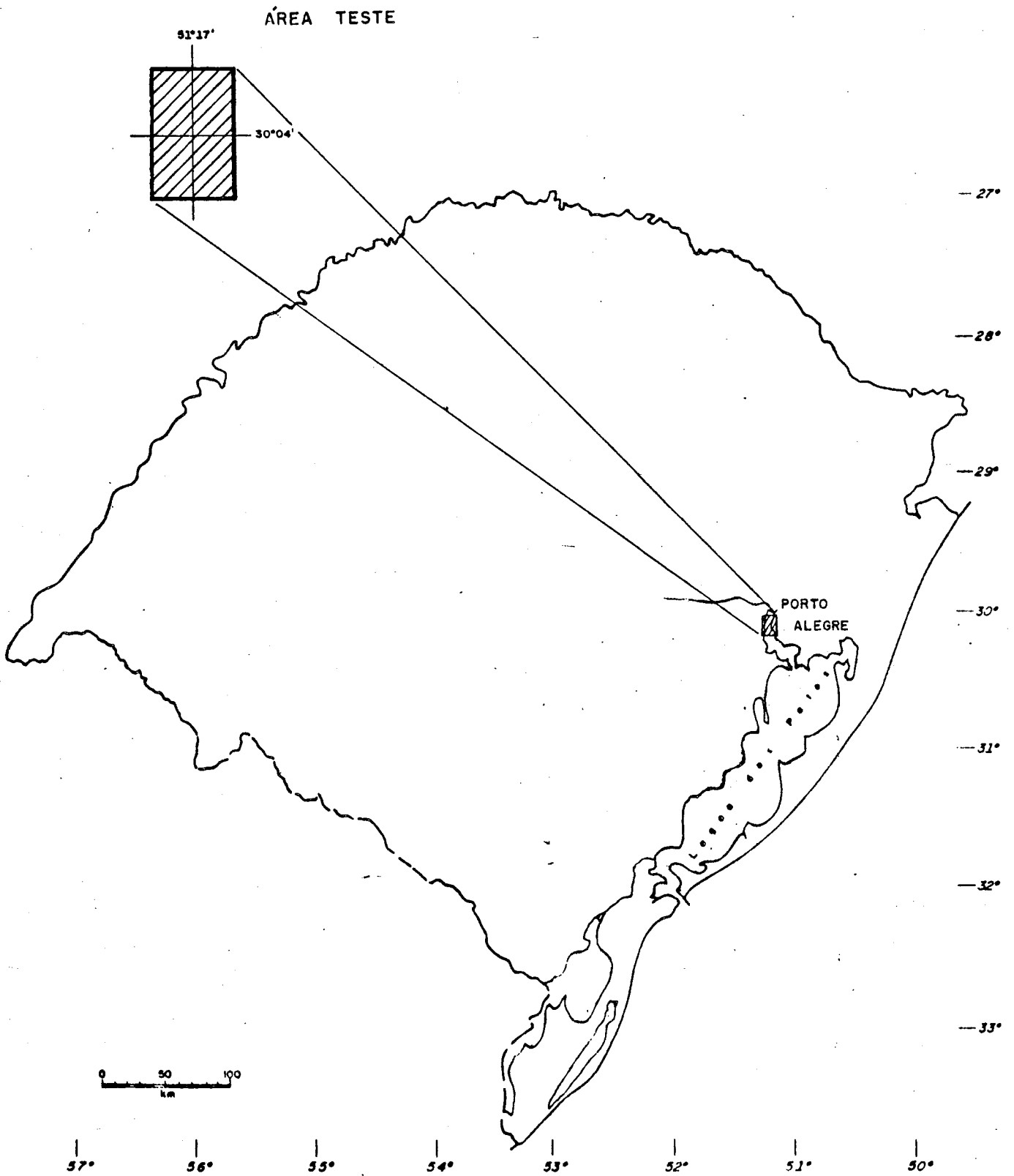


Fig.: 1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA TESTE GUAIBA.

