

AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE NO SISTEMA AQUÍFERO URUCUIA (SAU), BAHIA, NE do BRASIL

Paulo Henrique Prates MAIA

Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, INEMA/DIRRE. phpmaia@gmail.com

ABSTRACT

Traditional methods used in determining the intrinsic vulnerability of the aquifer consider the depth of the top of the saturated zone of the main factors of groundwater protection. The relationship between the vulnerability and the depth of water is reversed, the greater the value of the variable, low vulnerability. Next the drainage network, are the places where the pressure differential promotes the rise of groundwater and its exudation into rivers, this condition determines a strong protective effect that causes the contaminants are carried into rivers. As the water depth at these sites is low, all the methods were evaluated as areas of low vulnerability. This article proposes the development of a survey to establish changes in the equation of MAIA method to aggregate the variable infiltration rate and include the variable exudation Aquifer. This variable can be obtained from the integration of piezometric levels with gradients of flow, measured from upstream to downstream, whose values are directly proportional to the pressure variations along the rivers.

Keywords: Vulnerability; Aquifer; Urucuia; Exudation.

RESUMO

Os métodos tradicionais usados na determinação da vulnerabilidade intrínseca dos aquíferos consideram a profundidade do topo da zona saturada um dos principais fatores de proteção da água subterrânea. A relação entre a vulnerabilidade e a profundidade da água é inversa, quanto maior for o valor da variável, menor a vulnerabilidade. Próximo a rede de drenagem, encontram-se os locais onde o diferencial de pressão promove a ascensão das águas subterrâneas e sua exsudação para os rios, esta condição determina um forte efeito de proteção que faz com que os contaminantes sejam conduzidos para os rios. Como a profundidade da água nestes locais é baixa, todos os métodos os avaliam como se fossem áreas de baixa vulnerabilidade. Este artigo propõe a elaboração de uma pesquisa para estabelecer modificações na equação do método MAIA para agregar a variável Taxa de Infiltração e, incluir a variável Exsudação do Aquífero. Esta variável poderá ser obtida a partir da integração dos níveis piezométricos com os gradientes das vazões, medidas de montante para jusante, cujos valores são diretamente proporcionais as variações das pressões ao longo dos rios.

Palavras-chave: Vulnerabilidade; Aquífero; Urucuia; Exsudação.

1-Introdução

Quando se trata da vulnerabilidade do aquífero (AUGE 2003, 2004) à contaminação, o principal problema é a proposição de um índice de vulnerabilidade único e integrado que seja um indicador absoluto da vulnerabilidade à contaminação de todos os tipos de aquíferos.

Os métodos tradicionais para avaliar a vulnerabilidade utilizam em suas equações algumas variáveis vinculadas a litologias e solos. Essas variáveis determinadas por meio de tabelas em mesmo tipo de aquífero resultam em valores muito próximos ou repetidos que provocam distorções nos índices e dificulta a comparação da vulnerabilidade.

Esses métodos foram desenvolvidos para sistemas aquíferos cujas relações hidráulicas com os rios são do tipo: conectados e desconectados influentes, caracterizados por rios que fornecem água para os aquíferos. Nesses casos a profundidade da água é considerada a variável mais importante e seus autores lhe atribuem um peso elevado nas equações com o objetivo de realçar seu efeito no cálculo dos índices. A relação entre a vulnerabilidade e a profundidade da água em aquíferos influentes é inversa, quanto menor for o valor da variável, maior é a vulnerabilidade.

A aplicação do método GOD no Sistema aquífero Urucuia (SAU), nos estudos realizados pela ANA, revelaram que a profundidade da água (D) é determinante na qualificação da vulnerabilidade, uma vez que as outras variáveis da equação, o grau de confinamento (G), a litologia e o grau de consolidação da cobertura (O) praticamente não variam (Figura 1).

Os resultados obtidos com a aplicação do método GOD (GASSER et al, 2018) e do DRASTIC e do MAIA (MAIA et al, 2011, MAIA,2011) não representam as reais condições de vulnerabilidade e proteção natural do sistema aquífero, pois a profundidade mais baixa da água próxima as margens, neste caso em que a relação rio/aquífero é responsável pela exsudação, representa um forte fator de proteção do aquífero e não de baixa vulnerabilidade como o GOD aponta (Figura 2).

