

ESTUDO DA VULNERABILIDADE NATURAL DOS AQUÍFEROS NO PERÍMETRO URBANO DE TUPANCIRETÃ/RS

Edison Antonio Alberti¹; José Luiz Silvério da Silva²

Resumo

Os aquíferos devem receber atenção no sentido de preservação da sua qualidade sendo protegidos da exploração excessiva. Para que isso aconteça são necessários estudos técnicos que viabilizem a determinação do volume de água armazenado, suas potencialidades, e a sua recarga. Outra pesquisa importante é a determinação do grau de vulnerabilidade natural dos aquíferos. Esta pesquisa teve por objetivo determinar a vulnerabilidade natural dos aquíferos usados no abastecimento urbano do município de Tupanciretã. Existem várias metodologias para análise de vulnerabilidade. Nesta pesquisa considerou-se o método "GOD": G – grau de confinamento do aquífero; O – ocorrência de tipos litológicos existentes acima da zona saturada e D "depth" profundidade do nível da água ou do teto do aquífero. As classes de vulnerabilidade da região em estudo foram definidas a partir de três fatores relacionados a ocorrência de água subterrânea explorável. Os parâmetros levantados são: 1. Ocorrência do lençol freático; 2. Litologia da zona vadosa; e 3. Profundidade do lençol freático. Para tanto foram utilizados dados pré-existentes dos poços localizados no perímetro urbano de Tupanciretã e utilizados para abastecimento urbano da cidade. A partir dos dados analisados constatou-se que a vulnerabilidade natural dos aquíferos na área de estudo é média para oito poços e alta para seis poços.

Palavras-chaves: aquífero, abastecimento urbano e vulnerabilidade natural

Abstract

Water table should receive attention so that the preservation of its quality can be protected from excessive exploitation. In order that this is achieved, technical studies are necessary which enable the determination of the stored volume of water, its potentialities, and its. Another important research is the determination of the degree of natural vulnerability of the water table. This research had as an objective to determine the natural vulnerability of the water table used for human purposes in the urban area of Tupanciretã. Here are several methodologies for vulnerability analysis. In this research, the method "GOD" was considered: **G** - degree of confinement of the water table; **O** - occurrence of litologic types above the saturated zone, and **D** - depth of the level of the water or of the roof of the water table. The classes of vulnerability of the area under study were defined considering three factors related to the occurrence of exploited underground water. The obtained parameters are: 1. Occurrence of the water table; 2. Litology of the vadose zone; and 3. Depth of the water table. Data of 14 wells located in the urban perimeter of Tupanciretã (in Southern Brazil, state of Rio Grande do Sul), used for human consumption, were used. Starting from the analyzed data, it was verified that the natural vulnerability of the water table in the study area is, average for eight wells and high for six wells.

¹ Universidade Federal de Santa Maria, CEU III, Ap: 5123, CP: 5045, CEP: 97110-970, Santa Maria – RS; telefone: (55) 269 1312
E-mail: Alberti@mail.ufsm.br

² Universidade Federal de Santa Maria, CEP: 97119-900, Santa Maria – RS; telefone: (55) 220 8638; E-mail: silvério@base.ufsm.br

INTRODUÇÃO

A água é o recurso natural que determina a distribuição das populações humanas sobre o Planeta. Os aquíferos são importantes fontes de abastecimento de água, e, para que se tenha um melhor aproveitamento desse recurso, tornam-se necessários estudos que disciplinem a sua exploração e caracterizem ou quantifiquem sua vulnerabilidade natural, além de sua quantidade explorável.

As relações entre o homem e o meio têm provocado profundas transformações e graves desequilíbrios ao Planeta, acarretando a destruição do patrimônio natural e o esgotamento de reservas.

O crescimento demográfico é o responsável pelo aumento da pressão das populações sobre os recursos naturais renováveis e não renováveis, recursos naturais aqui entendido como, matéria viva ou não, disponível na natureza para ser explorada. A água é um dos recursos naturais onde a exploração aumentou consideravelmente nestas últimas décadas, pois participa de todas as atividades desenvolvidas pelo homem, tais como: na agricultura; na indústria; no abastecimento público; na produção de energia; recreação e também na navegação. Todas as atividades são potencialmente poluentes com variação de intensidade e formas dentre estas.

A cidade de Tupanciretã, situada a norte de Santa Maria a aproximadamente 120 km, sob o Planalto Meridional Brasileiro, tem seu abastecimento público de água baseado predominantemente em águas exploradas dos aquíferos Tupanciretã e Serra Geral. A CORSAN (Companhia Riograndense de Saneamento), é a concessionária responsável pelo fornecimento de água potável a população desta cidade bem como do tratamento dos efluentes urbanos.

Este trabalho tem por objetivo determinar a vulnerabilidade natural dos aquíferos obedecendo a metodologia “GOD” e a caracterização das atividades humanas potencialmente geradoras de poluição nos aquíferos Tupanciretã e Serra Geral. A caracterização da vulnerabilidade natural tem por base dados pré-existentes de poços tubulares existentes no perímetro urbano de Tupanciretã no Estado do Rio Grande do Sul.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A oferta mundial de água doce em vastas áreas do Planeta não tem atendido as necessidades primordiais de uma parcela considerável da população mundial, principalmente nos países pobres e em algumas regiões dos países em desenvolvimento, gerando condições preocupantes para o desenvolvimento econômico e, principalmente para a manutenção da vida sobre a terra. Dados do Banco Mundial colocam que um sexto da população mundial não têm acesso a água potável, e que

1,7 bilhão de pessoas, não tem acesso a saneamento básico e destas, 10 milhões morrem anualmente em consequência de doenças de veiculação hídrica (Tundisi, 2000).

O homem sempre teve a sensação de que esse recurso era inesgotável, pela sua forma abundante, usado-a de forma irracional e, quase sem nenhum controle. Essa falsa sensação de inesgotabilidade da água cai por terra quando tomamos consciência de que, nem toda a água do planeta pode ser aproveitada para o consumo humano, por isso a necessidade de preservação deste recurso natural ser imprescindível. Neste caso a preservação das águas subterrâneas, assume grande importância, não só porque representa uma das maiores porcentagens das águas doces de fácil acesso, mas também porque a sua descontaminação é economicamente e tecnicamente difícil.

Os problemas ambientais vêm sendo discutidos nos últimos anos, mais intensamente, pelas Organizações não Governamentais (ONGs), pelos órgãos oficiais dos Governos e pela população. Estas instituições têm demonstrado, não só preocupação com o meio ambiente como também o forte desejo em modificar determinadas formas de relações que as populações mantêm com a natureza. Ao priorizar o desenvolvimento econômico, o homem tende a alterar profundamente os parâmetros ambientais, chegando, em determinados casos, a impossibilitar o desenvolvimento normal do seres vivos em seu ecossistema. Para Dorst (1973), a conservação da natureza e a exploração racional dos recursos são problemas que remontam desde o surgimento do homem sobre a terra, influenciando no seu habitat, a partir da exploração em seu proveito, alterando o equilíbrio natural e provocando profundas modificações na natureza mais do que qualquer outra espécie animal.