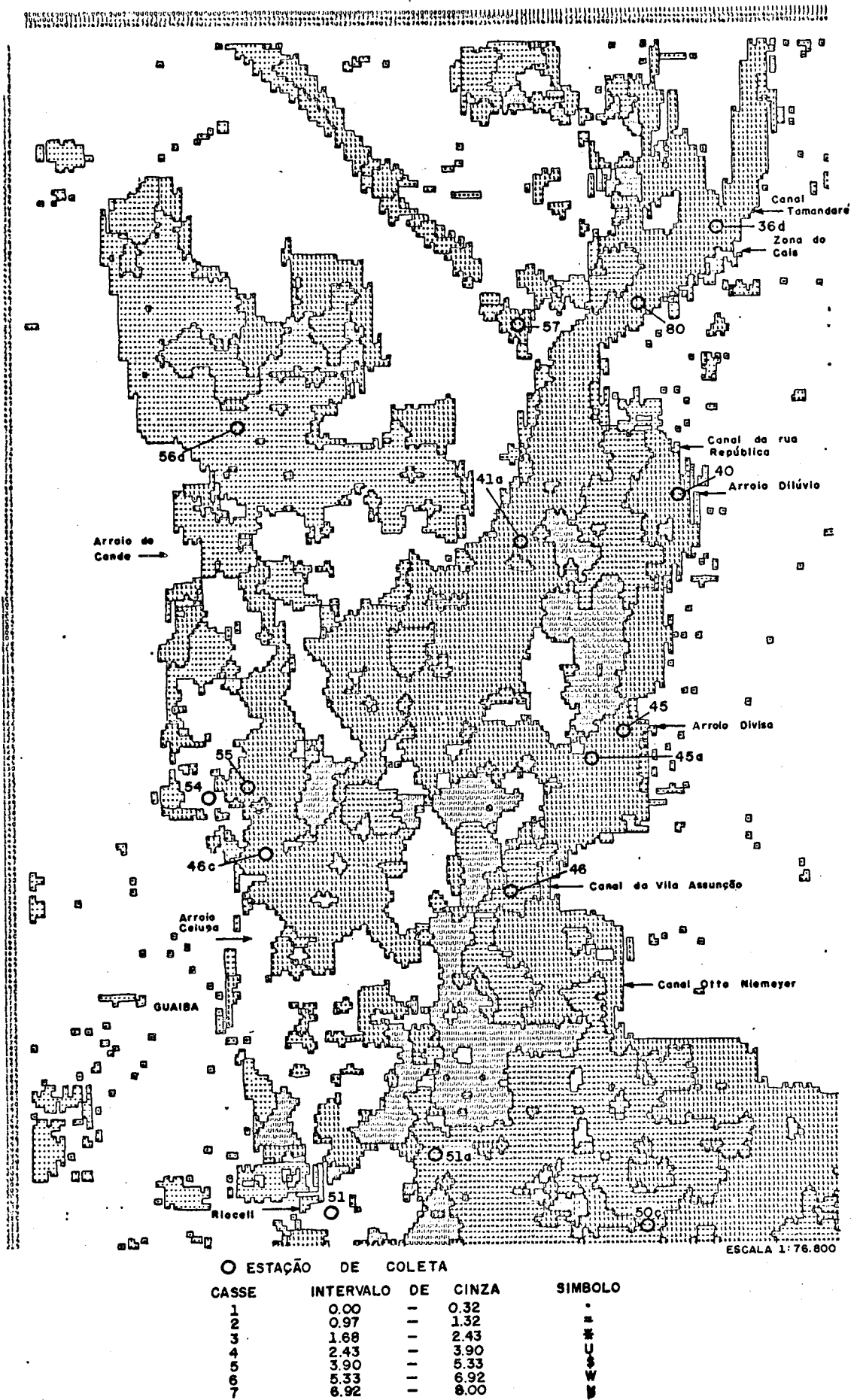
