



A IMPORTÂNCIA DA MODELAGEM NA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS UTILIZANDO PROCEDIMENTOS GEOESTATÍSTICOS

Maria Lucilene Alves, CAERD – Porto Velho – RO, Brazil
Flávio Batista Simão *, DMAT/UNIR – Porto Velho – RO, Brazil
Homero Reis de Melo Júnior, CPRM – Porto Velho – RO, Brazil
Carlos Alberto Paraguassu, DGEO – Porto Velho – RO, Brazil
Marçal Franca dos Santos, DMAT/UNIR – Porto Velho – RO, Brazil

Copyright 2009, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica.

This paper was prepared for presentation at the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, held in Salvador, Bahia, Brazil - August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members, Electronic reproduction, or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

ABSTRAC: This article evaluates the quality of groundwater potentially impacted by nitrate (NO₃), using a geostatistical analysis. It was found that in 67% of the samples were identified levels greater than 3 mg/L, and 33% of wells tested, nitrate levels were found above or very close to 10 mg/L, maximum allowed in Brazil, which indicates chemical water quality and commitment of its drinking.

Introdução

Atualmente, comenta-se muito sobre as atividades humanas causadoras de poluição ambiental nas áreas urbanas, principalmente, quando estas atividades se tornam uma ameaça de degradação às reservas hídricas subterrâneas. Fonte de suprimento diário de água para mais de 50% da população mundial.

No município de Porto Velho, é comum a prática da exploração das águas subterrâneas, especialmente nos bairros periféricos, onde os serviços de saneamento básico são insuficientes.

Aproximadamente 33% da população urbana de Porto Velho são abastecidas por água subterrânea, esta se destaca por ser uma alternativa de baixo custo e acessível a todos. Principalmente pelas características do meio físico local, elevado índice pluviométrico, alta umidade do ar, e predominância de latossolos.

Outro agravante na cidade é a inexistência de rede coletora de esgotos. A ineficiência desses serviços obriga a população local, construir fossas negras e sépticas dentro das imediações de seus terrenos para deposição de efluentes e poços para suprimento de água, (MELO JUNIOR, 2006).

Essa prática contamina as águas subterrâneas, especialmente o aquífero raso, por ser o mais explorado pela população Local. Possibilitando conseqüências drásticas na ao meio ambiente.

Este estudo originou-se de uma realidade local semelhante os demais Estados brasileiros. Segundo dados do IBGE (2004), 41% da população brasileira, aproximadamente 69 milhões de habitantes, utilizam fossas rudimentares ou não possuem qualquer sistema de saneamento e somente 32% estão conectadas devidamente à rede de esgotos. Este procedimento se manifesta na deposição inadequada dos efluentes, os quais, muitas vezes, diretamente no aquífero.

Na região norte do Brasil, a situação é ainda mais grave. Somente 6% dos municípios possuem rede coletora de esgotos sanitários e 54,6% possuem rede de distribuição de água tratada (IBGE, 2004).

Em decorrência destes fatos a água subterrânea, pode ter a sua qualidade comprometida pela falta de esgoto sanitário nas áreas urbanas, onde estão presentes diferentes substâncias, de origem antropogênica. Sendo assim, este estudo enfocou a substância química, nitrato, originado do nitrogênio nas águas subterrâneas da Zona 3 (sul) da cidade de Porto Velho.

O nitrato ocorre naturalmente em águas subterrâneas, mas a sua presença em concentrações elevadas é resultante de atividades humanas, principalmente ao uso de sistemas de saneamento *in situ*, as substâncias nitrogenadas dos resíduos orgânicos são oxidadas por reações químicas e biológicas e o resultado é a presença de nitrato no solo. O nitrato é extremamente solúvel na água e pode se mover facilmente, contaminando o aquífero a longa distância, devido a sua persistência e mobilidade (FREEZE E CHERRY, 1979).

Segundo Legislação Federal do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004) e da Organização Mundial de Saúde (OMS), que dispõe sobre o sistema de abastecimento de água, considera que a água contendo teor de concentrações superiores a 10 mg/L de nitrogênio (N), na forma de nitrato (NO₃⁻), é imprópria para o consumo humano.

