

VULNERABILIDADE NATURAL DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VACACAÍ-MIRIM - RS¹

NATURAL VULNERABILITY OF GROUNDWATER RESOURCES IN THE VACACAÍ-MIRIM RIVER BASIN - RS

**Régis Leandro Lopes da Silva², Sara Ceron Hentges², André Luis Domingues²,
Carlos Leite Maciel Filho³ e Galileo Adeli Buriol⁴**

RESUMO

O objetivo, neste trabalho, foi espacializar a vulnerabilidade natural dos recursos hídricos subterrâneos na bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim, estado do Rio Grande do Sul - RS. O mapeamento da vulnerabilidade à contaminação é uma ferramenta fundamental na tomada de decisão referente ao planejamento e desenvolvimento de políticas públicas de proteção das águas subterrâneas. A área da bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim é de 1145,7 km². Os aquíferos da bacia hidrográfica são explorados como fonte de abastecimento, e existem atividades de urbanização, industriais e agrícolas. No mapeamento da vulnerabilidade dos aquíferos, utilizou-se a metodologia DRASTIC, na qual se trabalha com índices referentes a uma série de fatores hidrogeológicos. Foram encontradas áreas extremamente vulneráveis, localizadas em formações geológicas com alta permeabilidade, no planalto, região noroeste da bacia hidrográfica e ou com níveis estáticos próximos à superfície, no início da planície aluvial, região centro-oeste da bacia hidrográfica. Assim, como áreas pouco vulneráveis, com pressão da água no aquífero exercida de dentro para fora ou com a água subterrânea armazenada a grandes profundidades, localizadas na parte central e no extremo sudeste da bacia hidrográfica.

Palavras-chave: aquífero, água subterrânea, contaminação.

ABSTRACT

The aim of this study was to spatialize the natural vulnerability of groundwater resources in the Vacacaí-Mirim river basin, located in the state of Rio Grande do Sul (RS). Groundwater vulnerability mapping is an important key to improving public policy planning and development in order to prevent groundwater contamination. The Vacacaí-Mirim river basin encompasses a catchment area of 1145.7 square kilometers. Its aquifers are used as a source of supply and contribute to urbanization as well as industrial and agricultural activities. To assess the aquifer vulnerability, it was used the DRASTIC method, which considers measurable parameters for each hydrogeological factor. Extremely vulnerable areas were found in geological formations with high permeability on the plateau, northwest of the river basin, and with static levels near the land surface at the beginning of the floodplain, midwest of the river basin. Slightly vulnerable areas were found as well, being the water pressure in the aquifer exerted from the inside to the outside or having the groundwater stored at great depths, located in the central part and in the extreme southeast of the river basin.

Keywords: aquifer, groundwater, water contamination.

¹ Trabalho de Iniciação Científica - CNPq.

² Acadêmicos do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária. Bolsistas CNPq - Centro Universitário Franciscano. E-mail: regisllsilva@gmail.com

³ Coorientador - Centro Universitário Franciscano.

⁴ Orientador - Centro Universitário Franciscano. E-mail: galileo@unifra.br

INTRODUÇÃO

A qualidade das águas das reservas subterrâneas geralmente é superior àquelas superficiais, pois essas estão resguardadas no interior do solo e das formações geológicas, o que torna mais difícil a penetração de substâncias poluentes e, além disso, muitas rochas são filtros naturais. Em consequência, os custos com tratamentos pré-consumo são menores.

O desenvolvimento de pesquisas e metodologias que permitam conhecer o potencial hídrico dos aquíferos e suas características físico-químicas deve ser priorizado, de maneira que se possibilite elaborar planos de gestão das águas subterrâneas para evitar sua contaminação e sua extração excessiva, conseqüentemente, seu desperdício. Entretanto, existem muitas dificuldades no desenvolvimento de pesquisas desta natureza, pois os dados necessários inexistem ou são de difícil acesso, como dados sistemáticos de qualidade da água, de vazão e climáticos, que configuram partes essenciais na avaliação de aquíferos. Contudo, o desenvolvimento das técnicas de mapeamento criadas nas últimas décadas, junto de uma maior acessibilidade aos sistemas informatizados, gerou uma evolução nos processos cartográficos, por meio do geoprocessamento e da cartografia digital. Dentre estas técnicas de mapeamentos, a que vem ganhando destaque, no que se refere às águas subterrâneas, são os sistemas com índices de vulnerabilidade (ALLER et al., 1987; FOSTER, 1987), formados por parâmetros hidrogeológicos, morfológicos e outras formas de parametrização das características do meio, de um modo bem definido. Além disso, a utilização de índices tem a vantagem de eliminar a subjetividade existente nos processos de avaliação.

A vulnerabilidade pode ser definida como a sensibilidade ou suscetibilidade que tem um determinado meio, frente a um impacto, seja ele de origem natural ou antrópica. No caso dos aquíferos, Ribeira (2004) define a vulnerabilidade como uma série de atributos ou características destes, que são o solo, a zona não saturada, os parâmetros hidráulicos do aquífero e a recarga, as quais controlam a aptidão do aquífero para fazer frente a um impacto indeterminado e sua capacidade de autorrestauração. Para Foster (1987) e Foster e Hirata (1993), o termo vulnerabilidade à contaminação do aquífero representa características intrínsecas à susceptibilidade de ser afetado por uma carga contaminante e se dá em função da inacessibilidade hidráulica da penetração de contaminantes e da capacidade de atenuação dos estratos acima da zona saturada do aquífero, como resultado de sua retenção física e reações químicas com o contaminante. Porém, para a determinação do perigo de contaminação, os dois fatores citados interagem com os componentes: modo de disposição do contaminante no subsolo, em particular a magnitude de qualquer carga hidráulica associada e a classe do contaminante, em termos de sua mobilidade e persistência. Foster e Hirata (1993) salientam que a carga contaminante é proveniente das atividades antrópicas realizadas em superfície. Além do esgotamento, a contaminação por substâncias tóxicas se caracteriza como uma forte ameaça aos reservatórios subterrâneos (ODUM, 1988).

Para garantir a proteção dos recursos hídricos subterrâneos, geralmente são utilizados dois instrumentos: perímetros de proteção de poços e fontes e mapas de vulnerabilidade à poluição de aquíferos.

Para Hirata (2001) reconhecem-se três situações distintas, segundo o histórico de ocupação do terreno: áreas onde as atividades já estão instaladas (fontes potenciais existentes); áreas onde já se conhece a contaminação do aquífero (fontes herdadas); e áreas onde as atividades serão instaladas (fontes futuras). Em cada um desses casos, a vulnerabilidade de aquíferos pode ser utilizada para priorizar a ação do órgão gestor, de modo a buscar aquelas atividades que oferecem maiores perigos de contaminação (interação entre vulnerabilidade e carga contaminante potencial ou restringir ou permitir a instalação de uma atividade segundo a sua vulnerabilidade). Em qualquer um dos casos, a vulnerabilidade de aquíferos pode ser usada no zoneamento do terreno, identificando aquelas atividades que não são compatíveis com os índices atribuídos ao terreno (CAMPONOGARA, 2006).

Uma das metodologias mais utilizadas para determinação da vulnerabilidade de aquíferos são os índices DRASTIC (ALLER et al., 1987). Correspondem ao somatório ponderado de valores relativos aos parâmetros hidrogeológicos profundidade do topo do aquífero, recarga do aquífero, material do aquífero, tipo de solo, topografia, influência da zona vadosa e condutividade hidráulica do aquífero. Esses parâmetros são relacionados por meio de equação simples, aplicada a cada unidade geográfica de trabalho. Essa metodologia pode sofrer alterações, ou seja, podem ser feitas adaptações conforme as características específicas da área em estudo.

Na área da bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim, localizada no centro do estado do Rio Grande do Sul, existem importantes áreas de cultivo agrícola e algumas áreas urbanizadas, o que se traduz em um risco potencial de contaminação dos aquíferos, seja por cargas de fertilizantes e agrotóxicos, seja por efluentes urbanos. Por esse motivo, e pela falta de estudos referentes ao tema, a aplicação do modelo DRASTIC (ALLER et al., 1987) na espacialização da vulnerabilidade na bacia do Rio Vacacaí-Mirim é uma importante alternativa para a determinação das áreas suscetíveis à contaminação das águas subterrâneas.

Em vista do exposto, neste trabalho, o objetivo foi mapear a vulnerabilidade natural dos recursos hídricos subterrâneos na bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim, estado do Rio Grande do Sul - RS.