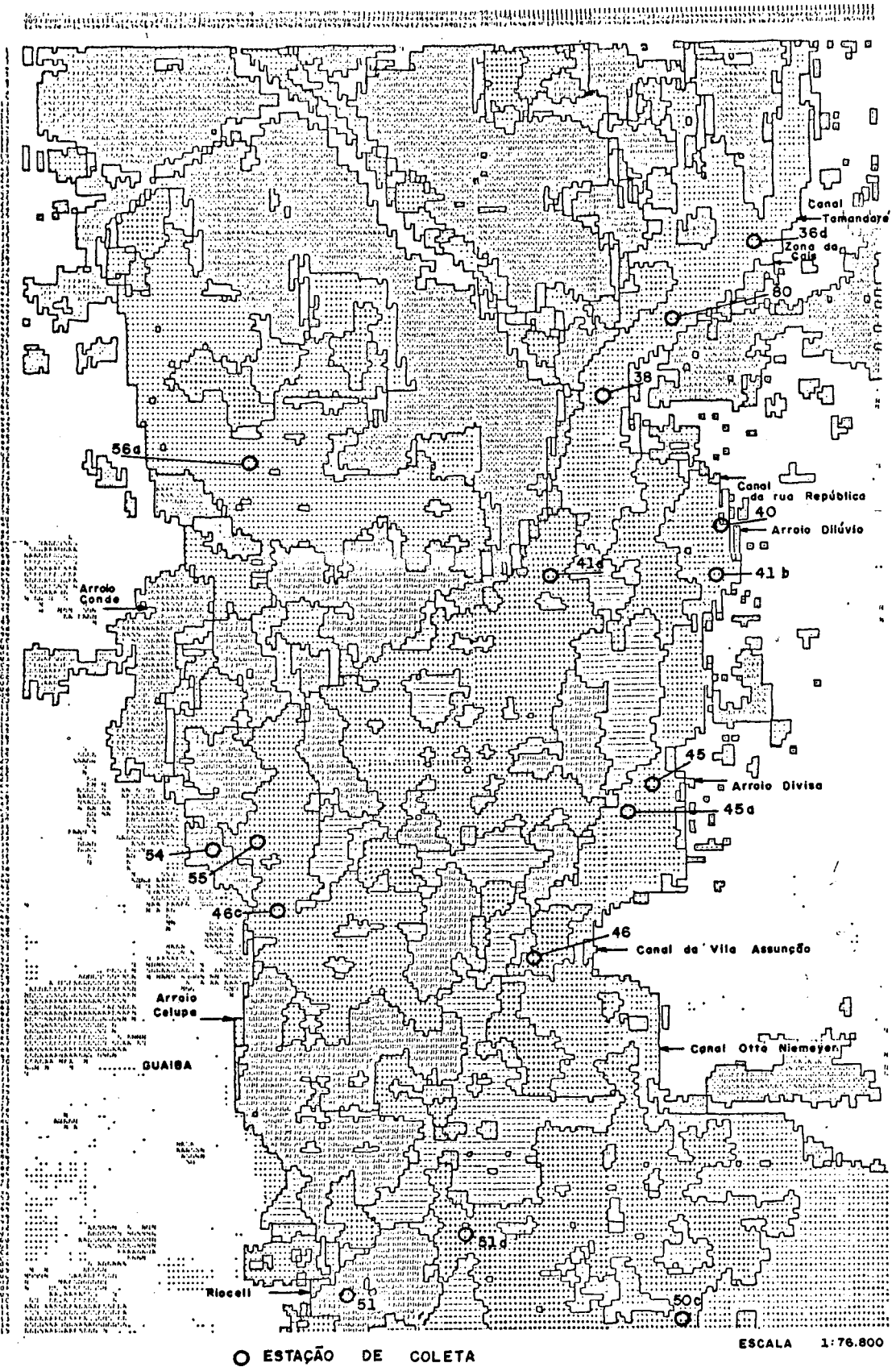


