

## CONTROLE DA POLUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO DO VALE DO RIO PARAÍBA

Carlos Celso do Amaral e Silva  
Yigal Amir  
Yara Monteiro de Arruda Damasco Penna

Diretor de Tecnologia e Desenvolvimento — CETESB  
Consultor  
Chefe da Divisão de Estudos de Águas Subterrâneas — CETESB

### ABSTRACT

The region under study totalizing 13,600 km<sup>2</sup> consists of the area drained by the Paraíba River in the State of São Paulo till the boundary of Rio de Janeiro State.

This region was selected for the first specific study of ground water pollution control due to its high industrialization trend, high demographical increase rate and large use of ground water. The study area includes some 310 wells in operation, corresponding to a production of up to  $30 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$  of ground water. During the years 1976 and 1977, physical chemical water analyses were realized on samples of some 50% of the wells in the region, and conclusions were reached that groundwater quality can be considered very good. The pollution sources were classified to point sources and nonpoint sources. Nonpoint sources are defined as sources releasing low pollutant loads per unit of area, but using large areas of discharge.

Examples of a nonpoint source pollution are case of uncollected domestic sewage or pollution originated from agropecuary activity. Point sources of pollution are defined as sources discharging high pollution loads at limited areas. Infiltration of industrial effluents, domestic sewage treatment plants and landfills are examples of this type of pollution sources. After conducting a survey of the pollution sources, and studying the effect of purification capacity in the unsaturated layer of the soil, the effects of pollutants degradation in soil were determined and the transient time of liquid pollutants passing through the unsaturated layer until reaching the aquifer was established. Taking into consideration the transient time (T), the existence of pollution sources (P) and ground water exploration (E), the program TPE was defined. This program uses superposition of the three above mentioned criteria to establish degrees of pollution danger and identifies the areas wich are critical from the point view of ground water pollution. The results obtained after operation the TPE program show that only 9% of the study area can be considered critical in terms of ground water pollution. For these areas, protective technical measures were recommended such as monitoring of pollution loads and ground water quality, construction and expansion of sewage systems and transfer of domestic sewage treatment plants, sanitary landfills and industrial sludge deposition sites to areas wich are classified as areas of low ground water pollution danger.

### CONSIDERAÇÕES GERAIS

A expansão acentuada dos centros urbanos e industriais no Estado de São Paulo vem acarretando uma crescente demanda de água, o que contribui para uma exploração desorganizada das diferentes fontes dos recursos hídricos. Tal expansão originou uma série de novos problemas relacionados ao abastecimento de água, além de provocar aumento considerável nos níveis de poluição dos recursos hídricos superficiais.

Considerando-se que a exploração das águas subterrâneas constituir-se-á proximamente um importante fator para o abastecimento dos grandes centros de consumo, a preservação da qualidade dessas águas é um imperativo que se impõe a fim de que o desenvolvimento do Estado não seja prejudicado.

Há alguns anos o DAEE iniciou estudos diversos que visavam a avaliação dos recursos hídricos subterrâneos do Estado de São Paulo e em 1977 a CETESB, em convênio com o DAEE e com consultoria da ENCO, elaborou um estudo preliminar sobre a poluição atual e potencial das águas subterrâneas, também em todo o Estado. O objetivo desse projeto de grande envergadura foi, na primeira etapa, elaborar um macro planejamento e desenvolver estudos específicos em etapas subsequentes.

O atual resumo se reporta ao estudo específico da Região Administrativa 3, em especial a Bacia Sedimentar de Taubaté, servindo esta como região-piloto para o planejamento de medidas preventivas, assim como de controle, da poluição das águas subterrâneas.

#### OBJETIVO

O objetivo básico deste projeto é a definição de "áreas críticas" - áreas em que a água subterrânea esteja sofrendo, ou possa vir a sofrer, contaminação a partir de poluentes oriundos da superfície. A análise dessas áreas permitirá que se estabeleçam medidas alternativas para preservar a qualidade das águas subterrâneas.

#### CRITÉRIOS DE DEFINIÇÃO DA ÁREA-PILOTO

A Região Administrativa 3 foi escolhida tendo em vista as seguintes características peculiares:

- Significativo processo de urbanização;
- Elevada taxa de crescimento do parque industrial;
- Acentuada elevação da utilização dos recursos representados pelas águas subterrâneas.

#### DESCRIÇÃO DA ÁREA DO PROJETO

A área de estudo está compreendida entre os paralelos 22°24' e 24°00'S e os meridianos 44°89' e 46°10'W, estendendo-se até a divisa com o Estado do Rio de Janeiro, com cerca de 13.600 km<sup>2</sup>.

É constituída por 36 municípios possuindo atualmente (1979) uma população em torno de 1.000.000 habitantes. As atividades principais da região são: a indústria e a agricultura constituindo-se, o setor industrial, em um dos mais importantes polos de desenvolvimento do Brasil. A área é atravessada por um tronco viário principal, a Via Dutra, ligando o Rio de Janeiro a São Paulo, sendo, também, servidas por um tronco ferroviário da RFFSA. Na maior parte da região, o clima tem um comportamento subtropical, quente, com verões chuvosos e invernos secos, temperatura média anual acima de 21°C, umidade média do ar maior que 70% e a precipitação média anual oscila entre 1.200 mm e 2.500 mm.

Os sedimentos que compõem as formações Taubaté e Tremembé representam o aquífero mais explorado na região. Existem aproximadamente 280 poços em funcionamento nos sedimentos, 30 no cristalino. Segundo o cadastramento realizado em 1976, a exploração atual das águas subterrâneas é de cerca de 30x10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>/ano; sendo a previsão para o ano 2.000 da ordem de 175x10<sup>6</sup>m<sup>3</sup> (DAEE - 1977).

#### ESTRUTURAÇÃO DO PROJETO

O trabalho realizado, dentro deste estudo, dividiu-se em quatro atividades:

- I. Avaliação da qualidade atual das águas subterrâneas;
- II. Avaliação das possíveis fontes de poluição;
- III. Desenvolvimento de uma metodologia para o estudo da poluição com respeito às fontes dispersas e as fontes pontuais;
- IV. Determinação das zonas críticas e de áreas prioritárias.

A duração do projeto foi de 18 meses, sendo que, devido a suas diversificadas atividades, houve necessidade, para documentação de seu desenvolvimento, da emissão de vinte (20) relatórios técnicos e de andamento além de um relatório síntese, estruturados conforme exposto a seguir:

- a. Relatório principal (síntese) - Síntese de todo o projeto, dando destaque às conclusões e recomendações a que se chegou, além de expor todos os passos do desenvolvimento do estudo assim como a metodologia utilizada;
- b. Relatório de Andamento - Um conjunto de sete (7) relatórios que expressam, de forma detalhada, as fases intermediárias do desenvolvimento das diversas atividades do projeto, registrando a metodologia utilizada e o progresso atingido no cumprimento do cronograma até então;

c. Relatórios Técnicos - Tendo em vista o grande número de informações exigidas para o desenvolvimento do estudo, evidenciou-se a necessidade da edição periódica de relatórios técnicos que documentassem, de forma sintética e organizada por especialidade, a massa de informações obtidas na consecução do projeto. Tal sistemática, além de ter facilitado, de forma expressiva, a utilização das informações no projeto ora em conclusão, preserva-os colocando esse acervo de dados a disposição de outras equipes e projetos a serem eventualmente desenvolvidos. Foram elaborados doze (12) relatórios técnicos.

#### "BACKGROUND" DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

#### DADOS HIDROLÓGICOS E DE QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Para avaliar a qualidade das águas subterrâneas e superficiais no Vale do Rio Paraíba, utilizaram-se dados fornecidos pelo DAEE, Projeto de Estudos de Águas Subterrâneas da Região Administrativa 3 - São José dos Campos, incluindo informações técnicas e hidrogeológicas sobre as perfurações, geologia da bacia sedimentar de Taubaté, e dados físico-químicos e bacteriológicos das análises das águas amostradas.

Durante os anos de 1976 e 1977, foram realizadas pelo DAEE análises físico-químicas nas águas de cerca da metade dos poços existentes na área do Projeto. Esses dados recolhidos foram compilados em folhas de codificação de computador especialmente preparadas para a finalidade do atual projeto; assim como foi preparado um programa de computador - "HISTOGRAM" - para apresentação estatística e melhor visualização e avaliação dos resultados das análises de certos elementos e compostos.

Sob o aspecto químico, segundo os critérios e padrões das normas de potabilidade da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), as águas podem ser classificadas como de primeira qualidade, para a grande maioria dos poços.

#### DETERMINAÇÃO DO EFEITO DE RETARDAMENTO DA ÁGUA

É possível perceber-se a ligação direta e imediata entre as fontes de poluição e a concentração de poluentes nas águas subterrâneas, principalmente em áreas de boa permeabilidade para penetração no solo. No caso de fontes pontuais de poluição, a velocidade de penetração dos poluentes, desde a superfície do solo até o lençol freático é muito grande, devido a quantidade de água que se infiltra em uma área relativamente pequena. Os poços que se encontram nas proximidades das linhas de infiltração deste despejo encontrar-se-ão imediatamente em perigo de poluição, o que pode obrigar a sua desativação imediata e a procura de fontes alternativas de abastecimento.

Por outro lado, o volume de águas subterrâneas que entra em contato com o poluente é relativamente pequeno e, se detida a poluição, com tratamento apropriado dos despejos, pode-se localizar com técnicas de hidrogeologia relativamente simples, a parte das águas subterrâneas que foi poluída e, assim, evitar um perigo imediato e inconvenientes aos usuários.

