



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Disclaimer: Articles published in this section are not peer-reviewed and are not indexed.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 da Vulnerabilidade e do Risco Potencial de Contaminação de Água subterrânea no Município de Venâncio Aires - RS

Groundwater Vulnerability and Potential Contamination Risk Assessment in the municipality of Venâncio Aires - RS

Gerônimo Tavares Cassali¹; Pedro Antônio Roehe Reginato¹; Maria Luiza Correa da Câmara Rosa¹✉

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

✉ geronimocassali@hotmail.com, Pedro.reginato@ufrgs.br, luiza.camara@ufrgs.br

Resumo

O objetivo deste estudo foi analisar a vulnerabilidade e o risco de contaminação dos aquíferos da região de Venâncio Aires. Para o seu desenvolvimento foram utilizados bancos de dados geológicos e hidrogeológicos, informações sobre fontes de contaminação, imageamento de satélite e levantamento de dados em campo. A vulnerabilidade dos aquíferos foi avaliada pela metodologia GOD, e o risco de contaminação, através da metodologia POSH. Foram identificados 271 poços. A análise dos dados permitiu identificar a ocorrência dos sistemas aquíferos Guarani (SAG) e Serra Geral (SASG). Para o SAG, houve predomínio das classes de vulnerabilidade baixa e média, com 44,27% e 38,16% da área, respectivamente. Para o SASG, houve predomínio de média vulnerabilidade, cobrindo 85,79% da sua área. Das fontes de contaminação difusas mapeadas, 41,4% da área do município foi classificada com potencial moderado, e 2,6% com potencial reduzido. Foram mapeadas 73 fontes de contaminação pontuais, sendo 23 delas com potencial reduzido, 30 com potencial moderado e 20 com potencial elevado. No SASG, o perigo de contaminação das fontes difusas predominou na classe moderada, com 35,7% da área nessa classe. No SAG, o predomínio foi de perigo baixo e moderado, cobrindo 19,5% e 15,2% da sua área, respectivamente. Os resultados evidenciam que os sistemas aquíferos apresentam áreas com vulnerabilidade média a alta, e risco moderado, logo há necessidade de programas de gestão da qualidade da água subterrânea.

Abstract

This research intended to analyze and identify the vulnerability and the contamination risk of the aquifers in Venâncio Aires's region. To do so, hydrogeological and geological databases, contamination sources info, satellite imagery, and fieldwork data were used. The aquifers's vulnerability and contamination risk were evaluated using GOD and POSH methodologies, respectively. 271 wells were identified. Data analysis revealed the existence of the Guarani aquifer system (SAG), and the Serra Geral aquifer system (SASG). In the SAG, low and medium vulnerabilities classes predominated, with 44,27% and 38,16% of it's area, respectively. In the SASG, the medium vulnerability class predominated, with 85,79% of it's area in this class. Regarding the diffuse contamination sources, 41,4% of the county's area was classified as moderate potential, and 2,6% was classified as reduced potential. 73 punctual contamination sources were mapped, of which 23 were classified as reduced potential, 30 as moderate potential, and 20 as elevated potential. In the SASG, the contamination danger of the diffuses sources had the predominance of the moderate class, with 35,7% of it's area within this class. Regarding SAG, the contamination danger was low and moderate, with 19,5% and 15,2% of it's area within these classes, respectively. The results showed that the aquifer systems have medium to high vulnerability areas, and moderate risk, so, it becomes necessary the management of the groundwater quality.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v34i3.29942>

Palavras-chave:

Água Subterrânea.
Vulnerabilidade.
Perigo de Contaminação.
GOD.
POSH.

Keywords

Groundwater.
Vulnerability.
Contamination Risk.
GOD.
POSH.

1. INTRODUÇÃO

A água subterrânea é um recurso natural essencial para o desenvolvimento do bem estar humano, sendo utilizada para diferentes fins, como abastecimento urbano e doméstico, e desenvolvimento de atividades industriais comerciais e agrícolas. No mundo inteiro, os

aquíferos estão, cada vez mais, sob perigo de contaminação em decorrência de atividades humanas, tais como agricultura extensiva, mineração, urbanização, e desenvolvimento industrial. Para que a água subterrânea seja usada, especialmente para o consumo e abastecimento público, é necessário que sua qualidade, enquanto bruta, seja ótima e constante, visto que os processos de tratamento e desinfecção são de alta complexidade técnica e custo financeiro. Em função disso, se torna necessária a tomada de medidas de prevenção e proteção dos aquíferos e da qualidade da água, o que se justifica tanto sob critérios de sustentabilidade ambiental quanto sob critérios econômicos (FOSTER et al. 2002).

A maior parte da água subterrânea se origina a partir da infiltração de água da chuva na superfície do solo, sendo que tal processo é controlado pelas condições geológicas, geomorfológicas, pedológicas e de uso e ocupação do solo próximas à superfície. Consequentemente, atividades antrópicas poluidoras podem gerar cargas contaminantes, que podem ser lixiviadas e carregadas para os aquíferos, dependendo das características físico-químicas dos contaminantes e do meio. Com estes conceitos em mente, Foster et al. (1987), definiram a vulnerabilidade de um aquífero à contaminação como o conjunto das características intrínsecas das camadas que separam o aquífero da superfície do solo, e que determinam sua suscetibilidade a sofrer efeitos de determinada carga contaminante na superfície. Somado a isso, as características físico-químicas do contaminante também podem interferir na probabilidade de um aquífero ser contaminado. Então, Foster & Hirata (1988), definiram o conceito de risco de contaminação, que consiste na “associação e interação entre a vulnerabilidade natural do aquífero e a carga contaminante no solo ou em subsuperfície”. De acordo com esta definição, são possíveis situações onde um aquífero com alta vulnerabilidade à contaminação não possua um risco elevado de ser contaminado, pois pode não haver carga contaminante que o afete, e o mesmo pode se dizer do contrário.

A água subterrânea, no Município de Venâncio Aires, região centro-leste do estado do Rio Grande do Sul, tem grande importância, sendo a mesma utilizada para diferentes fins. O aumento da população e o crescimento socioeconômico têm influência direta no aumento da demanda, bem como no aumento de modificações do uso e ocupação do solo. Em função disso, a cada ano são perfurados novos poços para atender a demanda, como também a cada ano, modificações ocorrem no uso e ocupação do solo, como por exemplo, a implantação de novos loteamentos, instalação de empresas, desenvolvimento de atividades agrícolas entre outros. As alterações do uso e ocupação do solo podem ser responsáveis por processos de contaminação dos aquíferos, dependendo da vulnerabilidade desses aquíferos, bem como dos tipos de fontes de contaminação e das cargas de contaminantes geradas por essas fontes. Para avaliar o risco potencial de contaminação da água subterrânea de uma região é necessário desenvolver estudos da vulnerabilidade de aquíferos e de avaliação das fontes e cargas contaminantes. Esses estudos, em escalas que abrangem áreas municipais são raros, portanto, não se conhece o risco potencial de contaminação existente nos municípios.

Devido ao fato de que esse tipo de avaliação ainda não foi realizado para o município de Venâncio Aires, e que a água subterrânea é um recurso de grande importância para a região, se torna necessário que sejam desenvolvidos estudos hidrogeológicos que envolvam a caracterização dos aquíferos, avaliação da vulnerabilidade e risco potencial de contaminação da água subterrânea. O presente trabalho é proposto com o intuito de realizar estes estudos nos aquíferos presentes na área abrangida pelo município de Venâncio Aires.

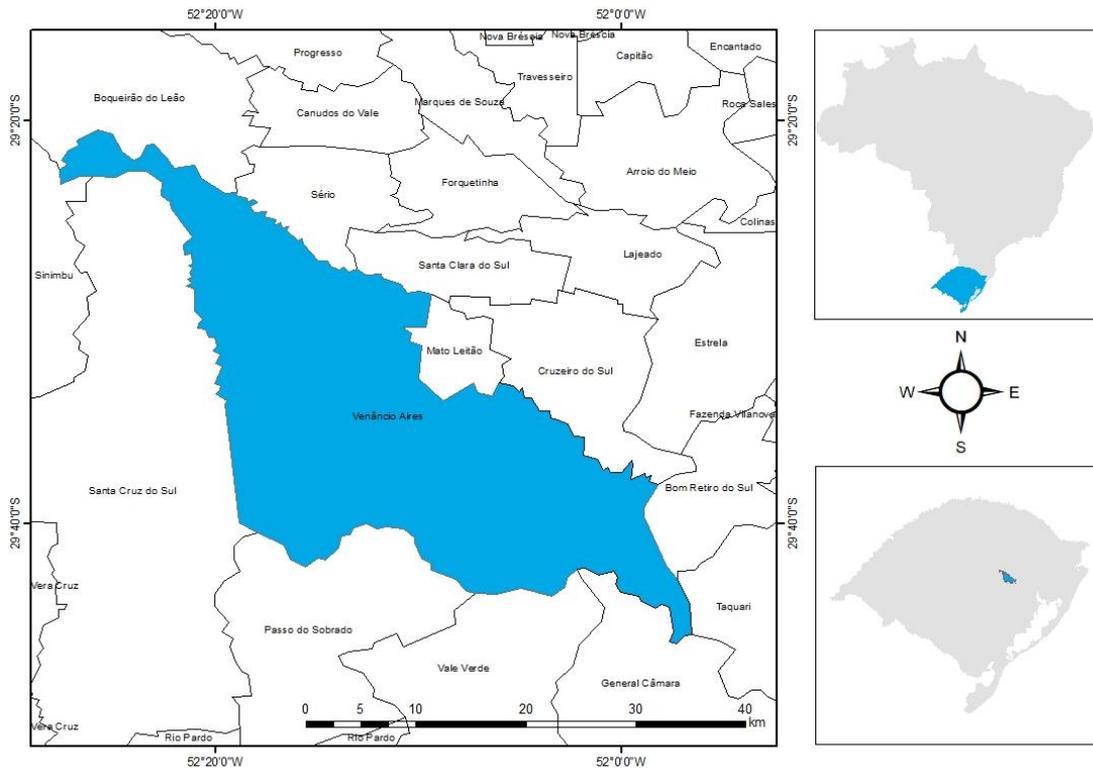
2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo se localiza no município de Venâncio Aires, situado na região centro-leste do estado do Rio Grande do Sul, na latitude S29°30' e longitude W52° 12' (Figura 1). Sua área é de aproximadamente 772,228 km² e sua população é de cerca de 65.946 habitantes (IBGE). Possui fronteiras com os municípios de Santa Cruz do Sul, Passo do Sobrado, Vale Verde, General Câmara, Taquari, Bom Retiro do Sul, Cruzeiro do Sul, Mato Leão, Santa Clara do Sul, Sérgio, Boqueirão do Leão e Sinimbu.

A água subterrânea no município de Venâncio Aires é utilizada na agricultura, em indústrias e para o abastecimento, sendo assim um valioso recurso. O centro urbano do município e seus arredores possuem seu abastecimento primário fornecido pela CORSAN (Companhia Riograndense de Saneamento), mas as áreas rurais e as zonas e distritos mais distantes não recebem este benefício. Desta forma, os moradores dessas zonas resolvem esse problema por meio de soluções individuais (aberturas de poços) ou se unem em associações e sociedades hídras, as quais se tornam responsáveis pela aquisição e distribuição de água, geralmente através de poços tubulares.

Na parte sul do município, onde predominam relevos planos e as formações geológicas sedimentares clásticas Santa Maria e Botucatu, em função das camadas de solo serem mais espessas, é comum os moradores obterem a água para seu abastecimento e consumo doméstico, através de poços escavados. Nessas regiões, geralmente cada indivíduo é responsável pela obtenção de sua própria água, o que resulta em uma relação de praticamente um poço escavado por residência.

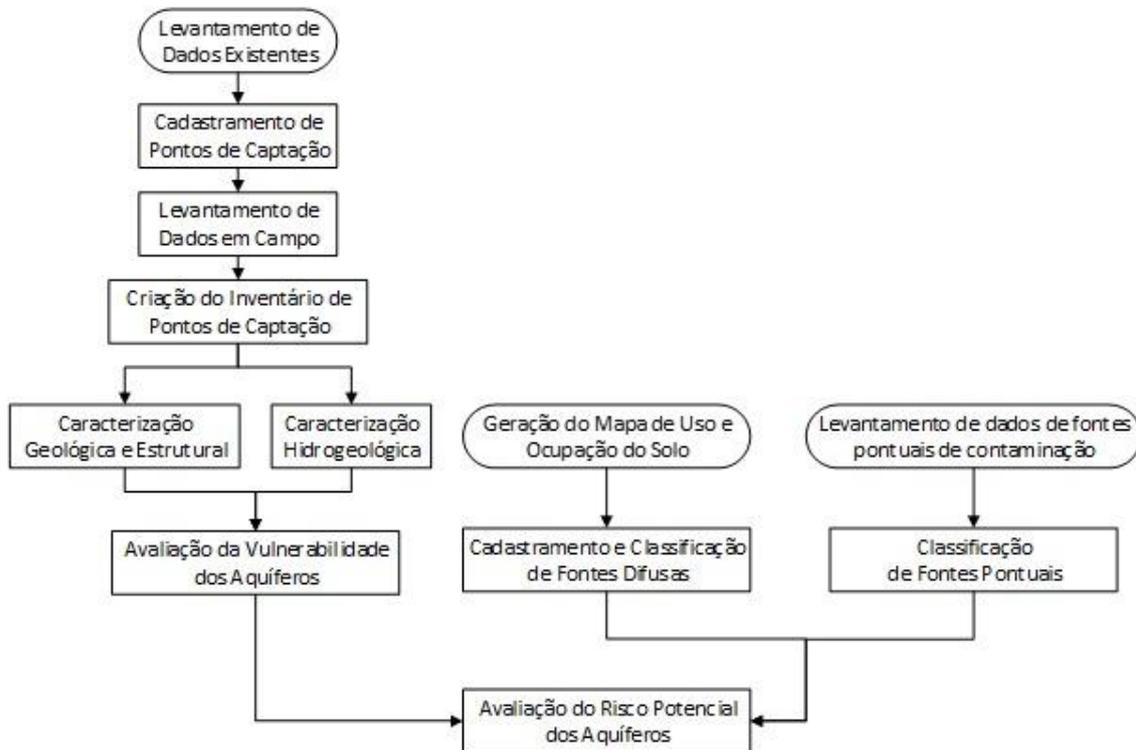
Figura 1 – Mapa de localização do município de Venâncio Aires, destacando a sua localização no Estado do Rio Grande do Sul, e a localização do Estado no Mapa do Brasil. Produzido pelo autor, a partir dos dados do IBGE (2010).



