

APLICAÇÃO DO MÉTODO GLA PARA ESTIMATIVA DE VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO BARREIRAS

*Augusto Rafael Carvalho de Sousa*¹; *Dayse Luna Barbosa*²; *José do Patrocínio Tomaz Albuquerque*³; *Camila Macêdo Medeiros*⁴; *Maria Adriana de Freitas Mágero Ribeiro*⁵

Resumo - A utilização das águas subterrâneas para atender às atividades humanas tem crescido bastante nas últimas décadas. Da mesma forma que as águas de superfície, há uma necessidade de classificar as águas subterrâneas quanto a sua qualidade, uma vez que a qualidade da água para consumo direto é diferente daquela utilizada para abastecer processos industriais e agropecuários. A análise da susceptibilidade de um aquífero à contaminação por cargas poluentes é de total importância para que este recurso seja utilizado de maneira não-danosa à saúde, evitando assim a contaminação de seus usuários. Neste sentido, o presente trabalho faz uma análise, a partir do método GLA, da vulnerabilidade do aquífero Barreiras, contido na Bacia Sedimentar Costeira do Baixo Curso do rio Paraíba.

Abstract - The use of the groundwater to attempt the human activities has grown in the last decades. Just like the surface water, there is a necessity to classify the groundwater by the quality, since the quality of the water to direct human consume is different of that used to supply industrial and agricultural processes. The analyses of the susceptibility of an aquifer to contamination by pollutants is very important to allow this resource to be used in a healthy way, avoiding by this the contamination of their users. By this, the present work does a analyses, by the GLA method, of the vulnerability of the aquifer Barreiras, situated in the Sedimentary Basin of Paraíba River.

Palavras-chave: vulnerabilidade, método GLA, aquífero Barreiras.

¹Universidade Federal de Campina Grande. Voluntário no Programa de Iniciação Científica da Unidade Acadêmica de Engenharia Civil da UFCG, Caixa Postal 505, 58.429-140, Campina Grande-PB, 83321011422, augusto_carvalho@live.com

²Universidade Federal de Campina Grande. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, UFCG, Caixa Postal 505, 58.429-140 Campina Grande-PB, 83321011086, dayseluna@yahoo.com.br

³Universidade Federal de Campina Grande. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, UFCG, Caixa Postal 505, 58.429-140 Campina Grande-PB, 83321011422, patociniotomaz@uol.com.br

⁴Universidade Federal de Campina Grande. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, UFCG, Caixa Postal 505, 58.429-140 Campina Grande-PB, 83321011422, camilamedeirosm@gmail.com

⁵Universidade Federal de Campina Grande. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, UFCG, Caixa Postal 505, 58.429-140 Campina Grande-PB, 83321011422, drickadefreitas@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

As atividades de captação e exploração das águas subterrâneas dependem de mecanismos legais e institucionais que regulem, controlem e fiscalizem o seu uso. A falta destes instrumentos coloca em risco a qualidade dos aquíferos que, uma vez poluídos ou contaminados, sua recuperação é de longa duração, tecnicamente difícil e muitas vezes inviável (COELHO; DUARTE, 2003). Ressalta-se que a melhor maneira para garantir a boa qualidade da água subterrânea é através da sua proteção e prevenção.

A proteção das águas subterrâneas quanto aos componentes poluentes passa pelo uso e à ocupação do solo e, conseqüentemente, pelo planejamento dos recursos hídricos. De acordo com Santos *et al.* (2006) os índices de vulnerabilidade de aquíferos constituem ferramenta útil e garantem a qualidade das águas subterrâneas, dadas as limitações técnicas e principalmente econômicas para remediar um aquífero já poluído.

De acordo com Foster e Hirata (1998), o termo vulnerabilidade expressa as características intrínsecas naturais que determinam a sensibilidade de um aquífero ser adversamente afetado por uma carga poluente antrópica imposta. A vulnerabilidade das águas subterrâneas normalmente descreve a suscetibilidade, de um aquífero (freático, semi-confinado ou confinado) ou de um poço, ser afetado por contaminantes que podem reduzir a qualidade das suas águas (LIGGETT; TALWAR, 2009).

Os mapas de vulnerabilidade têm se tornado uma ferramenta padrão para a proteção das águas subterrâneas, sendo especialmente valiosos nas tomadas de decisão. O planejamento do uso da terra e as atividades permitidas em determinadas áreas, devem ser executadas com cautela, sem causar um impacto negativo sobre a qualidade dos recursos hídricos subterrâneos (ACSAD - BGR, 2003).

Neste contexto, este trabalho propõe uma análise da vulnerabilidade das águas subterrâneas de um aquífero livre, utilizando o método GLA, o qual se destina a realizar tal análise a partir da zona não-saturada e de sua litoestratigrafia.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A vulnerabilidade pode ser entendida como sendo um conjunto de características do aquífero que determinam a possibilidade ser afetado pela carga poluidora.

O conceito de vulnerabilidade parte de três premissas básicas: 1- toda água subterrânea é vulnerável, em maior ou menor grau, à contaminação; 2- a incerteza é admitida em qualquer avaliação de vulnerabilidade; 3- os sistemas de indexação podem esconder algumas características e sutilezas (NRC, 1993 *apud* FOSTER *et al.*, 2002).

O mapeamento da vulnerabilidade serve como ferramenta para a gestão dos recursos hídricos e para a gestão do uso do solo, pois fornece uma estrutura para o planejamento e controle das atividades antrópicas na superfície do terreno, evitando que algum contaminante despejado no solo possa vir a atingir o aquífero.

