



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
POSPETRO – PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
GEOQUÍMICA: PETRÓLEO E MEIO AMBIENTE

PEDRO GOES BORGES

**ANÁLISE DA VULNERABILIDADE INTRÍNSECA DO AQUÍFERO
SÃO SEBASTIÃO E DA VULNERABILIDADE SOCIAL EM CATU,
BAHIA**

Salvador
2020

PEDRO GOES BORGES

**ANÁLISE DA VULNERABILIDADE INTRÍNSECA DO AQUÍFERO
SÃO SEBASTIÃO E DA VULNERABILIDADE SOCIAL EM CATU,
BAHIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Geoquímica do Petróleo e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Jerônimo Moreira Cruz

Salvador
2020

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Universitária de Ciências e
Tecnologias Prof. Omar Catunda, SIBI - UFBA.

B732 Borges, Pedro Goes

Análise da vulnerabilidade intrínseca do aquífero São
Sebastião e da vulnerabilidade social em Catu, Bahia/ Pedro
Goes Borges. – Salvador, 2020.

40 f.

Orientador: Prof. Dr Manoel Jerônimo Moreira Cruz

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia.
Instituto de Geociências, 2020.

1. Aquífero. 2. Águas Subterrâneas. 3. São Sebastião. 4.
Catu. I. Cruz, Manoel Jerônimo Moreira. II. Universidade
Federal da Bahia. III. Título.

CDU 556.33

PEDRO GOES BORGES

**ANÁLISE DA VULNERABILIDADE INTRÍNSECA DO
AQUÍFERO SÃO SEBASTIÃO E DA VULNERABILIDADE
SOCIAL EM CATU, BAHIA**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Geoquímica do Petróleo e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente, Instituto de Geociências, da Universidade Federal da Bahia.

Aprovado em 2 de junho de 2020.

Banca examinadora

Joil José Celino _____

Doutor em Geologia Regional pela Universidade de Brasília, Brasília, Brasil
Universidade Federal da Bahia

Manoel Jerônimo Moreira Cruz – Orientador _____

Doutor em Petroquímica pela Université Pierre & Marie Curie, Paris VI, Paris,
França
Universidade Federal da Bahia

Olga Maria Fragueiro Otero _____

Doutora em Geologia pela Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil
Universidade Federal da Bahia



Emitido em 02/06/2020

PARECER Nº 1944/2020 - POSPETRO-GEO (12.01.14.05)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado eletronicamente em 03/09/2020 14:01)

JOIL JOSE CELINO

PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR

268681

(Assinado eletronicamente em 03/09/2020 15:20)

MANOEL JERONIMO MOREIRA CRUZ

PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR

287703

(Assinado eletronicamente em 03/09/2020 16:01)

OLGA MARIA FRAGUEIRO OTERO

PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR

2420875

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sipac.ufba.br/documentos/> informando seu número:
1944, ano: **2020**, tipo: **PARECER**, data de emissão: **03/09/2020** e o código de verificação: **98c166a52c**

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Eustáquio (in memoriam) e Nildete, à minha irmã, Mariana, e aos meus avós, Manoel (in memoriam) e Dinah, por todo apoio, incentivo e torcida.

À Desirée A. C. Santos, por todo apoio.

Ao Manoel Jerônimo Moreira Cruz pela disponibilidade, ensinamentos e orientações.

À Olga Maria Fragueiro Otero pela atenção, ensinamentos e sugestões.

Ao Joil José Celino pela disponibilidade, ensinamentos e sugestões.

Ao Rodolfo Santos Gasser e ao Rodrigo Alves Santos, por todos os momentos de aprendizado juntos e pelas sugestões.

À CERB, CPRM, IBGE e INPE pela disponibilização dos dados essenciais à pesquisa.

À FAPESB pelo apoio e incentivo a pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

As águas subterrâneas dos aquíferos da Bacia Sedimentar do Recôncavo são utilizadas para diversos fins, principalmente pelos domicílios, estabelecimentos agropecuários e setor industrial de produção de bebidas. O município de Catu apresenta elevado potencial de recursos hídricos de subsuperfície. A maior porção do território do município de Catu tem como formação geológica aflorante a Formação São Sebastião. As águas subterrâneas desse importante sistema aquífero são vulneráveis, em maior ou menor grau, a contaminação. Neste contexto, o objetivo geral deste trabalho consiste em analisar a vulnerabilidade intrínseca do aquífero São Sebastião e a vulnerabilidade social em Catu, Bahia. Quanto aos objetivos específicos: i) modelar a vulnerabilidade intrínseca do aquífero, para tanto utilizou-se os métodos DRASTIC, GOD e MAIA; ii) avaliar a representatividade dos mapas de vulnerabilidade intrínseca do aquífero, e identificar as potencialidades e limitações de cada método utilizado; iii) espacializar os diferentes graus de vulnerabilidade social; e iv) analisar as áreas onde predominam os maiores graus de vulnerabilidade intrínseca do aquífero São Sebastião associadas as áreas onde predominam os maiores graus de vulnerabilidade social. Com aplicação do método DRASTIC verificou-se que dos 34 poços analisados, 79,4% foram classificados com baixa vulnerabilidade e 20,6% com intermediária vulnerabilidade. Com a utilização do método GOD verificou-se que dos 35 poços analisados, 54,3% foram classificados com desprezível vulnerabilidade, 22,8% com baixa vulnerabilidade, 5,7% foram classificados com moderada, e 17,1% com alta vulnerabilidade. Com a aplicação do método MAIA verificou-se que dos 30 poços analisados, 80% foram classificados com baixa vulnerabilidade, 6,7% com media vulnerabilidade, e 13,3% foram classificados com alta vulnerabilidade. As áreas onde predominam os maiores graus de vulnerabilidade intrínseca do aquífero São Sebastião situam-se próximas aos poços Bom Viver, Duque de Caxias, Mandacaru e Mocambo Um. As áreas com os maiores graus de vulnerabilidade social situam-se na zona rural. As áreas onde predominam os maiores graus de vulnerabilidade intrínseca do aquífero São Sebastião associadas as áreas onde predominam os maiores graus de vulnerabilidade social situam-se próximas aos poços Matão, Coelho, Mandacaru e Mocambo Um. Essas áreas apresentam maior propensão de contaminação por agentes de origem antropogênica, e por isso requerem maior atenção.

Palavras-chave: Vulnerabilidade. Aquífero. São Sebastião. Catu.

ABSTRACT

The groundwaters of the Recôncavo Sedimentary Basin aquifers are used for various purposes, mainly by households, agricultural establishment, and the industrial beverage production sector. The municipality of Catu has a high potential for subsurface water resources. The largest portion of the territory of the municipality of Catu has as its outcropping geological formation the São Sebastião Formation. Groundwater in this important aquifer system is vulnerable, to a greater or lesser degree, to contamination. In this context, the general objective of this work is to analyze the intrinsic vulnerability of the São Sebastião aquifer and the social vulnerability in Catu, Bahia. As for the specific objectives: i) to model the intrinsic vulnerability of the aquifer, the DRASTIC, GOD and MAIA methods were used for this purpose; ii) to evaluate the representativeness of the aquifer's intrinsic vulnerability maps, and identify the potentials and limitations of each method used; iii) to spatialize the different degrees of social vulnerability; and iv) to analyze the areas where the highest degrees of intrinsic vulnerability of the São Sebastião aquifer predominate, associated with the areas where the highest degrees of social vulnerability predominate. Using the DRASTIC method, it was found that of the 34 wells analyzed, 79.4% were classified as low vulnerability and 20.6% as intermediate vulnerability. Using the GOD method, it was found that of the 35 wells analyzed, 54.3% were classified as negligible vulnerability, 22.8% as low vulnerability, 5.7% were classified as moderate, and 17.1% as highly vulnerable. With the application of the MAIA method, it was found that of the 30 wells analyzed, 80% were classified as low vulnerability, 6.7% as medium vulnerability, and 13.3% were classified as high vulnerability. The areas where the highest degrees of intrinsic vulnerability of the São Sebastião aquifer predominate are located near the Bom Viver, Duque de Caxias, Mandacaru and Mocambo Um boreholes. The areas with the highest degrees of social vulnerability are located in the countryside. The areas where the highest degrees of intrinsic vulnerability of the São Sebastião aquifer predominate associated with the areas where the highest degrees of social vulnerability predominate are located close to the Matão, Coelho, Mandacaru and Mocambo Um wells. These areas are more prone to contamination by anthropogenic source, and therefore require more attention.

Keywords: Aquifer vulnerability. São Sebastião aquifer. Social. Catu.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	OBJETIVOS	11
3	ANÁLISE DA VULNERABILIDADE INTRÍNSECA DO AQUÍFERO SÃO SEBASTIÃO E DA VULNERABILIDADE SOCIAL EM CATU, BAHIA	12
	RESUMO	12
3.1	INTRODUÇÃO.....	13
3.2	ÁREA DE ESTUDO	16
3.3	MATERIAIS E MÉTODOS	17
3.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
3.5	CONCLUSÕES.....	38
4	CONCLUSÃO	40
	REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas dos aquíferos da Bacia Sedimentar do Recôncavo são utilizadas para diversos fins, principalmente pelos domicílios, estabelecimentos agropecuários e setor industrial de produção de bebidas.

O município de Catu apresenta elevado potencial de recursos hídricos de subsuperfície representado pelos sistemas aquíferos São Sebastião, Barreiras, Marizal e Grupo Ilhas. As águas subterrâneas distribuem-se nos diferentes sistemas aquíferos presentes no município, distintos por suas características hidrogeológicas, as quais se refletem na sua produtividade.

Devido à sua grande extensão e, principalmente, à sua litologia, a Formação São Sebastião constitui-se no principal aquífero da Bacia do Recôncavo. A maior porção do território do município de Catu tem como formação geológica aflorante a Formação São Sebastião.

Em termos hidrogeológicos, “a Formação São Sebastião consiste num sistema aquífero livre, porém, intercalações de camadas de folhelhos, argilitos e siltitos condicionam a formação de aquíferos superpostos em condições confinantes e semiconfinantes” (IBGE, 1999, p. 100). A recarga das reservas hídricas subterrâneas do aquífero São Sebastião ocorre por meio das precipitações diretas nas camadas aflorantes da formação, são também processadas recargas por meio da rede hidrográfica, no período de maior intensidade das chuvas, e por infiltrações profundas dos aquíferos Marizal e Barreiras (IBGE, 1999).

As águas subterrâneas do sistema aquífero São Sebastião são vulneráveis, em maior ou menor grau, a contaminação. De acordo com Foster (1987) a vulnerabilidade do aquífero refere-se ao conjunto de características intrínsecas dos estratos que separam o aquífero saturado da superfície do solo, o que determina sua suscetibilidade a sofrer os efeitos adversos de uma carga contaminante aplicada na superfície.

Segundo Vrba e Zaporozec (1994) os métodos de avaliação da vulnerabilidade de um aquífero podem ser classificados em três grupos principais: i) ambientes hidrogeológicos: baseiam a avaliação da vulnerabilidade, em termos qualitativos, nas características gerais do ambiente, usando mapas temáticos (exemplo desse método: Albinet; Margat, 1970); ii) modelos análogos: utilizam

expressões matemáticas para os parâmetros essenciais (como tempo de trânsito médio na zona vadosa) como indicadores do índice de vulnerabilidade (método EC/Fried em Monkhouse, 1983); e iii) sistemas paramétricos: usam parâmetros selecionados como indicadores de vulnerabilidade e aplicam seu espectro de valores e interações para produzir alguma forma de índice de vulnerabilidade relativo ou absoluto (exemplos desse método incluem o *DRASTIC* de Aller *et al.*, 1987; o GOD proposto por Foster *et al.* (1987); o EPIK de Doerfliger e Zwahlen (1997).

O mais conhecido dentre os métodos paramétricos é o *DRASTIC*, que tenta quantificar a vulnerabilidade relativa pela soma dos índices ponderados obtidos para sete variáveis hidrogeológicas: D (*Depth to Groundwater*) – profundidade do nível estático; R (*Recharge*) – recarga do aquífero; A (*Aquifer media*) – material do aquífero; S (*Soil media*) – tipo de solo; T (*Topography*) – Topografia; I (*Impact of the vadose zone*) – Impacto da zona não saturada; e C (*Conductivity hydraulic*) – condutividade hidráulica.

O GOD é um dos métodos mais utilizados nos estudos relacionados a vulnerabilidade de aquífero devido a sua simplicidade conceitual e de aplicação. O índice de vulnerabilidade GOD (Foster, 1987; Foster e Hirata, 1988) é composto pelos seguintes parâmetros: i) confinamento hidráulico da água subterrânea no aquífero em questão; ii) estratos de cobertura (zona vadosa ou camada confinante), em termos da característica hidrogeológica e do grau de consolidação que determinam sua capacidade de atenuação do contaminante; e iii) profundidade até o lençol freático ou até o teto do aquífero confinado.

O método de Avaliação da Vulnerabilidade Intrínseca de Aquíferos (MAIA) (MAIA, 2011) apresenta características de um modelo análogo e paramétrico que utiliza uma expressão algébrica constituída por parcelas de variáveis independentes indicadoras de vulnerabilidade. O índice de vulnerabilidade MAIA é calculado por meio do somatório das seguintes variáveis: PA – profundidade da água; ES – espessura do solo; DT – declividade do terreno; CE – capacidade específica; RE – recarga potencial; TA – transmissividade do aquífero ou DF – densidade de fraturas.

Segundo Manoel Filho (2000) as principais fontes de contaminação dos aquíferos relacionadas a atividade doméstica são: fossas sépticas (águas residuais e esgotos domésticos), valas clandestinas abertas (lixo doméstico queimado, cujas cinzas diluídas pelas chuvas, podem produzir contaminações da água subterrânea), aterros sanitários (lixões).

Os estudos de vulnerabilidade de aquífero associados às técnicas de geoprocessamento têm servido de subsídios para as políticas de proteção da água subterrânea, na avaliação de novas propostas de desenvolvimento e prioridades no controle da contaminação, e no monitoramento da qualidade da água subterrânea.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho consiste em analisar a vulnerabilidade intrínseca do aquífero São Sebastião e a vulnerabilidade social em Catu, Bahia.

