

ANÁLISE DO FLUXO HÍDRICO E A VULNERABILIDADE DOS SISTEMAS HÍDRICOS DO MUNICÍPIO DE CURUÇÁ-PA

Glória Lorena Sena¹, Milton Antônio da Silva Matta¹, Gustavo Souza Craveiro²; José Maria da Costa Mendes², Jorge Augusto da Costa Martins² & Lívio Wagner² & Raimundo Oliver Brasil¹

Resumo - O entendimento consistente dos sistemas hídricos presentes foi o foco basilar para identificar os fatores de vulnerabilidade dos principais aquíferos explorados no Município de Curuçá – PA, já que a principal fonte de água nas zonas periféricas do Município vem de poços tipo amazonas. A partir de perfis compostos e do mapa de fluxo, classificou-se os sistemas hídricos locais. Foi classificado o Sistema Barreiras com vulnerabilidade alta; quando formados por aquíferos livres e os aluviões, que se caracterizam por constituir aquíferos livres, com níveis freáticos sub-aflorantes, e o Sistema Barreiras com vulnerabilidade baixa, quando confinado, protegido por aquíferos e/ou aquíferos. Baseado nesta classificação, fontes de contaminação devem ser relocadas para zonas a jusante do Município, contendo possíveis contaminações do aquífero Barreiras, reduzindo assim o risco da população ser exposta a doenças de veiculação hídrica.

Abstract - The consistent understand of presents Hydro Systems was the main spotlight to identify the vulnerability matters of the majors exploited aquifers on Curuçá District – Pará State, as well know that the major of water source come to amazonas type well. The local Hydro Systems had been classified by two composite profiles and flux map data. The Barreiras aquifer was classified in two different vulnerability ways, the high vulnerable; when it is formed by free aquifers and alluvium which characterize to have shallow freatic levels, and low vulnerable; when it is formed by confined aquifers protected by aquitardes and/or aquicludes. Based on its classification the main source of contamination must have been relocated to after the principal underwater stream to minimize the pollution effect to reduce population water propagation disease.

Palavras-Chave: Fluxo hídrico; Vulnerabilidade; Curuçá

¹ Geólogo. UFPA- Rua Augusto Corrêa, Centro de Geociências. CEP 66075-110, tel: (91)32017425 – matta@ufpa.br

² Aluno de Graduação. - UFPA- Rua Augusto Corrêa, Centro de Geociências. CEP 66075-110, tel: (91)32017425 – matta@ufpa.br

1 – INTRODUÇÃO

Face ao quadro atual de poluição de águas subterrâneas e solos, profissionais ligados às Geociências são levados a pesquisar novos meios de entender e analisar os problemas urbanos resultantes da ação antropogênica. As técnicas Hidrogeológicas se enquadram como uma ferramenta de baixo custo para sanar os efeitos danosos causados pela disposição de resíduos em contato com o meio físico e promover o melhor gerenciamento dos recursos hídricos

A análise do fluxo hídrico subterrâneo é um dos alicerces que auxiliam entendimento da vulnerabilidade dos sistemas hídricos. Prefeituras podem lançar mão deste conhecimento para melhor gerenciar o plano de urbanização, com a locação de possíveis focos de contaminação fora de zona de recarga destes aquíferos.

Com o entendimento dos padrões de fluxo subterrâneo, a Administração Municipal pode reduzir diretamente os gastos com saúde pública e saneamento básico. Segundo a Lei 9433/1997, toda Administração Municipal deve apresentar políticas que assegurem à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos.

No Município de Curuçá, poços do tipo amazonas são o principal foco de contaminação dos aquíferos livres e semi-confinados. Estes aquíferos servem de fonte de abastecimento de água para a maioria da população. Para tanto, uma análise da geologia local se faz necessária para entender as relações entre os aquíferos livres e confinados, bem como seus fluxos e suas respectivas vulnerabilidades.

2 - Objetivos

Fazer um perfil composto a partir de poços presentes no Município de Curuçá e estabelecer a relação entre os aquíferos livres e confinados. A partir de poços rasos, identificar a carga d'água dos aquíferos livres e fazer o mapa de fluxo. Deste mapa, identificar os principais pontos de vulnerabilidade e por fim, propor a relocação dos principais focos de contaminação presentes no Município.

3 – Condicionantes Geo-Ambientais

3.1 – Elementos Climáticos e Meteorológicos

O Município de Curuçá apresenta clima equatorial Amazônico tipo Am2 da classificação de Koppen, caracterizando-se por temperaturas elevadas, com média de 27° C, pequena amplitude

térmica, precipitações abundantes, entre 2.000 e 2.500 mm anuais, sendo os meses mais chuvosos, de janeiro a junho e menos chuvosos de julho a dezembro. (SUDAM/EMBRAPA, 1993)