Quanto a segunda categoria de fontes poluidoras, as fontes dispersas, a problemática diverge uma vez que uma pequena quantidade de poluentes (devido a dispersão em grande áreas) entra em contato com um grande volume de água. Para aumentar a concentração de poluentes nas águas subterrâneas, torna-se necessária uma grande quantidade dos mesmos. A velocidade de movimentação dos poluentes dispersos em direção ao lençol freático é pequena em relação à velocidade de infiltração das fontes pontuais. Assim, em comparação com uma velocidade de centímetros e até metros por dia no caso de poluição pontual, a poluição dispersa limitar-se-á a ordem de grandeza de dezenas a centenas de centímetros por ano. Entretanto, a quantidade de água envolvida no processo poluidor é grande e, na verdade compromete todo o volume do aquífero. A ocorrência de poluição deste tipo é de certo modo irreversível, e quando o aquífero já está poluído, não é possível corrigi-lo durante muitas décadas, mesmo cessada a poluição.

Objetivando uma avaliação quantitativa das águas subterrâneas, a área em estudo foi parcelada em uma rede de células de tamanhos variando entre 0,5 km<sup>2</sup> até 18 km<sup>2</sup>, sendo que a quantidade de água subterrânea em cada célula é equivalente.

Até sua chegada ao lençol freático, as águas que se infiltram percorrem a zona de aeração (camada não saturada do solo) por certo tempo, de acordo com o tipo de material que compõe a zona não saturada.

Durante a infiltração, as soluções aquosas passam por alguns processos importantes, como filtração, adsorção, desintegração de materiais ativos, etc.

A própria permanência das águas que se infiltram consiste num adiamento da chegada dos poluentes às águas subterrâneas, e durante este período podem ocorrer os processos de

desintegração de materiais tais como pesticidas, detergentes e bases radioativas, dos quais o nível de desintegração é função do tempo.

O tempo de trânsito ( $T_w$ ) da água na zona não saturada foi calculado pelo modelo de células considerando o conteúdo de argila, a umidade e o movimento total da água como uma recarga natural. Na Figura 1 apresenta-se o tempo de trânsito para o trecho que compreende São José dos Campos.

A partir do conhecimento do tempo de trânsito em cada célula do modelo, pode-se obter o seguinte quadro de infiltração nos aquíferos do Vale do Paraíba (Tabela 1).

TABELA 1 - INFILTRAÇÃO NOS AQUÍFEROS DO VALE DO PARAÍBA

Período de Infiltração	Intervalo em Anos	Nº de Células	Quantidade de Água de Recarga em Milhões de m <sup>3</sup>
Mínimo	0 - 5	216	56
Baixo	5 - 20	425	64
Moderado	20 - 70	313	36
Prolongado	70 - 100	316	44
Salvo	> 100	181	27
<b>TOTAL</b>		<b>1.451</b>	<b>229</b>

#### POLUIÇÃO URBANA

##### ESGOTO DOMÉSTICO

Para caracterização da poluição das águas subterrâneas por esgoto doméstico foram utilizados os parâmetros: Demanda Bioquímica de Oxigênio ( $DBO_5$ ) e Nitrogênio, sendo que para o cálculo da carga bruta utilizou-se o índice per capita diário de 54 g  $DBO_5$ / dia.

No cálculo do potencial de poluição foram consideradas três situações:

- População não atendida por redes de esgoto que infiltra seus despejos no solo, sendo portanto uma fonte dispersa. Essa fonte é responsável por uma infiltração de 377 t/ano de Nitrogênio com valor máximo de 137 t/ano em São José dos Campos e 4 t/ano em Lorena;
- População atendida por redes de esgoto, sendo o mesmo tratado por sistemas onde pode haver infiltração no subsolo. Essa fonte é considerada como puntual, sendo que na região em estudo é responsável pela infiltração de 205 t/ano de Nitrogênio no subsolo que corresponde ao esgoto de Caçapava, Pindamonhangaba e Roseira;
- População atendida por redes de esgoto cujo afastamento é realizado por curso d'água.

No cálculo da população esgotada foram utilizados dados de um levantamento efetuado pela CETESB em 1976, extrapolados para o ano de 1980.

##### RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES

Existem diversos tipos de disposição final do lixo urbano, sendo que o lançamento a céu aberto e os aterros sanitários oferecem maior perigo de poluição às águas subterrâneas. Observa-se que na região em estudo esses são os meios de disposição final mais utilizados pelas Prefeituras.

Na decomposição do lixo, há a produção de um líquido de coloração escura, o chorume, que polui as águas subterrâneas. Como o Nitrogênio aparece em grande quantidade nos resíduos sólidos domiciliares, foi adotado como parâmetro de caracterização e considerou-se que o lixo urbano contém 1,56% em peso de Nitrogênio.

Da população da área de projeto pode-se constatar que de cerca de 800.000 habitantes, 89% é atendida por coleta de lixo sendo uma fonte puntual de poluição. Essa fonte é responsável por uma infiltração de 985 t/ano de Nitrogênio, sendo que o valor máximo encontrado foi de 310 t/ano em São José dos Campos e o mínimo de 2,7 t/ano em Roseira.

##### POLUIÇÃO URBANA TOTAL

Os critérios de cálculo da poluição urbana foram os seguintes:

- A poluição que ocorre devido a infiltração dos esgotos em locais não servidos por

TABELA 2 - PRINCIPAIS INDÚSTRIAS NO VALE DO PARAÍBA

Nº	INDÚSTRIA	PRODUTOS	CIDADE	COL.	LIN.	Nº DE OPERÁRIOS	EFLUENTE m <sup>3</sup> /h	POLUENTES
01	PAPEL N. S. APARECIDA	Papel e Celulose	Aparecida	45	04	421	693	DBO, DQO, SS, pH, Cor, SD, Coliformes.
09	CIA. PROD. ALIM. NESTLÉ	Chocolate, Doces	Caçapava	30	12	645	55	DBO, DQO, SS, SD, pH, Óleos e Graxas.
11	CIA. P. VID. PROVIDRO	Vidro e Espelho	Caçapava	28	14	600	83	pH, SS, DBO, DQO, Óleo, Hg, Fe, F, Cor, P, MBAS, SO <sub>4</sub>
13	FUJI PHOTO FILM BR	Prod. Fotográficos	Caçapava	27	12	31	60	pH, SS, DBO, DQO, Ag, Cl <sup>-</sup> .
45	BASF BR SA IND QUIM	Prod. Químicos	Guaratinguetá	47	06	700	400	pH, DBO, DQO, TOC, SS, SD, Zn, Cr, Fe, Na, SO <sub>4</sub> , S <sup>2-</sup> , Óleos, MBAS, Fenóis, Ba.
71	INQUIBRÁS SA	Prod. Org. e Inorgânicos	Jacareí	06	07	110	6	pH, DBO, DQO, TOC, Óleos, SS, Br, Mn, P, Cl org.
74	HENKEL DO BRASIL SA	Óleos Sulfenatados	Jacareí	06	15	372	8	pH, DBO, DQO, Óleos e Graxas, MBAS, SO <sub>4</sub> , SS, SD, Fe, Fenóis, Na.
75	FILENE IND TEXTIL SA	Fibras de Poliester e Poliamida	Jacareí	06	09	468	60	pH, DBO, DQO, SS, Óleos, SD, Fenóis.
124	CIA AI CÍCERO PRADO	Papel e Celulose	Pindamonhangaba	40	11	830	1.360	DBO, DQO, SS, pH, Cor, SD, Temp., Coliformes.
130	AISA ALUM IND COM	Prod. Tratados Alumí nio	Pindamonhangaba	39	13	1.500	23	pH, SS, Óleos, DBO, DQO, SD, F, Cl, SO <sub>4</sub> , Al, Fe, Fenóis, NH <sub>3</sub> , Cu, Pb, Zn, Cr, Cd.
178	RHODIA IND QUIM TEXTIL	Fibras Artificiais	S.J. dos Campos	17	23	1.237	3.400	DBO, DQO, SS, SD, pH, Zn, Cr, Fenóis, MBAS, Óleos.

rede, foi distribuída entre as células afetadas segundo uma avaliação geral (fonte difusa);

• A poluição que ocorre devido a infiltração de esgotos correspondentes a fontes puntuais, tais como estação de tratamento e depósitos de lixo, foi registrada na célula afetada (fonte puntual);

• A poluição total, como soma das duas categorias foi calculada para cada célula.

Na Figura 2 apresenta-se a situação da poluição proveniente de esgoto doméstico e lixo em um trecho da rede de células incluindo a cidade de Lorena.

#### POLUIÇÃO INDUSTRIAL

Na região em estudo, estão localizadas 300 indústrias consideradas poluidoras de acordo com os critérios da CETESB. Dessas indústrias foram selecionadas 45 conforme o exemplo apresentado na Tabela 2 de acordo com o número de operários, vazão e toxicidade dos efluentes e o potencial poluidor das águas subterrâneas.

Na Figura 3 apresenta-se a localização das indústrias por região, no trecho de São José dos Campos, podendo-se observar a predominância de indústrias químicas e mecânicas.

Na caracterização dos efluentes das indústrias, foram utilizados dados levantados pela CETESB, guias da EPA (Environmental Protection Agency), estudos de campo e outros. As indústrias selecionadas foram consideradas fontes puntuais sendo aplicado um modelo matemático especialmente desenvolvido para o Projeto, que simula o movimento de poluentes no aquífero.

#### AGRICULTURA E PECUÁRIA

Com relação a agricultura e pecuária foi observado um aumento da aplicação de fertilizantes e defensivos agrícolas na região. Os adubos e excrementos animais são fonte de nitrogênio enquanto que defensivos agrícolas são compostos de substâncias químicas envolvendo um risco potencial à saúde.

