

EFEITOS DA INFILTRAÇÃO DE VINHOTO DE CANA
NO AQUIFERO BAURU - RESULTADOS PRELIMINARES

POR

A.C.Rebouças¹, R.P.Batista, S.Hassuda¹, R.C.A.Cunha, L.P.Poppe

RESUMO--A poluição de águas superficiais e subterrâneas de vido a rápida industrialização é um crescente problema em muitas partes do Brasil. Este problema é mais grave no caso de indústria de açúcar e álcool que é concentrada na parte oeste do Estado de São Paulo. As áreas mais vulneráveis compreendem os domínios de ocorrência de sedimentos porosos não consolidados de idade cretácea do Grupo Bauru. Trata-se de um aquífero livre, explorado por cerca de 15000 poços para abastecimento doméstico e industrial.

Uma breve descrição é dada sobre o desenvolvimento da indústria de açúcar e álcool no Brasil e os seus efluentes. O efeito de práticas de infiltração no aquífero Bauru é investigado. Os resultados preliminares mostram forte poluição da água subterrânea relacionada principalmente com os teores de Cl, Fe, Mn, SO₄, K e COT.

INTRODUÇÃO

Com a crise do petróleo foi instituído, em 1975, o Programa Nacional do Álcool que visa o atendimento das necessidades do mercado interno e externo de açúcar e álcool e de combustíveis automotivos. A meta de produção para 1986 é de 11,0 milhões de m³ de álcool etílico, verificando-se uma considerável poluição hídrica, já considerada crítica em certas áreas.

Vale salientar que, dentre as soluções adotadas para redução das cargas poluidoras nos rios, consta o incentivo às práticas de irrigação de lavouras com a vinhaça e a infiltração no subsolo dos excedentes, através de sulcos e bacias.

Assumindo-se a geração de 12 litros de efluente por litro de álcool produzido, DBO do efluente igual a 20g/l, duração da safra de 150 dias e demanda equivalente de 54g DBO/habitante dia (Hespanhol, 1979), a carga poluidora oriunda da vinhaça das usinas de açúcar e álcool em 1986 deverá corresponder a uma população de 329 milhões de habitantes, portanto, equivalente a 2,5 vezes a população nacional atual. Um agravante bastante sério dessa situação é que essa população equivalente não se encontra uniformemente distribuída, mas concentrada nos domínios hidrográficos onde se instalam as destilarias.

Deve-se considerar ainda, que os demais resíduos das indústrias de álcool (águas de lavagem de cana: 5m³/ton., bagaço: 0,30

ton./ton. de cana, torta: 0,040 ton./ton. de cana, água condensada das colunas barométricas: 0,65 m³/ton. de cana processada) também apresentam cargas poluidoras significativas, se bem que de solução mais fácil (Hespanhol, 1979). Ademais, ressalta-se ainda a concentração de 38% das Usinas e Destilarias no Estado de São Paulo, responsáveis por aproximadamente 61% da produção nacional de álcool e 44% de açúcar. No presente trabalho enfoca-se a problemática de poluição numa área piloto da área de ocorrência do aquífero livre Bauru, no Estado de São Paulo.

DISTRIBUIÇÃO DAS USINAS E DESTILARIAS
NOS DOMÍNIOS HIDROGEOLÓGICOS

São denominadas Usinas as indústrias que produzem açúcar e álcool e que já existiam antes do Programa Nacional do Álcool, e de Destilarias, aquelas que foram instaladas posteriormente ao Programa e produzem somente álcool.

A exploração de cana de açúcar no Brasil, apresenta, atualmente, um grande dinamismo, conforme ilustram os dados da Tabela 1.

Tabela 1. Produção de açúcar e álcool no Brasil
(Planalsucar, 1985)

ESTADOS	ÁLCOOL (mil m ³)			AÇUCAR (mil ton.)		
	72/73	84/85	85/86	74/73	84/85	85/86
São Paulo	500,1	6.023,4	6.742,8	2.836,1	4.105,9	3.384,5
Pernambuco	55,4	454,2	674,4	1.093,6	1.700,2	1.489,0
Alagoas	20,4	705,2	864,2	654,0	1.320,3	1.163,0
Rio de Janeiro	47,3	219,5	335,0	560,1	433,2	430,0
Minas Gerais	21,1	327,8	460,0	282,1	520,5	500,0
Paraná	21,6	464,7	660,0	162,0	141,8	135,0
OUTROS	15,0	1.054,1	1.374,8	344,6	626,5	644,5
TOTAL	680,9	9.248,9	11.111,2	5.932,5	8.848,4	7.746,0

Neste quadro destaca-se o Estado de São Paulo, responsável / por 61% da produção de álcool e 44% da produção de açúcar, além disso vale acrescentar que a região centro/sul, produz 81% do álcool e 59% do açúcar, e o restante cabe praticamente à região Nordeste, uma vez que a produção da região Norte é irrisória.

