

Avaliação da Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas no Município de Santa Cruz do Sul, RS/Brasil

Vulnerability assessment of underground water in the Santa Cruz do Sul City, RS/Brazil

Mónica M. Martínez
Discente do Programa de Mestrado, em Gestão de Recursos Hídricos do Departamento de Geociências da UFSM
Atualmente Discente do Programa DINTER (UnB, UFRR e FLACS) em Relações Internacionais
monicamontanabr@yahoo.com

José L. S. da Silva
Docente do Departamento de Geociências da Universidade Federal de Santa Maria
silverio@base.ufsm.br

Guido N. Lopes
Membro da Academia Roraimense de Ciências e Docente do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola do CCA /UFRR
guido@query.in

Resumo: Nesta pesquisa realizada no município de Santa Cruz do Sul, RS-Brasil, utilizou-se dados pré-existentes em banco de dados de empresas privadas, estatais, municipais e federais com o objetivo de espacializar as informações através da metodologia GOD e do aplicativo SURFER™ versão 6.0. Com essa metodologia GOD utilizada foi possível prever e avaliar a vulnerabilidade natural dos aquíferos através dos parâmetros: grau de confinamento hidráulico (G); ocorrência do suprajacente (O) e distância do nível da água (D). Foi utilizada uma planilha eletrônica, MS Excel™, para dispor os parâmetros hidrodinâmicos e físico-químicos das águas subterrâneas. Ilustra-se a superfície potenciométrica indicativa do fluxo subterrâneo, as concentrações de flúor e o índice de vulnerabilidade. A faixa de variação do flúor foi de 0,0 até 3,6 mgL⁻¹, e o índice de vulnerabilidade obtido, apresentou dos 25 poços simulados; 4 poços na classe desprezível, 7 poços na classe baixa, 13 poços na classe média e apenas 1 na classe alta. Discutem-se alguns aspectos relativos à legislação das águas subterrâneas e seu uso para abastecimento público.

Palavras-chaves: aquífero, contaminação, subsolo.

Abstract: This research took place in the Santa Cruz do Sul city, RS-Brazil, and includes pre-existing data from data banks belonging to private, governmental, municipal and federal enterprises in order to show spacialization information through GOD methodology and SURFER™ version 6.0 software. With this GOD methodology it was possible to foresee and assess aquiferous natural vulnerability through the following parameters: degree of hydraulic confinement (G); occurrence of suprajacent (O); and distance of water level (D). An MS Excel™ spreadsheet was utilized to display underground water hydrodynamic and physical-chemical parameters. The potentiometric surface is here indicative of the underground fluxes, and the fluorine concentrations and the vulnerability index are illustrated. The range of fluorine variation varied from 0,0 to 3,6 mgL⁻¹, and the obtained vulnerability index showed among 25 simulated wells; 4 wells in negligible class, 7 wells in low class, 13 wells in medium classed only 1 in class high. Some aspects related to underground water legislation and use for public supply are discussed.

Key-words: aquiferous, contamination, subsoil.

Introdução

De quanta água dispõe a Terra atualmente? De um volume duas vezes menor do que há cinquenta anos atrás. Em 1950, as reservas mundiais (após dedução da água utilizada na agricultura, na indústria e no consumo doméstico) elevavam-se a 16.800 m³ per capita e por ano; hoje diminuíram para 7.300 m³, devendo limitar-se a 4.800 m³, para os próximos 20 anos (UNESCO, 1999).

Cada gota de chuva que cai em solo descoberto é um agente da erosão, uma minúscula bomba que explode e abre uma pequena cratera no ponto de impacto. Embora as gotas de chuva sempre tenham sido louvadas pelos homens, sobretudo em tempos de seca, sabe-se que a erosão pela chuva representa o primeiro passo na

destruição da superfície do terreno. É a chuva que desgasta as cristas dos montes e destacam as partículas de terra, arrastadas em seguida pelas águas.

Em média, 720 mm de chuvas precipitam anualmente sobre as massas continentais, variando este volume desde 50 mm, no Vale da Morte, na Califórnia até cerca de 11.400 mm nas encostas do Himalaia. Parte das chuvas volta à atmosfera por evaporação e/ou evapotranspiração, parte escoar na superfície do terreno, em função do tipo rochoso (porosidade e permeabilidade ou dos solos), da inclinação do terreno, da quantidade e dos tipos de vegetação, bem como parte se infiltra no subsolo para formar os aquíferos subterrâneos, entendidos como, reservatórios de água, que podem ser explorados para

abastecimento humano, industrial, na agricultura de forma racional.

A região de Santa Cruz do Sul, localizada na Depressão Central do Rio Grande do Sul, distando cerca de 130 km de Porto Alegre, área de colonização tipicamente de origem alemã, desenvolve-se um importante pólo industrial metal-mecânico, alimentício e da cultura do tabaco. O uso dos recursos hídricos na indústria de transformação como um insumo, no abastecimento humano, bem como o uso na agricultura vem ampliando com a expansão populacional, portanto merece atenção na disposição final dos resíduos, tais como esgotos *in natura*, aterros sanitários, cemitérios, lixões, usos de agrotóxicos na agricultura.