Aspectos do meio físico do município de Porto Velho

O município de Porto Velho, capital do Estado de Rondônia, está localizado à margem direita do Rio Madeira a 8°45'43" de latitude sul e 63°54'14" de latitude oeste. Possui relevo pouco acidentado, perturbado por cinco bacias de drenagem que recorta o município: Bate-estaca, Penal, Tanques e Tancredo Neves (FIG. 1)

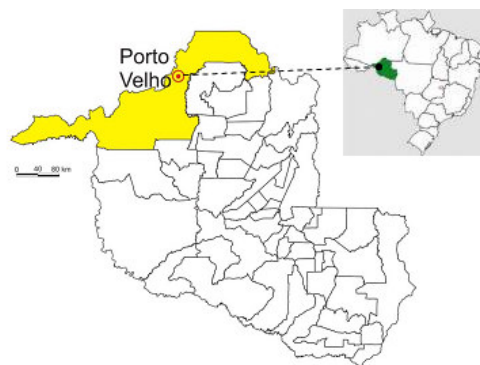


Figura 1: Município de Porto Velho – RO.

Na geologia local predomina a Formação Jaciparaná, de idade pleistocênica colúvio-aluvionar, além de lateritos imaturos. Encontram-se Latossolos, Podzólicos, Concrecionários e solos Glei. Os latossolos, amplamente dominantes na área abrangida, são comumente bastante intemperizados. Possui uma boa drenagem, favorecendo o desenvolvimento dos sistemas radiculares. Porém, são ao mesmo tempo, resistentes à erosão. O Aquífero rio Madeira é o principal fornecedor de água subterrânea para a população local. (QUADROS, 2007).

Nestas condições, a geologia possibilita a construção de poços rasos, a baixo custo, com no máximo 12 metros de profundidade.

O clima no município de Porto Velho, corresponde ao tipo quente e úmido, com extremos índices pluviométricos registrados entre 1600 mm e 2300 mm/ano. A temperatura média anual gira em torno de 26°C e a umidade relativa média anual chega a 85% (FERNANDES E GUIMARÃES, 2003).

Este estudo foi desenvolvido na Zona 3, abrangendo toda a parte Sul da cidade, compreendendo uma área urbana de 19,44 Km². Possui 19.033 domicílios particulares permanentes, onde vivem aproximadamente cem mil habitantes distribuídos em treze bairros: Nova Floresta, Floresta, Eldorado, Aeroclube, Cohab Floresta, Castanheira, Caladinho, Novo Horizonte, Conceição, Cidade do Lobo, Cidade Nova, Eletronorte e Areia Branca.

Saneamento Básico Local

O abastecimento de água é feito para 20% dos domicílios através de rede geral de distribuição, em quadras alternadas e com abastecimento intermitente (CAERD, 2006) e, os 80% restantes, são abastecidos por poços construídos pelos próprios moradores. Na Zona 3, não possui rede coletora de esgotos. Estes são lançados diretamente no solo, em valas negras e em córregos que cortam a região. As características geológicas locais (material arenoso) favorecem processos de infiltração das águas e de cargas contaminantes, oriundas do sistema séptico utilizado pela população local.

Os serviços de infra-estrutura oferecidos a esta Zona são incapazes de atender, a contento, sua população. Existe, nesta área, lançamento de efluente do segundo maior hospital público da cidade, localizado na porção norte da Zona 3, no bairro Nova Floresta, podendo fornecer vários tipos de compostos físicos, químicos e biológicos além das fossas negras e sépticas, como possíveis fontes de compostos nitrogenados nas águas subterrâneas.

Dos poços rasos utilizados na pesquisa, muitos deles, apresentam construções bastante precárias, inadequadas, sem condições de proteção, com cobertura em tábuas (pedaços de madeira), outros totalmente desprotegidos e, ainda outros, ao lado de fossas. Podendo servir de caminho ou facilitar o aporte de contaminantes ao aquífero.

Materiais e Métodos

Trata-se de um estudo de característica descritiva, com coleta de dados do tipo quantitativa, compreendendo um período de cinco meses. O principal objetivo foi medir os teores de nitrogênio, na forma de nitrato (NO₃⁻), no Aquífero Livre da Zona 3 do município de Porto Velho, através dos poços rasos.