3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do proposto trabalho foram empregadas diferentes metodologias, em diversas etapas, as quais serão descritas a seguir, e são apresentadas no fluxograma da figura 2:

Figura 2 – Fluxograma simplificado da realização do trabalho.



A primeira etapa para a realização deste projeto se deu com o levantamento dos dados já existentes dentro do meio acadêmico sobre os assuntos abordados. Nessa etapa, foram coletadas informações existentes (geologia e hidrogeologia) sobre a região de estudo, através da leitura de artigos, relatórios técnicos, boletins informativos de órgãos governamentais, tais como a CPRM, FEPAM-RS, SEMA, etc.

O cadastramento de pontos de captação consistiu na identificação e coleta dos dados de poços tubulares existentes na região compreendida pelo município de Venâncio Aires, bem como nos municípios vizinhos (pontos de captação localizados próximos a fronteira com o município de Venâncio Aires). Este levantamento foi realizado através da consulta ao banco de dados da CORSAN, CPRM – SIAGAS (Sistema de Informação de Águas Subterrâneas), junto à secretaria de agricultura e secretaria da saúde do município (setor de vigilância sanitária), bem como poços identificados em trabalho de campo.

Os dados hidrogeológicos e litológicos obtidos foram organizados em um inventário, na forma de tabelas, através do *software Microsoft Excell*. Nestas tabelas estão contidos os dados de localização geográfica (cota e coordenadas UTM), características construtivas (profundidade, presença e intervalos de filtros e diâmetro), geológicas (formação geológica e litologias), hidrogeológicas (aquíferos captados e espessuras das camadas aquíferas) e hidrodinâmicas (vazão e nível dinâmico) dos poços dos sistemas aquíferos Guarani e Serra Geral. Tais dados foram utilizados na identificação das formas de captação e de uso da água subterrânea, na caracterização dos aquíferos da região e na determinação dos valores dos parâmetros da metodologia utilizada.

A caracterização geológica na região foi realizada através de análises e interpretações do mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul (CPRM, 2008), e complementada com dados de outros trabalhos realizados na região, bem como com os dados obtidos em campo. A identificação das litologias que ocorrem em profundidade, se deu através da interpretação de perfis geológicos dos poços tubulares localizados na região de estudo. Os perfis dos poços foram então utilizados na interpretação e identificação das litologias e formações geológicas que ocorrem em profundidade, bem como na elaboração de seções geológicas para avaliação da geometria e continuidade (contato e espessura) das diferentes camadas.

Também foi feita uma caracterização morfoestrutural, que consistiu na identificação e no traçado dos lineamentos para a região de estudo. Tais lineamentos são os responsáveis pelo condicionamento dos aquíferos fraturados do Sistema Aquífero Serra Geral, que ocorre em toda a porção norte do município estudado. Para tal foram utilizados imagens de modelos digitais de elevação do *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*, que consistem em imagens de satélite com dados de elevação e resolução espacial de 30m, obtidas a partir do site *earthexplorer.usgs.gov*. Estas imagens foram submetidas a iluminações vindas das direções NE (azimute 045) e NW (azimute 315), de modo que a visualização e interpretação das morfoestruturas fossem facilitadas. O traçado dessas morfoestruturas foi feito na escala 1:50.000. Posteriormente foram avaliadas as orientações preferenciais desses lineamentos, suas dimensões e a sua densidade de ocorrência. A extração dos dados para a realização desta avaliação deu-se através da ferramenta *AzimuthFinder* (QUEIROZ et al., 2014, e com o uso do *Software Stereo 32*, foram elaborados os diagramas de roseta, para que pudessem ser feitas as interpretações e análises em relação aos lineamentos existentes na região.

A identificação dos aquíferos foi realizada através da interpretação dos perfis geológicos dos poços identificados na região, sendo que foram avaliados dados sobre as litologias dos locais onde estão localizados os aquíferos, bem como sua espessura saturada e continuidade lateral. A situação dos poços foi avaliada com base nos dados obtidos com o inventário e cadastramento de poços, bem como com o levantamento de campo. A caracterização hidrogeológica foi feita, então, com base na avaliação de propriedades como nível estático, vazão e profundidade. Para tal, foram realizadas análises estatísticas dos diferentes parâmetros para a caracterização dos sistemas aquíferos na região.

A avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos da região foi realizada através do uso da metodologia GOD (*Groundwater occurrence, Overall lithology of the unsaturated zone, Depth to the water table*), elaborado por Foster e Hirata (1993) e aperfeiçoado por Foster et al. (2002), utilizando os parâmetros:

- (G) Grau de confinamento do aquífero (livre, confinado, semi-confinado)
- (O) Ocorrência de estratos de cobertura
- (D) Distância até o lençol freático ou teto do aquífero confinado (espessura da zona vadosa)

Os valores para cada um destes parâmetros foram definidos a partir da interpretação dos dados previamente adquiridos nas etapas de elaboração do inventário e do cadastramento de pontos de captação, bem como nas caracterizações geológica e hidrogeológica. Estes índices foram interpolados para gerar os mapas numéricos de cada parâmetro. Tais mapas foram interpolados através do método Inverso do Quadrado da Distância (IDQ), o qual, após diversos testes com outros métodos, mostrou-se o mais eficaz para interpolar a malha de pontos irregular da distribuição geográfica dos poços do banco de dados. Estes mapas, então, foram multiplicados entre si para gerar os mapas de vulnerabilidade dos aquíferos da região, com índices que variam de zero a um. O mapa resultante foi reclassificado de acordo com os intervalos de vulnerabilidade estabelecidos pela metodologia. As interpolações foram feitas através do *software ArcGIS 10.5* e as operações algébricas entre eles foram realizadas utilizando a ferramenta calculadora *Raster* da função Álgebra de Mapas, também no *software ArcGIS 10.5*.

A avaliação do risco potencial de contaminação dos aquíferos foi realizada através do mapeamento de fontes de contaminação (pontuais e difusas) e da aplicação da metodologia POSH (FOSTER et al., 2002).

Para identificação das fontes de contaminação difusas, foi elaborado um mapa de uso e ocupação do solo, através da interpretação de imagens do satélite *Landsat 8*, que possui resolução espacial de quinze metros, e suas imagens podem ser obtidas através do site do INPE

(Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Foram definidas seis diferentes classes, cada qual com sua assinatura espectral, identificadas através de análise visual. As classes definidas foram: área urbana, áreas com pecuária/campo, áreas com agricultura, corpos d'água, solo exposto e vegetação arbórea. Então, através do método da máxima verossimilhança, foi elaborada a classificação automática da área de estudo. O mapa resultante foi reclassificado em valores numéricos para poder ser multiplicado com os mapas de vulnerabilidade, que também foram reclassificados em valores numéricos. O produto dessa multiplicação foi então reclassificado para as classes determinadas pela metodologia POSH. Estas operações também foram realizadas no software ArcGIS 10.5.

Nas áreas urbanas, as fontes pontuais de contaminação foram identificadas através da análise das imagens disponibilizadas nas plataformas *Google Earth* e *Google Maps* e do levantamento de dados junto à Prefeitura de Venâncio Aires. As fontes identificadas foram então classificadas com relação ao nível de carga contaminante, nas categorias pré-definidas pela metodologia POSH.

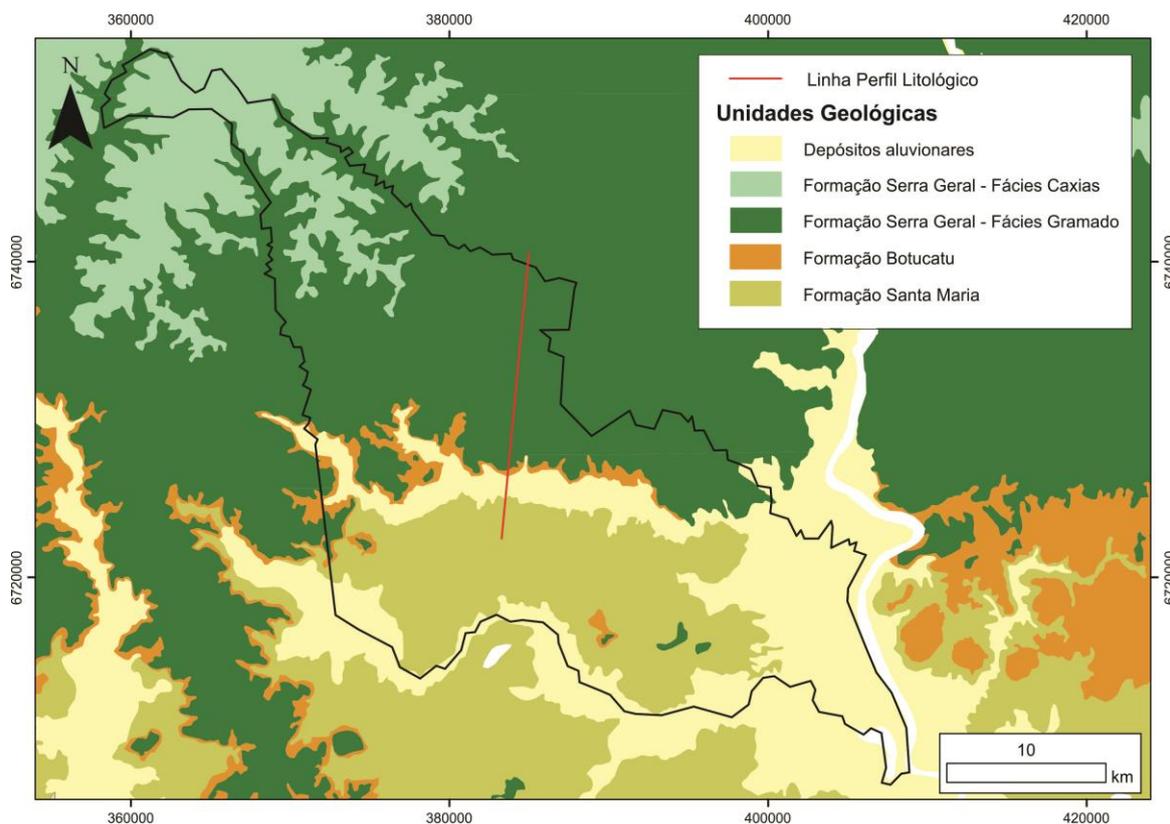
4. RESULTADOS

4.1. CONTEXTO GEOLÓGICO

O município de Venâncio Aires se localiza na porção sul da Bacia do Paraná, próximo da borda norte da depressão Periférica. Na região de estudo ocorrem três unidades litoestratigráficas da Bacia do Paraná, representadas pelos lamitos da Formação Santa Maria, arenitos da Formação Botucatu e pelas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral (CPRM, 2008).

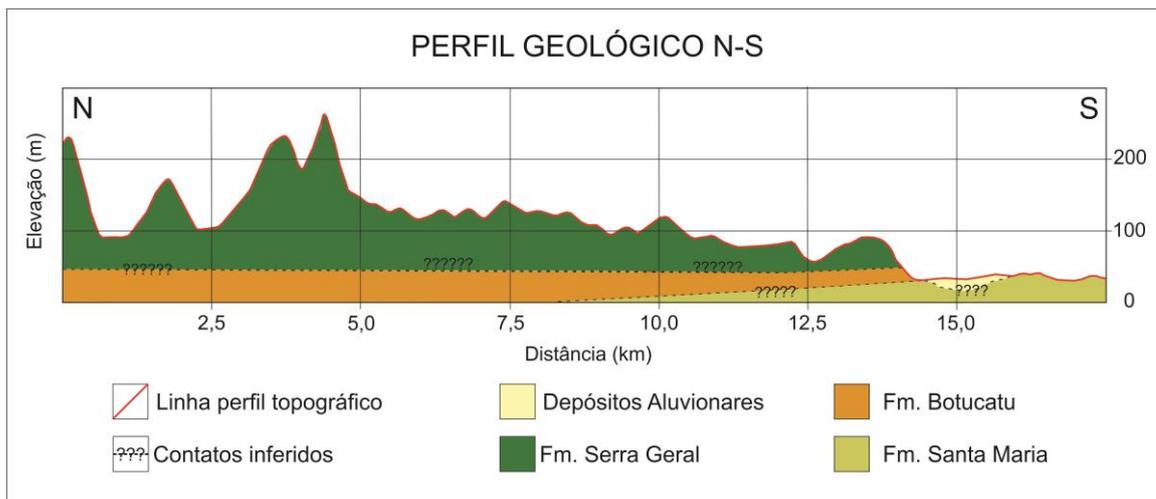
O mapa da figura 3 representa o mapa geológico da região, com a ocorrência das litologias aflorantes na área de estudo. Destaca-se que o município encontra-se na fronteira entre o planalto meridional, ao norte e noroeste, representado pelos derrames da Formação Serra Geral, com altitudes que chegam a mais de 500m e a depressão central, ao sul e sudeste, representada pelas rochas sedimentares das Formações Santa Maria e Botucatu, e também pelos depósitos aluvionares, com altitudes que podem ser inferiores a 50m.

Figura 3 - Mapa geológico da região, com linha de perfil geológico traçado. Elaborado pelo autor, adaptado do Mapa Geológico do Rio Grande do Sul (CPRM, 2008).



Através da interpretação dos dados de perfis geológicos de diferentes poços tubulares na região, foi elaborado um perfil esquemático simplificado com orientação Norte-Sul das relações espaciais e estratigráficas entre as unidades litológicas presentes na área de estudo (figura 4):

Figura 4 - Perfil esquemático simplificado da ocorrência das unidades geológicas no Município de Venâncio Aires.



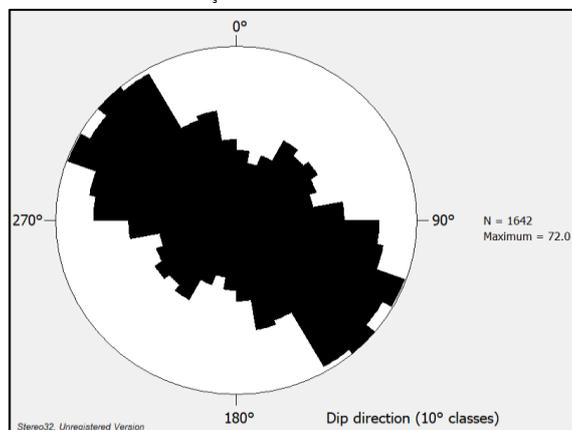
As rochas pertencentes à Formação Santa Maria se encontram principalmente em afloramentos de corte de estrada, nas partes sul e sudeste, onde predominam. Costumam ocorrer em cotas inferiores a 50m e em áreas mais aplainadas. Os afloramentos consistem em intercalações centimétricas a decimétricas entre argilitos, siltitos e arenitos finos, podendo ocorrer grandes pacotes dessas rochas, chegando a espessuras métricas. Geralmente essas rochas apresentam coloração avermelhada e laminação plano-paralela incipiente ou não. De acordo com perfis geológicos de alguns poços da região, a Formação Santa Maria pode ocorrer diretamente abaixo da Formação Serra Geral, sem a presença de rochas da Formação Botucatu entre elas.

