



Estudos de Caso e Notas

Alerta: Os artigos publicados nesta seção não são avaliados por pares e não são indexados. A intenção da seção ECNT é prover um espaço para divulgação de dados e estudos de interesse local, sem caráter científico. Sendo assim, a Revista Águas Subterrâneas não se responsabiliza pelo conteúdo publicado.

Disclaimer: Articles published in this section are not peer-reviewed and are not indexed. The intention of the ECNT section is to provide a space for the dissemination of data and studies of local interest, with no scientific character. Therefore, Revista Águas Subterrâneas is not responsible for this content.

Avaliação do perigo de contaminação das águas subterrâneas por fontes pontuais nos municípios do Vale do Taquari – RS

Hazard assessment of groundwater contamination by point sources in the cities of Vale do Taquari - RS

Suélen Capalonga¹ ✉

¹ Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, Rio Grande do Sul.

✉ suelencapalonga@gmail.com

Resumo

Avaliar o risco de contaminação dos aquíferos é uma importante ferramenta para a proteção da qualidade da água subterrânea, e como gestão para a alocação de novos empreendimentos, instalação de poços e delimitação de áreas de maior perigo. A região do Vale do Taquari apresenta 432 poços em situação de bombeamento e equipados, extraindo água principalmente para abastecimento doméstico e animal. Por isso, é fundamental mapear o perigo de contaminação da água subterrânea, que compreende a sobreposição de dois mapas, o de vulnerabilidade natural do aquífero, obtido através do método DRASTIC, e o das fontes potenciais de contaminação, classificadas de acordo com o método POSH. Os resultados demonstram que a maior representatividade no mapa de vulnerabilidade pertence ao valor moderado, com 79%, seguido por reduzido, com 16%, e elevado 5%. A multiplicação entre os mapas evidenciou que a classificação de perigo moderada corresponde a 46% da área analisada, seguida por reduzido com 38%, desprezível com 10% e por fim 6% com índice elevado, concentrado no município de Estrela. Além disso foi possível constatar que 56 poços se encontram nas zonas analisadas. Espera-se que esse trabalho seja importante para os municípios com o intuito de preservar as áreas de elevada vulnerabilidade, assim como alertar áreas com alto perigo de contaminação. E que sirva de motivação para o detalhamento do mapeamento de índices, solos e geologia da região do Vale do Taquari.

Abstract

Assessing the risk of aquifer contamination is an important tool for groundwater quality protection and management for the allocation of new business, the installation of wells and the delimitation of areas of greatest danger. The Vale do Taquari region has 432 wells pumped and equipped, extracting water mainly for domestic and animal supplies. Therefore, it is essential to map the danger of groundwater contamination, which comprises the overlap of two maps, the natural vulnerability of the aquifer, obtained by the DRASTIC method, and the potential sources of contamination, classified according to the POSH method. The results show that the largest representation in the vulnerability map is moderate, with 79%, followed by reduced, 16%, and high 5%. The multiplication between the maps showed that the moderate hazard classification corresponds to 46% of the analyzed area, followed by reduced with 38%, negligible with 10% and finally 6% with high index, concentrated in the city of Estrela. In addition it was found that 56 wells are in the analyzed areas. This work is expected to be important for municipalities in order to preserve areas of high vulnerability, as well as to alert areas with a high risk of contamination. And that serves as motivation for the detailed mapping of indices, soils and geology of the Vale do Taquari region.

DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v33i4.29600>

Palavras-chave:

DRASTIC.
POSH.
contaminação.
água subterrânea.

Keywords

DRASTIC .
POSH .
contamination .
underground water.

1. INTRODUÇÃO

O perigo de contaminação da água subterrânea pode ser definido como a probabilidade de que determinadas atividades humanas alterem a qualidade da água, de modo que a mesma se torne imprópria para consumo humano, não atendendo os parâmetros de potabilidade estabelecidos pela legislação (FOSTER et al., 2006). Devido à importância da água subterrânea para consumo humano, na agropecuária e atividades industriais, é imprescindível a identificação de pontos críticos e pontos favoráveis para instalação de poços e novas atividades a fim de proteger esse recurso, evitando gastos com tratamento de água e mantendo a qualidade ambiental dos ambientes.

Segundo Foster et al. (2006) o perigo de contaminação de água subterrânea depende de dois fatores, a carga contaminante que é aplicada ao subsolo como resultado de atividades humanas e a vulnerabilidade do aquífero, resultado das características naturais dos estratos que separam o aquífero da superfície.

A vulnerabilidade então é uma função da acessibilidade da penetração dos contaminantes ao aquífero saturado e a capacidade de atenuação dos estratos de cobertura da zona saturada, resultante da retenção físico-química ou da reação dos contaminantes com o meio (FOSTER et al., 2006). Vários métodos são utilizados para o mapeamento da vulnerabilidade, entre eles o DRASTIC, de Aller et al. (1987), que objetiva quantificar a vulnerabilidade relativa pela soma dos índices ponderados obtidos para sete variáveis hidrogeológicas. O principal objetivo da metodologia é auxiliar na alocação de recursos e na priorização das diversas atividades relacionadas às águas subterrâneas (GUIGUER e KOHNKE, 2002).

As cargas contaminantes apresentam quatro características fundamentais e parcialmente independentes, sendo elas a classe do contaminante (persistência), a intensidade da contaminação, o modo de descarga e duração da aplicação da carga contaminante (FOSTER e HIRATA, 1988). As fontes de poluição podem ser pontuais, com plumas definidas e mais concentradas, como as indústrias, centro de disposição de resíduos, cemitérios e outros. E também difusas, normalmente afetando uma região, como as áreas urbanizadas sem saneamento básico e agricultura. Para classificação das cargas contaminantes, um modelo de simples aplicação é o método POSH (pollutant origin, surcharge hydraulically), que se baseia em duas características fáceis de estimar, a origem do poluente e sua sobrecarga hidráulica (FOSTER et al., 2006).

De acordo com o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (CPRM, 2017), no Vale do Rio Taquari há 432 poços bombeando e equipados, extraindo água das formações Serra Geral, Santa Maria, Botucatu e Pirambóia, em todos os municípios. Aproximadamente 63% dos poços são para abastecimento doméstico e animal, 25% para abastecimento urbano e o restante para abastecimento industrial e de usos múltiplos.

Assim sendo, é evidente que a água subterrânea é relevante para a região, e por isso o objetivo desse trabalho foi mapear o perigo de contaminação da água subterrânea dos municípios com atividade industrial significativa, determinados através do produto interno bruto - PIB. Para obtenção do resultado final, foi necessário definir a vulnerabilidade natural do aquífero, realizada através do método DRASTIC (ALLER et al., 1987), estabelecendo os níveis de fragilidade dos estratos do aquífero e acima dele, às possíveis cargas de contaminação. Também foi necessário identificar as fontes potenciais de contaminação pontuais, classificando-as de acordo com o método POSH, delimitando as áreas analisadas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A área estudada está inserida na região do Vale do Rio Taquari, situada na região central do Rio Grande do Sul. É formado por 36 municípios, totalizando uma área de 4.821,1 km² (1,71% do Estado). Em 2017, segundo dados do IBGE (2018) a região contava com 351.999 habitantes (3,11% da população gaúcha), e uma densidade demográfica de 73 hab/km², enquanto no Estado atinge 40 hab/km².