Este tipo de poço capta água do lençol freático e possui geralmente profundidade na ordem de até vinte metros. Optou-se pelos poços que tinham bomba elétrica instalada, possibilitando a coleta da água na saída do poço antes de ir para caixa d'água, conforme a metodologia proposta por Derisio e Souza (1997).

A seleção dos poços, na Zona 3, foi feita a partir de Amostragem Aleatória Estratificada (FREUND E SIMON, 2000). As coletas de água procederam-se de acordo com *Standard Methods for the Examination for Water and Wastewater* (APHA, 1998), juntamente com a metodologia proposta no guia coleta e preservação de amostra de água da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB (BATALHA, 1993) adotadas pelo Laboratório de Água da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental – SEDAM/RO.

Krigagem

A análise da pluma de contaminação por nitrato no Aquífero Livre Jaciparaná onde está situada a Zona 3 procedeu-se através da Krigagem, esta é denominada como estimador espacial de variáveis regionalizadas a partir de valores

adjacentes enquanto considerados independentes na análise variográfica.

Segundo Isaak e Srivastava (1989) por meio da Krigagem, pode-se obter a previsão do valor pontual de uma variável regionalizada em um local específico dentro do espaço geométrico (trata-se de um procedimento exato de interpolação que leva em consideração todos os valores observados).

Além disso, a Krigagem fornece em geral estimativas não tendenciosas e com variância mínima (LANDIM, 2003). Portanto a Krigagem reúne diversos tipos de métodos de estimação, neste estudo abordou-se a Krigagem Indicativa.

Para Landim (2003), através do método da Krigagem Indicativa é possível elaborar estimativas de proporções para determinados valores que estão abaixo ou acima de um certo nível de corte (*cutoff*) ou seja, variável resultante da aplicação da função não linear $f(z) = 0$ ou 1 . Segundo Journel (1983) modela a construção de uma função de distribuição de probabilidades acumuladas (*cumulative distribution function*, "cdf") para a estimativa de distribuições espaciais. Este é um conceito da transformação indicativa.

A transformação dados em indicadores é definida pela seguinte expressão:

$$i_j(v_c) = \begin{cases} 1, & \text{se } v_j \leq v_c \\ 0, & \text{se } v_j > v_c \end{cases}$$

E a função de distribuição acumulada dos valores abaixo do nível de corte é definida por:

$$F(v_c) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n i_j(v_c)$$

E de valores acima do nível de corte:

$$\tilde{F}(v_c) = \sum_{j=1}^n w_j i_j(v_c)$$

Onde a condição de não viés é dada por: $\sum_{i=1}^n w_i = 1$

Assim sendo, calcula-se os semivariogramas experimentais indicativos para determinado níveis de corte e estabelecidos os modelos variográficos, e definidos pela função:

$$\gamma_i(h, v_c) = \frac{1}{2N_h} \sum_{i=1}^n [I(x+h, v_c) - I(x, v_c)]^2$$

Onde: h = passo (lag) básico; v_c = nível de corte e N = nível de pares.

Deste modo, emprega-se a Krigagem Ordinária pontual nos valores transformados, obtém-se a probabilidade de $v_i < v_c$. À medida que se incrementa v_c , para a obtenção dos valores estimados de uma função de distribuição acumulada é dado por:

$$F(v; v_c | n) = E\{i(v; v_c) | n\}$$

Definidas as funções de distribuição acumuladas, pode-se obter qualquer intervalo probabilístico da variável, ou seja:

$$F(v_i) - F(v_j) \quad \text{para: } v_i < v_c.$$

Com as proporções obtidas, elaborou-se a função de distribuição acumulada para um determinado local da área, para analisar a variável de interesse. Neste estudo foi utilizado para a determinação de teores anômalos de nitrato e de níveis de poluição acima de um teor crítico.

Resultados e Discussão

Análise Geoestatística e Semivariográfica

Os teores de nitrato (NO_3^-) apresentam distribuição com certa homogeneidade. Valores até 114 mg/L foram detectados. A concentração média de nitrato no reservatório é 12.96 mg/L e a mediana é 4.8 mg/L.

Originaram-se dois semivariogramas, o primeiro com valores de nitrato menores ou iguais a 3 mg/L, que foram ajustados para o nível de corte um e os valores acima deste limite foram ajustados para o nível de corte zero (FIGURA 2). Os parâmetros encontrados foram: Efeito Pepita (Co) = 0,036; Patamar = 0,043 e o Alcance (a) = 1450, resultando no mapa de probabilidade de risco de contaminação por nitrato até 3 mg/L.