Na Tabela 3 são apresentadas as principais atividades agrícolas da região. Nesse estudo observou-se que no momento as atividades agrícolas não são dominantes na região. Foi elaborado um modelo de balanço de nitrogênio nas águas subterrâneas o "NITROBAL" que leva em conta dois processos fundamentais:

- Absorção da carga nutriente pela vegetação para a produção de proteínas;
- Desnitrificação.

Em cada célula efetuou-se o balanço de nitrogênio, sendo constatado que apenas em algumas células isoladas a concentração permitível de nitrato (10 mg/l) será ultrapassada, devido a baixa utilização de fertilizantes e defensivos agrícolas, ( dosagens inferiores às recomendadas), alto teor de desnitrificação (solo composto de partículas finas e alto nível de pluviosimetria na região) e a um estágio ainda primário das atividades agrícolas da região.

Na Figura 4 estão apresentadas as cargas de Nitrogênio provenientes da agropecuária e sua concentração provável na recarga em um trecho da rede de células.

Observa-se que somente em 125 células a concentração de nitrato máxima será ultrapassada na área de recarga.

#### METODOLOGIA DE TRABALHO

##### CRITÉRIOS GERAIS

Conforme indicado nos itens anteriores, as águas subterrâneas foram caracterizadas com base em informações disponíveis e outras complementares, sendo feitas correlações entre os dados de qualidade de água dos poços e o arquivo de informações geológicas, físicas, topográficas e hidráulicas dos poços cadastrados.

Foram avaliadas ainda todas as fontes externas de poluição que poderiam causar perigo para as águas subterrâneas.

A metodologia do Projeto, baseia-se na premissa que o enfoque para um estudo da poluição das águas subterrâneas por fontes externas, consiste, de um lado, em um macro avaliação das fontes poluidoras nas zonas de exploração atual e futura, da capacidade de auto-depuração do solo e dos efeitos dos poluentes sobre a qualidade das águas

TABELA 3 - ESTIMATIVA DAS CARGAS DOS COMPOSTOS QUÍMICOS E AS TAXAS DE APLICAÇÃO PROVENIENTE DA CONTRIBUIÇÃO DA AGROPECUÁRIA POR MUNICÍPIO, NA REGIÃO DO VALE DO PARAÍBA.

	ÁREAS (ha)			AGRICULTURA				PECUÁRIA			
	TOTAL	"GRID"	CULTI VÁVEL	ÁREA DAS CULTURAS (ha)	CARGA DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS kg/ano	NITROG. PROVEN. AGRICUL. kg/ano	TAXA DE APLICA- ÇÃO kg/ha/anc	ÁREA DE PASTAGEM (ha)	BOVINOS (UNIDADES)	NITROG. PRODUZ. kg/ano	TAXA DE APLICAÇÃO kg/ha/ano
1. Caçapava	36.500	25.769	28.970	5.970	9.600	84.700	14,1	23.000	18.000	394.200	17,1
2. Cachoeira Paulista	27.900	11.355	21.256	1.270	2.500	20.600	16,2	20.000	13.000	284.700	14,2
3. Cruzeiro	33.100	6.452	24.196	1.200	300	9.400	7,8	23.000	13.730	300.700	13,1
4. Guararema	26.200	7.828	20.640	5.640	2.700	9.600	1,7	15.000	18.000	394.200	26,3
5. Guaratinguetã	82.500	22.505	63.008	7.990	39.400	77.900	9,7	55.000	35.000	766.500	13,9
6. Jacareí	46.300	22.004	35.540	12.540	4.900	245.000	19,5	23.000	17.000	372.300	16,2
7. Lorena	45.200	18.650	35.770	770		11.800	15,3	35.000	24.000	525.600	15,0
8. Pindamonhangaba	71.900	37.260	59.640	13.241	21.200	362.900	27,4	46.200	35.000	766.500	16,6
9. Roseira	13.900	3.970	7.277	1.280	10.900	22.800	17,8	6.000	4.500	98.600	16,4
10. S. José dos Campos	111.800	35.701	77.220	5.320	12.600	207.800	39,0	72.000	40.000	876.000	12,2
11. Taubaté	65.500	21.140	49.008	6.320	28.700	109.800	17,3	42.700	32.000	700.800	16,4
12. Tremembé	17.400	12.575	13.140	3.154	10.400	89.300	28,3	10.000	6.500	142.400	14,2
TOTAL	578.200	225.209	435.665	64.695	143.200	1.251.600	-	370.900	256.730	5.622.500	-

subterrâneas e, por outro lado, consiste na realização de estudos de campo em áreas selecionadas, para verificação das suposições teóricas preliminares e para uma especificação em micro-escala dos efeitos das fontes poluidoras.

Com o auxílio da informação coletada foram selecionadas células potencialmente com prometidas (células críticas) do ponto de vista de fontes poluidoras difusas, através da superposição com outros critérios determinantes da metodologia adotada (tempo de trânsito de uma carga poluidora na camada não saturada, capacidade de auto-depuração do solo e ocorrência de exploração das águas subterrâneas).

Para as fontes pontuais, foi aplicado o programa PSRC, determinando-se a frente de avanço dos poluentes. Para as áreas prioritárias recomendou-se um programa de monitoramento.

#### CÉLULAS CRÍTICAS (PROGRAMA TPE)

Na determinação das células críticas de poluição das águas subterrâneas foram utilizados três critérios:

- . Tempo de percurso da água até o aquífero através da zona não saturada (Tw);
- . Existência de fontes principais de poluição tais como: esgoto municipal, lixo domiciliar, efluentes industriais e áreas de agricultura (P);
- . Utilização da área (no presente e/ou no futuro) para exploração das águas subterrâneas (E).

Para cada critério selecionado, foram determinados três graus de perigo de poluição (1, 2 e 3). Com a superposição desses coeficientes foram definidas as células prioritárias. As etapas desse estudo estão apresentadas na Figura 5. A seguir, na Tabela 4, estão relacionados os graus de perigo de poluição de acordo com o critério selecionado.

TABELA 4 - GRAUS DE PERIGO DE POLUIÇÃO

Grau de Perigo	Critério de Poluição	Tempo de Trânsito (T)	Poluição (P)	Exploração (E)
1		< 10 anos	> 2 fontes ou mais	Atual
2		10 - 50 anos	1 fonte	Prevista
3		> 50 anos	Nenhuma	Não Há

As prioridades foram definidas como:

- a. Primeira Prioridade - (111) Neste caso o primeiro grau de perigo é preenchido para todos os três critérios selecionados;
- b. Segunda Prioridade - (112, 121 ou 211) Neste caso o primeiro grau de perigo (1) é preenchido para dois dos três critérios selecionados, sendo que o outro critério recebe uma qualificação de segundo grau de perigo (2);
- c. Terceira Prioridade - (122, 212 ou 221) Nesse caso o primeiro grau de perigo (1) é preenchido para um dos três critérios selecionados e os demais são classificados em segundo grau de perigo (2);
- d. Quarta Prioridade - (222) Nesse caso o perigo de poluição de segundo grau (2) é preenchido para todos os três critérios selecionados.

As células que recebem em qualquer um dos três critérios o terceiro grau de perigo, não foram dadas prioridades.

Com os dados de tempo de trânsito, poluição e exploração, elaborou-se o programa TPE que faz a superposição dos critérios mencionados. Observou-se que somente 7 células foram classificadas na categoria máxima de perigo, 41 células na categoria alta e 91 células na categoria baixa.

## ÁREAS PRIORITÁRIAS (PROGRAMA PSRC)

Nesta fase foram avaliados os perigos de poluição por fontes pontuais, como efluentes industriais e urbanos. Conforme o procedimento mencionado anteriormente, na determinação do perigo de poluição foram consideradas 45 indústrias, 2 estações de tratamento de esgotos urbanos e 6 lixões municipais, totalizando 53 fontes pontuais.

Na avaliação das áreas prioritárias, conforme indicado na Figura 5 anterior, adotaram-se os seguintes passos:

1. Desenvolvimento de um modelo matemático que simula a dispersão de poluentes pontuais e seu movimento em direção a poços de captação, levando-se em conta parâmetros hidrogeológicos do aquífero e da camada não saturada, a distribuição de bombeamento, ritmo de infiltração das fontes pontuais e parâmetros físico-químicos dos poluentes específicos;
2. Avaliação do tempo de trânsito dos poluentes desde as fontes pontuais até os poços de captação, determinando-se as curvas de concentração em função do tempo, nos poços que tendem a se poluir devido a essas fontes. Na ausência de dados sobre a concentração dos poluentes nos efluentes ou no caso de infiltração de poluentes de leitos de secagem de lodo, foram calculadas as concentrações como fração da concentração indeterminada;
3. Realização de previsões da situação da poluição no ano 2025;
4. Definição de áreas prioritárias nas quais recomenda-se não efetuar no futuro perfuração para o abastecimento de água potável sem uma análise hidráulica e qualitativa;
5. Recomendações operativas para evitar a poluição das águas subterrâneas, controle quantitativo na vizinhança das fontes de poluição e desenvolvimento adicional de novas fontes de abastecimento próximo às indústrias.

As fases 2 e 5 foram realizadas separadamente para cada uma das 53 fontes pontuais.

É importante frisar que os modelos utilizados são gerais, e, no caso de um conflito radical entre o abastecimento de água para a população e os interesses e possibilidades de purificação dos efluentes de uma indústria poluidora, é necessário realizar uma análise quantitativa mais profunda, utilizando-se técnicas hidrogeológicas e hidroquímicas mais avançadas, além de ser necessária a implantação de um sistema de controle entre os pontos de poluição e poços produtores.