Estudos desenvolvidos pela Universidade de Santa Cruz do Sul, UNISC no ano de 1998 (BACCAR, 1998) durante o monitoramento da qualidade físico-química dos poços artesianos da região do Vale do Rio Pardo, apresentaram conclusões relativas à concentração de flúor nas águas subterrâneas. SILVA (1997) estudou geoquimicamente os produtos de calcificação associados às rochas sedimentares da região, detalhando estudos de materiais geológicos, de ossos fósseis, coprólitos, rochas sedimentares, amostras de calha de poços tubulares, buscando interpretar a origem do flúor para as águas subterrâneas no pacote rochoso conhecido atualmente por Aquífero Guarani ou Sistema Aquífero Guarani.

De acordo com HAUSMAN (1995) na bacia ocorrem duas Províncias Hidrogeológicas, Gondwânica Mesozóica e a Basáltica, esta classificação leva em consideração as características geológicas, morfológicas e climáticas, uma vez que à ocorrência e o comportamento das águas subterrâneas são em parte reflexo delas.

A Província Gondwânica foi subdividida em subprovíncias, as quais ocorrem na região; a Subprovíncia Rosário do Sul e Subprovíncia Botucatu, as quais juntas receberam a denominação de Aquífero Gigante do Mercosul (ARAÚJO *et al.*, 1995 e 1999) e atualmente é conhecida como Aquífero Guarani ou Sistema Aquífero Guarani (ABAS, 2003).

A Província Basáltica faz parte de um dos maiores derrames de lava do Planeta, recobre cerca de 1.200.000 km², estendendo-se por quatro países, Brasil, Uruguai, Paraguai e Uruguai. Recobre as rochas Gondwânicas da Bacia do Paraná, com idade estimada entre 135 e 95 milhões de anos. No Mapa Hidrogeológico do Brasil DNPM (1983) é denominada de Paraná.

No trabalho de (BACCAR, 1998) merece ser destacado que o conceito de Bacia Hidrográfica aplicado a Gestão dos Recursos Hídricos previsto na Lei Federal Nº 9.433/97, como unidade básica de pesquisa necessita ser adequado às peculiaridades dos recursos hídricos subterrâneos previsto nas resoluções Nº 9 (11/06/2000) e Nº 15 de (11/01/2001) do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), devido aos seguintes aspectos:

Bacia Hidrográfica de acordo (ROCHA, 2000) é a unidade ambiental que drena as águas das chuvas para um curso principal com vazão efluente (saída) desaguando no mar ou em um grande lago.

Considerando-se que as águas meteóricas, superficiais e subterrâneas são partes integrantes do Ciclo Hidrológico,

e que os aquíferos podem apresentar zonas de descargas e de recarga pertencentes a uma ou mais Bacias Hidrográficas sobrejacentes, uma vez que os reservatórios subterrâneos funcionam como condutos, sob pressão, podendo interconectar Bacias Hidrográficas dispostas a vários quilômetros umas das outras.

De acordo com o previsto na Resolução Nº 15 do CNRH, entende-se por:

Águas Subterrâneas: as águas que correm naturalmente ou artificialmente no subsolo.

Aquífero: corpo hidrogeológico com capacidade de acumular e transmitir água através dos seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos;

Corpo Hídrico Subterrâneo: são volumes de água armazenada no subsolo.

De acordo WREGE (2002) e ABAS (2003), a Província Hidrogeológica é uma região que possui sistemas aquíferos com condições semelhantes de armazenamento, circulação e qualidade de água. Define como Sistema Aquífero o domínio aquífero contínuo, ou seja, as partes estão contidas por limites (finito) e estão ligadas hidraulicamente (dinâmico).

HAUSMAN (1995) sugere que na classificação de aquíferos granulares, além do conceito de aquífero seja levada em consideração a “Unidade Hidroestratigráfica” definida como um conjunto de horizontes aquíferos confinados e interconectados hidraulicamente, formando parte integrante de uma coluna estratigráfica”. Neste conceito reuniu as rochas sedimentares, como os arenitos na definição de aquíferos granulares e as rochas cristalinas e/ou cristalofílicas como aquíferos fraturados, ex. derrames de rochas vulcânicas, como os da Formação Serra Geral.

Buscando-se exemplificar estes conceitos utilizou-se para esclarecimento o termo Aquífero Gigante do Mercosul, segundo ARAÚJO *et al.* (1995, 1999) foi a denominação formal dada a parte do Sistema Hidroestratigráfico Mesozóico, constituído por estratos arenoso-pelíticos do Triássico (formações Pirambóia e Rosário do Sul, no Brasil e, Buena Vista no Uruguai) e do Jurássico (formações Botucatu, no Brasil, Misiones no Paraguai e Tacuarembó no Uruguai e na Argentina).