Os objetivos específicos são: i) modelar a vulnerabilidade intrínseca do aquífero, para tanto utilizou-se os métodos DRASTIC (ALLER *et al.* 1987), GOD (Foster, 1987) e MAIA (MAIA, 2011); ii) avaliar a representatividade dos mapas de vulnerabilidade intrínseca do aquífero, e identificar as potencialidades e limitações dos métodos utilizados; iii) espacializar os diferentes graus de vulnerabilidade social; e iv) analisar as áreas onde predominam os maiores graus de vulnerabilidade intrínseca do aquífero associadas as áreas onde predominam os maiores graus de vulnerabilidade social.

3 ANÁLISE DA VULNERABILIDADE INTRÍNSECA DO AQUÍFERO SÃO SEBASTIÃO E DA VULNERABILIDADE SOCIAL EM CATU, BAHIA

RESUMO

As águas subterrâneas dos aquíferos da Bacia Sedimentar do Recôncavo são utilizadas para diversos fins, principalmente pelos domicílios, estabelecimentos agropecuários e setor industrial de produção de bebidas. O município de Catu apresenta elevado potencial de recursos hídricos de subsuperfície. A maior porção do território do município de Catu tem como formação geológica aflorante a Formação São Sebastião. As águas subterrâneas desse importante sistema aquífero são vulneráveis, em maior ou menor grau, a contaminação. Neste contexto, o objetivo geral deste trabalho consiste em analisar a vulnerabilidade intrínseca do aquífero São Sebastião e a vulnerabilidade social em Catu, Bahia. Quanto aos objetivos específicos: i) modelar a vulnerabilidade intrínseca do aquífero, para tanto utilizou-se os métodos DRASTIC, GOD e MAIA; ii) avaliar a representatividade dos mapas de vulnerabilidade intrínseca do aquífero, e identificar as potencialidades e limitações de cada método utilizado; iii) espacializar os diferentes graus de vulnerabilidade social; e iv) analisar as áreas onde predominam os maiores graus de vulnerabilidade intrínseca do aquífero São Sebastião associadas as áreas onde predominam os maiores graus de vulnerabilidade social. Com aplicação do método DRASTIC verificou-se que dos 34 poços analisados, 79,4% foram classificados com baixa vulnerabilidade e 20,6% com intermediária vulnerabilidade. Com a utilização do método GOD verificou-se que dos 35 poços analisados, 54,3% foram classificados com desprezível vulnerabilidade, 22,8% com baixa vulnerabilidade, 5,7% foram classificados com moderada, e 17,1% com alta vulnerabilidade. Com a aplicação do método MAIA verificou-se que dos 30 poços analisados, 80% foram classificados com baixa vulnerabilidade, 6,7% com media vulnerabilidade, e 13,3% foram classificados com alta vulnerabilidade. As áreas onde predominam os maiores graus de vulnerabilidade intrínseca do aquífero São Sebastião situam-se próximas aos poços Bom Viver, Duque de Caxias, Mandacaru e Mocambo Um. As áreas com os maiores graus de vulnerabilidade social situam-se na zona rural. As áreas onde predominam os maiores graus de vulnerabilidade intrínseca do aquífero São Sebastião associadas as áreas onde predominam os maiores graus de vulnerabilidade social situam-se próximas aos poços Matão, Coelho, Mandacaru e Mocambo Um. Essas áreas apresentam maior propensão de contaminação por agentes de origem antropogênica, e por isso requerem maior atenção.

Palavras-chave: Vulnerabilidade. Aquífero. São Sebastião. Catu.

ABSTRACT

The groundwaters of the Recôncavo Sedimentar Basin aquifers are used for various purposes, mainly by households, agricultural establishment, and the industrial beverage production sector. The municipality of Catu has a high potential for subsurface water resources. The largest portion of the territory of the municipality of Catu has as its outcropping geological formation the São Sebastião Formation. Groundwater in this important aquifer system is vulnerable, to a greater or lesser degree, to contamination. In this context, the general objective of this work is to

analyse the intrinsic vulnerability of the São Sebastião aquifer and the social vulnerability in Catu, Bahia. As for the specific objectives: i) to model the intrinsic vulnerability of the aquifer, the DRASTIC, GOD and MAIA methods were used for this purpose; ii) to evaluate the representativeness of the aquifer's intrinsic vulnerability maps, and identify the potentials and limitations of each method used; iii) to spatialize the different degrees of social vulnerability; and iv) to analyze the areas where the highest degrees of intrinsic vulnerability of the São Sebastião aquifer predominate, associated with the areas where the highest degrees of social vulnerability predominate. Using the DRASTIC method, it was found that of the 34 wells analyzed, 79.4% were classified as low vulnerability and 20.6% as intermediate vulnerability. Using the GOD method, it was found that of the 35 wells analyzed, 54.3% were classified as negligible vulnerability, 22.8% as low vulnerability, 5.7% were classified as moderate, and 17.1% as highly vulnerable. With the application of the MAIA method, it was found that of the 30 wells analyzed, 80% were classified as low vulnerability, 6.7% as medium vulnerability, and 13.3% were classified as high vulnerability. The areas where the highest degrees of intrinsic vulnerability of the São Sebastião aquifer predominate are located near the Bom Viver, Duque de Caxias, Mandacaru and Mocambo Um boreholes. The areas with the highest degrees of social vulnerability are located in the countryside. The areas where the highest degrees of intrinsic vulnerability of the São Sebastião aquifer predominate associated with the areas where the highest degrees of social vulnerability predominate are located close to the Matão, Coelho, Mandacaru and Mocambo Um wells. These areas are more prone to contamination by anthropogenic source, and therefore require more attention.

Keywords: Aquifer vulnerability. São Sebastião aquifer. Social. Catu.

3.1 INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas dos aquíferos da Bacia Sedimentar do Recôncavo são utilizadas para diversos fins, principalmente pelos domicílios, estabelecimentos agropecuários e setor industrial de produção de bebidas.

O município de Catu apresenta elevado potencial de recursos hídricos de subsuperfície representado pelos sistemas aquíferos: São Sebastião, Barreiras, Marizal e Grupo Ilhas. As águas subterrâneas distribuem-se nos diferentes sistemas aquíferos presentes no município, distintos por suas características hidrogeológicas, as quais se refletem na sua produtividade.

Devido à sua grande extensão e, principalmente, à sua litologia, a Formação São Sebastião constitui-se no principal aquífero da Bacia do Recôncavo. A maior porção do território do município de Catu tem como formação geológica aflorante a Formação São Sebastião.

Em termos hidrogeológicos, “a Formação São Sebastião consiste num

sistema aquífero livre, porém, intercalações de camadas de folhelhos, argilitos e siltitos condicionam a formação de aquíferos superpostos em condições confinantes e semiconfinantes” (IBGE, 1999, p. 100). A recarga das reservas hídricas subterrâneas do aquífero São Sebastião ocorre por meio das precipitações diretas nas camadas aflorantes da formação, são também processadas recargas por meio da rede hidrográfica, no período de maior intensidade das chuvas, e por infiltrações profundas dos aquíferos Marizal e Barreiras (IBGE, 1999).

As águas subterrâneas do sistema aquífero São Sebastião são vulneráveis, em maior ou menor grau, a contaminação. De acordo com Foster (1987) a vulnerabilidade do aquífero refere-se ao conjunto de características intrínsecas dos estratos que separam o aquífero saturado da superfície do solo, o que determina sua suscetibilidade a sofrer os efeitos adversos de uma carga contaminante aplicada na superfície.

Segundo Vrba e Zaporozec (1994) os métodos de avaliação da vulnerabilidade de um aquífero podem ser classificados em três grupos principais: i) ambientes hidrogeológicos: baseiam a avaliação da vulnerabilidade, em termos qualitativos, nas características gerais do ambiente, usando mapas temáticos (exemplo desse método: Albinet; Margat, 1970); ii) modelos análogos: utilizam expressões matemáticas para os parâmetros essenciais (como tempo de trânsito médio na zona vadosa) como indicadores do índice de vulnerabilidade (método EC/Fried em Monkhouse, 1983); e iii) sistemas paramétricos: usam parâmetros selecionados como indicadores de vulnerabilidade e aplicam seu espectro de valores e interações para produzir alguma forma de índice de vulnerabilidade relativo ou absoluto (exemplos desse método incluem o *DRASTIC* de Aller *et al.*, 1987; o GOD proposto por Foster *et al.* (1987); o EPIK de Doerfliger e Zwahlen (1997).

O mais conhecido dentre os métodos paramétricos é o *DRASTIC*, que tenta quantificar a vulnerabilidade relativa pela soma dos índices ponderados obtidos para sete variáveis hidrogeológicas: D (*Depth to Groundwater*) – profundidade do nível estático; R (*Recharge*) – recarga do aquífero; A (*Aquifer media*) – material do aquífero; S (*Soil media*) – tipo de solo; T (*Topography*) – Topografia; I (*Impact of the vadose zone*) – Impacto da zona não saturada; e C (*Conductivity hydraulic*) – condutividade hidráulica.

O GOD é um dos métodos mais utilizados nos estudos relacionados a vulnerabilidade de aquífero devido a sua simplicidade conceitual e de aplicação. O

índice de vulnerabilidade GOD (Foster, 1987; Foster e Hirata, 1988) é composto pelos seguintes parâmetros: i) confinamento hidráulico da água subterrânea no aquífero em questão; ii) estratos de cobertura (zona vadosa ou camada confinante), em termos da característica hidrogeológica e do grau de consolidação que determinam sua capacidade de atenuação do contaminante; e iii) profundidade até o lençol freático ou até o teto do aquífero confinado.

O método de Avaliação da Vulnerabilidade Intrínseca de Aquíferos (MAIA) (MAIA, 2011) apresenta características de um modelo análogo e paramétrico que utiliza uma expressão algébrica constituída por parcelas de variáveis independentes indicadoras de vulnerabilidade. O índice de vulnerabilidade MAIA é calculado por meio do somatório das seguintes variáveis: PA – profundidade da água; ES – espessura do solo; DT – declividade do terreno; CE – capacidade específica; RE – recarga potencial; TA – transmissividade do aquífero ou DF – densidade de fraturas.

Segundo Manoel Filho (2000) as principais fontes de contaminação dos aquíferos relacionadas a atividade doméstica são: fossas sépticas (águas residuais e esgotos domésticos), valas clandestinas abertas (lixo doméstico queimado, cujas cinzas diluídas pelas chuvas, podem produzir contaminações da água subterrânea), aterros sanitários (lixões).

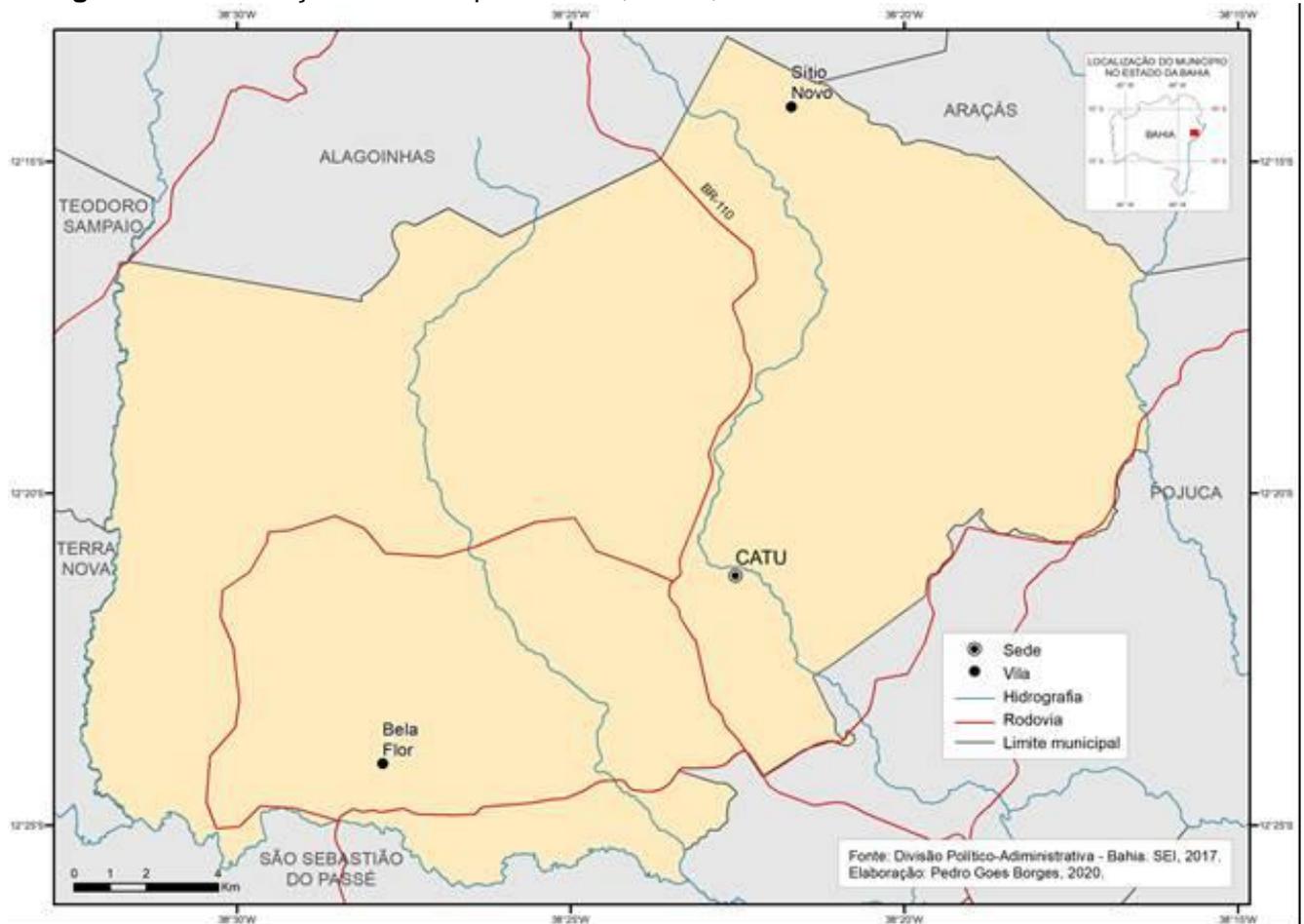
Os estudos de vulnerabilidade de aquífero associados às técnicas de geoprocessamento têm servido de subsídios para as políticas de proteção da água subterrânea, na avaliação de novas propostas de desenvolvimento e prioridades no controle da contaminação, e no monitoramento da qualidade da água subterrânea.

