

VULNERABILIDADE DE AQUÍFEROS À CONTAMINAÇÃO POR GASOLINA

Edenise Mônica Puerari¹ & Marco Aurélio Holanda de Castro²

Resumo - Neste trabalho é apresentado um método para determinar o índice de vulnerabilidade de aquíferos à contaminação por derivados de petróleo (gasolina). Este método foi gerado a partir de modificações do índice DRASTIC (Aller et al, 1985), que utiliza sete parâmetros hidrogeológicos para determinar a vulnerabilidade: nível estático, taxa de recarga, litologia do aquífero, tipo de solo, topografia, impacto da zona vadosa e condutividade hidráulica. Para adaptar este método, foram utilizados dados de densidade, viscosidade, solubilidade, taxa de biodegradação, capacidade de retenção (sorção) do solo e volatilidade do composto contaminante. A área de estudo envolve o Complexo Industrial e Portuário Governador Mário Covas (Porto do Pecém), no município de São Gonçalo do Amarante/CE. O atual contexto de crescimento da região, em virtude da instalação deste porto e da implantação de outras unidades reestruturantes como o pólo petroquímico, a refinaria de petróleo, a instalação de tanques de estocagem de derivados de petróleo e gás natural, dentre outros, aumentaram a possibilidade da ocorrência de uma contaminação da água subterrânea daquela região por hidrocarbonetos. Os resultados indicam a presença de áreas de vulnerabilidade muito baixa até vulnerabilidade alta, sendo que grande parte da área de estudo apresenta vulnerabilidade baixa a moderada.

Abstract - The main goal of this research is to introduce a method to determinate an aquifer vulnerability index to contamination by oil derivates (gasoline). This method was developed based on the DRASTIC index (Aller et al., 1985), which deals with seven geological parameters to determinate the vulnerability: static level, recharge rate, aquifer lithology, soil type, topography, vadose zone impact, and hydraulic conductivity.

In order to use data of density, viscosity, solubility, biodegradation rate, soil retention capacity (sorption), and volatility of the contaminant compound, the DRASTIC index was modified. The area studied comprises the Governador Mário Covas Industrial and Portuary Complex of Pecém, in the

¹ Doutoranda em Recursos Hídricos na UFC; bolsista da ANP; Mestre em Saneamento Ambiental; Dep. de Engenharia Hidráulica e Ambiental; Campus do Pici, Bloco 713; Cep. 60455-760; Fortaleza - Ceará – Brasil. Fone/fax (85) 288 9589; ede.anp@ufc.br

² Ph. D em Engenharia, Professor da Universidade Federal do Ceará. Dep. de Engenharia Hidráulica e Ambiental; Campus do Pici, Bloco 713; Cep. 60455-760; Fortaleza - Ceará – Brasil. Fone: (85) 288 9623. marco@ufc.br

town of São Gonçalo do Amarante/CE. The present growth context of the region due to the port installation and the setting-up of other units as the petrochemical pole, the oil refinery, the oil derivatives and natural gas storage tanks, among others, have increased the chances of groundwater contamination by hydrocarbon compounds. The results indicate the presence of very low to very high vulnerability areas, being a great portion of the area characterized by low to moderate vulnerability.

Palavras-Chave – Vulnerabilidade; hidrocarbonetos; água subterrânea.

INTRODUÇÃO

As dificuldades tecnológicas e econômicas associadas a remediação de solos e aquíferos e a falta de critérios de qualidade ambiental que levem em consideração fatores específicos do local contaminado, têm dificultado tanto as ações dos órgãos de controle ambiental, como a dos responsáveis pela contaminação.

A gravidade dos problemas gerados por derrames de gasolina depende do risco desta contaminação atingir uma fonte receptora, como um poço de abastecimento, por exemplo. A biorremediação natural deve ser incorporada às avaliações de riscos, índices de vulnerabilidade e estratégias de recuperação de áreas degradadas. Se a migração dos contaminantes até locais receptores for evitada pelos processos de atenuação natural, altos investimentos com remediação somente seriam empregados em locais prioritários.