A Figura 1, abrange parcialmente oito estados brasileiros cobrindo cerca de 839.000km², da porção brasileira da Bacia Intracratônica do Paraná (MS= 213.000 km², RS= 157.600 km², SP=155.800 km², PR= 131.000 km², GO= 55.000 km², MG= 51.300 km², SC= 49.200 km², e MT= 26.400 km²) que apresenta no Município de Alegrete, no Estado do Rio Grande do Sul, uma espessura de 845m de arenitos incluindo-se a porção aflorante e a não aflorante, coberta pelos derrames vulcânicos da Formação Serra Geral, no Brasil e Lavas Arapey na Argentina. Este sistema estende-se em direção ao Paraguai, cobrindo cerca de 71.700 km², na Argentina 225.500 58.500 km², e no Uruguai 58.500 km², formando a Bacia do Chaco-Paraná, englobando várias Bacias Hidrográficas e uma Província Hidrogeológica, denominada Paraná.



Figura 1: Mapa Hidrológico do Brasil 1:5.000.000. Fonte: (DNPM, 1983) e (ABAS, 2003).

Caracterização da área de estudo

A área do estudo encontra-se situada em parte de três Bacias Hidrográficas de acordo com (SEMA, 2002 e 2003), G 40 Taquari-Antas 57%, G 90 Pardo 41% e G 70 Baixo Jacuí 2%. A letra G, caracteriza a Região Hidrográfica do Guaíba.

De acordo com dados do (IBGE, 2000) a população urbana de 93.786 habitantes e a população rural 13.845 é constituída de 107.632 habitantes.

A base da economia reside na indústria alimentícia, metal-mecânica e na agricultura, especialmente na cultura do tabaco. Nesta região localizam-se as maiores indústrias de transformação de fumo do país. Para transformação deste produto utilizam água subterrânea, não só para abastecimento humano em áreas rurais, como também no processo produtivo.

A Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN) abastece o Município de Santa Cruz do Sul, com água tratada oriunda do Reservatório Lago Dourado, e 03 poços tubulares anteriormente administrados pela prefeitura municipal, os quais foram repassados à CORSAN. Salienta-se que com a inauguração deste reservatório de superfície, muitos poços tubulares da CORSAN, foram desativados, principalmente devidos as exigências da Portaria 10/99 da Secretaria da Saúde do Estado do Rio Grande do Sul e da Portaria federal Nº 1.469/2000, que estipularam limites de concentrações de flúor na faixa de 0,6 até 0,9 para a estadual e de 1,5 mg/L de flúor pela portaria federal.

O Município de Santa Cruz do Sul, geomorfologicamente, encontra-se na zona de transição entre a Depressão Central constituída de rochas sedimentares areno-pelíticas com derrames vulcânicos da Formação Serra Geral, formando relevos em coxilhas, relevos residuais e relevos tabulares (nos derrames vulcânicos e nos arenitos intertrapeanos).

Litologicamente ocorrem afloramentos do Sistema Aquífero Guarani (SAG) constituído localmente por rochas de idade Mesozóicas Triássicas, pertencentes a Formação Rosário do Sul, a Formação Santa Maria, a Formação Botucatu. A rochas vulcânicas de idade Juro-Cretáceas pertencem a Formação Serra Geral.

A Formação Rosário do Sul, constitui-se de arenitos finos, de cores alaranjadas a avermelhadas, contendo localmente cimento carbonático e calcretes, indicando paleoambiente flúvio-eólico. Apresentando-se como um aquífero livre ou confinado pelos derrames de rochas vulcânicas, normalmente apresenta vazões da ordem de 0,32 até 10 m³/h.

A Formação Santa Maria, constituída por dois membros arenosos, um basal constituído por areias grossas a média de paleoambiente fluvial, formando um aquífero de grande potencialidade em termos de vazões. O Membro Alemoa constituído por fácies predominante pelíticas (argilo-siltosas) formam um Aquicludo (camadas de baixa permeabilidade), são de cores vermelhas intensas, podem conter fósseis de répteis fósseis do Período Triássico, também apresentam concreções calcárias (calcretes estudadas por SILVÉRIO DA SILVA, 1997, 2002, 2003). Salienta-se que tanto os ossos de répteis fósseis, de composições originalmente fosfáticas, podem conter até 2,5% de flúor formando fluorapatitas, o que pode participar na composição das águas subterrâneas, tornando-as inclusive impróprias para consumo humano (SILVÉRIO DA SILVA, 2002, 2003). Estas rochas de baixa permeabilidade natural são os melhores terrenos para serem localizadas obras de engenharia que necessitem realizar disposição de efluentes no subsolo. Tais como Distrito Industrial, aterros sanitários, lixões, cemitérios, outros.