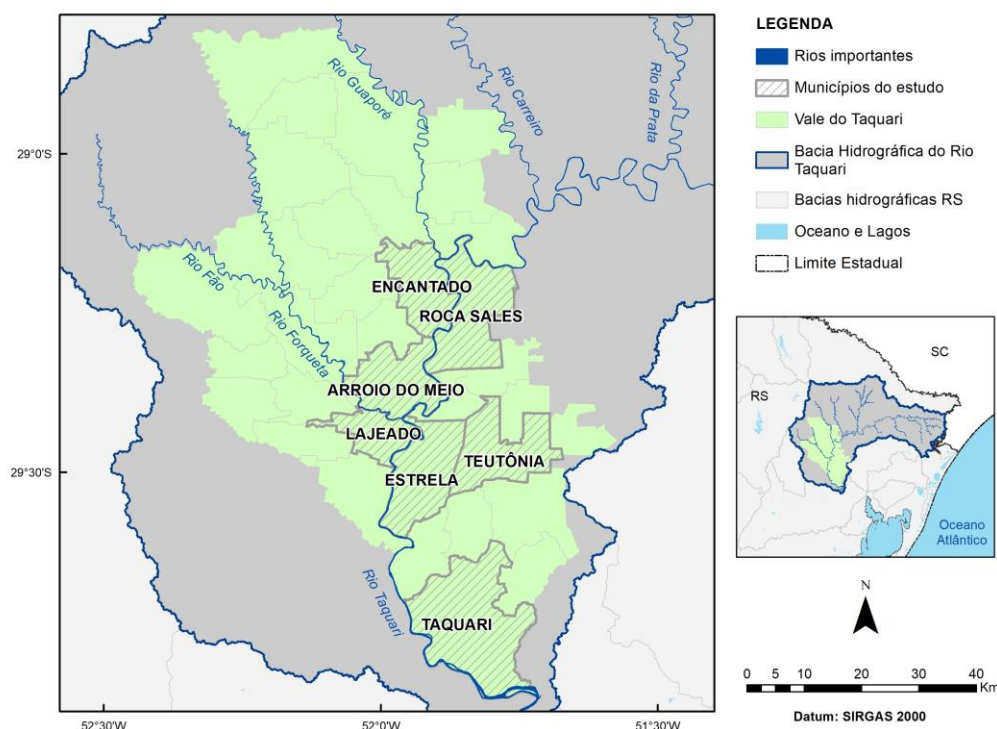
Mudanças significativas aconteceram nas últimas décadas com a instalação de novas indústrias e serviços na região. Em 1970, 74,27% da população vivia no meio rural, enquanto em 2010, 73,84% viviam na zona urbana (IBGE, 2010). A agropecuária predomina nos municípios do interior e de menores renda, em contrapartida, nos municípios de maior renda e no centro do Vale do Taquari predominam as atividades industriais e de comércio.

Para o presente estudo foram escolhidos os municípios de maior PIB, com base no ano de 2016, e nos quais o VAB (Valor adicionado bruto) maior fosse de origem industrial, visto que as fontes pontuais de contaminação são o foco do trabalho. Para isso foi consultado o SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática (IBGE, 2018), para obtenção dos dados dos municípios do Vale do Taquari, e posteriormente foram classificados de acordo com o PIB e VAB, conforme pode ser visto na Tabela 1, resultando nos municípios de Lajeado, Estrela, Teutônia, Arroio do Meio, Encantado, Taquari e Roca Sales, apresentados na Figura 1.

Tabela 1 – Relação do Produto Interno Bruto (PIB) e Valor Adicionado Bruto (VAB) (IBGE, 2018).

Município	PIB	VAB	VAB Agricultura	VAB Indústria
Lajeado	3499396	2963567	14462	742465
Estrela	1248305	1097559	73213	350636
Teutônia	1094736	972436	64705	338291
Arroio do Meio	979937	843534	50883	393728
Encantado	768581	681120	31080	215418
Taquari	690912	608112	54237	203252
Roca Sales	442422	400497	40491	196537

Figura 1 – Mapa dos municípios do estudo



2.2. Vulnerabilidade de aquífero

Para esse fator foi utilizado como base o mapa da vulnerabilidade da água subterrânea da bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas (CAPALONGA, 2017), de resolução 30 metros. No qual vulnerabilidade foi mapeada de acordo com o método DRASTIC de Aller et al., 1987, o qual estima a vulnerabilidade através de parâmetros considerados importantes para controle de poluição de água subterrânea. São eles a profundidade (D), a recarga (R), o meio aquífero (A), o solo (S), a topografia (T), influência da zona vadosa (I) e a condutividade hidráulica (C). À cada parâmetro é atribuído um peso, de acordo com sua relevância, e os seus valores podem variar de 1 a 10, conforme as características da área de estudo e em comparação com o método, apresentados na Tabela 2. Por fim, a vulnerabilidade é obtida através da soma da multiplicação dos valores dos sete parâmetros e seus pesos, como pode ser vista na Equação 1.

$$DRASTIC=(D_i \times D_p)+(R_i \times R_p)+(A_i \times A_p)+(S_i \times S_p)+(T_i \times T_p)+(I_i \times I_p)+(C_i \times C_p) \quad (1)$$

Onde:

D_i , R_i , A_i , S_i , T_i , I_i e C_i : são os valores de cada fator;

D_p , R_p , A_p , S_p , T_p , I_p e C_p : são os pesos atribuídos a cada fator.

Tabela 2 – Valores e pesos dos parâmetros do DRASTIC. (VAB) (ALLER et al., 1987)

D – Profundidade do nível estático (m) – Peso: 5	Índice DRASTIC	T- Topografia – Peso: 1	Índice DRASTIC
< 1,5	10	< 2	10
1,5 a 4,6	9	2-6	9
4,6 a 9,1	7	6-12	5
9,1 a 15,2	5	12-18	3
15,2 a 22,9	3	> 18	1
22,0 a 30,5	2		
> 30,5	1		
R – Recarga (mm/ano) – Peso: 4	Índice DRASTIC	I – Influência da zona vadosa – Peso: 5	Índice DRASTIC
< 51	1	Camada confinante	1
51 a 102	3	Argila/silte	2-6
102 a 178	6	Xisto argiloso, argilito	2-5
178 a 254	8	Calcário	2-7
> 254	9	Arenito	4-8
A – Meio aquífero – Peso: 3	Índice DRASTIC	Arenito, calcário e argilito estratificados	4-8
Xisto argiloso/argilito	1-3	Areia e cascalho com percentagem significativa	4-8
Rocha metamórfica/ígnea	2-5	Rocha metamórfica/ígnea	2-8
Rocha metamórfica/ígnea alterada	3-5	Areia e cascalho	6-9
Arenito, calcário e argilito estratificado	5-9	Basalto	2-10
Arenito maciço	4-9	Calcário carstificado	8-10
Calcário maciço	4-9	C - Condutividade hidráulica (cm/s) – Peso: 3	Índice DRASTIC
Areia e cascalho	4-9	4x10 ⁻⁵ - 4x10 ⁻³	1
Basalto	2-10	4x10 ⁻³ - 1,2x10 ⁻²	2
Calcário carstificado	9-10	1,2x10 ⁻² - 2,8x10 ⁻²	4
S – Solos – Peso: 2	Índice DRASTIC	2,8x10 ⁻² - 4x10 ⁻²	6
Fino ou ausente	10	4x10 ⁻² - 8x10 ⁻²	8
Cascalhoso	10	> 8x10 ⁻²	10
Areia	9		
Turfa	8		
Argila agregável e/ou expansível	7		
Franco arenoso	6		
Franco	5		
Franco siltoso	4		
Franco argiloso	3		
Muck	2		
Argila não agregada e não expansível	1		

Para o mapeamento da vulnerabilidade foi utilizado o Software ArcGis, versão 10.5, da ESRI (2016), e como sistema de referência Sirgas 2000. Por meio de ferramentas do programa e dados de diferentes fontes foram elaborados sete mapas, um para cada parâmetro, com células de 30 metros de tamanho, para posterior cálculo do índice em cada célula, conforme a Equação 1, e utilizando a ferramenta Raster Calculator.