Várias propriedades podem influenciar a mobilidade e a retenção dos combustíveis líquidos no solo, entre elas a densidade, a viscosidade dinâmica, a solubilidade, a pressão de vapor e a taxa de biodegradação. O fluxo de água e o transporte de contaminantes desde a superfície do solo até o nível freático tende a ser um processo lento em muitos aquíferos. Isto significa que pode levar muito tempo antes que se detectem os efeitos da contaminação por um determinado composto. Os contaminantes em subsuperfície se distribuem pelo meio (solo, água e vapores do solo) e podem existir em diferentes fases (aquosa, não aquosa e vapor). Além disso, um grande número de processos como advecção, dispersão, adsorção e biodegradação, entre outros, controla o transporte e o destino do contaminante.

O comportamento dos hidrocarbonetos nos solos é regido pelas propriedades físicas e químicas dos combustíveis líquidos e pelas características dos solos por onde eles migram. As propriedades físicas dos solos que mais influenciam o comportamento dos combustíveis líquidos são: porosidade, condutividade hidráulica e a heterogeneidade destas propriedades entre os diferentes tipos de solos. Um vazamento de combustíveis líquidos no solo gera inicialmente uma pluma de contaminação de hidrocarbonetos em fase livre. Com o passar do tempo, os constituintes

da fase líquida se volatilizarão (fase vapor), se dissolverão na água (fase dissolvida) ou permanecerão adsorvidos na matriz do solo.

Atenuação natural, também chamada de remediação intrínseca ou passiva, tem surgido como uma possível forma de remediação da água subterrânea em muitos locais contaminados. Refere-se a processos físicos, químicos e biológicos que facilitam a biorremediação natural (Corseuil, 1997a). A atenuação natural limita bastante o deslocamento dos contaminantes e portanto reduz a extensão da pluma de contaminação. A biorremediação natural pode ser considerada como uma forma de minimizar os riscos para a saúde e para o meio ambiente. Este fato deve ser considerado quando se determina a vulnerabilidade de alguma área à contaminação por hidrocarbonetos.

Sabe-se que as condições hidrogeológicas do local contaminado determinam se a taxa de reação de biodegradação será mais rápida ou mais lenta. Uma vez que a biodegradação é o principal mecanismo de transformação de hidrocarbonetos, quando se quer estabelecer mapas de vulnerabilidade, a determinação desta taxa de transformação nos diferentes sistemas hidrogeológicos é de grande importância para prever até onde a pluma irá se deslocar. Os maiores problemas de contaminação de aquíferos por gasolina são atribuídos aos hidrocarbonetos monoaromáticos como benzeno, tolueno e xileno (BTX), que são os constituintes mais solúveis e mais móveis da gasolina.

VULNERABILIDADE DE AQUÍFEROS / RISCO DE CONTAMINAÇÃO

A caracterização mais aproximada da idéia de risco de contaminação de água subterrânea consiste na associação e interação entre vulnerabilidade natural do aquífero e a carga contaminante aplicada no solo ou no subsolo (Foster, 1988). Pode-se configurar uma situação de alta vulnerabilidade, porém sem risco de poluição pela ausência de carga poluidora significativa, ou vice-versa. Se a carga poluidora pode ser controlada ou modificada, o mesmo não ocorre com a vulnerabilidade natural, que é uma propriedade intrínseca do aquífero. Mapas de vulnerabilidade também se aplicam para a avaliação do risco de contaminação de uma atividade futura, ou seja, podem ser utilizados na confecção de Estudos de Impacto Ambiental (EIA). A determinação do risco deve servir para identificar os aquíferos ou parte dos aquíferos mais vulneráveis e determinar as atividades que causam o risco máximo de contaminação nestas áreas. O termo vulnerabilidade do aquífero para contaminação representa sua sensibilidade para ser afetado de forma adversa por uma carga contaminante imposta. O termo risco de contaminação se define aqui como a probabilidade das águas subterrâneas se contaminarem com concentrações acima dos valores recomendados pela OMS para a qualidade da água de consumo humano. O risco poderá se converter em uma séria ameaça para a qualidade da água subterrânea, dependendo da mobilidade dos contaminantes dentro do aquífero.