Neste contexto, o objetivo geral deste trabalho consiste em analisar a vulnerabilidade intrínseca do aquífero São Sebastião e a vulnerabilidade social em Catu, Bahia. Quanto aos objetivos específicos: i) modelar a vulnerabilidade intrínseca do aquífero, para tanto utilizou-se os métodos DRASTIC (ALLER *et al.* 1987), GOD (Foster, 1987) e MAIA (MAIA, 2011); ii) avaliar a representatividade dos mapas de vulnerabilidade intrínseca do aquífero, e identificar as potencialidades e limitações dos métodos utilizados; iii) espacializar os diferentes graus de vulnerabilidade social; e iv) analisar as áreas onde predominam os maiores graus de vulnerabilidade intrínseca do aquífero associadas as áreas onde predominam os maiores graus de vulnerabilidade social.

3.2 ÁREA DE ESTUDO

O município de Catu possui uma área de 426.955 km², distante cerca 82 quilômetros da capital baiana. Limita-se a leste com os municípios de Araçás e Pojuca, ao sul com São Sebastião do Passé, a oeste com Teodoro Sampaio e Terra Nova, e ao norte com Alagoinhas (Figura 1).

Figura 1 – Localização do município de Catu, Bahia, Brasil



Fonte: Elaboração do autor.

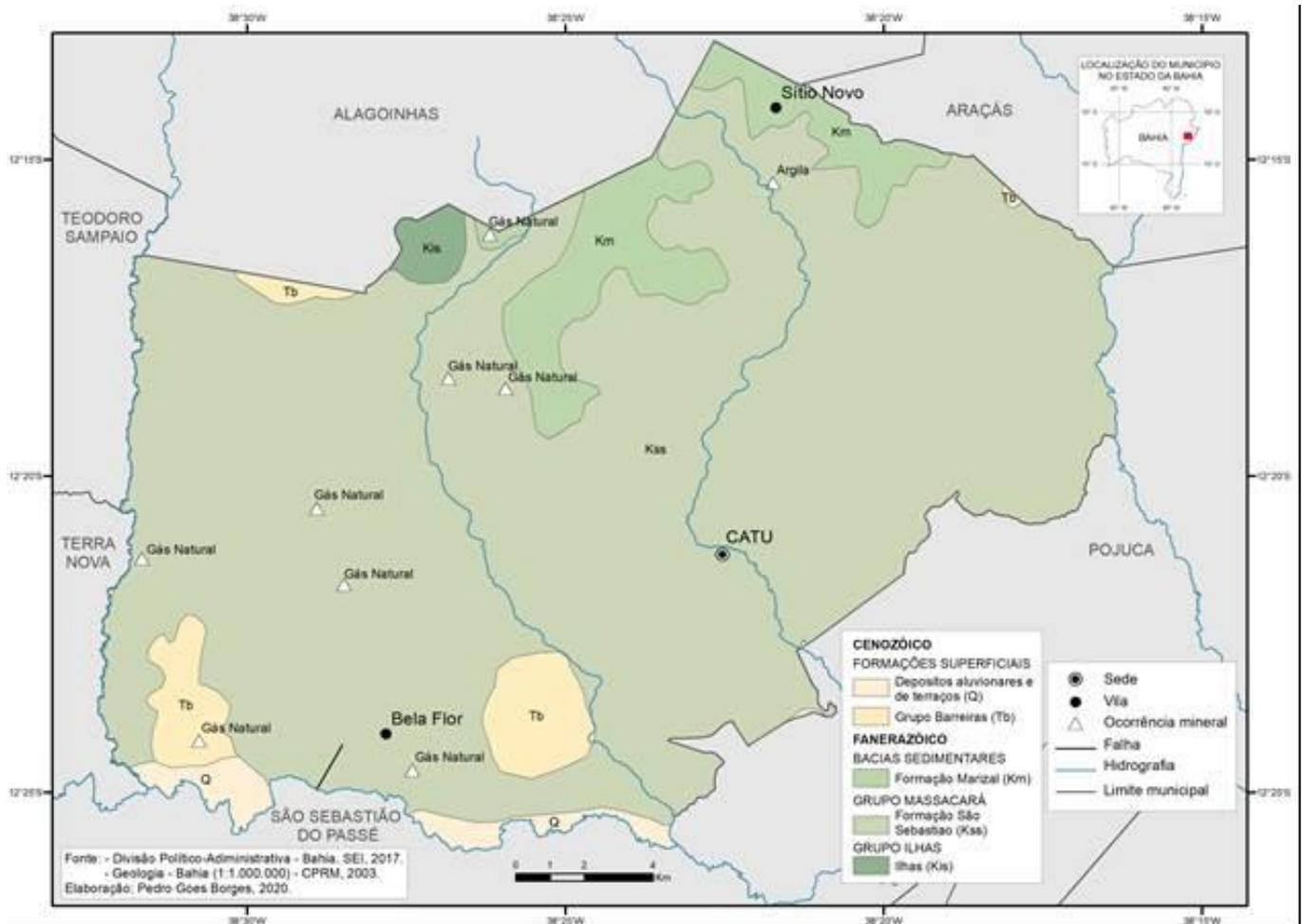
O clima atuante no município de Catu é do tipo úmido a subúmido, com chuvas concentradas no período de março a julho. A pluviosidade anual é de 1.234,1 mm. A temperatura média anual em Catu é de 23,9°C (SEI, 2012).

O relevo no município de Catu é marcado pela presença de tabuleiros. Quanto ao tipo de solo, predominam na área os Alissolos e Latossolos. A vegetação é formada por floresta ombrófila densa e floresta estacional semidecidual. As principais ocorrências minerais, em quantidade de registro, são: água mineral e

argila (SEI, 2012).

A área do município de Catu apresenta uma variedade de rochas sedimentares que engloba desde algumas Formações que compõe a Bacia Sedimentar do Recôncavo até os sedimentos mais recentes, representados pelo Grupo Barreiras e os depósitos aluvionares e de terraços. A Formação São Sebastião aflora em grandes extensões na área do município de Catu (Figura 2).

Figura 2 – Geologia do município de Catu, Bahia, Brasil



Fonte: elaboração do autor.

3.3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para consolidar o referencial teórico-metodológico deste trabalho foi imprescindível a consulta a diversas fontes bibliográficas. A seleção destas incluiu

consultas em livros, periódicos, dissertações, teses, etc., disponíveis em meio analógico e/ou digital, encontradas tanto na literatura nacional quanto internacional.

Os dados secundários adquiridos foram disponibilizados pelas seguintes instituições: i) Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM); ii) Companhia de Engenharia Hídrica e de Saneamento da Bahia (CERB); iii) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (SEI); e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

A SEI disponibilizou o arquivo em formato *shapefile* da Divisão Política-Administrativa do Estado da Bahia, polígonos definidores das divisas municipais referentes ao ano base de 2017, com Sistema de Referência SIRGAS 2000.

Na CERB foram coletados dados referentes aos poços tubulares localizados em Catu. Foram disponibilizadas fichas (analógico), contendo as seguintes informações referente a cada poço: código, localidade, coordenadas, valores: do nível estático e dinâmico, cor, ferro, magnésio, ph, sílica, sulfato, acidez, potássio, sódio, resíduo total, cloreto, etc.

Os dados de alguns poços foram obtidos por meio do Sistema de informações de Água Subterrânea (SIAGAS), de responsabilidade da Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM).

Os arquivos em formato *raster* com os valores das informações pertinentes, tais como: material do aquífero, tipo de solo, impacto da zona não saturada, etc., foram obtidos por meio de análises dos perfis dos poços disponibilizados pela CERB e CPRM. O arquivo em formato *raster* com os valores de altitude e declividade foram disponibilizados pelo INPE. Esse arquivo faz parte do Banco de dados geomorfométricos do Brasil (TOPODATE) (INPE, 2009).

Com os dados da cota topográfica de cada poço e a profundidade do nível estático foi possível executar o modelamento cartográfico da superfície potenciométrica do aquífero. As informações sobre o nível estático foram obtidas a partir dos dados de 41 poços tubulares. O software utilizado para confecção do mapa potenciométrico foi o *Surfer 11*.

Os procedimentos metodológicos para avaliar a vulnerabilidade do aquífero São Sebastião utilizando o método *DRASTIC* foram estruturadas nas seguintes etapas: i) primeira: atribuiu-se um índice a cada parâmetro (entre 1 e 10) (Quadro 1); ii) segunda: multiplicou-se por um peso (entre 1 e 5) (Quadro 2); e iii) terceira: obteve-se o índice final por meio da soma dos produtos de cada parâmetro.

Quadro 1 – Intervalo e valores dos parâmetros *DRASTIC*

(D) Profundidade do nível piezométrico			(R) Recarga bruta	
Intervalo (m)	Valor		Intervalo (m)	Valor
< 1,5	10		0 - 50	1
1,5 - 5	9		50 - 100	3
5 - 10	7		100 - 180	6
10 - 20	5		180 - 255	8
20 - 30	2		> 255	9
> 30	1			
(A) Material do aquífero			(S) tipo de solo	
Descrição	Intervalo	Valor	Tipo de solo	Valor
Argilas, margas, calcários	1 - 3	2	Argila não expansiva e agregada	1
Ígneas/ metamórficas	2 - 5	3	Solo orgânico	2
Ígneas/ metamórficas alteradas	3 - 5	4	Marga argilosa	3
Alternância arenítica, argilítica e calcário	5 - 9	6	Marga limosa	4
Arenito puro	4 - 9	6	Marga	5
Calcário puro	4 - 9	6	Marga arenosa	6
Areia, gravilhão e conglomerado	4 - 9	8	Argila expansiva e/ou agregada	7
Vulcânicas	2 - 10	9	Turva	8
Calcário cárstico	9 - 10	10	Areia	9
			Gravilhão	10
(T) Topografia			(C) Condutividade hidráulica	
Intervalo (%)	Valor		Intervalo (m/dia)	Valor
0 - 2	10		< 4	1
			4 - 12	2
2 - 6	9		12 - 28	4
6 - 12	5		28 - 40	6
12 - 18	3		40 - 80	8
> 18	1		> 80	10
(I) Impacto sobre a zona não saturada				
Descrição	Intervalo		Valor	
Argila, calcário, margas	1 - 2		1	
Folhelhos e Xistos	2 - 5		3	
Calcários	2 - 7		6	
Arenitos	4 - 8		6	
Alternâncias Arenito, argilito, calcário	4 - 8		6	
Areia, gravilhão argilítico	4 - 8		6	
Metamórfica, ígnea	2 - 8		4	
Areia e gravilhão	6 - 9		8	
Vulcânicas	2 - 10		9	
Calcário cárstico	8 - 10		10	

Fonte: Aller *et al.*, (1987).

Quadro 2 – Índice de ponderação (w) do método DRASTIC

Parâmetro	Peso
Dw - Profundidade do nível estático	5
Rw - Recarga do aquífero	4
Aw - Material do aquífero	3
Sw - Tipo de solo	2
Tw – Topografia	1
Iw – Impacto da zona não-saturada	5
Cw - Condutividade hidráulica	3

Fonte: Aller *et al.* (1987).

O índice de vulnerabilidade DRASTIC possui uma variação de 23 a 230. Quanto mais elevado o índice maior a vulnerabilidade (Quadro 3).

Quadro 3 – Classes de vulnerabilidade do índice DRASTIC

Índice	Classe
23 - 119	Baixa
120 - 149	Intermediária
150 - 179	Alta
180 - 230	Muito alta

Fonte: Aller *et al.* (1987).

Os procedimentos metodológicos para avaliar a vulnerabilidade do aquífero São Sebastião utilizando o método GOD foram estruturadas em três etapas: i) primeira: identificação do tipo de confinamento de água subterrânea, com a posterior indexação desse parâmetro na escala de 0,0–1,0; ii) segunda: especificação dos estratos de cobertura da zona saturada do aquífero em termos de (a) grau de consolidação e (b) tipo de litologia, com posterior indexação desse parâmetro na escala de 0,4–1,0; iii) terceira: estimativa da profundidade até o lençol freático (de aquíferos não confinados) ou da profundidade do primeiro nível principal de água subterrânea (para aquíferos confinados), com posterior classificação na escala de 0,6–1,0; e iv) quarta: multiplicou-se os valores dos três parâmetros para obter o índice final (Equação 2).

O índice de vulnerabilidade GOD possui uma variação de 0 a 1. Quanto mais elevado o índice maior a vulnerabilidade (Quadro 4).

Quadro 4 – Classes de vulnerabilidade do índice GOD

Índice	Classe	Definição
0 – 0,1	Desprezível	Camadas confinadas com fluxo vertical descendente não significativo
0,1 – 0,3	Baixa	Somente vulnerável a contaminantes conservativos em longo prazo, quando continuamente e amplamente lançado
0,3 – 0,5	Moderada	Vulnerável a alguns poluentes, mas somente quando continuamente lançados
0,5 – 0,7	Alta	Vulnerável a muitos poluentes, exceto aqueles muito pouco móveis e pouco persistentes
0,7 – 1,0	Extrema	Vulnerável a muitos poluentes, com rápido impacto em muitos cenários de contaminação

Fonte: Foster; Hirata (1988).

O método MAIA descreve a vulnerabilidade a partir dos efeitos de proteção representados pelas parcelas: Profundidade da Água (PA), Espessura do Solo (ES) e Declividade Topográfica (DT), inversamente relacionadas a atenuação e acessibilidade a contaminantes, adicionado aos efeitos produzidos na vulnerabilidade pelas parcelas: Capacidade Específica (CE), Recarga (RE) e Densidade de Fraturas (DF) ou Transmissividade do Aquífero (TA), diretamente relacionadas a acessibilidade de contaminantes.

O índice de vulnerabilidade MAIA possui uma variação de $\leq 7,5$ a $< 23,0$. Quanto mais elevado o índice maior a vulnerabilidade (Quadro 5).