A Formação Botucatu, constituída por arenitos médios a finos, bem selecionados, formam o melhor aquífero da região, apresentam vazões da ordem de 55,38 m³/h. Sua porosidade em torno de 14-30% são rochas que constituem aquíferos livres, portanto muito vulneráveis a contaminação. (ARAÚJO *et al.*, 1999).

Salienta-se que litologicamente a Formação Botucatu, um arenito, tem sua secção-tipo na cidade homônima no Estado de São Paulo, aflorando ou em subsuperfície em oito estados brasileiros. Já a Formação Rosário do Sul, arenitos de ambiente flúvio-eólico, apresenta sua secção-tipo no Município de Rosário do Sul, é estratigraficamente equivalente temporal e paleoambiental da Formação Pirambóia, identificada, por exemplo, nos estados do centro do país, como São Paulo e Paraná.

As características faciológicas que ocorrem muitas vezes em alguns locais e não em outros, isto faz destes aquíferos serem corpos anisotrópicos, com variações laterais e na vertical, em função da tectônica e de sua evolução paleoambiental. No Estado do Rio Grande do Sul, a Formação Rosário do Sul apresenta localmente cimento carbonático, ou até níveis de concreções carbonáticas como os calcretes e as concreções silicosas (silcretes), não citadas nos registros do Estado de São Paulo.

A Formação Serra Geral, constituída de derrames e

diques de rochas vulcânicas básicas (basaltos), cobrem parcialmente a porção Norte do Município de Santa Cruz do Sul, formam um aquífero do tipo fissural, constituído por fraturas, que podem ou não estarem conectadas. Uma vez que ocorrem diques básicos discordantes entre os estratos sedimentares, estes podem funcionar como uma barreira para circulação do fluxo subterrâneo, o que localmente pode fornecer águas com teores de sais mais elevados. As vazões nestas rochas são da ordem de 12-20 m³/h.

Associados as Planícies aluviais, desenvolveram-se sedimentos arenosos, cascalhos, siltes; constituindo os depósitos de aluviões Cenozóicos, Quaternários, no leito do Rio Pardinho (CPRM, 1986).

O clima da região foi considerado de tipo C_{fah}. (HAUSMAN, 1995):

C = temperatura média do mês mais frio entre 18 e 3 °C; f = sem estação seca, a precipitação média do mês mais frio é de uma a três vezes superior a do mês mais quente; a = média do mês mais quente superior a 22 °C – verões quentes; e h = temperatura média anual superior a 18 °C – inverno brando de acordo com (HAUSMAN, 1995) com invernos moderados, com precipitação pluviométrica anual entre 1600-1800 mm/ano, uma evapotranspiração potencial da ordem de 800-900mm/ano, portanto um balanço hídrico positivo. Este autor considera para a região uma infiltração para os aquíferos profundos de ordem de 100 mm/ano. Já utilizando-se as sugestões de (GREGORAUSCHUK 2002/2004), a infiltração dos aquíferos profundos é da ordem de 1 até 3% do total de precipitações pluviométricas de uma região, conclui-se que da ordem de 16-54 mm/ano.

A evolução do conceito de vulnerabilidade, foi discutida por (FOSTER *et al.*, 2003) definindo-a como a vulnerabilidade à contaminação do aquífero como aquelas características intrínsecas dos estratos que separam a zona saturada do aquífero da superfície do terreno, o qual determina a sua sensibilidade a ser adversamente afetado por uma carga contaminante aplicada na superfície.

Metodologia

Baseada na avaliação de dados pré-existentes (FOSTER e HIRATA, 1993 e FOSTER *et al.*, 2002), método *GOD*.

“G” Grau de confinamento hidráulico

“O” Ocorrência do substrato, características litológicas e grau de consolidação da zona não saturada

“D” Distância ao nível da água subterrânea ou profundidade nível estático.

O grau de vulnerabilidade é obtido pelo produto entre as colunas “G O D”.

Informações físico-químicas de trabalhos acadêmicos anteriores (BACCAR 1998), (SILVÉRIO DA SILVA 1997, 2002 e 2003). Informações de poços tubulares da CORSAN/SURMA/Porto Alegre, Programa de Açudes e Poços da Secretaria de Obras e Saneamento do Estado do Rio Grande do Sul, Pesquisa de campo com uso do *Global Position System* (GPS) para obtenção das coordenadas geográficas ou sua transformação para coordenadas planas Universal Transversa de Mercator/UTM, utilizando-se

como datum vertical: Imbituba - Santa Catarina e datum horizontal: Minas Gerais, SAD 69, de posição 51° W de Greenwich, acrescidas das constantes 10.000 e 500 km.

A superfície potenciométrica foi obtida utilizando-se a relação entre a altitude da cabeça do poço tubular em relação ao nível da água subterrânea (nível estático), obtendo-se o peso da coluna de águas sobre o datum horizontal, traçando-se perpendicularmente a superfície potenciométrica a direção das linhas de fluxo subterrâneo.