O método DRASTIC (Aller et al, 1985) é usado para determinar a vulnerabilidade de aquíferos. Utiliza sete parâmetros hidrogeológicos para esta determinação: nível estático, taxa de recarga, litologia do aquífero, tipo de solo, topografia, impacto da zona vadosa e condutividade hidráulica. A cada um dos sete parâmetros considerados por este método é determinado um valor em função dos diferentes tipos e variações. Além disso, ao valor de cada parâmetro se aplica um índice de ponderação entre 1 e 5, que quantifica a importância relativa entre eles. Este índice de ponderação foi modificado em função do contaminante, sendo que neste trabalho a modificação foi feita considerando como contaminante a gasolina.

O índice de vulnerabilidade obtido pelo método DRASTIC/PETRO é o resultado do somatório dos produtos dos diferentes parâmetros por seu índice de ponderação:

$$\text{Índice de Vulnerabilidade} = DrDw + RrRw + ArAw + SrSw + TrTw + IrIw + CrCw$$

sendo “r” o valor obtido para cada parâmetro e “w” o índice de ponderação.

Os intervalos de vulnerabilidade são definidos como:

< 100	→ Vulnerabilidade insignificante
101 – 119	→ Vulnerabilidade muito baixa
120 – 139	→ Vulnerabilidade baixa
140 – 159	→ Vulnerabilidade moderada
160 – 179	→ Vulnerabilidade alta
180 – 199	→ Vulnerabilidade muito alta
>200	→ Vulnerabilidade extrema

O método DRASTIC, conhecido e utilizado mundialmente por diversos pesquisadores e profissionais da área, já se mostrou bastante eficiente na determinação da vulnerabilidade natural de aquíferos. Sua limitação na utilização indiscriminada está no fato deste método considerar que o contaminante migrará com a mesma velocidade da água subterrânea, ou seja, não considera a vulnerabilidade dos aquíferos à contaminantes cujas partículas podem ficar adsorvidas no solo, sendo liberadas lentamente ao longo dos anos, podendo permanecer como fonte de contaminação por um tempo relativamente grande. Outro fato não considerado é a possibilidade de parte do poluente volatilizar e sair do sistema sob forma de vapor, através de canais proporcionados pela porosidade do aquífero e/ou do solo, diminuindo assim, a quantidade do contaminante no solo ou aquíferos. A vulnerabilidade dos aquíferos à poluentes que podem sofrer biodegradação não deve ser medida diretamente pelo índice DRASTIC, pois este valor encontrado através do método precisa ser refinado quando se estabelece planos ou procedimentos de contenção ou recuperação da área contaminada,

pelo fato de que o problema ambiental gerado pode ser menor ou de menor intensidade do que se considerarmos que parte do contaminante será biodegradado antes de atingir poços de captação de água ou áreas de controle ou preservação ambiental, cujo processo de recuperação ou descontaminação desta área poderiam ser bastante oneroso se isso não fosse considerado.

Neste trabalho, o método DRASTIC foi adaptado para uso na avaliação da vulnerabilidade de aquíferos que potencialmente podem ser contaminados por gasolina. Para esta adaptação (DRASTIC/PETRO) foram consideradas variáveis como a densidade do composto, sua solubilidade, sua adsorção na matriz do aquífero, sua taxa de biodegradação, sua volatilidade e sua viscosidade. Para a área do Porto do Pecém, a tabela 01, apresenta os valores obtidos para a determinação do índice de vulnerabilidade à contaminação por gasolina.