Quadro 5 – Classes de vulnerabilidade do índice MAIA

Índice	Classe
$\leq 7,5$	Baixa
7,51 - 12,5	Média
12,51 - 17,5	Alta
17,51 - 23,0	Extrema

Fonte: Maia (2011).

Utilizou-se a ponderação pelo inverso da distância (IDW) como método de interpolação espacial para confecção dos mapas de vulnerabilidade do aquífero São Sebastião. A ponderação pelo inverso da distância (IDW) constitui-se no “cavalo de batalha da interpolação espacial, o método mais comumente utilizado pelos analistas de SIG” (LONGLEY *et al.*, 2013, p. 375). O *software* utilizado no processo de interpolação espacial foi o *ArcMap* versão 10.3. Os dados matriciais gerados servem: i) para visualizar espacialmente o comportamento dos parâmetros

interpolados; e ii) como dados de entrada para execução dos cálculos dos diferentes índices de vulnerabilidade do aquífero. Para tanto utilizou-se a ferramenta *raster calculator* do software *ArcMap* 10.3.

Para confecção da representação espacial da vulnerabilidade social, utilizou-se como referência o trabalho publicado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, intitulado atlas da vulnerabilidade social nas regiões metropolitanas brasileiras (COSTA; MARGUTI, 2015). Foram utilizados os dados da base de informação, por setor do censo demográfico 2010, e os arquivos em formato shapefile da malha digital dos setores censitários, e da grade estatística (densidade demográfica).

O Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) apresentado neste trabalho é composto por 4 indicadores estruturados em duas dimensões, a saber: i) saneamento básico; e ii) densidade demográfica (Quadro 6). O IVS é o resultado da média aritmética dos índices das dimensões de saneamento básico e de densidade demográfica.

Quadro 6 – Descrição dos indicadores que compõem a dimensão saneamento básico e a dimensão densidade demográfica

Dimensão	Indicador	Descrição
Saneamento básico	a) Percentual de domicílios com abastecimento de água inadequado	Razão entre o número de domicílios cujo o abastecimento de água não provém da rede geral e o total de domicílios particulares permanentes, multiplicada por 100. São considerados apenas os domicílios particulares permanentes
	b) Percentual de domicílios com destinação de esgotamento sanitário inadequado	Razão entre o número de domicílios cujo esgoto não é destinado a uma rede geral de esgoto ou pluvial e fossa séptica e o total de domicílios particulares permanentes, multiplicada por 100. São considerados apenas os domicílios particulares permanentes
	c) Percentual de domicílios com destinação de lixo inadequado	Razão entre o número de domicílios cuja coleta de lixo não é realizada diretamente por serviço de limpeza ou indiretamente por caçamba de serviço de limpeza pública ou privada e o total de domicílios particulares permanentes, multiplicada por 100. São considerados apenas os domicílios particulares permanentes
Densidade demográfica	a) Densidade demográfica (hab./Km ²)	Razão entre a população total residente em domicílios particulares permanentes e área do setor.

Fonte: Elaboração do autor.

O IVS é um índice que varia entre 0 (zero) e 1 (um). Quanto mais próximo a 1 (um), maior é a vulnerabilidade social de um setor (Quadro 7).

Quadro 7 – Faixas do IVS

Faixa	Vulnerabilidade Social
0 - 0,200	Muito baixa
0,201 - 0,300	Baixa
0,301 - 0,400	Média
0,401 - 0,500	Alta
0,501 - 1	Muito alta

Fonte: Costa; Marguti (2015).

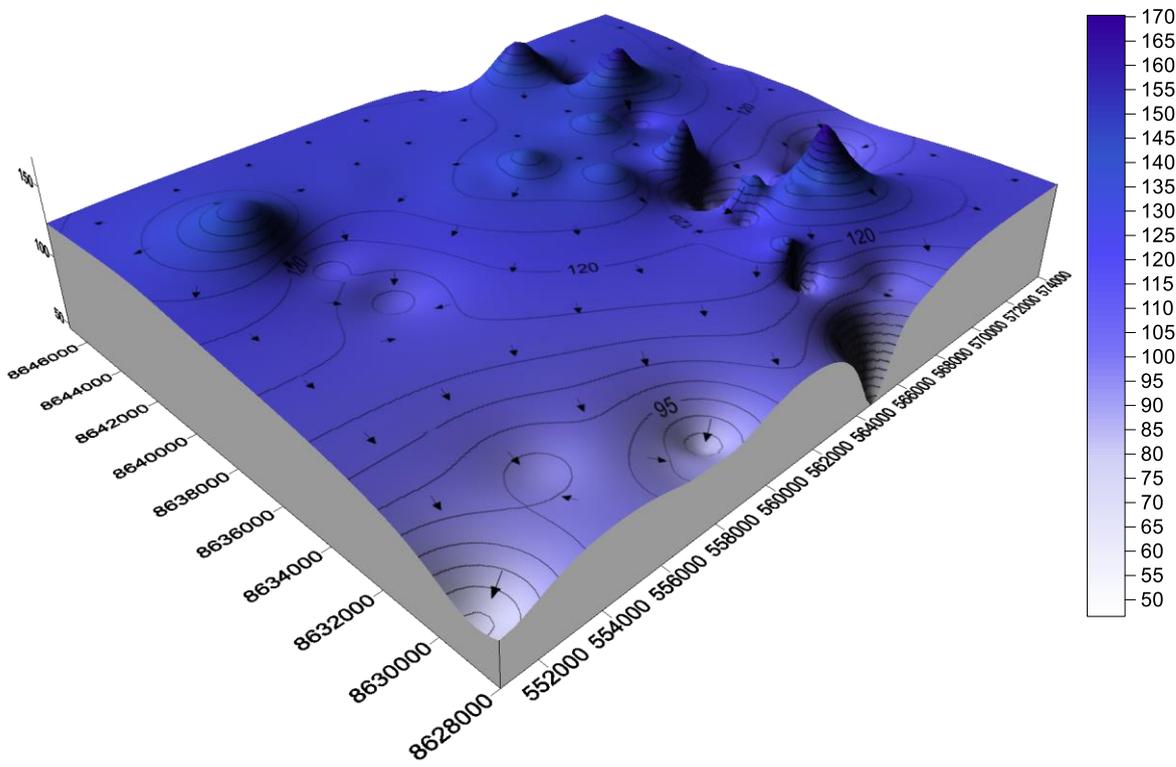
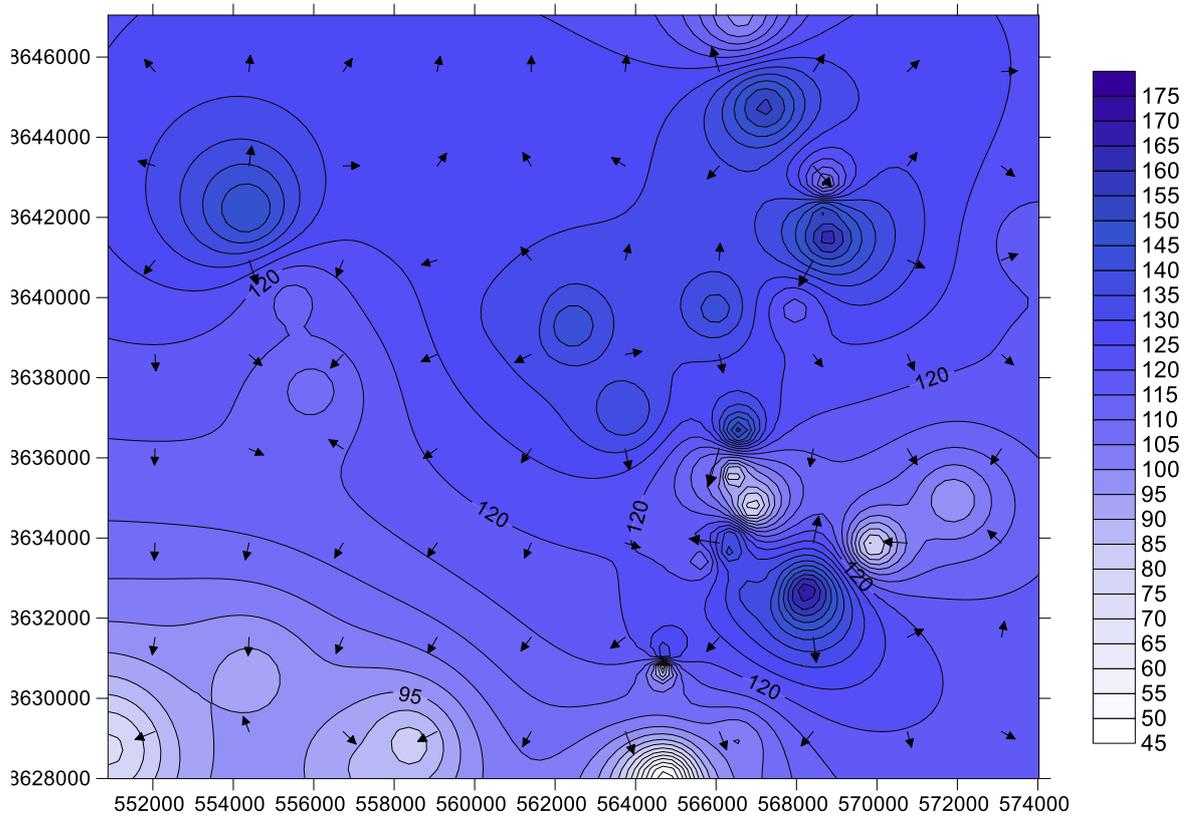
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A superfície potenciométrica do aquífero apresenta a leste, na área de maior elevação piezométrica, cotas de nível d'água na ordem de 170 m (Figura 3).

Os níveis piezométricos diminuem no sentido sudoeste e atingem valores de até 45 m, nas proximidades do rio Pojuca. A geometria das linhas equipotenciais indica que o fluxo regional ocorre na direção norte-sul. O sentido do escoamento regional das águas subterrâneas se dá em direção aos rios Catu, Una e Pojuca, principais exutórios de água do sistema.

O índice de vulnerabilidade *DRASTIC* variou de 61 a 147 (Tabela 1). A partir da análise dos perfis dos poços e da aplicação do método *DRASTIC* verificou-se que dos 34 poços analisados, 79,4% foram classificados com baixa vulnerabilidade e 20,6% foram classificados com intermediária vulnerabilidade.

Figura 3 – Potenciometria e fluxo da água subterrânea do aquífero São Sebastião, Catu – Bahia



Fonte: elaborado pelo autor.