As rochas sedimentares da Formação Botucatu são pouco expressivas na área de estudo, se concentrando principalmente numa faixa com orientação leste-oeste na parte central do município. As litologias consistem de arenitos médios, bem selecionados, com estratificação cruzada acanalada incipiente, sendo que em alguns afloramentos são friáveis. Através da observação de perfis construtivos de poços da região, a Formação Botucatu encontra-se tanto intercalada com as vulcânicas da Formação Serra Geral (intertraps), quanto sobreposta por elas.

As rochas da Formação Serra Geral se estendem por toda a porção norte do município, cobrindo as rochas das formações Botucatu e Santa Maria nesses locais. Ocorrem em altitudes superiores, geralmente acima de 100m. São representadas na região por derrames tabulares e cinzentos de basalto afanítico, pertencentes à Fácies Gramado. Suas texturas variam desde maciça a até vesicular preenchida por minerais secundários, principalmente zeolita, tanto na base quanto no topo dos derrames. Foi encontrada em diversos afloramentos, água vertendo de estruturas associadas a estes derrames, evidenciando a natureza da ocorrência dos aquíferos fraturados dessa formação. Em alguns casos, em conjunto com esses sistemas de fraturas, havia a ocorrência de mineralizações secundárias compostas principalmente por zeolitas.

As rochas desta unidade são marcadas por sistemas de fraturas característicos, os quais foram analisados em afloramentos e também em levantamentos de lineamentos na região (figura 5).

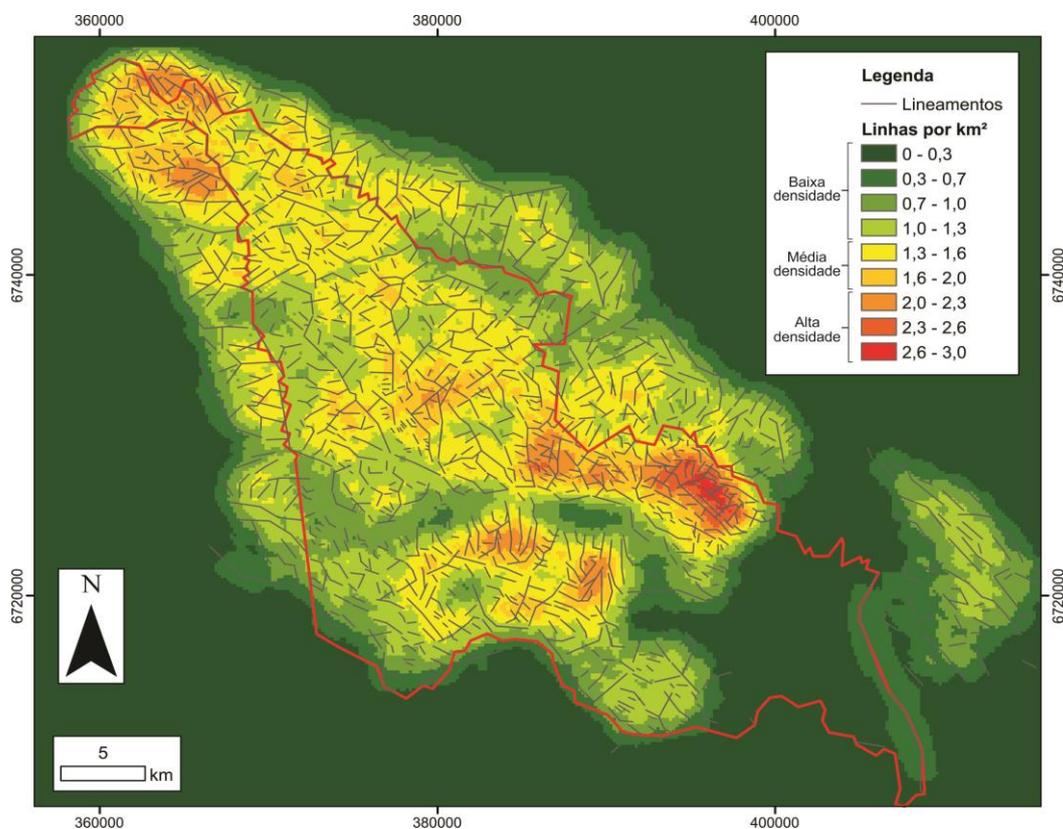
Figura 5 - Diagrama de roseta com as direções dos lineamentos. Obtido através do software Stereo 32.



De acordo com o diagrama de roseta da figura 5, os lineamentos traçados para a área de estudo se concentram principalmente na orientação noroeste-sudeste, com predomínio dos azimutes 295 e 315, tendo orientações para 040 e 050 subordinadamente. Foi elaborado

um mapa de densidade de lineamentos, com o intuito de se identificar as zonas com maior densidade de lineamentos, o que pode indicar as áreas mais vulneráveis e suscetíveis à contaminação oriunda da superfície (figura 6).

Figura 6 - Mapa de densidade de lineamentos da área de estudo. Tons esverdeados são áreas com menor densidade de lineamentos, tons amarelados e vermelhos são os com maior densidade, respectivamente. Elaborado pelo autor.

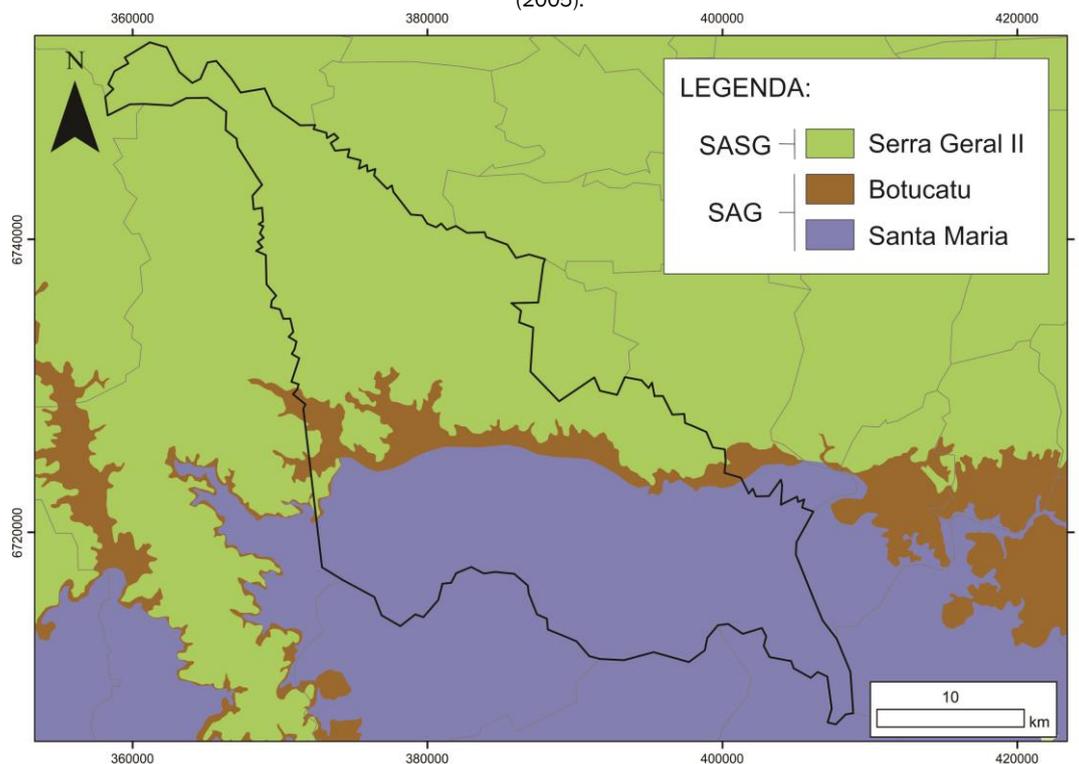


A partir do mapa de lineamentos da figura 6, foram interpretadas três diferentes classes de densidade de lineamentos: baixa, média e alta densidade. A baixa densidade varia entre valores de zero a 1,3 lineamentos por km² e é mostrada no mapa pelos tons de verde, onde pode-se interpretar que nessas áreas as morfoestruturas são pouco presentes, ou até mesmo ausentes, logo não serão muito influentes na vulnerabilidade dos aquíferos. A média densidade varia entre valores de 1,3 a 2,0 lineamentos por km² e é representada no mapa pelos tons de amarelo, nessas áreas, os lineamentos são um importante fator que deve ser considerado na interpretação da vulnerabilidade. Os valores de alta densidade, representados pelos tons de laranja e vermelho, variam de 2,0 a 3,0 lineamentos por km² e são grandes colaboradores em potencial para o aumento da vulnerabilidade dos aquíferos nessas áreas.

4.2. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

De acordo com o mapa hidrogeológico do estado do Rio Grande do Sul (MACHADO & FREITAS, 2005), na área de estudo há a ocorrência de dois sistemas aquíferos aflorantes, sendo um destes subdividido em duas unidades hidroestratigráficas. O primeiro dos dois sistemas aquíferos presentes na região foi denominado pelos autores como Sistema Aquífero Serra Geral II (sg2), que neste trabalho será abordado como Sistema Aquífero Serra Geral (SASG). O segundo sistema aquífero, é subdividido em duas unidades hidroestratigráficas: a unidade hidroestratigráfica Botcatu (bt), e a unidade hidroestratigráfica Santa Maria (sm). Este sistema foi tratado no proposto trabalho como Sistema Aquífero Guarani (SAG). O mapa da figura 7 mostra as regiões onde afloram os aquíferos na região de estudo:

Figura 7 – Mapa Hidrogeológico do município de Venâncio Aires. Elaborado pelo autor, adaptado do Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul, CPRM (2005).



De acordo com os dados obtidos, em média, na região, os poços pertencentes ao SASG são mais profundos que os pertencentes ao SAG. No que diz respeito aos dados de nível estático, o SASG apresenta a maioria de seus poços nível estático com baixa profundidade, enquanto o SAG possui níveis estáticos mais profundos, em média. Esta variação no nível estático encontrada nos dois aquíferos está relacionada com o comportamento e o armazenamento de água nos dois sistemas, sendo que, no SASG, a água está sob pressão, por isso a água tende a se elevar acima das fraturas e ficar próxima à superfície. Já no SAG, como os aquíferos são granulares e podem ser livres, semi-confinados ou confinados, as variações de nível estático podem ser maiores e ocorrer em diferentes profundidades.

Quanto aos dados de entrada d'água do SASG, notou-se uma diminuição no número de entradas d'água nos poços conforme aumenta-se a profundidade dos mesmos. Este comportamento pode ocorrer devido à atuação da pressão do maciço rochoso, que é responsável pelo fechamento das estruturas conforme se aumenta a profundidade, o que impede o fluxo de água para dentro dessas fraturas. Os dados de vazão dos poços indicam que, na região, o sistema aquífero Guarani costuma ser mais produtivo que o Serra Geral.

De maneira geral, observa-se que o SAG apresenta uma maior variedade no comportamento de seus parâmetros. Isso provavelmente ocorre em função do SAG, na região, estar sendo representado por duas diferentes unidades hidroestratigráficas, o Botucatu e o Santa Maria, sendo que o segundo possui uma grande variedade de litologias com diferentes características, além de possuir camadas impermeáveis ou com baixa permeabilidade, como argilitos e siltitos, que podem dar origem a camadas ou unidades aquíferas que apresentam diferentes espessuras saturadas e diferentes comportamentos hidrogeológicos.

4.3. AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DOS AQUÍFEROS PELA METODOLOGIA GOD

A partir dos dados do inventário de pontos de captação, foram selecionados os poços para a avaliação da vulnerabilidade dos dois sistemas aquíferos (SAG e SASG) da região de Venâncio Aires. A análise dos parâmetros com base nesses poços permitiu a geração dos mapas numéricos necessários para a aplicação da metodologia GOD.

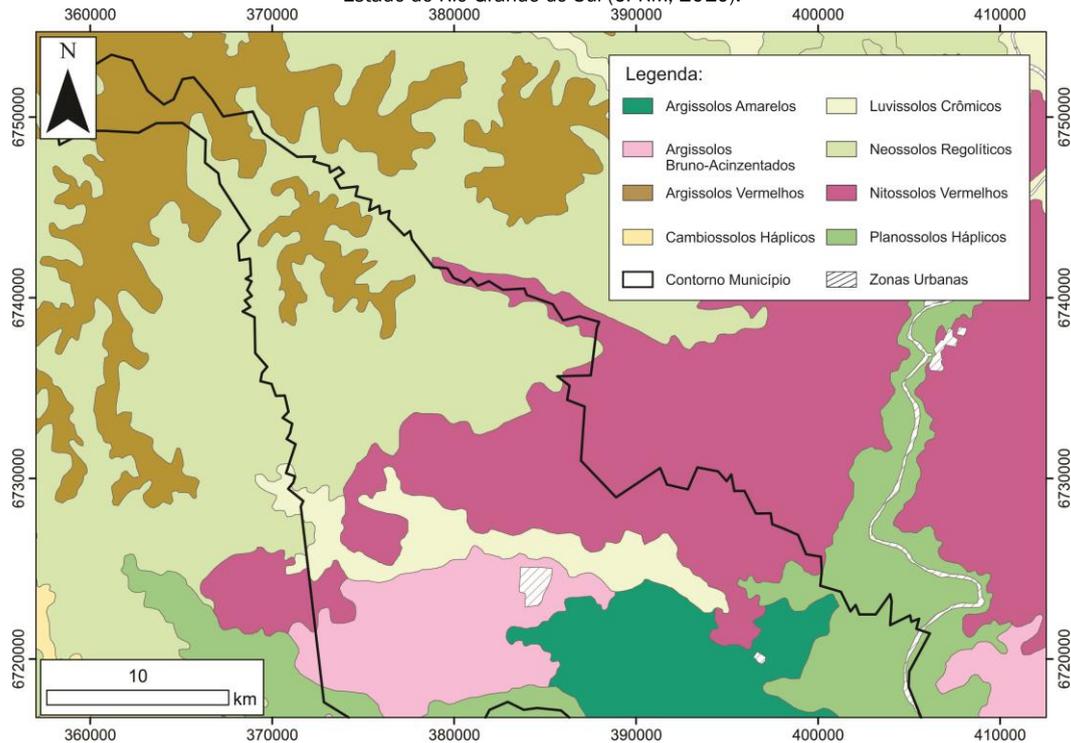
4.3.1 AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DO SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL (SASG)

Para a avaliação da vulnerabilidade do SASG foram utilizados dados de 58 poços, sendo 23 deles localizados nas periferias do município, com o objetivo de reduzir a extrapolação dos dados.