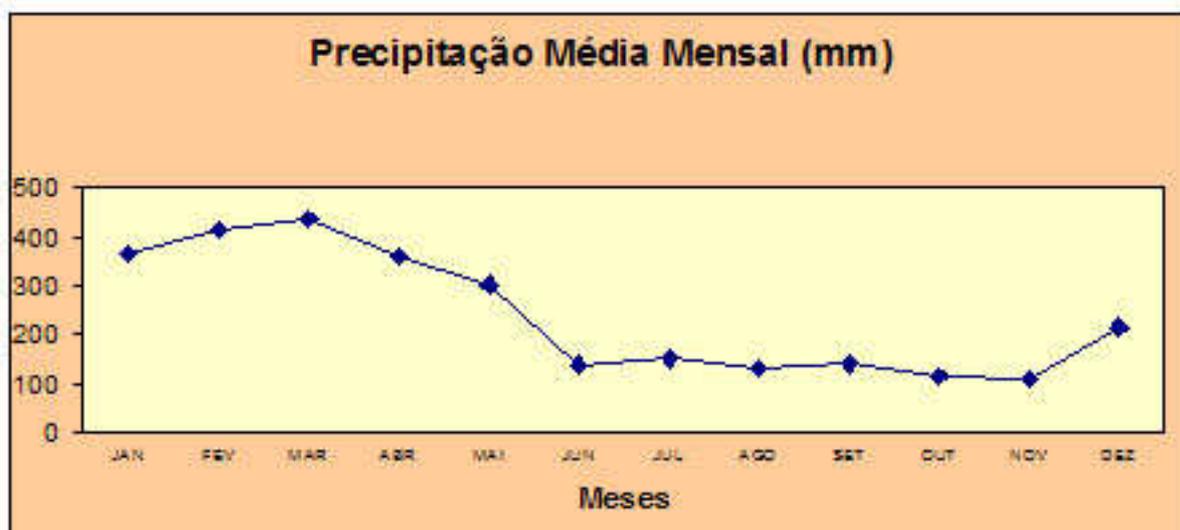


Figura 1 - Distribuição da Precipitação Média Mensal do Município de Curuçá. Adaptado de MORAES (1999) apud Matta (2002).

3.2 – Relevo

O relevo do município de Curuçá apresenta-se como uma costa baixa, estuarina cortada pelas baías de Curuçá e Cajuteua. Estas baías são margeadas por planícies argilosas, drenadas por freqüentes canais de marés. Nas porções sul e sudeste do município apresenta-se uma faixa de tabuleiros, que constituem o planalto rebaixado da Amazônia. A porção norte é caracterizada pela presença de planícies flúvio-marinhas.

3.3– Solo

Segundo VIEIRA (1987), predominam na área de estudo os solos Distróficos (do tipo Latossolo Amarelo, com associação de solos de textura média e leve), Concrecionários Lateríticos, Aluviais e Solos Indiscriminados de Mangues.

Estes tipos de solo são predominantemente constituídos de frações argilosas, o que acarreta maior dificuldade de infiltração de água. Os solos concrecionários lateríticos também funcionam como impermeabilizantes para os aquíferos.

A maior parte dos solos do município oferece alguma proteção ao aquífero superior em relação à infiltração de substâncias contaminantes através do solo. Isso se dá tanto pela possibilidade de funcionarem como filtro da água, quanto oferecendo um semiconfinamento ao aquífero.

3.4 – Hidrografia

A rede hidrográfica do Município de Curuçá apresenta como um dos mais importantes, o rio Mocajuba, formado pelo igarapé Pimenta e outros tributários sem grande expressão, servindo de limite natural a Oeste entre os Municípios de Curuçá e São Caetano de Odivelas, corre em direção a Sudeste-Noroeste formando meandros, para depois tomar a direção Norte, até desembocar no Oceano Atlântico. Apresenta-se largo, em grande parte do seu trecho, atravessando os povoados conhecidos como Nazaré do Mocajuba e Murajá. Recebe vários afluentes, sendo os da margem direita os de maior importância para o Município, como os rios Tijoca, Candeuca, e o furo Maripanema ou Muriá que banha o povoado de São João do Abade.

O rio Curuçá é o segundo mais expressivo do Município, sendo que, no seu afluente, rio Baunilha, pela margem esquerda, se encontra a sede municipal.

Ainda, outro curso de maior importância, é o igarapé Araquaim, que parte a montante do povoado de Araquaim e recebe pela margem esquerda o igarapé Cachoeira e dirige-se para Noroeste, onde deságua numa das reentrâncias da baía de Curuçá. Na porção meridional do Município, destaca-se o rio Braço Esquerdo do Marapanim, que o limita com o Município de Castanhal.

4 – Características do Fluxo Hídrico

As características hidrogeológicas do município de Curuçá são muito semelhantes às da região de Belém e Ananindeua, descritas por Matta (2002). Por este motivo, nos casos em que o fator hidrogeológico não for estudado particularmente, serão utilizados aqui os valores e descrições mostradas por aquele autor para a área de Belém.

4.1 – Sistemas Hidrogeológicos

Até o presente momento não haviam sido realizados levantamentos hidrogeológicos no município de Curuçá. A partir dos dados obtidos através de perfis de poços construídos no município estabeleceu-se uma comparação com os dados hidrogeológicos da região de Belém, aceitando-os como muito semelhantes. Logo, para efeito deste trabalho será assumida, para o município de Curuçá, a classificação proposta por Matta (2002) para os sistemas hidrogeológicos da região de Belém e Ananindeua.

De acordo com Matta (2002) são cinco os sistemas hidrogeológicos existentes na região de Belém e Ananindeua, que se encontram resumidos na **Tabela 1**.

Tabela 1 - Características gerais dos sistemas hidrogeológicos. Fonte: Matta (2002)

SISTEMAS HIDROGEOLÓGICOS	PROFUNDIDADES DE OCORRÊNCIA	VAZÕES
Aluviões	Inferiores a 10m.	Em torno de 10m ³ /h.
Pós-Barreiras	Desde a superfície até 25m, sendo quase sempre inferior a 25m.	Normalmente abaixo de 5 m ³ /h.
Barreiras	Geralmente estão entre 25 e 90m.	Vazões entre 10 e 70 m ³ /h.
Pirabas Superior	Aparecem, geralmente, entre 70 e 180m.	Vazões entre 100 e 200 m ³ /h.
Pirabas Inferior	Aparecem abaixo de 180m.	Vazões da ordem de até 600m ³ /h.

4.2 – Principais Sistemas Hidrogeológicos Locais

Os principais sistemas hidrogeológicos locais, no sentido de Matta (2002), aqueles efetivamente explorados na área, são o Pós-Barreiras e o Barreiras. Os poços do tipo amazonas exploram apenas o sistema Pós-Barreiras, enquanto aqueles utilizados para abastecimento público utilizam o Barreiras.

4.2.1 - Pós-Barreiras

A unidade Pós-Barreiras é constituída por níveis argilo-arenosos, inconsolidados, existentes desde a superfície até cerca de 25 metros sendo, por vezes, recoberta por alúvios e colúvios. O potencial hidrogeológico do aquífero é fraco, contudo, na maioria das vezes, apresenta água de boa qualidade para consumo humano.