Existem diversas metodologias para a determinação da vulnerabilidade, porém para um resultado satisfatório recomenda-se que se utilize mais de uma metodologia para poder compará-las e se chegar a um resultado consciencioso. Expõem-se, a seguir, resumidamente, as características dos principais métodos usados na determinação do grau de vulnerabilidade de um aquífero.

O método DRASTIC foi desenvolvido por Aller *et al.* em 1987 com objetivo de avaliar a vulnerabilidade intrínseca de aquíferos. É um método bastante utilizado tendo como fundamento um conjunto de procedimentos de fácil integração de parâmetros característicos do meio subterrâneo. O índice DRASTIC corresponde à soma ponderada de sete valores relacionados aos seguintes parâmetros hidrogeológicos: profundidade da superfície freática, recarga do aquífero, tipo de material aquífero, tipo de solo, topografia ou declividade do terreno, influência da zona não saturada e condutividade hidráulica do aquífero.

Outra metodologia bastante utilizada é o método GOD, proposto por Foster em 1987. O método é bastante utilizado devido a sua simplicidade conceitual e de aplicação. O índice GOD baseia-se nos seguintes fatores: grau de confinamento do aquífero, o qual pode ser classificado em confinado não drenante, confinado drenante ou livre; natureza composicional da zona não saturada e/ou aquífero e seu grau de fraturamento; e a profundidade do nível da água subterrânea ou da base da camada confinante.

Pode-se citar ainda o método denominado Índice de Susceptibilidade (SI), desenvolvido por Francés *et al.* em 2001, com o propósito de caracterizar a vulnerabilidade das águas subterrâneas voltada principalmente à poluição agrícola. O SI é calculado a partir da soma ponderada de cinco parâmetros: profundidade ao topo do aquífero; recarga anual; litologia do aquífero; topografia; e ocupação do solo.

METODOLOGIA

Seleção do método

Como já discutido, várias metodologias podem ser adotadas para estimar a vulnerabilidade de uma região. Tais métodos diferenciam-se entre si devido aos parâmetros utilizados: alguns consideram apenas uma parte da formação aquífera, outros levam em consideração parâmetros de toda a área na qual o corpo de água esteja inserido. A decisão para eleger o método a ser adotado

deve levar em consideração muitos fatores, estando entre eles o número de dados disponíveis sobre a área a ser estudada. Alguns métodos requerem parâmetros muito complexos que muitas vezes não estão disponíveis nos sistemas de dados dos órgãos gestores das bacias, tornando alguns métodos inviáveis de serem aplicados. Utilizando tal argumento, escolhemos uma metodologia cujos dados estão disponíveis na área estudada. Este é o GLA.

O método GLA

O método consiste na soma e multiplicação ponderadas de 6 parâmetros: \underline{S} (capacidade de campo efetiva), \underline{W} (taxa de percolação \underline{R} (litologia das camadas acima do aquífero), \underline{T} (espessura das camadas acima do aquífero), \underline{Q} (pontuação extra para sistemas de aquíferos livres), e, finalmente, o parâmetro \underline{HP} (pontuação extra para condições de confinamento) (HOELTING et al¹. 1995 apud ACSAD – BGR, 2003).

$$P_t = P_1 + P_2 + Q + HP \quad (1)$$

P_1 - proteção efetiva da cobertura do solo:

$$P_1 = S \times W \quad (2)$$

P_2 - proteção efetiva da zona não saturada:

$$P_2 = W \times (R_1 T_1 + R_1 T_1 + \dots + R_n T_n) \quad (3)$$

Parâmetro S – Capacidade de Campo Efetiva

A capacidade de campo efetiva ($\sum CCE$) determina a capacidade que o solo tem de permitir a passagem de um fluido, e é medida em mm. Para a determinação desse parâmetro, é analisada a litologia de cada camada que constitui o solo, até a profundidade de 1 metro. O valor individual da CCE de cada camada depende de sua composição litológica. A CCE total do solo é obtida pela soma das CCE de cada camada. Este parâmetro é dividido em 6 classes, cada uma fornecendo um valor ponderado para sua determinação, conforme a Tabela 1.

¹Hoelting, B., Haertle, T., Hohberger, K.H., Nachtigall, K.H., Villinger, E. Weinzierl, W. And Wrobel, J.P. (1995). Concept for the Determination of the Protective Effectiveness of the cover above the Groundwater against pollution - Ad-hoc Working Group on Hydrogeology, Hannover.

Tabela 1 – Valor do parâmetro S em função das camadas componentes do solo

ΣC_{Ce} (mm)	S
até 1 m de profundidade	
> 250	750
> 200 - 250	500
> 140 – 200	250
> 90 – 140	125
> 50 – 90	50
< 50	10

Fonte: Adaptado de Hoelting et al, 1995 apud ACSAD – BGR, 2003

Como a composição de cada camada geralmente não envolve um único material, existe uma dificuldade em calcular a C_{Ce} correspondente. Duas formas são cabíveis para sua determinação: uma delas consiste em ensaios no solo e procedimentos e análises realizadas em laboratório, objetivando obter a porcentagem de cada material constituinte da camada. Esse processo, apesar de mais próximo da realidade litológica, torna o processo muito demorado. A outra forma é utilizar as tabelas e figuras do Manual de Mapeamento dos Solos (BODENKUDE, 1982 apud ACSAD – BGR, 2003), que determinam a capacidade de campo efetiva de acordo com o tipo de solo. Cada tipo do solo tem uma Densidade Efetiva de Deposição (D_d). A Tabela 2 a seguir indica esses valores para cada material, incluindo os tipos de areias.