Um problema que tem gerado grandes discussões em todo o mundo está relacionado à escassez de água no que se refere a sua qualidade, este problema tem se agravado muito nas últimas décadas. É tão grave a situação que a ONU (Organização das Nações Unidas) elegeu as questões relacionadas à água como o grande problema a ser resolvido neste século. Odum (1988) considera que para a sociedade contemporânea a escassez de água doce utilizável é potencialmente um fator limitante maior para a população do que a energia. Nesta perspectiva deve-se levar em consideração, para melhor equacionamento dos recursos hídricos, e o seu gerenciamento.

A preocupação com relação a esta questão deve ser de toda a sociedade, pois, a água está presente em todas as atividades do homem, sendo indispensável à sua própria sobrevivência.

Segundo alerta do Banco Mundial em relatório publicado em 1999, o século XX viu guerras causadas por diferenças ideológicas, religiosas ou por controle das reservas de petróleo. Já o século XXI poderá ser dominado por conflitos causados pela escassez de outro líquido: a água.

Os problemas relacionados a esta temática são de grande relevância, enfocando-se desde a poluição dos recursos hídricos - principalmente pelo lançamento de dejetos industriais e esgotos nas águas dos rios, lagos e oceanos -, o abastecimento público de água tratada e a irrigação.

Sob recomendação da Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento – CMMAD (1988), a produtividade agrícola a degradação da terra e a poluição da água dependem diretamente de como os recursos hídricos são utilizados, no entender desta, deve-se observar a concepção dos projetos de irrigação e a eficiência do uso da água. Na escassez, deve-se maximizar a produtividade por unidade de água, na abundância, a produtividade por unidade de terra deve ser maximizada. Entretanto, as condições locais é que determinam o volume de água a ser utilizado.

A utilização correta e equilibrada dos recursos hídricos remonta a um circuito de profissionais de várias áreas. Corroborando com esta linha de pensamento, (Mota, 1997, p. 1), no prefácio do seu livro *Introdução à Engenharia Ambiental* comenta que: “Os engenheiros e outros profissionais devem ter conhecimento dos conceitos básicos das ciências do ambiente e estar preparados para desenvolver suas atividades de forma a causar os menores impactos possíveis sobre os recursos naturais, no sentido de que seja garantida a disponibilidade dos mesmos para as gerações atual e futuras”. Desta forma, estes profissionais têm o dever de repassar estes conhecimentos para a sociedade, para que a mesma tome conhecimentos da situação e ajude na conservação e preservação dos recursos naturais, proporcionando reservas suficientes e de qualidade aos seus descendentes.

O padrão tecnológico da sociedade contemporânea é dependente dos sistemas aquáticos. Conforme, nos escreve, Esteves (1998), a maior parte das grandes concentrações urbanas e industriais, atualmente se concentra próximo a grandes mananciais. Esta água é utilizada para abastecimento doméstico e industrial, além de irrigação e lazer, desta forma, o crescimento populacional é o grande responsável pela crescente necessidade de água, hoje praticamente todas as atividades humanas são cada vez mais dependentes da disponibilidade das águas continentais, tanto superficiais quanto subterrâneas.

Toda a água presente no planeta, os recursos hídricos superficiais e as águas subterrâneas, são permanentemente influenciados por todas as atividades humanas. Segundo Tundisi (2000, p. 11), “Em todos os continentes os recursos hídricos superficiais e subterrâneos deterioram-se rapidamente colocando em risco as fontes de suprimento. As causas desta crise são múltiplas. O aumento da população mundial e a taxa de urbanização têm produzido um aumento no consumo e a rápida deterioração da qualidade da água”.

Esta questão é tão importante porque a água está ligada ao surgimento de grandes civilizações ao longo da história da humanidade. As primeiras ocupações geográficas ocorreram ao longo de rios e vales, à medida que aperfeiçoava-se a tecnologia de captação de água e de condução da mesma os povoamentos afastavam-se das áreas de abundância de água Zanini (2000).

A importância da água e seus usos

Água é uma substância química natural e primordial para a sobrevivência de todos os seres vivos; suas propriedades, físicas e químicas, determinam a existência de vida e influenciam no aspecto externo da Terra (Wrege, 2003). Para Johnson (1978), o ser humano sobrevive sem alimento alguns dias, entretanto sem a água, poderá sucumbir dentro de horas. Somente a falta de ar antecipa a morte.

Do total da água disponível no planeta a água doce é a que assume maior importância, no que se refere aos usos preponderantes, sem depender de meios técnicos e econômicos para tornar as águas salgadas e salobras potável para o ser humano. Do total da água existente no planeta 2,5% são de água doce. A maior parcela desta água doce, ou seja, 69,9% estão sob forma sólida (formam as calotas polares, as geleiras e neves eternas que cobrem o cume das montanhas mais altas da Terra). Os 29,9% são águas subterrâneas, 0,3% localiza-se em rios e lagos e 0,9% localiza-se em outros reservatórios (Tundisi, 2000; Rebouças, 2002; Tundisi, 2003). É por este motivo que a água presente em subsuperfície (29,9%), apresenta grande importância no abastecimento da população mundial.

Segundo IBGE *apud* Silva (2003), cerca de 61% da população brasileira é abastecida por águas subterrâneas, por meio de poços tubulares profundos (43%), poços rasos (cacimbas ou escavados, tipo amazônico, 6%) e nascentes ou vertentes (12%). A distribuição de consumo de água por tipo de uso é classificada em consuntivo e não-consuntivo³.

A demanda tem crescido tanto que para a manutenção de populações em certas áreas com carência de abastecimento de água superficial; em áreas densamente povoadas, e em regiões onde a atividade agrícola (agricultura irrigada, localizada em desertos e em outras regiões secas) e industrial requer muita água, estimulou-se o desenvolvimento do abastecimento de águas subterrâneas armazenadas em aquíferos⁴. Tornando-se uma fonte importante de abastecimento de água em todo o mundo. A água subterrânea é a maior reserva de água doce facilmente acessível. Entretanto, muitos reservatórios de água subterrâneos são, essencialmente água “fóssil”, que foi armazenada durante períodos geológicos anteriores e mais úmidos, que agora não está sendo recarregada. Sobre esta questão Odum (1988, p. 162), nos coloca que “Infelizmente, grande parte desta água subterrânea foi armazenada em épocas passadas, e os reservatórios em regiões áridas ou não estão sendo abastecidos ou estão sendo reabastecidos a uma velocidade mais baixa do que a de utilização pelo homem. A água subterrânea de regiões áridas, como o petróleo, não é renovável”.

³ **Consuntivo:** é aquela parcela evaporada, transpirada, assimilada biologicamente ou incorporada a um produto, também estão incluídos os usos doméstico, municipal, para irrigação e para a indústria. **Não-Consuntivo:** é aquela água utilizada na navegação, geração de energia elétrica, termoeletrica (carvão, diesel, gás natural), recreação ou conservação da natureza. Feitosa e Manoel Filho *apud* Silva (2003, no prelo).

⁴ É aquela litologia porosa e permeável, capaz de ceder água economicamente a obras de captação; exemplo: areia arenito; ou seja, o aquífero é um material geológico capaz de servir de depósito e de transmissor da água aí armazenada; assim, uma litologia só será aquífera se, além de conter água, ou seja, seus poros estando saturados (cheios) de água, permita a fácil transmissão da água armazenada; uma argila pode conter água (e muita), mas certamente não a libera por gravidade (Wrege, M. 2003).