## POLUIÇÃO POTENCIAL DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

As 53 fontes pontuais escolhidas foram estudadas com detalhe e classificadas segundo seu grau de perigo. Para isso, na classificação das fontes que não causarão poluição dos poços no tempo previsto, adotaram-se os critérios:

- . Distância relativamente grande entre a fonte e os poços produtores, em comparação com as velocidades e direção do fluxo;
- . Proximidade de um afloramento superficial do aquífero;
- . Existência somente de poluentes orgânicos no efluente da fonte.

Para as fontes restantes aplicou-se o Programa PSRC, como indicado no exemplo da Tabela 5. Na classificação do perigo, adotou-se o critério do número de poços que podem se contaminar até o ano 2025, ano adotado nas simulações. As conclusões obtidas foram as seguintes:

- . 37 fontes não contaminarão nenhum poço vizinho;
- . 11 fontes podem contaminar até 2 poços vizinhos;
- . 5 fontes podem contaminar mais que 2 poços vizinhos.

Na Figura 6 observa-se a aplicação do modelo para a Fábrica KODAK. Na Figura 7 apresenta-se a distribuição das fontes pontuais com uma representação do perigo para as fontes de água vizinhas, no trecho de São José dos Campos.

Constatou-se que a poluição máxima prevista, ocorrerá ao lado da Fábrica EATON que poderá afetar 5 poços vizinhos.

Nota-se que de todos os poços existentes no Vale do Paraíba, cerca de 30 deles estariam potencialmente ameaçados pela contaminação. Entretanto é importante notar que esse número diz respeito a todas as probabilidades possíveis, e obviamente tais situações não ocorrem conjuntamente. Isso significa que na realidade somente 1/3 desses poços podem se contaminar por causa da poluição industrial.

TABELA 5 - POLUIÇÃO PROVÁVEL DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM 2025, DEVIDO A FONTES PUNTUAIS

CÓDIGO	FONTE	LOCALIZAÇÃO	DESCRIÇÃO	POLUENTES RELEVANTES ÀS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	INÍCIO EM (ANO)	AQUÍFERO ALCANÇADO EM (ANO)	VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS*			POLUIÇÃO DE POÇOS (2025)			
							BN (M)	V <sub>NAT</sub> (M/ANO)	AZ GRAD (°)	POÇO	USO	VAZÃO (MMC/A)	POLUENTES CAPTURADOS (%)
071	INQUIBRÁS S.A.	Jacareí	Infiltração do lodo	Cl Orgânico, COD Mn	1972	2043							
074	HENKEL DO BRASIL	Jacareí	Infiltração do lodo	COD, Fe, Fenóis, MBAS, SO <sub>4</sub>	1975	1998	6,0	30,5	270	326/010	Ind.	0,138	100
075	FILENE IND TEXTIL		Infiltração do lodo	COD, Fenóis	1974	2026							
077	FOSFANIL S.A.	Jacareí	Infiltração da lagoa de sedimentação	Cd, COD, Cr, Hg, Mn, SO <sub>4</sub> , Zn	1970	1971	9,0	30,0	30	326/014	Ind.	0,415	100
091	ROHM AND HAAS DO BRASIL	Jacareí	Infiltração da lagoa de sedimentação	Cd, COD, Cr, Fe, nóis, Mn, SO <sub>4</sub> , Zn	1970	1971	9,0	30,0	85	306/012	Ind.	0,281	63
092	FIATEC MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	Jacareí	Infiltração da lagoa de sedimentação	Cd, COD, Fe nóis	1970	1972	12,3	42,0	240-270	326/005	Ind.	0,014	5
173	RHODIA IND QUIM TEXTIL	São José dos Campos	Infiltração da lagoa de estabilização	COD, Cr, MBAS, Fenóis, Zn	1950	1951	12,5	50,0	315 45	306/111 306/112	Ind. Dom.	1,0 0,65	7 37
183	SÃO PAULO ALPARGATAS	São José dos Campos	Não há infiltração										

\* V<sub>NAT</sub> - Velocidade do fluxo natural

BN - Espessura efetiva do aquífero

AZ GRAD - direção do fluxo natural

O volume das águas subterrâneas na região em perigo, foi avaliado em cerca de  $230 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Não se deve considerar tais regiões como proibidas para perfuração de novos poços, mas como regiões nas quais serão exigidas atividades de pesquisa e de controle qualitativo.

#### SENSIBILIDADE DA AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO COM A MODIFICAÇÃO POSSÍVEL DE PARÂMETROS HIDROGEOLÓGICOS E FÍSICO-QUÍMICOS

Foram realizados testes de sensibilidade nas previsões apresentadas devido a imprecisão existente na definição de alguns parâmetros utilizados.

Foi selecionada a Fábrica EATON como exemplo de aplicação. Foram efetuados estudos com um desvio  $\pm 30^\circ$  no valor da direção do fluxo. Nas três alternativas observa-se que o poço da Fábrica EATON (306/14) será contaminado em uma ordem de grandeza unitária. Os poços 306/9 e 306/14 (B e D respectivamente) serão contaminados apenas se a direção escolhida prevalecer. Devido a baixa vazão do poço 306/9 ( $20.000 \text{ m}^3/\text{ano}$ ), qualquer deslocamento da direção do fluxo natural evitará sua contaminação.

Um acréscimo no azimute de  $5 - 10^\circ$  adicionais a  $330^\circ$ , poderá acarretar a contaminação do poço 306/19 que é utilizado para abastecimento industrial e doméstico. Os poços 306/9 e 306/10 portanto só serão contaminados se a direção do fluxo for  $290^\circ$ . Na ausência de uma informação fiel sobre a direção do fluxo, deve-se considerar o caso mais crítico quando da redação das recomendações referentes a carga máxima permitível de lodo disposto. O perigo de um determinado poço ser contaminado está em proporção direta à parte relativa de poluentes por ele "capturados", e a sua produção.

#### RECOMENDAÇÕES PARA O CONTROLE DA POLUIÇÃO

##### SISTEMAS DE MONITORAMENTO

A mudança da qualidade das águas subterrâneas em consequência da infiltração de despejos líquidos e sólidos é um processo lento que deve ser administrado adequadamente para possibilitar que medidas preventivas e/ou corretivas sejam tomadas.

Estudos de campo podem fornecer informações úteis especialmente sobre a poluição das águas subterrâneas por fontes pontuais. Para o controle da poluição recomenda-se a realização de monitoramento nas áreas prioritárias. Esse estudo deverá abranger as diversas fontes de poluição, além das fontes de captação. Deverá ser realizada também uma complementação das informações hidrogeológicas.

Para o controle da poluição, recomenda-se a realização de monitoramento nas áreas prioritárias. Os estudos recomendados são os seguintes:

- a. Monitoramento da quantidade de água que infiltra no subsolo. Conforme a fonte poluidora calcula-se a quantidade de água que infiltra.  
A medida do fluxo, tanto para efluentes municipais como industriais deve ser efetuada 4 vezes por ano durante 2 - 3 dias cada para estimar a variação horária. Deve ser calculado também o fluxo médio para inverno e verão e o tempo de detenção nas lagoas de tratamento;
- b. Monitoramento da qualidade da água que infiltra. Deverão ser realizadas amostragens nos efluentes industriais e domésticos, na água infiltrada nos leitos de seagem e nos depósitos de lixo industrial e urbano; além de se obter informações na indústria sobre eventuais vazamentos.  
Deverão ser amostradas também as águas utilizadas para irrigação, e obtidas informações sobre a quantidade e composição química das substâncias aplicadas no solo;
- c. Monitoramento da qualidade das águas subterrâneas. O monitoramento das águas subterrâneas deverá consistir em duas etapas:
  - . Qualidade química natural das águas subterrâneas através de processamento de dados existentes;
  - . Programa de monitoramento contínuo nas micro-áreas selecionadas. Não é necessário incluir no monitoramento todos os poços da micro área selecionada. É necessário incluir somente os poços localizados na direção do avanço da frente de poluição.

Simultaneamente com os registros das fontes de poluição, deverá ser feito um levantamento detalhado da hidrogeologia das micro áreas selecionadas. Nesse levantamento deverão ser cadastrados os poços existentes com dados de utilização, localização, cota, vazão explorada e capacidade. Deverão ser obtidas também informações hidrogeológicas

dos poços como profundidade e porosidade do aquífero explorado. Nas micro áreas selecionadas recomenda-se um estudo detalhado da geologia, além de uma estimativa da direção e velocidade do fluxo da água no aquífero principal.

No estudo das micro áreas deve ser estabelecido se a recarga natural das águas subterrâneas ocorre nos seus limites ou suas vizinhanças. Em caso positivo, a quantidade de recarga da água deve ser calculada e incluída no balanço da água da área em estudo.

Se nas micro áreas selecionadas existirem outros casos de infiltração artificial no subsolo excluídas as mencionadas nos capítulos anteriores (irrigação, infiltração nas áreas municipais não servidas pela rede de esgotos, infiltração de lagoas de acumulação, etc), a quantidade das águas infiltradas deverá ser incluída também no balanço da água de cada área.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES RELATIVAS AS FONTES DE POLUIÇÃO

### POLUIÇÃO MUNICIPAL

São poucas as fontes de poluição provenientes dos esgotos ou lixo que ameaçam a qualidade da água subterrânea na região do Projeto.