Fig. 2 - Área teste Guaiíba , cena 21. Set. 83. canal MSS 5.



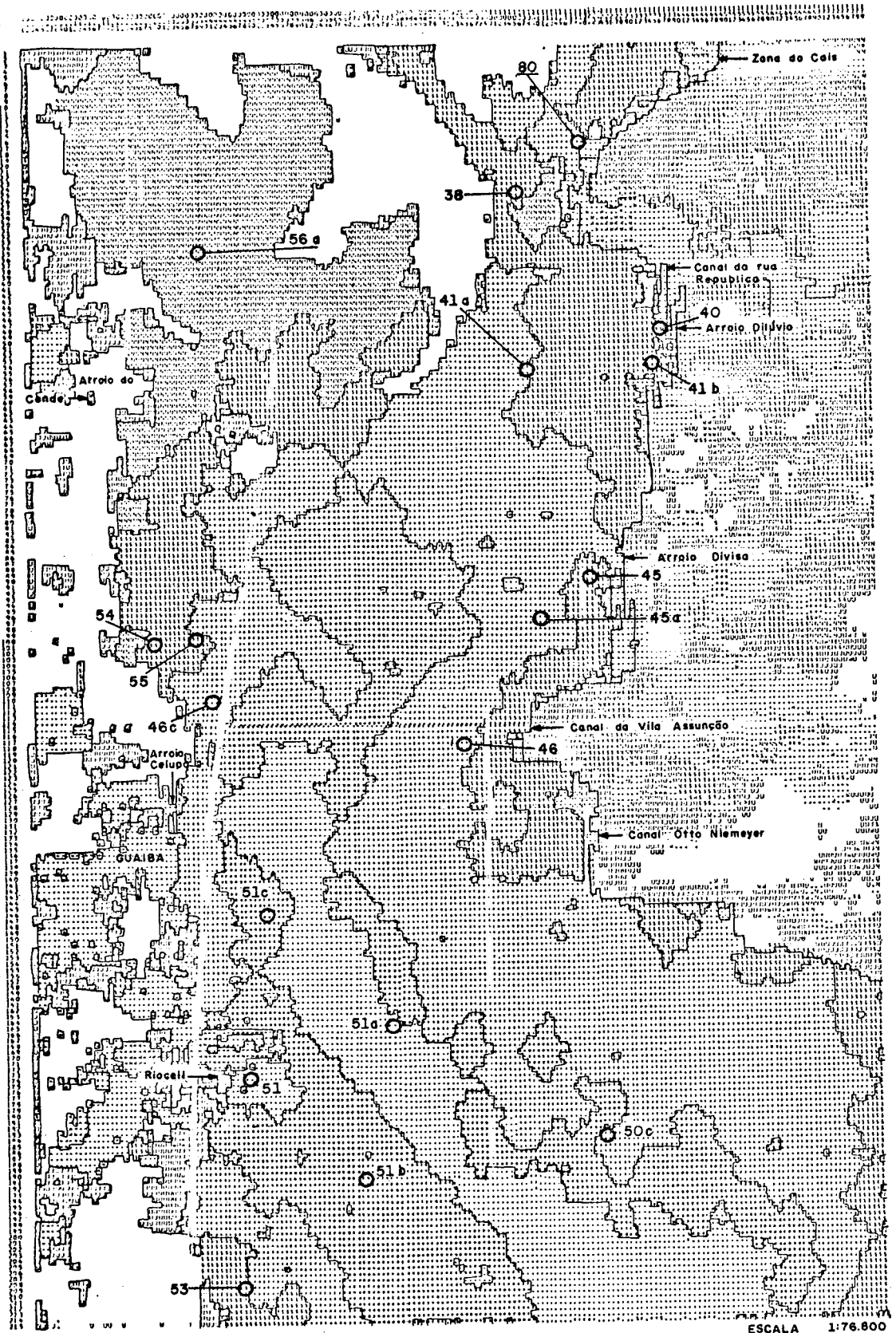
○ ESTAÇÃO DE COLETA

CASSE	INTÉRVALO	DE	CINZA	SÍMBOLO
1	0.00	-	1.44	•
2	1.44	-	3.56	-
3	3.56	-	4.54	+
4	4.54	-	5.56	≡
5	5.56	-	6.77	⊥
6	6.77	-	7.41	⊥
7	7.41	-	7.93	⊥
8	8.65	-	9.00	⊥

ESCALA 1:76.800

Fig. 3 - Área teste Guaiíba, cena 21 Set. 83. canais MSS 5 e 7.



