



Estudos de Caso e Notas Técnicas

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Disclaimer: Articles published in this section are not peer-reviewed and are not indexed.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.

Estudo do risco de contaminação de aquíferos de sub-bacias baianas

Study of the risk of contamination of aquifers in Bahia sub-basins

Israel Henrique Ribeiro Rios ¹; Jorge Luiz Rabelo ² ✉

¹ Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, BA.

² Universidade Federal do Recôncavo Baiano (UFRB), Cruz das Almas, BA.

✉ israelhenriquerr@gmail.com, rabelo@ufrb.edu.br

Palavras-chave:

Contaminação.
Aquífero.
Água subterrânea.
Risco.

Keywords

Contamination.
Aquifer.
Groundwater.
Risk.

Resumo

As águas subterrâneas tem sua grande importância principalmente em áreas do Nordeste do Brasil, de clima semiárido. Com relação à qualidade, a contaminação de recursos hídricos subterrâneos, apesar de mais lenta, é de mais difícil remediação. Fontes de poluição como lixões, vazamentos de combustível, cemitérios, lançamentos difusos de fertilizantes e agrotóxicos, podem estar penetrando no solo e aumentando as concentrações de poluentes nos aquíferos. Dependendo das características do solo e do aquífero, como a profundidade, os eventuais contaminantes podem adentrar com maior ou menor facilidade. Esse trabalho visou medir a vulnerabilidade dos aquíferos da região de doze sub-bacias baianas, avaliar a carga contaminante pontual e difusa que pode estar sendo imposta sobre essas águas, e, com isso, observar o risco de contaminação dessas águas na área em questão. Foram coletados dados hidrogeológicos de poços ao longo da área em sistema de informação do Brasil, e informações de possíveis fontes de contaminação em diário oficial e site de órgão estadual. Foram utilizados os métodos GOD e POSH para avaliar vulnerabilidade e carga contaminante na área em questão, respectivamente. Foram observados a maior área de vulnerabilidade na área da sub-bacia do Rio Corumbataí, a predominância de postos de combustíveis no cadastro de fontes pontuais. Foram mapeadas as regiões de prioridade de proteção na área total avaliada dividindo-se em área de proteção alta, média e baixa.

Abstract

Groundwater is of great importance mainly in areas of northeastern Brazil, with a semi-arid climate. With regard to quality, the contamination of groundwater resources, although slower, is more difficult to remediate. Pollution sources such as landfills, fuel leaks, cemeteries, diffuse releases of fertilizers and pesticides, may be penetrating the soil and increasing concentrations of pollutants in aquifers. Depending on the characteristics of the soil and the aquifer, such as depth, possible contaminants can enter more or less easily. This work aimed to measure the vulnerability of aquifers in the region of twelve sub-basins in Bahia, assess the punctual and diffuse contaminant load that may be imposed on these waters, and, therefore, observe the risk of contamination of these waters in the area in question. Hydrogeological data from wells throughout the area were collected in Brazil's information system, and information on possible sources of contamination in the official gazette and state agency website. The GOD and POSH methods were used to assess vulnerability and contaminant load in the area in question, respectively. The largest area of vulnerability was observed in the Corumbataí River sub-basin area, the predominance of gas stations in the register of point sources. The protection priority regions were mapped in the total evaluated area, dividing into high, medium and low protection areas.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v35i2.30054>

1. INTRODUÇÃO

Apesar de serem menos sujeitos aos impactos quando comparados aos mananciais superficiais, conforme dissertam Cutrin e Campos (2010), a contaminação dos aquíferos tem se tornado um dos problemas mais preocupantes nas questões de gestão dos recursos hídricos subterrâneos, já que são considerados reservatórios estratégicos para a humanidade. Ainda,

conforme colocam Gonçalves e Giampá (2006), uma das principais vantagens de ordem econômica da utilização de mananciais subterrâneos tanto para abastecimento doméstico quanto industrial está no fato dela ser naturalmente filtrada e depurada pelos mecanismos físico-bio-geoquímicos que ocorrem no solo e subsolo não saturado, diminuindo custos com tratamento de água.

Apesar da relevância da água subterrânea para o desenvolvimento socioeconômico, o Brasil ainda apresenta uma deficiência séria no conhecimento do potencial hídrico de seus aquíferos, seu estágio de exploração e a qualidade das suas águas. Os estudos regionais são poucos e encontram-se defasados. A maior parte dos estudos de qualidade da água subterrânea publicados mais recentemente têm caráter mais localizado. (ZOBY, 2008, p.2)

Nesse contexto, é imprescindível o estudo da qualidade dos mananciais subterrâneos, principalmente no que tange a subsidiar ações para proteção dos aquíferos. Por sua vez, a proteção envolve um conjunto de ações de gestão de prevenção da poluição. A manutenção da qualidade de um corpo d'água subterrâneo está associada à capacidade do aquífero em absorver ações externas, naturais ou antrópicas. A esta capacidade, atribui-se a denominação de vulnerabilidade natural ou vulnerabilidade intrínseca do aquífero. Um solo de maior granulometria como um solo arenoso é mais propenso a receber uma contaminação que um solo argiloso, por exemplo – assim como aquíferos mais rasos são mais propensos a serem contaminados que aquíferos mais profundos. Com isso, a característica natural dos solos e das águas subterrâneas pode ser um atenuador do processo de poluição, dando o conceito de vulnerabilidade de certo trecho do poço monitorado. Já segundo Foster et al (2006), os mapas de vulnerabilidade natural são uma ferramenta importante para que se reduza o risco de um futuro perigo de contaminação da água subterrânea. Estes mapas identificam áreas mais e menos vulneráveis à contaminação, permitindo que atividades que representam perigo potencial sejam proibidas ou evitadas nos locais mais sensíveis.

É nesse sentido que esse trabalho foi elaborado – mapear a vulnerabilidade intrínseca e também o risco de contaminação de doze sub-bacias baianas encontradas numa região à leste do estado, com característica da mesorregião Sertão. Com relação à essa área envolvida no trabalho, o município de maior destaque com relação às fontes potenciais de poluição é o de Feira de Santana.

Tendo como relevante a relação entre uso crescente do manancial subterrâneo e do potencial risco de contaminação pela significativa atividade econômica na região, esse trabalho visou avaliar o risco à contaminação dos aquíferos na região de doze sub-bacias do estado da Bahia através da análise conjunta da vulnerabilidade das águas subterrâneas e do grau de potencial à contaminação. A área em questão foi escolhida devido à disponibilidade de dados de potenciais fontes de contaminação no diário oficial do município de Feira de Santana (setor de licenciamento), além de que a localidade em questão tem clima semi-árido, no sertão da Bahia - potencializando a utilização de poços.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo

A área de estudo compreende a área de sub-bacias dentro de 21 municípios: Anguera, Amélia Rodrigues, Antônio Cardoso, Candeal, Conceição da Feira, Conceição do Jacuípe, Coração de Maria, Feira de Santana, Ichu, Ipecaetá, Irará, Lamarão, Santo Estevão, Santo Amaro, São Francisco do Conde, São Gonçalo dos Campos, Santanópolis, Santa Bárbara, Serra Preta, Serrinha e Tanquinho. A área de estudo é composta pelas sub-bacias do Rio Jacuípe 1, do Ribeirão do Cavaco, do Rio Calandro 1, do Rio Calandro 2, do Rio Corumbataí, do Rio do Peixe, do Rio Jacuípe 2, do Rio Jacuípe 3, do Rio Pojuca 1, do Rio Pojuca 2, do Rio Salgado e do Rio Subaé, como consta na Figura 1. Consta já na Figura 2 a divisão geológica da área em questão, já que trata-se de água subterrânea.

Figura 1 – Sub bacias e municípios. Fonte: Autor

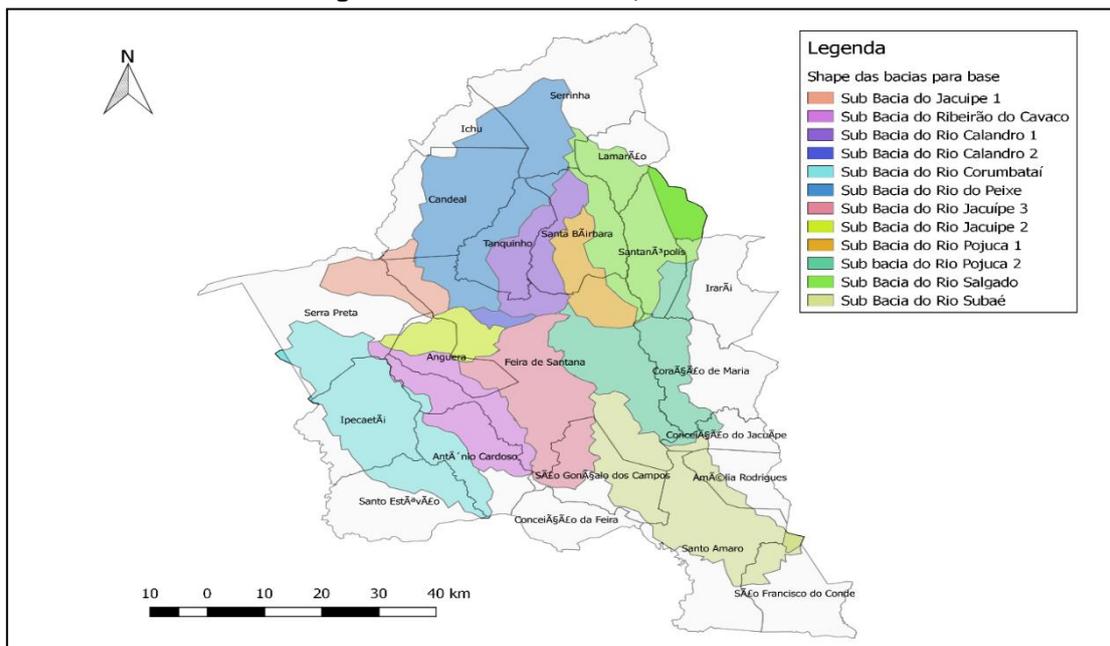
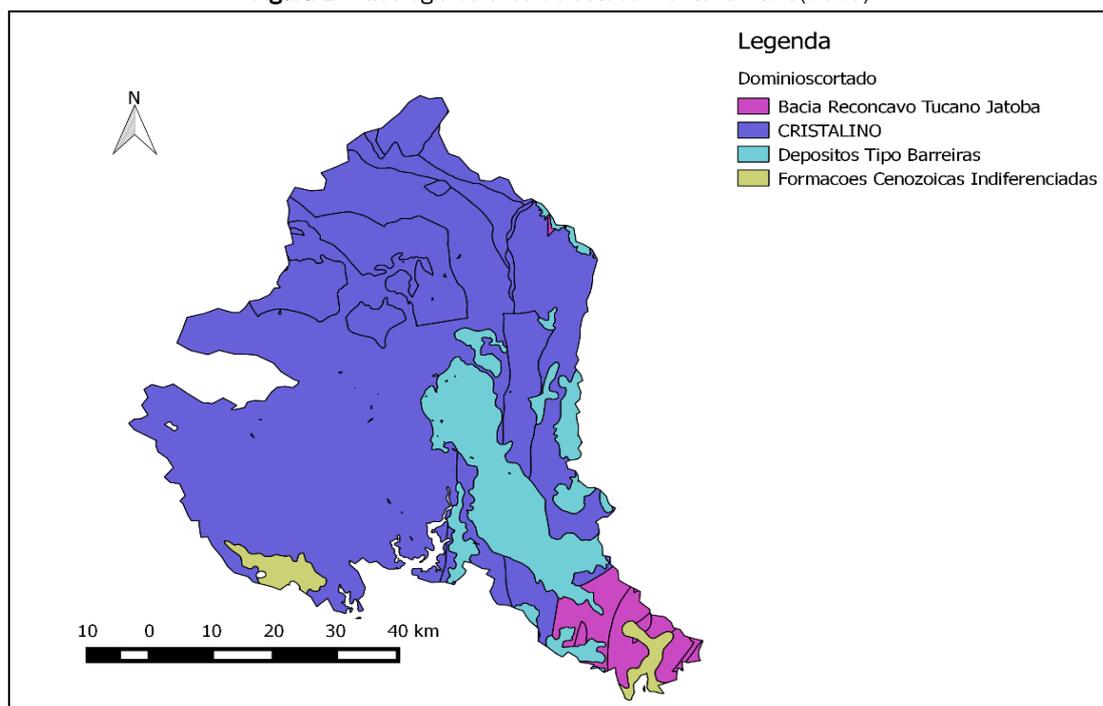


Figura 2 – Geologia da área de estudo. Fonte: SIAGAS(2020)



Pode-se notar o predomínio de rochas cristalinas na área – aquífero fissural- com uma faixa de formações cenozoicas, de aquífero granular e pouca área de metassedimentos. O predomínio de aquíferos fissurais é um indicador de predomínio de pequenas vazões dos aquíferos no município. O Cristalino como domínio hidrogeológico, o qual tem um comportamento de aquífero fissural – isso significa que a ocorrência de água subterrânea é condicionada por uma porosidade secundária representada por fraturas e fendas, o que se traduz por reservatórios aleatórios, descontínuos e de pequena extensão.