ÁREA DE ESTUDO / COMPLEXO INDUSTRIAL E PORTUÁRIO GOVERNADOR MÁRIO COVAS

O Porto do Pecém (Complexo Industrial e Portuário Governador Mário Covas), está situado no município de São Gonçalo do Amarante a aproximadamente 40 km a oeste de Fortaleza (figura 01). Nesta área costeira do Ceará predomina o clima quente estável com temperaturas elevadas, porém de pequena amplitude e forte evaporação. A precipitação pluviométrica tem distribuição espacial e temporal extremamente irregular. Os índices pluviométricos superam a faixa média de 1.000 mm/ano; a taxa média de evaporação situa-se em torno de 2.300 mm/ano e o regime térmico é caracterizado por temperatura média anual de 26° C.

(D) PROFUNDIDADE DO NÍVEL PIEZOMÉTRICO		(A) NATUREZA DO AQUIFERO		
Profundidade (m)	Valor	Descrição	variação	Valor
< 1.5	10	Ígneas/metamórficas	2 – 5	3
1.5 – 5	9	Ígneas/ metamórficas alteradas	3 – 5	4
5 – 10	7	Alternância de areias e argilas	5 – 9	6
10 – 20	5	Arenitos	4 – 9	6
20 – 30	2	Areias, cascalhos e conglomerados	4 – 9	8
(S) NATUREZA DO SOLO		(T) TOPOGRAFIA		
Tipo de solo	Valor	Declividade (%)	Valor	
De origem granítica	7	6 – 12	5	
De origem sedimentar	8	12 – 18	3	
Areia	9	> 18	1	
(R) RECARGA		(I) IMPACTO DA ZONA NÃO SATURADA		
Taxa (mm)	Valor	Descrição	Varição	Valor
100 – 180	6	Arenitos	4 – 8	6
		Areias e cascalhos contendo argilas	4 – 8	6
(C) PERMEABILIDADE		Metamórficas, ígneas	2 – 8	4
Varição (m/dia)	Valor	Areias e cascalhos	6 – 9	8
< 4	1			
4 – 12	2			

Tabela 01- Valores utilizados do Índice DRASTIC/PETRO para contaminação por gasolina

PARÂMETROS	ÍNDICE DE PONDERAÇÃO (contaminação por gasolina)
D- Profundidade do nível da água	3.65
R- Recarga	4
A- Natureza do aquífero	3
S- Tipo de solo	4
T- Topografia	1
I- Impacto da zona não saturada	4.5
C- Permeabilidade	4.5

Na área pode-se distinguir três domínios hidrogeológicos distintos: rochas cristalinas, coberturas sedimentares e depósitos aluvionares. As rochas cristalinas predominam totalmente na área e representam o que é denominado de aquífero fissural. Como não existe uma porosidade primária nesse tipo de rocha, a ocorrência da água subterrânea é condicionada pela porosidade secundária representada por fraturas e fendas, o que torna os reservatórios aleatórios, descontínuos e de pequena extensão. As coberturas sedimentares compreendem manchas isoladas de sedimentos detríticos que, em função das espessuras reduzidas, têm pouca expressão como mananciais para captação de água subterrânea. Os depósitos aluvionares são representados por sedimentos areno-argilosos recentes, que ocorrem margeando as calhas dos principais rios e riachos que drenam a região, e apresentam, em geral, uma boa alternativa como manancial, tendo uma importância relativa alta do ponto de vista hidrogeológico, principalmente em regiões semi-áridas com predomínio de rochas cristalinas. Normalmente, a alta permeabilidade dos termos arenosos compensa as pequenas espessuras, produzindo vazões significativas.