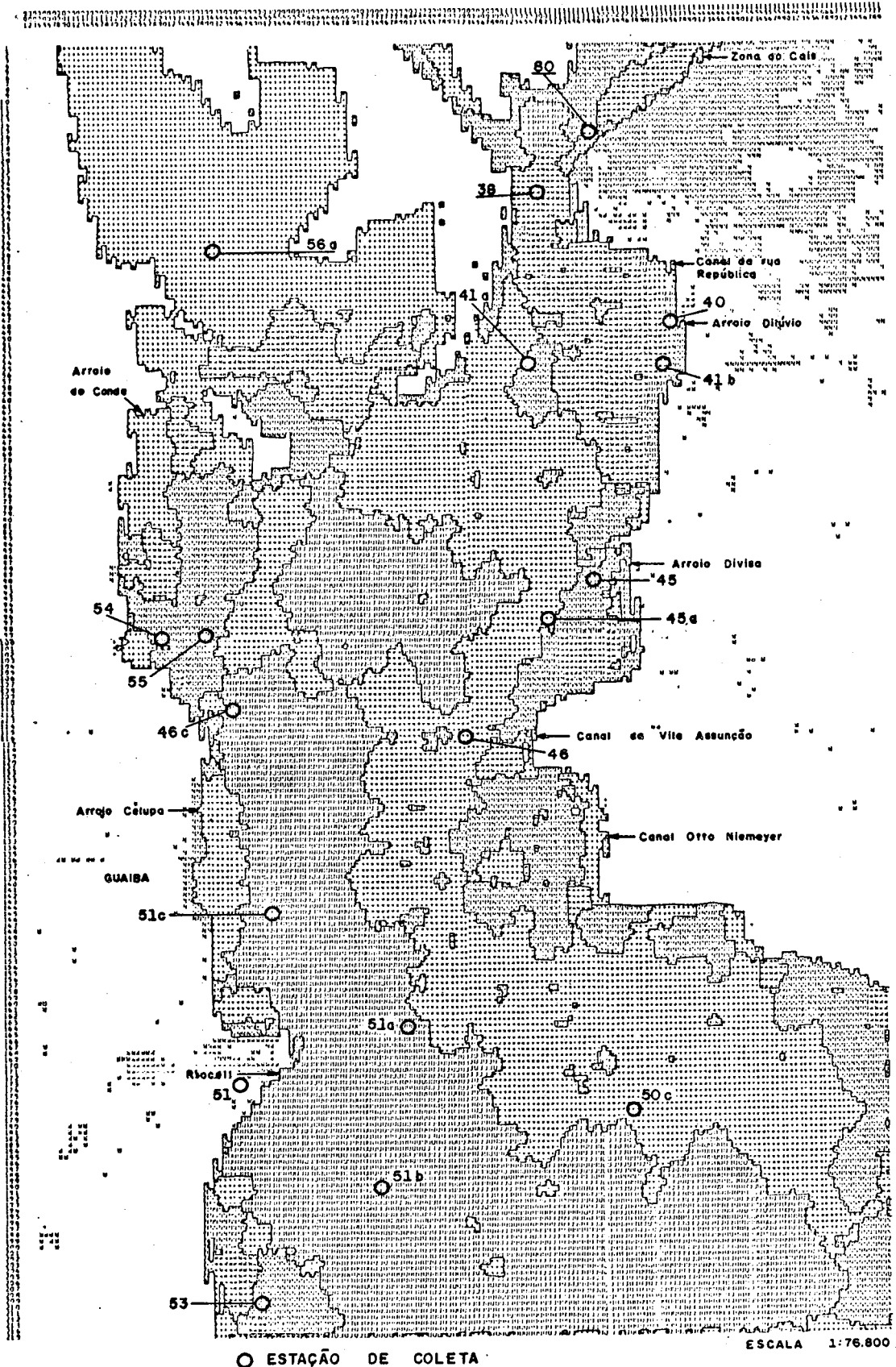


○ ESTAÇÃO DE COLETA

ESCALA 1:76.800

CASSE	INTERVALO	DE	CINZA	SIMBOLO
1	0.00	-	0.79	W
2	0.79	-	1.51	N
3	1.51	-	2.38	#
4	2.38	-	3.44	U
5	3.44	-	4.14	*
6	4.60	-	5.09	+
7	5.70	-	6.34	.
8	6.34	-	7.00	∅

Fig. 4 - Área teste Guaiíba, cena 12. Fev. 84. canal MSS 5.



○ ESTAÇÃO DE COLETA

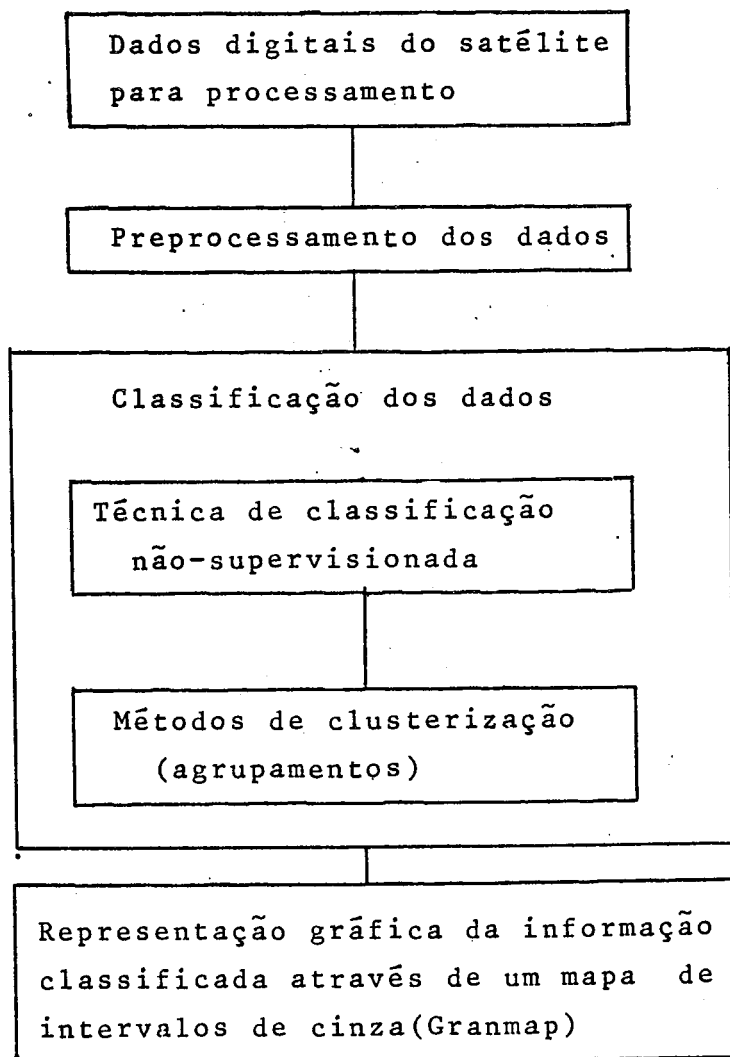
CASSE	INTERVALO	DE	CINZA	SÍMBOLO
1	0.00	—	1.67	W
2	1.67	—	3.03	N
3	3.56	—	4.11	U
4	4.75	—	5.62	=
5	5.62	—	6.17	+ Y
6	6.72	—	7.00	

Fig. 5 - Área teste Guaíba, cena 12. Fev. 84. canais MSS 5 e 7.