Tabela 2 - Densidade efetiva de deposição média de acordo com litologia do solo

Composição	C_{Ce} (mm/dm)	Composição	C_{Ce} (mm/dm)
Areia	10,5	Areia argilosa pouco siltosa	16,0
Areia pouco siltosa	16,0	Areia argilosa siltosa	15,0
Areia Siltosa			
Areia Siltosa	20,5	Areia e silte com argila	22,0
Areia muito siltosa			
Areia e silte	22,0	Silte com muita areia e argila	17,0
		Silte com argila e areia	
		Silte com argila e pouca areia	
		Silte com muita argila e muita areia	
		Silte com muita argila e areia	
		Silte com muita argila e pouca areia	
Silte com muita argila			
Silte e areia	25,5	Silte com muita argila	20,5
Silte com muita areia			
Silte com areia			
Silte com pouca areia	26,0	Areia muito argilosa	15,5
Silte			
Areia com pouca argila	14,0	Areia muito argilosa pouco siltosa	13,5
		Areia muito argilosa siltosa	
		Areia muito argilosa muito siltosa	
		Areia e argila com silte	
		Argila e areia com silte	
Cascalho 1%, areia 71%, silte argiloso 28%	17,5	Silte com muita argila e areia	15,5
		Silte e areia com muita argila	

Cascalho 1%, areia 71%, silte argiloso 28%	18,0	Silte e argila com muita areia	14,0
Cascalho 1%, areia 64%, silte argiloso 35%		Silte e argila com areia Silte e argila com pouca areia	
Areia 59%, silte argiloso 41%	17,0	Silte e argila	19,0
Areia 55%, silte argiloso 45%		Silte e argila com pouca areia	
Silte e areia com pouca argila	21,0	Areia e argila	15,5
Silte e areia com argila			
Silte com muita areia e pouca argila	22,0	Argila e areia	15,0
Silte com muita areia e argila			
Silte com areia e pouca argila			
Silte com areia e argila			
Silte com areia e pouca argila	25,0	Argila com muito silte e pouca areia	14,5
Silte com pouca areia e pouca argila		Argila com silte e muita areia	
Silte com pouca argila		Argila com silte e pouca areia	
Silte com argila e pouca areia	23,5	Argila com muito silte	16,0
Silte com argila			
Areia com argila (areia argilosa)	15,5	Argila plástica (argila pura) Argila (plástica) com pouca areia Argila com pouco silte Argila com pouca areia e pouco silte Argila com areia e pouco silte Argila siltosa com pouca areia	16,0
Areia grossa	5,5	Areia fina com pouca areia grossa	17,5
Areia grossa com pouca areia média	6,5	Areia fina	20,0
Areia grossa com areia média	7,0	Areia fina com pouca areia média	16,5
Areia média com areia grossa	7,5	Areia fina com areia média	15,0
Areia média com pouca areia grossa	8,0	Areia média com areia fina	14,0
Areia grossa com pouca areia fina	15,5	Areia média com pouca areia fina	12,5
Areia grossa com areia fina	16,5	Areia média	7,5
Areia fina com areia grossa	17,0		

Fonte: (Adaptado de Hoelting et. al, 1995 apud Manual para la aplicacion del concepto de vulnerabilidad de acuíferos em la norma de emision a águas subterrâneas- CHILE, 2002)

Após analisada a composição de cada camada do solo, até 1m de profundidade, determina-se a Dd que multiplicada pela espessura da camada em dm, obtém-se a pontuação S referente à Tabela 1.

Parâmetro W – Taxa de percolação

A taxa de percolação se refere à quantidade de água precipitada que se infiltra no solo, percolando até atingir o aquífero. A estimativa desse volume pode ser feita levando em consideração o fato de que o volume de água precipitada que não chega a evaporar corresponde ao volume de água que está livre para se infiltrar na superfície do solo. Para determinar a taxa de

percolação, utilizam-se dados existentes sobre a precipitação anual (P_{an}) e a evapotranspiração (EPT_{an}) anual sobre a região de estudo. Os valores de precipitação e evapotranspiração para a área estudada foram obtidos de Costa et al, 2002. Assim, o volume de água que se infiltra na zona não saturada é dada pela Equação 4.

$$I = P_{an} - EPT_{an} \text{ (mm/a)} \quad (4)$$

Da mesma forma que o parâmetro S, a pontuação para W se divide em 5 categorias e a cada uma delas é atribuído um valor para o parâmetro (Tabela 3).

Tabela 3 – Taxa de percolação anual e o fator W correspondente

I = P_{an} - EPT_{an} (mm/a)	Fator W
< 100	1.5
> 100 – 200	1.25
> 200 – 300	1.0
> 300 - 400	0.75
> 400	0.5

Fonte: Adaptado de Hoelting et al, 1995 apud ACSAD – BGR, 2003

Parâmetro R – Litologia da camada

A proteção efetiva de um aquífero está diretamente relacionada com a litologia das camadas superiores a ele. A influência dessa litologia se dá a partir do momento em que o material que forma a camada possui certa porosidade e permeabilidade: quão maior a porosidade, maior a facilidade que um fluido encontra para se infiltrar nessas camadas, e quão maior a permeabilidade, maior a facilidade que esse mesmo fluido encontra para se movimentar dentro da camada. Assim, materiais como a argila (que possui alta porosidade, mas nenhuma permeabilidade) tendem a acumular muito fluido em seus poros, mas não permite que este se movimente em seu interior ou se o permitirem o fazem a taxas de tempo muito baixas, em quantidades insignificantes, enquanto as areias (altas porosidade e permeabilidade) facilitam tanto o acúmulo como o movimento do fluido percolante. Esses materiais podem constituir camadas sólidas (rochas) e camadas de materiais não consolidados. A cada material é atribuído uma quantidade de pontos R. Para materiais não consolidados, a pontuação atribuída é a que se encontra na Tabela 4. Já para materiais consolidados considera-se o tipo de material e a forma como este está consolidado, se tem fraturas, se é pouco ou muito cárstico, etc. Para estes materiais, multiplicam-se os fatores da Tabela 5 de acordo com as características mencionadas anteriormente, obtendo assim a pontuação R da camada.