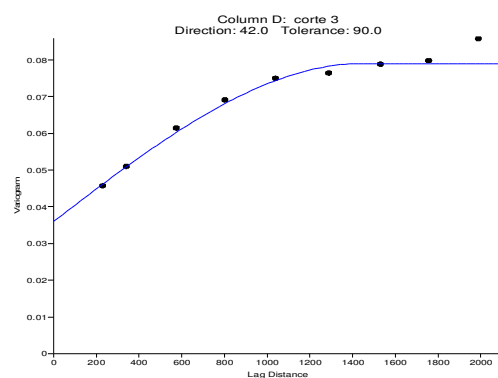


Figura 2: Variograma experimental, ajustado para o nível de corte 3 mg/L de NO_3^- .

O segundo variograma, foi para os valores maiores que 10 mg/L os quais foram ajustados para o nível de corte zero, e os valores abaixo deste limite foram ajustados para o nível de corte um. Os parâmetros encontrados foram: Efeito pepita (Co) = 0,015; Patamar = 0,266 e o Alcance = 2000, ilustrado na Figura 3.

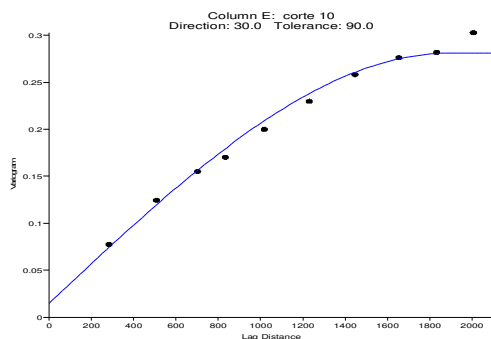


Figura 3: Variograma experimental, ajustado para o nível de corte 10 mg/L de NO_3^- .

Com a modelagem variográfica, elaborou-se a Krigagem Indicativa, fornecendo os mapas de contaminação por nitrato.

Conforme Figura 4, a porção clara do mapa a isoconcentração de nitrato foi abaixo que 3 mg/L, apresentando uma reserva hídrica com baixo impacto. Neste local, estão situados os bairros Eldorado, parte do Cohab Floresta, Caladinho, Conceição, Novo Horizonte, Cidade do Lobo e Cidade Nova.

Esses demonstraram que as águas subterrâneas do Aquífero Livre rio Madeira, na Zona 3 de Porto Velho, estão parcialmente

contaminadas por nitrato. Em trinta dos noventa poços pesquisados, ou seja, 33% das amostras de água foram detectados teores de nitrato acima ou muito próximos do limite de 10 mg/L, valor máximo permitido no Brasil para águas destinadas ao consumo humano, conforme a Portaria nº. 518 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004), Figura 5.

Enquanto que em sessenta e dois poços, representando 68% das amostras, foram identificados teores maiores que 3 mg/L, o que indica alteração na composição química da água por atividades antropogênicas segundo Bouchard et al. (1992), Campos (2003), Foster et al. (1993).

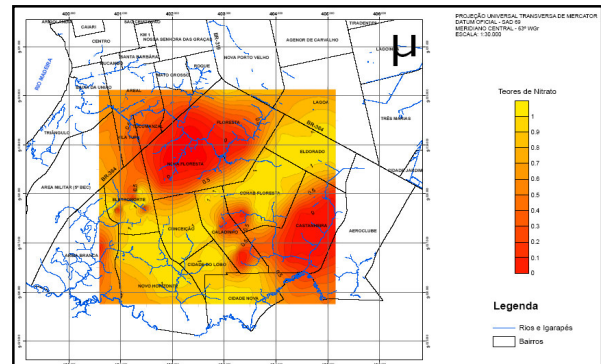


Figura 4: Mapa de probabilidade de risco de contaminação por nitrato até 3 mg/L de nitrato (NO_3^-).