A profundidade no nível d'água é importante, principalmente porque determina a profundidade pela qual o contaminante vai percorrer até chegar ao aquífero, e vai determinar por quanto tempo o contaminante vai permanecer em contato com o meio circundante. (ALLER et al., 1987). Esse parâmetro foi obtido para toda a bacia do rio Taquari-Antas, para tornar a interpolação mais significativa. Foram encontrados 1.940 valores de nível d'água estático extraídos dos dados dos poços tubulares registrados no SIAGAS (CPRM, 2017), presentes na bacia hidrográfica.

O parâmetro recarga corresponde à quantidade de água por unidade de área que penetra no solo e alcança o nível freático. Esta água de recarga pode viabilizar o transporte vertical do contaminante até o nível de água, e o transporte horizontal dentro do aquífero (ALLER et al., 1987). Esse fator foi estimado a partir do balanço hídrico da bacia do rio Taquari Antas, devido aos dados existentes, e conforme Collischonn e Dorneles (2013), utilizando as variáveis precipitação, evapotranspiração, escoamento superficial e capacidade de armazenamento de água no solo. Os dados de precipitação foram obtidos das estações pluviométricas presentes na bacia, disponibilizadas no Hidroweb, programa da Agência Nacional das Águas - ANA. A evapotranspiração anual potencial foi estimada por meio de Thornthwaite, que calcula a evapotranspiração em um intervalo de tempo mensal, a partir de dados de temperatura (COLLISCHONN e DORNELES, 2013). O escoamento superficial foi calculado realizando-se a multiplicação do coeficiente de escoamento (C) pela subtração entre a precipitação e a evapotranspiração. A capacidade de armazenamento de água no solo foi obtida a partir de Rossato (2002), que estima os valores de armazenamento de água no solo por meio da capacidade de campo e do ponto de murcha utilizando funções de pedo-transferência.

O fator meio aquífero corresponde ao material, consolidado ou não, que atua como aquífero. A sua classificação foi baseada nos Mapas de Geodiversidade e de Hidrogeologia e o shapefile de Estruturas do Rio Grande do Sul, publicados em 2010 pela CPRM, na escala 1:750.000, por meio das características composição, fraturamento, porosidade e média de densidade de lineamentos de cada unidade hidrogeológica.

O meio do solo refere-se a parte superficial da zona vadosa, caracterizada pela atividade biológica significativa, e tem importância devido a sua taxa de infiltração no solo e mobilidade do contaminante. Para a classificação do solo foi utilizado o Mapa de Solos do Rio Grande do Sul da CPRM, publicado em 2010, na escala (1:750.000), sendo analisado a textura e a capacidade de drenagem do solo.

A topografia ajuda a controlar o escoamento ou permanência do poluente na superfície tempo suficiente para infiltrar. Esse parâmetro foi adquirido a partir do Modelo Digital de Elevação da Shuttle Radar Topography Mission - SRTM, resolução 30 metros, obtida em 11 de fevereiro de 2000 e publicada no dia 23 de setembro de 2014, do site Earth Explorer (USGS, 2017). A influência da zona vadosa definida como a zona não-saturada acima do nível d'água, e a constituição dessa região determina as características de atenuação do material abaixo do solo e acima do nível freático (MENESES, 2007). Para a classificação foi utilizado o Mapa de Solos da CPRM, levando em consideração os valores de resistência a impactos ambientais, que abrange as características do solo (profundidade, textura, mineralogia, gradiente textural, drenagem natural, lençol freático, lençol suspenso, erodibilidade, pedregosidade e rochiosidade) ou do terreno (relevo local e declividade), e também a análise da textura para a classificação.

O fator condutividade representa a capacidade dos materiais do aquífero em transmitir água em seu interior, e assim controlar o grau de mobilidade de um contaminante (MENESES, 2007). Segundo FEITOSA e MANOEL FILHO (2000), em aquíferos fraturados a porosidade ocorre em função das fissuras, assim, em uma zona de maciço, onde não ocorre nenhuma fratura, a porosidade é praticamente nula. Desta forma é difícil estimar a espessura do aquífero, visto que ocorrem zonas não saturadas. E como a área de estudo original é composta predominantemente por basaltos, para este parâmetro foi utilizado a transmissividade em substituição da condutividade. O parâmetro foi obtido através de dados da CORSAN e outras empresas, distribuídos pela bacia do rio Taquari-Antas. E como não há classificação desse fator na literatura a atribuição de índices foi feita a partir do intervalo de quartis, que receberam os valores 2, 3, 5 e 7.

2.3. Fontes pontuais de poluição

A caracterização das cargas contaminantes foi feita conforme o método POSH, baseado em duas características, a origem do poluente e sua sobrecarga hidráulica. O método produz três níveis qualitativos de "potencial para gerar uma carga contaminante no subsolo": reduzido, moderado e elevado (FOSTER et al., 2006). A categorização e a obtenção dos dados seguiram o proposto na Tabela 1, a qual categoriza as fontes pontuais de poluição segundo o método utilizado.

Tabela 1 - Classificação das fontes de poluição pontuais segundo o método POSH (FOSTER et al., 2006)

POTENCIAL DE GERAR CARGA CONTAMINANTE NO SUBSOLO	FONTES DE CONTAMINAÇÃO				
	Disposição de resíduos sólidos	Áreas industriais *	Lagoas de águas residuais	Outras (urbanas)	Mineração e exploração de petróleo
Elevado	Resíduo industrial do tipo 3, resíduo de origem desconhecida	Indústria do tipo 3 ou qualquer atividade que manuseie > 100 kg/d de produtos perigosos Indústria tipo 2	Todos os resíduos industriais tipo 3, qualquer efluente (exceto esgoto residencial se a área > 5ha)		Operações em campos de petróleo, mineração de metais.
Moderado	Chuva > 500 mm/a com resíduos residências / agroindústrias / indústrias tipo 1, ou todos os demais casos		Esgoto residencial se a área > 5ha, demais casos não relacionados acima ou abaixo	Postos de gasolina, vias de transporte com tráfego regular de produtos químicos perigosos	Algumas atividades de mineração / extração de materiais inertes
Reduzido	Chuva < 500 mm/a com resíduos residências / agroindustriais / indústrias tipo 1	Indústria tipo 1	Água residuais residenciais, mistas, urbana, agroindustriais e de mineração de não metálicos	Cemitérios	