MATERIAL E MÉTODOS

CARACTERIZAÇÃO E DELIMITAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA

A bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim - RS está localizada na parte central do Estado do Rio Grande do Sul, entre as latitudes de 29° 36' 55''S e 29° 39' 50''S e longitudes de 53° 46' 30''W e 53° 49' 29''W, abrangendo uma área total de 1.145,7Km² (CASAGRANDE, 2004). Está inserida em três compartimentos geomorfológicos, com características morfológicas e geológicas distintas:

Região do Planalto, do Rebordo do Planalto e da Depressão Central ou Periférica. Na Região do Planalto, é onde se localizam suas nascentes, à altitude entre 300m e 480m, e é formada pelo vulcanismo da Bacia do Paraná, ocorrido no Mesozoico, com a presença de basaltos e arenitos “intertraps”. A região é caracterizada pela presença de um relevo ondulado e suavemente ondulado, resultante do trabalho de dissecação fluvial na superfície do Planalto. A drenagem tem padrão dendrítico, com vales em V ou de fundo plano. O Rebordo do Planalto localiza-se na transição entre o Planalto e a Depressão Central, a sua topografia é formada por escarpas abruptas, drenagem fluindo no sentido da Depressão Central e padrão dendrítico, com presença marcante de vales em V. A área da Depressão Central ou Periférica é constituída por rochas sedimentares da bacia hidrográfica do rio Paraná, que datam do Paleozoico e Mesozoico (Triássico), encobertas, localmente, por sedimentos cenozoicos e recentes (planícies aluviais). A topografia é mais ou menos plana e suavemente ondulada, com morros arredondados (CASAGRANDE, 2004).

O clima, pela classificação climática de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano (KUINCHTNER; BURIOL, 2001). Os solos predominantes, de acordo com o atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999), são, na Região do Planalto, os ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Alumínicos, em alguns locais associados aos NEOSSOLOS LITÓLICOS, Eutróficos; na Região do Rebordo do Planalto os NEOSSOLOS LITÓLICOS, ocorrendo também CHERNOSSOLOS ARGILÚVICOS e; na Depressão Central, os PLANOSSOLOS e CHERNOSSOLOS ARGILÚVICOS (CASAGRANDE, 2004). A vegetação natural, na área de Planalto e do Rebordo do Planalto, é constituída, predominantemente, por floresta do tipo subtropical e na Depressão Central, de campos de pastagem natural e, em meio aos campos, é comum a presença de capões isolados de mata de pequeno e grande porte (SEPLAN, 1986).

Na delimitação da área da bacia hidrográfica, foram digitalizadas as cartas topológicas do exército, feito o mosaico delas, utilizando o programa computacional Adobe Photoshop e georreferenciadas por meio do *software* Spring 4.3, seus aplicativos derivados, e suas curvas de nível vetorizadas. O arquivo foi exportado para a utilização no *software* Surfer 8.0, de modo a possibilitar a geração do MDT (modelo digital do terreno). Com o *software* AutoCad Civil 3D, foi importada a topografia do terreno disponível no *software* Google Earth, e a partir disso gerada a grade de fluxo de escoamento. O MDT, associado à grade de fluxo, permite a delimitação da área da bacia hidrográfica.

MONTAGEM DO BANCO DE DADOS COM OS POÇOS

Organizou-se um banco de dados com 121 poços localizados na bacia hidrográfica. No banco de dados, constaram o código do poço, município, latitude e longitude (no Sistema de Coordenadas Geográficas e Sistema Universal Transversa de Mercator - UTM) e nível estático. Para isso, foram utilizadas as informações disponibilizadas no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS, 2010),

cadastro de usuários de poços subterrâneos. No quadro 1, são apresentados o número de ordem, cadastro no SIAGAS, município de localização e Sistema Universal Transversa de Mercator (UTM) dos poços utilizados.

REPRESENTAÇÃO ESPACIAL DOS POÇOS E DOS NÍVEIS ESTÁTICOS

A espacialização dos poços e dos respectivos níveis estáticos na bacia hidrográfica foi realizada utilizando-se as informações provenientes do cadastramento dos poços (SIAGAS, 2010). Estes foram inseridos no mapa seguindo as suas coordenadas UTM. A partir desses dados, foi realizada a sua espacialização com a utilização do programa Surfer 8.0, com o interpolador krigagem, em forma de cartogramas. A edição final dos mapas foi realizada no aplicativo Corel Draw 12.

DETERMINAÇÃO DA RECARGA D'ÁGUA SUBTERRÂNEA E DA GEOLOGIA

A recarga d'água subterrânea na bacia hidrográfica foi obtida do mapa de espacialização da água infiltrada, média anual, para o estado do Rio Grande do Sul, publicado em Hausman (1995) e a geologia dos mapas geológicos da Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim contidos em Hentges (2009) e Maciel Filho et al. (2013). Ao fazer a análise integrada do mapa geológico e dos perfis dos poços disponíveis no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS, 2010), foi possível determinar os parâmetros meio aquífero (A) e impacto da zona vadosa (I). O mapa geológico proporcionou a espacialização da condutividade hidráulica, esta obtida por meio de revisão bibliográfica, sendo utilizadas as condutividades médias encontradas para cada formação geológica.

REPRESENTAÇÃO ESPACIAL DO SOLO E DA DECLIVIDADE

O mapa de solos para a área da bacia hidrográfica foi extraído do mapa de solos do Rio Grande do Sul (IBGE, 2002). Este foi georreferenciado e exportado para o programa computacional Surfer 8.0, no qual foi sobreposta a delimitação da bacia hidrográfica, e então extraídas as classes de solo existentes na área da Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim.

Para elaborar o mapa clinográfico, foram consideradas as classes de declividade sugeridas por Aller et al. (1987) no método DRASTIC e sua espacialização realizada com o aplicativo computacional Surfer 8.0. Utilizou-se o Modelo Digital do Terreno, aplicando nele a função *Terrain Slope* do *software*, no submenu Calculus do menu Grid. Para a edição do mapa final, foi utilizado o aplicativo programa Corel Draw 12.

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA

O fator condutividade hidráulica (C) foi obtido por meio de revisão bibliográfica, sendo utilizados, para cada formação geológica, os valores médios encontrados na pesquisa (DRH-SEMA, 2005; RAUBER, 2008; CHAVES, 2009).

VULNERABILIDADE NATURAL

Para a obtenção da vulnerabilidade natural da bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim, foram utilizadas as informações provenientes do cadastro de 121 poços existentes na área de estudo disponíveis no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS, 2010), bem como dos mapeamentos dos poços, níveis estáticos, recarga d'água subterrânea, formações geológicas, solos e declividades. Na figura 1, está representado o esquema adotado na avaliação da vulnerabilidade natural de aquíferos (Modelo DRASTIC).

O cenário hidrogeológico inclui os principais fatores geológicos e do meio aquífero. Para cada um dos fatores, confere-se um peso, o qual está relacionado à maior ou à menor importância que se atribui ao fator na avaliação da vulnerabilidade do aquífero (Quadro 2).

De acordo com o modelo, os fatores DRASTIC foram divididos em faixas ou tipos de meios, variando entre 1 e 10, com base na significância do potencial de contaminação da água subterrânea ou do tipo de meio. A partir das faixas se estabeleceu a carga para cada situação. Quanto maior a carga, maior sua vulnerabilidade, ou seja, pior a condição no que se refere à susceptibilidade à contaminação. Ao conjunto dos sete fatores representados no quadro 2 (DRASTIC), foram atribuídos pesos de acordo com a provável contribuição de cada um. Isso foi feito com o intuito de se obter e quantificar o chamado índice potencial de poluição. Quanto mais elevado o índice, maior a vulnerabilidade do aquífero. Os fatores DRASTIC, suas faixas e cargas estão descritas no quadro 2.

Quadro 1 - Número de ordem e no cadastro no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), município de localização e Sistema Universal Transversa de Mercator (UTM 22S) dos poços localizados na bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim, estado do Rio Grande do Sul – RS e utilizados no trabalho.