Em geral esses aquíferos são de natureza livre, ou semiconfinado localmente. A recarga se verifica diretamente através das precipitações pluviométricas. Apresentam alta vulnerabilidade junto às principais fontes pontuais de contaminação das águas subterrâneas, principalmente em função de sua profundidade quase sempre inferior a 25m, colocando-os nas zonas de interação com fossas, postos de combustíveis, cemitérios, etc..

4.2.2 – Barreiras

Esta unidade aquífera corresponde aos sedimentos do Grupo Barreiras, que tem expressões litológicas bastante heterogêneas, onde se incluem desde argilitos até arenitos grosseiros com níveis conglomeráticos. Além de níveis lateríticos e argilosos caulinizados. Esses litotipos se intercalam irregularmente, segundo um arranjo espacial complexo que ainda está sob análise.

A unidade Barreiras aparece em profundidades de 25 a 90 metros, possui natureza semi-livre a confinada, neste caso pela presença de camadas argilosas sucessivamente intercaladas nas areias. A recarga se dá por contribuição das camadas sobrepostas ou através da precipitação pluviométrica, nas áreas de afloramento dessa unidade.

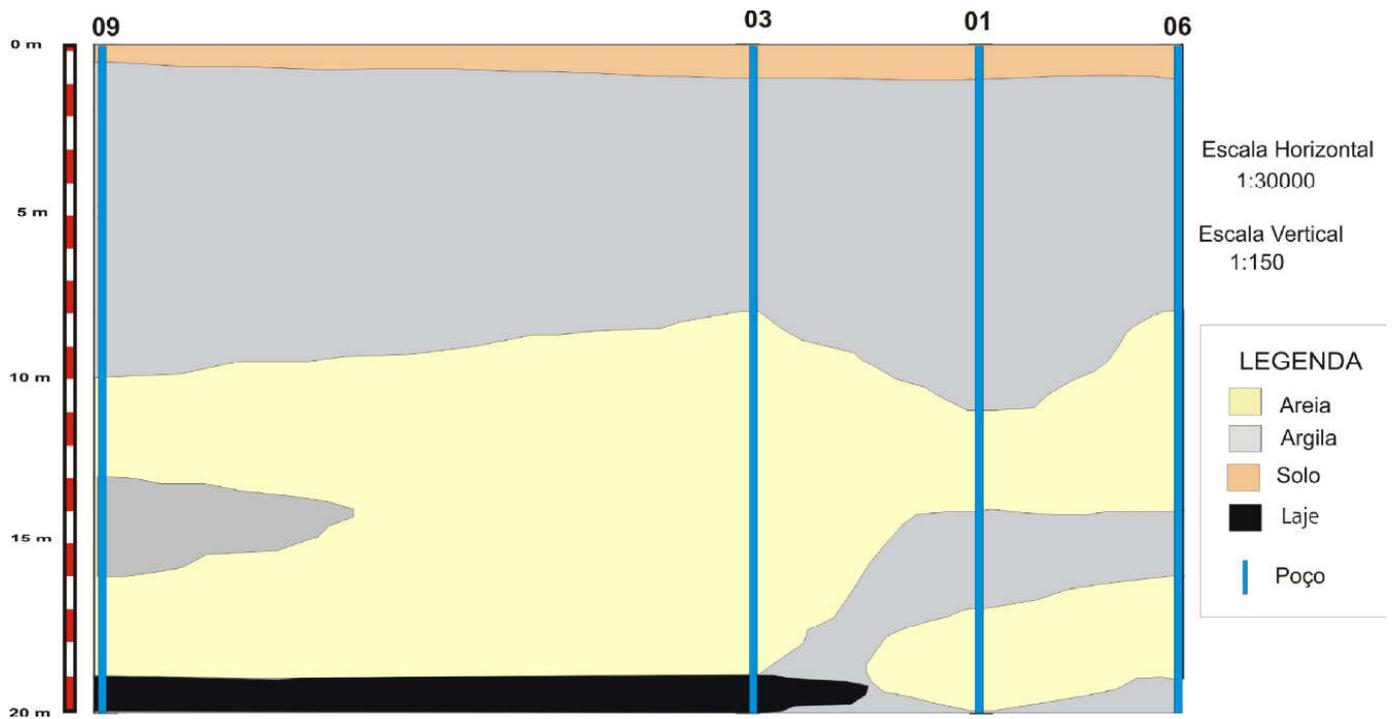
4.3 – Elementos Geométricos dos Sistemas Aquíferos Locais

A geometria dos sistemas aquíferos do município de Curuçá foi analisada a partir de perfis de poços obtidos em relatórios técnicos fornecidos pelas empresas responsáveis pelas obras de construção dos mesmos.