Segundo a CPRM (2005), o Grupo Barreiras, que faz parte das formações cenozoicas, é arenito argiloso a conglomerático, argilito puro a arenoso e conglomerático. As formações superficiais Cenozóicas, são constituídas por pacotes de rochas sedimentares de naturezas diversas, que recobrem as rochas mais antigas. Em termos hidrogeológicos, elas têm um comportamento de “aquífero granular”, caracterizado por possuir uma porosidade primária, e nos terrenos arenosos uma elevada permeabilidade, o que lhe confere, no geral, excelentes condições de armazenamento e fornecimento d’água. Já as

Bacias do Recôncavo, Tucano e Jatobá, segundo Bizzi et al(2003), estão situadas na região leste do Brasil, e esse sistema compreende essas três bacias, separadas por altos/arcs do embasamento - possuem preenchimento sedimentar.

A localização geográfica de Feira de Santana configura-se como o maior entroncamento de rodovias estaduais e federais do Norte e Nordeste Brasileiro, favorecendo as transações comerciais, o que reflete diretamente na economia e no extrato social, tendo no comércio e nos serviços suas principais atividades econômicas.

2.2. Dados hidrogeológicos e método G.O.D.

Com relação à metodologia do trabalho, a coleta de dados para cálculo do índice de vulnerabilidade foi feita na plataforma SIAGAS, do serviço geológico do Brasil. Segundo o site, o SIAGAS é um sistema de informações de águas subterrâneas desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil - SGB, que é composto por uma base de dados de poços permanentemente atualizada, e de módulos capazes de realizar consulta, pesquisa, extração e geração relatórios.

Os poços analisados são do tipo tubulares; segundo a ABAS(2018), um poço tubular profundo é uma obra de engenharia geológica de acesso à água subterrânea, executada com Sonda Perfuratriz mediante perfuração vertical com diâmetro de 4” a 36” e profundidade de até 2000 metros, para captação de água.

Pode-se observar a seguir na Figura 13 a interface de coleta de dados da plataforma SIAGAS. Cada ponto representado pelo código representa um poço na cidade em questão.

Figura 3 - Interface do SIAGAS. Fonte: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>

The screenshot shows the SIAGAS web interface. At the top, there is a navigation menu with options like 'Home', 'Apresentação', 'Visualizar Mapa', 'Pesquisa', 'Créditos', and 'Informações Complementares'. The main search area is titled 'PESQUISA GERAL' and includes fields for 'Superior Esquerdo' and 'Inferior Direito' with latitude and longitude inputs. Below these are dropdown menus for 'Bacia Hidrográfica', 'Região' (set to 'Nordeste'), 'Estado' (set to 'Bahia'), and 'Município' (set to 'Feira de santana'). There is also a 'Campos' dropdown and a 'Condições' table with columns for 'Remover', 'Campo', 'Critério', 'Valor', and 'Condição'. A 'Buscar' button is at the bottom right of the search area. Below the search area, there are navigation arrows and a page indicator '1 de 12'. A message says 'Clique no código para ver os detalhes'. At the bottom, a table displays search results for 354 records.

Código do Ponto	UF	Município	Localidade
2900000030	BA	Feira de santana	IPUACU
2900000045	BA	Feira de santana	AUSTIN DO BRASIL
2900000097	BA	Feira de santana	FAZENDA TATIANA
2900000295	BA	Feira de santana	PNEUS TROPICAL
2900000378	BA	Feira de santana	LAGOA SALGADA
2900000385	BA	Feira de santana	FAZENDA SAO JOAO I
2900000386	BA	Feira de santana	LIMOEIRO
2900000387	BA	Feira de santana	AVIARIO I
2900000389	BA	Feira de santana	FAZENDA PAU POMBO
2900000391	BA	Feira de santana	FAZENDA COPA
2900000415	BA	Feira de santana	MANGARFIRA I

O método GOD (Groundwater occurrence, Overall lithology of the unsaturated zone, Depth to the water table), foi desenvolvido por Foster & Hirata (1988) e avalia três parâmetros hidrogeológicos, que combinados via multiplicação simples, geram um índice variável entre 0 e 1, representativo da vulnerabilidade do aquífero. Ghazavi e Ebrahimi (2015) colocam que o GOD, método de avaliação de vulnerabilidade desenvolvido na Grã-Bretanha, é um método de índice e sobreposição projetado para mapear águas subterrâneas sobre amplas regiões.

Trata-se de um método relativamente simples e amplamente aplicado nos países da América Latina em virtude do seu bom desempenho, menor custo e maior facilidade de obtenção das informações nele utilizadas (CUTRIM & CAMPOS, 2010). Os parâmetros avaliados nesse método são:

- Grau de Confinamento (G - Groundwater): A avaliação do grau de confinamento do aquífero visa analisar o nível de acessibilidade das águas subterrâneas por parte dos contaminantes superficiais, no que tange à aquíferos confinados, livres e semiconfinados. Um maior confinamento significa menor acessibilidade ao corpo hídrico, e uma conseqüente menor vulnerabilidade.
- Estratos de Cobertura (O - Overall): A análise dos estratos de cobertura busca refletir o papel da zona vadosa e/ou camada confinante, cujas propriedades interferem diretamente nos processos de atenuação que ocorrem com os contaminantes no caminho até a zona saturada.
- Profundidade do Aquífero (D - Depth): A distância entre as superfícies do aquífero e do solo é um parâmetro considerado e importante, justamente pelo fato de refletir o grau de degradação ou adsorção do contaminante associado a um maior ou menor percurso do contaminante até atingir o aquífero.

Os procedimentos para a aplicação da metodologia GOD estão apresentados a seguir, de acordo com Foster (1993).

- Identificar o tipo de ocorrência da água subterrânea ou condição do confinamento do aquífero, relacionado com a sua característica hidráulica, e, em seguida, valorá-lo em um intervalo de 0,0 a 1,0.
- Caracterizar litologicamente a zona não saturada do aquífero, considerando o seu grau de consolidação, conseqüentemente, presença ou não de permeabilidade por fissuração, e o caráter litológico, que reflete, indiretamente, a porosidade relativa, a permeabilidade e o conteúdo de umidade ou retenção específica. A seguir valorá-la em um intervalo de 0,3 a 1,0, retendo um sufixo qualitativo, no caso de litologias que apresentem fissuras e/ou baixa capacidade de atenuação, considerando que estas características podem se inter-relacionar com elementos da carga contaminante do subsolo.
- A profundidade do nível freático ou da superfície do aquífero confinado define o terceiro fator, o qual deverá ser valorado numa escala de 0,3 a 0,9.

Para todos os procedimentos, quanto maior o índice associado, maior é a indicação de vulnerabilidade. O produto destes três fatores citados anteriormente define o grau de vulnerabilidade do aquífero. A Figura 5 abaixo apresenta os parâmetros adotados no Sistema GOD e a escala de valores numéricos que deve ser aplicada a estes parâmetros:

Figura 4 - Sistema para avaliação da vulnerabilidade pela metodologia GOD. Fonte: Cutrim e Campos (2010)

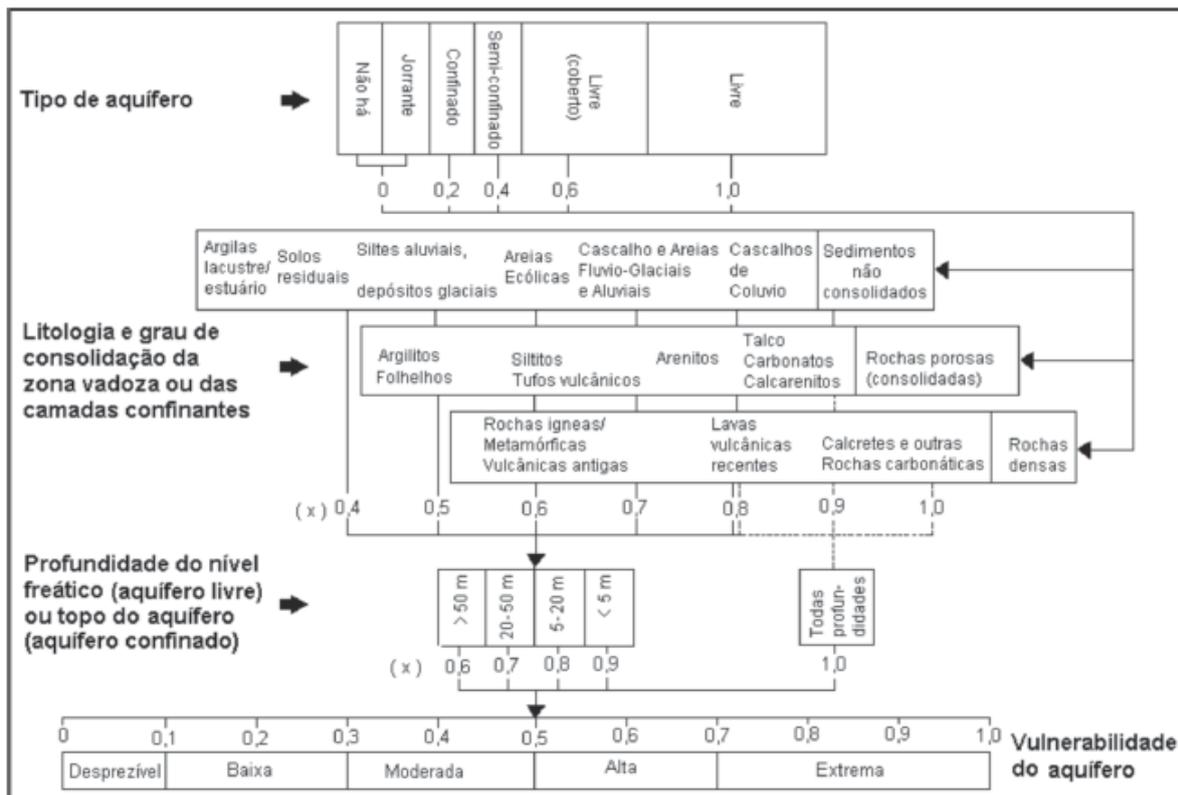


Tabela 1 - Classes de vulnerabilidade (GOD). Fonte: Foster et al (2006)

Classe	I _{GOD}	Definição
Extrema	0.7 – 1	Vulnerável à maioria dos contaminantes com impacto rápido em muitos cenários de contaminação.
Alta	0.5 – 0.7	Vulnerável a muitos contaminantes (exceto os facilmente adsorvíveis/transformáveis) em muitas condições de exposição.
Moderada	0.3 – 0.5	Vulnerável a alguns contaminantes, mas somente se continuamente lançados ou lixiviados.
Baixa	0.1 – 0.3	Vulnerável somente a contaminantes persistentes, quando contínua e amplamente lançados ou lixiviados.
Insignificante	0 – 0.1	Presença de camadas confinantes sem fluxo vertical significativo de água subterrânea.