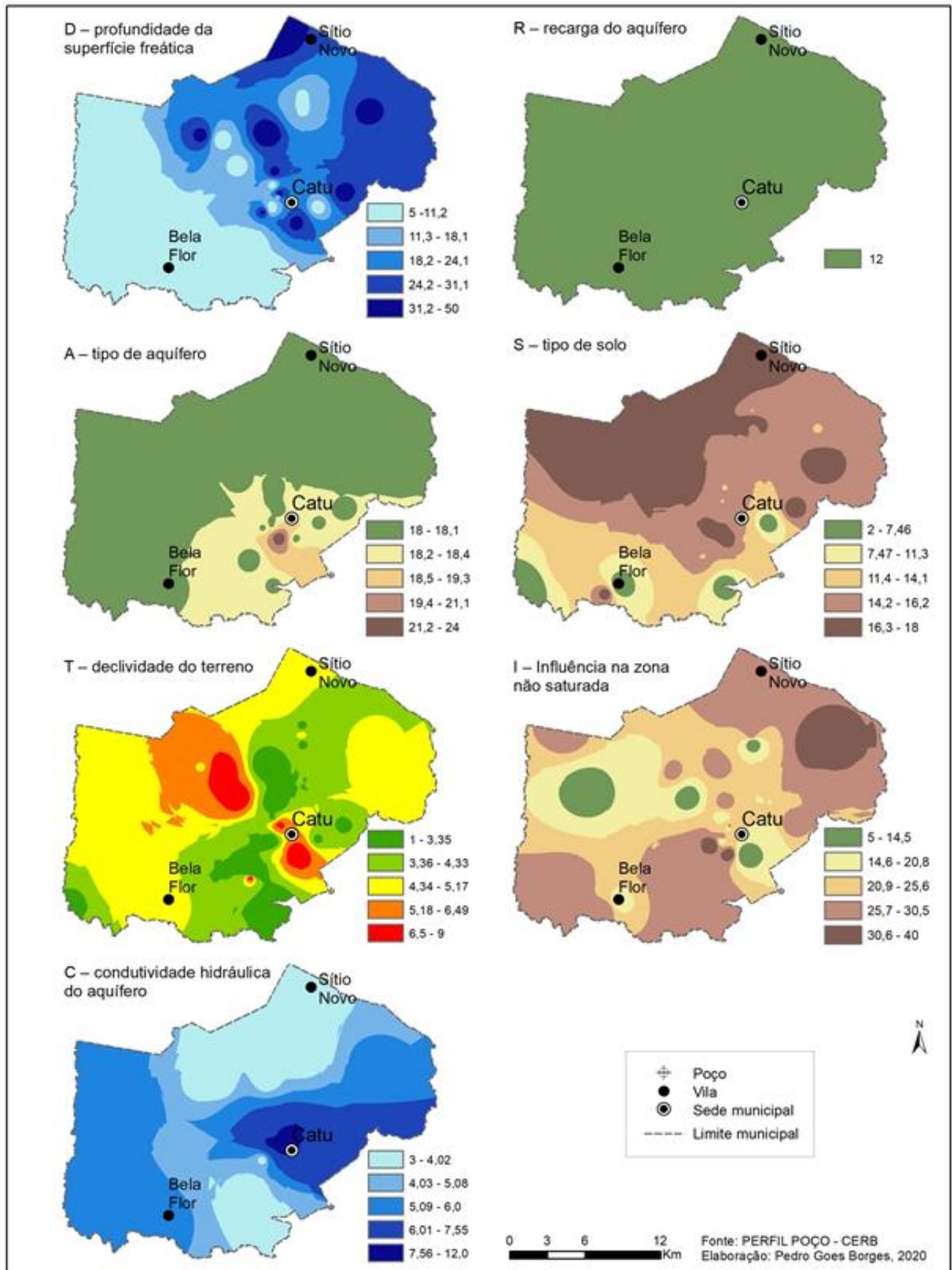
Tabela 1 – Cálculo do Índice *DRASTIC*

Poço/Localidade	X	Y	D	R	A	S	T	I	C	Índice	Classe
Água Grande	566486	8628923	5	12	18	2	1	30	3	71	Baixa
Baixa da Areia	563769	8637140	5	12	18	18	9	5	6	73	Baixa
Bela Flor	558349	8628818	5	12	18	2	5	15	6	63	Baixa
Bom Viver	565651	8633441	35	12	18	18	3	40	3	129	Intermediária
Campo Grande	568691	8642127	10	12	18	18	5	30	3	96	Baixa
Coelho	565997	8639707	45	12	18	16	1	30	3	125	Intermediária
Duque de Caxias	566918	8632639	25	12	24	18	5	40	6	130	Intermediária
Escola Agrotécnica I	568246	8632682	5	12	18	14	1	30	3	99	Baixa
Escola Agrotécnica II	568152	8632520	5	12	18	14	1	30	3	99	Baixa
Fazenda Riachão	564921	8631169	10	12	18	14	1	30	3	83	Baixa
Fazenda Riachão	564710	8631108	10	12	18	2	3	30	6	83	Baixa
Fazenda Riachão	564800	8631139	35	12	18	14	1	30	6	88	Baixa
Flexas	550885	8628731	35	12	18	18	5	15	3	81	Baixa
Gravito	566564	8636664	50	12	18	18	5	30	3	116	Baixa
Lagoa Escura	560892	8639586	5	12	18	18	5	30	6	106	Baixa
Mandacaru	566618	8647047	5	12	18	18	5	5	6	136	Intermediária
Matão	554355	8642170	35	12	18	14	5	40	6	94	Baixa
Mato limpo	555947	8637703	5	12	18	2	3	15	6	69	Baixa
Mel	573807	8641362	35	12	18	18	3	30	6	130	Intermediária
Mocambo Dois	569904	8633821	10	12	18	16	3	5	3	61	Baixa
Mocambo Um	571870	8634944	5	12	18	18	5	30	6	122	Intermediária
Paraíba	568781	8641513	25	12	18	18	5	30	6	67	Baixa
Pedras	557336	8628236	5	12	18	18	9	30	3	94	Baixa
Pinheiro	574030	8638695	5	12	18	18	1	15	6	114	Baixa
Riachão	562426	8639281	5	12	18	14	3	30	6	95	Baixa
Sede	566346	8633685	5	12	18	16	5	15	12	83	Baixa
Sede	566377	8634023	50	12	18	16	9	30	12	147	Intermediária
Sede I	566862	8634728	5	12	18	16	9	30	3	93	Baixa
Sede II	566923	8634851	5	12	18	14	3	15	6	73	Baixa
Sede III	564697	8630770	10	12	18	14	3	30	3	90	Baixa
Sede IV	566408	8635583	25	12	18	18	5	30	3	88	Baixa
Sede V	568717	8642831	5	12	18	14	5	30	6	75	Baixa
Sítio Novo	567217	8644742	35	12	18	14	9	5	6	111	Baixa
Veadinho	554436	8630561	35	12	18	14	9	5	6	90	Baixa

Fonte: elaborado pelo autor.

A profundidade da superfície freática e a influência na zona não saturada foram os parâmetros que mais influenciaram no mapa síntese (Figura 4).

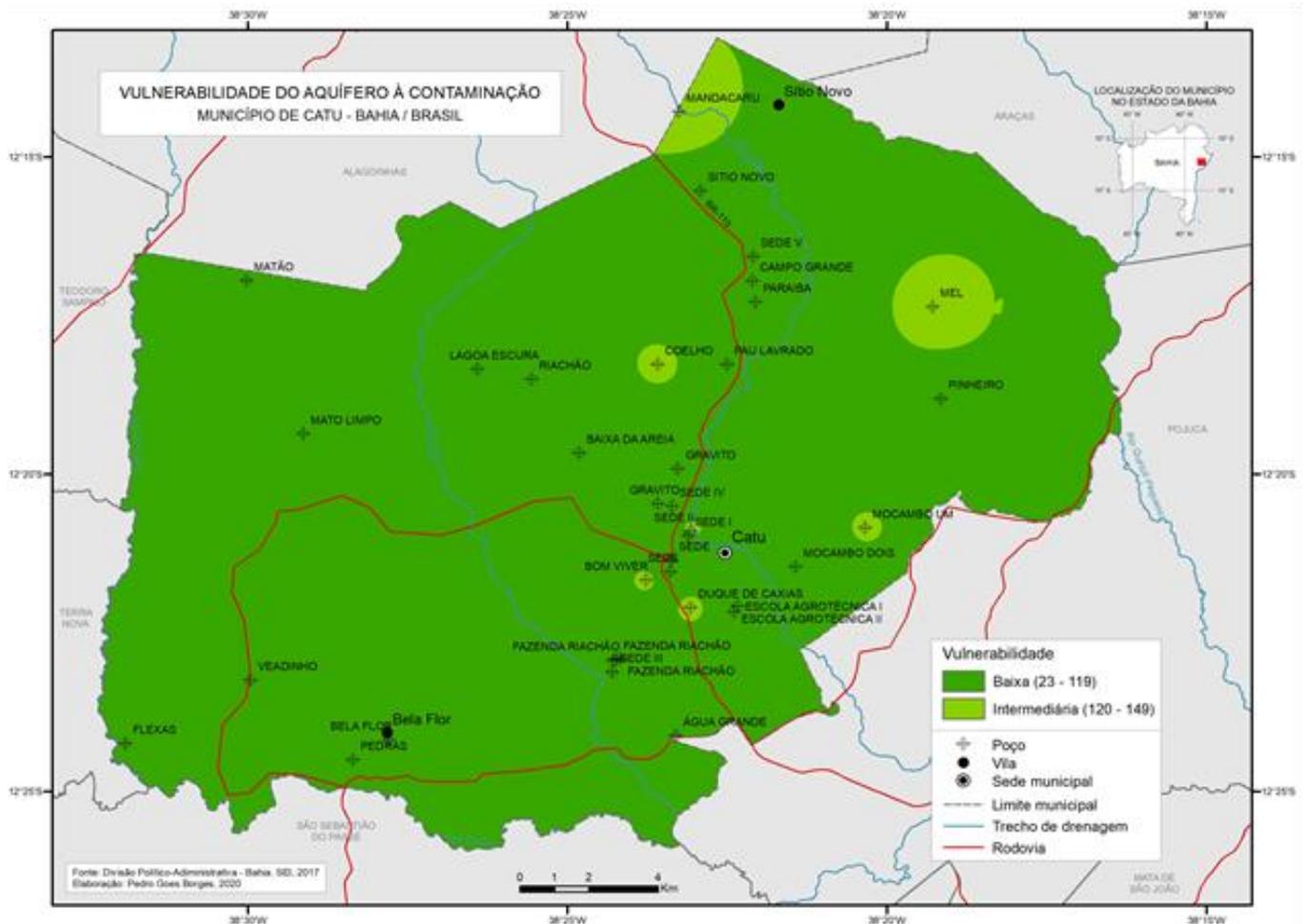
Figura 4 – Parâmetros que compõem o índice de vulnerabilidade *DRASTIC*



Fonte: elaborado pelo autor.

Os poços classificados com intermediária vulnerabilidade situam-se na parte central do município de Catu e a nordeste são eles: Sede I, Bom Viver e Duque de Caxias, Mel e Mandacaru (Figura 5).

Figura 5 – Vulnerabilidade intrínseca do aquífero São Sebastião, a partir da utilização do método *DRASTIC*



Fonte: elaborado pelo autor.

O índice de vulnerabilidade GOD variou de 0,04 a 0,63 (Tabela 2). A partir da análise dos perfis dos poços e da aplicação do método GOD verificou-se que dos 35 poços analisados, 54,3% foram classificados com desprezível vulnerabilidade, 22,8% foram classificados com baixa vulnerabilidade, 5,7% foram classificados com moderada, e 17,1% foram classificados com alta.

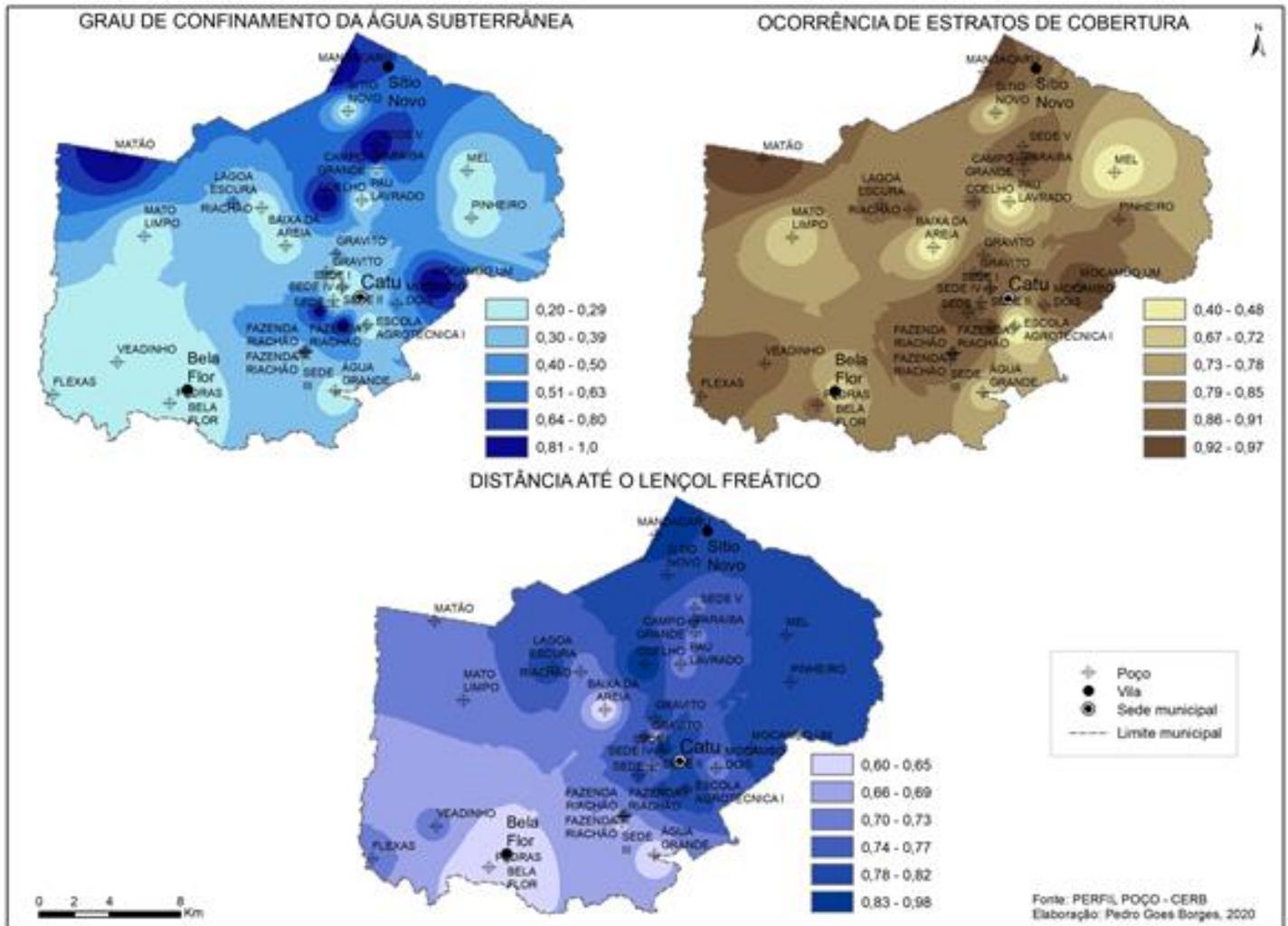
Tabela 2 - Cálculo do Índice GOD

Poço/Localidade	X	Y	G	O	D	Índice	Classe
ÁGUA GRANDE	566486	8628923	0,2	0,5	0,6	0,06	Desprezível
BAIXA DA AREIA	563769	8637140	0,2	0,4	0,6	0,05	Desprezível
BELA FLOR	558349	8628818	0,2	0,5	0,6	0,06	Desprezível
BOM VIVER	565651	8633441	1	0,7	0,8	0,56	Alta
CAMPO GRANDE	568691	8642127	1	0,7	0,8	0,56	Alta
COELHO	565997	8639707	1	0,6	0,9	0,54	Alta
DUQUE DE CAXIAS	566918	8632639	1	0,7	0,8	0,56	Alta
ESCOLA AGROTÉCNICA I	568246	8632682	0,2	0,4	0,8	0,06	Desprezível
ESCOLA AGROTÉCNICA II	568152	8632520	0,2	0,4	0,8	0,06	Desprezível
FAZENDA RIACHÃO	564921	8631169	0,4	0,6	0,7	0,17	Baixa
FAZENDA RIACHÃO	564710	8631108	0,4	0,6	0,7	0,17	Baixa
FAZENDA RIACHÃO	564800	8631139	0,4	0,6	0,7	0,17	Baixa
FLEXAS	550885	8628731	0,2	0,6	0,7	0,08	Desprezível
GRAVITO	566564	8636664	0,4	0,6	0,8	0,19	Baixa
LAGOA ESCURA	560892	8639586	0,4	0,6	0,8	0,19	Baixa
MANDACARU	566618	8647047	1	0,7	0,9	0,63	Alta
MATÃO	554355	8642170	1	0,7	0,7	0,49	Moderada
MATO LIMPO	555947	8637703	0,2	0,5	0,7	0,07	Desprezível
MEL	573807	8641362	0,2	0,4	0,8	0,06	Desprezível
MOCAMBO DOIS	569904	8633821	0,4	0,6	0,7	0,17	Baixa
MOCAMBO UM	571870	8634944	1	0,7	0,8	0,56	Alta
PARAIBA	568781	8641513	0,2	0,6	0,7	0,08	Desprezível
PAU LAVRADO	567961	8639702	0,2	0,4	0,7	0,06	Desprezível
PEDRAS	557336	8628236	0,2	0,6	0,6	0,07	Desprezível
PINHEIRO	574030	8638695	0,2	0,6	0,8	0,10	Baixa
RIACHÃO	562426	8639281	0,2	0,6	0,7	0,08	Desprezível
SEDE	566346	8633685	0,2	0,6	0,7	0,08	Desprezível
SEDE	566377	8634023	0,2	0,6	0,7	0,08	Desprezível
SEDE I	566862	8634728	0,2	0,6	0,7	0,08	Desprezível
SEDE II	566923	8634851	0,2	0,6	1	0,12	Baixa
SEDE III	564697	8630770	0,2	0,6	0,6	0,07	Desprezível
SEDE IV	566408	8635583	0,2	0,6	0,6	0,07	Desprezível
SEDE V	568717	8642831	1	0,6	0,7	0,42	Moderada
SITIO NOVO	567217	8644742	0,2	0,5	0,8	0,08	Desprezível
VEADINHO	554436	8630561	0,2	0,6	0,7	0,08	Desprezível

Fonte: elaborado pelo autor.