* solos contaminados de indústrias abandonadas devem ter a mesma classificação que a da própria indústria
 Indústrias Tipo 1: madeireiras, manufaturas de alimentos e bebidas, destilarias de álcool e açúcar, processamento de materiais não metálicos
 Indústrias Tipo 2: fábricas de borracha, fábricas de papel e celulose, indústrias têxteis, fábricas de fertilizantes, usinas elétricas, fábricas de detergente e sabão
 Indústrias Tipo 3: oficinas de engenharia, refinarias de gás/petróleo, fábricas de produtos químicos/farmacêuticos/plásticos/pesticidas, curtumes, indústrias eletrônicas, processamento de metal

Em relação às atividades industriais, quanto ao seu potencial de gerar carga contaminante no subsolo, o método se baseia no tipo de indústria em questão, pois isso controla a probabilidade de serem utilizados certos contaminantes da água subterrânea, e na provável sobrecarga hidráulica associada com a atividade industrial, calculada pelo volume de água utilizado. As indústrias foram identificadas através de consultas ao site da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler - FEPAM, buscando os Códigos de Ramo - CODRAM de cada atividade, estabelecidos na Resolução CONSEMA 372/2018. Foram desconsiderados os empreendimentos classificados como baixo potencial poluidor, e apenas as empresas licenciadas pela FEPAM e com licença vigente foram analisadas. Da mesma forma, foram obtidos os aterros sanitários e de resíduos industriais, os empreendimentos agrícolas de suinocultura, considerados devido à disposição de esterco e potencial poluidor significativo, e os postos de gasolina. As atividades foram especializadas no programa Google Earth (2019), através das coordenadas presentes na licença de operação.

Já as atividades de mineração podem causar poluição na água subterrânea, em virtude da possibilidade de mudança do destino do fluxo da água devido a escavações, remoção da zona vadosa, mobilização de metais pesados e outros compostos (FOSTER et al., 2006). As áreas de lavra foram adquiridas por meio do shapefile de processos minerários do Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM (2019), e apenas as áreas licenciadas foram destacadas. Também foram identificadas as rodovias que apresentam circulação de produtos perigosos, por meio do site do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT (2019), e escolhidas as que possuem circulação de 5 ou mais produtos, com base no shapefile de rodovias do Ministério do Meio Ambiente (2010). Os cemitérios

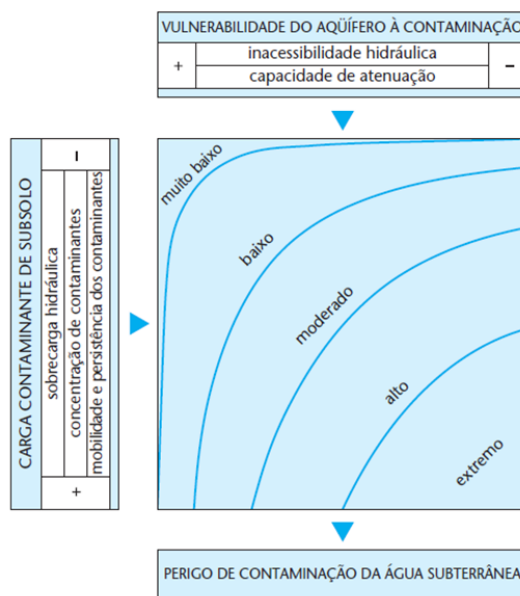
também foram levantados, através do Google Earth, entretanto a prática gera uma carga contaminante microbiológica relativamente pequena e restrita a uma certa área.

Todos itens foram classificados de acordo com o método POSH e receberam os valores de 1,2 e 3 para as categorias reduzido, moderado e elevado, respectivamente, levando em conta o potencial poluidor determinado pela Resolução CONSEMA 372/2018. Além de que para as fontes potenciais espacializadas através de localização pontual foi adicionado um buffer de 200 metros no entorno da localização, devido a tamanho dos empreendimentos. E por fim o shapefile foi transformado em um raster com resolução de 30 metros.

2.4. Avaliação do perigo de contaminação da água subterrânea

O perigo de contaminação da água subterrânea envolve o exame da sobreposição dos resultados do cadastro de carga contaminante de subsolo ao mapa de vulnerabilidade do aquífero (FOSTER et al., 2006), descritos anteriormente. A avaliação pode ser esquematizada conforme a Figura 2.

Figura 2 - Esquema conceitual do perigo de contaminação da água subterrânea (FOSTER et al., 2006).



O perigo de contaminação foi adquirido a partir da multiplicação dos mapas de vulnerabilidade e das fontes pontuais de contaminação, utilizando a ferramenta Raster Calculator. O primeiro mapa teve suas classes reduzida, moderada e elevada alteradas para 1, 10 e 100, respectivamente, a fim de tornar a multiplicação viável e tornar os índices passíveis de classificação, conforme a Tabela 4.

Tabela 2 - Classificação do perigo de contaminação da água subterrânea

PERIGO DE CONTAMINAÇÃO		Potencial de contaminação		
		Reduzido - 1	Moderado - 2	Elevado - 3
Vulnerabilidade da água subterrânea	Reduzido - 1	Desprezível - 1	Reduzido - 2	Moderado - 3
	Moderado - 10	Reduzido - 10	Moderado - 20	Elevado - 30
	Elevado - 100	Moderado - 100	Elevado - 200	Elevado - 300

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A vulnerabilidade de contaminação da água subterrânea foi calculada com base na Figura 3, na qual é apresentado os mapas de profundidade, recarga, meio aquífero, solos, topografia, influência da zona vadosa e transmissividade, classificados de acordo com o método.

Como pode ser visto na Gráfico 1, para o parâmetro profundidade o destaque foi o índice 3 (de 15,2 a 22,9 metros), enquanto o índice 9 (> 254 mm/ano) sobressaiu na recarga. O fator meio aquífero apresentou relevância do valor 7 (Botucatu/Gramado/Pirambóia), e o solos tiveram maior ocorrência do índice 5 (argissolo amarelo). A topografia teve maior presença de índice 1 (> 18% de declive), por sua vez na influência da zona vadosa predominou o índice 8 (neossolo lítólico), e por fim na transmissividade dominou o índice 7 (1,06 a 19,18 m²/h).