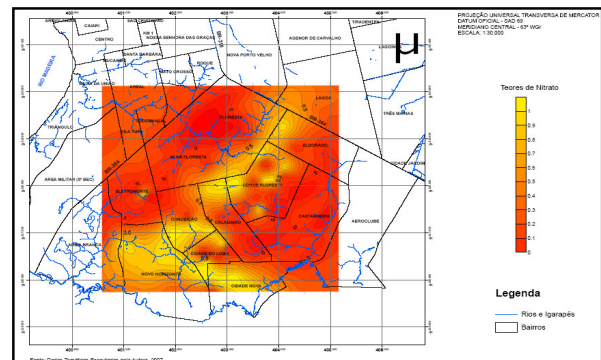


Figura 5: Mapa de probabilidade de risco de contaminação por nitrato (NO_3^-) acima de 10 mg/L.

Observa-se nas figuras 4, que a distribuição dos isovalores de nitrato no reservatório diferencia uma área caracterizada, com valores relativamente baixos, cujo contorno é alongado na direção sudoeste da Zona 3, concordante com a orientação de três bairros menos populosos (Conceição, Areia Branca e Novo Horizonte).

No entanto, a probabilidade da contaminação se estender para o sentido sudoeste e sul da Zona é alta, em virtude da densidade populacional existente no bairro Castanheira. E, estando este localizado no centro leste da Zona, favorece a disseminação das cargas de nitrogênio em todo o aquífero.

O comprometimento na potabilidade das águas subterrâneas, em destaque para as áreas mais densamente povoadas, estava dentro do esperado, quando comparados aos estudos realizados por Campos (1999) em Mirante da Serra (RO), onde foi encontrado predominância de elevados teores de nitrato (NO_3^-) nas áreas mais densamente povoadas.

Estes resultados são semelhantes aos da Zona 3, somando-se à baixa profundidade dos poços; à situação de sub-afloramento e predominância de latossolos, material extremamente poroso; e, ao alto índice pluviométrico na região, favorecendo o processo de lixiviação. Além da precariedade de proteção, os poços estão susceptíveis a influências variadas da superfície. Estes fatores

contribuem de forma direta na contaminação das águas subterrâneas.

Na espacialização da pluma de contaminação por nitrato, expresso na Figura 5, nas cores mais densas do mapa, encontram-se as maiores concentrações de nitrato por mg.

Observa-se, que a maior concentração de nitrato está no sentido noroeste e sudeste da Zona. Nessas áreas estão assentadas as maiores concentrações populacionais nos bairros Castanheira, Caladinho e Nova Floresta e, conseqüentemente, maiores quantidades de poços e fossas. Outro aspecto na Zona 3, são os canais que cortam a região e são utilizados como receptores dos efluentes.

Este indício de contaminação já era suspeito, considerando que a Zona 3, em sua totalidade, não possui rede coletora de esgotos e os efluentes (dejetos) produzidos pela população são lançados no solo, nos córregos e em fossas negras locais.

Esta situação também foi observada por Melo Júnior (2006), através de um mapeamento da pluma de contaminação do Aquífero Livre, realizado pelo método da Krigagem, em um bairro periférico da cidade de Porto Velho (RO), confirmando a associação entre elevadas concentrações de nitrato a alta densidade populacional. Este fato representa mais um argumento em favor da interpretação proposta.

Semelhantemente, nos bairros Castanheira, Nova Floresta, Floresta e Caladinho estão as maiores concentrações populacionais e os maiores teores de nitrato. No bairro Cidade Nova a concentração média de nitrato é menor que 3 mg/L, neste local apresenta uma concentração populacional considerável, situação semelhante aos bairros Nova Floresta, Floresta e Caladinho, ocorre que a ocupação deste bairro é recente, justificando a baixa impactação.

Situação que necessitaria de monitoramento para avaliar o comportamento da concentração de nitrato, dentro do contexto espaço-tempo, com o uso e a ocupação do solo.

A carga de nitrogênio subsuperficial liberada, dependendo das características físicas do ambiente, pode atingir áreas vizinhas a sua fonte. Este fato foi observado na área central da Zona, o qual sofre influência da contaminação dos bairros Castanheira, Nova Floresta e Areia Branca, pela grande concentração de nitrato nessas áreas, chegando a dez vezes mais que o recomendado pela Portaria Federal nº. 518/04 do Ministério da Saúde (FIGURA, 5).