O grau de confinamento da água foi o parâmetro que apresentou maior influência no mapa síntese (Figura 6). Os poços classificados com os maiores graus de vulnerabilidade (moderada e alta) situam-se na parte central do município de Catu e ao norte são eles: Bom Viver, Duque de Caxias, Mocambo Um, Matão, Coelho, Campo Grande, Mandacaru e Sede V (Figura 7).

Figura 6 - Parâmetros que compõem o índice de vulnerabilidade GOD



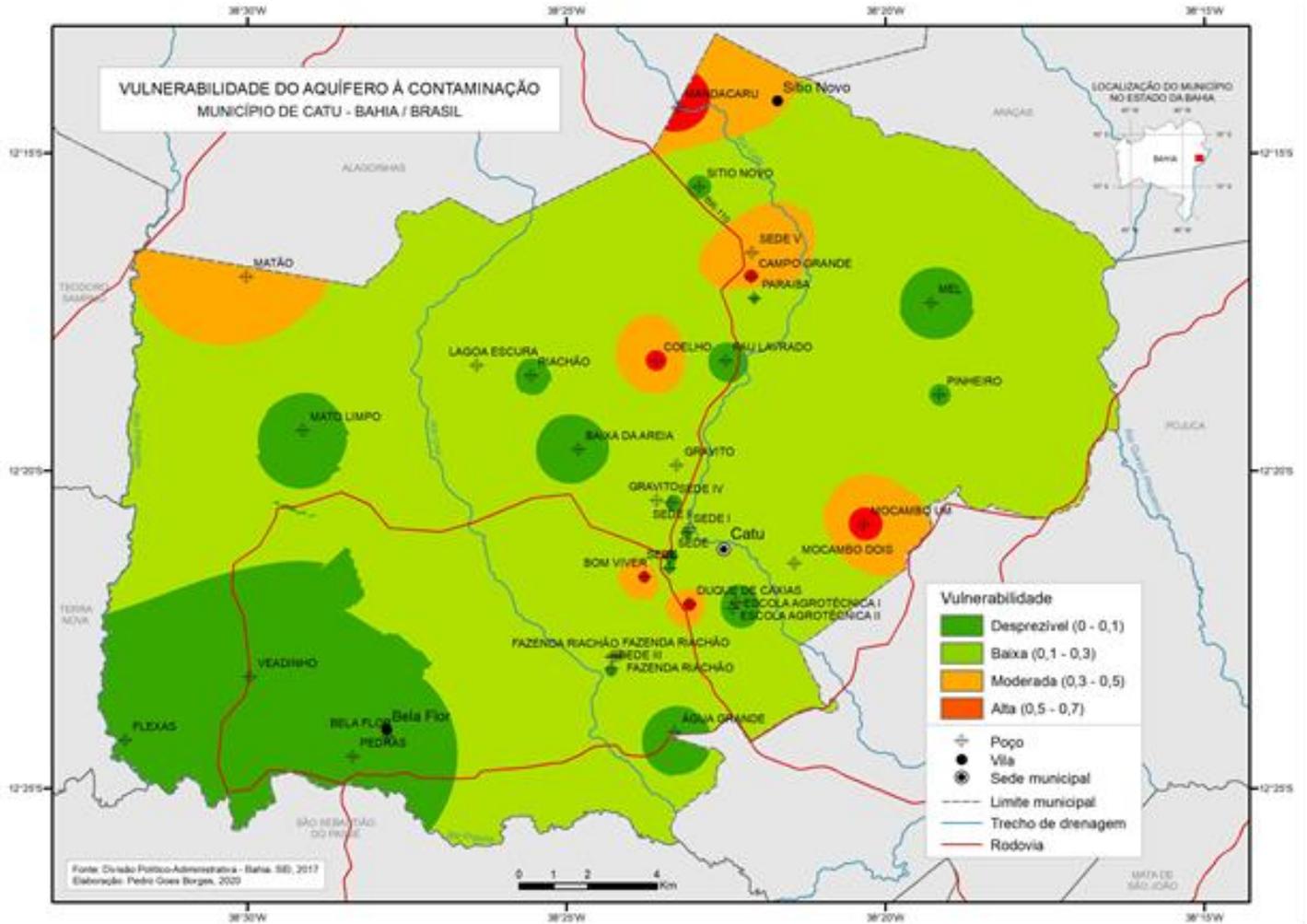
Fonte: elaborado pelo autor.

O índice de vulnerabilidade MAIA variou de 2,62 a 15,0 (Tabela 3). A partir da análise dos perfis dos poços e da aplicação do método MAIA verificou-se que dos 30 poços analisados, 80% foram classificados com baixa vulnerabilidade, 6,7% foram classificados com media vulnerabilidade, e 13,3% foram classificados com alta vulnerabilidade.

A recarga e a capacidade especifica foram os parâmetros que mais influenciaram no mapa síntese (Figura 8).

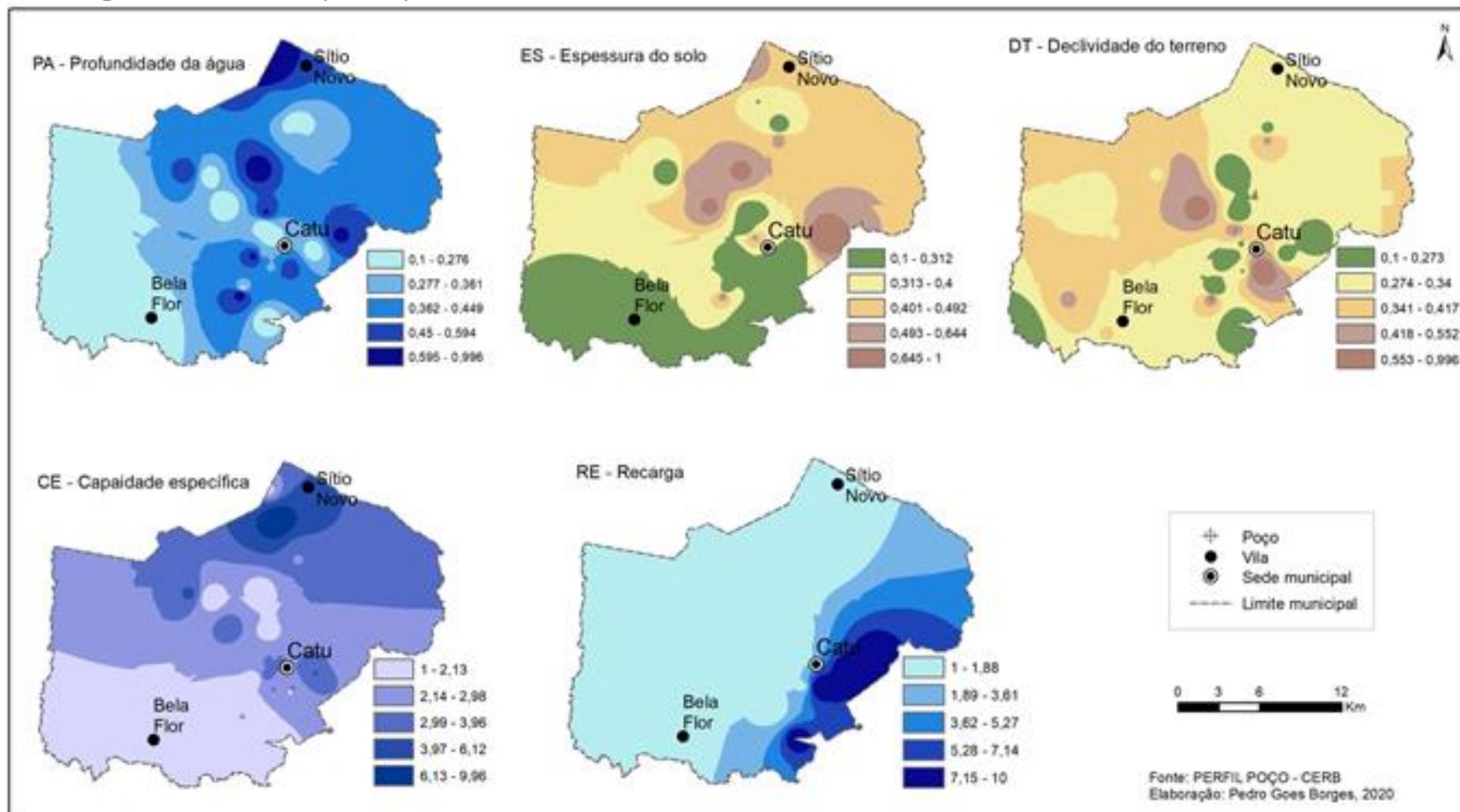
Os poços classificados com os maiores graus de vulnerabilidade (moderada e alta) situam-se a leste do município de Catu são eles: Mocambo um, Mocambo dois, Escola Agrotécnica I e Escola Agrotécnica II (Figura 9).

Figura 7 - Vulnerabilidade intrínseca do aquífero São Sebastião, a partir da utilização do método GOD



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 8 - Parâmetros que compõem o índice de vulnerabilidade MAIA



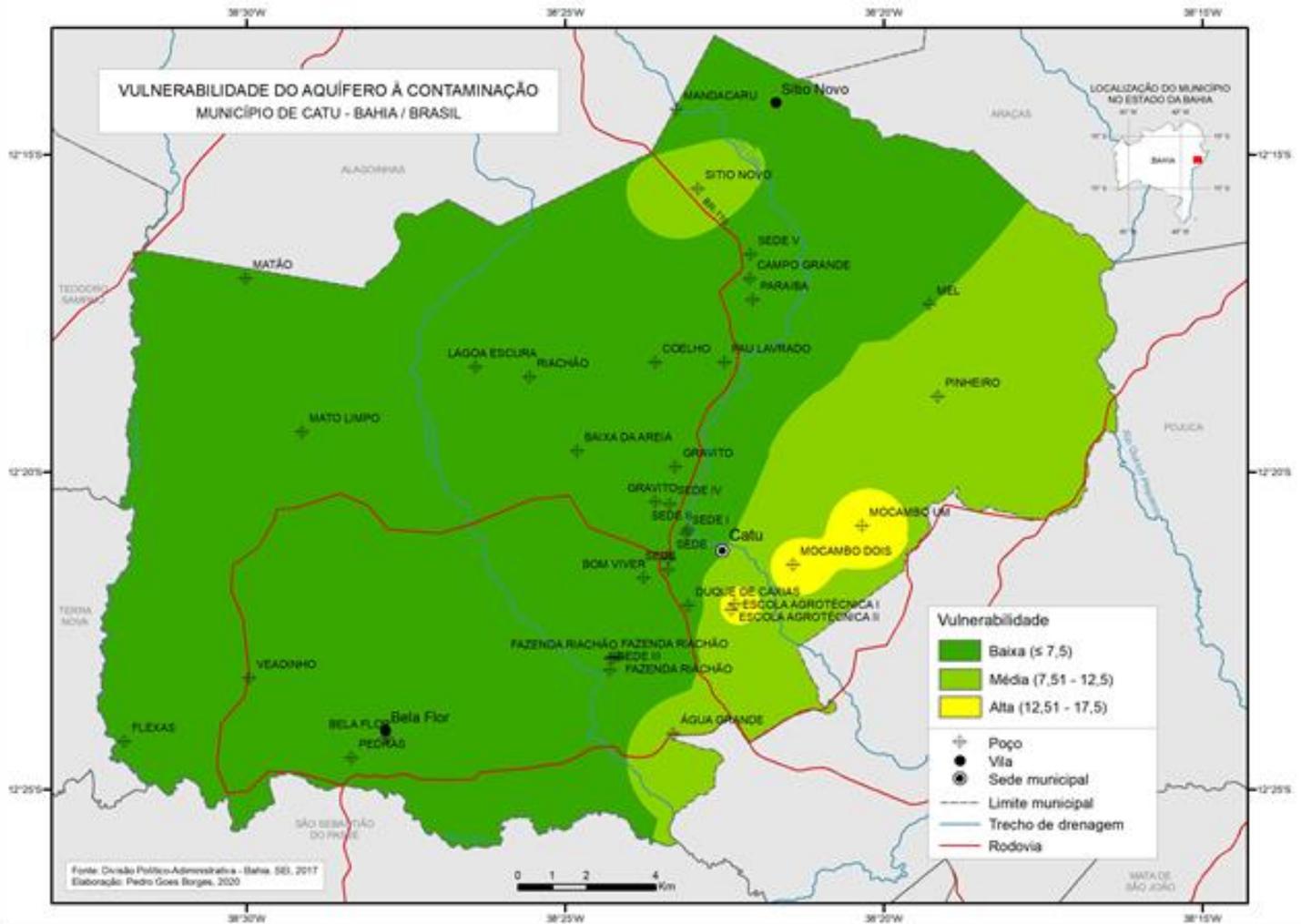
Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 3 – Cálculo do índice MAIA