Próximo a rede de drenagem, encontram-se os locais onde o diferencial de pressão promove a ascensão das águas subterrâneas e como a profundidade da água nestes locais é baixa, os métodos mais utilizados os avaliam, de forma equivocada, como áreas de baixa vulnerabilidade.

Neste trabalho avalia-se as relações entre a vazão dos rios e os níveis piezométricos para quantificar uma variável que represente este importante efeito de proteção observado nos rios da região oeste do estado

Os dados de Infiltração medidos nos Estudos Hidrogeológicos do Sistema Aquífero Urucuia, elaborado pela Agência Nacional de Águas - ANA, também deverão se constituir em outra importante variável a ser agregada a equação do método, esta denominada de TI (Taxa de Infiltração), também é diretamente proporcional a vulnerabilidade. A carta dos Equipotenciais e direção do fluxo no SAL, é apresentada na Figura 3.

2- Caracterização das Variáveis

A seguir caracterizam-se as variáveis; Profundidade da Água, Taxa de Infiltração e Ocorrência de Água Superficial com a finalidade de compreender os efeitos exercidos sobre os índices de vulnerabilidade (CUSTÓDIO,1995). Sendo que esta última variável foi avaliada para compor o método MAIA (MAIA et al, 2011, MAIA,2011) no início de seu desenvolvimento, porém foi descartada devido a impossibilidade de sua determinação com segurança.