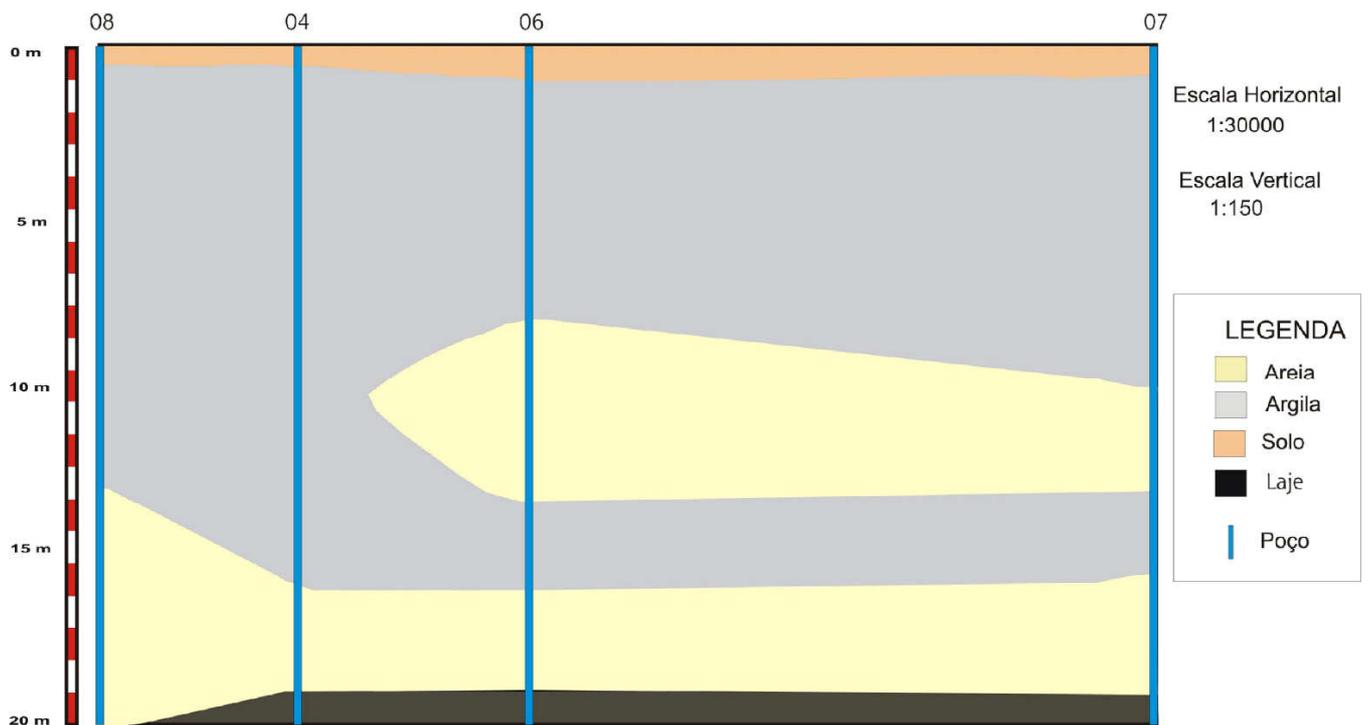
A partir dos dados obtidos foram confeccionadas duas seções compostas, utilizando como critério, a proximidade entre os poços analisados.

Os aquíferos do município de Curuçá são compostos por seqüências onde se intercalam camadas arenosas e argilosas. Observa-se, através das seções, a complexidade do arranjo espacial destes aquíferos.

No perfil observa-se a existência de duas camadas arenosas. A primeira apresenta uma forma irregular (figura 1) e uma inferior de forma lenticular. A espessura média da camada superior é de 10m, sendo possível encontrá-la desde uma profundidade de 8 até 18m.



Seção I



Seção II

Figura 2 - Perfis Compostos do Município de Curuçá

A segunda camada arenosa é mais contínua, sendo possível encontrá-la a partir de uma profundidade de 13 m, apresentando uma espessura média de 3m.

É possível observar material argiloso recobrando estas camadas arenosas. O pacote argiloso apresenta espessura média de 8m, sendo importante como camada confinante dos dois conjuntos arenosos, oferecendo proteção contra a contaminação.

O arranjo espacial (camadas arenosas lenticularizadas cortadas por pacotes argilosos) associado às características geológicas observadas e às profundidades compreendidas e ainda à classificação adotada para os sistemas aquíferos do município, indica que estes poços estão explorando água do sistema aquífero Barreiras.

4.4 – Comportamento do Fluxo Hídrico Subterrâneo

Para efeito deste estudo foi confeccionado um mapa de fluxo (Figura 3) utilizando o nível estático obtido para cada poço cadastrado no âmbito da área de estudo. A partir destes dados foi calculado o potencial hidráulico para cada poço, pela subtração de cada cota topográfica do nível estático medido. Utilizando o software Surfer 8.0, mostra-se o comportamento das linhas equipotenciais para o aquífero superior da área.

Ainda utilizando-se o Surfer 8.0, plotou-se as direções e sentido do fluxo hídrico subterrâneo, perpendicularmente às equipotenciais hidráulicas.

Analisando-se o mapa de fluxo subterrâneo construído percebe-se, a existência de duas áreas de recarga desse aquífero superior (Figura 3). A mais evidente encontra-se localizada no setor noroeste da área. Caracteriza-se pelos altos valores das linhas equipotenciais (Figura 3) e sistema de vetores divergentes. A outra área de recarga, também expressiva, localiza-se no setor sul do mapa.

Uma área de descarga do fluxo hídrico subterrâneo pode ser identificada pelos vetores convergentes que ocorrem no setor centro-oeste da área.

Os cursos hídricos superficiais são predominantemente efluentes no sistema aquífero, uma vez que os vetores de fluxo convergem dos aquíferos para os cursos superficiais. Na área de Curuçá a característica de influência do fluxo apresenta uma leve tendência a um comportamento misto.

A figura 4 mostra o comportamento espacial do fluxo hídrico subterrâneo em três dimensões, permitindo uma mais eficiente visualização desse comportamento.