Tabela 4 – Composição litológica e pontuação R para compostos não consolidados

Composição	Fator R	Composição	Fator R
Argila	500	Silte arenoso, areia muito argilosa (barro)	120
Argila pouco siltosa	400	Areia argilosa (barro), areia muito siltosa	90
Areia pouco arenosa	350	Areia pouco argilosa, areia siltosa, areia grossa (argila e areia)	75
Argila siltosa	320	Areia pouco argilosa (barro), areia siltosa, areia grossa (silte e areia)	60
Argila muito siltosa, argila arenosa	270	Areia pouco siltosa, areia pouco siltosa com areia grossa	50
Silte muito argiloso (barro)	250	Areia	25
Barro pouco argiloso, silte pouco argiloso	240	Cascalho arenoso	10
Silte muito argiloso, barro siltoso	220	Cascalho, cascalho e brecha	5
Argila muito arenosa, barro areno-siltoso, argila pouco arenosa (barro), silte argiloso (barro), silte argiloso	200	Material vulcânico inconsolidado	200
Argila arenosa (barro), silte pouco argiloso (barro)	180	Turfa	400
Silte pouco argiloso (barro), silte areno-barroso, silte, argila pouco arenosa (barro)	160	Sapropel	300
Areia muito argilosa, areia argilosa, areia argilo-siltosa (barro)	140		

Fonte: Adaptado de Hoelting et al, 1995 apud ACSAD – BGR, 2003

Tabela 5 – Composição litológica e pontuação R para compostos consolidados (pontuação R=OxF)

Tipo de Rocha	O
Argilito, siltito, ardósia, carbonato de cálcio	20
Arenito, quartzito, rocha vulcânica, rocha plutônica, rocha metamórfica	15
Arenito poroso, rocha vulcânica porosa	10
Conglomerado, brecha, calcário, dolomito, gipsito	5
Estrutura	F
Não fraturado	25
Pouco fraturado	4
Moderadamente fraturado, pouco cárstico	1
Moderadamente cárstico	0.5
Muito fraturado ou muito cárstico	0.3
Desconhecido	1

Fonte: Adaptado de Hoelting et al, 1995 apud ACSAD – BGR, 2003

Parâmetro T – Espessura da camada litológica acima do aquífero

A espessura de cada camada litológica sobrejacente ao aquífero também influencia na determinação da proteção efetiva deste, uma vez que, quanto maior for a espessura de cada camada, mais tempo um fluido contaminante leva para percolar tal camada, até atingir o aquífero.

O valor do parâmetro T é determinado por camada, em metros. Perfis de poços fornecem essa espessura. Determinada a espessura, o parâmetro T é multiplicado pelo parâmetro R, de acordo com a litologia da camada cuja espessura se conhece. O procedimento é repetido para cada camada em particular, somando tudo ao final.

Parâmetro Q – Pontuação bônus para sistemas de aquíferos livres

Um aquífero livre retém fluidos percolantes em sua zona superior, não saturada, antes que estes atinjam a superfície do aquífero, diminuindo assim a exposição destes agentes poluentes. Para esse sistema de aquíferos, tem-se uma pontuação extra de 500 pontos.

Parâmetro HP – Pontuação bônus para aquíferos confinados

A camada confinante do aquífero confinado, por ser impermeável, oferece maior resistência para que um fluido atinja a zona freática deste. Para aquíferos confinados se dá uma pontuação extra de 1500 pontos.

Determinação da vulnerabilidade de águas subterrâneas pelo método GLA

A proteção efetiva de um aquífero calculada pela Equação 1 é classificada em 5 classes, de acordo com a Tabela 6.

Tabela 6 – Determinação da proteção efetiva de um aquífero para o método GLA

P_r	Proteção Efetiva
> 4000	Muito Alta
> 2000 - 4000	Alta
> 1000 - 2000	Moderada
500 - 1000	Baixa
500	Muito Baixa

Fonte: Adaptado de Hoelting et al, 1995 apud ACSAD – BGR, 2003

Área de estudo

A Região do Baixo Curso do rio Paraíba está situada na parte litorânea do Estado da Paraíba (Figura 1), corresponde a uma porção da Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco-Paraíba. A área objeto de avaliação da vulnerabilidade, pelo método considerado, é a parcela sudeste do Baixo Curso do rio Paraíba, onde a urbanização é muito pronunciada. Ela também tem tido a vulnerabilidade de seus aquíferos avaliada por outros métodos por integrantes do Projeto “*Integração dos instrumentos de outorga, enquadramento e cobrança para gestão das águas subterrâneas- ASUB*”, alguns autores do presente estudo. Por esta razão, a caracterização da área já foi realizada e é aqui transcrita.

Possui uma área com cerca de 1.129,35 km², abrangendo 10 municípios, dos mais populosos do Estado, entre os quais a sua capital, João Pessoa.