Poço/Localidade	X	Y	PA (m)	ES (m)	DT (%)	CE (m ³ /h)	PL (mm)	PAi	ESi	DTi	1/PAi	1/ESi	1/DTi	CEi	REi	MAIA	Classe
ÁGUA GRANDE	566486	8628923	63	24	29,37	0,256	1400	7,231	10,000	9,069	0,138	0,100	0,110	1,352	10	11,700	Média
BAIXA DA AREIA	563769	8637140	50	1	3,72	2,006	1300	5,945	1,375	1,418	0,168	0,727	0,705	3,764	1	6,365	Baixa
BELA FLOR	558349	8628818	53	10	11,15	0,227	1300	6,242	4,750	3,634	0,160	0,211	0,275	1,312	1	2,958	Baixa
BOM VIVER	565651	8633441	5,42	24	17,84	0,218	1300	1,536	10,000	5,630	0,651	0,100	0,178	1,299	1	3,228	Baixa
CAMPO GRANDE	568691	8642127	20,6	2	6,48	1,325	1300	3,037	1,750	2,241	0,329	0,571	0,446	2,826	1	5,173	Baixa
COELHO	565997	8639707	3	1	21,39	0,192	1300	1,297	1,375	6,689	0,771	0,727	0,150	1,263	1	3,911	Baixa
DUQUE DE CAXIAS	566918	8632639	20	7	11,93	1,468	1300	2,978	3,625	3,867	0,336	0,276	0,259	3,023	1	4,893	Baixa
ESCOLA	568246	8632682	10	12,25	2,32	1,745	1400	1,989	5,594	1,000	0,503	0,179	1,000	3,405	10	15,087	Alta
AGROTÉCNICA I	568152	8632520	9	9	4,87	0,458	1400	1,890	4,375	1,761	0,529	0,229	0,568	1,631	10	12,956	Alta
ESCOLA	568152	8632520	9	9	4,87	0,458	1400	1,890	4,375	1,761	0,529	0,229	0,568	1,631	10	12,956	Alta
AGROTÉCNICA II	568152	8632520	9	9	4,87	0,458	1400	1,890	4,375	1,761	0,529	0,229	0,568	1,631	10	12,956	Alta
FAZENDA RIACHÃO	564921	8631169	32	10	19,27	0,005	1300	4,165	4,750	6,056	0,240	0,211	0,165	1,006	1	2,622	Baixa
FAZENDA RIACHÃO	564710	8631108	38	7	23,12	0,001	1300	4,758	3,625	7,205	0,210	0,276	0,139	1,000	1	2,625	Baixa
FAZENDA RIACHÃO	564800	8631139	22	7	24,79	0,001	1300	3,176	3,625	7,703	0,315	0,276	0,130	1,000	1	2,721	Baixa
FLEXAS	550885	8628731	27	6	17,36	0,200	1300	3,670	3,250	5,487	0,272	0,308	0,182	1,275	1	3,037	Baixa
GRAVITO	566564	8636664	6,2	13	32,49	0,241	1300	1,613	5,875	10,000	0,620	0,170	0,100	1,332	1	3,222	Baixa
LAGOA ESCURA	560892	8639586	8,9	10	9,46	2,330	1300	1,880	4,750	3,130	0,532	0,211	0,319	4,211	1	6,273	Baixa
MANDACARU	566618	8647047	1,02	2	10,93	0,665	1300	1,101	1,750	3,568	0,908	0,571	0,280	1,915	1	4,675	Baixa
MATÃO	554355	8642170	35,54	3	7,49	1,357	1300	4,515	2,125	2,542	0,221	0,471	0,393	2,869	1	4,955	Baixa
MATO LIMPO	555947	8637703	34	4	10,78	1,416	1300	4,363	2,500	3,524	0,229	0,400	0,284	2,950	1	4,863	Baixa
MOCAMBO DOIS	569904	8633821	48	12	15,88	2,184	1400	5,747	5,500	5,045	0,174	0,182	0,198	4,009	10	14,563	Alta
MOCAMBO UM	571870	8634944	5,58	0	16,19	1,025	1400	1,552	1,000	5,138	0,644	1,000	0,195	2,412	10	14,251	Alta
PEDRAS	557336	8628236	91	6	8,45	0,502	1300	10,000	3,250	2,829	0,100	0,308	0,354	1,691	1	3,452	Baixa
RIACHÃO	562426	8639281	38	2	5,09	0,089	1300	4,758	1,750	1,826	0,210	0,571	0,548	1,122	1	3,451	Baixa
SEDE	566377	8634023	41	3	22,21	2,130	1300	5,055	2,125	6,933	0,198	0,471	0,144	3,935	1	5,748	Baixa
SEDE I	566862	8634728	38	2	6,17	1,140	1300	4,758	1,750	2,148	0,210	0,571	0,465	2,570	1	4,817	Baixa
SEDE II	566923	8634851	0	1	3,18	1,261	1300	1,000	1,375	1,257	1,000	0,727	0,796	2,737	1	6,260	Baixa
SEDE III	564697	8630770	72	12	4,78	1,227	1300	8,121	5,500	1,734	0,123	0,182	0,577	2,691	1	4,573	Baixa
SEDE IV	566408	8635583	70	12	13,76	1,755	1300	7,923	5,500	4,413	0,126	0,182	0,227	3,418	1	4,953	Baixa
SEDE V	568717	8642831	21	6	14,25	1,747	1300	3,077	3,250	4,559	0,325	0,308	0,219	3,408	1	5,260	Baixa
SITIO NOVO	567217	8644742	15	6	9,94	6,529	1300	2,484	3,250	3,273	0,403	0,308	0,306	10,000	1	12,016	Média
VEADINHO	554436	8630561	46	12	6,75	0,155	1300	5,549	5,500	2,322	0,180	0,182	0,431	1,212	1	3,005	Baixa

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 9 - Vulnerabilidade intrínseca do aquífero São Sebastião, a partir da utilização do método MAIA



Fonte: elaborado pelo autor.

Segundo o censo 2010, do IBGE, dos 15.169 domicílios, 456 eram abastecidos de água por poço ou nascente (Quadro 8). Dos 12.745 domicílios particulares permanentes em situação urbana, 46 utilizam a água de poço e/ou nascente como forma de abastecimento. Enquanto que dos 2.424 domicílios particulares permanentes em situação rural, 410 utilizam a água de poço e/ou nascente como forma de abastecimento.

Dos 15.169 domicílios particulares permanentes, 1.445 (9,5%) apresentavam serviço de abastecimento de água inadequado. Considera-se inadequada a forma abastecimento de água quando a maioria dos domicílios não for servida por rede geral oficial de água. Formas de abastecimento por poço ou nascente, carro-pipa público ou privado, água de chuva armazenada em cisterna ou de outra forma, obtenção direta por rios, açudes, lagos e igarapés são consideradas formas

inadequadas de abastecimento de água.

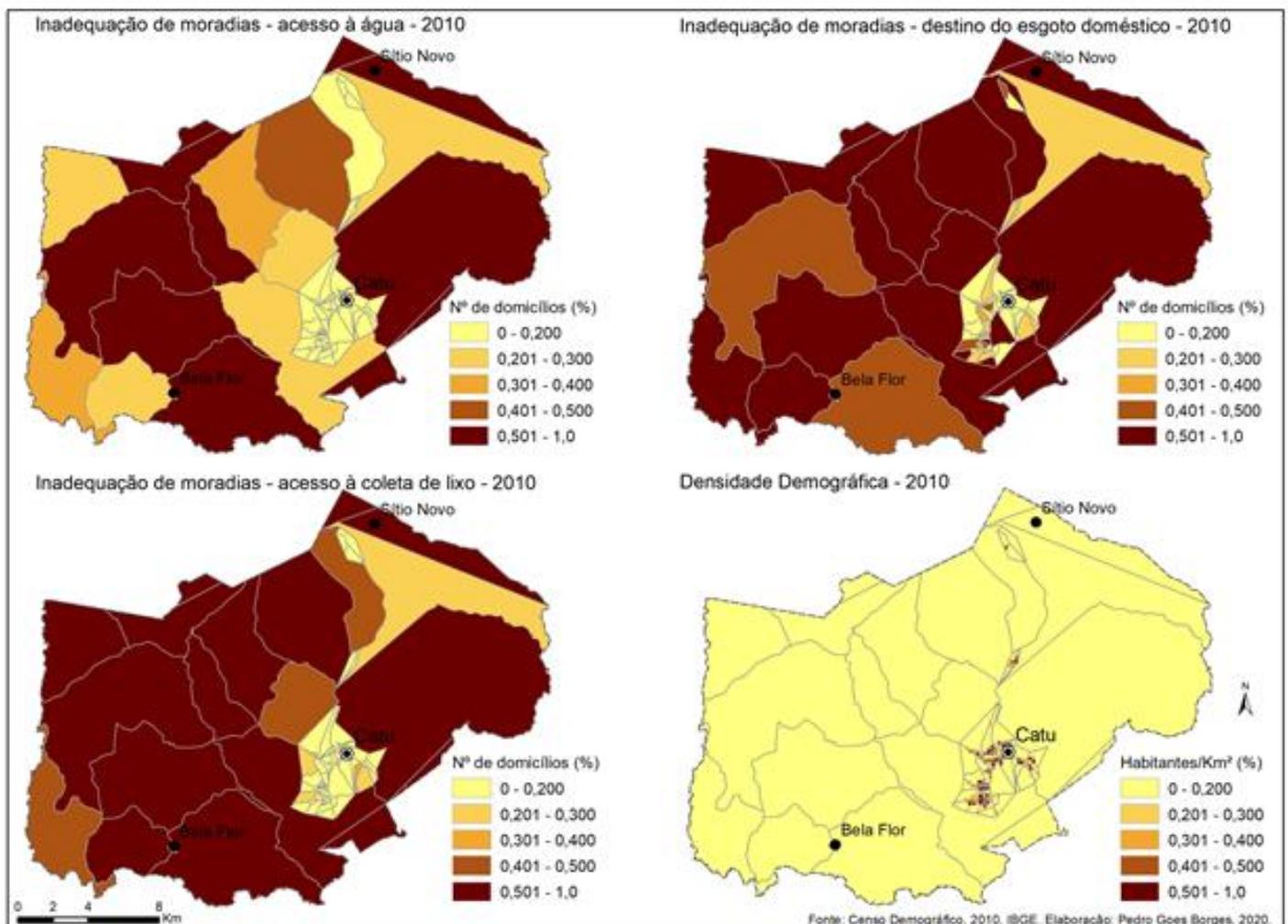
Quadro 8 – Domicílios particulares permanentes, por forma de abastecimento de água, Catu, Bahia - 2010

Município	Domicílios particulares permanentes				
	Total	Forma de abastecimento de água			
		Rede geral de distribuição	Poço ou nascente na propriedade	Água de chuva armazenada em cisterna	Outra
Catu	15.169	13.724	456	14	975

Fonte: IBGE, Censo Demográfico 2010.

As áreas onde verifica-se a maior quantidade de domicílios com abastecimento de água inadequado situam-se na zona rural, a nordeste próximo a localidade Sítio Novo, a oeste e sudeste da área municipal (Figura 10).

Figura 10 – Inadequação de moradias: acesso à água, destino do esgoto doméstico, acesso à coleta de lixo, e densidade demográfica, Catu, Bahia – 2010



Fonte: elaborado pelo autor.

De acordo com o censo 2010, do IBGE, a maioria dos domicílios particulares permanentes situados em Catu tinham acesso ao serviço de rede geral de esgoto ou pluvial (65,3%) (Quadro 9).

Quadro 9 – Domicílios particulares permanentes, por tipo de esgotamento sanitário, Catu, Bahia – 2010

Município	Domicílios particulares permanentes							
	Total	Tipo de esgotamento sanitário						
		Rede geral de esgoto ou pluvial	Fossa séptica	Fossa rudimentar	Vala	Rio, lago ou mar	Outro	Sem
Catu	15.169	9.908	865	2.747	421	185	406	637

Fonte: IBGE, Censo Demográfico 2010.

Dos 12.745 domicílios em situação urbana, 10.171 (79%) tinham acesso ao serviço de esgotamento sanitário por rede geral, enquanto que dos 2.424 domicílios em situação rural, 602 domicílios (24,83%) tinham acesso ao serviço de esgotamento sanitário por rede geral.

Dos 15.169 domicílios, 4.396 foram identificados com serviço de esgotamento sanitário inadequado. Considera-se inadequado o tipo de esgotamento sanitário quando a maioria dos domicílios utilizam outros sistemas de esgotamento sanitário diferentes da rede geral de esgotamento ou pluvial e fossa séptica. São formas inadequadas de saneamento básico, fossa rudimentar, dejetos lançados em vala ou canaletas a céu aberto, despejado diretamente em rio, lago ou mar ou outra situação que não se enquadrar em quaisquer tipos descritos anteriormente.

As áreas onde verifica-se a maior quantidade de domicílios com esgotamento sanitário inadequado situam-se na zona rural, principalmente na porção oeste do município de Catu.

Segundo o censo 2010, do IBGE, dos 15.169 situados em Catu, 65,3% tinham o lixo coletado (Quadro 10). Dos 12.745 domicílios em situação urbana, 11.863 (93%) tinham o lixo coletado (considerando a coleta direta nos domicílios e a coleta em caçambas), enquanto que dos 2.424 domicílios em situação rural, 644 (26,6%) tinham o lixo coletado. Na zona rural, a maior parte do lixo gerado era queimado no próprio domicílio (1.452 de 2.424).

Quadro 10 – Domicílios particulares permanentes, por destino do lixo, Catu, Bahia – 2010

Município	Domicílios particulares permanentes						
	Total	Destino do lixo					
		Coletado	Queimado (na propriedade)	Enterrado (na propriedade)	Jogado em terreno baldio ou logradouro	Jogado em rio, lago ou mar	Outro
Catu	15.169	12.507	1.715	103	756	4	84

Fonte: IBGE, Censo Demográfico 2010.