A Tabela 1 mostra a classificação de vulnerabilidade. No âmbito desse trabalho, foram aplicadas as seguintes regras para a utilização da metodologia GOD:

- No parâmetro G, referente ao confinamento do aquífero, foi utilizado o valor de 0,2 em pontos cuja classificação do aquífero é confinado; o valor de 0,4 nos pontos cujo aquífero é semi-confinado; o valor de 0,6 nos aquíferos livres cobertos, considerados como aquíferos livres cujo nível estático é maior que 3m, assim como utilizado em Marques(2012); e o valor de 1 para os aquíferos livres não cobertos, considerados como aqueles livres com nível estático menor que 3m.
- No parâmetro O, referente à litologia da zona vadosa- nas rochas não consolidadas, foram considerados os valores de 0,5 para solos predominantemente argilosos; 0,6 para solos predominantemente silteosos; 0,7 para solos predominantemente arenosos; 0,8 para solos predominantemente cascalhosos – nas rochas consolidadas foram considerados os valores de 0,8 para arenitos(porosos) e 0,6 para rochas cristalinas(formação de rochas duras).
- No parâmetro D, referente à distância da superfície do terreno à cota de nível d'água estática (nível estático), retirados no SIGAS com uma grande variação de tempo(década de setenta até segunda década desse século), foram considerados os valores iguais à metodologia GOD original.

Para a interpolação espacial dos dados de vulnerabilidade, foi utilizado o método do IDW(Inverso das distâncias). Conforme coloca Tavares et al(2009), o Método do Inverso Ponderado da Distância (Inverse Distance Weighted - IDW) é um procedimento de interpolação que consiste, basicamente, em atribuir um peso para cada ponto amostrado vizinho, em função da distância que ele se encontra do ponto que se quer calcular. Os pesos são calculados de maneira que a soma de todos os pesos dados aos pontos amostrados vizinhos seja igual a 1, ou seja, é atribuído um peso proporcional à contribuição de cada ponto vizinho (Menegol, 2004). É um método muito utilizado nos trabalhos que envolvem vulnerabilidade de águas subterrâneas, como em Duarte et al(2016), Medeiros et al(2011).

3.3. Fontes de contaminação e método P.O.S.H.

Para obtenção de dados de fontes de contaminação na área estudada (postos de combustíveis, cemitérios, aterros, indústrias) foram utilizados o diário oficial do município de Feira de Santana, o cadastro de empreendimentos poluentes do INEMA e o Google Maps/Earth. Através destes foi possível tanto informações geográficas dos empreendimentos, quanto o tipo de empreendimento. Importante salientar que os dados foram do período de janeiro de 2016 a janeiro de 2020.

Segundo Rocha (2014), um dos principais métodos de classificação das fontes potenciais de carga contaminante do subsolo e das águas subterrâneas é o sistema POSH – Pollutant Origin and its Surcharge Hydraulically (Foster; Hirata,1988) – que se baseia na probabilidade da presença de contaminantes e na existência de uma sobrecarga hidráulica capaz de gerar o transporte advectivo (não dispersivo) dos contaminantes para os sistemas aquíferos. Ainda segundo Rocha apud Foster et

al. (2006), na aplicação do método POSH frequentemente se torna necessário trabalhar com suposições simplificadoras, como associar a probabilidade da presença de substância poluente com o tipo de atividade desenvolvida e estimar a provável sobrecarga hidráulica com base no uso da água pela atividade em questão.

Conforme afirmam Cutrim e Campos (2010), o método POSH classifica as fontes em três níveis qualitativos de geração de carga contaminante: reduzida, moderada e elevada. Esta classificação leva em consideração o tipo de atividade, sua capacidade geradora de contaminante e a carga hidráulica associada. Estas fontes são apresentadas em um mapa na mesma escala do mapa de vulnerabilidade à contaminação do aquífero. Completando, Rocha (2014), ressalta a importância de que o método seja adaptado às realidades e às peculiaridades locais quando de sua elaboração em qualquer projeto de avaliação de risco de contaminação de aquífero.

Segundo Iritani et al (2013), para fontes pontuais de contaminação, o método POSH distingue as atividades de deposição de resíduos sólidos, áreas industriais, lagoas de águas residuárias, exploração mineral e outras atividades urbanas. O Quadro 1 mostra a classificação de fontes pontuais segundo o método POSH.

Quadro 1 - Sistema POSH de classificação de fontes pontuais de contaminação. Fonte: Iritani apud Foster (2006)

POTENCIAL DE GERAR CARGA CONTAMINANTE NO SUBSOLO	FONTES DE CONTAMINAÇÃO				
	deposição de resíduos sólidos	áreas industriais*	lagoas de águas residuais	outras (urbanas)	mineração e exploração de petróleo
Elevado	resíduo industrial tipo 3, resíduo de origem desconhecida	indústria tipo 3 ou qualquer atividade que manuseie >100 kg/d de produtos químicos perigosos	todos os resíduos industriais tipo 3, qualquer efluente (exceto esgoto residencial) se a área >5 ha		operações em campos de petróleo, mineração de metais
Moderado	chuva >500 mm/a com resíduos residenciais/ agroindustriais/ industriais tipo 1, ou todos os demais casos	indústria tipo 2	esgoto residencial se a área >5 ha, 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 residenciais/ agroindustriais/ industriais tipo 1	indústria tipo 1	águas residuais residenciais, mistas, urbanas, agroindustriais e de mineração de não metálicos	cemitérios	
<p>* solos contaminados de indústrias abandonadas devem ter a mesma classificação que a da própria indústria</p> <p>Indústrias Tipo 1: madeireiras, manufaturas de alimentos e bebidas, destilarias de álcool e açúcar, processamento de materiais não metálicos</p> <p>Indústrias Tipo 2: fábricas de borracha, fábricas de papel e celulose, indústrias têxteis, fábricas de fertilizantes, usinas elétricas, fábricas de detergente e sabão</p> <p>Indústrias Tipo 3: oficinas de engenharia, refinarias de gás/petróleo, fábricas de produtos químicos/farmacêuticos/plásticos/pesticidas, curtumes, indústrias eletrônicas, processamento de metal</p>					

FOSTER et al. (2002) consideram o saneamento in situ e as práticas agrícolas como fontes difusas de contaminação. A primeira está relacionada aos contaminantes como o nitrato, microbiológicos e, eventualmente, aos compostos químicos orgânicos sintéticos. Já com relação ao componente de práticas agrícolas, algumas práticas de cultivo do solo provocam grave contaminação difusa, principalmente por nutrientes (acima de tudo nitrato) e, por vezes, agrotóxicos. A classificação sob fontes de contaminação difusa é mostrado na Figura 5.

Figura 5 - Sistema POSH de classificação de fontes difusas. Fonte: Foster et al (2006)

Potencial de carga contaminante	Saneamento in situ	Práticas agrícolas
Elevado	Cobertura da rede de esgoto inferior a 25% e densidade populacional superior a 100 pessoas/ha	Culturas comerciais intensivas e a maioria das monoculturas em solos bem drenados em climas úmidos ou com baixa eficiência de irrigação, pastagem intensiva com intenso uso de fertilizante
Moderado	Situação intermediária entre elevado e reduzido	
Reduzido	Cobertura da rede de esgoto superior a 75% e densidade populacional inferior a 50 pessoas/ha	Rotação de culturas, campos de pastagem extensiva, sistemas de cultivo agroecológico, plantações com alta eficiência de irrigação em áreas áridas

Para a utilização da metodologia POSH no âmbito desse trabalho no critério para fontes de contaminação pontual a classificação foi realizada conforme a Quadro 2, com fontes coletadas dos anos de 2016 a 2020:

Quadro 2 – Classificação de carga contaminante para fontes pontuais. Fonte: Autor

Carga de contaminação para fontes pontuais		
Elevado	Moderado	Reduzido
Fábricas de produtos plásticos Indústrias eletrônicas Processamento de metal Produtos farmacêuticos Produtos químicos orgânicos Lixão	Posto de combustível Fábricas de papel Fábrica de produtos de perfumaria e cosmética Fábricas de detergente e sabão Fábrica de artefatos de borracha Fábrica de fertilizantes Destinação de resíduo em aterro	Cemitério Extração de materiais inertes Processamento de materiais não metálicos Manufaturas de alimentos e bebidas Abate de animais

Para fontes de contaminação difusa, foi realizada a classificação da carga contaminante em elevado, moderado e reduzido, conforme o tipo de ocupação do solo em questão (ano de 2016). A classificação realizada está descrita no Quadro 3 abaixo:

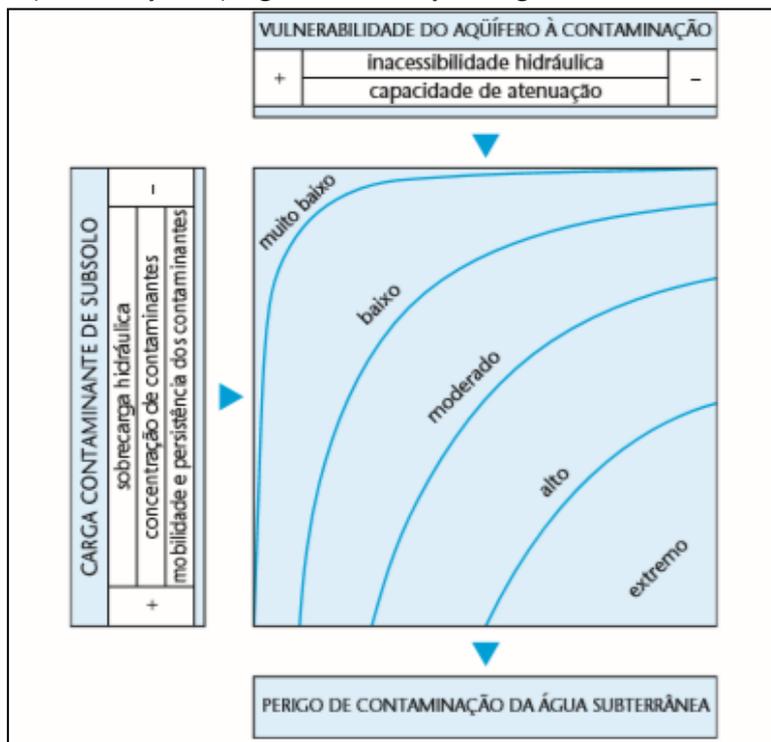
Quadro 3 – Classificação de carga contaminante para fontes difusas. Fonte: Autor

Tipo de uso do solo	Carga contaminante
Área artificial	Elevado
Pastagem natural	Moderado
Mosaico de área agrícola/área agrícola	Moderado
Mosaico de vegetação campestre/florestal com áreas agrícolas	Moderado
Pastagem com manejo	Reduzido
Corpo d'água continental	Reduzido
Vegetação florestal	Reduzido

2.4. Risco de contaminação

Para caracterização do risco de contaminação das águas subterrâneas, faz-se a combinação dos resultados das análises de vulnerabilidade e carga contaminante. Conforme coloca Foster et al(2006), em termos práticos, a avaliação do perigo ou risco envolve o exame da interação por meio da sobreposição dos resultados do cadastro de carga contaminante de subsolo ao mapa de vulnerabilidade do aquífero. Os casos mais preocupantes são aqueles em que as atividades capazes de gerar elevada carga contaminante se desenvolvem, ou estão planejadas para se desenvolverem, numa área de alta ou extrema vulnerabilidade do aquífero. Isso é mostrado no esquema conceitual da Figura 6.