Geologicamente, esta área da Bacia PE-PB, é a que apresenta, na sua parte emersa, a seqüência litoestratigráfica mais completa, ocorrendo as seguintes Formações, da base para o topo:

- Beberibe Inferior, de idade Cretácea, de arenitos embasados por conglomerados, ambos de grãos e seixos predominantemente quartzosos, com espessura média em torno de 30 metros;
- Beberibe Superior, também conhecida como Formação Itamaracá, também sedimentada no Cretáceo, maiormente constituída de arenitos calcíferos com intercalações subordinadas de siltitos, folhelhos e até de calcários, sendo a mais espessa das Formações, com média de cerca de 200 metros;
- Gramame, ainda do Cretáceo, de calcários argilosos e margas, bastante duros, amarelos e cinzentos, apresentando espessura média de 40 metros;
- Formação Barreiras, sedimentada no Terciário, predominantemente constituída de areias, com intercalações de siltes e de argilas, com espessura situando-se, também, em torno de 40 metros;
- Terminando a seqüência sedimentar, os sedimentos Quaternários, compreendendo, desde os aluviões que atapetam os leitos da rede hidrográfica sobreestabelecida, passando pelos depósitos flúvio-marítimos constituintes da Planície Costeira, até as areias finas que formam as dunas e os sedimentos de praia. Esta parcela é limitada, a oeste-noroeste, pela denominada Falha de Cabedelo, de natureza gravitacional que, pela sua ação, resultou na formação do bloco leste-sudeste descendente, com toda a estratigrafia preservada, e onde se localiza a área objeto deste estudo. O bloco contíguo, elevado após a sedimentação da Formação Gramame, teve esta formação erodida, em consequência do que não ocorre nas áreas ocidentais da Região do Baixo Curso do rio Paraíba.

Hidrogeologicamente, a área estudada é parte integrante do Sistema Aquífero Pernambuco-Paraíba, correspondente à bacia sedimentar homônima, sendo composto de dois subsistemas: o inferior, sob pressão, regionalmente confinado, contido nas Formações Beberibe Inferior e Superior; e o subsistema superior, de natureza livre, inserido no contexto de rochas das Formações Barreiras e sedimentos Quaternários sobrepostos. O subsistema inferior, denominado de Beberibe, tem como substrato inferior impermeável, as rochas do Cristalino Pré-Cambriano e como limite superior, igualmente impermeável, a Formação Gramame. Esta Formação constitui, portanto, a base impermeável do subsistema Livre, o qual tem como limite superior a superfície hidrostática, indistinta e continuamente contida nas camadas aquíferas das Formações Barreiras e sedimentos Quaternários citados. Esta superfície encontra-se, nos tabuleiros

esculpidos na Formação Barreiras, a profundidades que variam, geralmente, entre os 30 e 40 metros. Nos sedimentos Quaternários a profundidade desta superfície varia entre 1 e 5 metros, de uma maneira geral.

Em relação ao Subsistema Confinado, a base da Formação confinante (Gramame) situa-se, comumente, nas áreas topograficamente rebaixadas, a profundidades em torno de 80 a 90 metros. Nas áreas topograficamente elevadas (tabuleiros), esta profundidade atinge 120 metros ou mais (MEDEIROS et al, 2011).

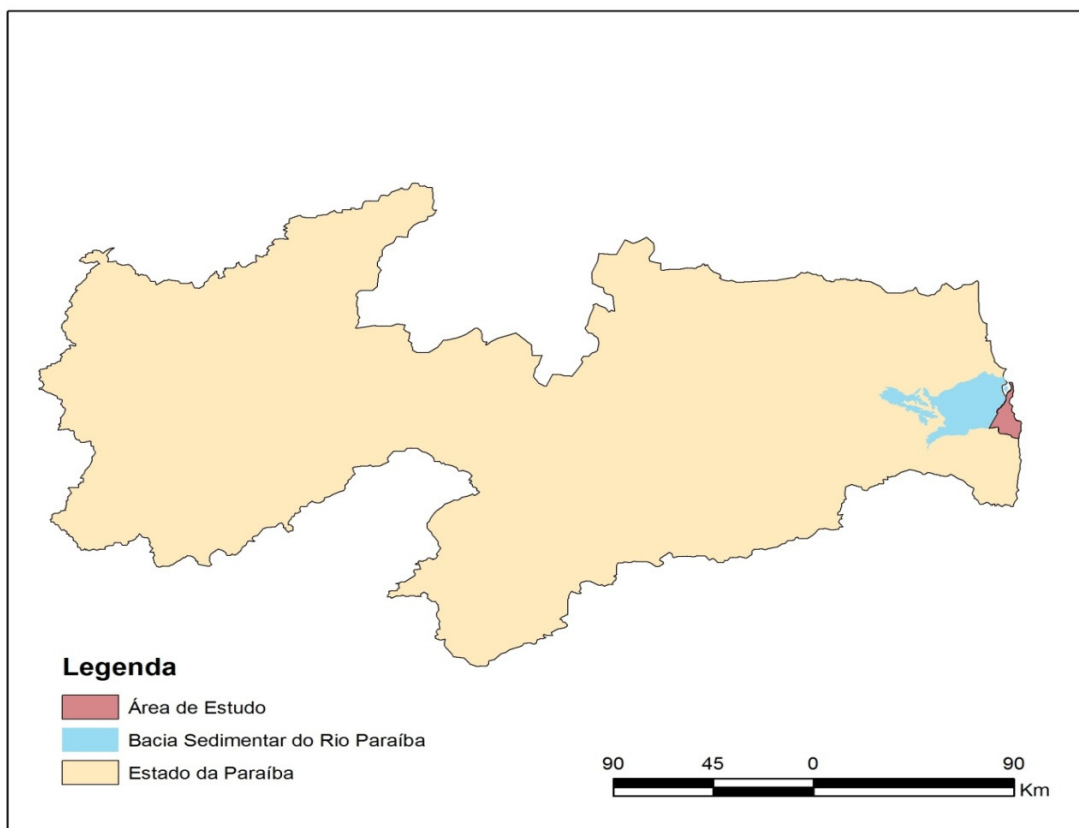


Figura 1 – Área de Estudo.