RESULTADOS

O mapa de vulnerabilidade obtido através do método DRASTIC/PETRO (figura 02) mostra uma área de vulnerabilidade alta junto à faixa litorânea, associada com a região de dunas e paleodunas, uma área de vulnerabilidade moderada e uma grande área de vulnerabilidade de vulnerabilidade baixa. Existem na área pequenas ilhas de vulnerabilidade muito baixa associadas principalmente a uma profundidade maior do lençol freático ou a uma topografia mais acentuada. A área destinada à Petrobrás, onde haverá maior quantidade de hidrocarbonetos estocados, aumentando assim o risco de um acidente ou vazamento que possa causar a contaminação da água subterrânea, encontra-se sob área de vulnerabilidade baixa a muito baixa.

CONCLUSÕES

Em vista da complexidade dos fatores que afetam o transporte dos contaminantes nas águas subterrâneas, da importância do detalhamento destes fatores e da singularidade de cada situação de campo, torna-se lógico tratar cada atividade contaminante em um dado ambiente geológico como sendo única, e executar investigações independentes para avaliar o risco de contaminação.

Mapas de vulnerabilidade mostram-se bastante eficientes na avaliação da susceptibilidade de áreas à ação de uma carga contaminante gerada por determinados produtos. Permite discriminar áreas homogêneas com o mesmo nível de vulnerabilidade, e com isso pode-se obter uma avaliação das zonas de recarga e criar zonas de proteção para o aquífero.

Os custos de investigações hidrogeológicas e hidroquímicas são relativamente altos, e um simples e econômico (mas consistente) procedimento para determinar o risco de contaminação das águas subterrâneas deve ser feito inicialmente para priorizar as investigações de campo. A determinação deste risco deveria fazer parte de um amplo esquema para avaliar e administrar o recurso hídrico subterrâneo. Pode ser utilizado em áreas onde empreendimentos já estão instalados, auxiliando no controle ambiental ou com o objetivo de avaliar o risco de contaminação de uma atividade futura, ou seja, pode ser utilizado na confecção do Estudo de Impacto Ambiental (EIA). Os mapas de vulnerabilidade identificam os aquíferos ou parte dos aquíferos mais vulneráveis e determinam as atividades que causam o risco máximo de contaminação nestas áreas.

O índice DRASTIC/PETRO aqui apresentado parece ser uma ferramenta apropriada na determinação de áreas vulneráveis a contaminação por gasolina. Esta ferramenta deverá auxiliar na escolha de locais para instalação de postos de abastecimento de combustíveis, locais de estocagem de hidrocarbonetos e refinarias, colaborando nos estudos de impacto ambiental, bem como auxiliar na determinação de estratégias de controle ambiental em empreendimentos desta natureza já existentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Aller, L.; Bennett, T.; Leher, J. H. & Petty, R. J. (1985). DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potencial using hydrogeologic settings. US EPA Report 600/2 – 85/018
- [2] Corseuil, H. X. (1997a). Biorremediação natural de aquíferos contaminados com derramentos de gasolina. Trabalho apresentado à Comissão Examinadora, como parte dos requisitos para o Curso de Professor Titular no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFSC.
- [3] Corseuil, H. X. & Marins, M. D. (1997b). “Contaminação de águas subterrâneas por derramentos de gasolina: O problema é grave?”. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. 2.
- [4] Fetter, C. W. (1992). Contaminant Hydrogeology
- [5] Foster et al (1988). Determinación Del riesgo de contaminación de aguas subterrâneas: una metodología basada en dados existentes. CEPIS/OPS.
- [6] Guinguer, N. (). Poluição de águas subterrâneas e do solo causada por vazamento em postos de abastecimento. Waterloo Hydrogeologic.
- [7] Relatório III-2. Serviços Geotécnicos – VBA Consultores. Setembro de 2002.
- [8] Wiedmeier, T. H. & Rfai, H. S. (1999). Natural attenuation of fuels and chlorinated solvents in the subsurface.