Na Zona 3, as fossas estão disseminadas de forma aleatória, por toda a área, a preocupação é maior nos bairros Castanheira, Caladinho e Nova Floresta, onde a população é maior, contribuindo para elevar a contaminação das águas subterrâneas por compostos do nitrogênio.

É oportuno esclarecer, que a variável nitrato não é suficiente para diagnosticar o grau de contaminação na água. Trata-se de um dos parâmetros de potabilidade. Os compostos nitrogenados na água apresentam-se de diferentes formas e o nitrato é o resultado final da matéria orgânica em decomposição.

Este estudo comprova que mesmo a fossa estando longe do poço, em torno de dez metros, comprimento comumente observado, não diferencia o grau de impactação nas águas subterrâneas, fato este devido a grande quantidade de fossas na área.

É importante considerar que, havendo a presença de nitrato nas águas, mesmo em concentrações baixas, além de indicar que a contaminação é antiga no ambiente, revela a presença de matéria orgânica associada a bactérias, vírus e parasitas, vivos ou em algum dos estágios de decomposição. Estes agentes são causadores de diversas doenças, principalmente a diarreia aguda e, na forma de nitrato, é indicador carcinogênico.

Desta forma, não é aconselhável consumir a água subterrânea do Aquífero Livre da Zona 3 da cidade de Porto Velho sem

tratamento adequado. Todos os poços amostrados foram constatados a presença de nitrato.

A relevância dos estudos sobre compostos nitrogenados nas águas de consumo justifica-se pelo fato da fonte de captação de água na Zona 3 ser realizada de maneira individual. O sistema de saneamento básico, especialmente água tratada, é uma atividade complexa e requer equipe de profissionais interdisciplinar.

Conclusões

As águas subterrâneas do Aquífero rio Madeira, coletadas nos bairros pesquisados, estão parcialmente contaminadas por nitrato, sendo a sua fonte antrópica e multi-pontual oriunda do sistema de saneamento in situ, do tipo fossa séptica e valas negras. A pluma de contaminação foi evidenciada através da Krigagem Indicativa. Este método mostrou-se muito satisfatório, uma vez que identificou-se duas áreas anômalas: uma, com isovalores até 3 mg/L de nitrato, e pequenas manchas, com isovalores abaixo deste limite, localizadas nos bairros Conceição, Novo Horizonte, Caladinho e Cidade Nova, representando baixa contaminação. Nesses bairros a densidade populacional é menor, originando menores despejos de efluentes. Ainda assim, não é possível descartar a influência da contaminação através dos bairros vizinhos, onde a concentração populacional é maior, e o fato de que a densa rede de canais existentes na Zona 3 recebe esses efluentes e parte do lixo produzido pelos moradores, além do despejo do esgoto do Hospital João Paulo II, no bairro Nova Floresta.

A outra área anômala apresentou alto grau de impactação, identificando-se teores de nitrato acima de 10 mg/L, compreendendo os bairros Floresta, Nova Floresta, partes do Caladinho, Eletronorte e Areia Branca. Nestes locais as águas estão totalmente impróprias para consumo humano.

O alto grau de contaminação identificado neste estudo aponta que a contaminação é antiga no aquífero, pelo fato do nitrato representar a parte final do ciclo do nitrogênio. Neste caso, o aquífero pode estar ou não contaminado por compostos do nitrogênio em fases iniciais (amônia, amônio ou nitrito). Portanto, recomendam-se estudos mais detalhados sobre o ciclo do nitrogênio, neste local.

Encontrou-se um número elevado de domicílios em situação de abandono e, conseqüentemente, os poços desativados foram submetidos a depósitos de lixo ou utilizados como fossas sépticas. Este evento é considerado um agravante na contaminação das águas subterrâneas, muito comum nas áreas deste estudo.

Fica explícito que os problemas ambientais encontrados na Zona 3, representam a forma sob a qual a problemática social se expressa, confirmada pela observação de que fontes potenciais de contaminação das águas estão relacionadas tanto com a deficiência de infra-estrutura urbana quanto às políticas públicas, incapazes de equacionar estas fontes de contaminação enquanto a população de Porto Velho ainda totaliza menos que 400 mil habitantes.

Dentro desta perspectiva, foi demonstrada, de forma relativa, a influência da ocupação humana sobre o Aquífero Livre da Zona 3, adicionando compostos nitrogenados a este sistema. Foram aferidas concentrações que tornam a água imprópria para o consumo humano.