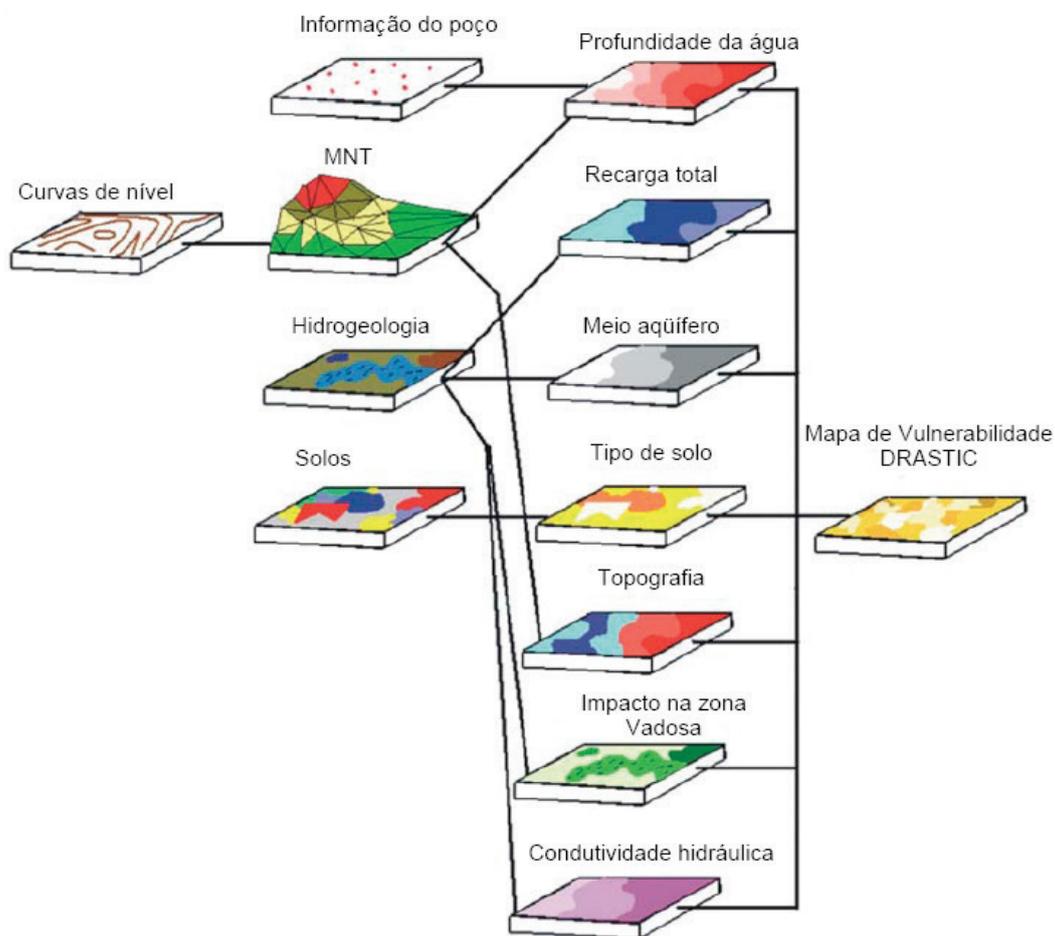
Nº	Cadastro SIAGAS	Município	UTM (N/S)	UTM (L/O)
P1	4300000774	Santa Maria	6732200	236400
P2	4300017733	Itaara	6731878	241140
P3	4300008454	Itaara	6731209	235805
P4	4300000776	Santa Maria	6726800	231800
P5	4300017732	Itaara	6726405	232430
P6	4300008453	Itaara	6724931	232390
P7	4300000795	Santa Maria	6723900	230600
P8	4300017731	Itaara	6723228	241528

P9	4300000772	Santa Maria	6722700	233000
P10	4300000796	Santa Maria	6721000	233300
P11	4300008462	Itaara	6720601	229396
P12	4300000712	Santa Maria	6720100	238700
P13	4300008468	Itaara	6719657	231745
P14	4300008464	Itaara	6718990	231961
P15	4300007768	Silveira Martins	6718357	250626
P16	4300007769	Silveira Martins	6718131	249521
P17	4300000764	Silveira Martins	6718100	250200
P18	4300007654	Silveira Martins	6718013	249703
P19	4300000766	Silveira Martins	6718000	249400
P20	4300007767	Silveira Martins	6717903	250380
P21	4300000762	Silveira Martins	6717900	250200
P22	4300000763	Silveira Martins	6717900	250600
P23	4300000765	Silveira Martins	6717900	249700
P24	4300000713	Santa Maria	6717700	239700
P25	4300000726	S.J.do Polêsine	6717100	254800
P26	4300007671	S.J.do Polêsine	6717007	261108
P27	4300000728	S.J.do Polêsine	6716800	255500
P28	4300000714	Santa Maria	6716200	239700
P29	4300000653	Santa Maria	6715900	230000
P30	4300000654	Santa Maria	6715600	229700
P31	4300000715	Santa Maria	6715100	240400
P32	4300000716	Santa Maria	6714600	242500
P33	4300000729	S.J.do Polêsine	6714400	257800
P34	4300000724	Santa Maria	6714300	244300
P35	4300008868	Restinga Seca	6714108	256107
P36	4300000558	Santa Maria	6713400	236700
P37	4300000725	Santa Maria	6713400	239500
P38	4300008869	Restinga Seca	6713060	266757
P39	4300000717	Santa Maria	6712800	245400
P40	4300000578	Santa Maria	6712700	229600
P41	4300000629	Santa Maria	6712700	230700
P42	4300000576	Santa Maria	6712600	237900
P43	4300017137	Santa Maria	6712570	229403
P44	4300008871	Restinga Seca	6712543	263783
P45	4300000557	Santa Maria	6712400	234200
P46	4300000564	Santa Maria	6712400	233500
P47	4300000575	Santa Maria	6712200	237900
P48	4300000583	Santa Maria	6712200	231700
P49	4300000707	Santa Maria	6712200	242700
P50	4300000588	Santa Maria	6712100	232600
P51	4300000708	Santa Maria	6712100	243100
P52	4300000586	Santa Maria	6711901	235100
P53	4300000584	Santa Maria	6711900	237800
P54	4300000587	Santa Maria	6711700	234600
P55	4300000626	Santa Maria	6711600	230600

P56	4300000711	Santa Maria	6711500	240900
P57	4300000559	Santa Maria	6711400	238300
P58	4300000562	Santa Maria	6711400	239900
P59	4300000563	Santa Maria	6711400	236800
P60	4300000720	Santa Maria	6711400	242900
P61	4300000560	Santa Maria	6711100	249209
P62	4300008865	Restinga Seca	6711092	268737
P63	4300008852	Restinga Seca	6710881	256733
P64	4300000574	Santa Maria	6710800	237900
P65	4300000582	Santa Maria	6710800	237600
P66	4300001785	Santa Maria	6710675	239250
P67	4300008849	Restinga Seca	6710646	264273
P68	4300000721	Santa Maria	6710600	242900
P69	4300001784	Santa Maria	6710600	239275
P70	4300000569	Santa Maria	6710501	239100
P71	4300000567	Santa Maria	6710500	239925
P72	4300000581	Santa Maria	6710400	235900
P73	4300000722	Santa Maria	6710400	243200
P74	4300002022	Restinga Seca	6710360	267965
P75	4300008850	Restinga Seca	6710263	264681
P76	4300000730	Santa Maria	6710200	255500
P77	4300000718	Santa Maria	6710000	245200
P78	4300000603	Santa Maria	6709900	237100
P79	4300008845	Restinga Seca	6709893	269378
P80	4300008847	Restinga Seca	6709812	268299
P81	4300001253	Santa Maria	6709800	237425
P82	4300000677	Santa Maria	6709700	242300
P83	4300000740	Santa Maria	6709600	245600
P84	4300001252	Santa Maria	6709450	237350
P85	4300008851	Restinga Seca	6709431	264048
P86	4300000723	Santa Maria	6709400	248700
P87	4300000556	Santa Maria	6709200	237100
P88	4300001254	Santa Maria	6709125	237500
P89	4300000601	Santa Maria	6709050	238025
P90	4300000602	Santa Maria	6709000	237400
P91	4300000678	Santa Maria	6708900	242700
P92	4300008844	Restinga Seca	6708627	269346
P93	4300001037	Santa Maria	6708500	237600
P94	4300008848	Restinga Seca	6708430	264278
P95	4300000719	Santa Maria	6708400	253000
P96	4300000577	Santa Maria	6708300	236700
P97	4300000608	Santa Maria	6708100	239600
P98	4300000688	Restinga Seca	6706400	258200
P99	4300008873	Restinga Seca	6706183	269134
P100	4300008872	Restinga Seca	6706047	269162
P101	4300000731	Santa Maria	6705400	242900
P102	4300000683	Santa Maria	6705100	244500

P103	4300000741	Restinga Seca	6704300	258900
P104	4300000648	Santa Maria	6704200	252900
P105	4300008855	Restinga Seca	6703242	272867
P106	4300008846	Restinga Seca	6703222	270332
P107	4300000676	Santa Maria	6703100	242200
P108	4300008854	Restinga Seca	6702715	272188
P109	4300008853	Restinga Seca	6702535	271652
P110	4300000679	Santa Maria	6702200	243900
P111	4300000650	Santa Maria	6701800	252100
P112	4300000651	Santa Maria	6701800	250800
P113	4300008858	Restinga Seca	6701732	271649
P114	4300000674	Santa Maria	6701500	245600
P115	4300000652	Santa Maria	6701100	251900
P116	4300000671	Santa Maria	6699100	248000
P117	4300008887	Restinga Seca	6698111	271108
P118	4300008889	Restinga Seca	6697921	269703
P119	4300008876	Restinga Seca	6695491	281659
P120	4300008879	Restinga Seca	6690105	284795
P121	4300008881	Restinga Seca	6689798	284952

Figura 1 - Esquema de avaliação da vulnerabilidade natural de aquíferos (Modelo DRASTIC).



Fonte: Camponogara (2006).

Quadro 2 - Fatores, peso (p) e índices DRASTIC.