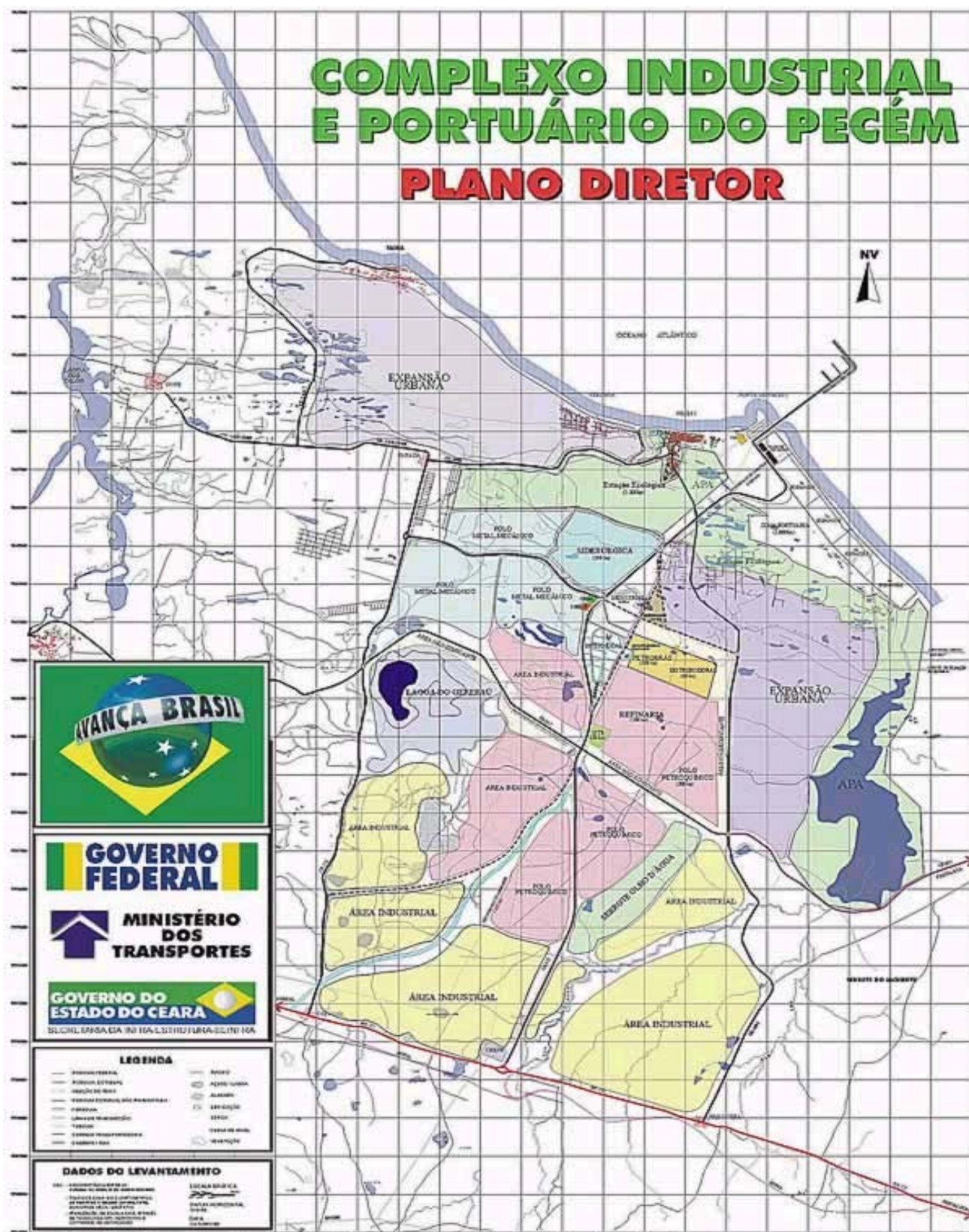


Figura 01- Complexo Industrial a Portuário Governador Mário Covas (Porto do Pecém-CE)