Estes dados configuram uma realidade local e atual, embora, desde os tempos remotos, a relação homem-natureza seja discutida e, em pleno século XXI, questões relacionadas ao modo de organização espacial ainda seja assunto relevante, devido aos altos índices de agravos à saúde das populações, principalmente, as de baixa renda.

Face à utilização contínua e sem restrição da água dos poços rasos na Zona 3, a população residente no local está sujeita a

contaminação bacteriológica e química. Com isso, recomendam-se medidas urgentes, como:

Controle, pela CAERD, das atividades e fontes poluidoras, ou seja, a implantação e o gerenciamento de um sistema de saneamento que garanta a coleta e o tratamento do efluente gerado na Zona e a desativação das fossas sépticas e valas negras geradoras de poluição na água subterrânea. Estas medidas possibilitariam a redução das concentrações de nitrato e também diminuiria a probabilidade de contato da população que reside no local.

Referências

- Batalha, B. L.; Parlatore, A. C.** Controle da Qualidade da Água para consumo humano: bases conceituais e operacionais. São Paulo: CETESB, 1993.
- Bouchard, D. C.; Willians, M. K.; Surampalli, R. Y.** Nitrate Contamination of Ground Water: sources and potential health effects. *J. Am. Water Works Ass.* p. 84-90. 1992.
- Brasil.** Portaria Ministério da Saúde nº. 518 de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, 2004.
- Companhia de Águas e Esgotos de Rondônia - CAERD.** Diagnóstico técnico operacional sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário: Programa de Saneamento Básico do Estado de Rondônia. Porto Velho: Gerência de Projetos e Obras, 2006. 298 p.
- Campos, J. C. V.** A problemática dos recursos hídricos subterrâneos na Amazônia na visão do Serviço Geológico do Brasil. In: I SIMPÓSIO DE HIDROGEOLOGIA DO SUDESTE, 2003, Rio de Janeiro: 2003. p. 133-41.
- Campos, J. C. V.** Contaminação das águas subterrâneas na cidade de Mirante da Serra (RO). Porto Velho: Serviço Geológico do Brasil, 1999. p. 1-11.
- Derisio, J. C.; Souza, H. B.** Guia Técnico de coleta de amostras de água. São Paulo: CETESB, 1977. 257 p.
- Fernandes, L. C.; Guimarães, S. C.** Governo do Estado de Rondônia. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental. Atlas Geoambiental de Rondônia. Edição digital. SEDAM, Porto Velho, CD ROM, 2003. 143 p.
- Foster, S.; Ventura, M.; Hirata, R. C. A.** Poluição das Águas Subterrâneas. São Paulo: Série Manuais. Instituto Geológico. Secretaria do Meio Ambiente. 1993. 53 p.
- Freeze, R. A.; Cherry, J. A.** Groundwater Contamination. New Jersey: Prentice Hall, 1979. 604 p.
- Freund, J. E.; Simon, G. A.** Estatística Aplicada. Economia, Administração e Contabilidade. 9. ed. Porto Alegre: BOOKMAN, 2000. 334 p.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE.** Atlas de saneamento - IBGE. Rio de Janeiro: 2004. CD ROM
- Isaak, E.; Srivastava, R.** An introduction to applied geostatistics. New York: Oxford University Press, 1989.
- Journel, A.G.** Non-parametric estimation of spatial distribution. *Mathematical Geology*, (1983). 15 (2):445-468.
- Landim, P. M. B.** Análise Estatística de Dados Geológicos. 2. ed. São Paulo: Unesp, 2003. 254 p.
- Melo Junior, H. R.** Avaliação da Qualidade das Águas Subterrâneas em uma Zona Urbana da Amazônia Brasileira: Estudo de caso do bairro Eletronorte, Porto Velho (RO). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 14, 2006, Curitiba: Anais. Curitiba: ABAS, 2006. p. 1-20.
- Quadros, M. L. E. S.** Geologia e recursos minerais do Estado de Rondônia: Texto Explicativo do Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado de Rondônia/Organizado por Marcos Luiz do Espírito Santo Quadros [e] Gilmar José Rizzotto. –Porto Velho: CPRM, 2007. 153p.