Figura 3 – Mapa dos parâmetros do método DRASTIC

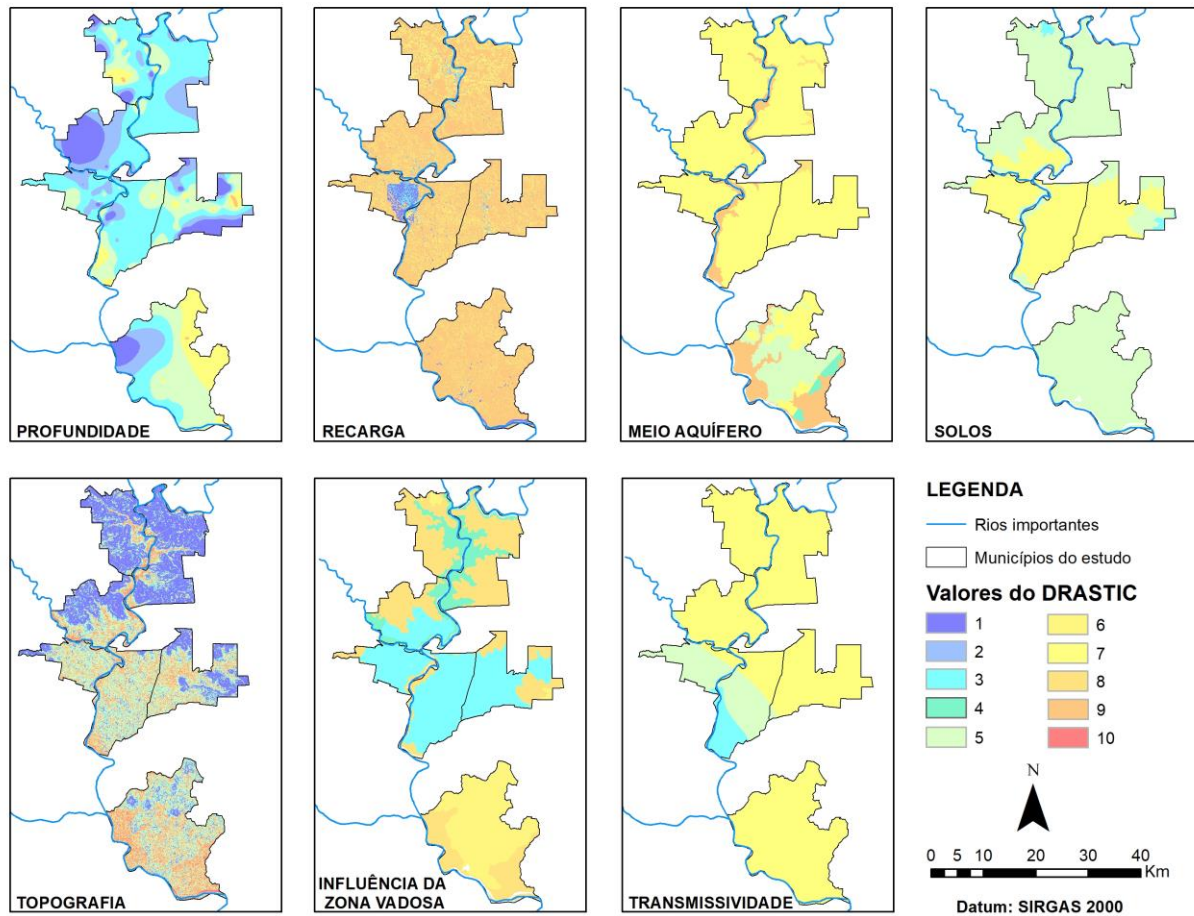
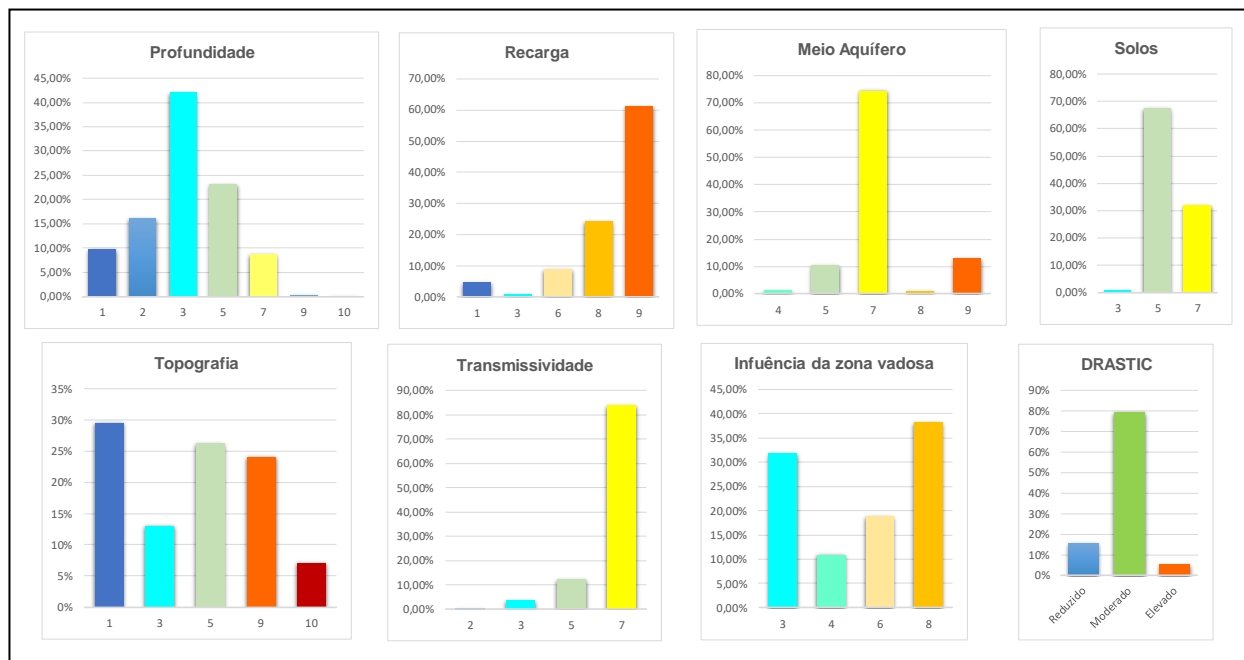


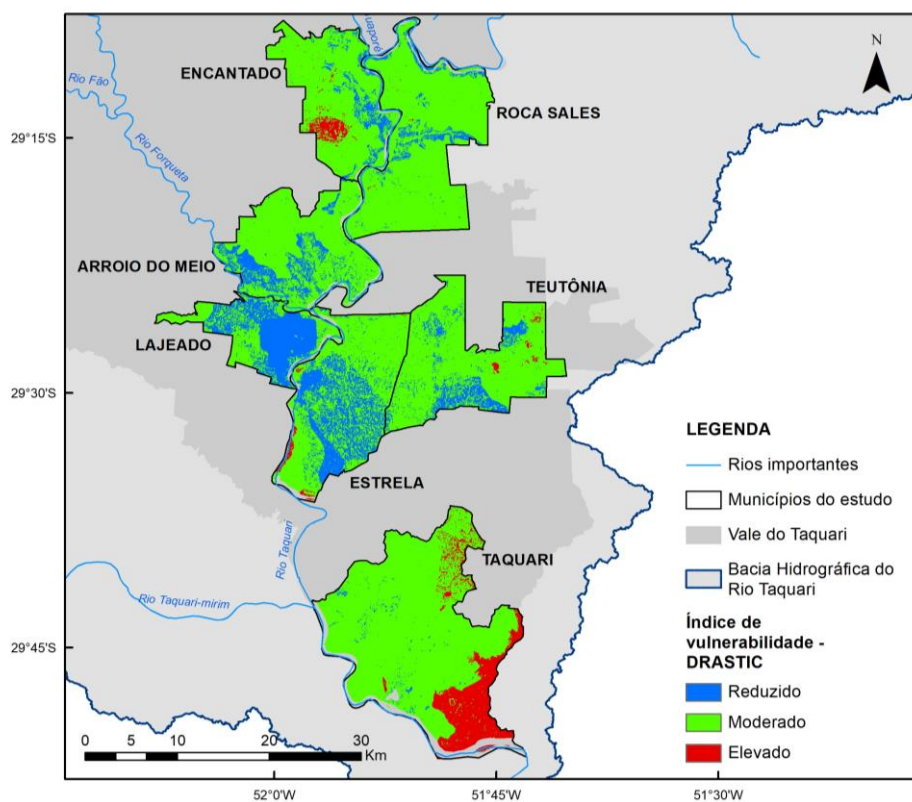
Gráfico 1 - Distribuição dos parâmetros DRASTIC e de vulnerabilidade



A partir dos mapas apresentados, a vulnerabilidade de contaminação da água subterrânea resultou na Figura 4. A maior representatividade no mapa pertence ao valor moderado, com aproximadamente 79%, espalhados pelos municípios, seguido por

reduzido, com 16% e concentrado na porção oeste, em Lajeado e Estrela, enquanto o elevado está concentrado em Encantado e Taquari, com 5.