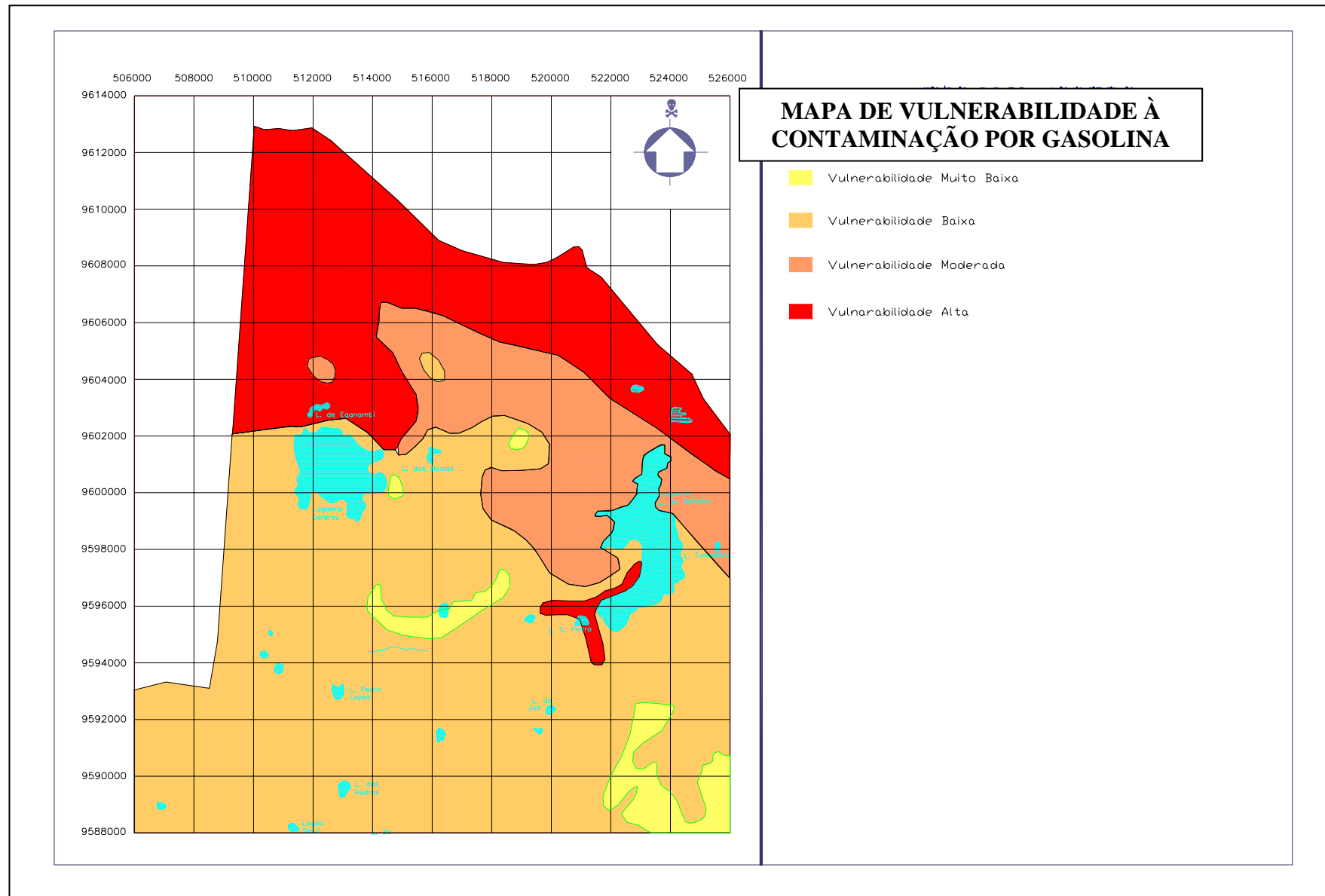


Figura 02 – Mapa de vulnerabilidade à contaminação por gasolina na região do Porto do Pecém