A distribuição das indústrias alcooleiras, na ordem crescente de produção em relação com as províncias hidrogeológicas é mostrada na figura 1. Observa-se que os níveis mais importantes de produção se localizam nas Províncias Hidrogeológicas do Paraná e costeira, cujas características predominantes de permeabilidade e porosidade são do tipo intersticial. Na Província do Paraná as áreas ocupadas pelos canais compreendem as zonas de afloramento e recarga dos sistemas aquíferos confinados de idade Pa-

¹Professor; Pesquisador IG/CEPAS-USP
²Pesquisador IG/CEPAS-USP - Tupy Nordeste
³Pesquisador CETESB

leozóica e os extensos domínios do aquífero livre e/ou semi-confinado do Grupo Bauru, de idade cretácea.

O aquífero Bauru cobre uma área de 315.000 km² dos quais 102.000 km² no Estado de São Paulo e o restante distribuído pelos Estados de Minas, Goiás, Mato Grosso do Sul e Paraná.

A carga poluidora correspondente ao volume de vinhaça gerado no Estado de São Paulo, equivale a uma população de 197 milhões de habitantes, ou seja, cerca de seis vezes a população atual que é de 30 milhões.

Do total de 153 indústrias do Estado de São Paulo (usinas e destilarias), 3% estão no domínio cristalino, 25% no domínio Serra Geral, 29% nas áreas de recarga dos aquíferos confinados (Botucatu/Pirambaia, Sub-Província paleozóica) e 43% no domínio aquífero livre Bauru, sendo que 57% das destilarias estão nesta zona.

Caracteriza-se, portanto, a necessidade de medidas de proteção dos aquíferos do Estado, em especial do aquífero Bauru, contra os efeitos poluidores das destilarias de álcool e das usinas de açúcar.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA VINHAÇA

Para a produção de álcool carburante, que é atualmente um dos principais derivados de cana-de-açúcar, são utilizados basicamente três tipos de concentrados ou mosto: Mosto de Melaço, Mosto de Caldo e Mosto Misto.

Dependendo do tipo de Mosto que foi utilizado, obtém-se vinhaças de composições químicas diferentes, conforme mostra a tabela 2.

Tabela 2. Composição química média da Vinhaça de diferentes tipos de Mostos (Orlando et al., 1983)

Elementos	Mosto de Melaço	Mosto Misto	Mosto de Caldo	Média
*N (tot)	665,0	400,0	285,0	450,0
*P ₂	200,0	270,0	220,0	230,0
*K ₂ O	5530,0	2680,0	1525,0	3245,0
*CaO	2152,0	1050,0	405,0	1202,0
*MgO	106,0	426,0	312,0	282,0
*SO ₄	1050,0	1600,0	2030,0	1560,0
*Mat.Org.	49070,0	31210,0	24387,0	34889,0
**Fe	80,0	78,0	69,0	76,0
**Cu	5,0	21,0	7,0	11,0
**Zn	3,0	19,0	2,0	8,0
**Mn	7,0	6,0	7,0	7,0
pH	4,2	3,9	3,6	3,9

*mg/l
**ppm

Observa-se que a matéria orgânica é o constituinte principal da vinhaça e dentre os minerais, o potássio, juntamente com o cálcio e sulfato aparecem com destaque.

Os compostos de nitrogênio, fósforo, enxofre, magnésio e potássio são encontrados predominantemente na forma não mineral, estando ligados a matéria orgânica (Bittencourt et al., 1978). Os elementos menores mais encontrados são: Ferro, Cobre, Zinco e Manganês cujos teores vão depender em muito dos equipamentos utilizados e do processo de fabricação envolvido (Camargo et al., 1983; Glória et al., 1976; Santos et al., Magro, 1979).

ÁREA PILOTO DO AQUIFERO BAURU - NOVO HORIZONTE

Muitas usinas e destilarias utilizam a vinhaça para irrigação das suas próprias lavouras de cana. Os excedentes são acumulados em lagoas, para infiltração, através de sulcos no terreno. Essas zonas chamadas de "áreas de sacrifício" cobrem superfícies de vários hectares e recebem um grande volume de vinhaça na época da safra.