Figura 6 - Conceito para avaliação do perigo de contaminação da água subterrânea. Fonte: Foster et al(2006)



Uma das formas para realizar tal combinação, para Foster et. al. (2006), é através de uma matriz, que consta na Figura 7 a seguir:

Figura 7 - Matriz do Risco de Contaminação de Aquíferos. Fonte: Foster et al(2006)

		ZONAS DE VULNERABILIDADE DO AQUIFERO À CONTAMINAÇÃO*		
		baixa	média	alta
CARGA CONTAMINANTE POTENCIAL	reduzida	3	3	2
	moderada	2	2	1
	elevada	2	1	1

NÍVEL DE PRIORIDADE
 1 = alto 2 = médio 3 = baixo

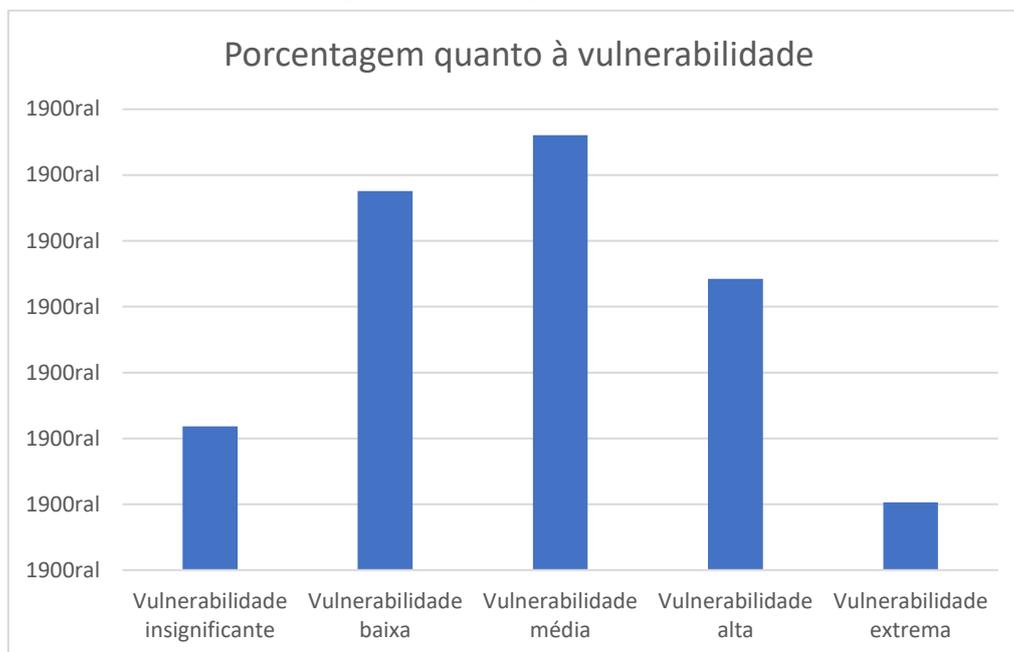
* Número de zonas/áreas reduzidas para simplificar a representação.

Essa matriz mede o nível de prioridade das ações de controle da contaminação da água subterrânea – essas ações de controle podem ser o controle da taxa de fertilizantes e agrotóxicos nos plantios, investimento em redes de esgoto e aplicar normas de projeto de tanques sépticos, impermeabilização da base de lugares de deposição de resíduos e tratamento de lixiviado, impermeabilização de túmulos de cemitérios, entre outras.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado da vulnerabilidade, após a aplicação dos cálculos referentes ao índice GOD, mostrou que em torno de 27% dos pontos tinham vulnerabilidade alta ou extrema, como mostra a Figura 19 a seguir. A grande maioria dos poços, em torno de 60%, era de vulnerabilidade média ou baixa.

Figura 8 – Percentagens. Fonte: Autor



Além desses dados estatísticos, são importantes os dados geográficos. Com isso, após as classificações correspondentes a cada ponto de poço, foram gerados mapas com a vulnerabilidade correspondente à cada local pontual, gerados por sub-bacias. Para ter-se a noção de vulnerabilidade de toda a área em questão, e também para a confecção do mapa de risco, é necessário o mapa interpolado de vulnerabilidade (através do método IDW - inverso da distância - que foi também feito).

É preciso afirmar que a sub-bacia do Rio Calandro 2 não possuía poços para classificação. É importante notar que em algumas sub-bacias (Jacuípe 2, principalmente) os dados de poços foram muito poucos, resultando em poucos pontos de classificação de vulnerabilidade. Já na maioria das sub-bacias, tem-se pelo menos 15 pontos para classificação.

O resultado de alguns dos mapas conjuntos de vulnerabilidade pontual e interpolado por sub-bacias constam nas Figuras 9 a 11 a seguir:

Figura 9 – Vulnerabilidade da sub bacia do Rio Corumbataí. Fonte: Autor

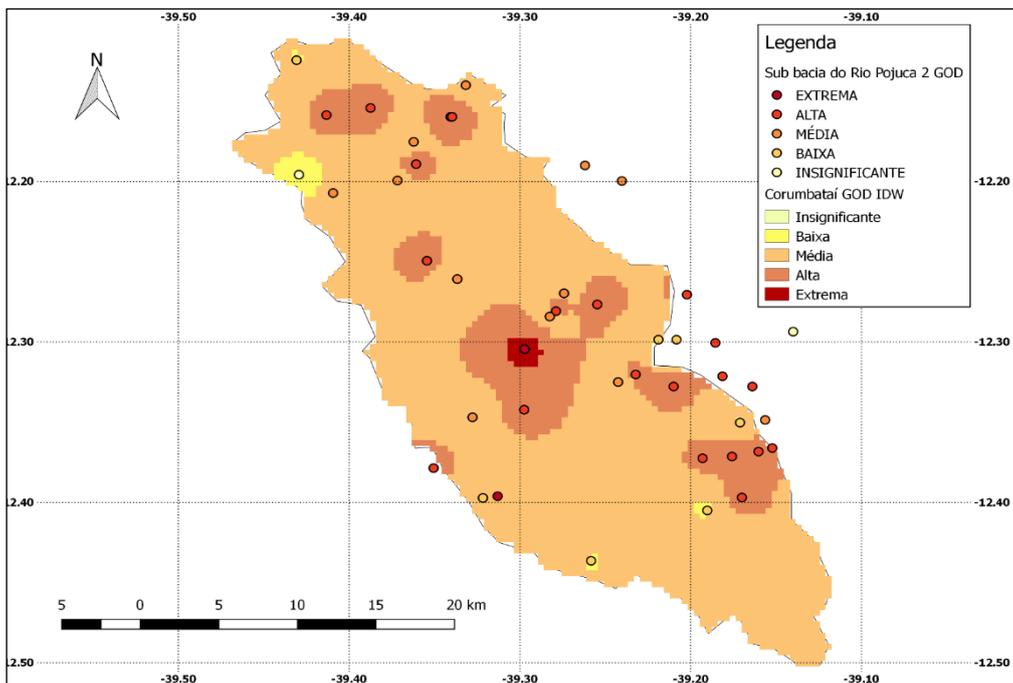


Figura 10 – Vulnerabilidade da sub bacia do Rio Ribeirão do Cavaco. Fonte: Autor

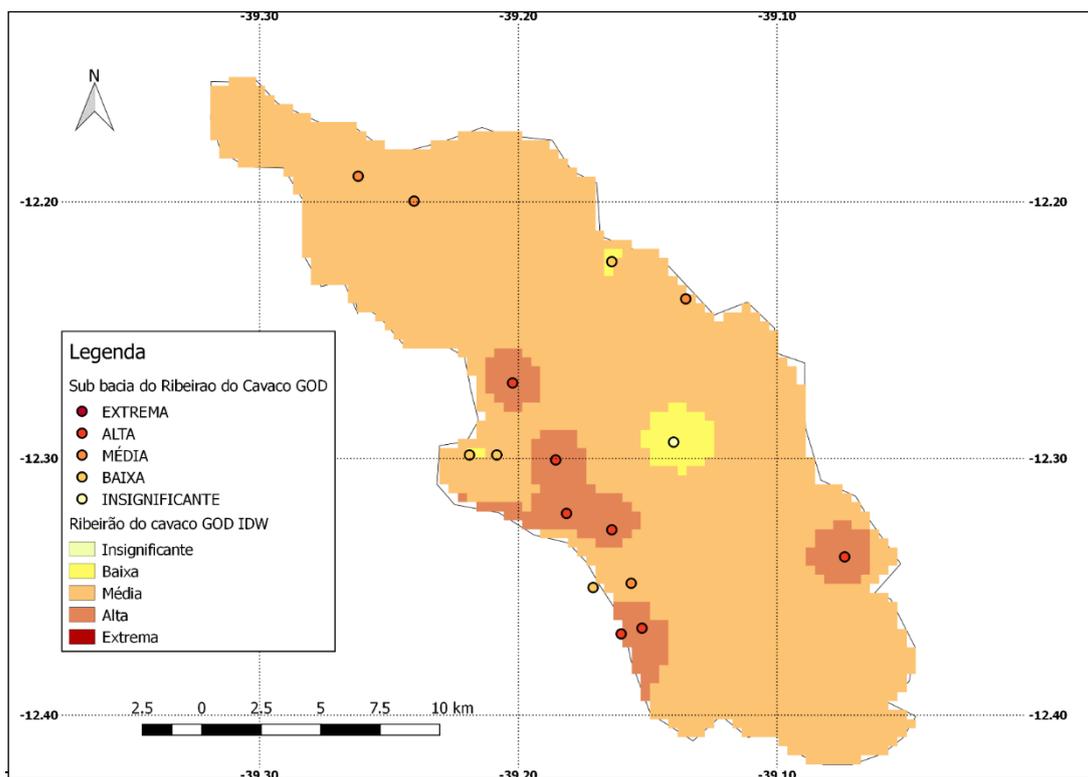
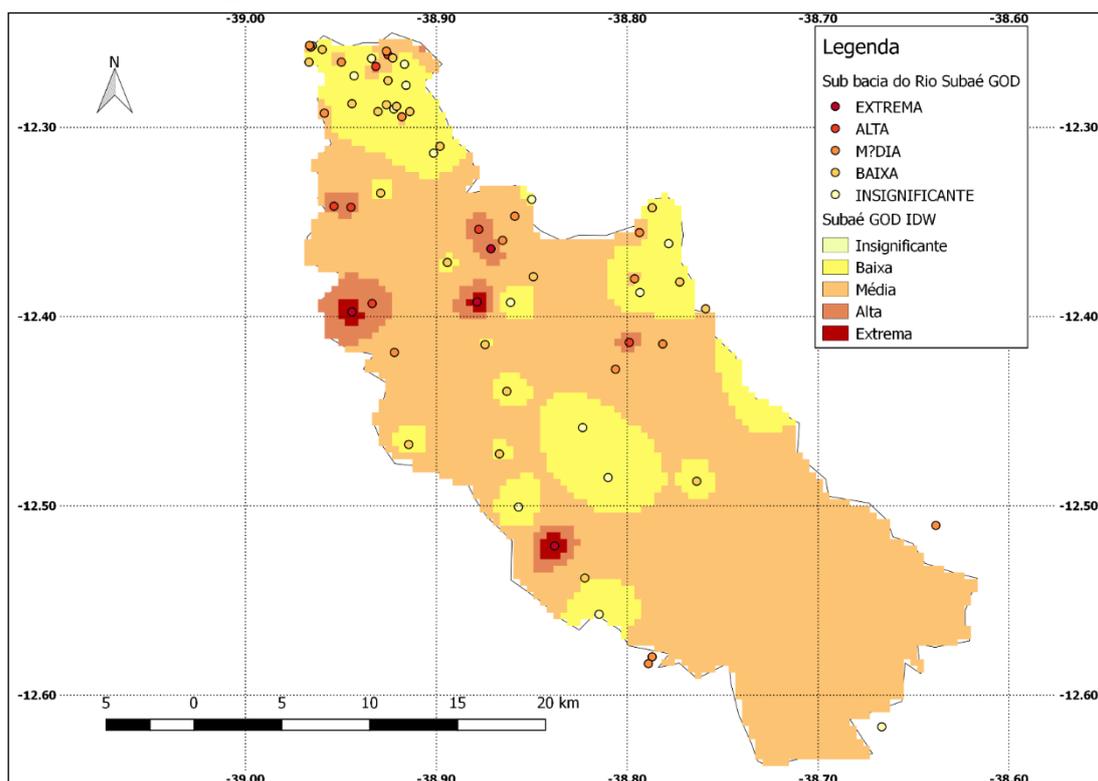


Figura 11 – Vulnerabilidade da sub bacia do Rio Subaé. Fonte: Autor



A maior parte da região é classificada como de média vulnerabilidade, existindo em torno de 5% da área sendo de alta ou extrema vulnerabilidade.