Os corpos de água usualmente não são claros, pois contêm uma grande variedade de material orgânico e inorgânico, estando alguns em suspensão. Estes materiais causam espalhamento e absorção da energia incidente sobre os corpos d'água. Os sólidos suspensos que causam turbidez são fatores que afetam a resposta espectral da água.

A análise dos dados foi realizada com o auxílio do sistema de computador LMS. Este sistema faz o pré-processamento dos dados e os classifica de maneira não-supervisionada.

#### DIAGRAMA DO PROCESSAMENTO DOS DADOS DIGITAIS LANDSAT



Os dados classificados, pixels; são impressos na forma de um mapa de cinzas, graymap, na escala aproximada 1.25.000, onde cada caracter alfanumérico representa um determinado intervalo de cinza, para cada classe de água de reflectância homogênea.

Com base no estudo realizado por WEISSBLATT (1973), foram realizados testes com turbidez e níveis de cinza listadas para diferentes canais MSS-LANDSAT, MSS4 (0.5-0.6 $\mu$ m), MSS5 (0.6-0.7 $\mu$ m), MSS7 (0.8-1.1 $\mu$ m), e combinações dos mesmos.

A radiância espectral expressa na forma de brilho, níveis de cinza, decresce em relação ao crescimento dos comprimentos de onda dos canais MSS LANDSAT, devido as diferentes profundidades de penetração nas camadas da superfície da água para cada canal MSS (águas clarificadas).

#### Profundidade de penetração

- a. MSS4 (0.5 a 0.6 Microns); 10 metros.
- b. MSS5 (0.6 a 0.7 Microns); 3 metros
- c. MSS6 (0.7 a 0.8 Microns); 1 metro
- d. MSS7 (0.8 a 1.1 Microns); 10 centímetros

A partir de mapas de classificação dos canais MSS5 e MSS5 + MSS7, junto aos dados de turbidez correspondente a cada classe de água, obteve-se um mapa qualitativo de turbidez para a área teste do Guaíba.

#### APLICAÇÃO

O programa LMS foi aplicado a parte média superior do estuário do Guaíba (fig.1) em dois dias de passagem do LANDSAT (21 de setembro de 1983 e 12 de fevereiro de 1984).

O estuário do Guaíba apresenta características físico-químico-bacteriológicas variáveis, que enquadram suas águas entre classe 2 e classe 3. Devido a complexidade hidrodinâmica deste manancial, aliada as cargas de poluentes de montante (5 formadores) e ao longo de sua extensão (arroyos e despejos), apresenta variação de qualidade da água diferenciadas conforme o local e profundidade amostrados. Dependendo de uma série de fatores, as características da margem esquerda (Porto Alegre), para a direita (Guaíba) e canal podem apresentar diferenças identificáveis inclusive pela observação visual de imagem do satélite, mesmo sem quantificação dos dados.

A aplicação, ajustagem e calibragem de modelos de qualidade da água, usualmente necessitam de dados de campo iniciais para comparação da viabilidade da ferramenta aplicada.

As principais dificuldades encontradas para interpretação dos resultados da aplicação do LMS no Guaíba, são decorrentes da falta ou escassez de dados de qualidade da água, na mesma hora e dia de passagem do satélite, para comparação com os dados espectrais, e, nas próprias condições climáticas de obtenção dos dados espectrais. Entre muitas passagens no R.G.S., só algumas são aproveitadas por problemas de nuvens e outros fatores interferentes. Além disto, os custos de aquisição de imagens, fitas e coletas de amostras de água oneram e dificultam a probabilidade de coletas adequadas em dias certos.

Foram selecionadas duas fitas com bons dados espectrais para o Guaíba, porém somente para o dia 21 de setembro de 1983 foram conseguidos dados de turbidez, clorofila, temperatura e sólidos totais, coletados e analisados pelo Departamento Municipal de Água e

Esgoto de Porto Alegre (DMAE), os quais foram gentilmente cedidos ao IPH.

O Instituto de Pesquisas Hidráulicas realizou mais duas campanhas de coletas, porém os dias não foram propícios para os dados espectrais.

A turbidez, foi o melhor parâmetro físico ajustado para o Saco de Tapes, e sendo um parâmetro disponível para o Guaíba no mesmo dia de passagem, foi utilizado como o parâmetro básico para interpretação da aplicação do LMS à qualidade superficial da água do Guaíba.

O Guaíba normalmente possui alto teor de bactérias de origem fecal, Demanda Bioquímica baixa, fenóis elevados, turbidez entre 30-70 (UNT), transparência entre 20-50 cm e cor média de 50mg/l Pt.