Para a determinação dos valores do parâmetro G para os poços do SASG, assim como no trabalho de Borges, Athayde e Reginato (2017), foi considerada a espessura média dos solos da região. Em função disso, o SASG pode ser considerado um aquífero não confinado coberto a livre, dependendo da espessura dos solos que o cobrem.

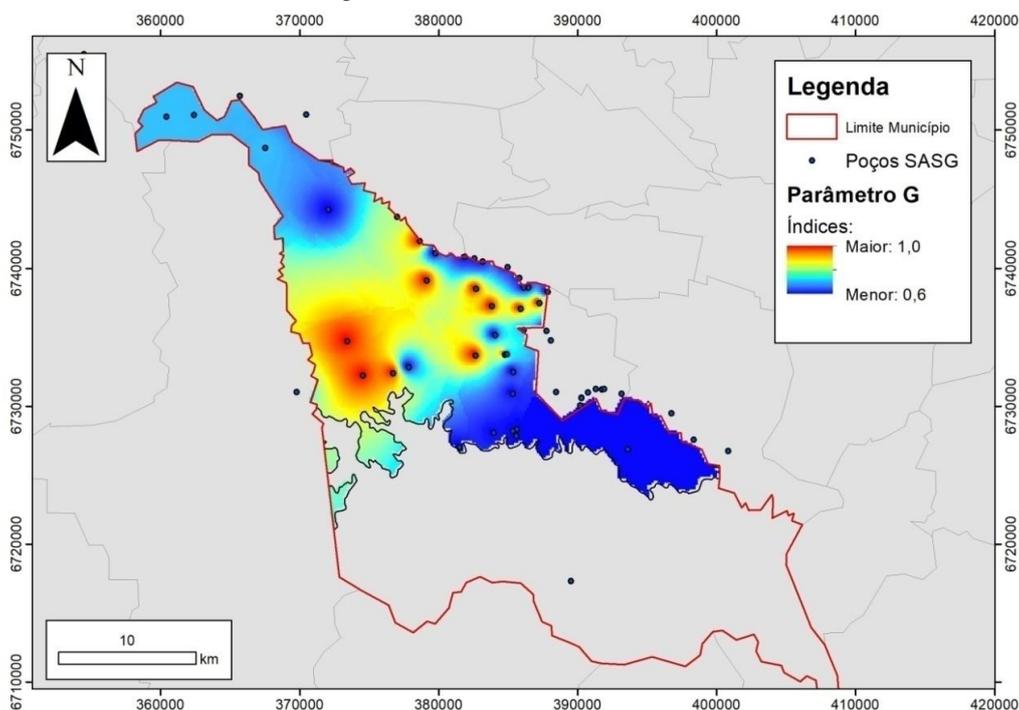
Assim, para fazer essa avaliação, e também definir os valores do parâmetro G, foi utilizado um mapa de solos para a região do município abrangida pelo SASG (figura 8), adaptado a partir dos *shapefiles* disponibilizados pela CPRM em seu portal RIGEO (Repertório Institucional de Geociências), no projeto Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul (CPRM, 2010).

Figura 8 - Mapa de solos para a região norte do município de Venâncio Aires. Elaborado pelo autor, a partir dos *shapefiles* do projeto Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul (CPRM, 2010).



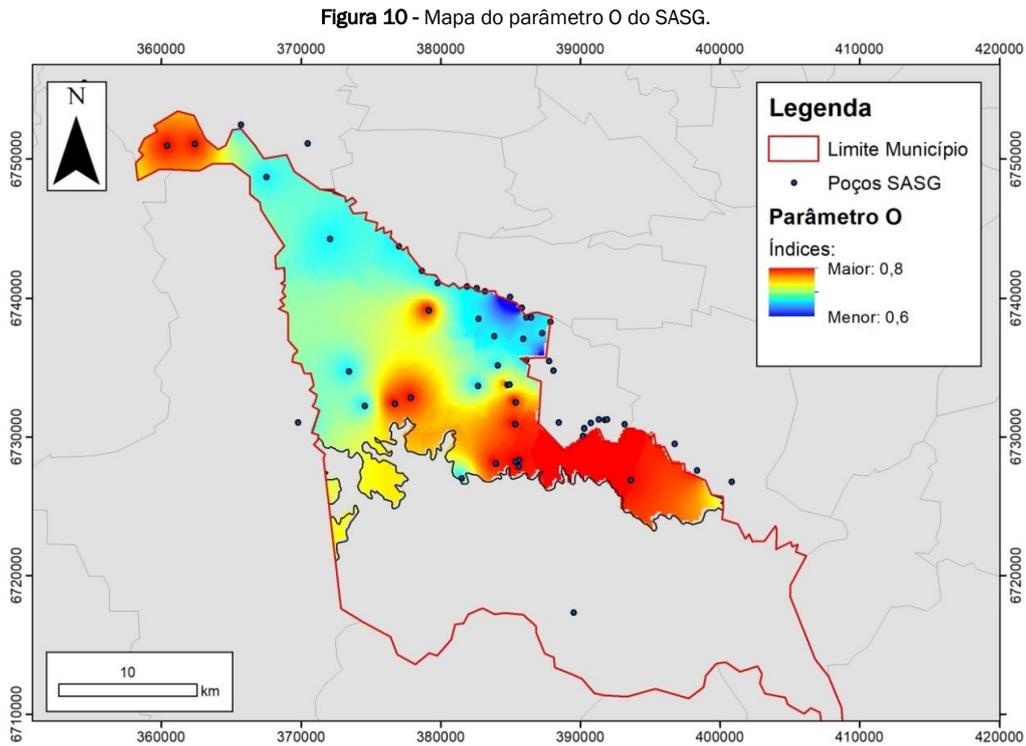
Os parâmetros variam em função da espessura média dos solos, sendo que os menores valores considerados foram os de 0,6 para os poços localizados nas regiões compreendidas por Nitossolos. Para os pontos localizados em regiões de Argissolos, foi dado o valor de 0,7. E para os poços nas regiões de Neossolos, foi dado o valor de 1,0 (aquífero não confinado e livre). Para os poços que possuíam os dados de espessura de solo no seu perfil geológico, foi considerado o dado contido no perfil na hora de atribuir os pesos. A interpolação desses dados resultou no mapa da figura 9:

Figura 9 - Mapa do parâmetro G do SASG.



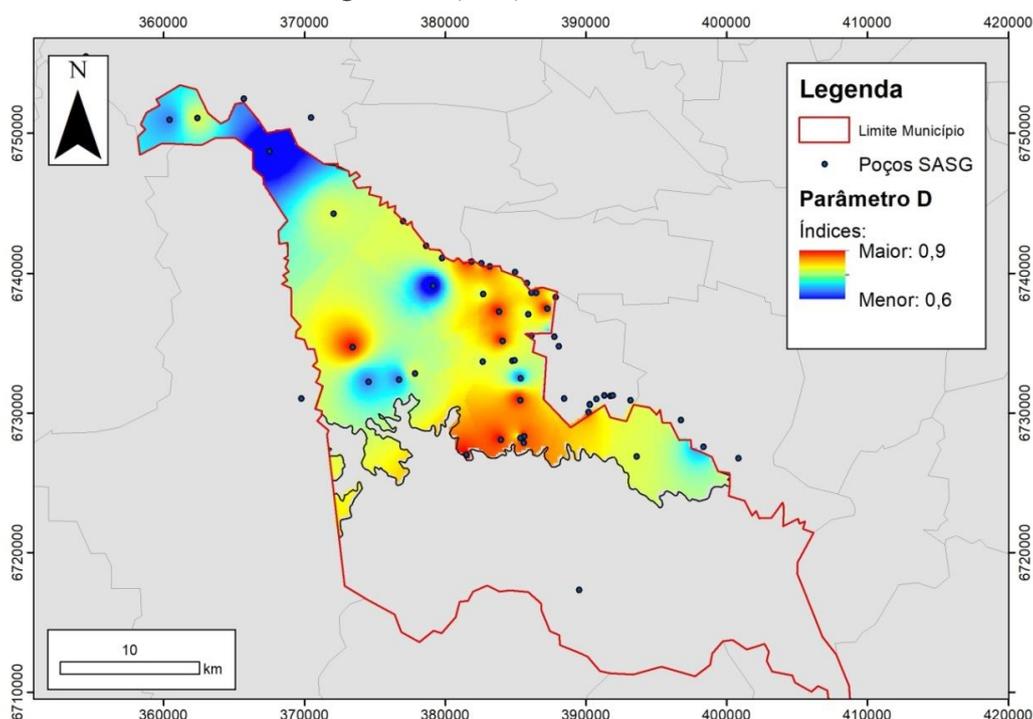
Para a determinação dos valores do parâmetro O dos poços do SASG foram utilizados dados de litologia, presentes no mapa geológico e nos perfis dos poços, bem como o mapa de densidade de lineamentos da região (figura 6), pois, em função deste ser um aquífero fraturado, a presença de mais lineamentos em determinadas áreas poderia facilitar o acesso ao meio aquífero, o que o tornaria mais vulnerável. Como este aquífero está inserido em rochas vulcânicas, segundo a metodologia GOD, os valores a serem atribuídos aos poços variariam entre 0,6 a 0,8. Desta forma, o mapa de densidade de lineamentos foi utilizado para ajudar na atribuição destes valores. Foi escolhido o

valor de 0,6 para os poços localizados em áreas com baixa densidade de fraturas, 0,7 para os poços localizados em áreas com média densidade de fraturas e 0,8 para os poços localizados em áreas com alta densidade de fraturas. A interpolação desses dados resultou no mapa da figura 10:



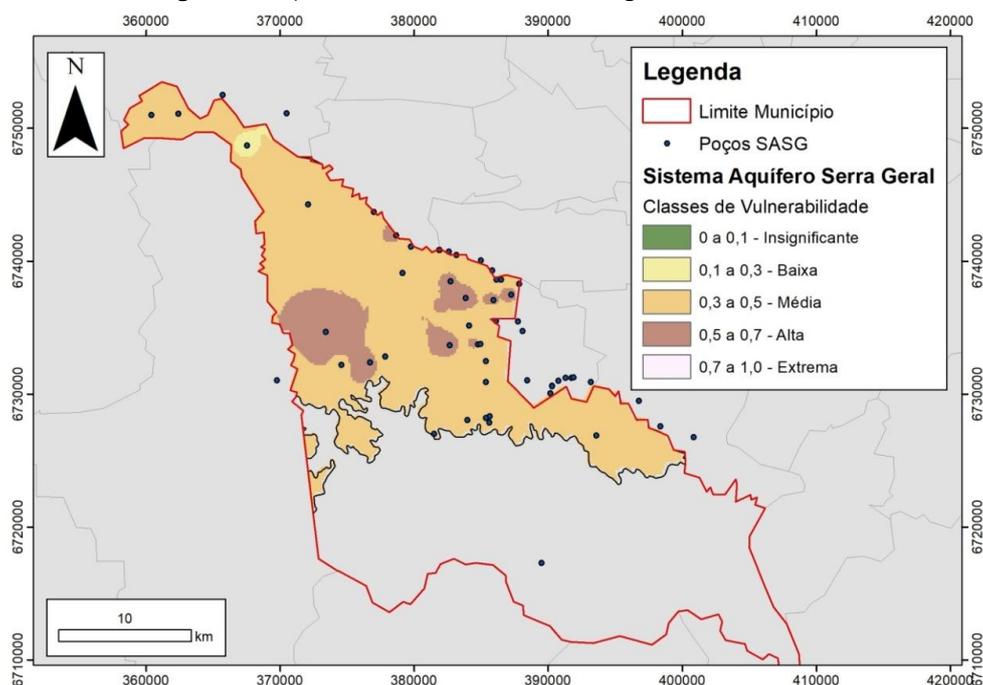
Para a determinação dos valores dos índices do parâmetro D do SASG foram utilizados os dados de nível estático dos poços pertencentes a este aquífero. Dos 58 poços utilizados, seis não possuíam medidas de nível estático. Estes valores foram substituídos pela média das medidas de nível estático dos poços do SASG. Os valores deste parâmetro variam de 0,6 a 0,9, conforme o indicado pela metodologia. A interpolação desses dados resultou no mapa da figura 11. Este parâmetro demonstra espacialmente o que foi analisado na etapa de caracterização hidrogeológica, onde os níveis estáticos do SASG apresentam-se geralmente em profundidades mais rasas, acima das fraturas de entrada d'água, em função de a água estar sob pressão.

Figura 11 - Mapa do parâmetro D do SASG.



O mapa de vulnerabilidade do SASG na região é mostrado na figura 12:

Figura 12 - Mapa de vulnerabilidade do SASG na região de Venâncio Aires.



No geral, o SASG, na área de estudo, possui um predomínio de áreas classificadas com vulnerabilidade média, com algumas áreas menores, nas partes centro-noroeste e centro-norte do município classificadas com vulnerabilidade alta. No extremo norte do município ocorre uma pequena zona com baixa vulnerabilidade. Vulnerabilidade Insignificante ocorre muito localmente, e em áreas muito pequenas. De acordo com esse estudo não há áreas classificadas com vulnerabilidade extrema nessa região.