A área piloto em questão possui aproximadamente 27 ha, apresenta uma topografia suave com declividade máxima de 4% e as curvas de níveis são sub-paralelas à paralelas (Fig. 2). A área de infiltração de efluentes ocupa 50% da zona, os 10% e os 40% restantes constituem a zona de proteção do riacho, onde foram instalados os piezômetros.

A vinhaça infiltrada deriva do Mosto Misto em sua quase totalidade, tendo-se praticado a infiltração durante nove anos consecutivos. A amostragem de água subterrânea processou-se um ano após a paralização periódica, recomendada para efeito de proteção ambiental.

Hidrogeologia local

O Grupo Bauru é considerado hoje, como constituído, por quatro formações bem definidas: Caiuá, Santo Anastácio, Adamantina e Marília (Mello et al., 1982). A área piloto localiza-se na zona de afloramento da Formação Adamantina, a qual é constituída por arenitos de granulação fina e muito fina, cor róseo e castanho, alternados com siltitos de cor castanho avermelhada com espessura de 30 a 35 m, repousando sobre os basaltos da Formação Serra Geral.

O nível d'água nos piezômetros implantados situa-se entre 6,5 a 1,5 m com gradientes de fluxo de 5%. Os coeficientes de condutividade hidráulica situam-se entre 10⁻⁵ e 10⁻⁶ m/s.

Métodos de campo

A metodologia aplicada compreendeu a implantação de 21 piezômetros que penetraram cerca de um metro na camada saturada cor

responsível ao fim do período de estiagem e localizados na faixa de proteção do riacho.

Amostras de solo foram coletadas para análises sedimentológicas, mineralógicas e químicas. Os dados sedimentológicos e mineralógicos revelaram tratar-se de uma formação quartzosa e relativamente homogênea.

Campanhas mensais de medida de nível d'água e trimestrais de coleta de amostras de água para análises químicas vem sendo realizadas desde novembro de 1985.

As medidas de pH e condutividade elétrica específica da água subterrânea, realizadas no campo, revelaram um sensível contraste em relação aos valores de referência regional.

Isto sugeriu a possibilidade de aplicação de métodos geofísicos de eletrorresistividade e eletromagnético indutivo, com o objetivo de se mapear os efeitos da poluição no não saturado e saturado.

Estes métodos revelaram-se extremamente eficazes, conforme ilustra a figura 3, referentes aos valores de condutividade aparentemente expressos em db, obtidos com o equipamento Geonic EM-31.

O parâmetro db exprime a relação $\log \frac{A}{B}$ sendo A o valor medido e B o valor de referência regional expressos em milimhos/m.

Efeitos sobre as águas subterrâneas

As campanhas de amostragem de água subterrânea na rede de piezômetros, para análise química, tiveram início em 28/11/85, cerca de um ano após terem cessado as infiltrações de vinhaça na área a montante.

Os níveis de impactos engendrados pela infiltração de vinhaça no subsolo podem ser avaliados através dos dados da tabela 3, onde as duas primeiras linhas representam a qualidade das águas do aquífero limpo, isto é, isento de poluição pela vinhaça.

Os efeitos da poluição são sobretudo importantes em termos de aumento de teores de Cl, Fe, Mn, SO₄, K e nos valores de condutividade elétrica específica. Segue-se o monitoramento, com base nesses primeiros resultados, e as análises de caráter hidrogeológico e hidrogeoquímico são objeto de dissertação de Seiju e tese de doutoramento de Renô, co-autores da presente nota.

CONCLUSÃO

Estes primeiros resultados indicam o nível de deterioração das águas subterrâneas que é produzido pela infiltração de vinhaça no domínio do aquífero Bauru. Considerando que os valores aqui apresentados referem-se a vinhaça infiltrada há quase um ano, pode-se ter uma idéia do tempo de residência e dos níveis de impac

tos nas águas subterrâneas da área.

É indispensável, portanto, que medidas efetivas de proteção das águas subterrâneas sejam tomadas imediatamente, sobretudo, tendo-se em vista as alterações dos teores dos ions considerados pelos padrões de potabilidade nacionais ou internacionais.