A aplicação inicial foi realizada para os canais 4, 5, 7 e 5+7 no dia 21 de setembro de 1983. Os dados espectrais foram classificados listados e mapeados pelo programa, e comparados com os dados do DMAE e resultados obtidos para o Saco de Tapes. Os valores de níveis de cinza mapeados e classificados para os canais 5 e 5+7 são apresentados nas figuras 2 e 3 e Quadro 1, juntamente com os dados disponíveis de turbidez.

Posteriormente o programa foi aplicado para o dia 12 de fevereiro de 1984, canais 4, 5, 7 e 5+7. Os dados espectrais foram classificados listados e mapeados pelo programa, e comparados com os resultados e conclusões da aplicação inicial, já que inexistiam dados de amostragem de água. Os valores de níveis de cinza mapeados e classificados para os canais 5 e 5+7 são apresentados nas figuras 4 e 5 e no quadro 2.

GUAÍBA			CANAL 5 + 7			CANAL 5	
Localização			Símbolo	Intervalo de cinza (DC)	Turbidez (OTU)	Símbolo	Intervalo (DC)
M.D.	Canal	M.E.					
		36 (D)	=	4,54-5,56	*40	\$	3,90-5,33
		80 (D)	=	4,54-5,56		\$	3,90-5,33
		40	.	0,00-1,44	30	U	2,43-3,90
		41b	=	4,54-5,56	55	\$	3,90-5,33
		45	=	4,54-5,56		\$	3,90-5,33
		50C	*	5,56-6,77		W	5,33-6,92
	38		=	4,54-5,56	58	\$	3,90-5,33
	45a		=	4,54-5,56	57	\$	3,90-5,33
	46		*	5,56-6,77	60	W	5,33-6,92
	41a		+	3,56-4,54	45	\$	3,90-5,33
	51a		*	5,56-6,77		W	5,33-6,92
56a			.	0,00-1,44		=	0,97-1,32
46c			+	3,56-4,54		\$	3,90-5,33
51			U	6,77-7,41		BR.	6,92-8,00
54			U	6,77-7,41		BR.	6,92-8,00
55			+	3,56-4,54		\$	3,90-5,33

Saco de Tapes			
Canais 5 + 7	Turbidez (UTN)	Símbolo	Intervalo (DC)
	5 + 7	35-37	.
39-41		N	3,9 -5,33
5	36-37	N	0,93-2,15
	39	=	3,85-4,18
	40-41	.	4,77-5,17

Quadro 1 - Distribuição de Turbidez e intervalo de níveis de cinzas no Saco de Tapes e no estuário do Guaíba na passagem de 21 de setembro de 1983.

GUAÍBA			CANAL 5 + 7			CANAL 5	
Localização			Símbolo	Intervalo de cinza (DC)	Turbidez (OTN)	Símbolo	Intervalo de cinza (DC)
M.D.	Canal	M.E					
		36	W	0,0-1,67		N	0,79-1,51
		80	+	5,62-6,17		+	4,60-5,09
		40	W	0,0-1,67		\$	1,51-2,38
		41b	W	0,0-1,67		\$	1,51-2,38
		45	N	1,67-3,03		\$	1,51-2,38
		50c	=	4,75-5,62		+	4,60-5,09
	38		W	0,0-1,67		\$	1,51-2,38
	45a		=	4,75-5,62		+	4,60-5,09
	46		=	4,75-5,62		+	4,60-5,09
	41a		N	1,67-3,03		\$	1,51-2,38
	51a		U	3,56-4,11		.	5,70-6,34
	50b		=	4,75-5,62		.	5,70-6,34
56a			+	5,62-6,17		N	0,79-1,51
46c			U	3,56-4,11		+	4,60-5,09
51			BR	6,72-7,00		.	5,70-6,34
54			N	1,67-3,03		\$	1,51-2,38
55			N	1,67-3,03		\$	1,51-2,38
53			N	1,67-3,03		\$	1,51-2,38
51b			U	3,56-4,11		*	3,44-4,14
50d			+	5,62-6,17		+	4,60-5,09
51c			U	3,56-4,11		*	3,44-4,14

Quadro 2 - Distribuição e intervalo de níveis de cinza no estuário do Guaíba na passagem de 12 de fevereiro de 1984



O mapeamento das duas passagens nos diversos canais apresentou diferenciação na qualidade da água do Guaíba, conforme a época e canal aplicado. As diferentes situações observadas e as faixas de classificação listadas, serviram para escolha dos melhores canais aplicáveis a qualidade da água (turbidez), assim como identificaram "manchas" de entradas de poluentes (despejos das cidades, indústrias, arroios) e a própria distribuição hidrodinâmica, dispersando os poluentes no estuário (vide figuras 2, 3, 4, 5).