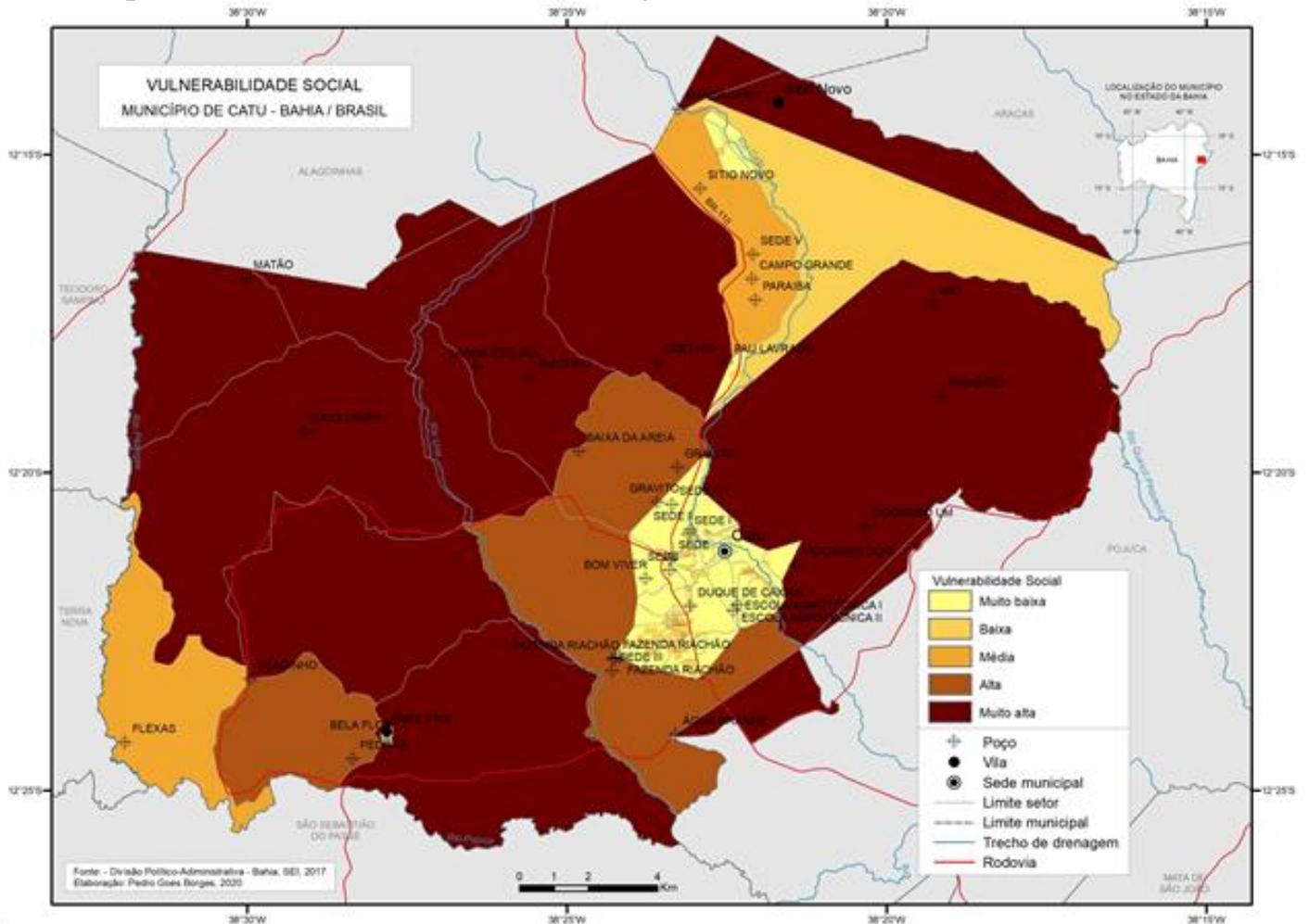
Dos 15.169 domicílios, 2.662 foram identificados com serviço de coleta de lixo inadequado. Considera-se inadequada a forma de coleta de lixo quando a maioria dos domicílios não possuem seu lixo doméstico coletado diretamente por serviço de limpeza ou indiretamente por caçamba de serviço de limpeza pública ou privada. São características de coleta irregular de lixo quando, para a maioria dos domicílios, o lixo for queimado, enterrado ou possuir outro destino como terreno baldio ou logradouro, jogado em rio, mar ou lago.

As áreas onde verifica-se a maior quantidade de domicílios com serviço de destino de lixo inadequado situam-se na zona rural, principalmente na porção oeste do município de Catu.

As áreas que apresentam os maiores valores de densidade demográfica (entre 0,501 - 1,0%) situam-se na zona urbana, principalmente na porção central do município de Catu.

O mapa do índice de vulnerabilidade social indicou a ocorrência de cinco classes: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta (Figura 11). A maior parte das áreas situadas no perímetro do município de Catu foram classificadas com muito alta vulnerabilidade social. As áreas com os maiores graus de vulnerabilidade social situam-se, principalmente na zona rural. O destino do esgoto doméstico e o destino do lixo foram os parâmetros que apresentaram maior influência na determinação da vulnerabilidade social.

Figura 11 – Vulnerabilidade social no município de Catu, Bahia

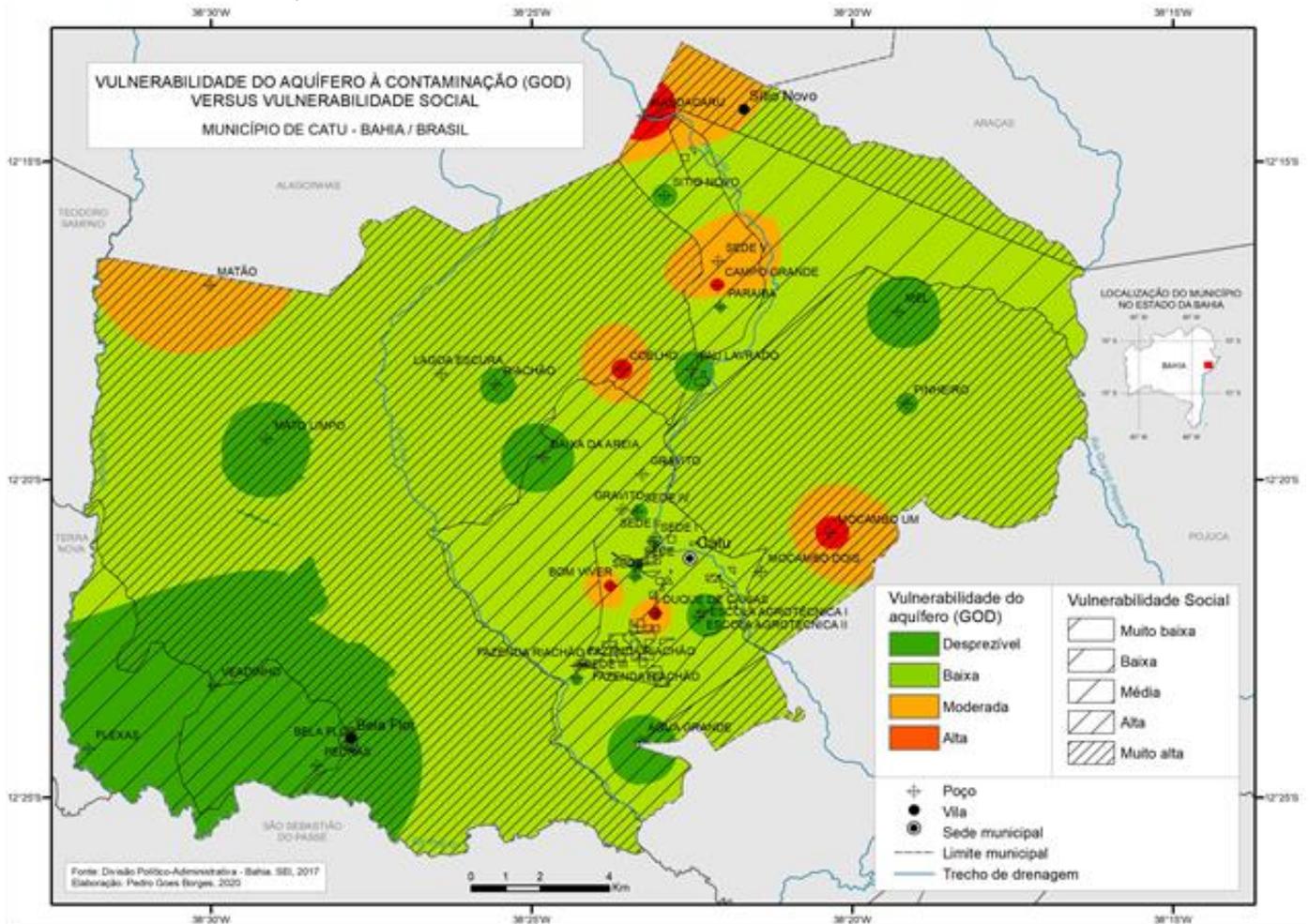


Fonte: elaborado pelo autor.

A partir da análise espacial da vulnerabilidade intrínseca do aquífero São Sebastião versus vulnerabilidade social foi possível definir quatro áreas prioritárias para ações estratégicas visando à preservação dos recursos hídricos subterrâneos (Figura 12).

As áreas mais vulneráveis das áreas vulneráveis situam-se próximas aos poços Matão, Coelho, Mandacaru e Mocambo Um.

Figura 12 – Vulnerabilidade intrínseca do aquífero São Sebastião versus vulnerabilidade social em Catu, Bahia



Fonte: elaborado pelo autor.

3.5 CONCLUSÕES

A simplicidade operacional é uma das principais potencialidades do método *DRASTIC*. Uma das principais limitações associada a utilização desse método é a geração de um índice de vulnerabilidade impreciso. Isso se deve à interação excessiva de parâmetros ponderados, alguns dos quais apresentam forte correlação e sobreposição.

A simplicidade conceitual e de aplicação são algumas das potencialidades do método GOD. Uma das principais limitações associada a utilização desse método é o prejuízo na definição devido ao número de parâmetros utilizados.

A utilização de variáveis mensuráveis é uma importante potencialidade do método MAIA que, além de imprimir um caráter universal acentua a sensibilidade do

índice para detectar diferenças decorrentes de pequenas variações nos parâmetros. A complexidade operacional é uma das principais limitações de utilização desse método.

As áreas onde predominam os maiores graus de vulnerabilidade intrínseca do aquífero São Sebastião situam-se próximas aos poços Bom Viver, Duque de Caxias, Mandacaru e Mocambo Um.

As áreas com os maiores graus de vulnerabilidade social situam-se na zona rural.

As áreas onde predominam os maiores graus de vulnerabilidade intrínseca do aquífero São Sebastião associadas as áreas onde predominam os maiores graus de vulnerabilidade social situam-se próximas aos poços Matão, Coelho, Mandacaru e Mocambo Um. Essas áreas apresentam maior propensão de contaminação por agentes de origem antropogênica, e por isso requerem maior atenção.

4 CONCLUSÃO

As áreas onde predominam os maiores graus de vulnerabilidade intrínseca do aquífero São Sebastião situam-se próximas aos poços Bom Viver, Duque de Caxias, Mandacaru e Mocambo Um. Nas áreas desses poços o aquífero apresenta caráter livre e baixas profundidades de nível estático.

As áreas com os maiores graus de vulnerabilidade social situam-se na zona rural. Apesar de apresentar baixa densidade demográfica, essas áreas apresentam maiores índices de inadequação dos serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário e coleta de lixo.

As áreas prioritárias onde predominam os maiores graus de vulnerabilidade intrínseca do aquífero São Sebastião associadas às áreas onde predominam os maiores graus de vulnerabilidade social apresentam maior propensão de contaminação por agentes de origem antropogênica, e por isso requerem maior atenção. As áreas mais vulneráveis das áreas vulneráveis situam-se próximas aos poços Matão, Coelho, Mandacaru e Mocambo Um.

REFERÊNCIAS

- ALBINET, M.; MARGAT, J. Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau soterraine. **Bull BRGM 2me Series**, Paris, v. 3, n. 4, p. 13-22, 1970.
- ALLER, L.; BENNET, T.; LEHR, J.H.; PETTY, R.J. **DRASTIC**: A standardized system for evaluating groundwater pollution potencial using hydrogeologic settings. Washington DC: U.S. Environmental Protection Agency. 1987. 641 p.
- BAHIA. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais. **Estatísticas dos Municípios Baianos**: território de identidade Litoral Norte e Agreste Baiano. v.4, n.1. Salvador, 2012. 416 p. ISSN 1519-4124.
- COSTA, M. A.; MARGUTI, B. O. (eds.). **Atlas da vulnerabilidade social nas regiões metropolitanas brasileiras**. Brasília: IPEA, 2015. 240 p.: gráfs., mapas color.
- DOERFLIGER, N.; ZWAHLEN, F. EPIK – a new method for outlining of protection areas in karstic environment. In: _____. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON KARST WATERS AND ENVIRON IMPACTS. Antalya, 1997. **Proceedings...** Rotterdam: [s.n.], 1997. p. 117-123.
- FOSTER, S. S. D. Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. In: DUIJVENBODEN, W. V.; WAEGENINGH, H. G. V (eds.). **Vulnerability of soil and ground-water to pollutants, proceedings and information**, vol. 38. Committee on Hydrological Research, The Hauge, 1987. p. 69-86.
- FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. **Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data**. Lima: CEPIS. Tech Report. (WHO-PAHO-CEPIS), 1988. 86 p.
- IBGE. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Folha SD.24 Salvador: potencial dos recursos hídricos**. Rio de Janeiro: IBGE, 1999. 236 p. (levantamento de recursos naturais, v.24, supl.)
- IBGE. **Dados populacionais do município de Catu, 2010**. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=290750&search=bahia|catu|infograficos:-informacoes-completas>. Acesso em: 02 jun. 2019.
- INPE – INSTITUT NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Topodata**: Banco de dados geomorfométricos do Brasil. MDE refinado e suas derivações (variáveis) geomorfométricas locais. São José dos Campos, 2009. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>. Acesso em: 02 jun. 2019.
- LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; RHIND, D. W. **Sistemas e ciência da informação geográfica**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 540 p.
- MAIA, P. H. P. **Um novo método para avaliar a vulnerabilidade dos aquíferos**. 2011. 130f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2011.

MANOEL FILHO, J. Água subterrânea: histórico e importância. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. (Coords.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 2. ed. Fortaleza: CPRM / LABHID – UFPE, 2000.

VRBA, J.; ZAPOROZEC, A. (Ed.). **Guidebook on mapping groundwater vulnerability**. Hannover: H. Heise, 1994. 131 p. (International Contribution to Hydrogeology, v 16).