Ciclo hidrológico

A posição privilegiada, que a Terra se encontra em relação ao sol, proporciona condições favoráveis no recebimento de quantidade suficiente de radiação solar e conseqüentemente temperatura ideal para manter a maior parte da água em nosso planeta em estado líquido. Esta mesma radiação é responsável por um fenômeno importante, o ciclo hidrológico, para a movimentação desta água pelo planeta principalmente para as áreas continentais, que são totalmente dependentes das precipitações para a manutenção da vida na superfície das terras emersas.

Para Odum (1988), energeticamente o ciclo hidrológico é representado por dois circuitos, o circuito “ladeira acima” movido pela energia solar (evaporação) e o circuito “ladeira abaixo” (precipitação) com conseqüente liberação de energia utilizável pelos ecossistemas e realizando trabalho útil para o homem, como por exemplo, a produção de energia hidrelétrica.

Todd (1959), comenta que dentro do ciclo hidrológico quase toda as águas subterrâneas constituem uma porção do sistema circulatório de águas da Terra, fazendo parte deste ciclo. Para Silveira (1993, p. 35), o ciclo hidrológico “... é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre”. Batalha (1986, p. 26), considera ciclo hidrológico como a “Sucessão de transformações de estado físico e de movimento da água, através da terra e da atmosfera”.

A precipitação é a principal fonte das águas subterrâneas, podendo a água percolar diretamente do solo até juntar-se às águas subterrâneas ou pode cair diretamente sobre as águas superficiais, cursos d'água, lagos e reservatórios e em seguida, percolar dos alvéolos fluviais para o subsolo (Linsley e Franzini, 1978).

Ocorrência de água subterrânea

A ocorrência de água subterrânea, obedecendo a uma estratificação vertical, está dividida em zona de saturação e aeração. A água da camada superior da zona de aeração é a umidade do solo, as águas constituintes da zona de saturação são as águas subterrâneas. Acima desta zona (zona de saturação) existe a franja capilar sendo que os poros preenchidos por água vindos da zona de saturação devido a ação da força capilar (Linsley e Franzini, 1978).

Na definição de aquífero, têm uma importância grande o tipo de material rochoso das formações geológicas reservatórios de água. Segundo Thomas *apud* Todd (1959, p. 23), “Provavelmente 90 por cento de todos os aquíferos aproveitados consistem de rochas não consolidadas, principalmente cascalhos e areia. Estes aquíferos podem se divididos em quatro categorias, com base na forma de ocorrência: cursos de água, vales abandonados e soterrados, planícies e vales entre montanhas”.

Os aquíferos ocupam, a maioria deles, grandes extensões em área tornando-se reservatórios subterrâneos de armazenamento de água, a recarga do aquífero poderá ser por meio natural ou artificial. Para Hirata e Ferreira (2001, p. 45), “A recarga dos sistemas aquíferos é feita por dois mecanismos distintos: a natural, com água da precipitação que infiltram no solo e atingem o aquífero, e a induzida, representada por águas provenientes de fugas das redes de água e esgoto”. Os aquíferos podem ser classificados como não confinados ou confinados.

Segundo as palavras de Linsley e Franzini (1978), estudos sobre as águas subterrâneas como das águas superficiais não devem ser tratados como estes fossem independentes entre si. Estes consideram que muitas correntes superficiais são alimentadas por águas subterrâneas, e as correntes superficiais em muitos casos é a principal fonte de recarga das águas subterrâneas. Estas duas fontes são realmente interdependentes e a utilização de uma delas pode afetar a disponibilidade de água na outra.

Nesta mesma linha de pensamento Mota (1997, p. 114), argumenta que, “As águas superficiais e subterrâneas, muitas vezes, se interligam. Em algumas situações, os mananciais de superfície proporcionam a recarga dos reservatórios subterrâneos, enquanto, em outras, as águas do subsolo descarregam em recursos hídricos superficiais. Assim, um manancial de superfície, poluído, pode causar a poluição de um aquífero subterrâneo, e vice-versa”.

A ocorrência de água subterrânea se dá em formações geológicas permeáveis conhecidas como aquíferos, que, segundo Batalha (1986, p. 13), designa “Formação porosa (camada ou estrato) de rocha permeável, areia ou cascalho, capaz de armazenar e fornecer quantidades significativas de água”. A água presente nestas formações poderá ocupar os poros não preenchidos por matéria mineral sólida. Estes poros também conhecidos como vazios, interstícios, poros ou espaços porosos (Todd, 1959), variam de tamanho compreendendo estruturas submicroscópicas em argilas e folhelhos, a grandes cavernas e túneis em calcários e lavas, limitados por rocha ou argila impermeável que encerra a água (Linsley e Franzini, 1978; Odum, 1988). Dentre as formações rochosas armazenadoras de água subterrâneas as de maior importâncias são os depósitos granulares sedimentares (Todd, 1959).

Vulnerabilidade

Para que a água subterrânea possa ser utilizada para fins mais nobres como o abastecimento público à qualidade da água é tão importante quanto a disponibilidade em quantidade suficiente para ser minerada (extraída). Entretanto, a qualidade desejada depende de sua finalidade, por exemplo, água potável; água utilizada na indústria; água para irrigação há variação na qualidade. Quanto maior a utilização das águas subterrâneas tanto maior é o cuidado visando a sua proteção. Para o estabelecimento de critérios de qualidade haverá a necessidade da especificação dos padrões

químicos, físicos e bacteriológicos, assim como a metodologia com vistas à apresentação dos resultados das análises da água. Deste modo será possível identificar se o aquífero está sendo contaminado, qual a substância contaminante e o possível local que originou a contaminação.

Pesquisadores preocupados com a possibilidade de que as reservas de águas subterrâneas pudessem ser contaminadas, seja ela, pelo desenvolvimento tecnológico que a sociedade moderna imprime, ou pelo uso excessivo; a qualidade tende a sofrer as conseqüências. Pensando nesta possibilidade Stephen Foster, bem como, outros cientistas, pesquisaram e caracterizaram a vulnerabilidade dos aquíferos subterrâneos. Nas palavras de Foster *apud* Foster e Hirata (1993, p. 67), o termo vulnerabilidade à contaminação do aquífero “é usado para representar as características intrínsecas que determinam a susceptibilidade de um aquífero de ser adversamente afetado por uma carga contaminante”. Sendo que a vulnerabilidade do aquífero é em função da:

- Inacessibilidade hidráulica da penetração de contaminantes;
- Capacidade de atenuação dos estratos acima da zona saturada do aquífero, como resultado de sua retenção física e reações químicas com o contaminante.

Estes dois componentes interagem com os seguintes componentes da carga contaminante no subsolo:

- O modo de disposição do contaminante no subsolo e em particular a magnitude de qualquer carga hidráulica associada;
- A classe do contaminante, em termos de sua mobilidade e persistência.

Esta interação culminará no tempo de residência na zona não-saturada e a demora na chegada do contaminante ao aquífero. Estabelecerá também o grau de atenuação, retenção ou eliminação, antes da chegada à zona saturada (Foster e Hirata 1993, p. 67).

A proteção dos recursos hídricos subterrâneos é cada vez mais necessária uma vez que a maior parte da água doce, de fácil disposição ao homem, está em lençóis freáticos, portanto, sua preservação é imprescindível a todas as sociedades, pois, sem a água em quantidade e de qualidade a sociedade não subsistirá.