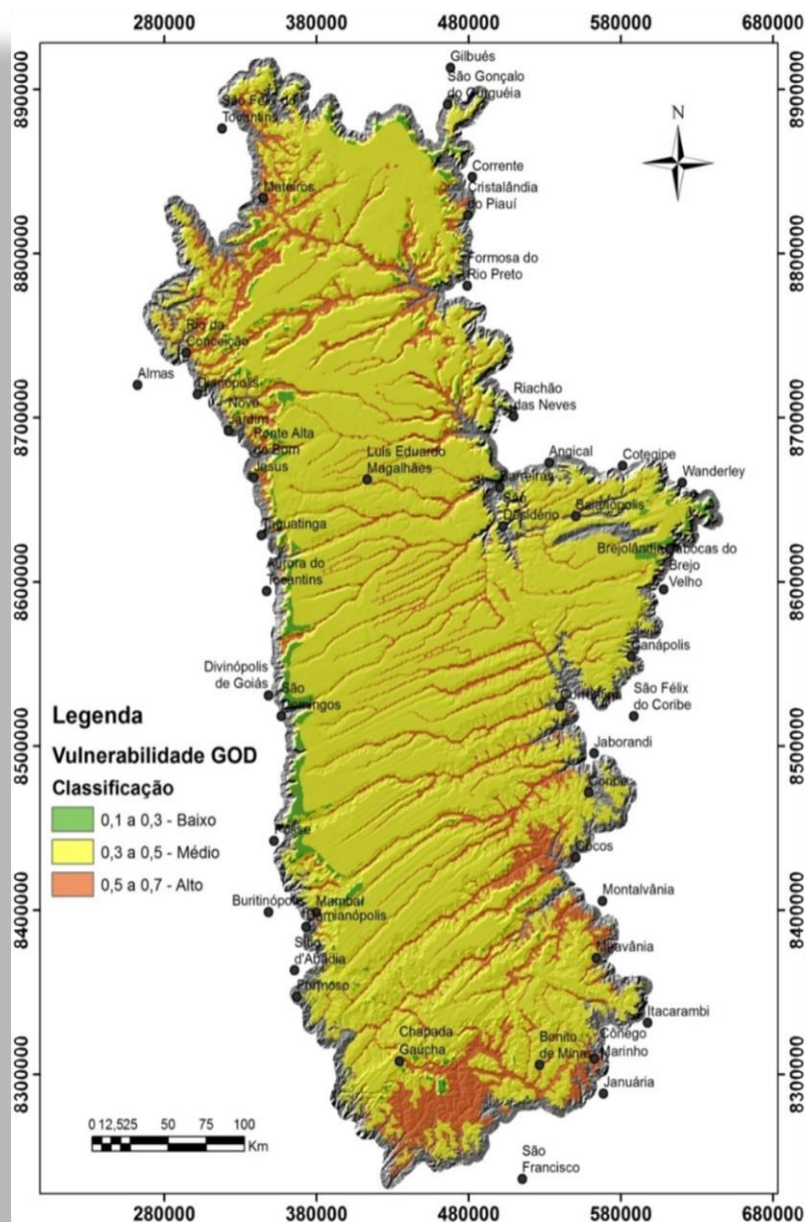


Figura 1- Mapa dos Índices de Vulnerabilidade GOD

2.1-Profundidade da Água

Definida como a profundidade do nível estático é obtida por meio da medida do nível da água, a partir da boca do poço sem bombeamento. A pressão da água nesta superfície está em equilíbrio com a pressão atmosférica. Apresenta uma forte relação com a topografia do terreno.

Apresenta efeitos de proteção relacionados não só a acessibilidade ao meio aquífero, como também a atenuação de contaminantes da zona não saturada. As reações físico-químicas que ocorrem nesta zona promovem a degradação e/ou captura dos contaminantes.

É uma variável que possui uma relação direta com o fator de proteção e inversa com a vulnerabilidade, quanto maior for a profundidade do nível estático, maior será o fator de proteção e menor será a vulnerabilidade do aquífero.

Está sujeita a alterações sazonais, seus valores aumentam no período chuvoso com a recarga do aquífero e sofrem reduções nos períodos secos. Essas alterações fazem com que a coleta desses dados seja realizada sempre, considerando o período da medição, principalmente se os dados forem utilizados para a determinação da superfície potenciométrica que fornece a direção do fluxo subterrâneo.

A sua variação espacial depende da superfície potenciométrica, da superfície topográfica e da topografia do substrato. Em linhas gerais, o nível freático acompanha aproximadamente a topografia do terreno.

Nos casos em que a biodegradação dos contaminantes depende de atividades aeróbicas, diferenças serão encontradas entre as áreas onde o nível freático é superficial e aquelas onde ele é profundo.

Alguns contaminantes de baixo peso molecular, como diclorometano, álcoois, cetonas e ésteres, são imobilizados ou degradados em produtos pouco ou nada tóxicos por processos biológicos, físicos e químicos, porém o mesmo não ocorre com metais e compostos organoclorados.

Para atingir a água subterrânea, localizada abaixo da superfície freática, os contaminantes têm que atravessar três setores distintos da zona de aeração:

O primeiro setor com umidade na parte mais superficial do solo, onde a perda de água para a atmosfera é intensa. Em alguns casos, quando é muito elevada a quantidade de sais decorrente da evaporação da água, estes precipitam na superfície do terreno e tornam os solos salinizados.

O segundo setor intermediário com umidade maior do que na zona superficial do solo e menor do que o terceiro setor, denominado de franja capilar, encontra-se localizado imediatamente acima da superfície freática, próxima à zona de saturação.

Os contaminantes ao atravessar esses diferentes segmentos da zona de aeração, são submetidos a um processo de atenuação natural, no qual os menos densos são imobilizados ou degradados por meio de processos físico, químicos e biológicos.

2.2-Taxa de Infiltração

É definida como o processo em que a água, proveniente da precipitação, penetra no solo ou rocha através de poros, fissuras, fraturas ou diaclases, ocupando total ou parcialmente os espaços vazios. Uma parte da água que infiltra atinge a zona saturada e passa a fazer parte da água subterrânea, a outra fica retida na zona não saturada e pode regressar à atmosfera através da evapotranspiração.

Pode ser obtida por meio de um balanço hídrico, por medidas diretas em campo ou utilizando tabelas para os diversos tipos de solo associadas a um mapa pedológico.

Esta variável apresenta uma relação direta com a vulnerabilidade e inversa com o fator de proteção. Quanto maior a capacidade de infiltração, maior será a vulnerabilidade do aquífero e menor será o fator de proteção. Quanto menor a capacidade de infiltração, menor a vulnerabilidade e maior o fator de proteção.