Figura 4 - Mapa de vulnerabilidade de contaminação da água subterrânea



Foram encontrados 200 focos de poluição pontuais, entre indústrias, postos, cemitérios e áreas de disposição de resíduos. Em Teutônia 39 fontes foram identificadas, já em Taquari 18, em Roca Sales 17, em Lajeado 35, em Estrela 38, em Encantado 27 e em Arroio do Meio 25. Conforme pode ser visto na Tabela 5, as atividades mais recorrentes são os postos de gasolina (moderado), cemitérios (reduzido) e criação de suínos (moderado), com 50, 38 e 31 unidades identificadas respectivamente. Entretanto foram reconhecidas 3 atividades de classificação elevada, com 6 unidades cada, entre elas abatedouros, curtumes e fabricação/armazenagem de agrotóxicos.

Tabela 3 - Relação das atividades encontradas nos municípios de estudo

Atividade	Quantidade	Classificação POSH
Postos de gasolina	50	Moderado
Cemitérios	38	Reduzido
Criação de suínos	31	Moderado
Abatedouros	6	Elevado
Curtumes	6	Elevado
Fabricação/armazenagem de agrotóxicos	6	Elevado
Indústria de madeira	6	Reduzido (1 moderada)
Leites e derivados	6	Moderado
Incubatório	5	Reduzido
Ração	5	Reduzido (1 moderado)
Calçados	4	Moderado
Aterro sanitário de RSU	3	Moderado
Balas/caramelos/chocolate	3	Reduzido
Fabricação de artefatos / funilaria/estamparia e latoaria	3	Elevado
Grãos	3	Reduzido
Compostagem de resíduo classe 2	2	Moderado
Embutidos	2	Reduzido
Fabricação de produtos químicos	2	Elevado
Aterro de resíduos sólidos classe 1	1	Elevado
Beneficiamento de minerais não-metálicos	1	Reduzido
Cola animal	1	Elevado
Confecção de material impresso	1	Elevado
Depósito/ comércio atacadista de combustíveis líquidos (bases de distribuição)	1	Moderado
Fabricação de material plástico	1	Elevado
Fabricação de pólvora	1	Elevado
Fabricação de sorvetes/tortas	1	Reduzido
Fabricação de produtos de limpeza	1	Moderado
Fiação/tecelagem	1	Elevado
Matrizes e ovos	1	Reduzido
Processamento de resíduos sólido classe 2	1	Moderado
Refino/preparação de óleo/ gordura vegetal/ animal através de extração por solventes	1	Elevado
Refrigerante	1	Moderado
Remediação de área degradada por RSU	1	Moderado
Sabões	1	Moderado
Sistema de coleta, armazenamento, transporte e destinação final de embalagens de óleo	1	Elevado
Usina de concreto e asfalto	1	Elevado

Em relação às atividades de mineração, foram reconhecidos aproximadamente 270 hectares de áreas com lavra, distribuídos em 70 polígonos, e maior ocorrência em Arroio do Meio, com 17 lavras. As substâncias extraídas são arenito, areia, argila vermelha, basalto, calcedônia, cascalho, saibro e argila, correspondendo a 46% das lavras, utilizadas na construção civil, indústrias e fabricação de cerâmica. As operações de mineração levaram a classificação moderada de acordo com o método POSH.

Quanto às rodovias pelas quais são transportados produtos perigosos, foram apontadas cinco vias de tráfego, entre elas BR116, RS118, BR386, RS130 e RS453, sendo que a primeira apresenta circulação de 21 substâncias. O enquadramento das rodovias foi na categoria moderado, conforme o método utilizado.

É possível observar as fontes potenciais de contaminação na Figura 5 e Figura 6, contemplando os itens citados.

Figura 5 - Fontes pontuais de contaminação em Encantado, Roca Sales e Arroio do Meio.