Fatores		Índices DRASTIC	
	Peso (p)	Faixas (m)	Carga (Dc)
Profundidade do lençol freático (D)	5	0 - 1,5	10
		1,5 - 4,6	9
		4,6 - 9,1	7
		9,1 - 15,2	5
		15,2 - 22,9	3
		22,9 - 30,5	2
		>30,5	1
Recarga total (R)	4	Intervalo de recarga em mm/ano	Carga (Rc)
		0 - 51,85	1
		51,85 - 103,7	3
		103,7 - 181,48	6
		181,48 - 259,26	8
		>259,26	9
Meio aquífero (A)	3	Tipo de meio aquífero	Faixa de carga (Ac)
		Folhelho maciço (rocha argilosa)	1 - 3
		Metamórfica/Ígneas (rocha cristalina)	2 - 5
		Rochas Metamórficas/Ígneas intemperizadas (Saprólitos)	3 - 5
		Till Glacial (Depósitos de degelo glacial)	4 - 6
		Calcários, arenitos e folhelhos acamados	5 - 9
		Arenito maciço	4 - 9
		Calcário maciço	4 - 9
		Cascalho com matriz arenosa (conglomerado)	4 - 9
		Basalto fraturado	2 - 10
		Calcário cárstico (poroso)	9 - 10
Solos (S)	2	Granulometria	Carga (Sc)
		Cascalho	10
		Arenoso	9
		Turfa	8
		Argila agregada e/ou expansiva	7
		Franco arenoso	6
		Franco	5
		Franco siltoso	4
		Franco argiloso	3
		Turfa	2
		Argiloso não expansivo e não agregado	1
Topografia (T)	1	Declividade	Cargas (Tc)
		0 - 2%	10
		2 - 6%	9
		6 - 12%	5
		12 - 18%	3
		>18%	1
Impacto da zona vadosa (I)	5	Tipo de material	Faixa de carga (Ic)
		Camada confinante	1
		Silte/Argila	2 - 6
		Folhelho (Argilitos laminados)	2 - 6
		Calcário	2 - 5
		Arenito	2 - 7
		Calcário, arenito e folhelho intercamados	4 - 8
		Areia e cascalho com significativa matriz siltica ou argilosa	4 - 8
		Cascalho com pouca areia na matriz	4 - 8
		Basalto (fraturas, amígdalas, vesículas)	2 - 10
Calcário cárstico (poroso)	8 - 10		
Condutividade hidráulica (C)	3	Coefficiente de infiltração m/dia	Cargas (Cc)
		0 - 4	1
		4 - 12	2
		12 - 28	4
		28 - 41	6
		41 - 82	8
>82	10		

Os diferentes fatores DRASTIC foram avaliados entre si, por meio de uma equação, aplicada a cada unidade geográfica de trabalho:

$$\text{Índice DRASTIC} = Dp \cdot Dc + Rp \cdot Rc + Ap \cdot Ac + Sp \cdot Sc + Tp \cdot Tc + Ip \cdot Ic + Cp \cdot Cc \quad (1)$$

em que Dp, Rp, Ap, Sp, Tp, Ip e Cp são os pesos dos fatores DRASTIC e Dc, Rc, Ac, Sc, Tc, Ic e Cc os fatores de carga das variáveis nos seus respectivos intervalos de ocorrência.

No quadro 3, são apresentados, para cada classe de vulnerabilidade, os intervalos dos índices DRASTIC (ALLER et al., 1987).

Quadro 3 - Classes de vulnerabilidade e intervalos dos respectivos índices DRASTIC, segundo Aller et al. (1987).

Classe de vulnerabilidade	Intervalos dos índices DRASTIC
Área protegida	<35
Área pouco vulnerável	35 – 65
Área vulnerável	65 – 95
Área muito vulnerável	95 – 120
Extremamente vulnerável	>120

Fonte: Camponogara (2006).

Após a obtenção dos índices DRASTIC para cada poço cadastrado na área de estudo, os valores foram interpolados, utilizando a *krigagem*, pelo *software* Surfer 8.0, para a elaboração do cartograma com indicação das áreas com diferentes classes de vulnerabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

VARIAÇÃO ESPACIAL DOS POÇOS E DOS NÍVEIS ESTÁTICOS

Na figura 2, apresenta-se a localização geográfica da bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim no estado do Rio Grande do Sul e os municípios nela contidos e, na figura 3, a rede de drenagem e os 121 poços utilizados no trabalho. Observa-se que os municípios com maiores áreas na bacia hidrográfica são Restinga Seca e Santa Maria. Os poços encontram-se mais concentrados nas zonas urbanas. Do total dos poços, oito estão localizados no município de Itaara, nove em Silveira Martins, quatro em São João do Polêsine, 27 em Restinga Seca e 73 em Santa Maria.

Figura 2 - Localização geográfica da bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim no estado do Rio Grande do Sul e os municípios nela contidos.

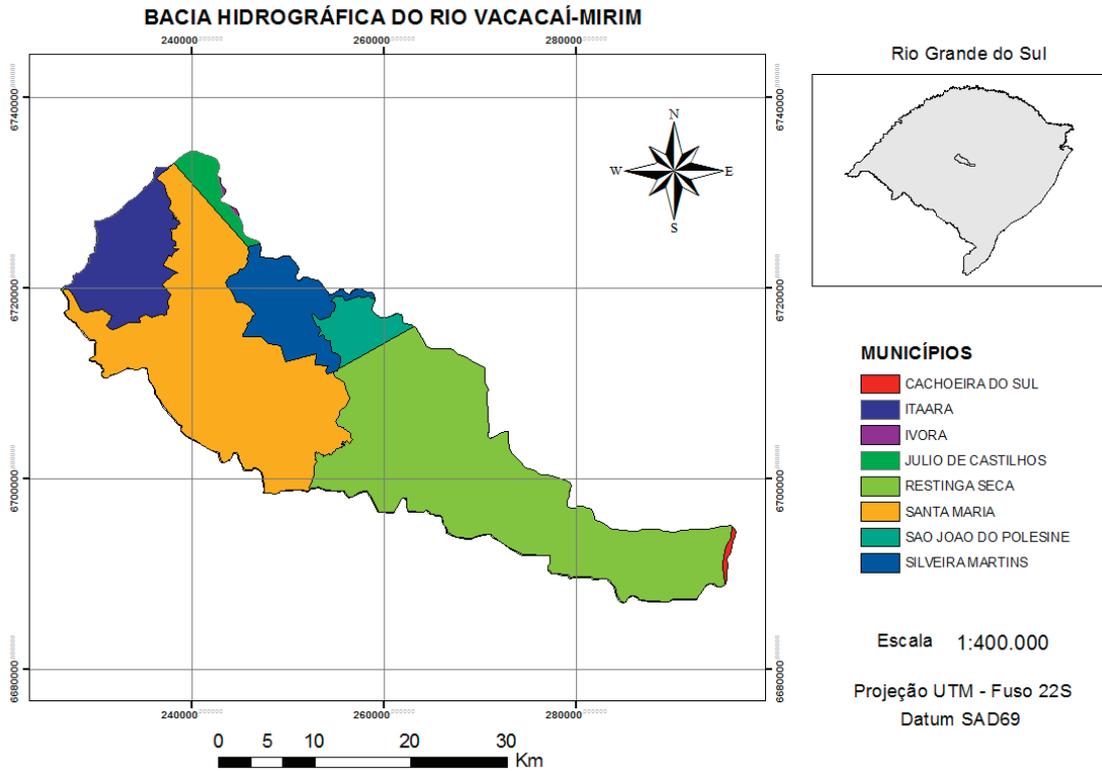
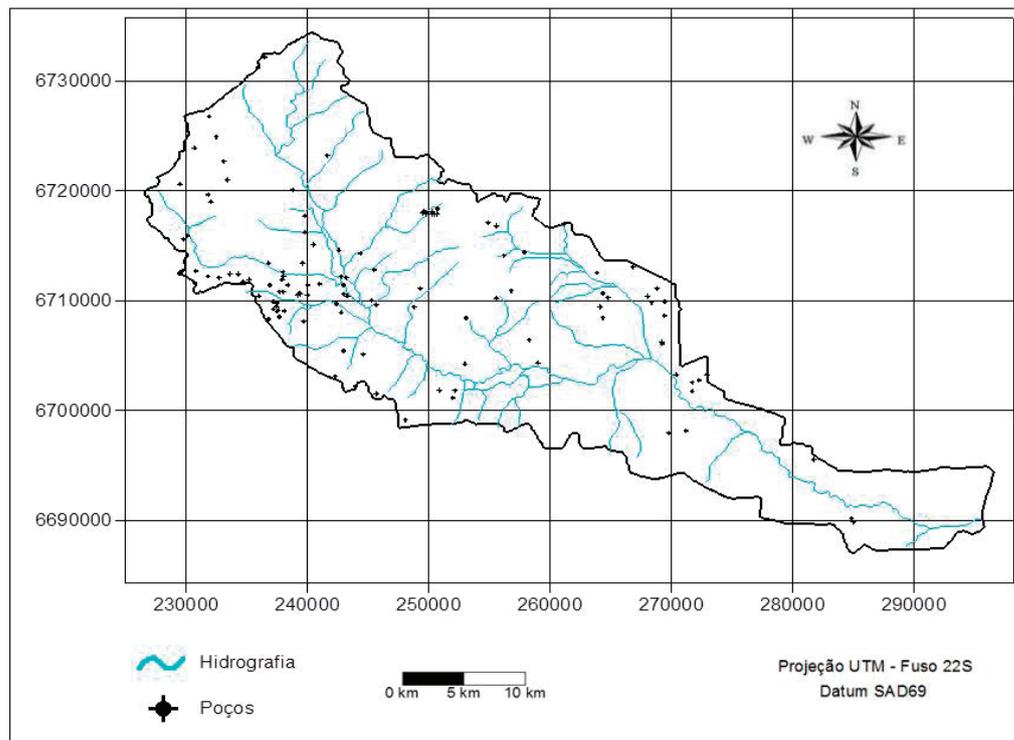


Figura 3 - Rede de drenagem e distribuição espacial da localização dos poços na área da bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim - RS, 2014.