Quadro 4 – Áreas de cada classificação de vulnerabilidade. Fonte: Autor

	Insignifi- cante	Baixa	Média	Alta	Extrema	Total
Área(km ²)	3,75	476,95	4524,32	274,89	13,35	5293,26
Área (%)	0,07	9	85,5	5,2	0,25	100

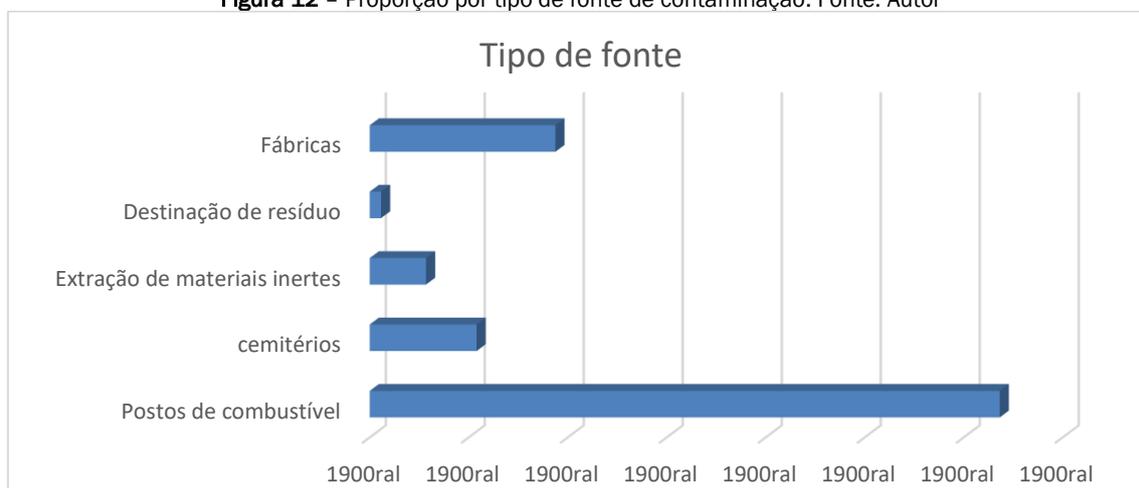
Através dos mapas observados, e pela Tabela 3 infere-se que a sub bacia com maior área de vulnerabilidade alta e extrema é a Bacia do Rio Corumbataí (com cerca de 44% da área de vulnerabilidade alta total e 25% da área de vulnerabilidade extrema total). Esta é localizada no sudoeste da área em questão e que faz parte da RPGA do Rio Paraguaçu. A sub-bacia de Ribeirão do Cavaco tem também uma área considerável de vulnerabilidade alta. Importante a informação de que estas duas regiões se localizam na parte oeste da região, ambas no aquífero cristalino. A sub-bacia do Rio Subaé possui áreas dispersas de vulnerabilidade extrema.

Quadro 5 – Áreas de cada classificação de vulnerabilidade por sub-bacia. Fonte: Autor

Região	Área de extrema vulnerabilidade (km ² (%))	Área de alta vulnerabilidade (km ² (%))	Área de média vulnerabilidade (km ² (%))	Área de baixa vulnerabilidade (km ² (%))	Área de insignificante vulnerabilidade (km ² (%))
Total	13,35(100%)	274,89(100%)	4524,32(100%)	476,95(100%)	3,75(100%)
Corumbataí	3,75(31,3%)	118,16(43%)	410,25(9%)	10,8(2,3%)	0,3(8%)
Ribeirão do Cavaco	0(0%)	31,65(11,5%)	339,6(7,5%)	7,83(1,6%)	0,6(16%)
Pojuca 1	0(0%)	2,64249(0,96%)	387,6(8,6%)	10,54(2,2%)	0,15(4%)
Salgado	0(0%)	15,02(5,5%)	459,76(10,2%)	18,97(4%)	0,15(4%)
Peixe	1,65(13,75%)	21,45(7,8%)	637,95(14,1%)	19,13(4%)	0(0%)
Jacuípe 1	0(0%)	4,66(1,7%)	255,73(5,65%)	4,86(1%)	0(0%)
Jacuípe 2	0(0%)	6,2(2,3%)	270,31(5,97%)	0(0%)	0(0%)
Jacuípe 3	0,15(1,25%)	13,82(5%)	332,15(7,34%)	71,06(14,9%)	0,15(4%)
Calandro 1	1,65(13,75%)	21,19(7,7%)	504,17(11,14%)	4,54(1%)	0(0%)
Calandro 2	0(0%)	0(0%)	152,04(3,36%)	0(0%)	0(0%)
Pojuca 2	1,5(12,5%)	14,28(5,2%)	458,29(10,13%)	138,19(29%)	0,75(20%)
Subaé	4,65(38,8%)	25,82(9,4%)	316,37(7%)	191,03(40%)	1,65(44%)

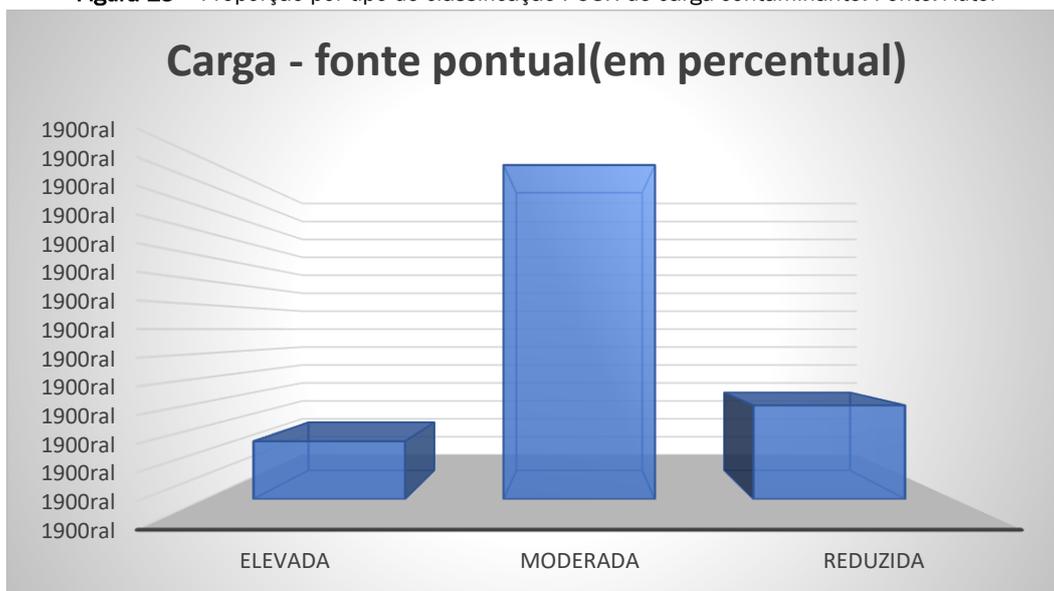
Já para analisar as fontes de contaminação, tem-se a seguir na Figura 32 o resultado da coleta de empreendimentos e prováveis fontes pontuais, em porcentagem, por tipo de carga pontual para posterior utilização no método POSH.

Figura 12 – Proporção por tipo de fonte de contaminação. Fonte: Autor



Já a seguir, na Figura 33, tem-se um gráfico com a porcentagem de fontes após a classificação POSH para fontes pontuais, em relação ao número total.

Figura 13 – Proporção por tipo de classificação POSH de carga contaminante. Fonte: Autor



Como mostra o gráfico, em torno de 70% das fontes potenciais são de carga contaminante moderada, e em torno de 8% de carga contaminante elevada. É importante afirmar que a grande maioria destes pontos de carga elevada está localizada no Centro Industrial do Subaé (CIS), zona industrial do município de Feira de Santana. Tem-se os alguns mapas de classificação POSH para fontes pontuais, por sub-bacias, nas Figuras 14 a 16 abaixo. É importante salientar que as sub-bacias do Jacuípe 1, Calandro 1 e Calandro 2 não possuem nenhum tipo de fonte coletado. Um mapa regionalizado com as fontes por tipo se encontra nos anexos do trabalho.

É importante uma consideração relativa à sub-bacia do Rio Subaé, já que a contaminação por chumbo em Santo Amaro (BA) é estudada há quase 40 anos, desde as evidências encontradas no Rio Subaé. A contaminação por metais pesados, causada pela Companhia Brasileira de Chumbo-Cobrac, com uma fábrica instalada em 1960. Essa contaminação não foi considerada nesse trabalho, mas os vários estudos mostram a contaminação por chumbo dentro dessa sub-bacia.

Figura 14 – Classificação POSH de fontes pontuais da sub bacia do Rio Pojuca 2. Fonte: Autor

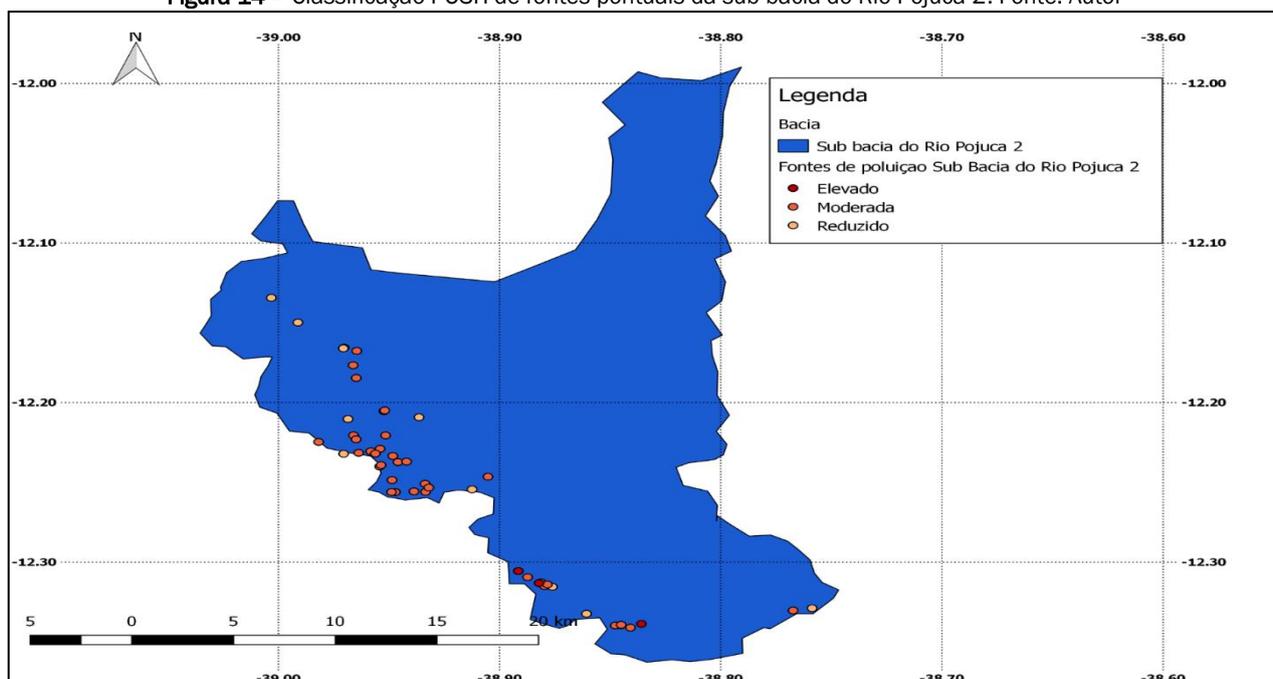


Figura 15 – Classificação POSH de fontes pontuais da sub bacia do Rio Subaé. Fonte: Autor