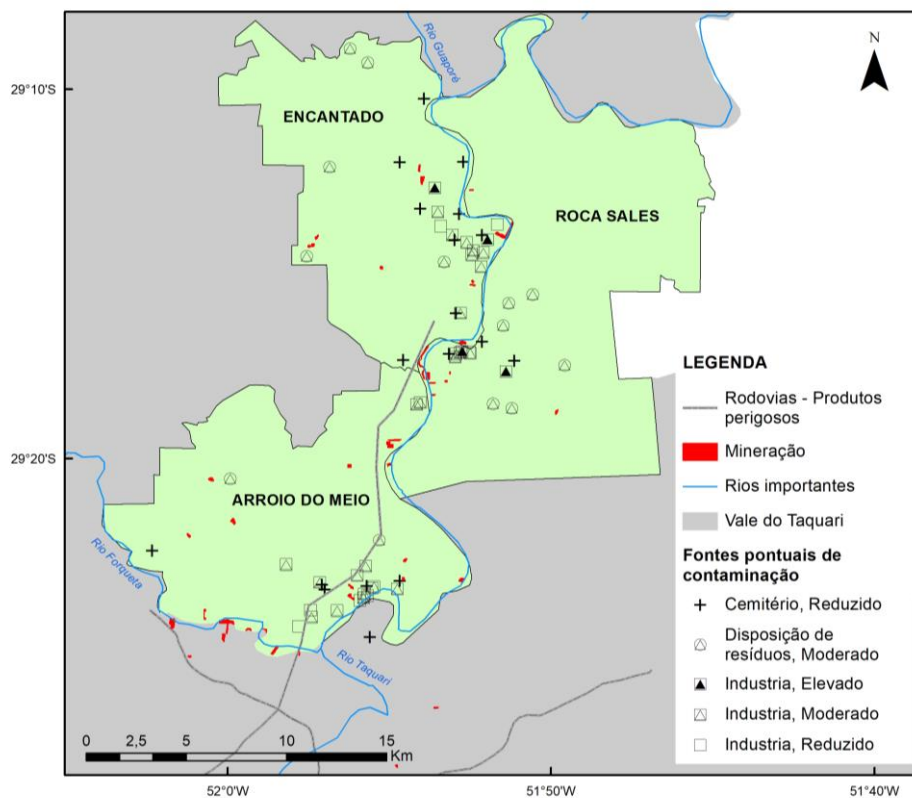
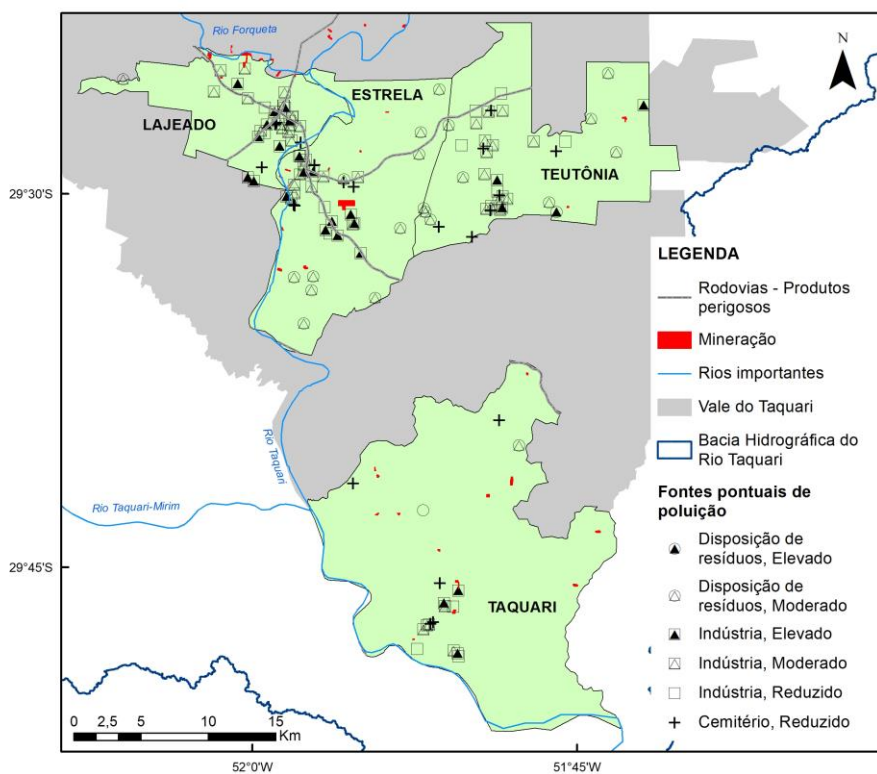
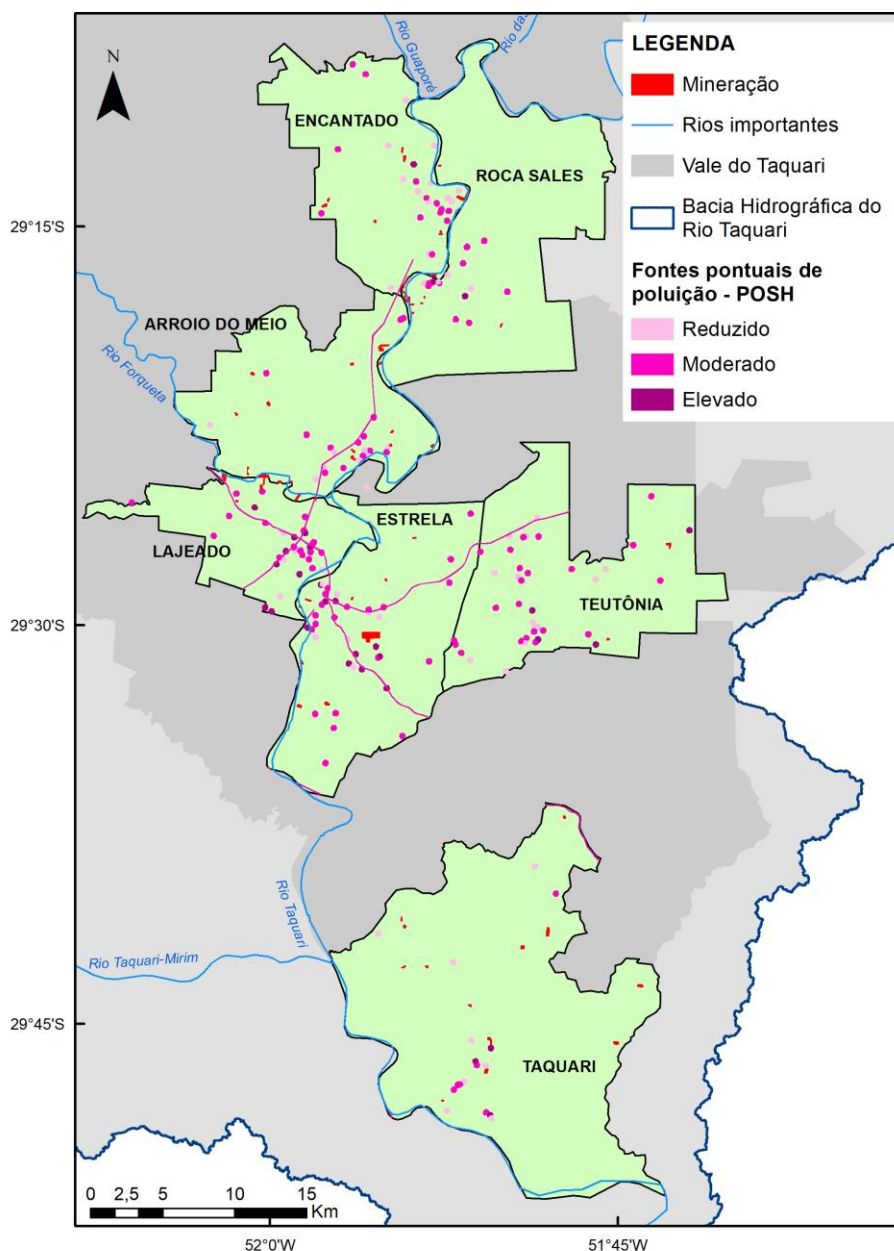


Figura 6 - Fontes pontuais de contaminação em Lajeado, Estrela, Teutônia e Taquari



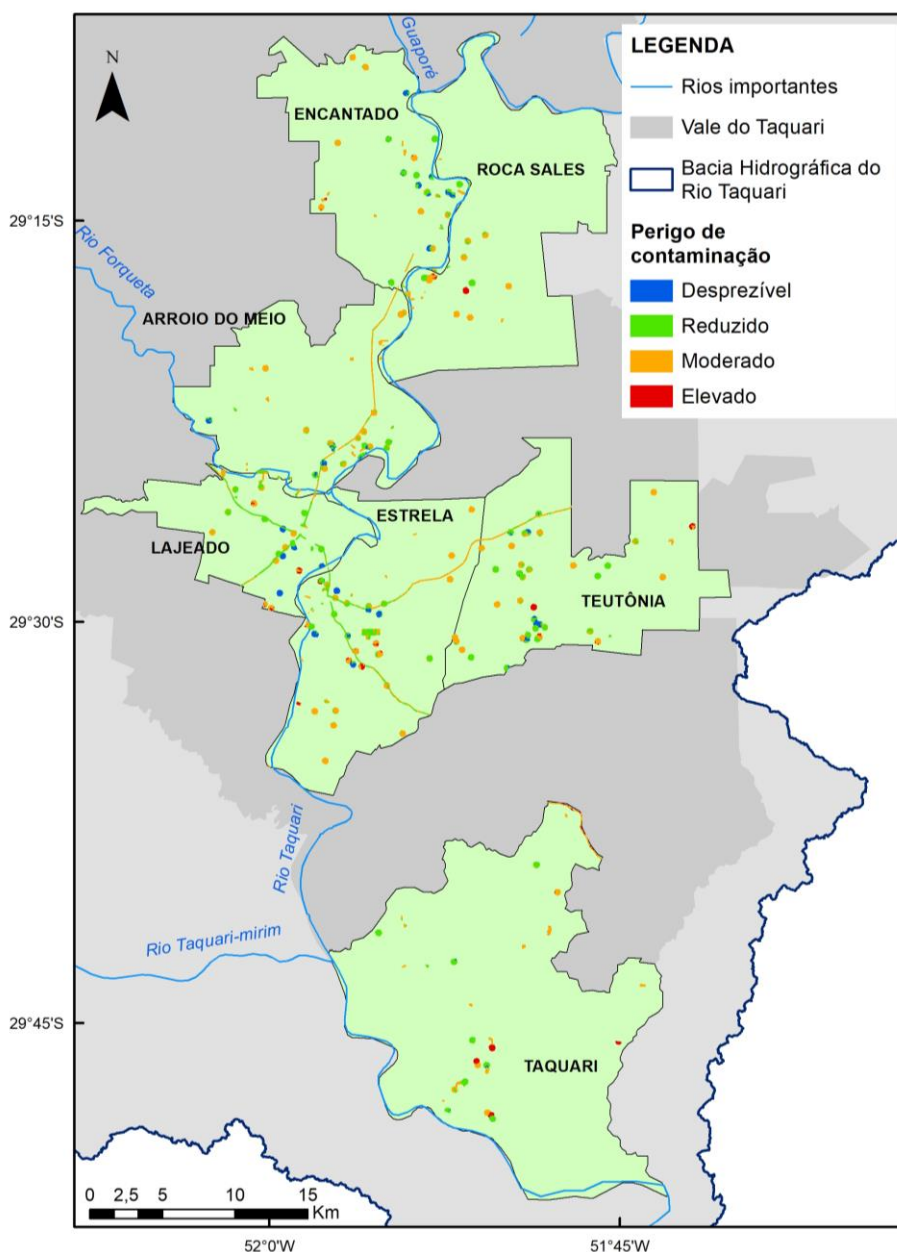
Na Figura 7 é possível observar a junção de todas as fontes potenciais de contaminação, após a aplicação do buffer de 200 metros nos empreendimentos. É relevante a concentração de indústrias ao longo do recurso hídrico em Encantado, Roca Sales e Arroio do Meio, assim como das rodovias destacadas para todos os municípios.