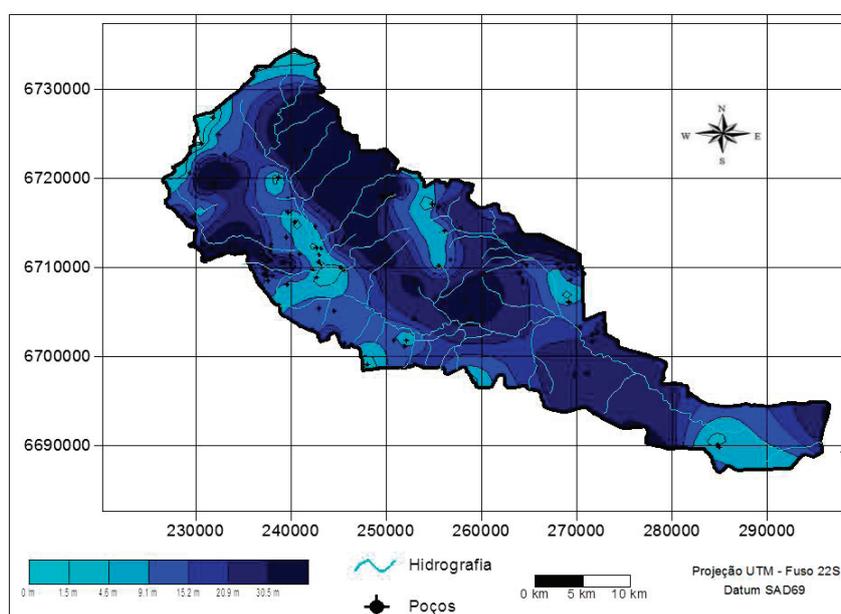


O nível estático, em m, código e respectiva carga (D) dos poços estão representados na tabela 1 e a variação espacial dos níveis estáticos, na figura 4. A espacialização dos níveis estáticos foi obtida pela interpolação dos valores de profundidade do nível estático dos poços cadastrados. Foi possível observar poços com surgência (profundidade zero) e poços com profundidades do nível estático de até 87m. As menores profundidades do nível estático estão sobre o afloramento da Formação Passo das Tropas, a sudoeste da bacia hidrográfica, em alguns locais da formação Serra Geral ao noroeste, nas Formações Aluviais, principalmente na planície logo após a encosta e na parte sudeste, próximo ao exutório do Rio Vacacaí-Mirim e, nas partes mais declivosas, próximo ao município de São João do Polêsine. As maiores profundidades do nível estático estão sobre a formação Serra Geral a nordeste da bacia hidrográfica e, principalmente, sobre os afloramentos da formação Membro Alemoa, nas proximidades da zona urbana de Santa Maria, a oeste da bacia hidrográfica e na parte central da bacia.

Tabela 1 - Nível estático, código e respectivas cargas dos poços na área da bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim – RS, 2014.

Intervalos de nível estático (m)	Código do poço	Carga
0 – 1,5	P4, P7, P12, P25, P29, P99, P111, P116, P120	10
1,5 – 4,6	P1, P11, P17, P18, P20, P22,P23, P31, P35, P49, P68, P76, P77, P91	9
4,6 – 9,1	P2, P3, P8, P9, P28, P32, P51, P53, P60, P73, P80, P81, P82, P83, P88, P90, P97, P121	7
9,1 – 15,2	P5, P6, P24, P26, P37, P40, P42, P47, P56, P57, P58, P63, P67, P72, P74, P75, P78, P92, P93, P100, P101, P102, P106, P107, P112, P114, P115	5
15,2 – 22,9	P34, P50, P55, P84, P85, P86, P89, P96, P104, P109, P110, P119	3
22,9 – 30,5	P14, P27, P30, P33, P36, P41, P66, P69, P79, P94, P105, P108, P113, P117, P118	2
>30,5	P10, P13, P15, P16, P19, P21, P38, P39, P43, P44, P45, P46, P48, P52, P54, P59, P61, P62, P64, P70, P71, P87, P95, P98, P103	1

Figura 4 - Distribuição espacial da localização e dos níveis estáticos dos poços na área da bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim - RS, 2014.



VARIAÇÃO ESPACIAL DA RECARGA D'ÁGUA SUBTERRÂNEA E DAS FORMAÇÕES GEOLÓGICAS

Para o fator recarga total (R), a bacia hidrográfica está localizada em uma área do estado do Rio Grande do Sul onde a água infiltrada média anual é de 50 a 100 mm/ano (HAUSMAM, 1995). Conforme a metodologia DRASTIC, esse fator tem peso 4, e para o valor que ocorre na área da bacia hidrográfica tem carga 3.

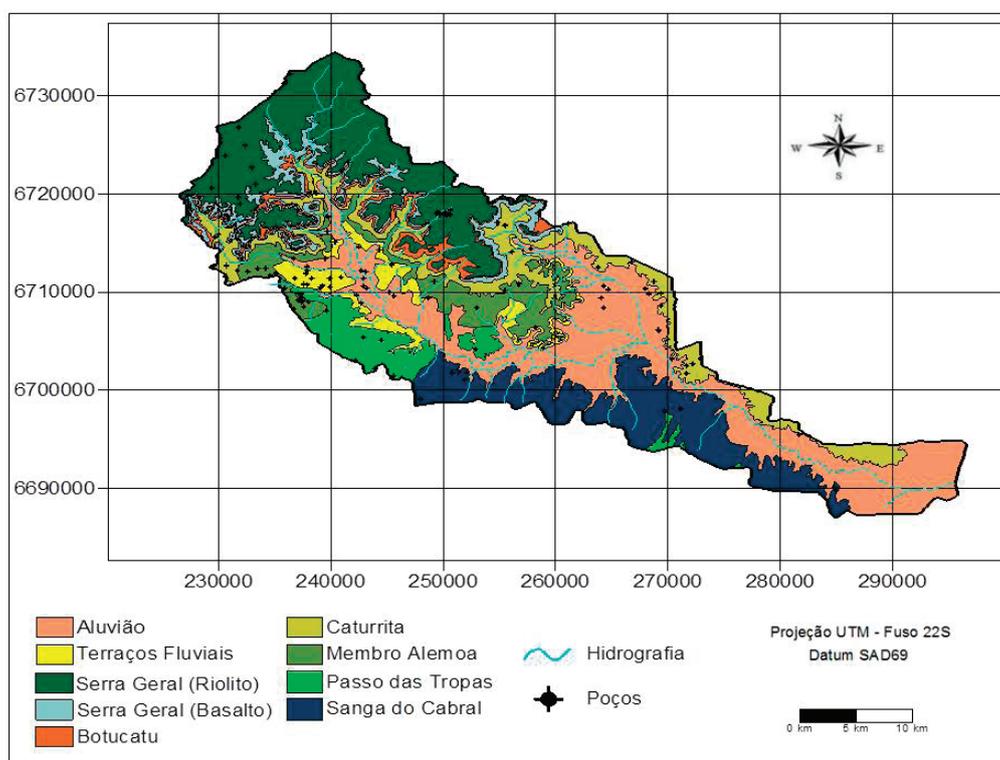
O fator meio aquífero (A) tem peso 3 e as cargas para cada um dos poços estão representadas na tabela 2, atribuídas conforme as características de cada uma das formações geológicas e, na figura 5, a distribuição espacial da água infiltrada média, em mm/ano.