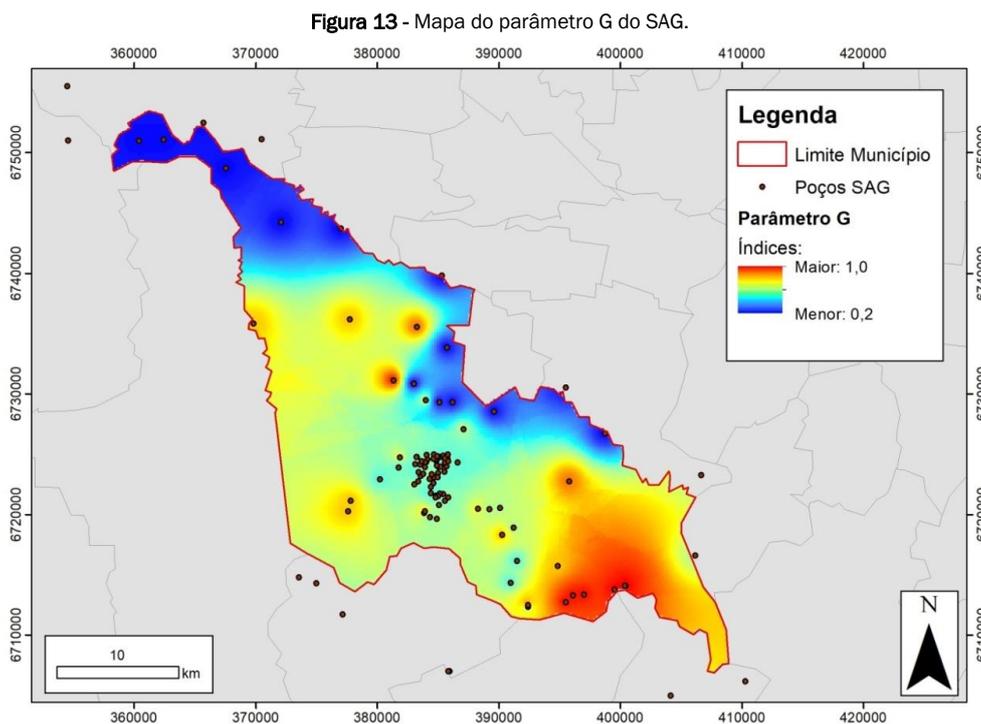
Em termos de porcentagem: 85,79% da área do SASG possui vulnerabilidade média, 13,15% possui vulnerabilidade alta e 1,06% da área foi classificada com baixa vulnerabilidade. Os valores mais altos de vulnerabilidade estão associados às áreas com a menor espessura de solo (áreas com neossolos) da região, onde o SASG apresenta comportamento, no que diz respeito à vulnerabilidade, de um aquífero livre.

Os valores mais baixos ocorrem na parte norte, onde os basaltos apresentam uma espessura maior e os níveis estáticos apresentam-se mais profundos.

4.3.2 AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DO SISTEMA AQUIFERO GUARANI (SAG)

Para a avaliação da vulnerabilidade do SAG foram utilizados dados de 113 poços, sendo 11 deles localizados nas periferias da região norte do município e dentro dela, na área correspondente ao SASG, com o intuito de mostrar o confinamento do SAG nesta parte da área de estudo. Dos 102 poços restantes, dez poços se localizam nas periferias do município, sendo utilizados para diminuir a extrapolação dos dados causada pelas interpolações.

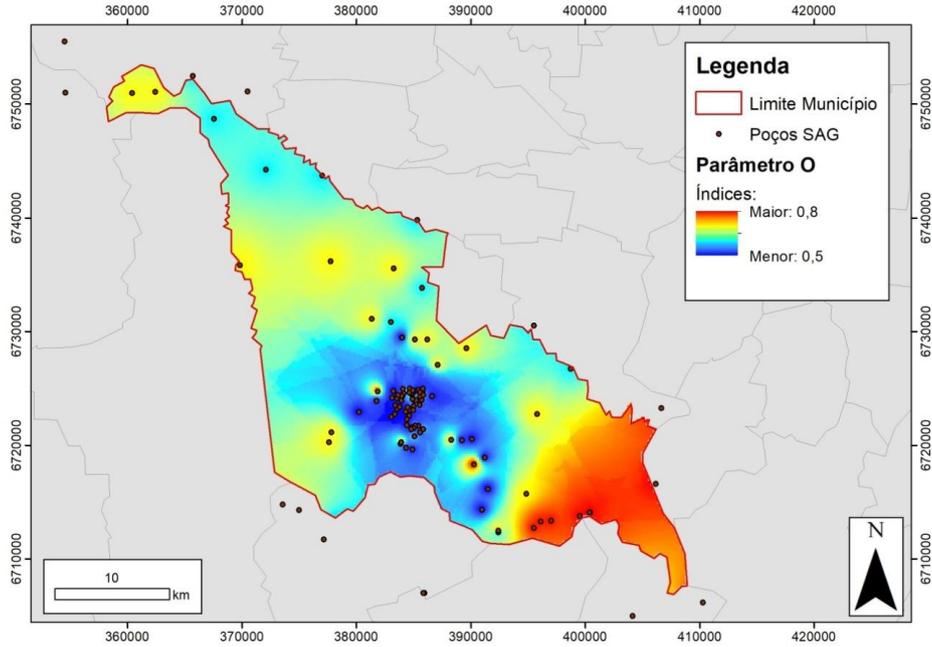
Para a determinação dos valores do parâmetro G do SAG, foi levado em consideração o tipo de aquífero, bem como dados geológicos e hidrogeológicos. Foram utilizados principalmente os dados dos perfis geológicos dos poços da região, sendo atribuídos valores conforme o sugerido pela metodologia quanto às condições de confinamento do aquífero, com valores que variam de 0,2, nas áreas onde o SAG se encontra confinado sob o SASG, até 1,0, onde o SAG encontra-se livre. Nos poços que não possuíam dados de perfil, foram considerados os valores dos poços ao seu redor. A interpolação desses dados resultou no mapa da figura 13:



Em função da presença de muitas camadas de argila, silte, argilitos e siltitos, que podem variar de cinco a até 60m em grande parte dos poços do SAG na região, principalmente na zona urbana, foi dado o valor de 0,6 para poços com espessuras de camadas destas rochas entre 5 e 20m, de forma que, o SAG, nessas áreas, foi considerado como um aquífero livre coberto. Para os poços que possuem mais de 20m de espessura dessas rochas, foi atribuído o valor de 0,5.

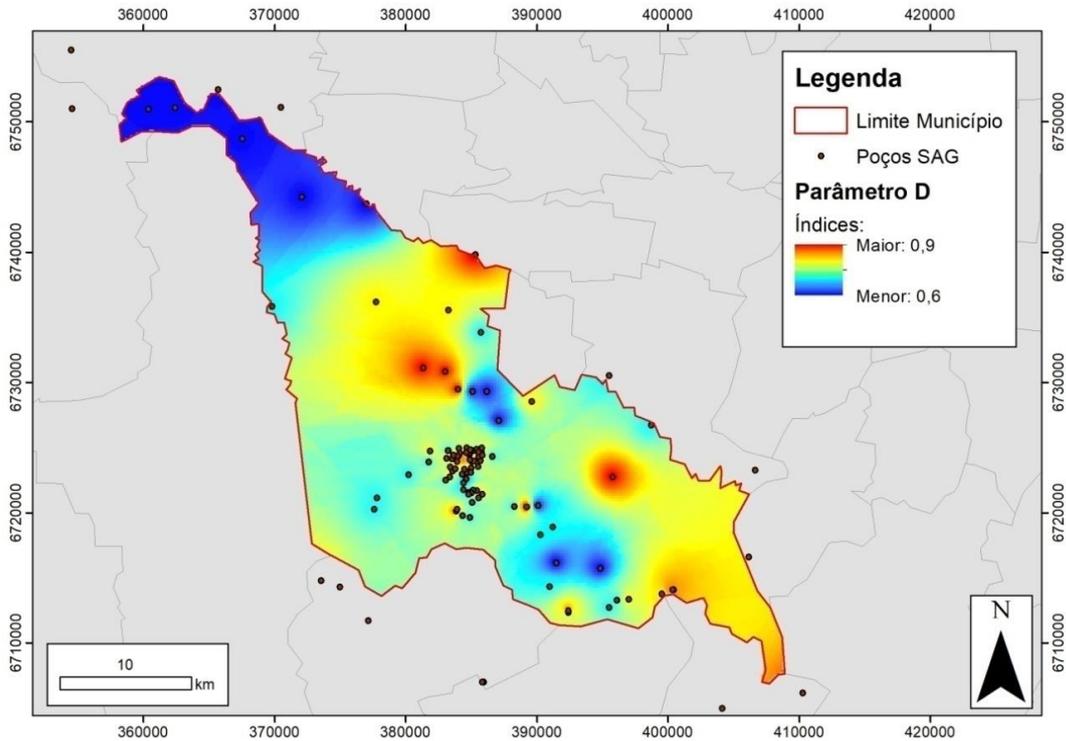
Para a determinação dos valores do parâmetro O do SAG foram utilizados, conforme descrito na metodologia, dados geológicos e de perfis de poços em conjunto do mapa geológico. Para poços que não possuíam esses dados, foram utilizadas as informações de poços ao seu redor, bem como do mapa geológico. Os valores escolhidos variam de 0,5 para as áreas com presença de argilitos, até 0,8 para áreas com cobertura de solo e material inconsolidado. Valores intermediários compreendem áreas com siltito ou basaltos de baixo a médio nível de fraturamento, com índices de 0,6, e arenitos ou basaltos muito fraturados, com índices de 0,7. A interpolação desses dados resultou no mapa da figura 14:

Figura 14 - Mapa do parâmetro O do SAG.



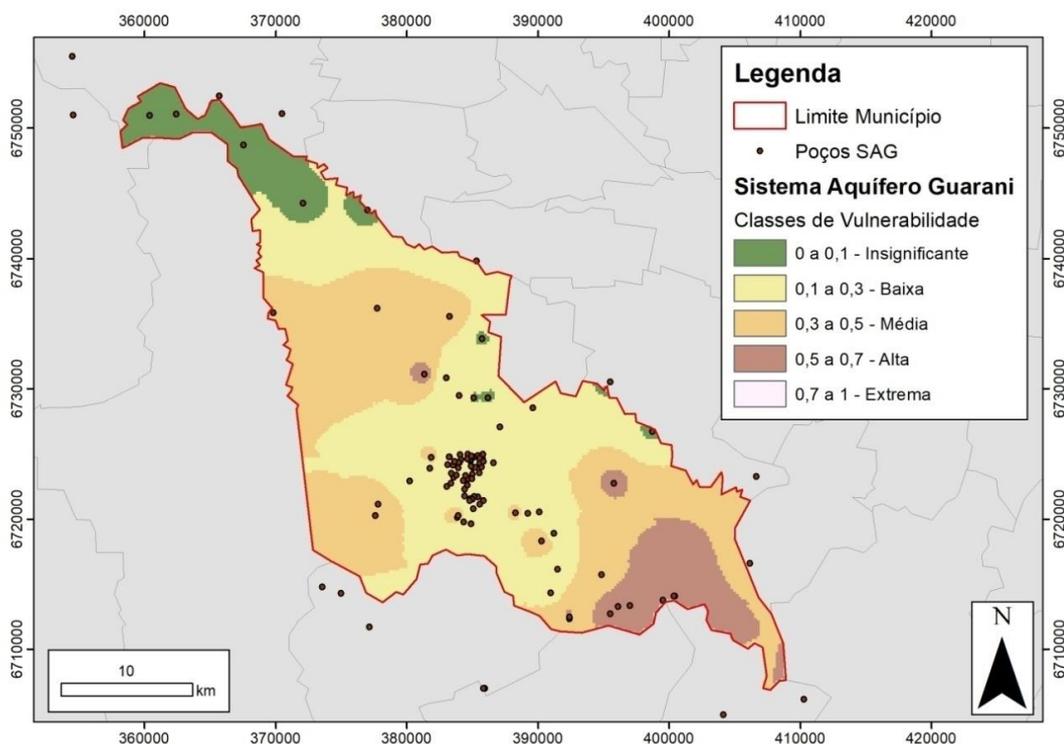
Para a determinação dos valores do parâmetro D do SAG foram utilizados os dados de nível estático dos poços pertencentes a este aquífero. Dos 113 poços utilizados, 15 não possuíam medidas de nível estático. Nesse caso, estes valores foram substituídos pela média das medidas de nível estático dos poços do SAG. Os valores deste parâmetro variam de 0,6 a 0,9, conforme o indicado pela metodologia. A interpolação desses dados resultou no mapa da figura 15:

Figura 15 - Mapa do parâmetro D do SAG.



O mapa de vulnerabilidade do SAG na região é mostrado na figura 16:

Figura 16 - Mapa de vulnerabilidade do SAG na região de Venâncio Aires.



No geral o SAG, na região, possui predominância de áreas com baixa vulnerabilidade, principalmente nas áreas correspondentes à zona urbana. As áreas que possuem média vulnerabilidade se concentram nas partes sudeste, sudoeste e centro-noroeste do município, além de integrarem, também, alguns pontos próximos ao centro urbano. As áreas de alta vulnerabilidade se concentram na parte sudeste do município, regiões mais planas, próximas ao rio Taquari, onde o SAG encontra-se livre. No extremo norte do município, o SAG apresenta vulnerabilidade insignificante, em função de estar confinado sob uma espessa camada de basaltos pertencentes à Fm. Serra Geral. As áreas de extrema vulnerabilidade representam uma porção muito pequena, estando associadas às áreas de alta vulnerabilidade.

Em termos de porcentagem: 44,27% da área do SAG possui baixa vulnerabilidade, 38,16% possui média vulnerabilidade, 9,14% possui alta vulnerabilidade, 8,38% da área foi classificada como vulnerabilidade insignificante e 0,05% da área possui vulnerabilidade extrema.

Os valores de baixa vulnerabilidade em áreas onde o SAG deveria se apresentar como um aquífero livre vão de encontro com o esperado do comportamento desse aquífero nessas áreas. Isso provavelmente deve ocorrer em função dos materiais que compõem o SAG na região. O fato de existirem muitas intercalações de arenitos, siltitos e argilitos, gera diversas camadas aquíferas em diferentes profundidades e com diferentes graus de confinamento. Notou-se, durante o estudo da vulnerabilidade, a presença de camadas de argilitos muito espessas nos perfis de poços dentro da área compreendida pela zona urbana do município de Venâncio Aires. Em função dessas camadas, o aquífero se comporta ali, como um aquífero livre coberto, ou até mesmo como um aquífero semi-confinado. O fato de os sedimentos serem de origem argilosa também coopera para a diminuição da vulnerabilidade do aquífero nessa zona, dificultando o acesso de substâncias até a zona saturada ou camada aquífera.

Este comportamento muda conforme nos distanciamos da zona urbana, com a vulnerabilidade aumentando tanto para leste quanto para oeste, sendo que, na parte leste, ela atinge valores mais elevados, sendo classificada como uma zona de alta vulnerabilidade. Nesta área, não foram observadas essas espessas camadas de argila, que age como impermeabilizante, nos perfis dos poços, de forma que, nessas zonas, o SAG se comporta de maneira livre, sendo assim, mais vulnerável.