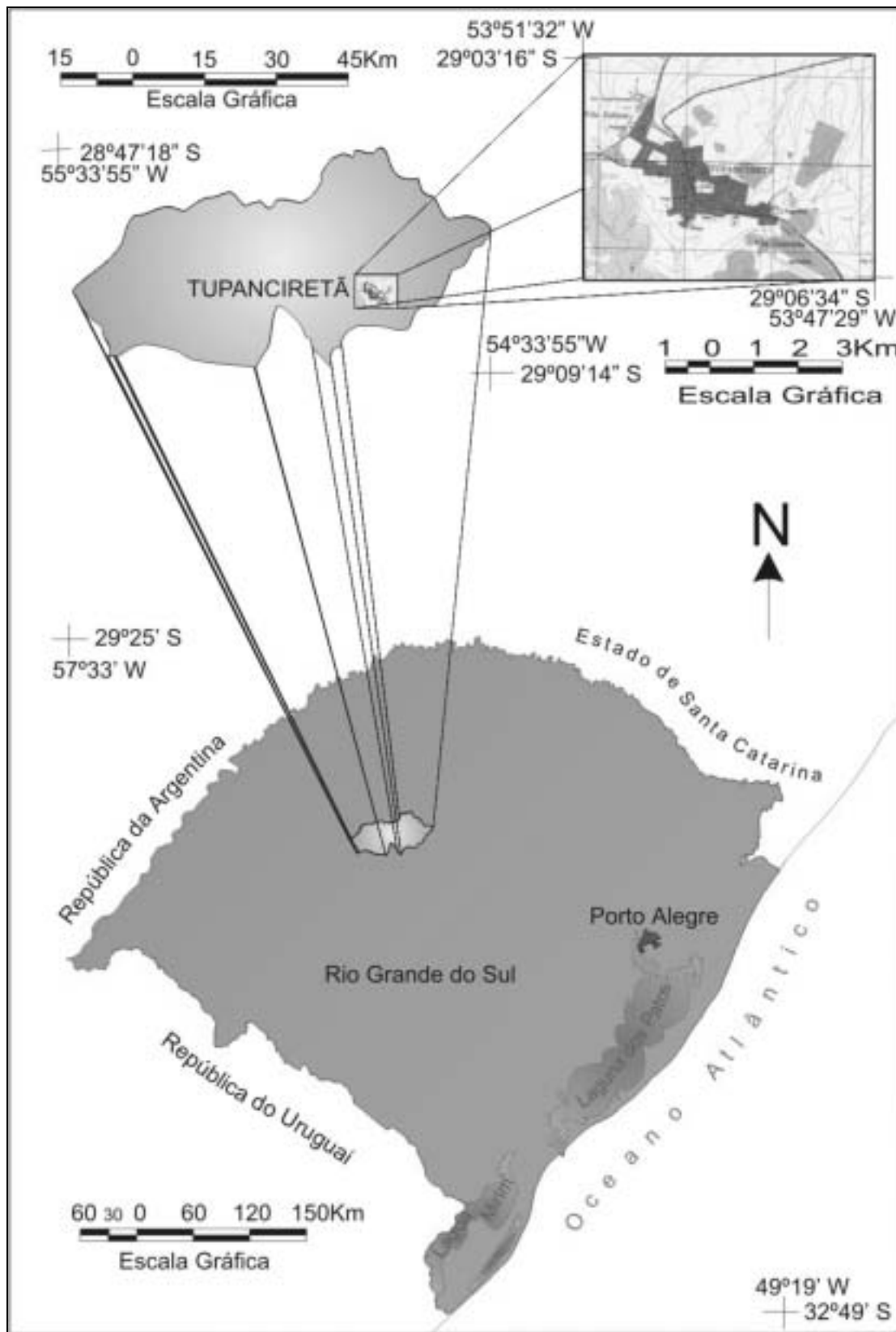
CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA

O município de Tupanciretã (Figura 1), possui uma população total é de 21.446 habitantes, ocupando uma área de 2.251,9 km²; e densidade demográfica de 9,5 hab./km² (FEE, 2003)⁵.

Tendo como base a classificação adotada pelo projeto RADAMBRASIL, a área de estudo encontra-se inserida na Região Geomorfológica do Planalto das Missões, que faz parte do Domínio Morfoestrutural das Bacias e Coberturas Sedimentares, segundo, (IBGE, 1986), ocupa a porção

⁵ Disponível em: <http://www.fee.rs.gov.br>. Acesso em 09 de jul. 2004.

central, entre a Região Geomorfológica Planalto das Araucárias para leste e sul, e também a Região Geomorfológica Planalto da Campanha, para oeste e sudoeste.



Montagem: Edison Antonio Alberti

Figura 1. Localização geográfica do município de Tupanciretã/RS e perímetro urbano.

As formas do relevo apresentam-se bastante homogêneas, representadas por colinas suaves, bem arredondadas (coxilhas), modeladas em rochas vulcânicas básicas da Formação Serra Geral e rochas sedimentares da Formação Tupanciretã, em menor percentual.

Está região é uma das mais importantes áreas agrícolas do Estado, que é facilitada pelo relevo homogêneo e suave disposto sobre derrames vulcânicos tabulares, solos profundos, representados por Latossolos e Terras Roxas Estruturadas, esta atividade substituiu a Floresta Estacional Decidual original.

Nas áreas de ocorrência de rochas areníticas, denominada Formação Tupanciretã (Menegotto, 1980), que forma o Aquífero Tupanciretã, é composta de arenitos finos, friáveis e conglomerados basais, o modelado do relevo corresponde a formas colinosas suaves. As rochas areníticas desta formação distribuem-se descontinuamente restringindo-se às áreas divisoras das águas que se dirigem à bacia do rio Uruguai, daquelas que fluem para o rio Jacuí.

Apresenta-se também neste município rochas sedimentares da Formação Tupanciretã. Esta seqüência sedimentar situa-se sobre as lavas basálticas da Formação Serra Geral, apresentando uma litologia bastante heterogênea, predominando os aglomerados e arenitos que, próximo a superfície apresenta-se intercaladas finas camadas de argila (Menegotto *et al.* 1968).

O solo característico de Tupanciretã é o Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, segundo a atual classificação taxonômica da EMBRAPA *apud* Streck *et al.* (2002, p. 69), das Unidades de Mapeamento do levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul. São solos geralmente profundos a muito profundos e bem drenados, estes solos podem apresentar limitações químicas devido à baixa fertilidade natural (distrófico), forte acidez e alta saturação por alumínio (alumínicos), (Streck *et al.* 2002).

A área de estudo deste trabalho encontra-se sobre a Formação Tupanciretã, segundo Menegotto (1980, p. 93), esta formação “... apresenta-se constituída principalmente por arenitos finos a muito finos. Esta é a litologia mais extensamente distribuída em toda a área. Localmente ocorrem conglomerados e intercalações de camadas de argila pura”.

A vegetação predominante é a Estepe Estacional. Conforme Hueck *apud* Leite (2002), estes campos recebem a denominação de *praderas y materral de las pampas onduladas* e como *Estepas arbustivas y gramíneas; semidesiertos y desiertos*, prevalentes deste a Patagônia até a bacia platina.

Devido sua posição no continente sul americano, o Rio Grande do Sul está situado na área de deslocamento das massas de ar Polar e Tropical, colocando-o em contato com as massas migratórias do anticiclone móvel polar. O choque das massas de ar frias com as quentes produz uma frente de perturbação, provocando a formação de nebulosidade e faixas de precipitação.