As formações em que ocorre maior risco de contaminação, e por isso receberam os índices mais altos, foram Passo das Tropas, que possui uma condutividade hidráulica relativamente alta e configura-se um importante aquífero regional; Serra Geral, que apesar de tratar-se de um aquífero basicamente de fratura, foi atribuída a carga 9 por tratar-se de uma zona onde existe a incidência de arenitos intertraps, caracterizando um fluxo horizontal considerável, de modo que pode um certo poluente mover-se dentro da formação através destes; e Aluvião, por também possuir uma condutividade hidráulica considerável. É importante salientar que na área da bacia existe a ocorrência da formação Botucatu (Figura 5), que é extremamente vulnerável, mas que não aparece na aplicação do método por apresentar seus afloramentos em zonas muito declivosas, o que impede a construção de poços e reduz o risco de contaminação destas zonas. Nas demais regiões onde ela ocorre está encoberta pela formação Serra Geral, e para os poços destas áreas foi considerado o aquífero superior que, apesar de menos importante em termos de rendimento, é mais vulnerável pela proximidade com a superfície. As formações que receberam as menores cargas foram a formação Sanga do Cabral e a formação Membro Alemoa, por possuírem condutividades hidráulicas muito baixas, representando aquíferos de pouca ou nenhuma expressão.

Tabela 2 - Distribuição dos poços para cada tipo de meio aquífero e suas cargas na área da bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim - RS, 2014.

Meio Aquífero	Código do poço	Carga
Serra Geral	P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P13, P14, P15, P16, P17, P18, P19, P20, P21, P22, P23, P25	9
Passo das Tropas	P35, P36, P38, P39, P41, P43, P44, P45, P46, P48, P50, P53, P54, P55, P56, P57, P58, P61, P64, P65, P66, P69, P70, P71, P72, P75, P78, P81, P84, P87, P88, P89, P90, P93, P95, P96, P97, P98, P101, P102, P103, P104, P107, P110, P114	9
Aluvião	P24, P28, P31, P32, P33, P37, P42, P47, P49, P51, P60, P67, P68, P73, P74, P77, P80, P82, P83, P85, P86, P91, P94, P99, P100, P106, P119	8
Caturrita	P12, P26, P27, P29, P30, P40, P62, P63, P79, P92, P105, P108, P109, P113	5
Terraços Fluviais	P34	4
Sanga do Cabral	P111, P112, P115, P116, P117, P118, P120, P121	2
Membro Alemoa	P52, P59, P76	1

Figura 5 - Variação espacial da água infiltrada média, em mm/ano, para o estado do Rio Grande do Sul e Geologia da Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim - RS, 2014.



Fonte: Hentges (2009).

VARIAÇÃO ESPACIAL DOS SOLOS E DECLIVIDADES

Para o parâmetro Solo (S), as cargas correspondentes a cada poço estão representadas na tabela 3, sendo que este parâmetro, dentro da metodologia DRASTIC, tem peso 2.

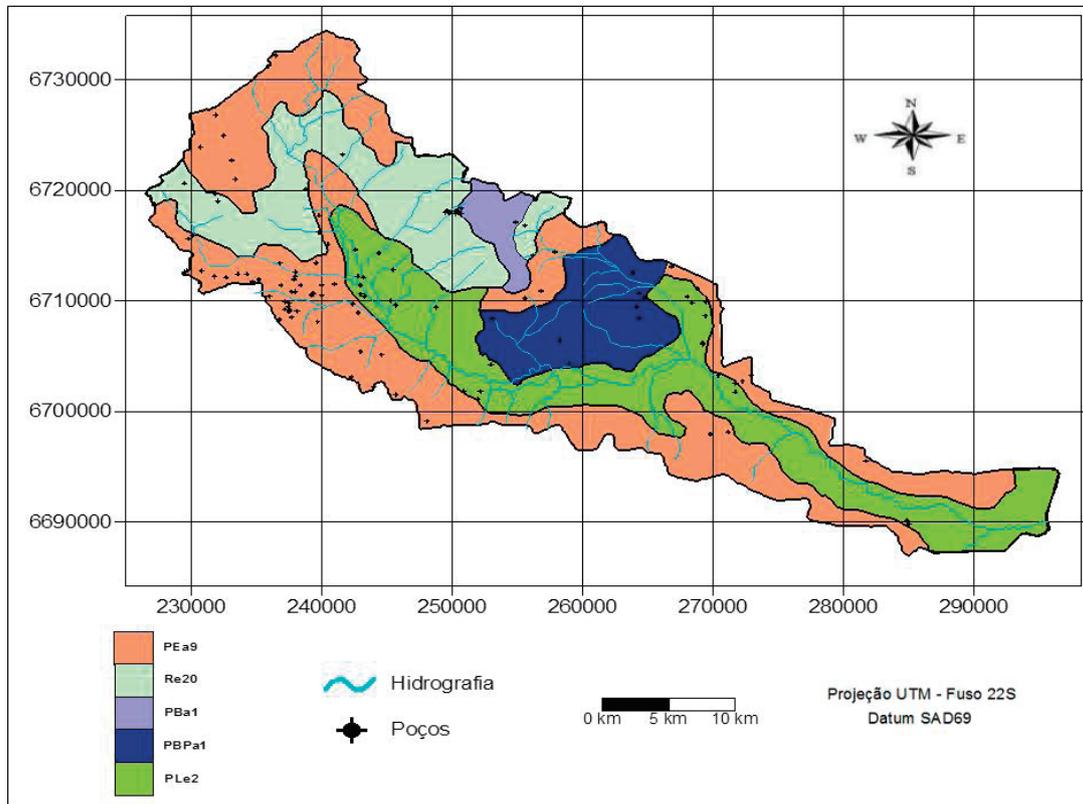
Tabela 3 - Distribuição dos poços para cada tipo de solo e suas cargas, na área da bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim - RS, 2014.

Solo	Código do poço	Carga
Re20	P8, P11, P12, P13, P14, P16, P17, P18, P19, P20, P21, P23, P27, P28, P35	10
PBa1	P15, P22, P25	10
PLe2	P32, P34, P39, P49, P51, P60, P62, P68, P73, P74, P77, P79, P80, P83, P86, P92, P99, P100, P10, P106, P109, P111, P113, P120, P121	6
PEa9	P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P9, P10, P24, P26, P29, P30, P31, P33, P36, P37, P38, P40, P41, P42, P43, P45, P46, P47, P48, P50, P52, P53, P54, P55, P56, P57, P58, P59, P61, P63, P64, P65, P66, P69, P70, P71, P72, P76, P78, P81, P82, P84, P87, P88, P89, P90, P91, P93, P96, P97, P101, P102, P105, P107, P108, P110, P112, P114, P115, P116, P117, P118, P119	3
PBPa1	P44, P67, P75, P85, P94, P95, P98, P103	3

Para os solos PEa9 e PBPa1, foi atribuída a carga 3 por se tratarem de solos com textura de média argilosa à argilosa. Estes tipos de solos ocorrem nas partes mais altas, ou seja, no planalto e nos limites da bacia hidrográfica (Figura 6). Os poços localizados em área de solo PLe2 receberam

carga 6, uma vez que se tratam de solo com textura arenosa/média, e localizam-se nas regiões de planícies. Os solos PBa1 e Re20 receberam carga 10, visto que se tratam de solos com textura cascalhenta. Esses solos situam-se nas áreas com declividades acentuadas.

Figura 6 - Solos da Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim - RS.



Fonte: adaptado de IBGE (2002).

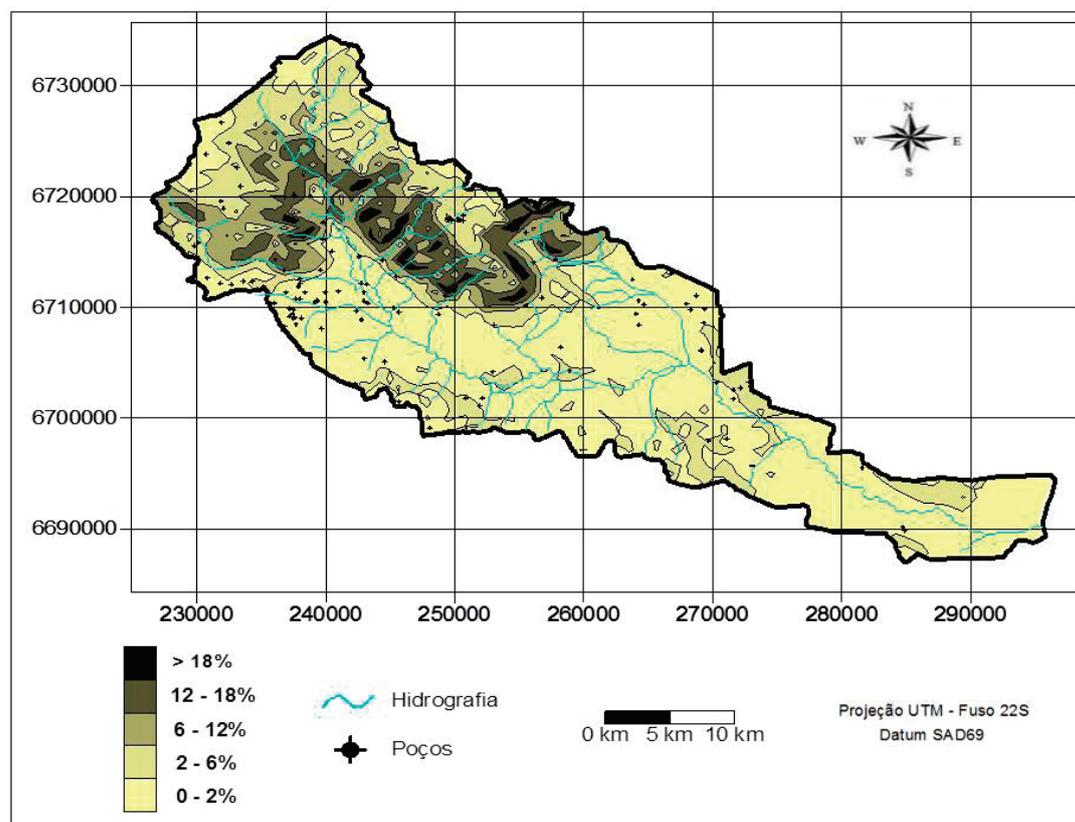
Para o parâmetro topografia (T), os poços foram classificados conforme a sua localização dentro do mapa de declividades, este com as classes determinadas pelo método DRASTIC. Este parâmetro tem peso 1, e as cargas para cada um dos poços estão representadas na tabela 4.