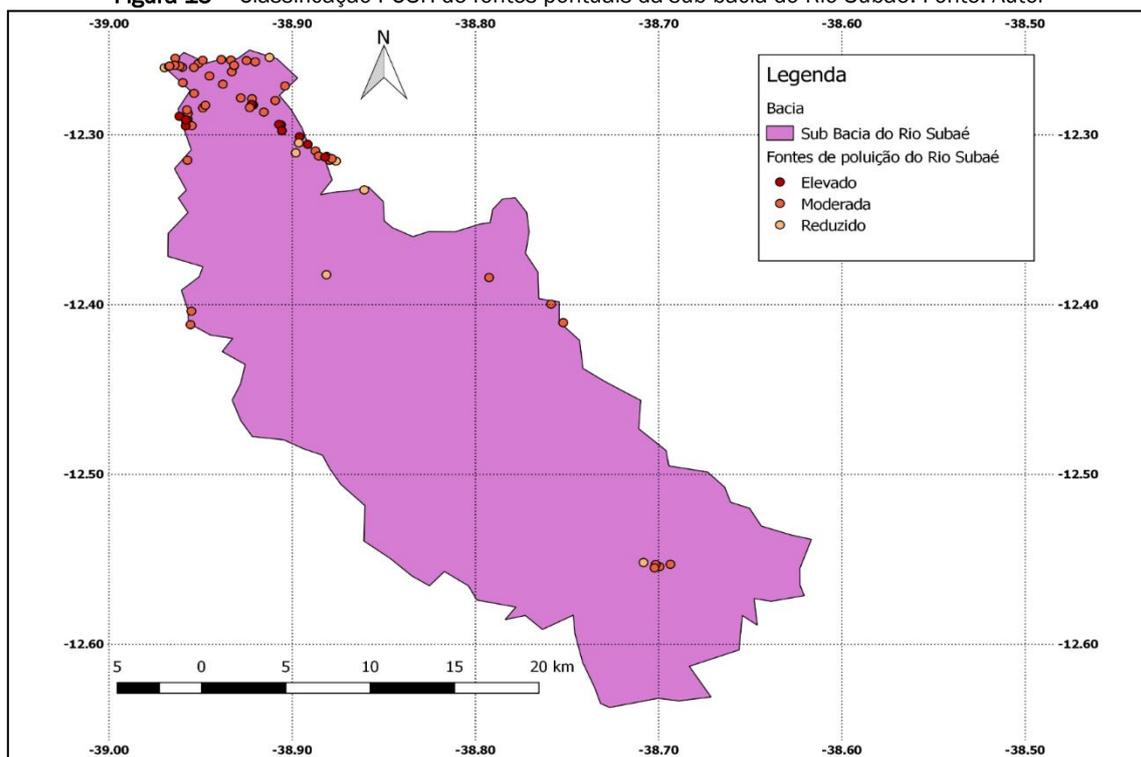
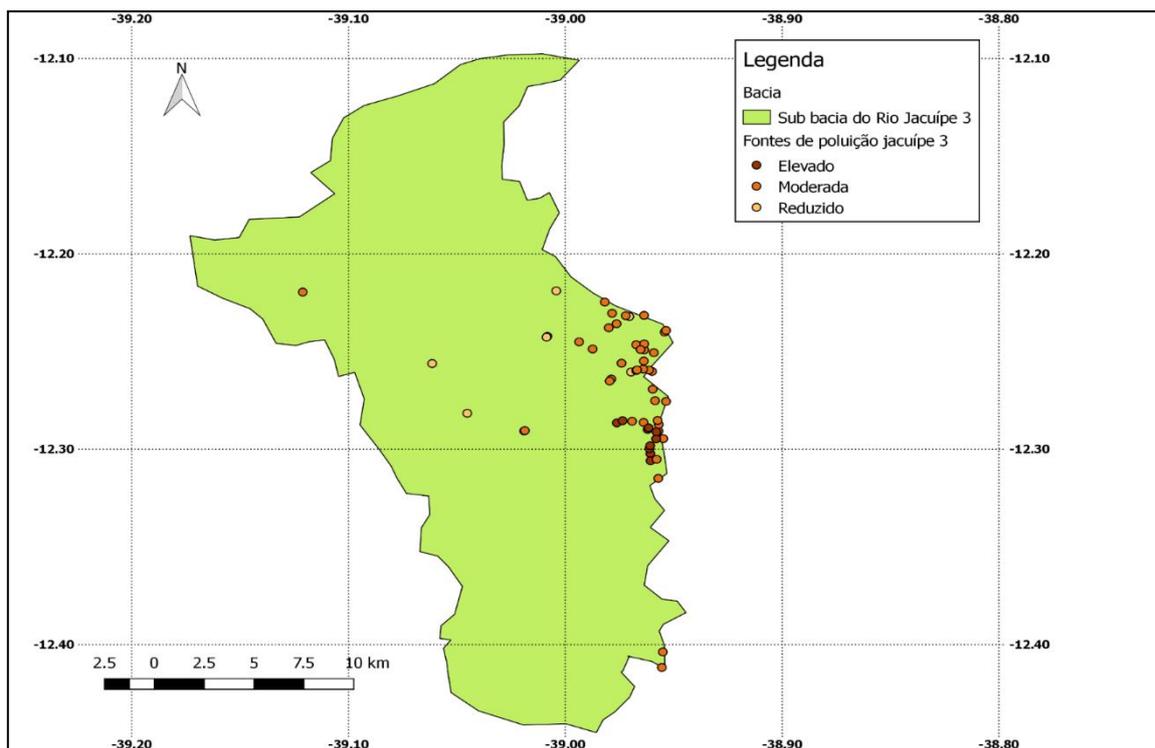


Figura 16 – Classificação POSH de fontes pontuais da sub bacia do Rio Jacuípe 3. Fonte: Autor



Através dos mapas mostrados, pode-se observar que as sub-bacias do Rio Jacuípe 3 e a sub-bacia do Subaé são as que possuem o maior número de fontes pontuais, e de fontes de carga elevada de contaminação, na região onde se localiza a zona industrial de Feira de Santana. Fontes de carga reduzida como cemitérios predominam em cidades menores.

Já com relação à classificação por fontes difusas, temos nos anexos os mapas de uso e ocupação do solo da área, cuja classificação POSH difusa foi feita a partir do uso do solo da área em 2016. As áreas correspondentes à cada uso estão no

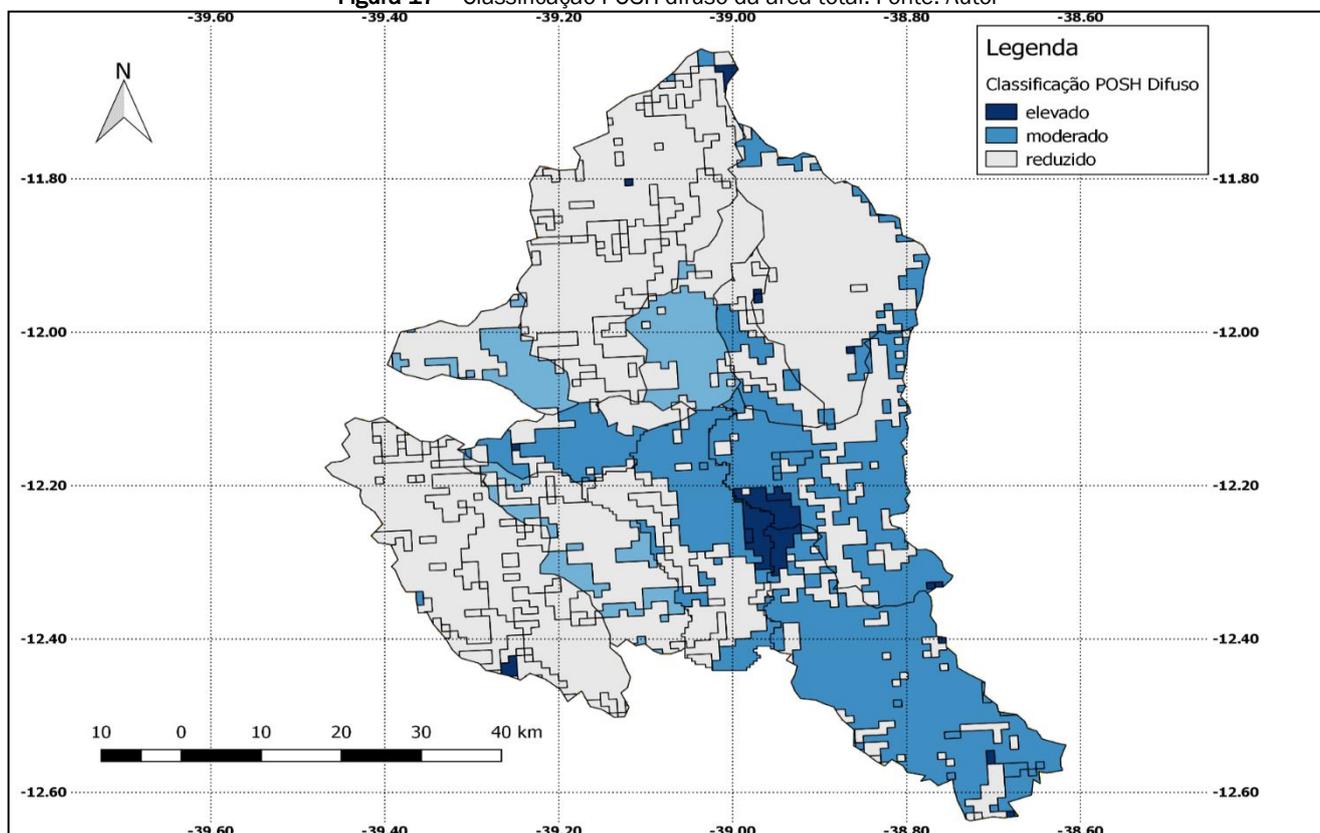
Quadro 4 abaixo, onde infere-se que as áreas florestais e pastagens com manejo cobrem pouco mais de 95% de toda a extensão.

Quadro 5 - Área da classificação POSH difusa. Fonte: Autor

	Área - carga elevada	Área - carga moderada	Área - carga reduzida	Total
Área(km ²)	96,182	1784,904	3247,609	5128,695
Área (%)	1,875	34,802	63,322	100

Constam na Figuras 17 o mapas com a classificação POSH por fontes difusas, para averiguar a carga contaminante sobre a área:

Figura 17 - Classificação POSH difuso da área total. Fonte: Autor



Através da observação dos mapas, é possível discernir que nas sub-bacias de Pojuca 2, Jacuípe 3 e Subaé as áreas de cargas contaminantes elevadas ou moderadas são de maior intensidade. Isso se deve muito à proximidade com a cidade principal de Feira de Santana. A bacia do Corumbataí que apresentou a situação mais grave com relação à vulnerabilidade, possui praticamente toda sua área com carga contaminante reduzida.