O clima do Rio Grande do Sul utilizando-se a metodologia de classificação climática de Köppen (1948) *apud* Maluf (2000), é majoritariamente enquadrado no tipo Cfa, com pequena porção de tipo Cfb nas maiores altitudes do Planalto Nordeste. As temperaturas médias anuais variam entre 14 a 20°C, com temperaturas médias do mês mais frio variando de 10 a 15°C.

As precipitações médias anuais em Tupanciretã estão entre 1600 a 1800 mm de chuva, com base nestes dados pode-se estimar a quantidade de água que infiltra nos aquíferos. De acordo com Gregorashuk (2001), a infiltração profunda nos aquíferos esta na ordem de 1 a 3% da precipitação média anual. Pois, com estas informações pode-se estimar que na área de estudo a infiltração de água nos aquíferos fica em torno de 16 a 54 mm da precipitação de chuva anual.

Na área de estudo a evapotranspiração real média anual encontra-se entre 800 a 900 mm. Outro dado importante na recarga dos aquíferos é obtido pela diferença entre a precipitação e a evapotranspiração, permitindo estimar o volume de água disponível para o escoamento superficial e a acumulação no subsolo. E a avaliação dos volumes médios de água disponíveis, anualmente para penetrarem no subsolo, são estimados, subtraindo-se os valores de água disponível do escoamento superficial. Para Hausman (1995, p. 19), “A impermeabilização do solo aumenta o escoamento superficial, diminuindo o volume infiltrado ...”.

METODOLOGIA

Neste trabalho foram utilizados informações de 14 poços tubulares instalados no perímetro urbano de Tupanciretã. Destes, 12 poços, estão sendo utilizados no abastecimento urbano, e 2 estão na reserva técnica. Os dados coletados provem do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS (Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais – CPRM) e do escritório regional da CORSAN de Tupanciretã.

Para a determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas, baseou-se na metodologia desenvolvida por Foster *apud* Foster e Hirata (1993) e Foster *et al.* (2003); que consiste na avaliação da vulnerabilidade natural do aquífero e da carga poluidora (ou também chamada de carga contaminante) proveniente das atividades antrópicas de superfície, cuja interação entre ambos, resulta na caracterização preliminar das áreas de risco.

A carga contaminante pode ser controlada ou modificada, não ocorrendo o mesmo com a vulnerabilidade natural do aquífero, exceto com atividades antrópicas que retiram a cobertura do solo ou o material da zona não-saturada, por exemplo, as minerações.

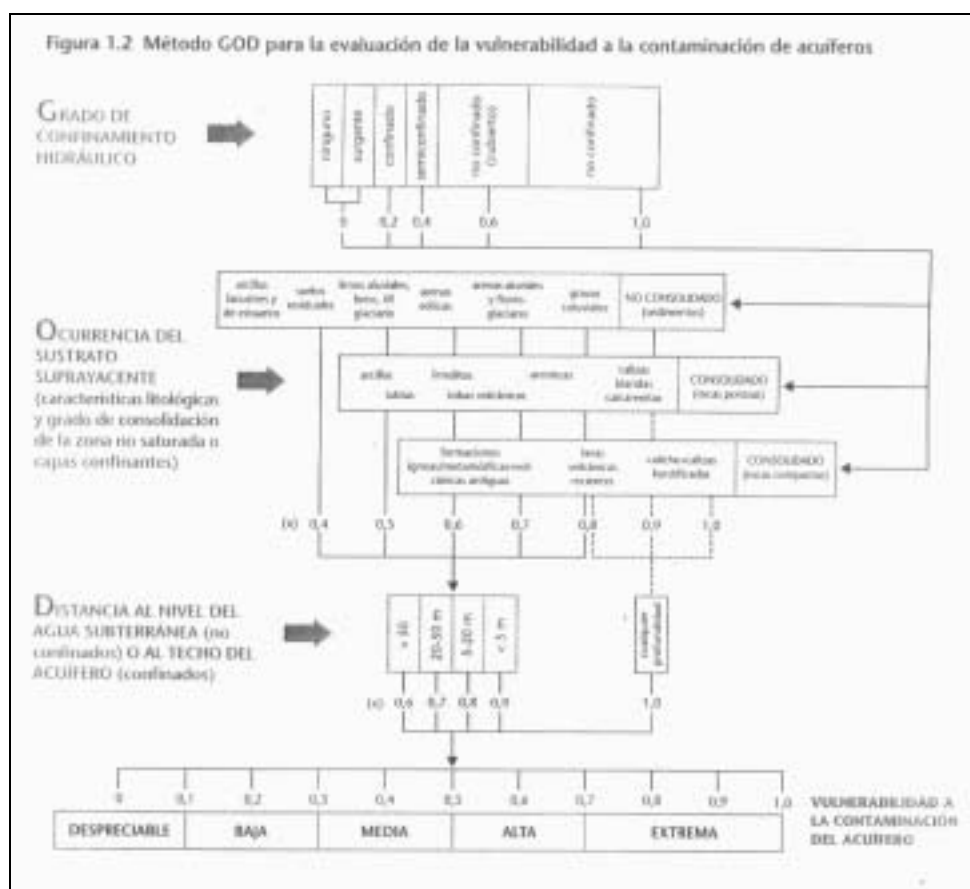
A vulnerabilidade natural de cada aquífero em um dado local tem grau de confiabilidade dependente da resolução da escala de trabalho. As classes de vulnerabilidade da região em estudo

foram definidas a partir de três fatores relacionados à ocorrência de água subterrânea explorável. São eles:

- a) **G** grau de confinamento do aquífero, variando dos extremos, livre ao confinado atribuindo-se notas entre 0 e 1;
- b) **O** ocorrência de tipos litológicos existentes acima da zona saturada, enfatizando seu grau de permeabilidade das litologias consolidadas ou não consolidadas;
- c) **D** “depth” profundidade do nível da água ou do teto do aquífero.

Cada um destes fatores ao ser avaliado recebe um índice pré-estabelecido no modelo, sendo o produto destes três parâmetros, obtém-se um índice que representa a vulnerabilidade natural do aquífero distribuído em classes.

A Figura 2, obtida de Foster *et al.* (2003) ilustra os procedimentos de avaliação. Para exemplificar melhor: i) a 1ª nota atribuída representa o **Tipo de Aquífero**, para aquífero livre se atribui a nota 1,0; ii) a 2ª nota representa a **Litologia**, neste caso, a Formação Serra Geral, constituída por rochas vulcânicas antigas, atribui-se a nota 0,6; e iii) a 3ª nota determina o **Nível Estático**, onde poços com menos de 5 metros de profundidade atribui-se nota 0,9, isto é, a condição mais suscetível a contaminação do lençol freático, portanto a pior condição.



Fonte: Foster *et al.* (2003)

Figura 2. Sistema para avaliação do índice de vulnerabilidade natural dos aquíferos.

Para a construção dos mapas temáticos, ou cartogramas utilizou-se para a base cartográfica cartas topográficas do exército que apresentem a área de estudo dentro de seus limites. A área de estudo foi delimitada utilizando-se a Carta Topográfica de Tupanciretã, folha (SH.22-V-C-I-1), escala 1:50.000, produzida pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército e publicada em 1979 (DSG, 1979).