- . O esgoto proveniente da população não servida pela rede pode ser considerado como fonte dispersa. Os dados obtidos mostram que as quantidades de poluentes urbanos que alcançaram as camadas superiores do solo variam entre 3 e 190 t DBO<sub>5</sub>/ano e entre 1 e 43 t de nitrogênio/ano para cada célula;
- . A área não esgotada situada a oeste de São José dos Campos, conforme Figura 7 anterior, constitui uma ameaça para a futura zona de exploração de água subterrânea.  
Nesta área se recomenda a execução da rede de esgotos como extensão de rede principal de São José dos Campos;
- . Na região de Caçapava, encontram-se três lagoas pertencentes à Estação de Tratamento de Esgotos, duas delas localizadas dentro da área de futura exploração de águas subterrâneas. Tendo em vista que a área ocupada por essas duas unidades de tratamento é relativamente pequena (63.000 m<sup>2</sup>) e não justifica a necessidade de tratamento de esgotos municipais, recomenda-se a imediata paralização dessas duas unidades e a sua transferência para outro local fora da área prevista para exploração, sem perigo de comprometer o aquífero a ser utilizado futuramente como fonte de água para abastecimento;
- . Nenhum "lixão", atualmente tende a contaminar poços produtores existentes, muito embora se deva levar em conta a área de avanço da frente poluente por eles determinada;
- . Futuros sítios para "lixões" deverão ser selecionados em locais com Tw "moderado" e fora das áreas propostas para futura exploração das águas subterrâneas.

### POLUIÇÃO INDUSTRIAL

- . O modelo PSRC foi desenvolvido no presente Projeto como instrumento de simulação do deslocamento da frente de poluição, na camada não saturada e no aquífero, originado por fontes pontuais e como meio para uma tomada de decisões relacionadas com as atividades poluidoras. Esse modelo foi muito útil na avaliação preliminar da poluição das águas por 45 indústrias importantes, das 250 que se encontram na região do Projeto;
- . Recomenda-se usar esse modelo sistematicamente em outras regiões e também no intuito de testar novas indústrias em vias de instalação na região, como também no sentido de testar localizações alternativas para futuras disposições de lixo e resíduos industriais;
- . Recomenda-se, também, atualizar previamente as avaliações aqui apresentadas, de acordo com as mudanças na dinâmica e extensão dos poços de exploração;
- . Feita a avaliação das 45 fontes pontuais determinantes no Vale do Paraíba, pode-se verificar com a Tabela 5 (anterior), que até o ano 2025, 13 dessas fontes podem contribuir para a contaminação de poços existentes. Além desses, tem-se 5 fontes que atualmente não contaminam nenhum poço, porém determinam uma área crítica, área essa, limitada pela frente de progressão dos poluentes;
- . Note-se, portanto, que de 53 fontes pontuais originais, a atenção deve ser voltada à 25 delas, no contexto de uma tomada de posições, em vista do controle de poluição das águas subterrâneas;

- . Quanto as demais fontes, segundo as características próprias de cada uma delas e os dados hidrogeológicos específicos as áreas vizinhas, observa-se que não acarretam perigo algum as águas subterrâneas;
- . Visualizando-se a Figura 7 (anterior), pode-se perceber a ocorrência de um prognóstico para exploração futura das águas subterrâneas em determinadas regiões do Vale do Paraíba. Conseqüentemente, é importante levar-se em consideração essa previsão de exploração futura na determinação das áreas críticas. Através da superposição das frentes obtidas do modelo matemático PSRC com as regiões previstas para exploração no futuro, é possível determinar "a priori" quais serão as áreas mais sensíveis quanto ao potencial de poluição das águas subterrâneas;

Da Figura 7 e Tabela 5 (ambas apresentadas anteriormente), obtém-se portanto:

- . Na região de Jacareí, na medida em que a determinação da direção do fluxo natural varia em  $30^{\circ}$  (no caso específico, a Fábrica de Materiais de Construções FADEMAC), há a possibilidade de que a frente poluidora atinja a região prevista para a futura exploração de águas subterrâneas. Entretanto, a viabilidade de que isto aconteça é bastante reduzida, uma vez que isto se daria somente segundo uma combinação de parâmetros muito críticos;
- . Na região de São José dos Campos, observa-se que o limite extremo da frente poluidora (no ano 2025), limita-se com a área de futura exploração. Nesse caso, é de se esperar que após o ano 2025, a frente na sua progressão venha a "penetrar" na área de exploração de águas subterrâneas, acarretando um comprometimento do abastecimento. Convém portanto aplicar o modelo PSRC na medida em que se vá determinando a localização de futuros poços nessa área para a partir do resultado ter a possibilidade de determinar as medidas que devem ser tomadas;
- . Na região de Lorena, com uma variação de  $30^{\circ}$  da direção do fluxo natural determinado para a área vizinha à Indústria FURUKAWA, há a possibilidade de que a frente poluidora atinja a região prevista para futuras explorações. Nesse caso específico, recomenda-se uma avaliação mais minuciosa dos parâmetros hidrogeológicos, para uma determinação mais exata da geometria da frente de avanço dos poluentes.

#### POLUIÇÃO AGROPECUÁRIA

Ao analisar os dados levantados durante o estudo constatou-se que:

- . As porcentagens da área total que é cultivável, indica a vocação agrícola da região (cerca de 67,2% do total);
- . A porcentagem da área cultivada em relação à área cultivável é pequena, 12,4%, o que representa 8,3% da área total. Em relação à área do "grid" é sensivelmente maior, 16%, índices que demonstram que no momento as atividades agrícolas não são dominantes;
- . As dosagens utilizadas pelos agricultores nas culturas diversas são inferiores se comparadas às taxas recomendadas, indicando assim a condição de práticas agrícolas ainda em fase de desenvolvimento;
- . As áreas de pastagens sobressaem-se diante das de culturas. Nessas áreas de pastagens realçam-se as pastagens naturais (95% das áreas de pastagens totais).

Estima-se que a curto prazo esta região iniciará o desenvolvimento de áreas de pastagem cultivada, já que a infra-estrutura para tal prática está sendo acionada pela Secretaria de Agricultura. Com dados compilados da ocupação urbana, de atividades agropecuárias diversas, das aplicações de fertilizantes e corretivos agrícolas, foi elaborado um modelo de balanço do nitrogênio das águas subterrâneas para o cálculo da possível concentração de nitrogênio nas águas de infiltração. O modelo "NITROBAL" leva em conta dois processos fundamentais:

- . Absorção pela vegetação da carga nutriente, para a produção de proteínas;
- . Desnitrificação.

Feito o balanço para cada célula da rede representativa da área em estudo, verificou-se que o limite permissível em nitratos dificilmente será ultrapassado, isso se deve basicamente a baixa utilização de fertilizantes e corretivos agrícolas (dosagens inferiores às recomendações técnicas), a um alto teor de desnitrificação (solo com posto de partículas finas e alto nível de pluviometria na região) e a um estágio ainda primário das atividades.

Foi constatado que somente em 125 células a concentração máxima de nitrogênio admitida (10 mg/l) será ultrapassada.

As recomendações dos princípios de controle de poluição futura abrangem:

1. Transferência do lodo industrial para locais apropriados onde tenham sido efetuados levantamentos hidrogeológicos e quantitativos e que, resultaram em uma pequena probabilidade de contaminação das águas subterrâneas vizinhas;
2. Quando a transferência do lodo não for possível segundo razões econômicas e ou tras, deve-se cumprir as recomendações que dizem respeito a carga máxima permitida de poluentes no lodo. Tais recomendações são dadas segundo a combinação crítica dos parâmetros e poços à jusante. O cumprimento dessas recomendações obrigará, sem dúvida, uma ampliação dos mecanismos de controle, amostragens constantes do lodo, etc;
3. Quando a contaminação prevista ocorrer devido a infiltração de parte dos efluentes nas águas subterrâneas, deve-se assegurar que a carga máxima de poluentes que tendem a atingir o nível estático das águas subterrâneas, ou seja, o produto da vazão de infiltração pela concentração dos poluentes no efluente, não ultrapasse a carga recomendada. A medida da concentração como único controle, quando as variações da infiltração podem variar, segundo ordens de grandeza relevantes, poderá acarretar em uma falha no objetivo de assegurar a qualidade das águas;
4. Deve-se afastar os poços produtores dos focos potenciais de poluição, mesmo quando a princípio, é garantida a vedação do foco de contaminação. A menor distância recomendada é de 300 - 500 metros. Tal distância assegura que mesmo em casos de acidentes como a liberação incontrolada de poluentes, será possível dominar e controlar a situação em um tempo razoável, sem com isso acarretar uma interrupção da exploração das águas subterrâneas. Um exemplo típico que ilustra tal situação foi encontrado no poço 306/8, localizado a 5 metros somente da unidade de recuperação de prata da Fábrica KODAK. Um acidente imprevisto na atividade dessa unidade, poderá acarretar uma poluição irreversível ao poço em um intervalo curto de tempo;
5. As recomendações quantitativas para a limitação da carga de poluentes no lodo ou nos efluentes, baseiam-se em algumas suposições críticas. Se existissem a disposição dados mais fiéis e detalhados sobre os parâmetros determinantes, poderiam ter sido feitas avaliações mais reais.

Além disso, um teste quantitativo mais detalhado poderá minimizar ainda mais os perigos de poluição, conforme eles são apresentados nesse relatório e, conseqüentemente, reduzir os investimentos necessários para o cumprimento dessas recomendações. As atividades necessárias a complementação da informação corrente para o controle da poluição das águas subterrâneas são as seguintes:

- a. Visitas sucessivas a fábricas poluidoras no sentido de se examinar detalhadamente os danos no local, e identificação de focos poluidores adicionais, que por determinadas razões escaparam ao nosso conhecimento;
- b. Complementação da informação hidrogeológica nas vizinhanças das indústrias mais críticas. Em casos nos quais os cortes são heterogêneos, deve-se complementar a informação através de medidas geofísicas;
- c. Deve-se retomar os testes de bombeamento para atualizar as constantes hidrogeológicas (condutividade e transmissividade hidráulicas, constantes de escapamento entre sub-aquífero e o armazenamento);
- d. Deve-se iniciar, nas áreas piloto, experiências de campo com traçadores radioativos para uma melhor avaliação da espessura efetiva do aquífero, da dispersão característica, da velocidade e da direção do fluxo natural.