Tabela 4 - Classes de declividades dos poços e suas respectivas cargas na área da bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim - RS, 2014.

Declividades (%)	Código dos poços	Carga
0 – 2	P1, P3, P4, P5, P7, P16, P18, P19, P23, P31, P40, P41, P42, P43, P44, P45, P46, P47, P48, P49, P50, P51, P53, P55, P56, P57, P58, P59, P60, P61, P62, P64, P65, P66, P67, P68, P69, P70, P71, P72, P73, P74, P75, P77, P78, P79, P80, P81, P82, P83, P84, P85, P86, P87, P88, P89, P90, P91, P92, P93, P94, P96, P97, P98, P99, P100, P101, P102, P104, P106, P107, P110, P111, P113, P114, P116, P117, P119, P120, P121	10
2 – 6	P2, P6, P9, P10, P11, P13, P14, P15, P17, P20, P21, P22, P28, P29, P30, P32, P34, P37, P38, P39, P52, P54, P63, P95, P103, P105, P108, P109, P112, P115, P118	9
6 – 12	P8, P12, P24, P26, P27, P33, P35, P76	5
12 – 18	P36	3
>18	P25	1

As maiores declividades são observadas no rebordo do planalto, e as menores ocorrem nas planícies da depressão central e no planalto (Figura 7).

Figura 7 - Espacialização das declividades na área da Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim - RS, 2014.



ZONA VADOSA E CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA

O fator impacto da zona vadosa (I) tem peso 5, e as cargas para cada um dos poços estão representados na tabela 5. Esse fator é muito importante, pois se trata da zona que será percorrida por um possível poluente antes de chegar à zona saturada. As cargas mais elevadas são atribuídas às formações geológicas Serra Geral, por ser uma formação fraturada, o que representa alta permeabilidade, e Passo das Tropas, por tratar-se de arenito muito permeável, transmitindo facilmente qualquer tipo de contaminante. As menores cargas são atribuídas às formações Sanga do Cabral por possuir baixa permeabilidade, e Membro Alemoa, que tem baixíssima permeabilidade, de forma que pode ser classificada como aquíclode (rochas com elevada porosidade, entretanto, com baixa permeabilidade).

Tabela 5 - Zona vadosa e suas respectivas cargas para as diferentes formações geológicas da Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim – RS, 2014.

Zona Vadosa	Código do poço	Carga
Serra Geral	P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P13, P14, P15, P16, P17, P18, P19, P20, P21, P22, P23, P25	9
Passo das Tropas	P97, P101, P102, P104, P107, P110, P114	9
Aluvião	P24, P28, P31, P32, P33, P37, P42, P49, P51, P60, P67, P68, P73, P74, P75, P77, P80, P82, P83, P85, P86, P91, P94, P99, P100, P106, P119	7
Terraços Fluviais	P12, P34, P47, P53, P56, P57, P58, P59, P64, P65, P66, P69, P70, P71, P98, P103	5
Caturrita	P26, P27, P29, P30, P35, P38, P40, P41, P44, P62, P63, P78, P79, P92, P105, P108, P109, P113	4
Sanga do Cabral	P111, P112, P115, P116, P117, P118, P120, P121	3
Membro Alemoa	P36, P39, P43, P45, P46, P48, P50, P52, P54, P55, P61, P72, P76, P81, P84, P87, P88, P89, P90, P93, P95, P96	1

Para o fator condutividade hidráulica (C), nas diferentes formações geológicas da área da bacia hidrográfica, foram utilizados, para cada formação, os valores médios encontrados em DRH-SEMA (2005), Rauber (2008) e Chaves (2009), tabela 6. Esse fator tem peso 3 e trata da condutividade hidráulica da zona saturada. Os valores para cada um dos poços estão dispostos na tabela 7. A formação Serra Geral recebeu carga 8 por possuir uma condutividade hidráulica muito variável, de forma que pode, nas zonas mais fraturadas, chegar a mais de $80 \text{ m}^2 \text{ dia}^{-1}$. A formação Passo das Tropas recebeu carga 2 por possuir em algumas áreas cargas maiores que $4 \text{ m}^2 \text{ dia}^{-1}$. As demais formações receberam peso 1 por possuírem condutividades médias menores que $4 \text{ m}^2 \text{ dia}^{-1}$.

Tabela 6 - Condutividades hidráulicas médias para as diferentes formações geológicas na área da bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim - RS, 2014.

Formação geológica	Condutividade hidráulica média ($\text{m} \cdot \text{dia}^{-1}$)	Referência
Serra Geral	0,0086 – 86,4	DRH-SEMA (2005)
Botucatu	1 – 1,2	DRH-SEMA (2005)
Caturrita	0,13	Rauber (2008)
Membro Alemoa	$1,9 \times 10^{-3}$	Rauber (2008)
Passo das Tropas	3,45 – 7,76	DRH-SEMA (2005)
Sanga do Cabral	$2,4 \times 10^{-2}$ - 0,48	DRH-SEMA (2005)
Terraços Fluviais	0,35	Chaves (2009)
Aluvião	1,3	Rauber (2008)

Tabela 7 - Faixas de condutividades médias e suas respectivas cargas na área da bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim - RS, 2014.

Faixas de condutividade hidráulica média (m.dia ⁻¹)	Código dos poços	Carga
41 - 82	P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P13, P14, P15, P16, P17, P18, P19, P20, P21, P22, P23, P25	8
4 - 12	P35, P36, P38, P39, P41, P43, P44, P45, P46, P48, P50, P53, P54, P55, P56, P57, P58, P61, P64, P65, P66, P69, P70, P71, P72, P75, P78, P81, P84, P87, P88, P89, P90, P93, P95, P96, P97, P98, P101, P102, P103, P104, P107, P110, P114	2
0 - 4	P12, P24, P26, P27, P28, P29, P30, P31, P32, P33, P34, P37, P40, P42, P47, P49, P51, P52, P59, P60, P62, P63, P67, P68, P73, P74, P76, P77, P79, P80, P82, P83, P85, P86, P91, P92, P94, P99, P100, P105, P106, P108, P109, P111, P112, P113, P115, P116, P117, P118, P119, P120, P121	1

VULNERABILIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Os resultados dos índices DRASTIC para cada um dos poços estão na tabela 8. Os índices obtidos oscilam entre 43 e 183, isso significa que as áreas variam de pouco vulneráveis a extremamente vulneráveis. Na classe pouco vulnerável, com índices de 35 a 65, encontram-se 4 poços. Estas áreas ficaram assim classificadas pela metodologia, principalmente, pela grande profundidade do lençol e pelo fato de a zona vadosa ser uma formação geológica pouco permeável. Na classe vulnerável, de 65 a 95, existem 43 poços. Com índices entre 95 e 120, representando a classe muito vulnerável, existem 23 poços. Já na classe extremamente vulnerável, com índices maiores que 120, existem 51 poços. Ela ocorre principalmente no planalto (Figura 7), devido à ocorrência da formação Serra Geral, que se trata de uma formação fraturada, o que facilita o deslocamento de um possível contaminante. Ela também ocorre no início da planície aluvial, por ser nesse local o nível estático muito próximo à superfície, e no afloramento da formação Passo das Tropas, por ser extremamente permeável.