Na parte norte do município, o SAG encontra-se confinado abaixo do SASG. Este confinamento aumenta conforme vamos mais para norte, pois a espessura de basaltos aumenta proporcionalmente.

Ainda na parte onde o SAG se encontra confinado, observa-se uma diminuição da vulnerabilidade, de média para insignificante, conforme se avança para norte, isso provavelmente se dá em função da espessura do pacote de derrames basálticos, a qual aumenta para o norte, na região.

4.4. AVALIAÇÃO DO RISCO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DOS AQUÍFEROS

A análise do risco de contaminação envolve a sobreposição das possíveis fontes de contaminação (cargas contaminantes), pontuais ou difusas, dentro de determinada área, com o estudo de vulnerabilidade dos sistemas aquíferos desta mesma área. Esta análise foi realizada de acordo com o proposto no quadro 1:

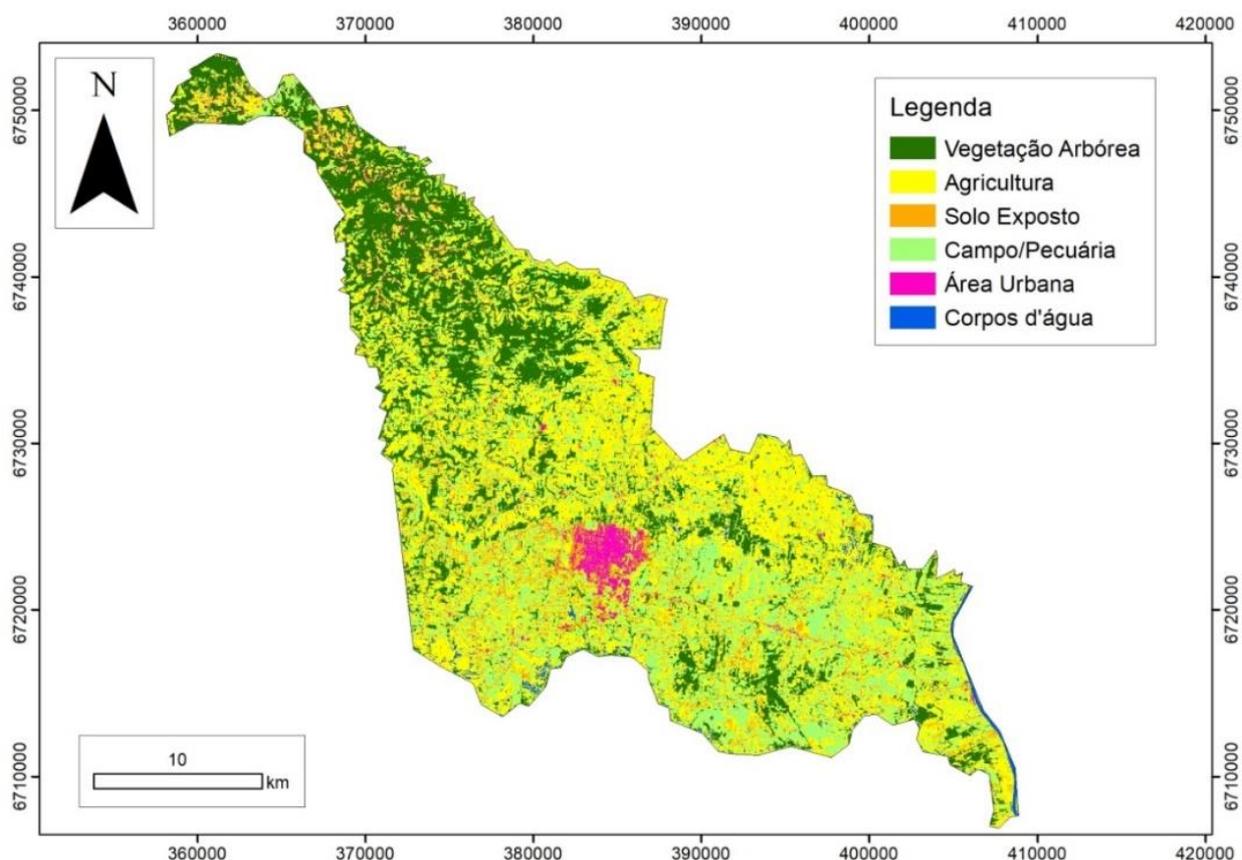
Quadro 1. - Classificação do perigo de contaminação em relação às fontes de contaminação. Modificado de Barbosa et al. (2011).

Perigo (risco) de contaminação em relação às fontes de contaminação		POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO		
		Reduzido	Moderado	Elevado
VULNERABILIDADE	Insignificante	Muito baixo	Muito baixo	Baixo
	Baixa	Muito baixo	Baixo	Moderado
	Média	Baixo	Moderado	Alto
	Alta	Moderado	Alto	Alto
	Extrema	Alto	Alto	Extremo

4.4.1 AVALIAÇÃO DO RISCO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DAS FONTES DIFUSAS

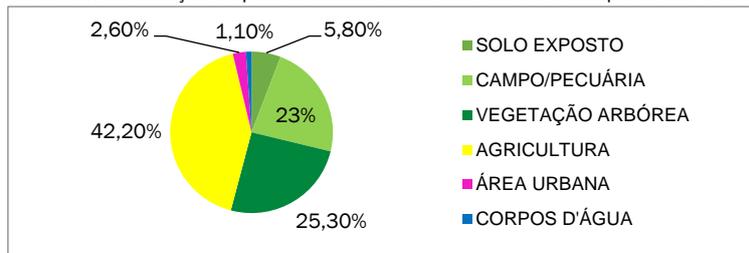
A análise das fontes de contaminação difusas na área de estudo se deu através da geração e interpretação de um mapa de uso e ocupação do solo para a região (figura 17). As classes geradas no mapa foram: agricultura, área urbana, campo/pecuária, corpos d'água, solo exposto e vegetação arbórea.

Figura 17 - Mapa de uso e ocupação do solo para a região de Venâncio Aires. Elaborado pelo autor, com base em imagens do satélite Landsat 8.



As distribuições percentuais das áreas das diferentes classes são mostradas no gráfico da figura 18:

Figura 18 - Gráfico com distribuição de percentual das áreas das classes do mapa de uso e ocupação do solo.



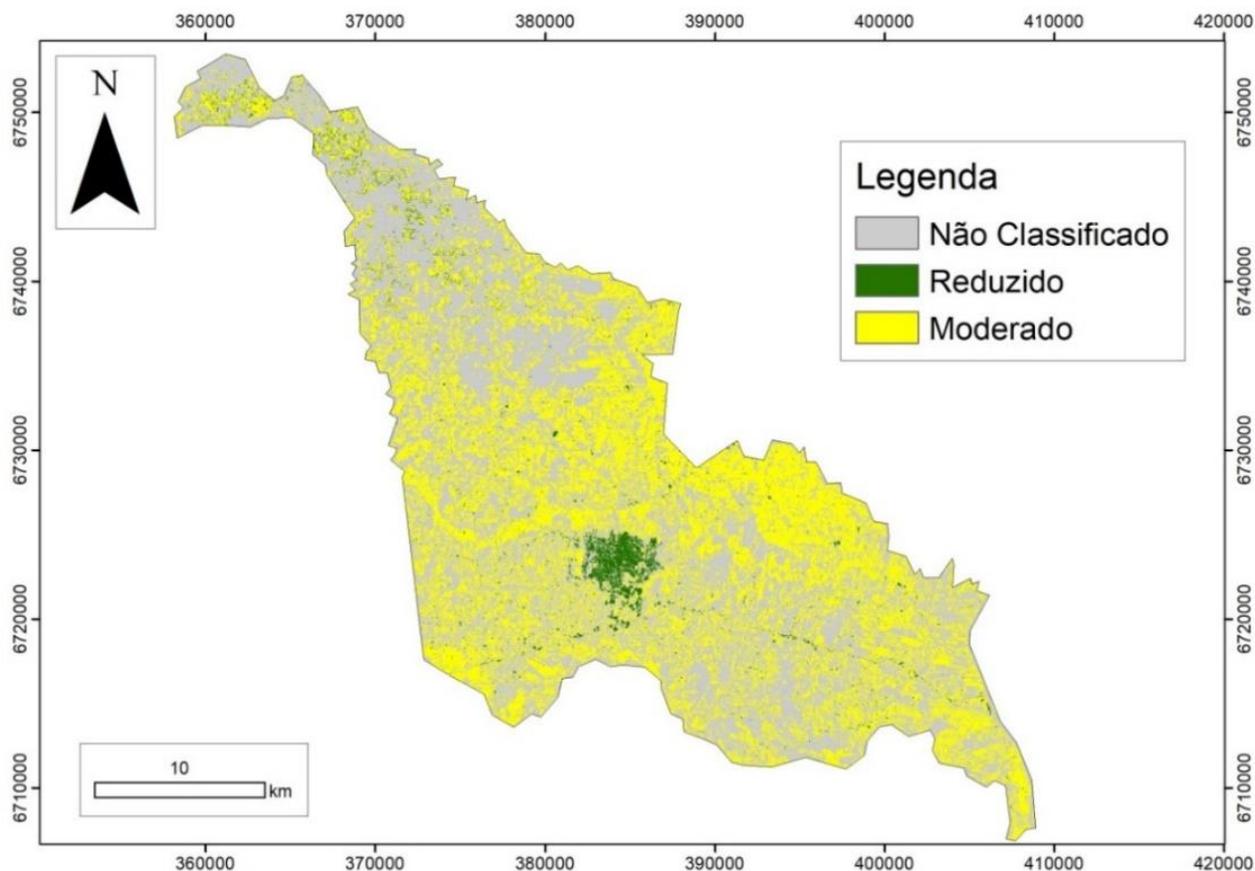
De acordo com o site *deepask.com*, 48% da área do município é utilizada para práticas agrícolas, que se caracterizam principalmente pela plantação de milho e fumo, com 21% e 18% da área do município sendo utilizada para a sua produção, respectivamente. A diferença entre os valores de área de produção agrícola obtidos no mapa de uso e ocupação e das informações do site *deepask.com* provavelmente se devem a problemas na coleta e interpretação das amostras espectrais na hora da produção do mapa, mas, para a escala do trabalho, esta diferença foi considerada muito pequena.

Em função da inviabilidade de determinar se a agricultura na região é predominantemente familiar e rotativa ou extensiva e sem rotação de culturas, foi decidido classificar as áreas de produção agrícola como áreas com potencial contaminador moderado.

Segundo dados oficiais do IBGE, a cobertura da rede de esgotamento sanitário adequado para as áreas urbanas de Venâncio Aires é de 85,6%, e a densidade demográfica é de 85,29 hab/km², o que, segundo a metodologia POSH (FOSTER et al. 2006), classifica as áreas urbanas do município como portadoras de um potencial contaminador reduzido.

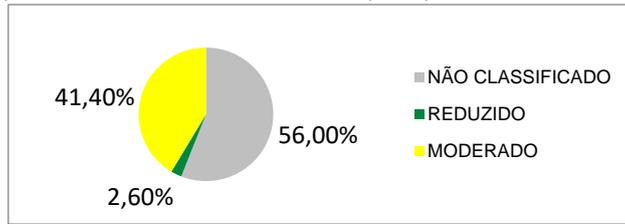
Após as reclassificações do mapa de uso e ocupação do solo de acordo com os padrões da metodologia utilizada, obteve-se o seguinte mapa (figura 19):

Figura 19 - Mapa de potencial de contaminação das fontes difusas de Venâncio Aires.



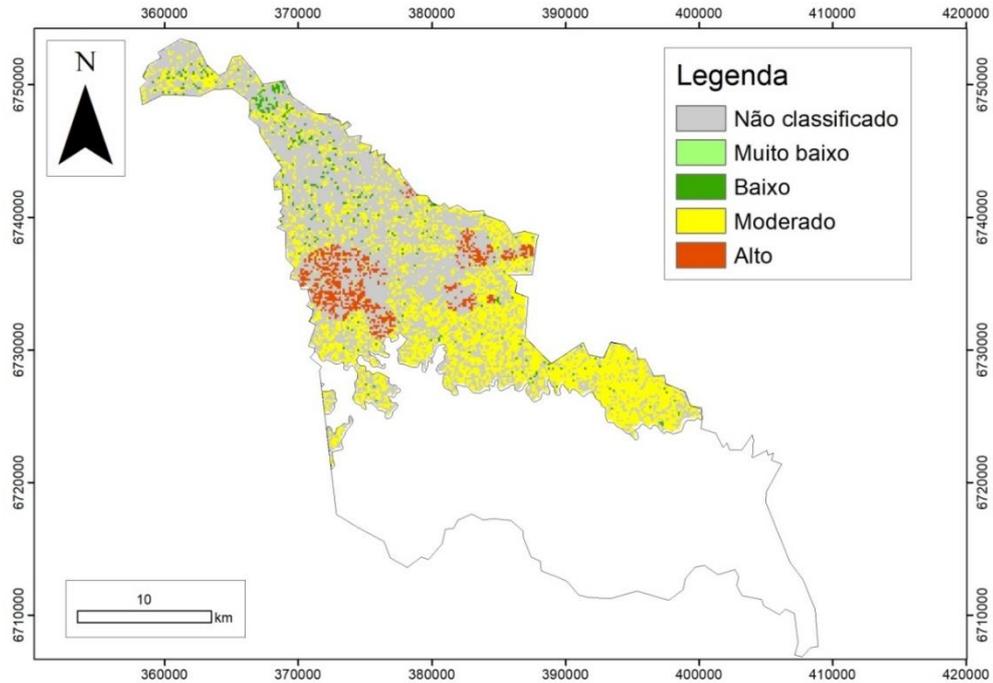
As distribuições percentuais das áreas das diferentes classes são mostradas no gráfico da figura 20. As áreas referentes às classes de solo exposto, campo/pecuária, vegetação arbórea e corpos d'água não foram classificadas pela metodologia.

Figura 201 - Gráfico com distribuição de percentual das áreas das classes do mapa de potencial de contaminação das fontes difusas de Venâncio Aires.



O cruzamento dos dados dos mapas de potencial de contaminação e de vulnerabilidade dos aquíferos permitiu a análise e classificação do perigo de contaminação dos aquíferos da região, como previsto no quadro 1. Esta análise foi feita individualmente para cada aquífero, como mostrado nas figuras 21 e 23.

Figura 21 – Perigo de contaminação para os aquíferos do SASG.



As distribuições percentuais das áreas das diferentes classes de perigo de contaminação para o SASG são mostradas no gráfico da figura 22:

Figura 22 - Gráfico com distribuição de percentual das áreas das classes do mapa de perigo de contaminação do SASG.