O objetivo desse trabalho foi de permitir a qualquer consumidor a obtenção de água de qualidade digna de confiança. Este objetivo poderá ser atingido somente se for mantido um controle cuidadoso constante da qualidade dos recursos hídricos importantes.

	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
29	14	14	14	14	3	3														82	78	78	75	87
28	14	14	14	14	3	3	5	10												55	39	39	42	75
27	41	29	24	24	24	72	72	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	12	38	50	37
26	43	14	29	24	24	72	72	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
25	43	14	23	24	24	87	29	38	43	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
24	29	14	23	23	23	23	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
23	23	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
22	7	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
21	7	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
20	7	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
19	7	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
18	4	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
17	4	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
16	4	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
15	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
14	28	8	7	8	18	38	24	29	55	41	63	3	7	43	78	28	19	25	26	28	29	29	29	29
13	28	22	7	18	24	34	24	41	55	41	63	3	7	43	78	28	19	25	26	28	29	29	29	29
12	28	30	7	20	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
11	28	38	11	24	41	55	47	55	47	55	47	55	47	55	47	55	47	55	47	55	47	55	47	55
10	24	7	12	41	41	42	54	33	41	60	51	33	27	82	84	41	28	70	49	91	103	78	82	82
9	42	12	41	38	47	27	47	28	47	63	46	47	27	27	89	38	28	70	81	63	117	78	85	85
8	69	12	124	108	81	67	68	107	159	198	108	107	80	67	123	12	81	55	66	52	104	68	42	4
7	55	12	122	125	107	80	12	121	252	47	79	158	82	80	108	12	104	28	92	82	117	68	70	4
6	83	12	122	121	147	82	28	121	222	177	154	158	119	107	82	40	82	40	91	78	29	80	70	7
5	83	12	122	147	148	82	28	117	241	149	158	157	131	82	79	68	120	28	39	78	71	92	127	4
4	69	12	122	159	159	92	39	181	178	77	181	143	144	74	110	52	142	52	65	78	82	92	124	5
3	88	12	127	172	197	157	36	124	147	63	77	84	124	124	91	29	158	29	120	64	65	82	87	4
2	54	28	92	124	182	188	77	188	47	100	78	78	123	128	77	23	141	31	77	77	52	110	119	3
1	81	20	100	170	194	178	192	182	101	192	91	72	148	143	37	82	125	82	115	77	104	125	158	2

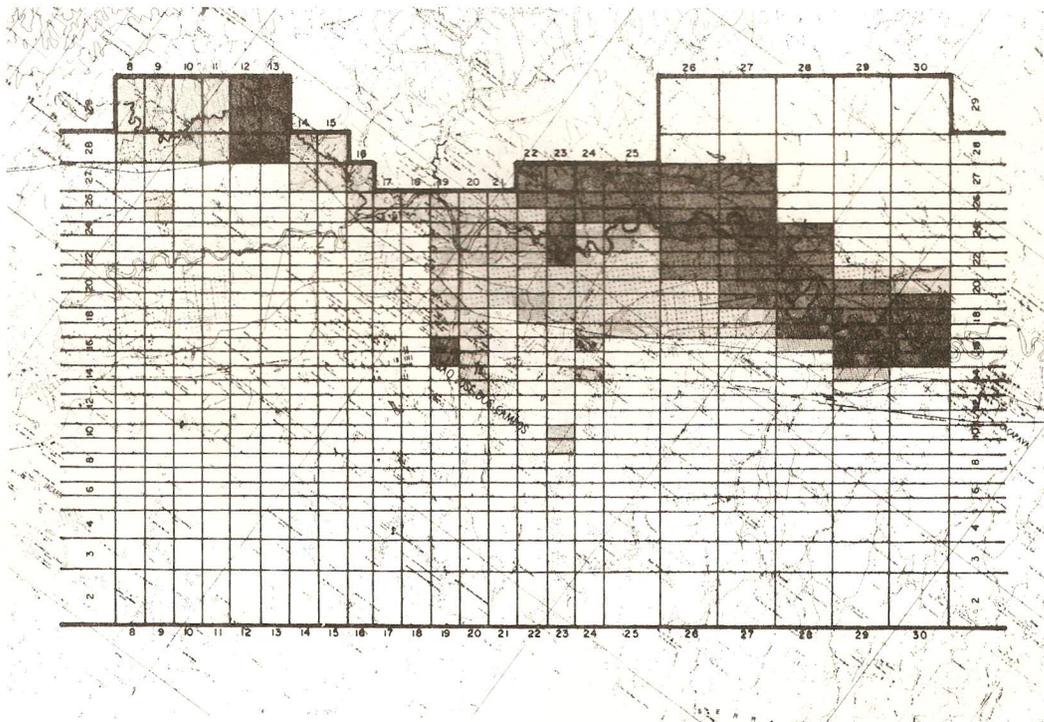
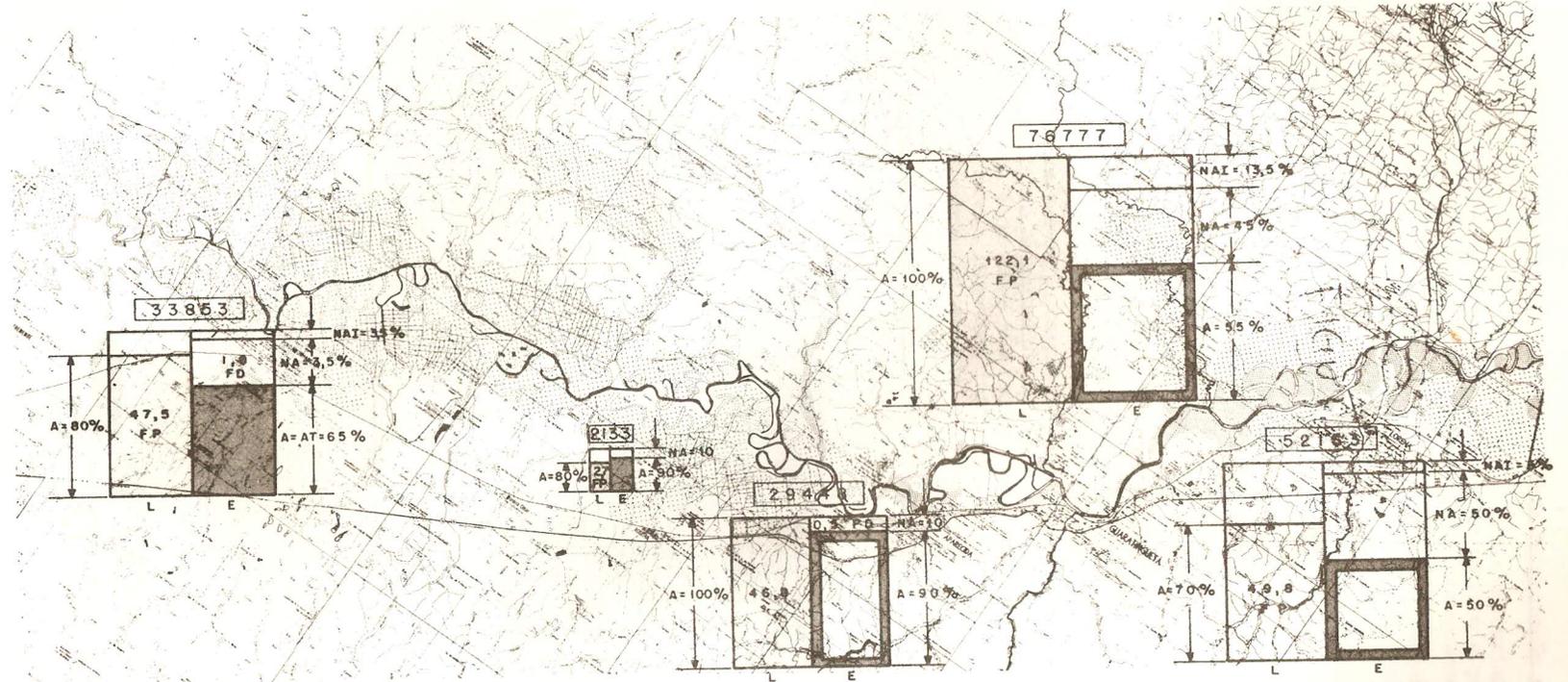


FIGURA 1

LEGENDA

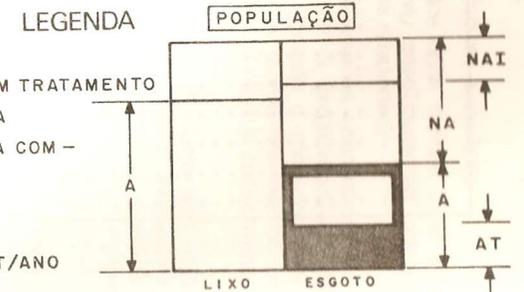
**DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE TRÂNSITO**

- MÍNIMO 0 - 5 ANOS
- BAIXA 5 - 20 ANOS



**FIGURA 2**  
**POLUIÇÃO DE ORIGEM DOMÉSTICA**

- A - POPULAÇÃO ATENDIDA
- AT - POPULAÇÃO ATENDIDA COM TRATAMENTO
- NA - POPULAÇÃO NÃO ATENDIDA
- NAI - POPULAÇÃO NÃO ATENDIDA COM INFILTRAÇÃO DIRETA
- FD - FONTE DIFUSA
- FP - FONTE PUNTUAL
- 46,8 CARGA DE NITROGENIO EM T/ANO