Os dados relativos aos poços subterrâneos podem ser obtidos a partir de bancos de dados pré-existent, cadastrados junto a entidades públicas ou a órgãos de pesquisa, ligadas à hidrogeologia, tais como: a CORSAN (Companhia Riograndense de Saneamento), a CPRM, esta diretamente do sítio eletrônico pelo cadastro de usuários de poços subterrâneos SIAGAS, os quais podem ser coletados no sítio eletrônico <http://siagas.cprm.gov.br> ou também pelo sítio eletrônico www.cprm.gov.br. As informações de 11 poços foram obtidas no SIAGAS, e, as informações de 3 poços, foram obtidas com o Sr. Gilmar Mardini da Silva (responsável pelo tratamento da água), no escritório da CORSAN em Tupanciretã.

Fez-se a tabulação dos mesmos na planilha eletrônica do *Excel*. Na fase seguinte utilizando-se o programa computacional *Surfer* 6.0, elaborou-se os cartogramas tendo sempre por base as coordenadas UTM, obedecendo ao Datum Horizontal *South America Datum* – SAD 69, juntamente com os outros parâmetros adotados.

Para melhor embasamento desta pesquisa fez-se necessário uma viagem de campo para tomada das coordenadas UTM de referência dos pontos potencialmente contaminantes, sendo catalogados, 1 cemitério, 3 lava-a-jato e 4 postos de combustíveis.

RESULTADOS

As profundidades dos poços referem-se o quanto foi perfurado de rocha até atingir o aquífero fornecedor de água subterrânea. A variação na profundidade dos poços foi de 72 a 195 m, sendo que 86% destes atingiram profundidades superiores à 100 m e somente 2 destes, que representam 14% do total, atingiram profundidades inferiores à 100 m. Salienta-se que estes poços mais rasos podem ser considerados os mais suscetíveis ao risco de contaminação, pois o capeamento rochoso até o lençol freático é menos espesso, logo, mais vulnerável a contaminação, neste caso, atribui-se nota maior.

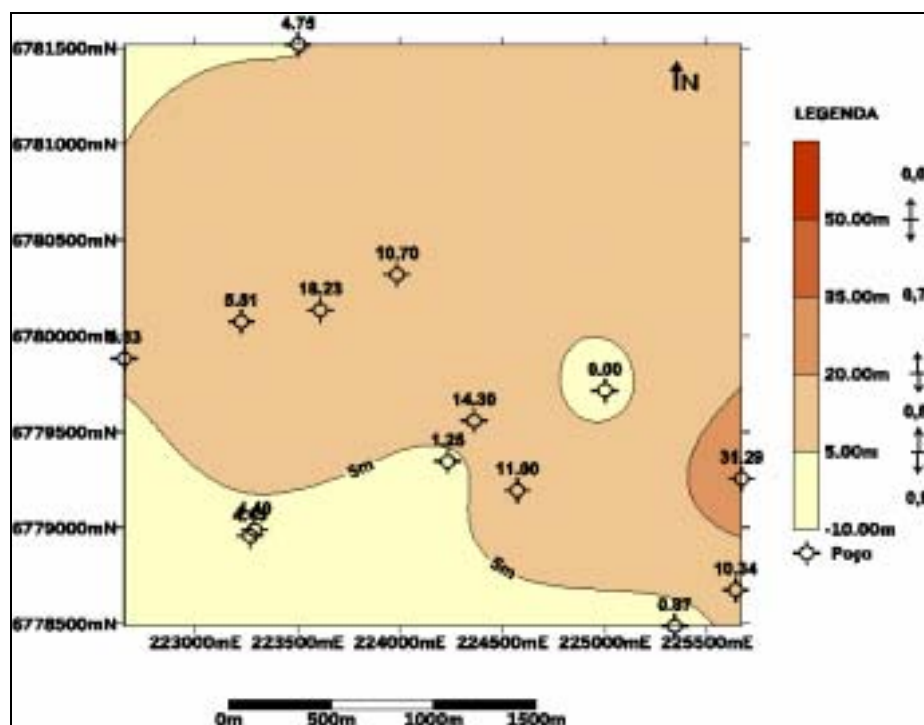
Nas entrevistas realizadas com os gerentes dos postos de combustíveis da cidade de Tupanciretã, todos afirmaram que cumprem a legislação que normatiza as atividades deste setor da economia. Nas entrevistas foi constatado que: todos possuem no mínimo uma caixa de contenção de graxas e óleos, e até 3 caixas, uma ou duas para o lava-a-jato e uma para a pista do posto; todos fazem troca de óleo; todos possuem lava-a-jato, sendo que, um destes só está autorizado a lavar

veículos leves; todos possuem poço (1 ou 2) para monitoramento da qualidade da água do lençol freático, a análise da água é feita uma vez por ano pela empresa (Geoambiental), credenciada pela FEPAM (Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Roessler/RS). Todos são obrigados a ter um depósito para vasilhames vazios de óleos e graxas utilizados no posto, bem como, um depósito para estocar os galões cheios de óleo queimado, até o óleo ser recolhido, o que é feito uma vez por mês. Dos 4 postos de combustível, 3 possuem poço tubular, e a água é usada no lava-a-jato de veículos automotores e também para o consumo humano.

Nas entrevistas com os gerentes dos lava-a-jato, três ao todo, estes afirmaram que possuem caixa de contenção de graxas e óleos, não verificado num destes. Com relação a água para lavar os veículos, dois lava-a-jato utilizam água fornecida pela CORSAN e um utiliza água de um poço tipo amazônico distante aproximadamente 150 m do lava-a-jato.

O nível estático (Figura 3) de aquíferos indica o nível do lençol freático no interior do poço, quando este não está sob influência de bombeamento ou recarga. No cartograma observa-se que a faixa de variação do estático é de 0,00 (surgente) a 31,29 m, recebendo nota entre 1,0 até 0,7.

Os poços mais rasos recebem a maior nota, devido ao menor capeamento rochoso e são, portanto mais susceptíveis a contaminação. Já os poços mais profundos recebem a menor nota, nesta situação a nota atribuída representa numericamente a condição de menor vulnerabilidade do aquífero, pois o contaminante necessita atravessar uma espessura maior de rocha até atingir o lençol freático.



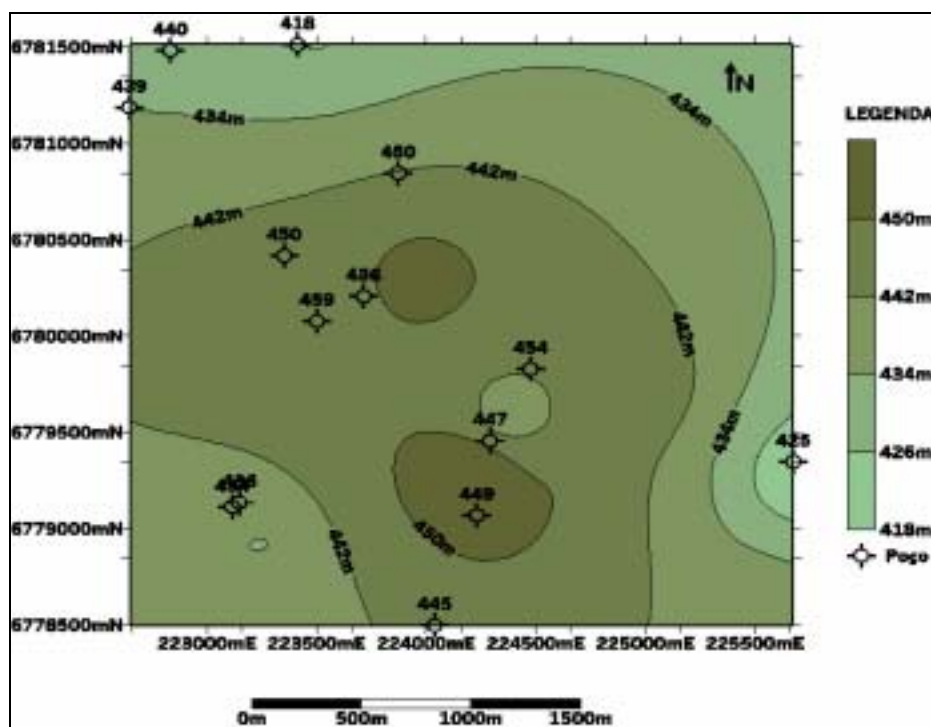
Organização: Edison Antonio Alberti

Figura 3. Distribuição dos poços tubulares segundo o nível estático (m) em Tupanciretã/RS.