Com uso do Programa SURFER™ 6.0 foram simuladas informações de 25 poços, obtendo-se cartogramas, onde através do método da *Krigagem*, obtém-se linhas de isovalores para cada um dos parâmetros simulados baseado em dados pré-existentes. Obtendo-se através da espacialização das informações georeferenciadas (SIG), cartogramas ilustrativos do parâmetro simulado, nesta pesquisa serão apresentadas; a superfície potenciométrica, o índice de vulnerabilidade e as concentrações do elemento flúor.

Realizou-se um cadastro de informações hidrogeológicas com uso do aplicativo *MS Excel™* onde foram alimentados com as informações hidrodinâmicas dos poços, localização com o sistema de informações geográficas (SIG) e uso do *Global Position System* (GPS), obtendo-se uma planilha, contendo informações de qualidade físico-química, assim como, os parâmetros hidrodinâmicos, e os respectivos dados do usuário, ilustrados na Figura 2.

Foram simuladas informações de 25 poços tubulares, para a confecção do cadastro dos poços foram utilizadas consultas a bancos de dados de empresas privadas (MAPA Perfurações Ltda. Santa Cruz do Sul), Estatais: Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais/CPRM SIAGAS, Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), Programa de Açudes e Poços (PAP) Secretaria de Obras do Governo do Estado do Rio Grande do Sul e trabalhos acadêmicos (BACCAR, 1998) e (SILVÉRIO DA SILVA *et al* 2001, 2003) executados em Santa Cruz do Sul.

Com base nas informações pré-existentes, coleta de dados em campo, coleta de informações de mapa geológico foi possível obter-se um total de vinte e dois poços tubulares em relação ao parâmetro profundidade, com uma faixa de variação entre 41 até 180 m.

A vazão total obtida em 15 poços variou entre 0,32 até 55,38 m³/h. destes hoje nove fazem parte de rochas sedimentares do Sistema Aquífero Guarani. SAG, e apenas três foram perfurados em rochas vulcânicas, fraturadas da Formação Serra Geral, com vazões entre 12,0 até 20 m³/h.

Em base em informações pré-existentes nas planilhas *MS Excel™*, necessárias pelo Método *GOD* (FOSTER E HIRATA, 1993 e FOSTER *et al.*, 2002), foram simulados 25 poços tubulares, ilustrados na figuras 3, 4 e 5.

Nesta figura indica-se a direção do fluxo subterrâneo aproximada de NE – SO.

Resultados

Dados Poços de Santa Cruz do Sul, RS, Brasil														
	No. Poço	Siagas Sigla	Niv. Est.	Nota	Tipo	Nota	Litologia	Nota	Indice Vulnerabil	Coord. Este	Coord. Norte	VMP Conc. F- (mg/L)	Altit. (m)	
5	1	1250 SCZ 1a	865	80,54	0,6	Livre	1,0	Fm Santa Maria	0,5	0,3	6707881	362589	0,30	85
6	2	1251 SCZ 3	866	89,1	0,6	Livre	1,0	Fm Santa Maria	0,5	0,3	6706649	362726	0,70	70
7	3	1252 SCZ 4	867	69,18	0,6	Livre	1,0	Fm Santa Maria	0,5	0,3	6706563	363285	0,50	55
8	4	1253 SCZ 5 ou 9Sc-04-RS	868	65,03	0,6	Livre	1,0	Fm Santa Maria	0,5	0,3	6709746	362191	0,30	75
9	5	1164 SCZ 1	2864	27,2	0,7	Livre	1,0	Fm Rosário do Sul	0,7	0,49	6707904	362508	***	60
10	6	1165 SCZ 2	2865	39,74	0,7	Livre	1,0	Fm Rosário do Sul	0,7	0,49	6708517	362742	0,10	90
11	7	1262 SCZ 6	2866	7,77	0,8	Livre	1,0	Fm Rosário do Sul	0,7	0,49	6712634	360177	1,30	35
12	8	1504 SCZ 8	2867	22,11	0,7	Livre	1,0	Fm Rosário do Sul	0,7	0,56	6713209	361782	1,00	40
16	12	1298 SCZ 7	Vila Armonia	27,73	0,7	Livre	1,0	Qa. Aluviões areias	0,7	0,49	6706011	359529	***	55
17	13	2408 SCZ 15	Linha Sta Cruz	1,55	0,9	Confinado	0,2	Basalto	0,6	0,11	6715143	364728	0,20	220
18	14	G2055 SCZ 12	***	28,34	0,7	Livre	1,0	Fm Santa Maria	0,5	0	6707878	360095	1,10	35
19	15	Pu SC1	PAP	7,79	0,8	Confinado	0,2	Serra geral Vulcânica	0,6	0,096	6715143	364728	0,00	200
20	16	Monte Alverme PMSC 2	PAP	51,14	0,6	Confinado	0,2	Serra geral Vulcânica	0,6	0,072	6718543	364898	0,30	230
		COS SC PMSC3 Cooperati	PAP	2,94	0,7	Confinado	0,2	Serra geral	0,6	0,108	6716034	364115	0,20	200
22	18	Gaúcho Diesel	SCZ 01	32	0,7	Livre	1,0	Quaternário Aluvião + Fm Santa Maria	0,6	0,42	6714643	359323	10,80	50
23	19	51	SCZ 51	23	0,7	Livre	1,0	Formação Santa Maria	0,5	0,35	6706558	362300	1,60	65
24	20	114	SCZ 114	47	0,7	Livre	1,0	Fm Santa Maria Argila	0,5	0,35	6712531	362710	1,43	65
		125	SCZ 125	32	0,7	Livre	1,0	Quaternário Aluvião + Fm Santa	0,6	0,42	6712912	361113	2,28	40