REFERÊNCIAS

- BITTENCOURT, V.C., CASTRO, L.J.P. de, FIGUEIREDO, A.A.M., PAIXÃO, A.C.S., POLI, D.M. 1978 - Composição da vinhaça, Brasil Açucareiro, 92, 25-36, Rio de Janeiro.
- CAMARGO, O.A. de, VALADARES, J.M.A. das, GERALDI, R.N. 1983, Características químicas e físicas de solos que receberam vinhaça por longo tempo, Bol. Tecn. do Inst. Agron., 76, 1-30, Campinas.
- GLÓRIA, N.A. da; MAGRO, J.A. - 1976 - Utilização agrícola de resíduos da Usina de Açúcar e destilaria na Usina da Pedra, Seminário Copersucar da agro-indústria açucareira, 163-180, São Paulo.
- HESPAHOL, I. 1979 - Efeitos ambientais do programa nacional do álcool, 10º C.B. de Eng. Sanit. e Ambient., 22-41-Manaus.
- MAGRO, J.A. 1974 - Uso da vinhaça em cana-de-açúcar na Usina da Pedra, Brasil Açucareiro, 92, 232-240, Rio de Janeiro.
- MELLO, M.S., STEIN, P.P., ALMEIDA, M.A. 1982 - Aspectos litoestratigráficos do grupo Bauru, 1º Encontro de Geologia e Hidrogeologia, ABAS-SBG, 1-19, São Paulo.
- MENTE, A., PESSOA, M.D., LEAL, O. 1980 - Note explicativa do mapa hidrogeológico do Brasil, escala 1:250.000 DNPM/CPRM.
- ORLANDO, Fº, J., SILVA, G.M. de A., LEME, E.J. de A. 1983 - Nutrição e adubação da cana de açúcar no Brasil, IAA/PLANALSUCAR, 236-237, São Paulo.
- PESSOA, M.D., MENTE, A., LEAL, O. 1980 - Províncias hidrogeológicas do Brasil. Anais 1º Congr. Bras. Águas Subterrâneas p. 461-474. Recife.
- PLANALSUCAR, 1985 - Coletânea de dados sobre o setor agro-industrial Canavieiro, Informativo sócio econômico, 4, 14p. São Paulo.
- SANTOS, G.A., ROSSIELLO, R.O.P., FERNANDES, M.S.; OLGRADY, P.C. - 1981 - Efeitos da vinhaça sobre o pH do solo, a germinação e o acúmulo de potássio em milho, Pesquisa Agro-Pecuária Brasileira, 16, 489-493, Brasília.

TABELA 3 - IMPACTOS DA VINHAÇA NAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DAS ÁGUAS DO AQUIFERO BAURU
- ELEMENTOS QUÍMICOS (mg/l)

POÇOS	Ca ²⁺	Cl	Fe ²⁺	P	Mg	Mn	NH ₃	NO ₃ ⁻	Nkt	K ⁺	Na ⁺	SO ₄ ⁻⁻	TOC	pH	C.E. s/cm
*P ₁	26.30	1.50	2.44	-	0.87	0.03	0.23	1.67	0.40	2.20	1.10	0.00	0.00	6.3	131.0
**P ₂	0.88	5.00	1.38	-	0.11	0.82	0.06	0.41	0.10	2.60	0.80	0.00	0.00	8.3	63.0
***P ₂₀₇	12.10	90.00	935.00	59.00	319.00	100.00	0.99	0.08	7.10	445.00	17.00	50.00	26.00	5.63	550.00
***P ₂₀₈	129.00	39.00	890.00	41.00	76.60	15.00	3.15	0.10	22.50	60.00	48.00	-	74.50	6.34	900.00
***P ₂₀₉	6.58	135.00	815.00	10.50	159.00	28.50	0.14	0.07	5.60	20.00	25.50	-	19.90	5.34	310.00
***P ₂₁₀	18.70	255.00	430.00	7.50	137.00	40.50	0.29	0.16	5.30	145.00	12.00	-	16.40	5.51	530.00
***P ₂₂₀	2.93	205.00	117.00	0.18	31.50	4.60	0.31	0.27	1.30	27.00	4.50	-	3.40	5.12	450.00
***P ₂₂₁	3.02	1.50	78.00	1.80	17.30	2.45	0.61	2.78	2.00	15.00	6.00	-	12.20	5.70	840.00
***P ₂₀₇	98.00	390.00	613.00	8.25	23.30	24.00	5.10	0.08	7.80	3.90	0.30	6.00	12.50	5.71	598.00
***P ₂₀₈	-	1.040.00	1.890.00	2.35	45.40	37.00	0.63	0.04	3.20	29.00	6.00	-	31.70	5.01	1.410.00
***P ₂₀₉	32.20	470.00	724.00	12.00	121.00	56.00	0.40	0.08	2.80	65.00	35.00	-	10.80	5.12	677.00
***P ₂₁₀	37.60	360.00	587.00	13.50	94.00	52.00	0.49	0.22	3.90	75.00	25.00	-	16.70	5.27	521.00
***P ₂₂₀	9.70	260.00	327.00	4.00	54.20	7.80	0.27	17.00	3.90	32.00	10.00	-	23.30	5.50	527.00
***P ₂₂₁	42.20	14.50	338.00	3.50	48.90	7.00	0.41	35.20	5.00	22.00	10.00	-	22.30	5.88	338.00