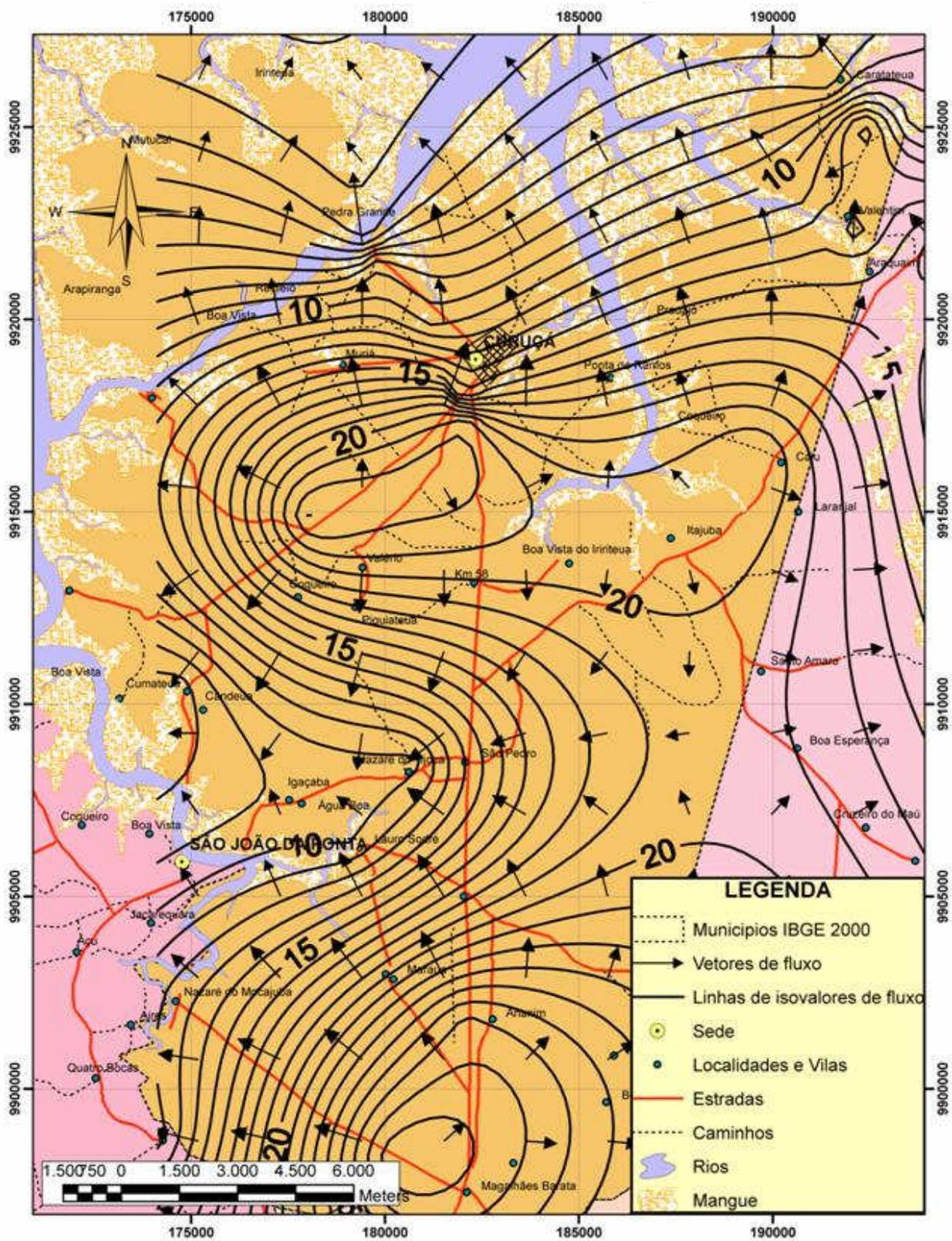


Figura 3 - Vetores do fluxo hídrico subterrâneo do município de Curuçá. Base: Folha SA.23-V-A-IV. Escala: 1:100.000

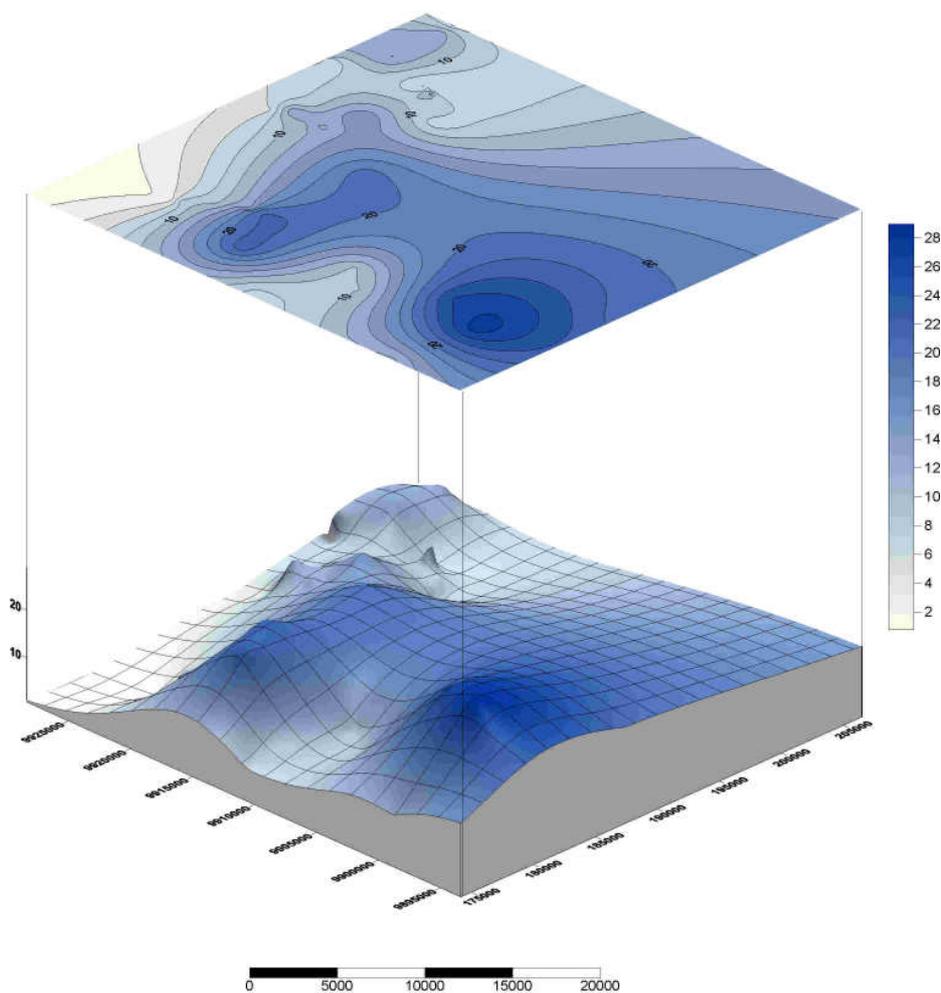


Figura 4 - Bloco diagrama do fluxo hídrico subterrâneo do município de Curuçá.