Após a interseção da carga contaminante com a vulnerabilidade, tem-se a informação do risco de contaminação, manifestado através de áreas de maior ou menor prioridade de proteção da área. Com isso, tem-se a seguir nas Figuras 18 a 20, alguns dos mapas com a classificação de prioridade de proteção de águas subterrâneas de cada área, juntamente com poços pontuais com os usos respectivos dessas águas.

Figura 18 – Classificação por risco da bacia do Rio Jacuípe 3. Fonte: Autor

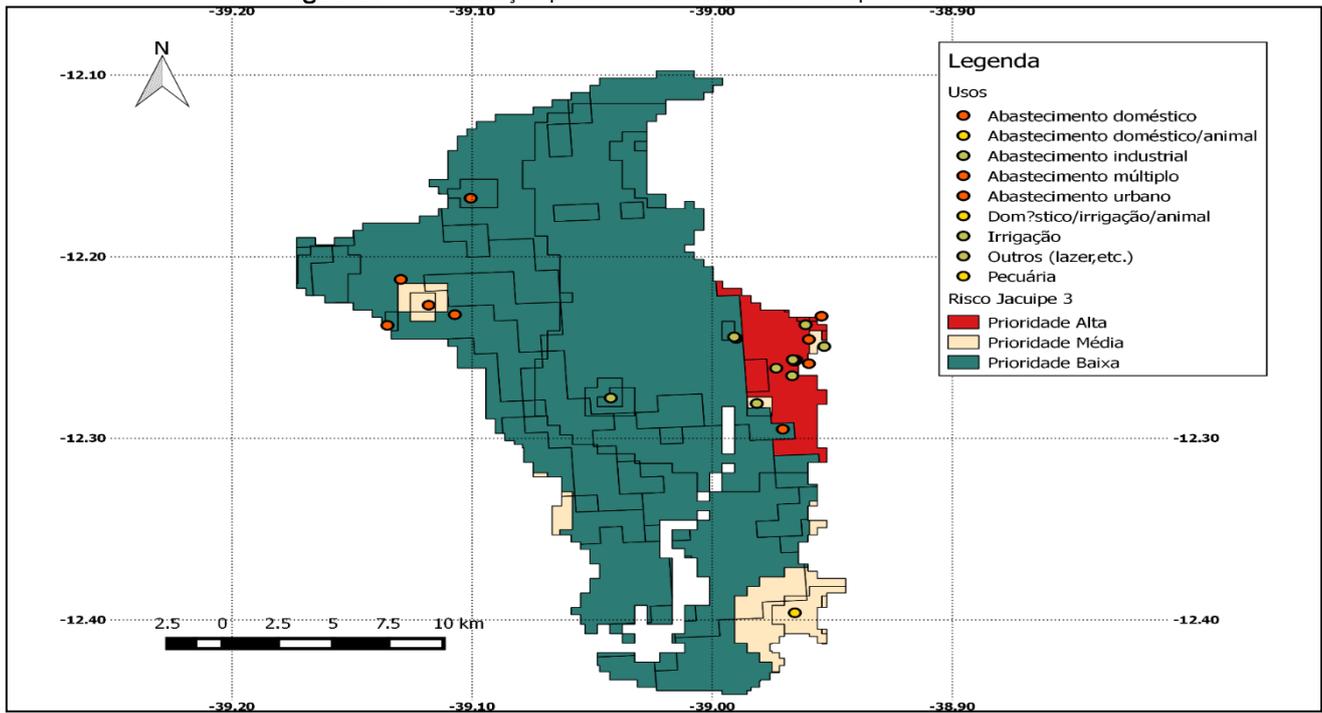


Figura 19 – Classificação por risco da bacia do Rio Subaé. Fonte: Autor

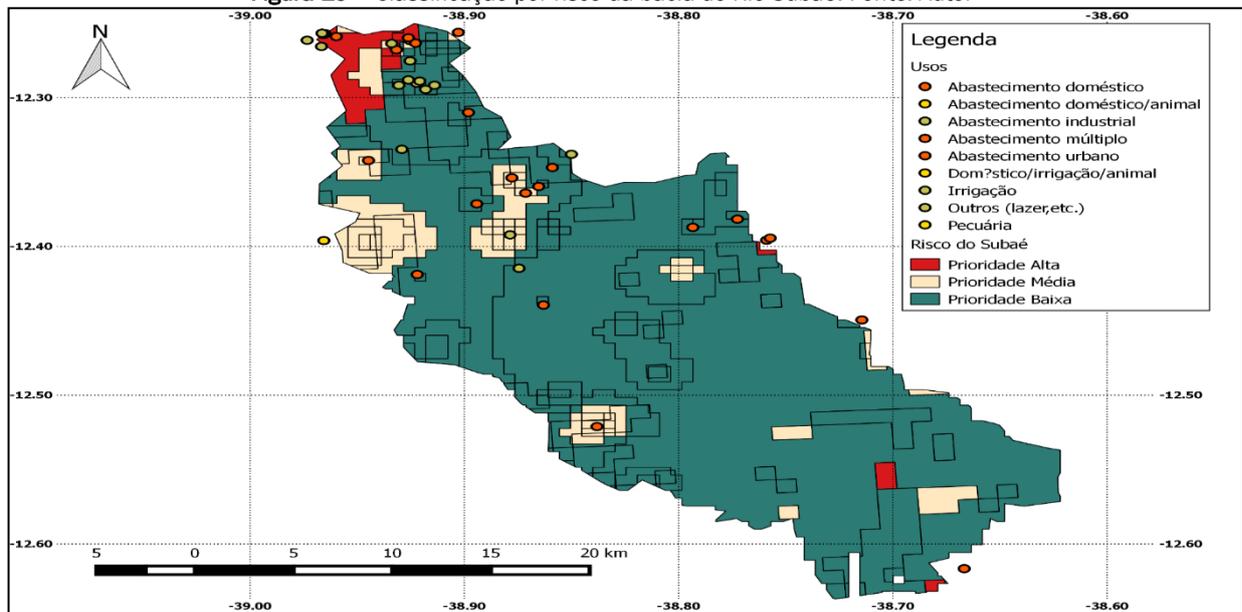
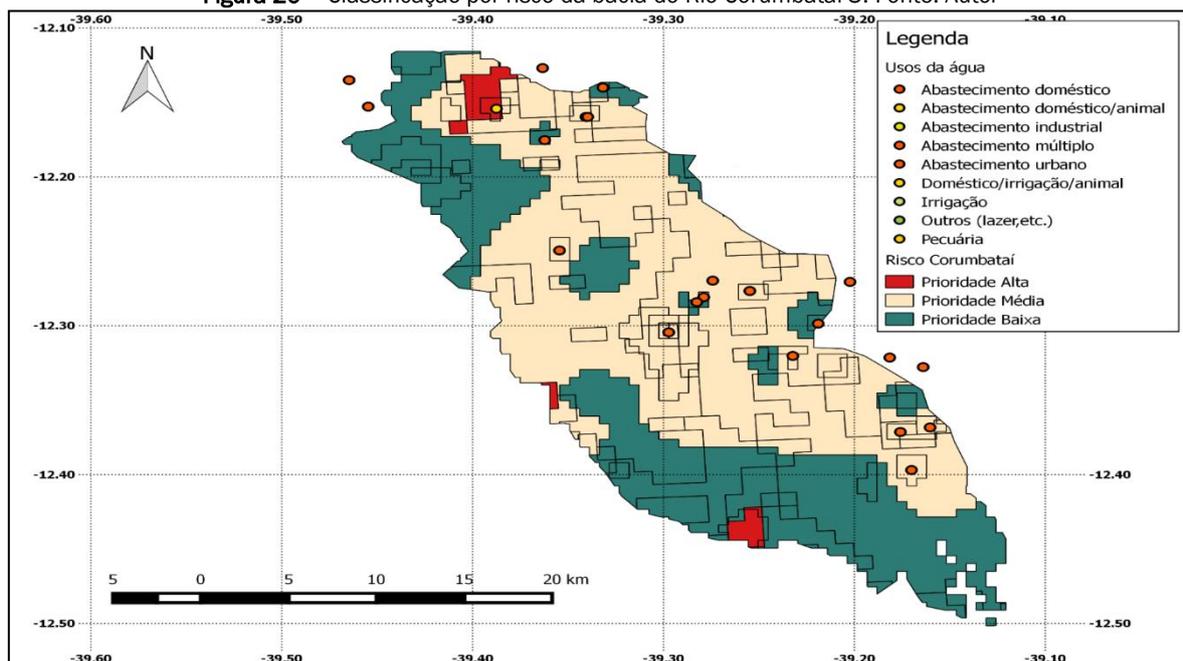


Figura 20 – Classificação por risco da bacia do Rio Corumbataí 3. Fonte: Autor



Juntam-se aos mapas os Quadros 6 e 7, onde informa-se a porcentagem da área total que é de prioridade baixa, média ou alta; e a proporção da área de prioridade média e alta que são cobertas pela sub-bacia do Rio Corumbataí, que apresentou a maior quantidade de áreas vulneráveis.

Quadro 6 - Área da classificação risco/prioridade de proteção. Fonte: Autor

	Área de Prioridade Baixa	Área de Prioridade Média	Área de Prioridade Alta	Total
Área(km ²)	4006,739	796,716	92,44	4895,9
Área(%)	81,84	16,27	1,89	100

Quadro 7 - Área da classificação de risco por sub bacia. Fonte: Autor

	Sub Bacia do Rio Corumbataí	Sub Bacia do Rio Salgado	Sub Bacia do Rio do Peixe	Sub Bacia do Rio Jacuípe 2	Sub Bacia do Rio Jacuípe 3	Sub Bacia do Rio Jacuípe 1	Sub Bacia do Rio Suabáé	Sub Bacia do Rio Ribeirão do Cavaco	Sub Bacia do Rio Calandro 2	Sub Bacia do Pojuca 1	Sub Bacia do Pojuca 2	Sub Bacia do Rio Calandro 1
Área de prioridade média(km ²)	409,55	46,36	59,48	19,33	25	9,79	66,02	104,76	0	11,62	36,12	40,19
Área de prioridade média em relação ao total (%)	51,41	5,82	7,47	2,43	3,14	1,23	8,29	13,15	0,00	1,46	4,53	5,04
Área de prioridade alta	14,36	2,24	7,1	1,01	24	0	17,69	0	0	1,64	28,58	0
Área de prioridade alta em relação ao total	15,54	2,42	7,68	1,09	25,96	0,00	19,14	0,00	0,00	1,77	30,92	0,00

Infere-se a partir dos mapas e dos quadros que, em geral, a maior quantidade de áreas de prioridade alta de proteção dessas águas subterrâneas, devido ao maior risco de contaminação destas áreas, se encontra em faixas das sub-bacias do Jacuípe 3 e do Pojuca 2, área em zonas urbanas. Isso muito acontece pela maior carga contaminante que pode ser exposta a ela – pode ser ainda maior considerando-se a grande concentração de cargas contaminantes pontuais no Centro Industrial do Subaé, que também se encontra nessa região.

Além disso, é de se dar atenção à área correspondente à sub-bacia do Rio Corumbataí e do Ribeirão do Cavaco, com uma grande faixa de prioridade média, risco médio de contaminação - alia-se a isso o fato de quase a totalidade dessa área ter usos de melhor qualidade da água, como abastecimento doméstico e urbano. Observa-se também que, na região do município de Feira de Santana, há um grande número de poços com abastecimento industrial, juntando-se ao abastecimento urbano.

Com relação à gestão de recursos hídricos, as informações referentes à vulnerabilidade podem ser utilizadas como fonte perene de dados para Planos de Recursos Hídricos que vierem a ocorrer nas áreas referentes à essas sub-bacias (Planos das RPGAs do Paraguaçu e do recôncavo Norte), já que informações litológicas e geológicas mudam muito lentamente no tempo, cabendo averiguar apenas o nível estático dos poços como um elemento de manutenção da classificação da vulnerabilidade encontrada. As informações mapeadas de vulnerabilidade e risco podem indicar para o órgão gestor dessas águas as áreas de necessidade de maior proteção das Regiões de Planejamento e Gestão das Águas.