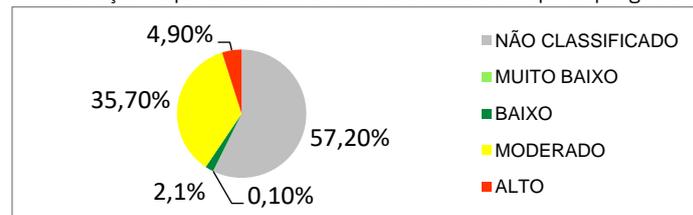
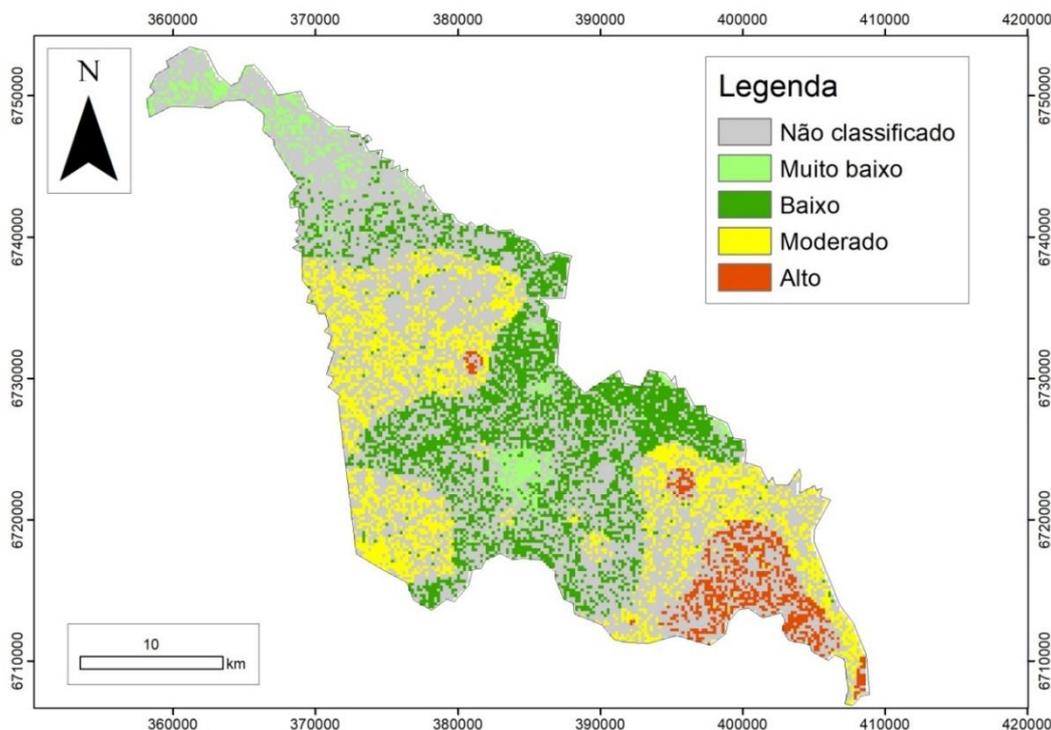
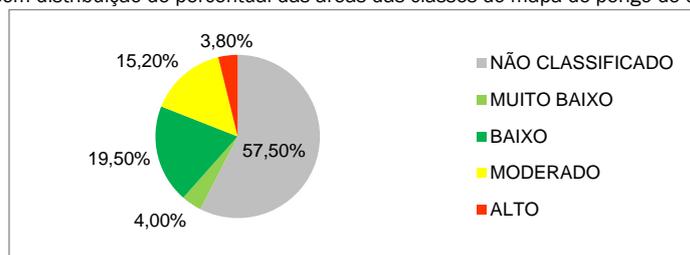


Figura 23 - Perigo de contaminação para os aquíferos do SAG.



As distribuições percentuais das áreas das diferentes classes de perigo de contaminação para o SAG são mostradas no gráfico da figura 24:

Figura 24 - Gráfico com distribuição de percentual das áreas das classes do mapa de perigo de contaminação do SAG.



De acordo com a figura 21, as áreas que possuem um alto perigo associado aos aquíferos do SASG se distribuem nas áreas onde há alta vulnerabilidade somada ao uso do solo para agricultura, concentradas, principalmente na parte oeste do município e em algumas pequenas áreas na parte centro-norte. Nos locais com predomínio de agricultura, mas com vulnerabilidade média, o risco associado a estas áreas foi considerado como moderado.

Quanto aos aquíferos do SAG (figura 23), foram considerados como perigo muito baixo as áreas urbanas, como perigo baixo, as áreas com uso do solo para agricultura somado à vulnerabilidade baixa, como perigo moderado as áreas com agricultura associada à vulnerabilidade média, e perigo alto nas áreas em que ocorre vulnerabilidade alta e uso do solo para agricultura.

É importante ressaltar que, dependendo do que for considerado esgotamento sanitário adequado pelo IBGE, podem ocorrer diferenças entre quais áreas da zona urbana podem ou não ser consideradas com potencial de contaminação reduzido, pois a metodologia POSH apenas considera a rede de esgotamento como uma potencial fonte de contaminação difusa, por outro lado, pode ser que o IBGE englobe casas com fossa séptica na sua contagem do que pode ser considerado parte da rede de esgotamento adequado. Se este for o caso, a atribuição do potencial de contaminação reduzido para a zona urbana seria inadequada, e esta, deveria ser considerada como possuidora de um potencial de contaminação moderado. Este potencial, ao ser cruzado com os dados de vulnerabilidade baixa, resultaria em um perigo de contaminação baixo, ao invés de muito baixo, como mostrado nos mapas.

Também é válido dizer que, caso a pecuária nos campos fosse considerada uma fonte de contaminação, as áreas dedicadas, no mapa de uso e ocupação do solo, à classe de campo/pecuária poderiam possuir um potencial de contaminação reduzido, ou até mesmo moderado, dependendo da intensidade da pecuária, o que poderia gerar diferentes perigos de contaminação quando cruzados com os dados de vulnerabilidade dos aquíferos. Entretanto, essa análise não foi realizada, pois a resolução da imagem de satélite não tornou possível a distinção entre quais campos eram utilizados para pecuária e quais não.

4.4.2 AVALIAÇÃO DO RISCO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DAS FONTES PONTUAIS

As fontes pontuais de contaminação foram classificadas de acordo com a metodologia POSH (FOSTER et al. 2006.). Ao todo foram identificadas e classificadas 73 dessas fontes na região de Venâncio Aires. Desse total, 23 fontes foram classificadas com potencial reduzido (32%), 30 fontes com potencial moderado (41%), e 20 fontes com potencial elevado (27%).

Entre as fontes de potencial reduzido estão empresas do ramo alimentício, tais como beneficiadoras de arroz, fábricas de alimentos para animais e fábricas de bebidas. Serrarias, madeireiras e fábricas de artefatos construtivos também foram classificadas com potencial reduzido, assim como cemitérios mapeados nas etapas de campo. Entre as fontes de contaminação moderada estão os postos de gasolina, comércios de gás liquefeito de petróleo, fábricas de calçados de couro, frigoríficos, fábricas de artigos de vidro e um comércio atacadista de fumo em folha não beneficiado. Entre as fontes de contaminação classificadas com potencial elevado, estão fábricas de eletrodomésticos, metalúrgicas, fundições de ferro e aço, fábricas de máquinas e equipamentos industriais e para agropecuária, fábricas de materiais de plástico e fábricas que realizam o processamento industrial do fumo.

As fontes pontuais foram localizadas geograficamente e distribuídas nos mapas de vulnerabilidade do SAG e do SASG com o objetivo de se avaliar zonas com maior perigo de contaminação, como mostrado nas figuras 25 e 26:

Figura 25 - Distribuição das fontes pontuais de contaminação cadastradas sobre mapa de vulnerabilidade na área representada pelo SASG.

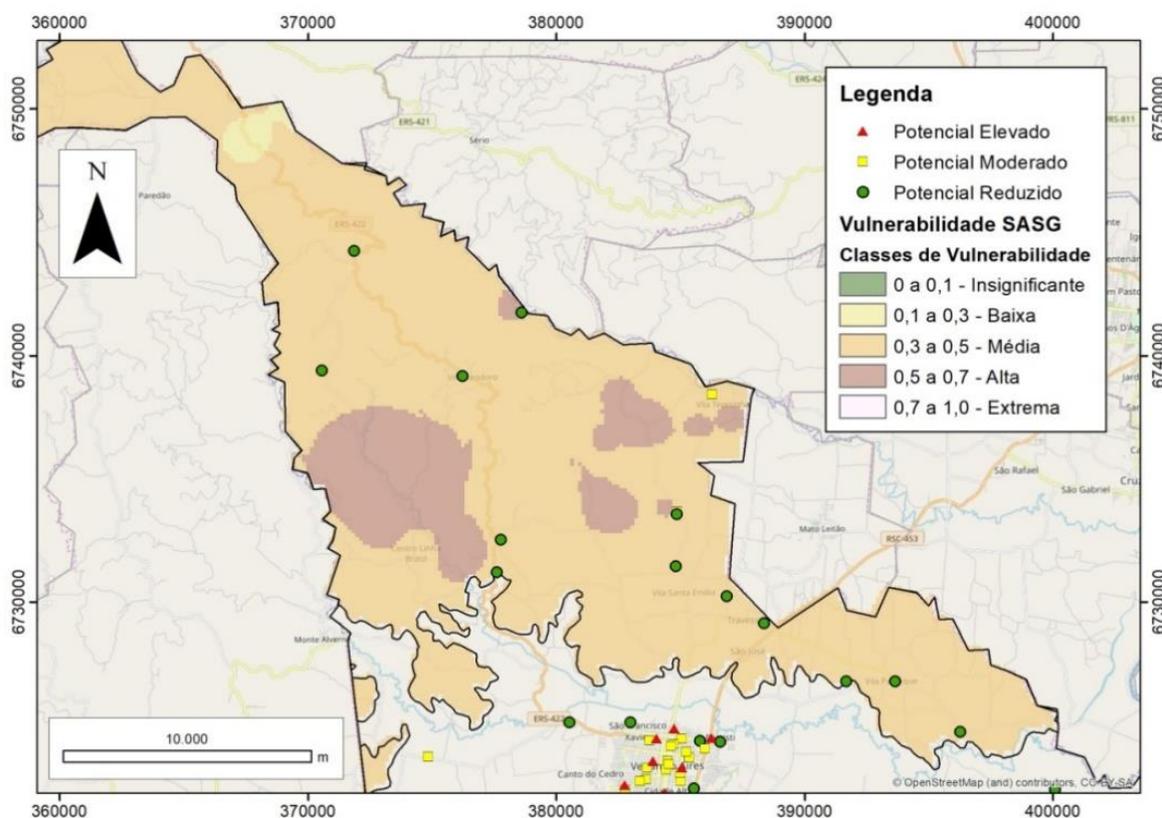
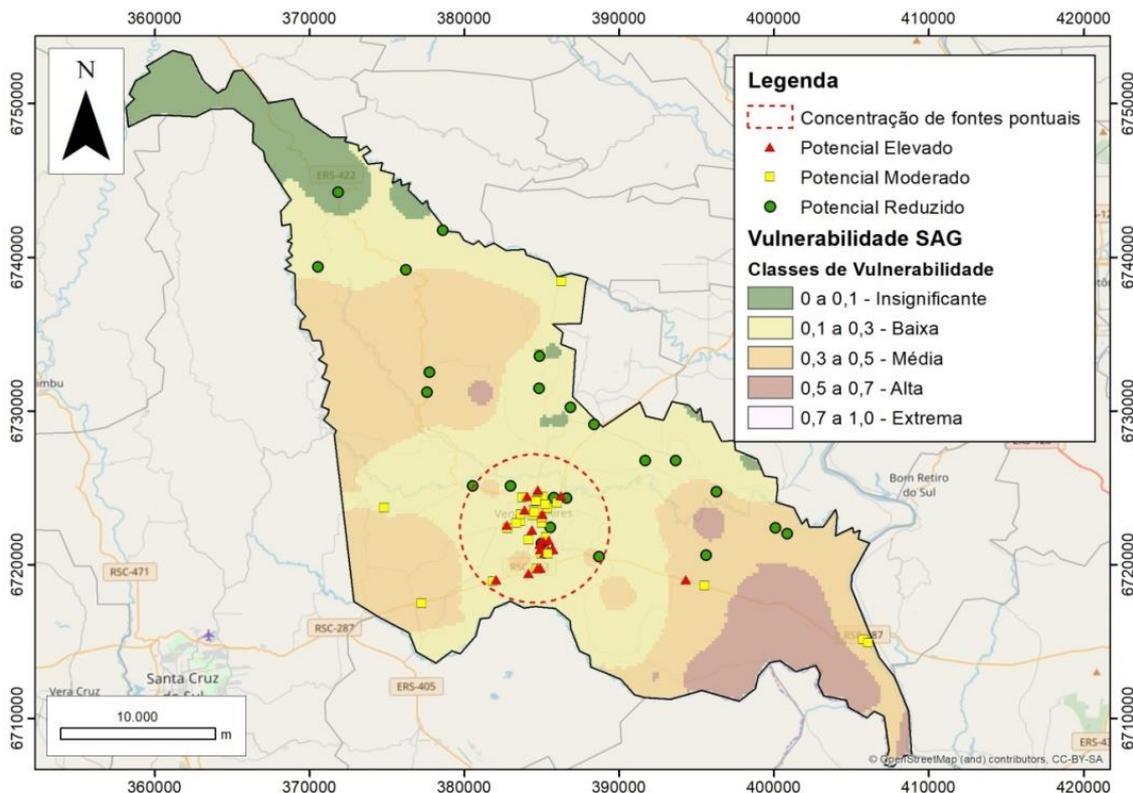


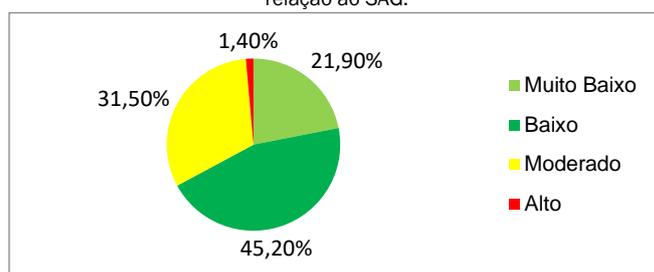
Figura 26 - Distribuição das fontes pontuais de contaminação cadastradas sobre mapa de vulnerabilidade na área representada pelo SAG.