*Poços não contaminados

**Piezômetros amostrados (28/11/85)

*** " " (26/02/86)

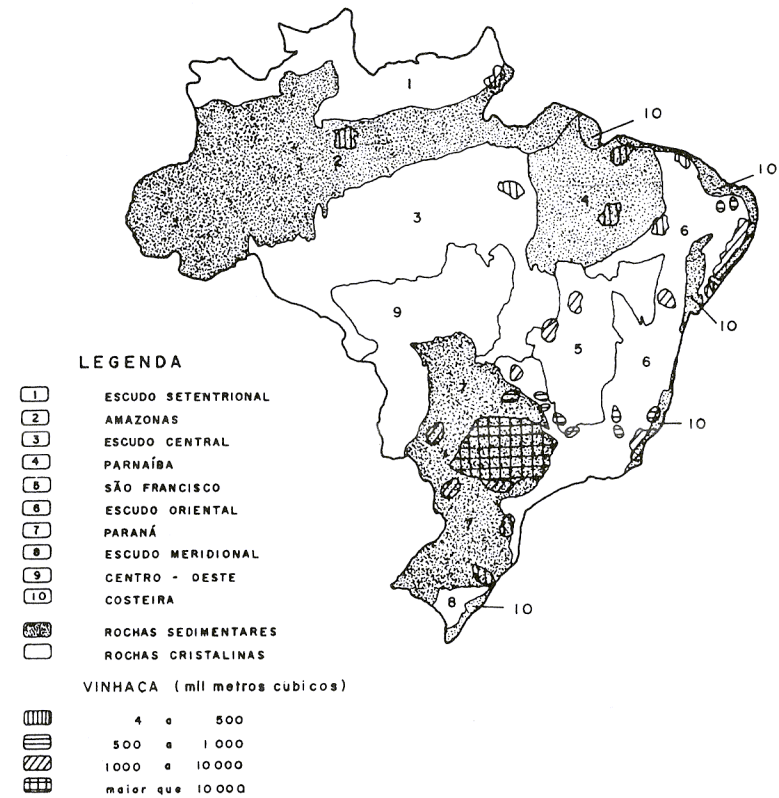


FIGURA 1 - PROVÍNCIAS HIDROGEOLOGICAS DO BRASIL E ÁREAS DE PLANTIO COM PRODUÇÃO DE VINHAÇA (MAPA HIDROGEOLOGICO DO BRASIL DNPM 1983 e PLANALSUCAR 1985, MODIFICADO)