Considerando que a variação espacial está relacionada a propriedades naturais dos solos, cobertura vegetal, declividade do terreno e tipo de chuva, a atuação do fator de proteção pode ser considerada permanente apesar de depender da manutenção das condições de alguns fatores supracitados. Seu efeito protetor também está relacionado a acessibilidade ao aquífero, tanto da água quanto de contaminantes.

A taxa de infiltração de água no solo pode ser afetada por variações da porosidade, da argilosidade, da cobertura vegetal, da declividade do terreno e do tipo de chuva. A água que infiltra está submetida a duas forças fundamentais: a gravidade que promove o movimento vertical e as forças capilares que promove a adesão das moléculas às superfícies das partículas do solo. A infiltração eficaz se refere aquele volume de água que alcança a zona saturada.

2.3- Ocorrência de Água Superficial

Esta variável foi avaliada com a finalidade de representar os efeitos de proteção dos fluxos ascendentes da água no método MAIA (MAIA et al,2011, MAIA,2011), utilizando a ocorrência de rios permanentes que refletem a saturação dos aquíferos subjacentes, cujos excedentes da água infiltrada assume movimentos ascendentes, determinados pela energia potencial, responsáveis por um forte efeito de proteção para o aquífero.

O mapa com as poligonais que separam as áreas onde os rios são intermitentes das áreas em que estes são permanentes, em princípio poderia ser obtido, utilizando a hidrografia diretamente na Base Cartográfica do Estado da Bahia na escala 1:100.000.

Esta variável avaliada em conjunto com a distribuição da precipitação, em princípio, poderia indicar as áreas nas quais a saturação do aquífero e a exsudação de suas águas, propiciaria o desenvolvimento de uma drenagem superficial perene que atua como um fator de proteção do aquífero. A ocorrência de água superficial é uma variável que apresenta uma relação direta com o fator de proteção dos aquíferos.

Se os rios de uma região forem permanentes, o fator de proteção do aquífero será maior, considerando que este se encontra saturado e, o vetor resultante que representa o

movimento da água é ascendente e/ou horizontal, na direção do fluxo da água superficial, consequentemente a vulnerabilidade será menor.

Se os rios forem intermitentes, o fator de proteção do aquífero é menor, uma vez que ele não se encontra saturado e a resultante do movimento da água é vertical descendente, elevando à acessibilidade de contaminantes e consequentemente a vulnerabilidade do aquífero.

Trata-se de uma variável de efeito sazonal. Em locais com baixa pluviosidade, como a região semiárida, a atuação do fator de proteção fica limitado ao período chuvoso, quando a saturação do aquífero torna fluentes os rios temporários, reduzindo a vulnerabilidade dos aquíferos. Após as chuvas, cessa a atuação do fator de proteção e os aquíferos retornam à condição anterior em termos de vulnerabilidade.

Ocorreram diversas limitações a utilização dessa variável, em primeiro lugar foi sua determinação. Os levantamentos das folhas que recobrem o Estado foram realizados em períodos diferentes, por diversas equipes de instituições distintas, o que provocou uma série de incongruências na cartografia da hidrografia. Observou-se que os rios temporários da rede de drenagem não apresentam coerência com a pluviosidade e tampouco com a climatologia, portanto sua utilização no método MAIA (MAIA et al,2011, MAIA,2011) foi descartada.

3- A Variável Exsudação do Aquífero

Os rios do oeste baiano são efluentes, aqueles alimentados pelos aquífero em exsudação que produz um notável efeito de proteção com os movimentos ascendentes da água. Esta exsudação natural é responsável pela perenidade do caudal dos rios que drenam para a bacia dos rios São Francisco, Tocantins e Parnaíba, principalmente no período seco que vai de abril a setembro.

Esse efeito de proteção impede que contaminantes mais leves que a água, os LNAPL contaminem a água subterrânea, pois estes são conduzidos para a água superficial pelo mecanismo de exsudação e, esta proteção natural não é contabilizada por qualquer um dos métodos de avaliação da vulnerabilidade. Este fato explica a não detecção de contaminação das águas em campanhas de monitoramento realizadas na região.