Para aplicação da metodologia GLA, foram selecionados 29 poços localizados na área de estudo (Tabela 7), os quais fazem parte do cadastro de poços da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA (AES A, 2011); Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais da Paraíba - CDRM (CDRM, 2011) e do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS (CPRM, 2011). A Figura 2 apresenta a distribuição destes poços.

Tabela 7 – Identificação dos Poços

ID do Poço	UTM (longitude)	UTM (latitude)	Nível Estático (m)
P01	298174,00	9211109,00	32,00
P02	298113,00	9211078,00	33,00
P03	298105,00	9212921,00	28,65
P04	300942,00	9209426,00	22,00
P05	296785,00	9228708,00	1,27

P06	300654,00	9208547,00	30,00
P07	294940,00	9211783,00	26,00
P08	296947,00	9208747,00	15,00
P09	299611,00	9210024,00	5,00
P10	296606,00	9208891,00	24,00
P11	298659,00	9210241,00	32,00
P12	288802,00	9206615,00	24,60
P13	293026,00	9209214,00	23,00
P14	295615,00	9208806,00	18,00
P15	301500,00	9209616,00	18,10
P16	291221,00	9207793,00	22,90
P17	295652,00	9220316,00	3,00
P18	298541,00	9207598,00	18,40
P19	292002,00	9212005,00	37,85
P20	297087,00	9212117,00	15,00
P21	298023,00	9210710,00	13,00
P22	299388,00	9208234,00	20,00
P23	297971,00	9208158,00	24,10
P24	298648,00	9213095,00	3,00
P25	295402,00	9209033,00	23,00
P26	295531,00	9212449,00	23,00
P27	296966,00	9213254,00	26,00
P28	295177,00	9208393,00	11,80
P29	295208,00	9208424,00	16,50

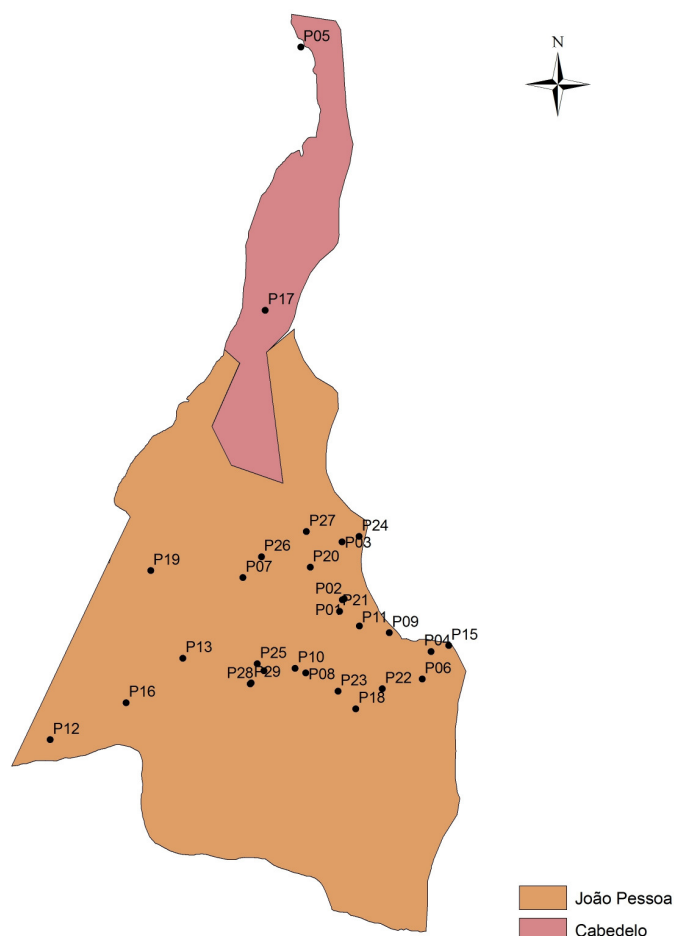


Figura 2 – Distribuição dos poços na área de estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a elaboração dos mapas de vulnerabilidade, o método foi aplicado em cada poço, obtendo os resultados da Tabela 8.

Tabela 8 – Resultados obtidos do método GLA

ID do Poço	Litologia do Solo*	Densidade Efetiva Média de Deposição (mm/dm)	CCE (mm)	Pontuação S	Pontuação RxT	Pontuação Total	Classe de Vulnerabilidade
P01	Areia	10,5	105	125	4240	5456,25	Muito Alta
P02	Areia Argilosa	15,5	155	250	1545	2243,50	Alta
P03	Areia Argilosa	15,5	155	250	2281	3163,75	Alta
P04	Argila	16	160	250	10500	13437,50	Muito Alta
P05	Areia	10,5	105	125	6.75	320,94	Muito Baixa
P06	Areia	10,5	105	125	2515	3300,05	Alta
P07	Areia	10,5	105	125	2890	3768,75	Alta
P08	Areia	10,5	105	125	2525	3312,50	Alta
P09	Areia	10,5	105	125	837.5	1203,15	Moderada
P10	Areia	10,5	105	125	3587.5	4640,65	Muito Alta
P11	Argila	16	160	250	10680	13662,50	Muito Alta
P12	Solo Arenoso	10,5	105	125	374	623,75	Baixa
P13	Argila Arenosa	15	150	250	6210	7762,50	Muito Alta
P14	Areia	10,5	105	125	3535	4575,05	Muito Alta
P15	Areia Fina	9	90	50	10025	12593,75	Muito Alta
P16	Solo preto com grãos de quartzo	10,5	105	125	9043	11460,05	Muito Alta
P17	Areia	10,5	105	125	50	218,75	Muito Baixa
P18	Areia Argilosa	15,5	155	250	386	795,00	Baixa
P19	Areia Argilosa	14	140	125	4260.5	5481,85	Muito Alta
P20	Areia	10,5	105	125	2300	3031,25	Alta
P21	Areia	10,5	105	125	2300	3031,25	Alta
P22	Argila	16	160	250	5225	6843,70	Muito Alta
P23	Argila	16	160	250	366.5	770,60	Baixa
P24	Areia	10,5	105	125	100	281,25	Muito Baixa
P25	Areia	10,5	105	125	3310	4293,75	Muito Alta
P26	Argila	16	160	250	6150	8000,00	Muito Alta
P27	Argila	16	160	250	6325	8218,70	Muito Alta
P28	Areia Fina	9	90	50	1920	2462,50	Alta
P29	Areia Argilosa	15,5	155	250	4210	5575,00	Muito Alta