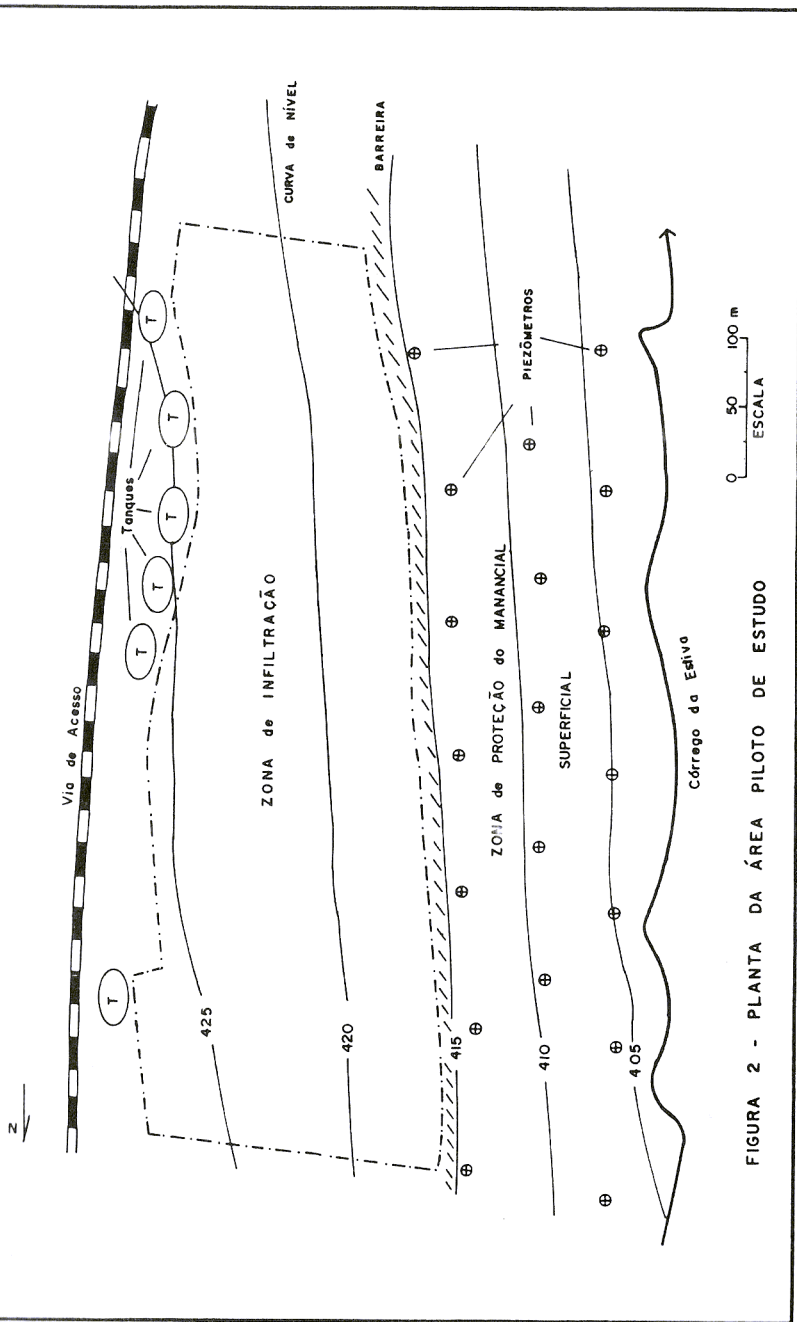


FIGURA 2 - PLANTA DA ÁREA PILOTO DE ESTUDO

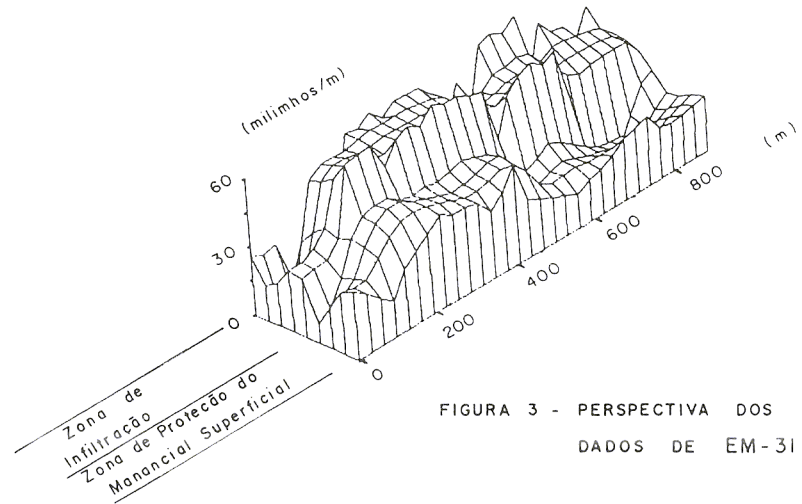


FIGURA 3 - PERSPECTIVA DOS DADOS DE EM-31

ABSTRACT

The pollution of surface and groundwater due to rapid industrialization in many parts of Brazil is a growing problem. This problem is most acute in the case of the sugar/alcohol industry which is concentrated in the western part of the São Paulo State. These waste sites are situated in areas underlain by porous non-consolidated cretaceous sediments of the Bauru Group. It is a unconfined aquifer with 315,000 km² and average thickness of 100m, which is explored by 15,000 wells for domestic and industrial purposes.

A brief description is given of the nature of the industrial sugar/alcohol development in Brazil and its effluent. The effect of the infiltration practices of byproducts of the alcohol industry in the unsaturated and saturated zones of the Bauru aquifer is investigated. The preliminary results show a heavy pollution of the groundwater mainly related to Cl, Fe, Mn, SO₄, K and TOC contents.