A seleção das variáveis mais adequadas é fundamental para desenvolver uma equação capaz de expressar índices de vulnerabilidade, a partir dos conceitos teóricos sobre o tema e das relações matemáticas entre as variáveis e a vulnerabilidade. Neste caso é importante identificar e quantificar uma variável para traduzir os efeitos de proteção gerados pelos movimentos ascendentes do fluxo da água nas margens dos rios.

A análise dos gradientes das vazões medidas ao longo dos rios, de montante para jusante, diretamente proporcionais as variações das pressões da água, poderá permitir a determinação do gradiente de vazão que quantifique a força da exsudação e, incluir este importante fator de proteção do aquífero na equação do método MAIA (MAIA et al,2011, MAIA,2011).

Considerando que as vazões são proporcionais aos incrementos da pressão hidrostática decorrentes da redução das cotas topográficas na direção de escoamento dos rios. Ao

se determinar os gradientes de vazões dos rios estaremos, por extensão, quantificando o gradiente de pressão das águas subterrâneas. Esses valores integrados com os dados piezométricos determinados a partir dos poços tubulares poderão ser quantificados e aplicados na equação do método MAIA (MAIA et al,2011, MAIA,2011).

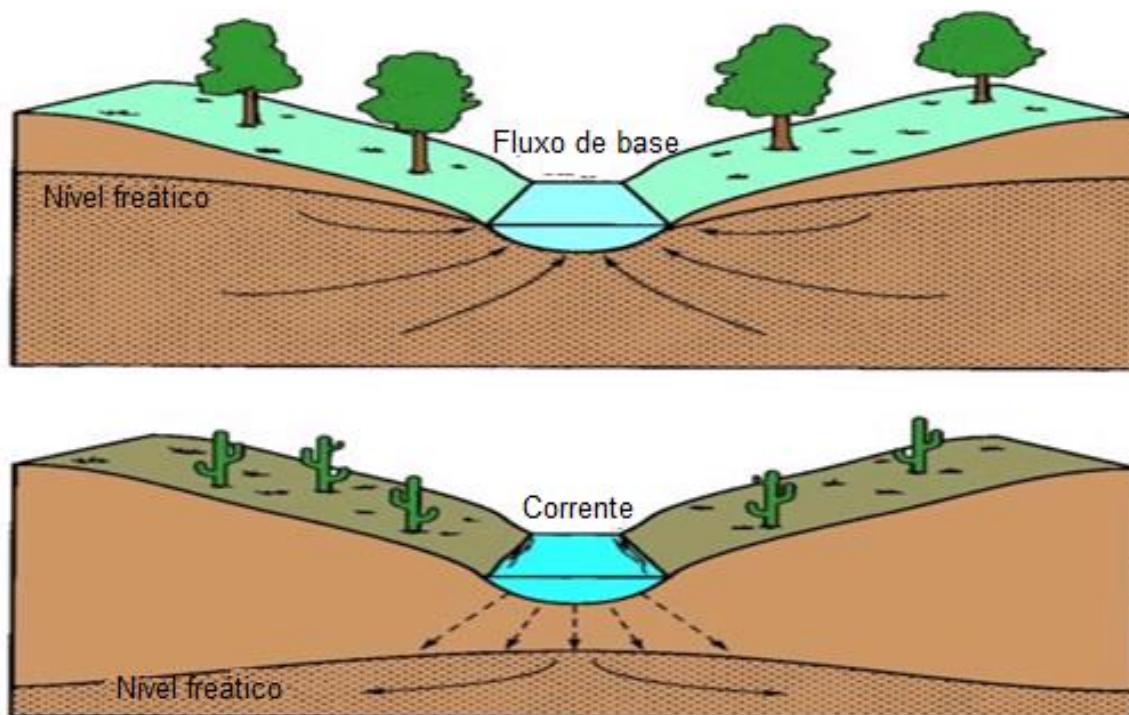


Figura 2- Rios Efluentes e Influentes (fonte BANCO MUNDIAL,2006 adaptação do autor).

4-Conclusões

Considerando que o aquífero Urucuia é o principal responsável pela manutenção dos níveis de base dos rios da região e, que as vazões aumentam de montante para jusante ao longo da direção do canal de escoamento, esse incremento é diretamente proporcional ao aumento da pressão da água que cresce com a queda dos níveis topográficos.