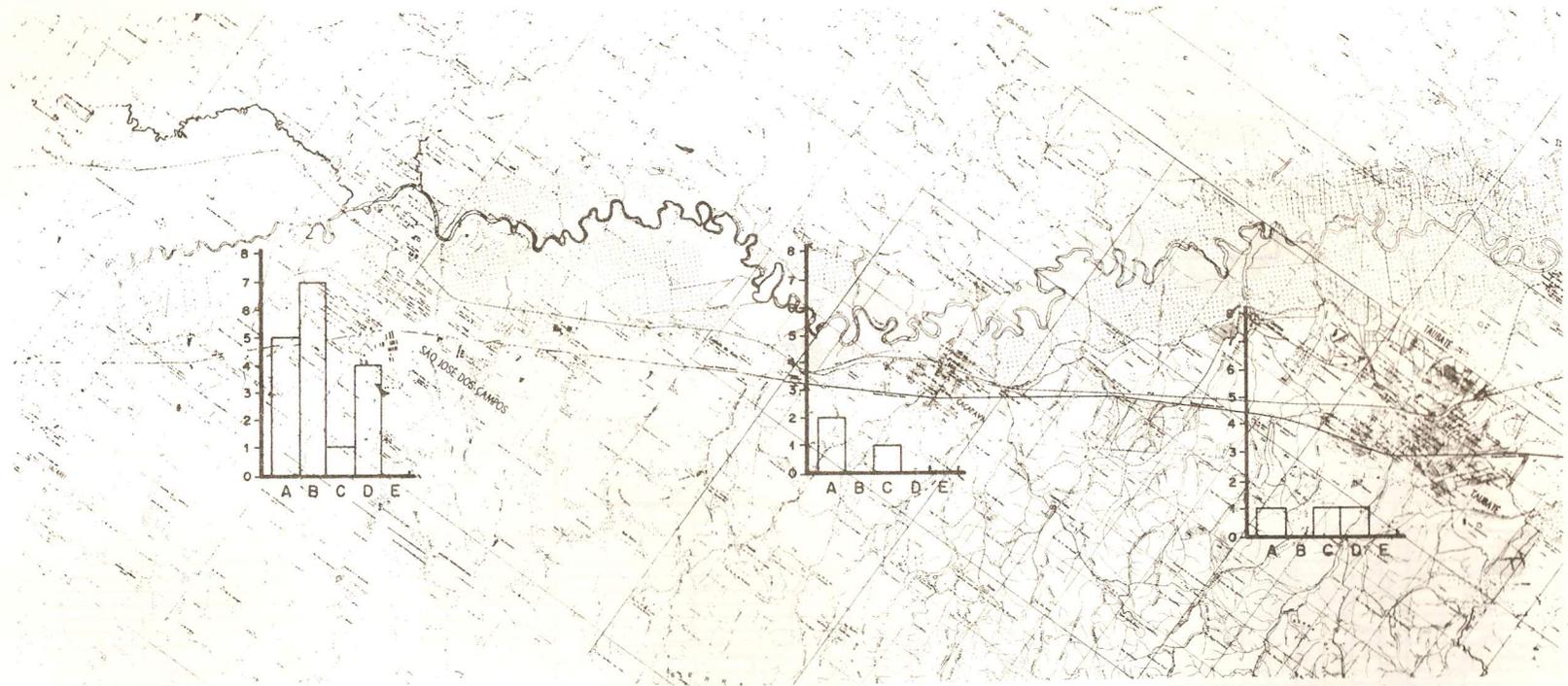


FIGURA 3

*POLUIÇÃO INDUSTRIAL*

Distribuição das indústrias significativas

LEGENDA

GRUPO	ATIVIDADE	PRINCIPAIS POLUENTES
A	QUIMICA	DQO, CI, N, SD
B	MECANICA	CN, Fe, MBAS OLEOS, Cr, Zn
C	ALIMENTAÇÃO	DBO, DQO, N, ÓLEOS
D	TEXTIL	DBO, OLEOS, FENOIS
E	PAPEL	DQO, Cor, N, OLEOS