Já as informações de carga contaminante, como dependem de atividades antrópicas na bacia, podem ser tomadas preferencialmente nos locais já identificados como mais propensos a contaminações das águas subterrâneas.

Essas informações de vulnerabilidade, fontes de contaminação e risco podem auxiliar gestores das regiões de planejamento das bacias do Paraguaçu e do Recôncavo Norte na etapa de diagnóstico, levantamento de dados dos seus Planos de Bacia. Essas informações, servindo como subsídio para o planejamento, podem alertar para locais mais vulneráveis, como na Bacia do Rio Corumbataí, para que não se coloquem zonas industriais, fossas sépticas ou locais de armazenamento de rejeitos. Já as informações de carga contaminante e risco, além de alertar para os locais mais expostos ao perigo nas bacias, podem auxiliar nos locais mais apropriados para o monitoramento de qualidade das águas, para classifica-las e progredir no enquadramento das águas subterrâneas, visando a proteção e melhoria da qualidade destas.

4. CONCLUSÕES

A proteção dos recursos hídricos subterrâneos é uma parte da gestão das águas muitas vezes desconsiderada no Brasil, muito devido à predominância do uso de mananciais superficiais. Porém, ainda mais em regiões do semiárido, a importância dos mananciais subterrâneos vem à tona pela escassez, muitas vezes, de água superficial – recorrendo-se ao escoamento de base. Apesar de mais rara e lenta, a contaminação de aquíferos é também de mais difícil remediação, muito devido aos custos muito elevados.

Esse trabalho analisou a vulnerabilidade, carga e o risco da área de 12 sub-bacias, no entorno do município de Feira de Santana. Acende-se a discussão da precariedade do sistema de informação de águas subterrâneas no país, pois alguns dados referentes à usos da água eram muito antigos, de mais de 20 anos, e muitos dados referentes ao nível estático não puderam ser catalogados por não constarem no sistema para alguns pontos. Com relação aos dados de fontes de contaminação, a falta de informações concisas por parte dos municípios leva a obter essas informações em recursos dispersos, como diários oficiais e sites do INEMA.

Apesar de muito utilizado na América Latina, o método GOD tem suas limitações por envolver apenas três fatores de análise. Mas ele se mostra uma boa metodologia para a área em questão, onde se tem dados escassos, e dá uma boa informação dos locais mais vulneráveis à contaminação, chamando-se a atenção nesse trabalho para a sub-bacia do Rio Corumbataí. Nesse trabalho, foi feito o mapeamento da vulnerabilidade, onde se encontrou que as áreas mais sensíveis se localizaram numa porção centro-sul entre as Sub-Bacias do Rio Corumbataí e Ribeirão do Cavaco.

O cadastro de cargas contaminantes pontuais é importante para o órgão gestor de recursos hídricos na medida em que pode indicar áreas industriais, de lixões, que porventura podem impactar nas águas subterrâneas, e implantar melhores localizações para monitoramento da qualidade dessas águas. As cargas difusas e o fluxo da água também podem ser utilizados para esse fim, no âmbito do fluxo de fertilizantes, agrotóxicos, efluentes domésticos, que podem propiciar a percolação destes produtos pelo aquífero. No âmbito desse trabalho, foram cadastrados os vetores de contaminação instalados na área em questão e foi realizada também a interposição das cargas contaminantes difusas com as regiões

interpoladas de vulnerabilidade, mostrando os locais de zonas urbanas como se maior risco de contaminação, e a faixa entre a Sub-bacia do Rio Corumbataí e Ribeirão do Cavaco com prioridade média de proteção.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional das Águas. *Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil*. Brasília-DF, 2005.

BAIRD, Colin. **Química Ambiental**. 2 ed. 2002.

BARBOSA, Giselle Ramalho; SILVA JR, Gerson Cardoso da. *Potenciometria e Fluxo Subterrâneo no Aquífero Aluvionar do Baixo Curso do Rio Macaé, Município de Macaé-RJ*. **Anuário do Instituto de Geociências** - UFRJ, Vol. 28 - 2 /2005.

BIZZI, L. A. et al. *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*. CPRM, Brasília, 2003.

BRASIL. *Portaria n° 2914 de 12 de dezembro de 2011*. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

BRASIL. **RESOLUÇÃO CONAMA n° 396, de 3 de abril de 2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Publicada no DOU n° 66, de 7 de abril de 2008.

CARDOSO, Fabrício Bueno da Fonseca et al. *Poços tubulares construídos no Brasil*. **XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**. 2008.

CARDOSO, Raisia Nicole Campos et al. *Análise da vulnerabilidade e do risco a contaminação de aquíferos semiconfinados na Ilha de Cotijuba/PA*. **Águas Subterrâneas** - Seção Estudos de Caso e Notas Técnicas, 2018.

CETESB-SP. *Proteção da qualidade*. Disponível em:< <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/informacoes-basicas/protecao-da-qualidade/>>. Acessado em: 17 jun. 2020.

CONICELLI, Bruno Pirilo; HIRATA, Ricardo. *Novos paradigmas na gestão das águas subterrâneas*. **XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, 2016.

CUTRIM, Alterêdo Oliveira; CAMPOS, José Eloi Guimarães. *Avaliação da vulnerabilidade e perigo à contaminação do Aquífero Furnas na cidade de Rondonópolis (MT) com aplicação dos métodos GOD e POSH*. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 29, n. 3, p. 401-411, 2010.

Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos. **Diagnostico de la calidad de las aguas subterrâneas de la región Lib**. Bernardo O'Higgins. Santiago, Mayo 2015.

DINIZ, Aline F.; SANTOS, Rosângela Leal; SANTO, Sandra Medeiro. *Avaliação dos riscos de seca para o município de Feira de Santana-BA associado à influência do El Niño no semi-árido do nordeste brasileiro*. Feira de Santana, 2008.

DUARTE, Miqueias Lima et al. *Vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas no município de Humaitá, Amazonas, Brasil*. **Água**, vol.11, n° 2, Taubaté, 2016

FARJAD, Babak et al. *Groundwater intrinsic vulnerability and risk mapping*. **Water Management**, Volume 165, September, 2012

FOSTER, Stephen et al. **Proteção da qualidade da água subterrânea**. 2006.

FOSTER, Stephen; HIRATA, Ricardo; et al. **Groundwater Quality Protection: A Guide for Water Service Companies, Municipal Authorities and Environment Agencies**. The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank, 2002.

- GHAZAVI, R.; EBRAHIMI, Z. *Assessing groundwater vulnerability to contamination in an arid environment using DRASTIC and GOD models*. Int. J. Environ. Sci. Technol. (2015).
- GIAMPÁ, Carlos Eduardo Quaglia; GONÇALES, Valter Galdiano. *Águas subterrâneas e poços tubulares profundos*. Signus Editora, 2006.
- INEMA. *RPGAs*. Disponível em: < <http://www.inema.ba.gov.br/gestao-2/rpgas/>>. Acessado em 17 ju. 2020.
- Laboratório de Paleontologia da Amazônia – UFRR. *Estaatigrafia*. Disponível em <http://ufrr.br/lapa/index.php?option=com_content&view=article&id=%2095>. Acessado em 17 jun. 2020.
- LIMA, Diego Reginatto de. **Avaliação do risco de contaminação das águas subterrâneas do sistema aquífero serra geral no município de Bento Gonçalves**. Porto Alegre, 2014.
- MAIA, P. H. P.; CRUZ, M. J. M.; SAMPAIO, M. C. *Zoneamento dos aquíferos do estado da Bahia*. 2009.
- MAIA, Paulo Henrique Prates; CRUZ, Manoel Jerônimo Moreira; SAMPAIO, Mariana Cayres. *Proposta para o zoneamento dos aquíferos do estado da Bahia. XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, 2008.
- MARQUES, Jorge Haroldo de Souza. **Estudo da vulnerabilidade dos aquíferos do município de Salvador-BA-Brasil com vistas à prevenção de poluição e avaliação do potencial hídrico não potável**. Salvador, 2012.
- MEDEIROS, Camila Macêdo et al. *Mapeamento da vulnerabilidade de parte da Bacia Sedimentar do Baixo Curso do rio Paraíba utilizando o método GOD. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 2011*.
- MELO, Sirley de Fátima dos Santos de. **Gestão de recursos hídricos no estado do Amazonas: o caso da Bacia do Tarumã-Açu**. São Bernardo do Campo, 2018.
- Ministério do Meio Ambiente. *Águas Subterrâneas um recurso a ser conhecido e protegido*. Brasília – 2007
- MMA. *Programa nacional de águas subterrâneas*. Disponível em: < <https://www.mma.gov.br/component/k2/item/423-programa-nacional-de-%C3%A1guas-subterr%C3%A2neas.html>>. Acessado em: 17 ju. 2020.
- OLIVEIRA, Alarcon Matos de; SANTOS, Rosângela Leal. *Proposta para a elaboração da cartografia geomorfológica de Feira de Santana-BA*. 2008.
- OLIVEIRA, Iara Brandão de; NEGRÃO, Francisco Inácio; SILVA, Alessandra Gomes Lopes Sampaio. *Mapeamento dos aquíferos do estado da Bahia utilizando o índice de qualidade natural das águas subterrâneas – IQNAS. Águas Subterrâneas*, v.21, n.1, p.123-137, 2007.
- PINTO, Isabel Camarero. **Monitoramento das águas subterrâneas do aterro de resíduos da construção civil e inertes, no bairro JD. Wenzel, em Rio Claro – SP**. Rio Claro – SP, 2010.
- ROCHA, Caren Izabel Oliveira. *Plano diretor de drenagem urbana em cidades planejadas: premissa de zoneamento baseado no risco de contaminação da água subterrânea*. São Paulo, 2014.
- ROCHA, Sílvia Fernandes. **Análise da vulnerabilidade e risco de contaminação dos aquíferos livres na baixada campista – Campos dos Goytacazes – RJ**. Campos dos Goytacazes – RJ, 2004.
- SANTOS JUNIOR, Antonio Carlos Borges. **Região metropolitana de Feira de Santana: uma proposta de gestão**. Feira de Santana, 2019.
- SANTOS, Vanderley Severino; LORANDI, Reinaldo. *Características hidrogeológicas e vulnerabilidade à contaminação das unidades aquíferas da bacia hidrográfica dos Córregos Amaral e Brilhante - Jaciara (MT)*. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.10, n.05 (2017).

SIAGAS. *Pesquisa geral*. Disponível em:< http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php>. Acessado em: 17 ju. 2020.

SILVA, Rita de Cássia Assis da; ARAÚJO, Tânia Maria de. *Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA)*. 2003.

SODRÉ, Fernando Fabríz. *Fontes Difusas de Poluição da Água: Características e métodos de controle*. Artigos Temáticos do AQQUA (2012).

TAVARES, Paulo Roberto Lacerda et al. *Mapeamento da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas localizadas na Bacia Sedimentar do Araripe, Estado do Ceará, Brasil*. **Rev. Esc. Minas** vol.62 no.2 Ouro Preto Apr.\June 2009.

TORCHETTO, Natieli Luisa et al. **O uso do Quantum Gis (QGIS) para caracterização e delimitação de área degradada por atividade de mineração de basalto no município de Tentente Portela (RS)**. 2014.

Trata Brasil. *Estudo de Águas Subterrâneas*. Disponível em:< http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/aguas-subterraneas-e-saneamento-basico/Estudo_aguas_subterraneas_FINAL.pdf>. Acessado em 17 jun. 2020.

ZOBY, José Luiz Gomes. *Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil*. **XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**,2008.