Outro fator muito importante que pode atenuar a contaminação das águas subterrâneas, segundo informação verbal de Silva *apud* Simmi (2004, p. 47), refere-se “... os argilominerais, aos óxidos e hidróxidos de Fe/Mn podem absorver, junto com a matéria orgânica do solo, os contaminantes, bioremediação natural”.

Os poços com nível estático mais próximo da superfície do terreno, e, portanto mais vulnerável à contaminação situam-se nos setores NW, SW, S e na porção central, totalizando 6 poços. Enquanto os restantes 8 poços estão dispostos sobre a porção maior da área em estudo (indicativo das cores mais intensas). Informa-se que o poço G.788 T12 (nível estático de 0,87 m) encontra-se sobre o aquífero poroso da Formação Tupanciretã, enquanto que os outros poços encontram-se diretamente sobre a Formação Serra Geral, aquífero fraturado.

A superfície potenciométrica (Figura 4) é representada pelo peso da coluna d’água sobre o Datum (nível médio do mar) do sistema aquífero, e indica a direção do fluxo d’água subterrâneo.

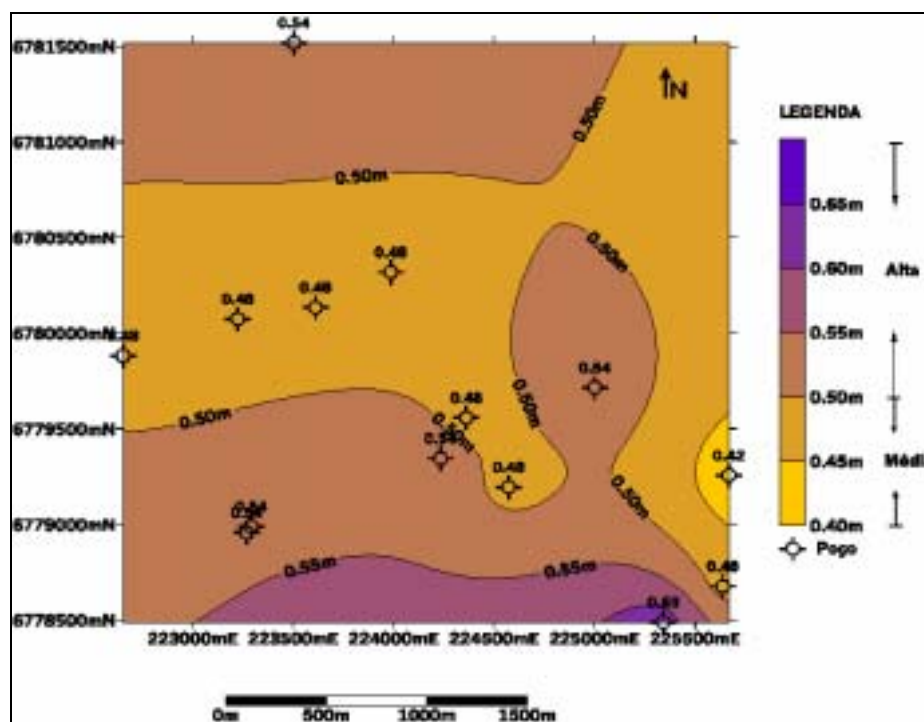


Organização: Edison Antonio Alberti

Figura 4. Distribuição dos poços segundo a superfície potenciométrica (m) em Tupanciretã/RS.

A superfície potenciométrica variou de 417,71 a 458,75 m, o cartograma representa esta variável mostra uma tendência na direção do fluxo da água subterrânea do centro e sul em direção a periferia, preferencialmente na direção aos quadrantes norte e leste, e também para o quadrante sudoeste.

O cartograma do índice de vulnerabilidade (Figura 5), tem o objetivo de ilustrar a distribuição espacial dos poços tubulares e seus respectivos valores potenciais a uma provável contaminação. Nota-se a partir do índice de vulnerabilidade obtido, a existência de duas classes de vulnerabilidade dos poços tubulares de Tupanciretã, ou seja, 6 poços pertencem a classe alta compreendendo 43% e 8 pertencem a classe média compreendendo 57% dos poços em relação a vulnerabilidade a contaminação dos aquíferos.



Organização: Edison Antonio Alberti

Figura 5. Distribuição dos poços segundo o índice de vulnerabilidade em Tupanciretã/RS.

Os poços com menor vulnerabilidade estão localizados no cartograma indicado pelas cores em tons mais claros e os de maior vulnerabilidade estão localizados na porção do cartograma representado pelas cores mais intensas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No Brasil parcela significativa da população é abastecida por água dos mananciais subterrâneos, sejam eles poços profundos, rasos, nascentes e/ou poços escavados, portanto, estudos que levem a preservação e a mensuração das potencialidades dos aquíferos são extremamente importantes, bem como o conhecimento de sua vulnerabilidade natural.

Neste estudo considerou-se estudo da vulnerabilidade natural à contaminação, esta característica própria dos aquíferos, avaliou-se a real possibilidade dos mesmos serem afetados por uma carga poluente.

Na área do estudo o grau de vulnerabilidade variou entre alta e média. O índice de vulnerabilidade alto deve-se principalmente ao fato de que o nível estático nestes poços ser menor do que 5 m, ou seja, foi atribuído a esses a nota mais alta (0,9), quando o nível estático esta muito próximo a superfície, pois esta condição facilita a contaminação, uma vez que o poluente tem que atravessar uma camada delgada de rocha até alcançar o lençóis freático, menor poder filtrante.

Após a verificação das atividades mais significativas e geradoras de cargas contaminantes é possível estabelecer um perfil da área, podendo, embasar pesquisas mais aprofundadas a fim de definir ações que contemplem o manejo adequado das atividades humanas; pois podem definir o deslocamento ou locação delas para outras áreas mais apropriadas (neste caso de menor vulnerabilidade natural) ou indicar tecnologias adequadas a fim de proteger as águas subterrâneas, as áreas de recarga e de descarga.

O uso desta metodologia é um facilitador na tomada de decisões com relação ao planejamento do uso da terra e vem disciplinar o uso das águas subterrâneas, exigindo-se maior cuidado do legislador na instalação de aterros sanitários, distritos industriais, postos de combustíveis, lava-a-jatos, entre outras atividades humanas que possam contaminar os aquíferos, que não tenham selo sanitário nos poços tubulares.