5 – Vulnerabilidade

5.1 – Vulnerabilidade dos Sistemas Aquíferos à Poluição

Várias são as informações necessárias para determinação da vulnerabilidade dos sistemas aquíferos à poluição. As principais são: características das zonas de recarga, propriedade dos solos, e as propriedades das zonas não saturada e saturada. Outras informações, de importância secundária, incluem a topografia, a relação entre água subterrânea e superficial e a natureza da unidade aquífera.

5.2 – Profundidade do Lençol Freático

A distribuição das profundidades do lençol freático no município permite se identificar zonas menos ou mais vulneráveis à contaminação pelos principais agentes poluidores quer pontuais quer

difusos. De uma maneira geral essas profundidades variam dentro do intervalo entre 1,6m e 22m (Figura 5).

A figura 5 apresenta o mapa de profundidades do lençol freático, tendo sido confeccionado a partir do nível estático obtido para cada um dos poços cadastrados no município durante a fase de campo.

O setor norte da área caracteriza-se pelas menores profundidades da água subterrânea o que torna esse setor o mais vulnerável a contaminações requerendo maior atenção dos planejadores municipais.

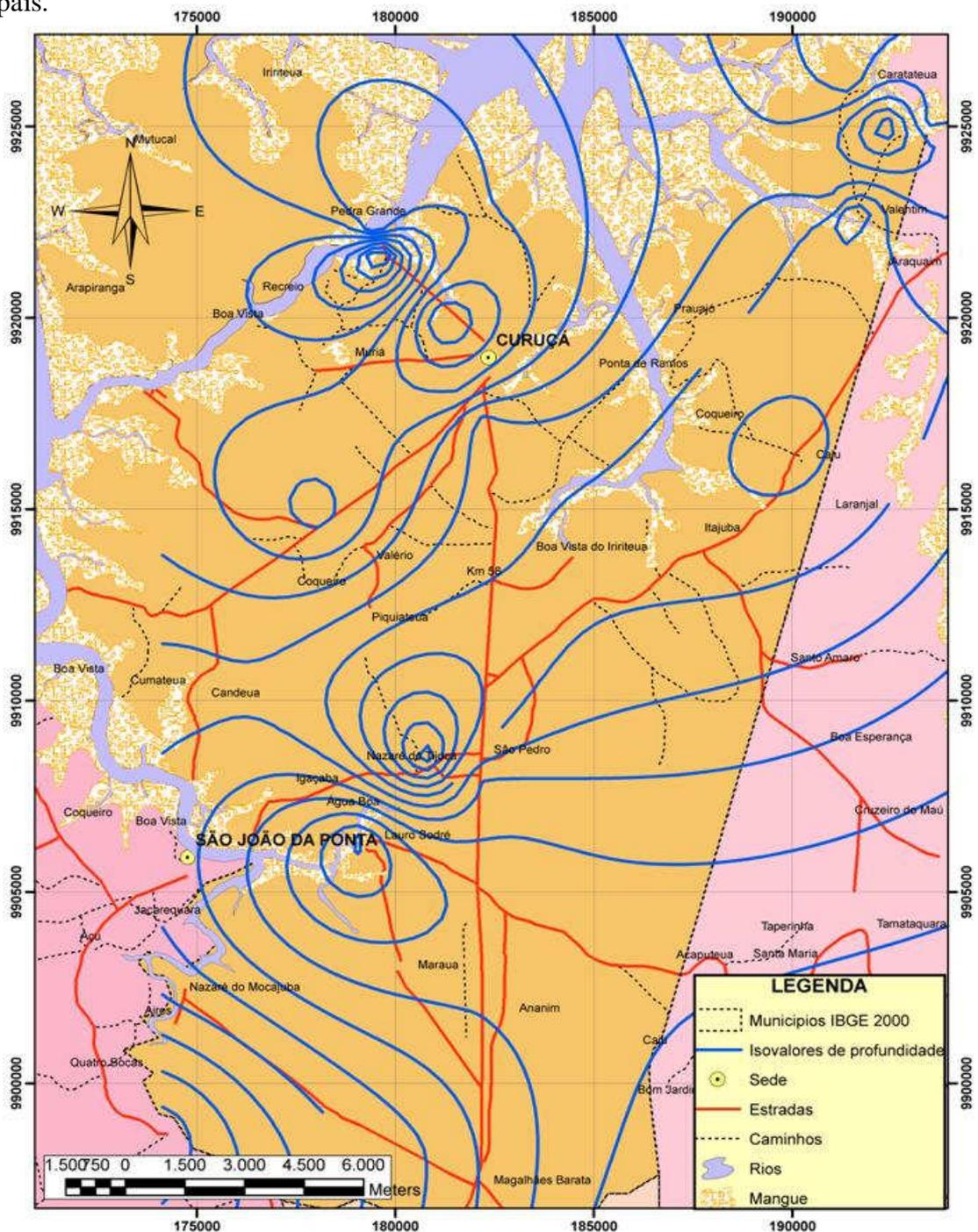


Figura 5 – Profundidade do lençol freático no município de Curuçá. Base: Folha SA.23-V-A-IV. Escala: 1:100.000

Têm-se, na figura 5, duas áreas de concentração de maiores profundidades: no setor sul e no setor noroeste da área. Nessas regiões as obras de captação terão que ser mais profundas, acarretando preços maiores de construção, porém menor vulnerabilidade frente aos principais agentes contaminantes, uma vez que, nesses casos ter-se-ia maiores espessuras de camadas confinantes.