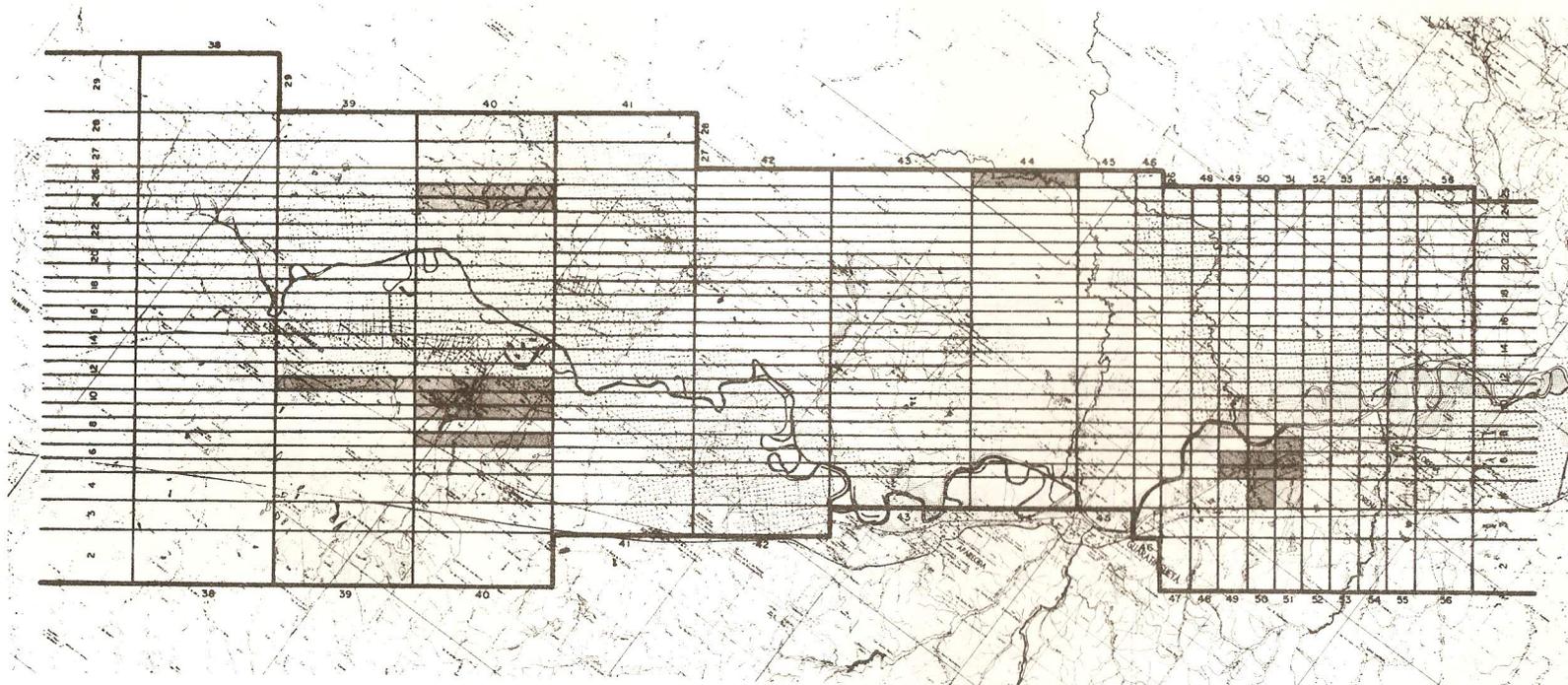


FIGURA 4

*POLUIÇÃO AGROPECUÁRIA*

Concentração provável de nitrogênio em mg/l

LEGENDA

0 - 5 mg/l 

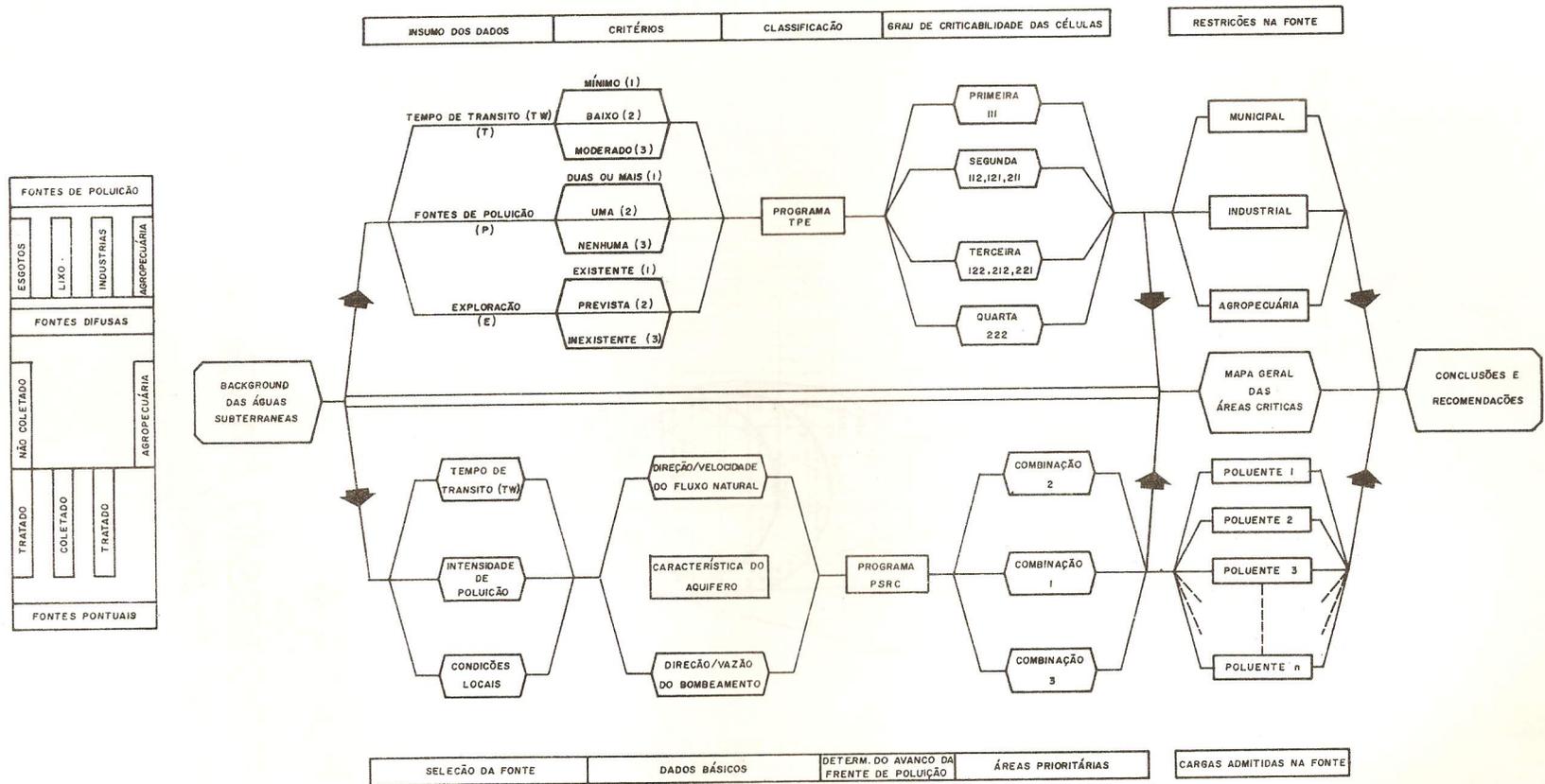
5 - 10 mg/l 

> 10 mg/l 

DENITRIFICAÇÃO 30%

# POLASPA - METODOLOGIA DO TRABALHO

## FONTES DIFUSAS (PROGRAMA TPE) - DETERMINAÇÃO DAS CÉLULAS CRÍTICAS



FONTES PONTUAIS (PROGRAMA PSRC) - DETERMINAÇÃO DAS ÁREAS PRIORITÁRIAS

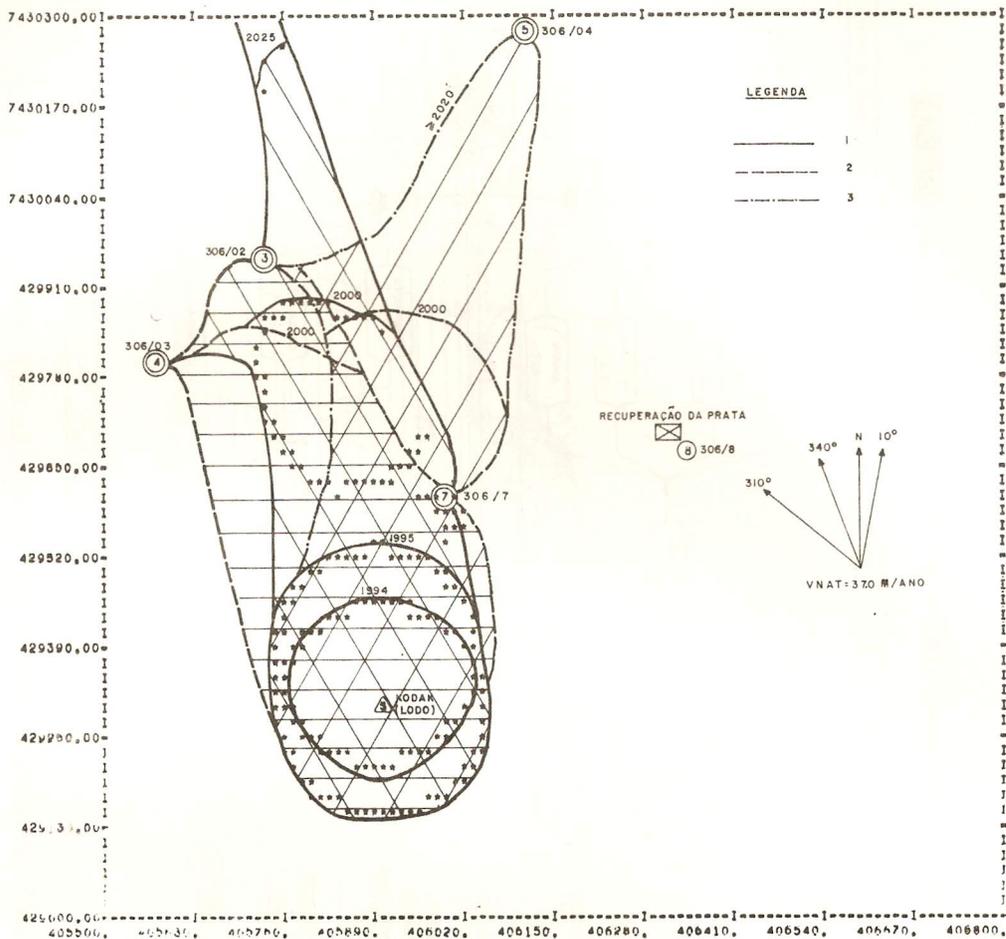
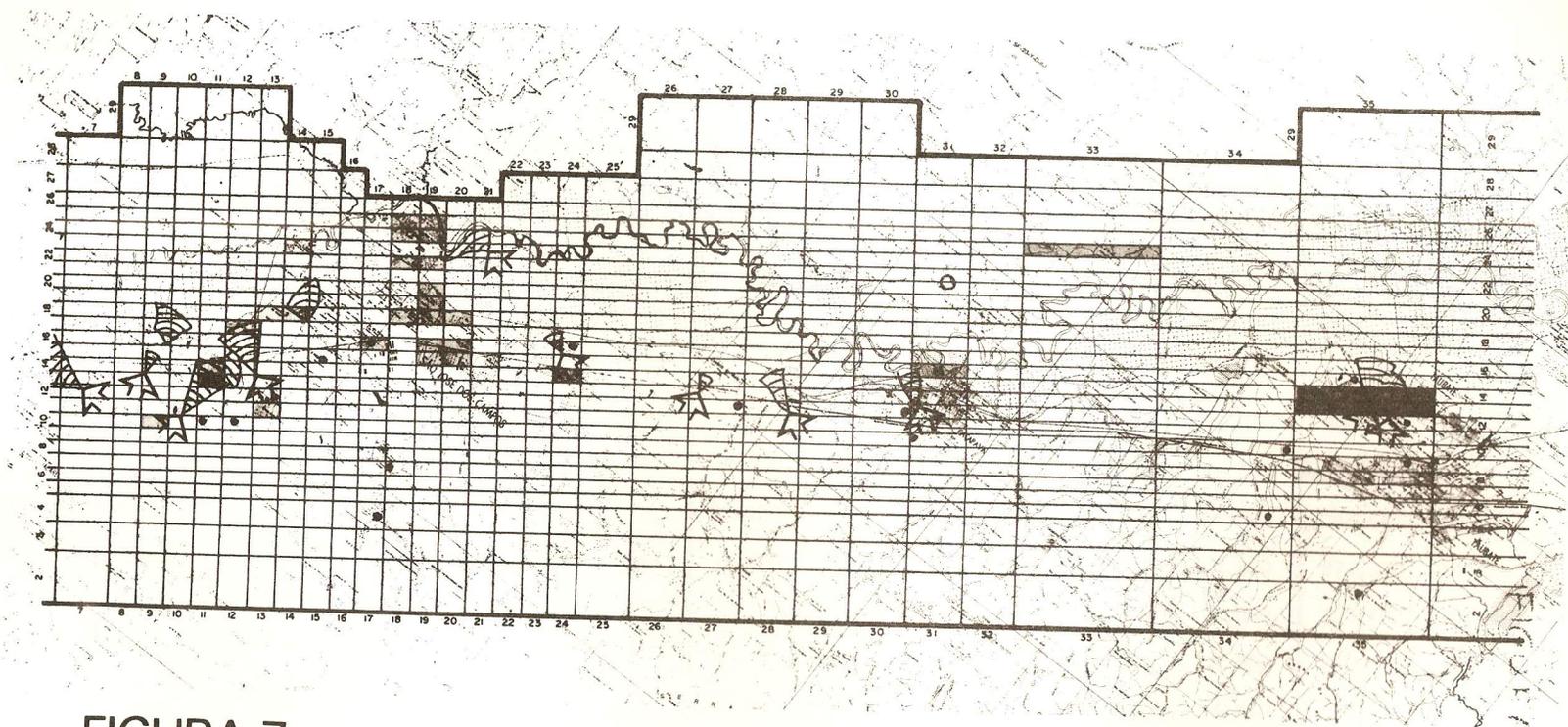


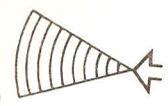
FIGURA 6

*PROGRESSÃO DA FRENTE POLUIDORA  
Kodak do Brasil*



**FIGURA 7**  
**POLUIÇÃO POTENCIAL**  
**DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

**LEGENDA**  
 DISTRIBUIÇÃO DA FRENT  
 POLUIDORA  
 021 CÓDIGO INDUSTRIAL  
 E 52 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO  
 L 47 LIXÃO



**CÉLULAS CRÍTICAS**

	BAIXA
	ALTA
	MÁXIMA