*até 1m de profundidade

Os mapas das Figuras 3 e 4 representam os resultados da Tabela 8. Para confeccionar os mapas, utilizou-se o software ArcGis9.3. A Figura 3 representa o nível estático do aquífero Barreiras na área de estudo, uma vez que o método GLA depende da profundidade deste. A Figura 4 apresenta a vulnerabilidade do aquífero na área de estudo.

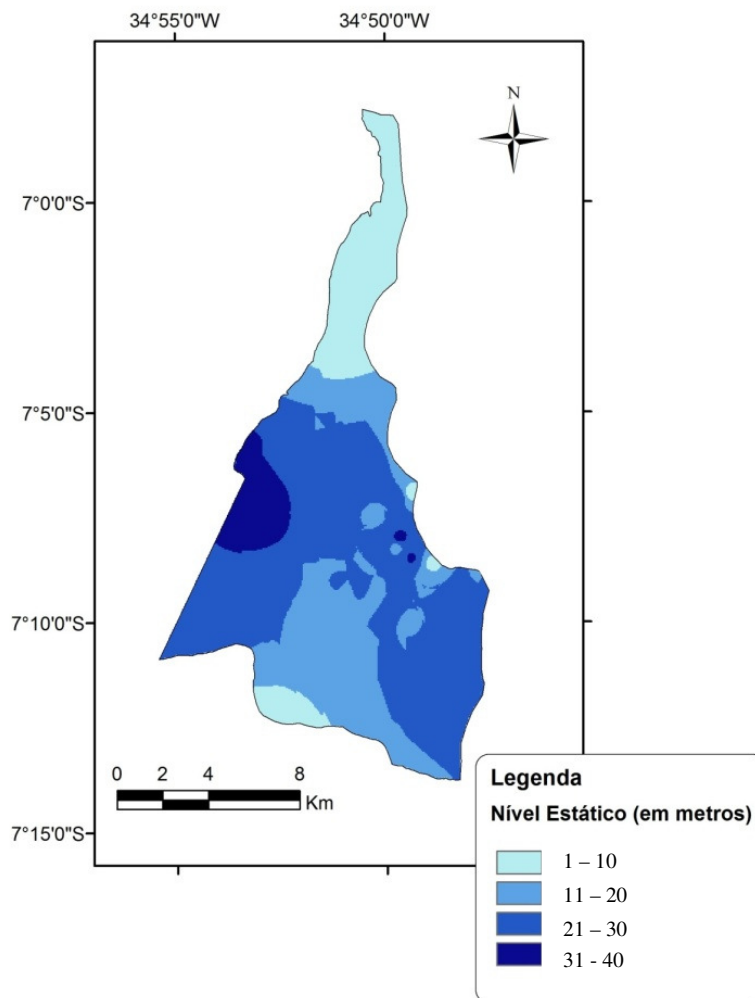


Figura 3 – Nível Estático da área de estudo

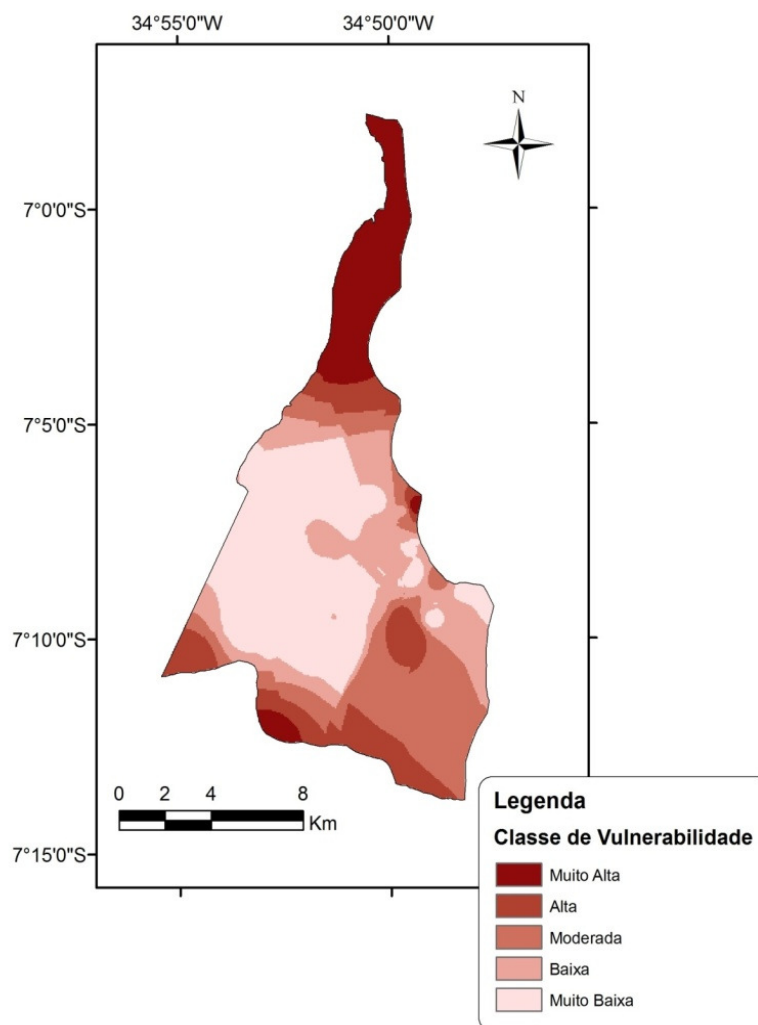


Figura 4 – Classe de Vulnerabilidade para o método GLA

A profundidade do nível estático é de extrema importância para a estimativa de vulnerabilidade do aquífero, conforme as Figuras 3 e 4. Desta forma, observa-se que quanto mais extensa e espessa for a zona não saturada menores as chances de contaminação da água.