Figura 2. Planilhas MS Excel™ dos dados dos poços do município Santa Cruz do Sul, RS/Brasil.

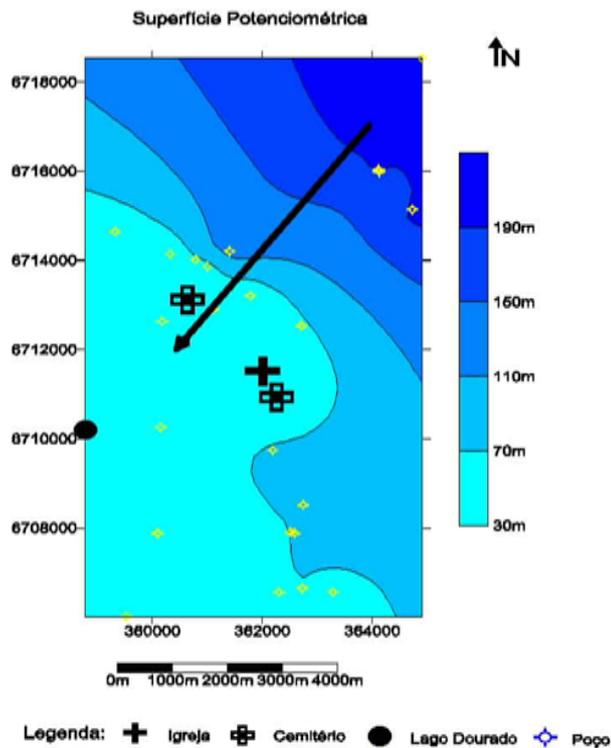


Figura 3: Ilustração da superfície potenciométrica.

Indicando uma contribuição dos aquíferos para manutenção do leito superficial do rio Pardinho (este rio encontra-se ao Oeste, fora da área representada no cartograma).

Notar que o cemitério localizado na porção central, por exemplo do cartograma, pode estar afetando a qualidade das águas subterrâneas à jusante.

Na figura 4, ilustram-se as concentrações de flúor em águas subterrâneas de 21 poços que com as respectivas análises químicas deste elemento, dos quais 11 poços, apresentaram concentrações menores ou iguais a 0,9 mg/L de flúor, ou seja 52%, encontram-se na faixa considerada ótima pela Portaria nº10/99 do Estado do Rio Grande do Sul, para consumo humano. Notar que esta classe ocupa a maior área do cartograma.

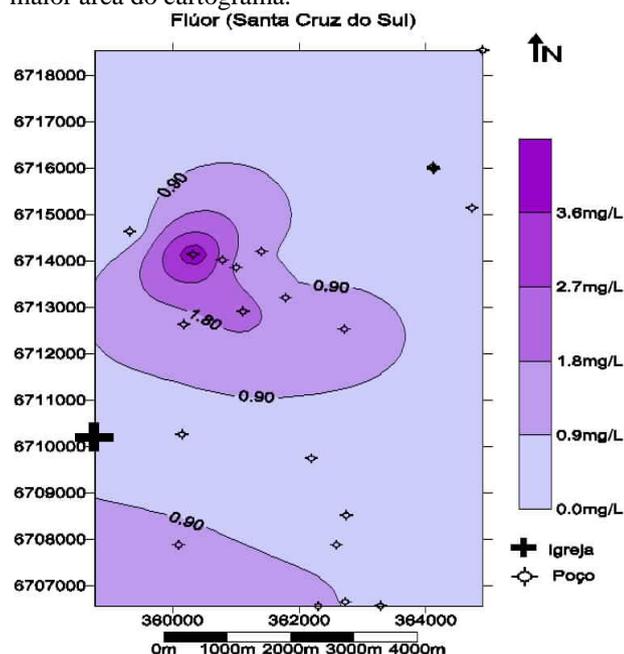


Figura.4: Concentrações de flúor.
Fonte: (BACCAR, 1998) e (SILVÉRIO DA SILVA, 2000)

Por outro lado 10 poços, apresentaram concentrações superiores ao valor máximo permissível (VMP), acima de 0,9 mg/L, representando 48% dos poços simulados. Notar no a faixa de variação de flúor situa-se, entre 0,0 mg/L até 3,6 mg/L. Observe que o ponto de concentração máxima 3,6mg/L, encontra-se a Nordeste da igreja catedral ilustrada no cartograma, localiza-se próximo do aeroporto municipal, distando aproximadamente 4 km desta.