No caso do perímetro urbano de Tupanciretã, as medidas de proteção aos aquíferos Tupanciretã e Serra Geral, devem ser em relação aos postos de combustíveis, aos lava-a-jato, ou seja, atividades que envolvem a utilização produtos derivados do petróleo, bem como a instalação de aterros sanitários, deve-se ter também cuidado com a rede de esgoto urbano não tratado.

Mesmo em condições totalmente favoráveis a identificação dos contaminantes potenciais, sua localização espacial, e tais determinações fornecem apenas uma avaliação preliminar. As limitações quanto ao comportamento dos contaminantes em subsuperfície e das características da carga contaminante no subsolo, associada às atividades humanas, reduzem a capacidade de interpretação do risco de contaminação de águas subterrâneas.

Sendo as águas subterrâneas um recurso estratégico, merecedor de proteção contra agentes nocivos e ações prejudiciais, recomenda-se a adoção da seguinte estratégia preservacionista:

- Atenuar os efeitos danosos das cargas contaminantes sobre os aquíferos;
- Evitar a deposição de carga contaminante nas áreas de elevada vulnerabilidade natural dos aquíferos;
- Estabelecer zonas de proteção especial em torno dos poços tubulares para abastecimento urbano e sua recarga;
- Estabelecer controle sobre a perfuração de poços tubulares profundos, a fim de evitar poços mal construídos, abandonados ou danificados que possam contaminar as águas do aquífero;
- Identificar e eliminar os possíveis pontos de contaminação do aquífero confinado.

É imprescindível que as medidas de proteção das águas sejam consolidadas em legislação própria municipal e que, a necessidade da preservação dos aquíferos e sua condição de bem estratégico seja transmitida à população através de campanhas educativas Oliveira (1994).

Portanto, os problemas de contaminação já detectados nos aquíferos subterrâneos, decorrem, fundamentalmente, das caóticas condições de uso e ocupação do meio físico e, em particular, da baixa qualidade construtiva e operacional dos poços.

Este trabalho traz como contribuição a espacialização dos pontos potencialmente contaminantes dos recursos hídricos subterrâneos no município de Tupanciretã localizado em aquífero fraturado em rochas vulcânicas e aquífero poroso constituído pela Formação Tupanciretã. Salienta-se que há necessidade da criação de um Cadastro Municipal que poderá ser complementado e atualizado a partir desta pesquisa. Desta forma buscou-se trazer novas informações para serem utilizadas pela sociedade civil organizada, visando o uso sustentável deste recurso natural renovável, na atual e nas futuras gerações.

Trabalhos futuros deverão incluir os poços escavados e ampliar-se o conhecimento da superfície potenciométrica na zona rural, incluindo-se a direção dos fluxos subterrâneos e os locais de menor impacto aos aquíferos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BATALHA, B. L. **Glossário de engenharia ambiental**. Brasília: DNPM, 1986.
- COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO – CMMAD. **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1988.
- DIRETORIA DE SERVIÇO GEOGRÁFICO DO EXÉRCITO (DSG). Porto Alegre: **Tupanciretã (MI-2948/1)**. Porto Alegre 1979. (Carta Topográfica: Escala 1:50.000)
- DORST, J. **Antes que a natureza morra**: por uma ecologia política. São Paulo: Edgard Blücher, 1973.
- ESTEVES, F.de A. **Fundamentos de limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.
- FOSTER, S. *et al.* **Protección de la calidad del agua subterránea**: guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales. Madri: Mundi-Prensa Libros, 2003.
- FOSTER, S. e Hirata, R. **Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas**: um método baseado em dados existentes. São Paulo: Instituto Geológico, 1993. (Boletim N° 10)
- FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: www.fee.rs.gov.br.
- GREGORASHUK, J. S. **Estudio del uso actual y potencial del acuífero Guaraní**. Disponível em: <http://www.sg-guarani.org>. Acesso em: 5 de mai. 2001.
- HAUSMAN, A. Províncias hidrogeológicas do Estado do Rio Grande do Sul – RS. **Acta Geológica Leopoldensia (Série Mapas, escala 1:50.000)**, n. 2, p. 1-127, 1995.
- HIRATA, R. C. A. e Ferreira, L. M. R. Os aquíferos da bacia hidrográfica do alto Tietê: disponibilidade hídrica e vulnerabilidade à poluição. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 31, n. 1, p. 43-50, 2001.

- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, **Folhas SH.22 Porto Alegre e partes das folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra [CD-ROM]. Rio de Janeiro: IBGE, 1986. (levantamento de recursos naturais; v. 33)
- JOHNSON, E. E. **Água subterrânea e poços tubulares**. 3 ed. São Paulo: CETESB, 1978.
- LEITE, P. F. Contribuição ao conhecimento fitoecológico do sul do Brasil. **Ciência & Ambiente**, v. 1, n. 24, p. 51-73, jan./jun. 2002.
- LINSLEY, R. K. e Franzini, J. B. **Engenharia de recursos hídricos**. São Paulo: McGraw-Hill, 1978.
- MALUF, J. R. T. Nova Classificação Climática do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 8, n. 1, p. 141-150, 2000.
- MENEGOTTO, E. Análise textural da Formação Tupanciretã. **Ciência & Natura**, v. (2), p. 91-103, 1980.
- MENEGOTTO, E. *et al.* **Nova seqüência sedimentar sobre a serra geral no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: UFSM, 1968. (Publicação especial nº 1)
- MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental**. Rio de Janeiro: ABES, 1997.
- ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988.
- OLIVEIRA, R. G. de **Sistema de informações para gestão territorial da região metropolitana do Recife - projeto SINGRE**; levantamento gravimétrico da área sedimentar da região metropolitana do Recife. Recife: CPRM/FIDEM, 1994. (Série Cartografia Temática, 2)
- REBOUÇAS, A. da C. *et al.* (Org.) **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. In: REBOUÇAS, A. da C. **Água doce no mundo e no Brasil**. São Paulo: Escrituras, 2002. cap. 1, p. 1-37.
- SILVA, J. L. S. da. **Gestão dos recursos hídricos subterrâneos**. [S. l. : s. n.] 2003. (no prelo)
- SIMMI, G. **Estudo da vulnerabilidade natural dos aquíferos no município de São Pedro do Sul-RS**. 2004. 68f. Monografia (Especialização em Geociências) - Universidade Federal de Santa Maria, 2004.
- STRECK, E. V. *et al.* **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Ed. da Universidade - UFRGS, 2002.
- TODD, D. K. **Hidrologia de águas subterrâneas**. São Paulo: Edgard Blücher, 1959.
- TUCCI, C. E. M. (Org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. In: SILVEIRA, A. L. L. da. **Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica**. Porto Alegre: Ed. da Universidade : ABRH : EDUSP, 1993. cap. 2, p. 35-52. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v.4)
- TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: RIMA, IIE, 2003.
- _____. Limnologia e gerenciamento integrado de recursos hídricos: avanços conceituais e metodológicos. **Ciência & Ambiente**, v. 1, n. 21, p. 9-20, 2000.
- WREGE, M. **Termos hidrogeológicos básicos**. Disponível em: <http://www.abas.org.br/estudos/hidrogeologia/termos_hidrogeo.htm> Acesso em: 24 maio 2003.
- ZANINI, L. S. G., Impactos nos recursos hídricos causados por práticas agropecuárias. **Boletim gaúcho de geografia**, n. 26, p. 216-225.