Apesar da pouca utilização do método GLA, o mesmo forneceu informações condizentes com sua proposta de análise de vulnerabilidade, ou seja, a litologia da zona não saturada influencia também na taxa de percolação de fluidos e não apenas sua espessura, como proposto por outros métodos. Embora seja necessário o uso de diversos parâmetros exigidos pelo método, tais parâmetros são de fácil acesso, a exemplo da composição litológica acima de determinadas áreas, que pode ser determinada pela análise de perfis de poços. Percebemos que a área superior da figura apresentou uma vulnerabilidade muito alta. Isso se deve ao fato de que, além do nível freático nessa área ser muito baixo (em alguns pontos, 1,27m), a litologia predominante são as areias, que possuem uma baixa pontuação para os parâmetros S e R, como ditam as Tabelas 2 e 5, respectivamente. A área que ocupa a parte central da figura obteve uma vulnerabilidade baixa ou

muito baixa, uma vez que ali predominam as argilas. Ainda nessa área, os níveis estáticos atingiram valores de até 37m, que contribuem para uma proteção efetiva maior.

Ressalta-se que as diferenças entre os mapas de classificação da vulnerabilidade e o mapa de nível estático ocorreram devido às diferentes composições litológicas encontradas ao longo das várias camadas que compõem a zona vadosa, ratificando a aplicação do método e a seleção dos parâmetros. Esta avaliação pelo método GLA é uma contribuição aos estudos sobre a vulnerabilidade do aquífero Barreiras que, também, deve ser objeto de estudos por outras metodologias, o que deve facilitar e melhorar as tomadas de decisões pelos gestores das águas subterrâneas do Estado da Paraíba.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e à CAPES pela concessão de bolsas de mestrado concedida à quarta e quinta autoras respectivamente. Ao CNPq pela concessão de bolsa de Desenvolvimento Tecnológico Industrial concedida ao terceiro autor, e ao MCT/FINEP/CT-HIDRO pelo financiamento do projeto intitulado “*Integração dos instrumentos de outorga, enquadramento e cobrança para gestão das águas subterrâneas- ASUB*”. O primeiro autor faz parte do Programa Voluntário de Iniciação Científica da UFCG.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACSAD - BGR (2003). “*Technical Cooperation project, Management, Protection and Sustainable use of Groundwater and soil Resources in the Arab Region*” Vol. 4 - Guidline for Groundwater Vulnerability Mapping and Risk Assessment for the Susceptibility of Groundwater Resources to Contamination. Damascus.

AESA (2011). Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/consultas/>. Acesso em: março de 2011.

CDRM (2011). Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais da Paraíba. Cadastro de poços. Documento cedido em março de 2011.

CHILE. DEPARTAMENTO DE CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS. (2002). **Decreto supremo n° 46, de 2002**. “*Manual para la aplicacion del concepto de vulnerabilidad de acuíferos em la norma de emision a águas subterrâneas.*”

COELHO, V. M. T. e DUARTE, U. (2003). “*Perímetros de proteção para fontes naturais de águas minerais*”. Revista Águas Subterrâneas (77-91), n° 17.

COSTA, W. D.; ALBUQUERQUE, J. do P. T.; BRANCO, R. L. de C.; MARANHÃO, C. M. L.; GOLDFABER, M. (2002). *Estudos de Caracterização e Verificação da Disponibilidade Hídrica da Vertente Litorânea do Estado da Paraíba*. Tomo I – Texto.

CPRM (2011). Serviço Geológico do Brasil. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>
Acesso em: março de 2011.

FOSTER, S. e HIRATA, R. (1998) “*Groundwater pollution risk evaluation: a methodology based on available data*”. CEPIS/PAHO Technical Report Lima/Peru, 78p.

FOSTER, S.;HIRATA, R.; GOMES, D.;D’ELIA, M.; PARIS, M.(2002). “*Proteção da Qualidade da Água Subterrânea*” Servmar – Serviços Técnicos Ambientais Ltda, São Paulo, 105p.

LIGGETT, E. J. e TALWAR, S. (2009). “*Groundwater Vulnerability Assessments and Integrated Water Resource Management*”. Streamline Watershed Management Bulletin (18-29), Vol. 13, nº 1.

MEDEIROS, C. M.; BARBOSA, D.L.; RIBEIRO, M. A. de F. M.; SANTOS, A. F.D; ALBUQUERQUE, J. do P. T.; RÊGO, J. C. (2011). “*Comparação dos Métodos de Vulnerabilidade na Região do Baixo Curso do rio Paraíba, Brasil*”. XIV World Water Congress. Porto de Galinhas-PE. No Prelo.

SANTOS, M. M. dos; CHANG, M. R. C.; KIANG, C. H.e CELLIGOI A. (2006). “*Avaliação da vulnerabilidade natural à poluição utilizando o índice drastic em área selecionada na cidade de Londrina (PR)*”. Revista Águas subterrâneas (29-46), nº 20.