Figura 1 - Fontes de contaminação classificadas de acordo com o método POSH



A multiplicação entre o mapa de vulnerabilidade e a carga de contaminação resultou no mapa de perigo de contaminação da água subterrânea, apresentado na **Erro! Fonte de referência não encontrada..** A classe moderada corresponde a 46% da área, seguida por reduzido com 38%, desprezível com 10% e por fim 6% com índice elevado.

Figura 8 - Perigo de contaminação da água subterrânea



No município de Estrela estão concentradas as áreas de índice elevado, correspondendo à aproximadamente 31% da distribuição total do índice, enquanto em Arroio do Meio não há indícios do fator.

Das áreas que apresentam perigo de contaminação elevado, 5% são devido ao transporte de produtos perigosos, enquanto 13% são em consequência de atividades minerárias e majoritariamente, 82% corresponde às indústrias, postos, cemitérios e disposição de resíduos. Dentre a maior causa, os empreendimentos com mais recorrência são os postos de gasolina, matadouros, curtumes, criação de suínos e armazenagem e fabricação de agrotóxicos.

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta a porcentagem de cada fator nos municípios de estudo, ressaltando que o potencial moderado de contaminação é predominante em todos os municípios, principalmente em Roca Sales. Apenas Encantado e Teutônia apresentam maior porcentagem de área de perigo reduzido.

Tabela 6 - Distribuição do potencial de contaminação da água subterrânea em cada município.

Municípios	Potencial de contaminação			
	Desprezível	Reduzido	Moderado	Elevado
Arroio do Melo	14%	42%	44%	0%
Encantado	28%	43%	26%	3%
Estrela	14%	36%	43%	7%
Lajeado	21%	27%	47%	6%
Roca Sales	2%	19%	71%	7%
Taquari	8%	10%	67%	15%
Teutônia	14%	43%	37%	6%

A partir de dados do SIAGAS (CPRM, 2019), é possível constatar que 56 poços, em situação de bombeamento, se encontram nas zonas analisadas. Além de que 4 poços estão em regiões de elevado risco de contaminação de água subterrânea, e pertencem a atividade de abatedouro de aves. Nas áreas de classificação moderada há 17 perfurações, nas áreas de índice reduzido existem 23 poços e 12 perfurações nas regiões de risco desprezível.

4. CONCLUSÕES

Torna-se clara a importância de preservação de determinadas áreas que apresentam elevada chance de contaminação devido a suas características naturais, e a atenção para áreas já exploradas por determinadas atividades que lhe conferem alta possibilidade de contaminação da água subterrânea.

Apesar de as fontes de contaminação estudadas serem pontuais, a interligação de fraturas e meios aquíferos sedimentares podem permitir a expansão das plumas, alcançando poços de abastecimento público, que por vezes não apresentam sistema de tratamento avançado, ou específico para determinado poluente. Além de que os tratamentos das plumas de contaminação podem ser caros e difíceis de solucionar, se percebidos tardiamente.

As análises feitas são relevantes e significativas devido ao maior porte das indústrias consideradas e seu potencial poluidor mais elevado, mas ressalta-se que a identificação de todos os empreendimentos, inclusive os licenciados pelos municípios, aumentariam as áreas analisadas e resultaria em uma análise mais completa.

Cabe destacar também, que a utilização de mapas com escalas pequenas quando comparadas à área de estudo, podem ocasionar alterações locais quando analisados com mais precisão. Por isso seria interessante que os municípios e entidades invistam em estudos geológicos e pedológicos nas suas regiões, para o aprimoramento contínuo de mapas como o do estudo.

Por fim espera-se que esse trabalho possa ser utilizado como base para os municípios analisados, com o intuito de garantir a preservação da qualidade da água superficial e subterrânea, assim como a proteção dos habitats para todos os ecossistemas.

REFERÊNCIAS

ALLER, Linda; LEHR, Jay H.; PETTY, Rebecca. *DRASTIC: a standardized system to evaluate groundwater pollution potential using hydrogeologic settings*. 1987. 20 f, Ohio, 1987.

CAPALONGA, Suélen. *Avaliação do Risco de Poluição da Água Subterrânea da Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas*. 2017. 96 f. Trabalho de Conclusão - Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

COLLISCHONN, Walter.; DORNELLES, Fernando. *Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais*. 1. Ed. Brasil: Editora ABRH, 2013.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. *Mapas de Geodiversidade Estaduais*. 2010. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Geodiversidade/Mapas-de-Geodiversidade-Estaduais-1339.html>. Acesso em: mai. 2019.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. *Sistema de Informações de Água Subterrânea*. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/> Acesso em: mai. 2017 e mai. 2019.

FEITOSA, F.A.C.; MANOEL FILHO, J. *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. 1. Ed. Fortaleza: CPRM, 2000.

FOSTER, S. S. D. e R. HIRATA. *Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data*. WHOPAHO/ HPE-CEPIS Technical Manual. Lima, Peru. 1988.

FOSTER, Stephen et al. *Proteção da Qualidade da Água Subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais*. 2006. 144 p.

GUIGUER, Nilson; KOHNKE, Michael Wolfgang. *Métodos para determinação da vulnerabilidade de aquíferos*. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, p.13, 2002.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo demográfico 2010*. 2010. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>. Acesso em: mai. 2019.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA*. 2018. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/pnadct/brasil>. Acesso em: mai. 2019.

MENESES, Leonardo Figueiredo de. *Avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos superiores no município de João Pessoa/ PB, através do modelo DRASTIC*. 2007. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2007.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Rodovias Federais, Estaduais e Municipais do Brasil*. 2010. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/geonetwork/srv/br/metadata.show?id=1109>. Acesso em: mai. 2019.

ROSSATO, Luciana. *Estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo do Brasil*. 2002. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Meteorologia, INPE, São José dos Campos, 2002.

USGS - U.S. Geological Survey. *Earth Explorer*. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: jun. 2017.