As fontes presentes na área representada pelo SASG são, em sua maioria, pequenos cemitérios mapeados em campo, mas também estão incluídas dentre essas fontes, dois frigoríficos, uma fábrica de refrigerantes e uma madeireira. Destas fontes, 13 foram classificadas como tendo potencial de contaminação reduzido e duas com potencial moderado. Ao cruzar estes dados com os dados de vulnerabilidade do SASG (figura 25), vemos que, das 15 fontes presentes na área representada pelo SASG, 12 apresentam perigo de contaminação baixo, enquanto três fontes apresentam perigo de contaminação moderado. Estas fontes são: dois frigoríficos em áreas de média vulnerabilidade e um cemitério localizado em uma área de alta vulnerabilidade, isolada na parte centro-norte do município.

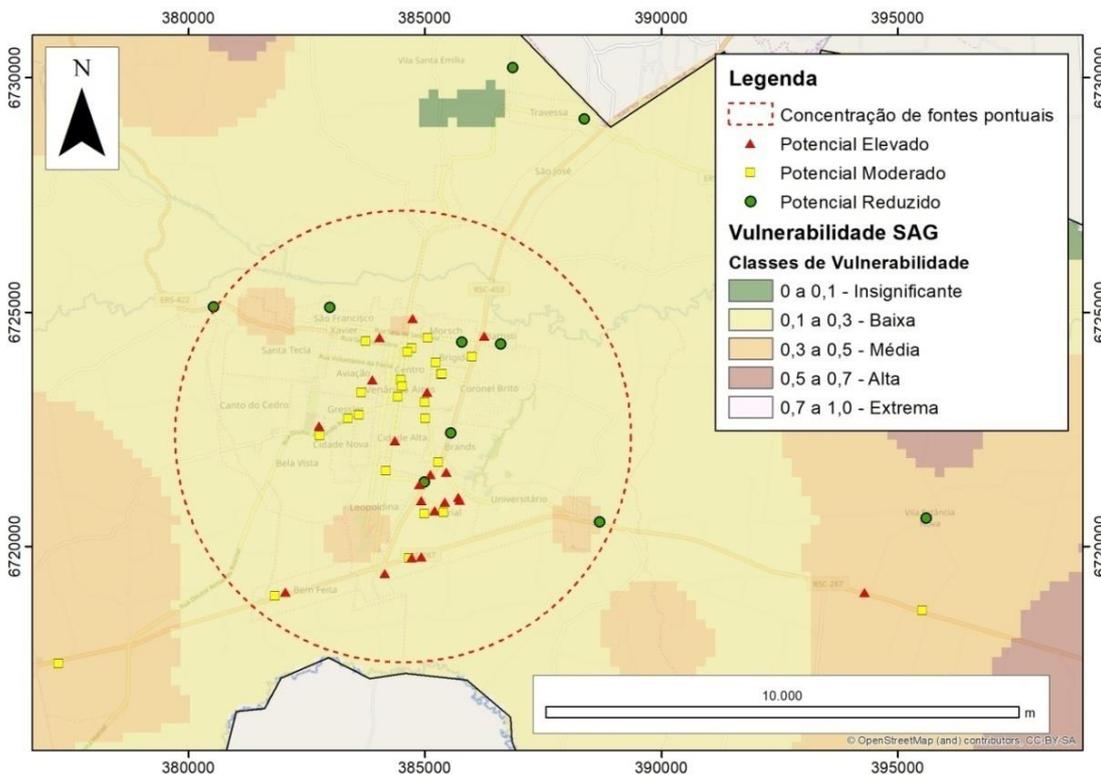
Ao analisar as fontes presentes na área representada pelo SAG (figura 26) vemos que as zonas classificadas com alta vulnerabilidade não apresentam associação com nenhuma fonte de contaminação pontual. Das 73 fontes do município, 16 possuem perigo de contaminação muito baixo em relação ao SAG, 33 possuem perigo baixo, 23 possuem perigo moderado e uma fonte possui perigo alto, a representação em porcentagem desses valores é mostrada no gráfico da figura 27:

Figura 27 - Gráfico da distribuição, em porcentagem, das fontes de contaminação classificadas nos diferentes níveis de perigo de contaminação em relação ao SAG.



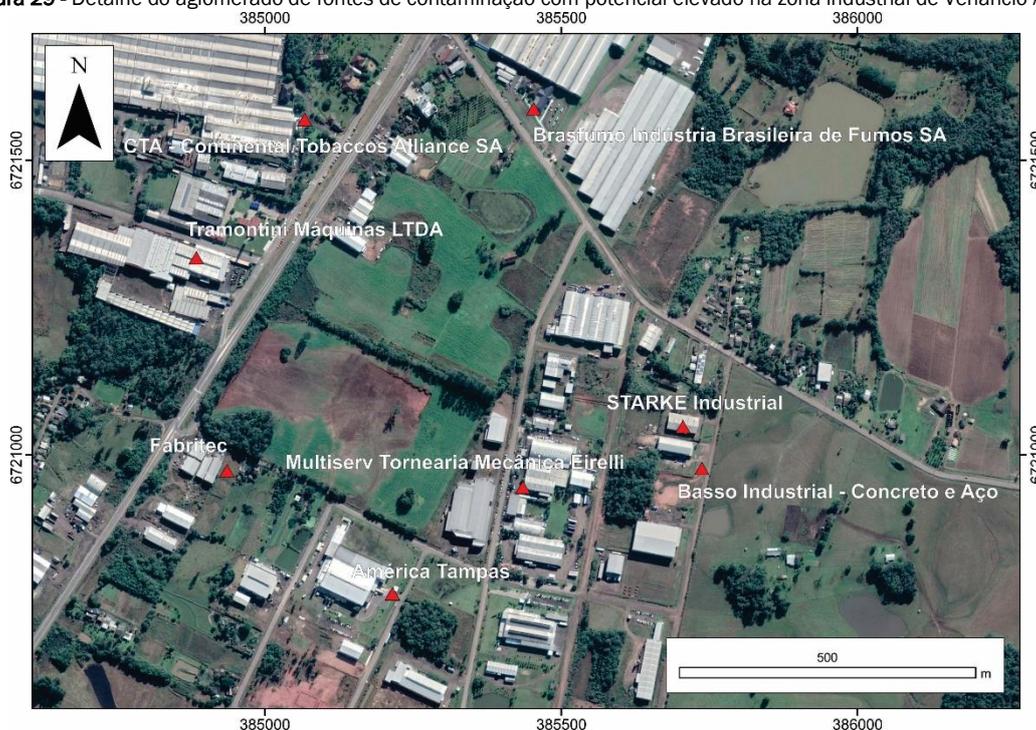
Dentre as fontes com perigo moderado encontram-se os postos de gasolina em áreas de média vulnerabilidade e 19 das 20 fontes classificadas com potencial elevado. A única fonte com perigo alto da região é uma metalúrgica localizada em uma zona de média vulnerabilidade. No mapa da figura 26, observa-se uma maior concentração de fontes na parte central do município, área referente à zona urbana e industrial de Venâncio Aires, onde se localizam 49 das 73 fontes de contaminação mapeadas na região. A figura 28 mostra esta área em detalhe:

Figura 28 - Detalhe da área com maior concentração de fontes pontuais no centro urbano e industrial de Venâncio Aires.



Dentro da zona urbana, na área com maior concentração de fontes de contaminação cadastradas, ocorre um aglomerado de fontes com potencial elevado, com a presença de oito fontes em uma pequena região, na zona industrial do município, como mostrado na figura 29:

Figura 29 - Detalhe do aglomerado de fontes de contaminação com potencial elevado na zona industrial de Venâncio Aires.



Esta área é uma parte da zona industrial do município, e, apesar da baixa vulnerabilidade dos aquíferos da região, a carga contaminante potencial nessa região é bastante elevada, sendo necessário cuidado no manejo e na gestão dos recursos hídricos subterrâneos nessa zona.

No geral, em função da baixa vulnerabilidade presente na área urbana do município de Venâncio Aires, resultante das espessas camadas de argilitos nesta região, as fontes de contaminação possuem predominância nas classificações de perigo baixo e moderado, mas isso não significa que os recursos hídricos não devam ser manejados de maneira cuidadosa, pois a carga contaminante potencial no município é

consideravelmente elevada, e pode gerar problemas se não for bem gerenciada. É também de alta importância levar em consideração os projetos de poços, pois poços construídos fora das normas, ou poços de pequeno diâmetro que não possuem normas de construção podem favorecer a entrada de contaminantes, provocando uma possível contaminação dos aquíferos, e isto se torna ainda mais importante nas regiões onde há concentração de fontes de contaminação.

5. CONCLUSÕES

O proposto trabalho buscou avaliar a vulnerabilidade e o risco de contaminação dos aquíferos da região de Venâncio Aires por meio de análises das características geológicas e hidrogeológicas desses aquíferos e também das fontes de contaminação presentes nesta área.

O sistema aquífero Guarani, representado, na região, pelas rochas pertencentes às formações Botucatu e Santa Maria, pode ocorrer de forma livre e também confinado pelas rochas da formação Serra Geral. As rochas que integram esse sistema são sedimentares de granulometria fina, com predominância de argilitos e siltitos, que podem confinar parcialmente camadas aquíferas de arenitos finos e arenitos médios, subordinados a esses argilitos e siltitos. Este aquífero se encontra livre na parte sul do município, e confinado na parte norte.

O estudo da vulnerabilidade dos aquíferos resultou em predomínio de vulnerabilidade média para o SASG e vulnerabilidade baixa no SAG. Os valores percentuais para o SASG foram: 85,79% da área com vulnerabilidade média, 13,15% com vulnerabilidade alta e 1,06% com vulnerabilidade baixa. Para o SAG os valores percentuais foram: 44,27% da área possui baixa vulnerabilidade, 38,16% possui média vulnerabilidade, 9,14% possui alta vulnerabilidade, 8,38% da área foi classificada com vulnerabilidade insignificante e 0,05% da área possui vulnerabilidade extrema.

A análise das fontes de contaminação difusas resultou em 42% da área do município (áreas com uso e ocupação do solo dedicado à agricultura) com potencial de contaminação moderado, e 2,6% com potencial de contaminação reduzido (zona urbana). Já a análise das fontes pontuais de contaminação, resultou na identificação de 73 fontes e sua classificação em: 23 com potencial reduzido, 30 com potencial moderado e 20 com potencial elevado. O perigo de contaminação dessas fontes foi classificado como: 16 fontes com perigo muito baixo, 33 com perigo baixo, 23 moderado e uma fonte com alto perigo de contaminação.

Estas análises demonstram que é necessário que o município de Venâncio Aires dedique recursos para o controle e a gestão do uso e ocupação do solo e dos recursos hídricos subterrâneos de sua região, com a devida fiscalização, a fim de proteger estes recursos e prevenir possíveis contaminações, visto que a carga contaminante potencial no município é bem elevada. É importante ressaltar que os resultados deste trabalho e suas imprecisões são oriundos da escala de trabalho, da disponibilidade de dados e das limitações dos métodos aplicados. O produto deste trabalho pode ser melhorado e detalhado conforme forem adquiridos mais dados para serem avaliados.

Espera-se que este trabalho e seus produtos sirvam de auxílio para uma melhor gestão e uso dos recursos hídricos subterrâneos e para a prevenção de possíveis contaminações dos mesmos, de forma a evitar gastos elevados com tratamentos de água e remediação de áreas contaminadas.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, Marina Costa et al. Avaliação do Perigo de Contaminação do Sistema Aquífero Guarani em sua Área de Afloramento no Estado de São Paulo Decorrente das Atividades Agrícolas. *Águas subterrâneas*, v. 25, n. 1, 2011.

BORGES, Vinícius Menezes; ATHAYDE, Gustavo Barbosa; REGINATO, Pedro Antônio Roehe. Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação do sistema aquífero Serra Geral no Estado do Paraná-Brasil. *Águas Subterrâneas*, v. 31, n. 4, p. 327-337, 2017.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO BRASILEIRO. Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul, Escala 1:750.000. Porto Alegre. 2005.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO BRASILEIRO. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul Escala 1:750.000. Porto Alegre. 2008.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO BRASILEIRO. Mapa de Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul, Escala 1:750.000. Porto Alegre. 2009.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO BRASILEIRO. Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul. Programa Geologia do Brasil-Levantamento da Geodiversidade. Porto Alegre, Brasil, 2010.

Deepask - O mundo e as cidades através de gráficos e mapas. Disponível em <<http://www.deepask.com/goes?page=venancio-aires/RS-Agricultura:-Confira-a-producao-agricola-e-a-area-plantada-no-seu-municipio>>. Acesso em 12 nov. 2019.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. Banco Mundial, 2006.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. Groundwater quality protection: a guide for water service companies, municipal authorities and environment agencies. The World Bank, 2002.

FOSTER, Stephen SD; HIRATA AOKI, Ricardo. Determinação do risco de contaminação das aguassubterrâneas; um metodo baseado em dados existentes. In: Boletim. Instituto Geológico, 1993

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data. Lima: CEPIS/PAHO/WHO, v. 78, 1988

FOSTER, Stephen SD et al. Contaminacion de las águas subterrâneas: Un enfoque ejecutivo de La situacion en América Latina y el Caribe em relación com el suministro de água potable. In: Contaminación de lãs águas subterrâneas: un enfoque ejecutivo de La situación en América Latina y El Caribe em relación con el suministro de agua potable. CEPIS, 1987..

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mapas municipais, 2010. Disponível em: < ftp://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/mapas_para_fins_de_levantamentos_estatisticos/censo_demografico_2010/mapas_municipais_estatisticos/>. Acesso em: 17 out. 2018.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Panorama. Venâncio Aires, 2018. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/venancio-aires/panorama>. Acesso em: 16 out. 2018.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Disponível em <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Acesso em: 05 nov. de 2019.

MACHADO, J. L. F.; DE FREITAS, M.A. Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul. Rio de Janeiro: CPRM, 2005, 1 mapa, col. Escala 1:750.000.

QUEIROZ, G.; SALAMUNI, E.; NASCIMENTO, E. Azimuthfinder: ferramenta para a extração de dados e apoio na análise estrutural . Geologia USP. Série Científica, v. 14, n. 1, p. 69-80, 1 mar. 2014.

SIAGAS - Sistema de Informação de Águas Subterrâneas: banco de dados mantido pela CPRM. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br>. Acesso em: 05 jan. 2019.

FALTA:

- REESCREVER RESUMO E ABSTRACT COM AS CORREÇÕES (1500 CARACTERES COM ESPAÇO)