Na Figura 5, ilustra-se o índice de vulnerabilidade natural obtido para 25 poços, simulados pelo programa SURFER™ 6,0.

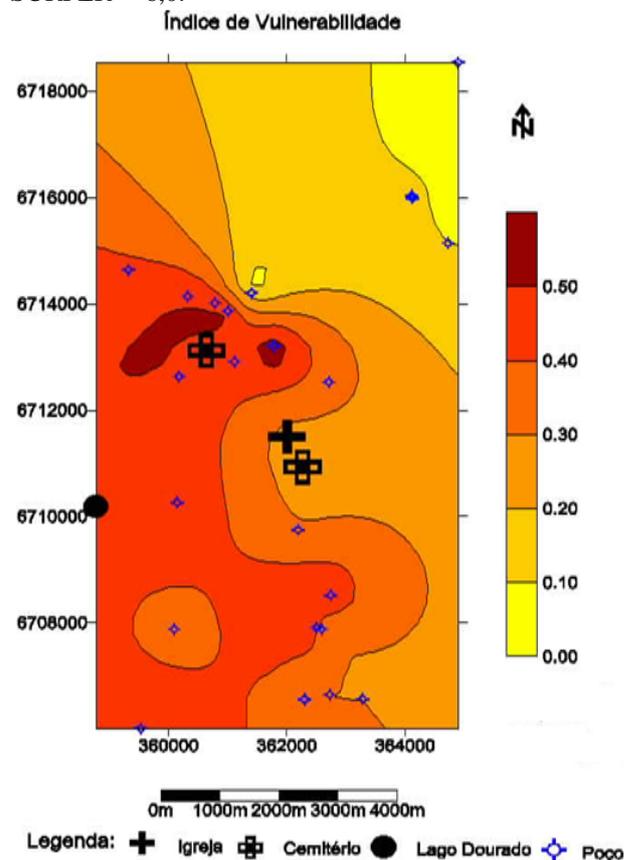


Figura 5: Índice de Vulnerabilidade dos poços Santa Cruz do Sul.

Na classe desprezível entre 0,0 e 0,1, obteve-se 04 poços, ilustrados na Tabela 1, em cores amarelo claro.

Na classe baixa de 0,11 até 0,30, obteve-se 07 poços, ilustrados no cartograma da figura 5, em cores amarelo queimado e alaranjado.

Na classe média de 0,31 até 0,50, obteve-se 13, indicando 52% dos poços simulados e representados na figura 5 com cores laranja intenso e vermelho

Na classe Alta entre 0,51 até 0,70, obteve-se apenas um poço. Representada pela cor marrom, localizada na porção central do cartograma da figura 5, próximo de um cemitério.

Notar também, neste cartograma a localização do Lago Dourado, que abastece o município de Santa Cruz do Sul o qual encontra-se na faixa média de vulnerabilidade portanto merece cuidados especiais, no seu monitoramento de qualidade.

Ilustra-se na Tabela 1, os 25 poços simulados, com a respectiva qualificação de acordo com as classes do método GOD.

Tabela 1: Simulação dos 25 poços utilizando o SURFER™ versão 6.0.

Faixa de variação	Classes	Legenda	Nº poços
0,00 – 0,10	Desprezível		4
0,11 – 0,30	Baixa		7
0,31 – 0,50	Média		13
0,51 – 0,70	Alta		1
> 0,70	Extrema		0

Conclusões

Com base nestes resultados pode-se dizer que a região urbana do município de Santa Cruz do Sul, situa-se nas faixas baixa a média vulnerabilidade, necessitando nos planos de ocupação e expansão dos solos municipais, levar-se em consideração, todos os tipos possíveis de obras que utilizem o subsolo para disposição de resíduos, pois estes poderão afetar a qualidade das águas subterrâneas nesta região, utilizadas para diversos fins.

Sugere-se que o melhor local em termos de disposição de resíduos perigosos (lixões, aterros sanitários, resíduos hospitalares e inclusive esgotos *in natura*), dispostos em rochas sedimentares argilosas, de baixa permeabilidade, pertencentes à Formação Santa Maria (Membro Alemoa).