As vazões utilizadas poderão ser tanto das séries históricas, quanto das provenientes de medidas em campo, neste caso as medições devem ser realizadas no mesmo período para evitar a influência das variações sazonais nos resultados.

As relações entre as vazões dos rios e os níveis piezométricos podem ser utilizadas para quantificar a variável EA (Exsudação do Aquífero), diretamente relacionada com a vulnerabilidade. Quando os níveis topográficos se reduzem, na direção do escoamento superficial, a pressão da água provoca o aumento das vazões dos rios. Medindo as vazões dos rios pode-se determinar o gradiente de vazão, diretamente proporcional a pressão da exsudação.

Considerando que o método MAIA (MAIA et al,2011, MAIA,2011), por princípio,

reduz as variáveis da equação a índices para evitar o uso de fatores de ponderação, considerando o menor valor 1 e o maior 10, torna-se possível quantificar a variável EA, exsudação do aquífero e possibilitar sua aplicação na equação.

Os valores dos gradientes de vazões determinados devem ser integrados ao mapa de equipotenciais e direção do fluxo para fornecer o nível referente à variável para cruzamentos com o SIG.

Os valores das taxas de infiltração determinadas nos Estudos da ANA também poderão ser aplicados no novo método quantitativo, após serem transformados em índices, conforme as diretrizes do método MAIA (MAIA et al,2011, MAIA,2011), considerando que esta variável apresenta uma relação direta com a vulnerabilidade. Esta variável pode substituir a Recarga (RE) na equação, caso sua importância não seja tão essencial, com o intuito de criar um equilíbrio entre as variáveis diretas e inversas.

A equação do método MAIA (MAIA et al,2011, MAIA,2011) modificada para utilizar os novos dados e atender as especificidades do Sistema Aquífero Urucuaia ficará:

$$V = \left[\left(\frac{1}{PA} \right) + \left(\frac{1}{ES} \right) + \left(\frac{1}{DT} \right) + CE + RE + EA + TI \right]$$

Ou

$$V = \left[\left(\frac{1}{PA} \right) + \left(\frac{1}{ES} \right) + \left(\frac{1}{DT} \right) + CE + EA + TI \right]$$

Caso queira retirar da equação a Recarga Potencial (RE) com a o objetivo de equilibrar as variáveis de relação direta com as de relação inversa na equação.

Onde:

- Profundidade da Água (PA), relação inversa;
- Espessura do Solo (ES), relação inversa;
- Declividade do Terreno (DT), relação inversa;
- Capacidade Específica (CE), relação direta;
- Recarga Potencial (RE), relação direta;
- Exsudação do aquífero (EA), relação direta;
- Taxa de Infiltração (TI), relação direta;