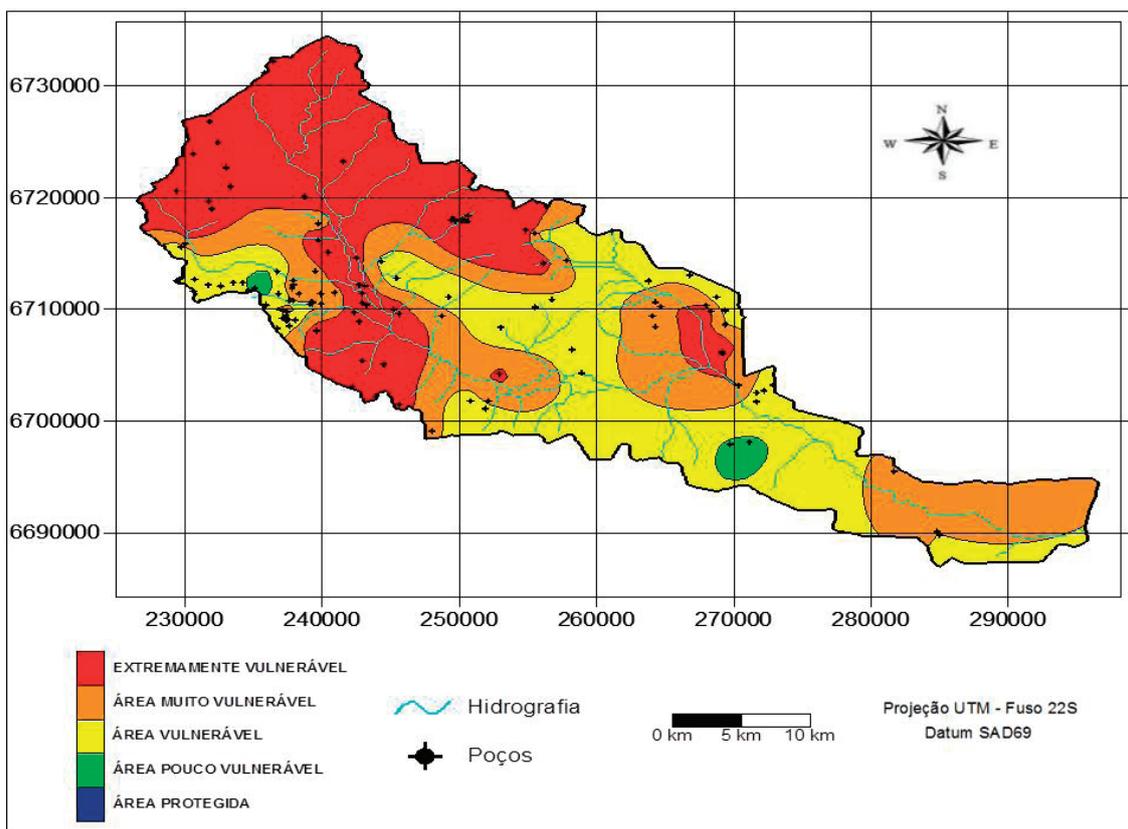
Tabela 8 - Distribuição dos poços da área da bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim - RS nas classes de vulnerabilidade DRASTIC.

Classes DRASTIC	Código do poço	Índice
Extremamente Vulnerável	P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14, P15, P16, P17, P18, P19, P20, P21, P22, P23, P25, P28, P31, P32, P35, P49, P51, P53, P60, P68, P73, P74, P75, P77, P80, P82, P83, P91, P97, P99, P100, P101, P102, P104, P106, P107, P110, P114	>120
Muito Vulnerável	P24, P29, P37, P42, P47, P56, P57, P58, P66, P67, P69, P78, P81, P85, P86, P88, P90, P92, P94, P111, P116, P119, P120	95 - 120
Vulnerável	P26, P27, P30, P33, P34, P36, P38, P39, P40, P41, P43, P44, P45, P46, P48, P50, P54, P55, P61, P62, P63, P64, P65, P70, P71, P72, P76, P79, P84, P87, P89, P93, P95, P96, P98, P103, P105, P108, P109, P112, P113, P115, P121	65 - 95
Pouco Vulnerável	P52, P59, P117, P118	35 - 95

Na parte central da bacia, também aparece a classe extremamente vulnerável, fato ocasionado principalmente pelo nível freático próximo à superfície. Porém, nos poços que apresentam surgência, ocorre uma superestimação da vulnerabilidade. Isso acontece porque o nível estático nestes pontos é igual a zero, fazendo com que o índice DRASTIC assumira valores muito altos, já que essa variável tem peso 5. Todavia a vulnerabilidade nesses pontos é baixa, pois o fato de existir surgência significa que a pressão da água no aquífero é exercida de dentro para fora, motivo que torna impossível a entrada de qualquer contaminante no sistema.

Pelos resultados representados na figura 8, constata-se que a espacialização da vulnerabilidade, aliada a outras técnicas e atividades, é extremamente útil no estabelecimento de programas de manejo e monitoramento dos recursos hídricos subterrâneos, servindo como base para o desenvolvimento de políticas públicas voltadas para o assunto.

Figura 8 - Representação espacial da vulnerabilidade das águas subterrâneas na Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim – RS, 2014.



CONCLUSÃO

Em função dos resultados obtidos referentes à vulnerabilidade das águas subterrâneas da bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim - RS, conclui-se:

- existem áreas classificadas como de extrema e muito vulneráveis, principalmente em função das formações geológicas com alta permeabilidade ou de níveis estáticos próximos à superfície;

- áreas de menor vulnerabilidade ocorrem principalmente nas formações geológicas com características físicas que não permitem a transmissão de possíveis contaminantes, e onde a água subterrânea se encontra a grandes profundidades;
- as áreas de extrema e muito vulneráveis estão localizadas na região do planalto, noroeste da bacia hidrográfica, onde se encontra a formação geológica Serra Geral, com fraturas, no início da planície aluvial, com nível estático muito próximo à superfície e na formação Passo das Tropas, planície aluvial, extremamente permeável;
- as áreas menos vulneráveis estão localizadas na parte central e no extremo sudeste da bacia hidrográfica, onde, apesar de o nível freático estar próximo à superfície, a pressão da água no aquífero é exercida de dentro para fora, impedindo a entrada de contaminantes no sistema.

REFERÊNCIAS

ALLER, L. et al. **DRASTIC**: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. Washington, D.C: Environmental Protection Agency Report 600/2-87-035, 1987.

CAMPONOGARA, I. **Vulnerabilidade natural no sistema aquífero guarani e análise de parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas em Quaraí, Br e Artigas, Uy**. 2006. 103f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

CASAGRANDE, L. **Avaliação do parâmetro de propagação de sedimentos dos modelos de Williams (1975) na bacia do Rio Vacacaí-Mirim com o auxílio de técnicas de geoprocessamento**. 2004, 256f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004, 256p.

CHAVES, A. de. **Monitoramento de águas subterrâneas em um empreendimento potencialmente poluidor no município de Santa Maria/RS**. 2009. 187f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

DRH/SEMA. **Consolidação do conhecimento sobre os recursos hídricos da Bacia do Rio Pardo e elaboração do Programa de Ações da Sub-bacia do Rio Pardinho**. Porto Alegre: Governo do Estado do Rio Grande do Sul/Secretaria Estadual do Meio Ambiente - SEMA/Departamento de Recursos Hídricos, 2005.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA - SPI, 1999. 412p.

FOSTER, S.; HIRATA, R. **Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas: um método baseado em dados existentes**. São Paulo: Instituto Geológico, 1993. (Boletim N. ° 10).

FOSTER, S. S. D. Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. In: *Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants*, 38., 1987, Noordwijk. **Proceedings and Information of the International Conference held in the Netherlands**. Noordwijk: TNO Committee on Hydrological Research, 1987. p. 69-86.

FOSTER, S.; HIRATA, R. **Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas: um método baseado em dados existentes**. São Paulo: Instituto Geológico, 1993. (Boletim N. ° 10).

HAUSMAM, A. **Províncias Hidrogeológicas do Rio Grande do Sul**. São Leopoldo/RS: Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 1995.

HENTGES, S. C. **Geologia da área da bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim-RS**. 2009. Trabalho Final de Graduação (Graduação em Engenharia Ambiental) - Centro Universitário Franciscano, Santa Maria, 2009.

HIRATA, R. **Protección de acuíferos frente a la contaminación: metodología**. In: I SEMINARIO-TALLER. Toluca, México: 20-22 de Junio de 2001.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de solos do Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro: IBGE, 2002.

KUINCHTNER, A.; BURIOL, G. A. Clima do estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de köppen e Thornthwaite. *Disciplinarum Scientia*. Série: Ciências Exatas, Santa Maria, v. 2, n.1, p. 171-182, 2001.

MACIEL FILHO et al. (Org.) **Geologia e geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim, RS**. Santa Maria: Centro Universitário Franciscano, 2013 (CD).

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988.

RAUBER, A. C. C. **Diagnóstico ambiental urbano do meio físico de Santa Maria – RS**. 2008. 98f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

RIBEIRA, F. **Calidad, contaminación y protección de acuífero**. In: III CURSO HISPANOAMERICANO DE HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA. Montevideo-UY: 2004.

SEPLAN - SECRETARIA DE PLANEJAMENTO DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Levantamento dos recursos naturais**. Rio de Janeiro: IBGE, 1986. 796 p.

SIAGAS - SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. 2010. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/bases/siagas> >. Acesso em: mar. 2010.