Referências

- ARAÚJO, L. M.; FRANÇA, A. B. e POTTER, P. E. **Aqüífero Gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai: Mapas Hidrogeológicos das Formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Taquarembó.** Curitiba/PR: PETROBRÁS/UFPR, Set/1995, 16 p., 8 mapas.
- _____. **Hydrogeology of the Mercosul aquifer system in the Paraná and Chaco-Paraná Basins, South America, and comparison with the Navajo-Nugget aquifer system, USA.** (1999). 7:317-336.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS/ABAS, Disponível em <<http://www.abas.org.br/html>>, WREGGE, M. **Conceitos.** Acesso em Jun/2002.
- BACCAR, N. De M. **Estudo da Qualidade da água de poços artesanais da região do Vale do Rio Pardo, RS, Brasil, com destaque para a concentração de fluoretos.** Santa Cruz do Sul. RS. Dissertação de Mestrado Universidade de Santa Cruz do Sul/ UNISC. p.130, 1998.
- CAMPOS, H. C. N. S. **Modelación conceptual y matemática del acuífero guaraní, cono sur. mapa hidrogeológico do aquífero guarani.** escala 1:2.500.000. estudos tecnológicos – *Acta geológica leopoldensia.* Série Mapas, XXIII/4, UNISINOS, p.50, 2000.
- Carta Topográfica de Santa Cruz do Sul,** Diretoria do Serviço Geográfico do Exército, DSG, Escala 1:50.000. SH22-H-4. 1966.
- COMPANHIA DE PESQUISAS E RECURSOS MINERAIS/CPRM/SIAGAS/SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.

Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/html>>. Acesso em Abr/2004.

_____. CPRM, **Mapa Geológico da Folha de Santa Cruz do Sul,** escala 1: 100.000, Projeto Borda Leste da Bacia do Paraná. Folha MI- 2968, e de Candelária, MI-2967, 1986.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS/CNRH/Resoluções Nº 9 (11/06/2000) e Nº 15 de (11/01/2001): Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/resoluções/html>>. Acesso em Dez/2003.

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL/DNPM - **Mapa Hidrogeológico do Brasil (1983),** Escala de 1: 5.000.000.

FOSTER, S; HIRATA R.A.C; GÓMEZ D., D'ELIA, M. e PARIS, M. **Protección de la Calidad del Agua Subterránea.** Mundi Prensa. 2003. (Banco Mundial), p.115

GREGORAUSCHUK, J.D.L. Disponível em: <<http://www.sg-guarani.org/html>>. Acesso em Mar/2004.

HAUSMAN, A. **Comportamento do Freático nas áreas Basálticas do Rio Grande do Sul.** Boletim Paranaense de Geografia. n. 18 a 20, Out. 1966. p. 177-214.

_____. **Província Hidrogeológicas do Estado do Rio Grande do Sul – RS.** *Acta geologica leopoldensia.* Série Mapas, Nº 2, UNISINOS, 1995. p.1-127.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA/IBGE: Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/população/html>>. Acesso em Mar/2004.

Lei Federal Nº 9.433/97, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/CONAMA/>. Acesso em 2003.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil.** 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989. 422 p.

PORTARIA 10/99 da Secretaria da Saúde do Estado do Rio Grande do Sul, 1999.

PORTARIA FEDERAL Nº 1469/2000, **Controle e Vigilância da Qualidade da água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade.** Ministério da Saúde. FUNASA. Fundação Nacional de Saúde. Brasília, 2001. p.32, Outubro de 2001.

RADAMBRASIL/FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Folha SH. 22 Porto Alegre e parte das folhas SH. 21 Uruguaiana e SL. 22 Lagoa Mirim: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra.** Rio de Janeiro: IBGE, 1986. 796 p. 6 mapas: il. (Levantamento de recursos naturais; v. 33).

ROCHA, J. S. M. **Educação ambiental técnica para os ensinos fundamental, médio e superior.** Primavera. 2000, p.516.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL/ SEMA Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br/>>. Acesso em Abr/2003.

SILVÉRIO DA SILVA, J. L. **Estudo dos Processos de Silicificação e Calcificação em Rochas Sedimentares Mesozóicas do Rio Grande do Sul, Brasil.** Tese de doutorado em Geociências. UFRGS, 1997. 156 p.

SILVÉRIO DA SILVA, J.L. e GARCIA, A. J. V.

Avaliação Petroológica Preliminar de Arenito das Formações Mata e Santa Maria (Membro Passo das Tropas), na região de Santa Maria – RS. *Acta geologica leopoldensia*. Ano XVI, Nº 38, UNISINOS, p.199-223, 1993.

SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; PAVÃO, A. D. M.; BERRO, S. V. CRUZ, R. C. E WANDSCHEER, E.A.R. Avaliação da Vulnerabilidade dos Recursos Hídricos Subterrâneos da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria, RS. *In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Curitiba-PR, 23 a 27 Nov 2003. CD-ROM.

SILVÉRIO DA SILVA, J.L.; HIRATA, R. A C.; FLORES, E. L. M; DRESSLER, V. L. *In: XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*. Florianópolis, 10 a 13 de setembro de 2002. ABAS. CD-ROM.

UNESCO, Correio da, **Água doce a que preço?** Abril de 1999, p.21-36.

Recebido e aceito para publicação em 05/02/2007.