6 – Conclusões e Discussões

Um método eficaz para a análise da vulnerabilidade natural dos aquíferos da área é o método GOD (Hirata, 1994). Esse método foi desenvolvido para analisar apenas a susceptibilidade das águas subterrâneas a uma contaminação geral. É um método adequado para áreas com escassez de dados hidrogeológicos, onde se utiliza apenas três parâmetros básicos: tipo de aquífero, visão global dos litotipos da zona não saturada e a profundidade do nível de água. Esses três parâmetros são multiplicados entre si, gerando um índice final de vulnerabilidade para o aquífero.

De acordo com estudos realizados no município de Curuçá utilizando o método GOD no mapeamento da vulnerabilidade, e levando em consideração apenas as informações obtidas para o aquífero superior, a vulnerabilidade foi classificada como:

- **Vulnerabilidade Alta** – corresponde ao sistema Barreiras, quando formados por aquíferos livres e com pequenas espessuras da zona não saturada e aos Aluviões, que se caracterizam por constituir aquíferos livres, com níveis freáticos sub-aflorantes;
- **Moderada** – relacionado ao sistema Barreiras, quando confinados, uma vez que a água nesses aquíferos está sob pressão e eles se encontram protegidos por aquíferos e/ou aquícludes.

Podem ser descritas como as prováveis fontes de contaminação de aquíferos no município de Curuçá: (a) os poços escavados na área; (b) o resíduo orgânico disposto inadequadamente no depósito de lixo municipal; (c) os esgotos dispostos diretamente no solo permeável; (d) fossas sépticas.

Os poços escavados (tipo amazonas) são a principal fonte pontual de contaminação observada no município. Uma característica comum deste tipo de poço é a ausência de revestimento, ou proteção, nas laterais deste, proporcionando alto risco à contaminação do aquífero. A falta de manutenção e proteção, como tampa e limpeza regular, facilita a ocorrência de contaminação.

A presença constante de matéria orgânica dentro deste tipo de poços, tanto resultante da queda de animais e plantas dentro deles, como da comum proximidade entre estes poços e fossas sépticas, constituem risco ao aquífero. Em áreas rurais essa prática é muito comum e a incidência de doenças decorrentes da poluição também.



Figura 6 - Poços amazonas que constituem fontes potenciais de contaminação do lençol freático.

A disposição de resíduos orgânicos em local inadequado, tanto nos depósitos de lixo quanto através de esgotos a céu aberto são outra fonte importante e comum de contaminação de aquíferos. Nestes casos, por se tratar de uma região onde os solos são muito permeáveis, os resíduos orgânicos se infiltram facilmente, podendo atingir o aquífero superior, que é do tipo livre, não apresentando camadas impermeáveis que ofereçam alguma proteção.

A presença de fossas sépticas constitui um risco à saúde da população, por atrair diversos tipos de insetos e outros vetores de doenças relacionadas às condições sanitárias; e à sanidade dos aquíferos, por serem normalmente escavadas, sem nenhum tipo de revestimento que impeça a infiltração de líquidos resultantes da decomposição de matéria orgânica. No município de Curuçá, por se tratar de uma área tipicamente rural, e aliando a isso o baixo custo, é comum a prática de implantação desse tipo de fossa, oferecendo danos ambientais e sanitários.



Fig. 7: Sanitários recobrando fossa escavada, sem revestimento que impeça infiltração da matéria orgânica decomposta no solo.

Como são predominantemente efluentes, os elementos de drenagem não constituem importantes fontes de contaminação das águas subterrâneas na área, mesmo Como são predominantemente efluentes, os elementos de drenagem não constituem importantes fontes de contaminação das águas subterrâneas na área, mesmo que essas águas superficiais estejam contaminadas.

6.1 – Localização do Depósito de Lixo Municipal e Problemas Ambientais Associados

Neste item, será tratada a localização do depósito de lixo municipal da sede municipal de Curuçá no que se refere à sua relação com o lençol freático e sistema de fluxo subterrâneo discutido anteriormente.

Através do mapa de fluxo do aquífero superior foi analisada a localização do depósito de lixo municipal, sendo esta classificada como inadequada.

O chorume resultante da decomposição da matéria orgânica encontrada em depósitos de lixo pode se infiltrar no solo. Esta substância pode ocasionar diversos problemas de saúde, principalmente em regiões onde o nível freático é muito próximo da superfície do terreno, estando

mais vulnerável à contaminação, como é o caso da área onde se localiza o depósito de lixo da sede municipal de Curuçá (Vide figura 3).

Além disso, este depósito está situado muito próximo à área de recarga do aquífero, em uma zona de gradiente hidráulico maior que o da área urbana, o que significa que o fluxo de água no aquífero superior se dá do depósito de lixo para a cidade. Isso associado ao fato que grande parte da população utiliza água de poços rasos, escavados e sem proteção, que são abastecidos por este aquífero, caracteriza o alto risco à saúde ao qual a população está exposta.

6.2 - Alternativa para o Remobilização do lixão do Município de Curuçá.

Algumas medidas podem ser adotadas para solucionar os principais problemas ambientais observados no município de Curuçá. Estas soluções deverão ser adotadas continuamente, de forma gradativa, para que sejam realmente eficazes e façam parte do cotidiano da população.

6.2.1 – Disposição dos Resíduos Sólidos

A primeira medida a ser tomada deve ser a expansão da coleta de lixo para as áreas que ainda não contam com o serviço, Esta medida evita que os resíduos não coletados sejam despejados em rios e igarapés, bem como que sejam queimados ou enterrados, o que concorre para a poluição do ar e das águas.

O depósito de lixo municipal apresenta diversos problemas, como já foi discutido anteriormente e deve ser eliminado. Os principais problemas são: localização inadequada, disposição de resíduos de forma desordenada, disposição sem qualquer tipo de tratamento, falta de sintonia entre disposição e população do entorno, falta de organização entre poder público e comunidade de catadores.