### RESULTADOS OBTIDOS

Os dados de turbidez nos 7 pontos coletados pelo DMAE (1,2m de profundidade) foram relacionados com os dados espectrais nos "graymaps" dos canais 4, 5, 7 e 5+7 para a passagem de 21 de setembro de 1983. Os canais 5 e 5+7 apresentaram melhores resultados para avaliação da qualidade da água. O canal 4 sofre influência do fundo, e o canal 7 não detalha as "manchas".

Os resultados acompanharam a classificação realizada para o Saco de Tapes, na faixa de variação de 30 a 40 UTN, identificando um valor crescente de níveis de cinza para um valor crescente de turbidez, até 60 UTN. O canal 5 subdivide melhor as manchas, porém o canal 5+7 adapta-se melhor aos dados de campo, provavelmente devido a proximidade das profundidades de obtenção dos dados espectrais e de campo (coletas de amostras para turbidez).

Alguns pontos e manchas com altos níveis de cinza, identificaram entradas de cargas poluidoras e sua distribuição no estuário (arroios, despejos e indústrias). As figuras 2 e 3 e quadro 1 servem como ilustração dos resultados.

A segunda aplicação, no dia 12 de fevereiro de 1984, não pode ser relacionada com dados de campo reais, porém os níveis de cinza listados e classificados, identificaram as mesmas entradas poluidoras, com níveis de cinza compatíveis com a aplicação anterior. Para o canal 5 (maior profundidade que o 5+7), foi observada uma mancha com alta concentração de nível de cinza exatamente no local de saída do lançamento subaquático do despejo de uma indústria altamente poluidora, estendendo-se na direção do fluxo principal de água no estuário. As figuras 3 e 4 apresentam a distribuição e dispersão das manchas e o quadro 2 sua classificação espectral.

Os níveis de cinza dos afluentes formadores e da parte intermediária superior do Guaíba foram mais baixos na passagem de fevereiro do que os de setembro.

Análises de dados hidrológicos e climáticos relacionam uma época mais seca para fevereiro de 1984, e uma situação de após chuva para setembro de 1983, possibilitando maior carreamento de material em suspensão e conseqüente aumento de turbidez, implicando em valores mais altos de níveis de cinza.

As faixas de ocorrência de variação de níveis de cinza e faixas de variações de turbidez observadas, apresentaram-se compatíveis nos dados do Saco de Tapes e Guaíba. Uma média de faixa dos valores esperados é disposto no quadro 3, onde os dados são agrupados para os canais 5 e 5+7.

## Palavras Chaves

- . Algorítimo
- . Assinatura Espectral
- . Clusterização
- . Graymaps
- . Interpretação Automática
- . Landsat
- . Qualidade de Águas
- . Turbidez

## Abreviaturas

- CCTs - Computer Compatible Tapes
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- IPH - Instituto de Pesquisas Hidráulicas
- DMAE - Departamento Municipal de Águas e Esgoto
- FINEP - Financiadora Estudos e Pesquisa
- LMS - Landsat Mapping System

## BIBLIOGRAFIA

- BELTRAME, L.F.; NUNES, J.C.; GONÇALVES, M.R. - Avaliação da Classificação Efetiva da Cobertura do Solo.
- COLWELL, R.N.; KNIGHT, A.W.; KOHRRAM, S. - Remote Sensing Analysis of Water Quality and Entrapment Zone in the San Francisco Bay and Delta. University of Califórnia. USA. 1979.
- HOFFER, R.M.; Remote Sensing the Quantitative Approach. McGRAW HILL. Purdue University - USA - 1978.
- HOLYER, R.J.; Comments on Turbidity of Coastal Water Determined from Landsat. Remote Sensing of Environment. Vol. 12, nº 3 New York - USA - 1982.
- MANCY, K.H.; SMITH, S.E.; LATIF, A.F.A. - Monitoring of Water Quality and Environmental Changes in the ASWAN HIGH DAM Reservoir from Landsat Imagery. First Tematic Conference of the International Symposium. on Remote Sensing - Cairo - EGITO - 1981.
- PARK, K.Y.; MILLER, L.D. - Koreau Coastal Water Depth Sediment and Land Cover Mapping by Computer Analysis of Landsat Imagery - NASA Technical Mermorandum 79546 - MARILAND - USA - 1981.
- WEISBLAT, E.A.; ZAITZEFF, J.B.; REEVES, C.A. - Classification of Turbidity Levels in the Texas Marine Coastal Zone. Catalog nº 73 CHO 824 - 2GE - Purdue University - INDIANA - 1973.
- DMAE - Relatório nº 38 - Porto Alegre - BRASIL.