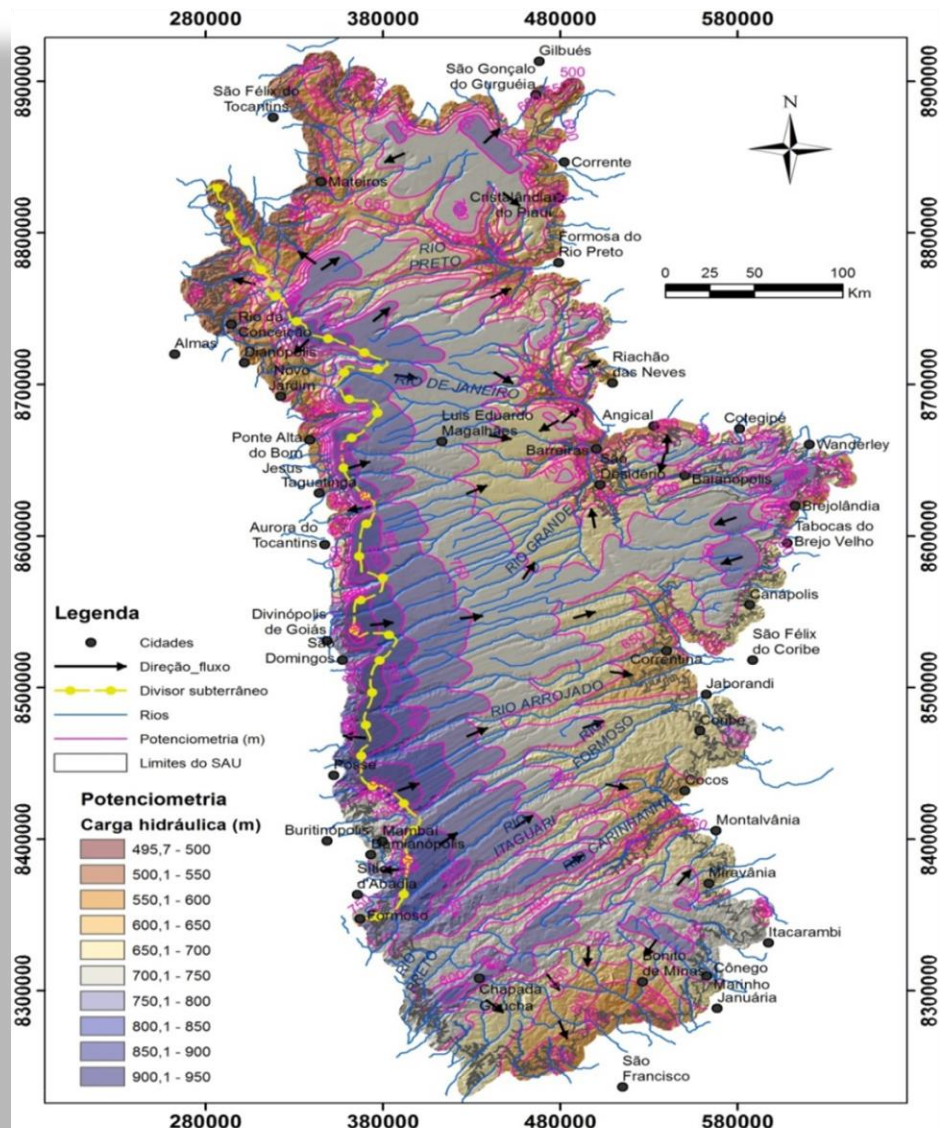


Figura 3- Equipotenciais e direção do fluxo no SAU.

5- Referencias

AUGE, M.- Vulnerabilidad de acuíferos: conceptos y metodos. Buenos Aires: Universidade de Buenos Aires, 2003. Disponível em: <<http://www.tierra.rediris.es/hidrored/ebvulnerabilidad.html>>. Acesso em: 4 jun.2008.

AUGE, M.- Vulnerabilidade de aquíferos. Revista Latino-Americana de Hidrogeologia, Curitiba, n° 4, p. 85-103, 2004.

BANCO MUNDIAL/ BANCO INTERNACIONAL DE RECONSTRUÇÃO E DESENVOLVIMENTO - Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para

Cadernos de Geociências, v. 17, 2023 e-221505

DOI:10.9771/geocad.v17i0.55540

www.cadernosdegeociencias.igeo.ufba.br ISSN 2238-4960

empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais
Copyright © 2006.

CUSTÓDIO, E.- Consideraciones sobre el concepto de vulnerabilidad de los acuíferos a la polución. In: SEMINÁRIO HISPANO – ARGENTINO SOBRE TEMAS ACTUALES DE HIDROLOGIA SUBTERRÂNEA, 2., 1995, San Miguel de Tucumán. Anais... San Miguel de Tucumán: [s. n.], 1995. p. 99-122.

GASSER, R. S.; CRUZ, M.J.; GONÇALVES, M. V. P. Avaliação da vulnerabilidade intrínseca a contaminação do aquífero cárstico Salitre no município de Cafarnaum, Bahia. Águas Subterrâneas, v. 32, p. 70-78, 2018.

MAIA, P., H., P. & CRUZ, M. J. M. Um Novo Método para Avaliar a Vulnerabilidade de Aquíferos, Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology - BJUST, 15(2) , 2011.

MAIA, P., H., P. Um Novo Método para Avaliar a Vulnerabilidade dos Aquíferos. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011. 130 f.