A partir da análise do fluxo subterrâneo foi constatada a localização inadequada do depósito de lixo da sede municipal. Uma solução alternativa para este problema é a mobilização deste para local adequado. Uma área propícia foi selecionada e consta na figura 8.

Para a seleção desta área, foram levados em consideração alguns fatores imprescindíveis à exequibilidade de um aterro sanitário. Os principais foram: relevo plano, maior profundidade do nível freático, posição da área em relação à cidade e o fluxo hídrico subterrâneo e a distância de zonas de recarga de aquífero.

A área anteriormente utilizada deverá sofrer um processo de recuperação, para reconstituir suas características naturais.

Na nova área de disposição dos resíduos sólidos produzidos no município, deverá ser instalado um aterro sanitário, obedecendo as normas técnicas de saneamento, evitando assim a degradação da área.

Para implantação do aterro sanitário deve ser elaborado um projeto de desenvolvimento, além de haver um monitoramento contínuo das águas subterrâneas, ar, solo e plantas no seu entorno, para evitar contaminação por vazamentos na sua estrutura.

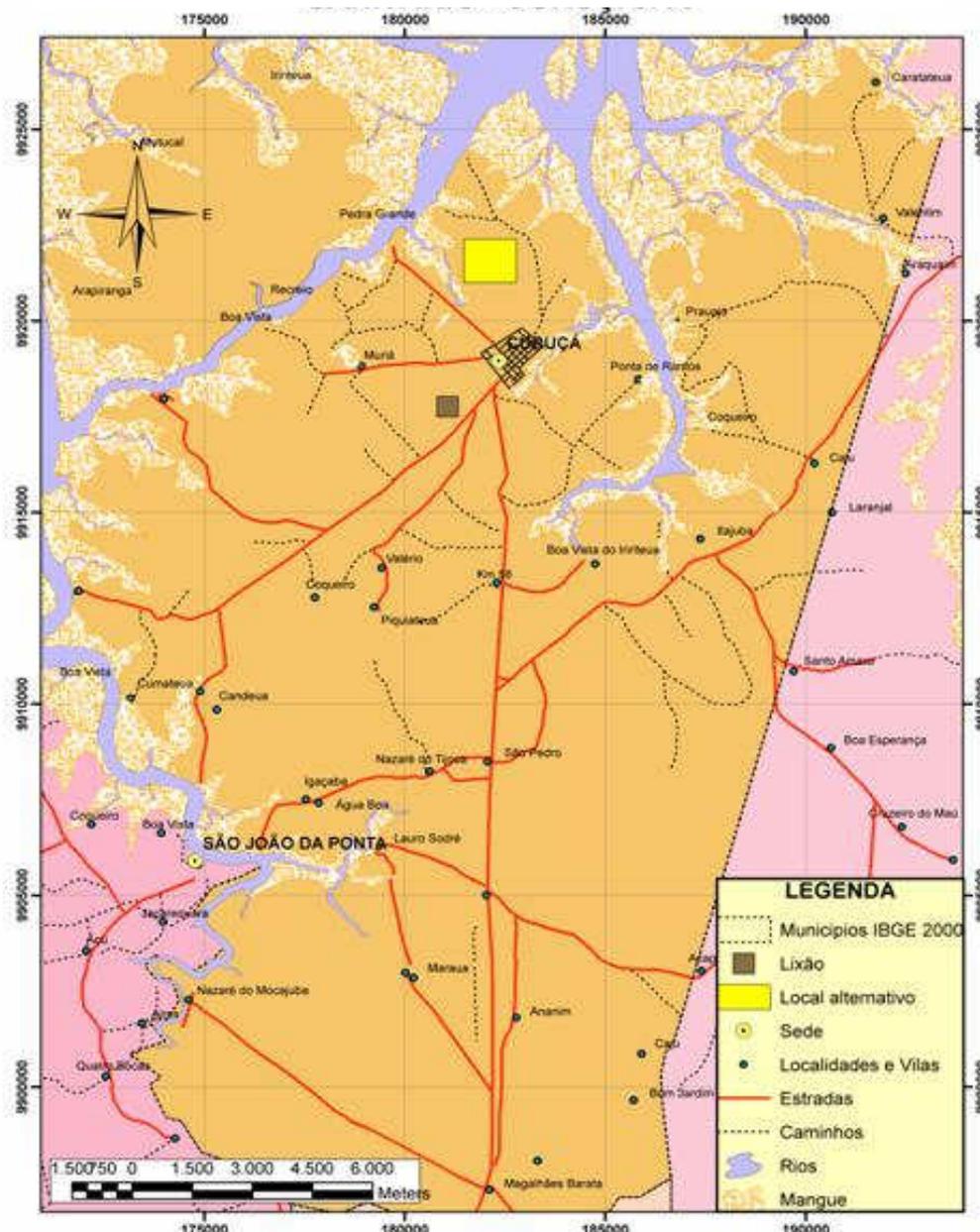


Figura 8 - Localização da área alternativa, recomendada, para implantação de aterro sanitário no município de Curuçá. Base: Folha SA.23-V-A-IV. Escala: 1:100.000

7 - Referência Bibliográfica

- HIRATA, C. A .H. 1994. *Fundamentos e estratégias da proteção e controle da qualidade das águas subterrâneas. Estudos de casos no Estado de São Paulo*. São Paulo: Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências . 195p. (Tese de Doutorado).
- MATTA, M. A. da S. – 2002 – *Fundamentos Hidrogeológicos para a Gestão Integrada dos Recursos Hídricos da Região Metropolitana de Belém/Ananindeua – Pará, Brasil*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 292p. (Tese de Doutorado)
- SUDAM/EMBRAPA – 1993 – *Estudos Climáticos do Estado do Pará, Classificação Climática (KÖPPEN) e Deficiência Hídrica (THORNTHWAITE, MATHER)*. Belém. 53p.
- VIEIRA, L. S.; SANTOS, P. C. T. C. – 1987 – *Amazônia, seus Solos e Outros Recursos Naturais*. Agronômica Ceres, São Paulo.