

Mapeamento da vulnerabilidade de parte da Bacia Sedimentar do Baixo Curso do rio Paraíba utilizando o método GOD

Camila Macêdo Medeiros¹
Maria Adriana de Freitas Mágero Ribeiro²
Iana Alexandra Alves Rufino³
Dayse Luna Barbosa⁴

Universidade Federal de Campina Grande
Caixa Postal 505 – 58429-140 – Campina Grande - PB, Brasil
{Camila M. Medeiros}- camilamedeiros@gmail.com

Abstract. Mapping vulnerability of aquifers has been considered an efficient tool for the management of groundwater resources because it indicates the risk of contamination of the aquifer by human activities. So, this paper aims to map the vulnerability of part of the sedimentary basin of the Lower Course of the river Paraíba using the method GOD. Thematic maps were made, with the final product mapping of the vulnerability of the region under study. The Region of the Lower Course of the river Paraíba is located on the coast of Paraíba state, covering all or part of 10 counties including Joao Pessoa. Were selected 35 wells in the study area and its surroundings for the making of the vulnerability map. We used the Spatial Analyst extension of ArcGIS 9.2[®] to map the occurrence of groundwater (G), map the lithology of the unsaturated zone (O) and the depth map (D), it was used for the Spatial Analyst extension of ArcGIS 9.2[®] Tool performing an interpolation of values each parameter of the wells for the study area and the resulting vulnerability map. The southern part of the map showed the vulnerability negligible, while the northern part indicates an average value of vulnerability. The GOD method in this case proved to be useful for the study area.

Palavras-chave: Remote sensing, image processing, vulnerability, sensoriamento remoto, processamento de imagens, vulnerabilidade.

1. Introdução

As últimas décadas têm sido marcadas pela crescente preocupação da sociedade com a deterioração dos recursos hídricos subterrâneos, pois várias cidades dependem das águas subterrâneas para o abastecimento público, o que tem demandado o planejamento de ações para a proteção desses recursos. Neste sentido, o mapeamento de vulnerabilidade de aquíferos tem se apresentado uma ferramenta eficiente para a gestão de recursos hídricos subterrâneos, apontando o risco de contaminação do aquífero por atividades antrópicas.

A vulnerabilidade do aquífero à contaminação é definida como o conjunto de características essenciais dos estratos que separam o aquífero saturado da superfície do solo, determinando sua suscetibilidade a ser atingido por efeitos adversos de uma carga contaminante aplicada na superfície (Foster, 1987).

Este trabalho tem por objetivo mapear a vulnerabilidade de parte da Bacia Sedimentar do Baixo Curso do rio Paraíba utilizando o método GOD. Foram confeccionados mapas temáticos, tendo como produto final o mapa da vulnerabilidade da região em estudo.

2. Metodologia de Trabalho

2.1. Área de Estudo

A Região do Baixo Curso do rio Paraíba (Figura 1), corresponde a uma porção da bacia sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba. A Região do Baixo Curso do rio Paraíba situa-se na parte litorânea do Estado da Paraíba. A área de estudo é de 1.129,35 km², abrange total ou parcialmente 10 municípios entre os quais João Pessoa, capital do estado, com 674.762 habitantes.

A cidade de João Pessoa situa-se sobre o sistema aquífero Pernambuco-Paraíba. O aquífero é composto pelas formações Beberibe inferior e superior e a formação Barreiras. A formação Beberibe é constituída de arenitos e a presença de rochas carbonáticas na porção

superior desse aquífero propicia a formação de águas de elevada dureza. A formação Barreiras originada no Terciário e por sedimentos fluvio-marítimos (areias, calcários conchíferos, etc.), aluviais (areias, siltes e argilas) e de praias (areias finas). Ver Figura 2.

Foram selecionados 35 poços na área de estudo e no seu entorno (Figura 3), sendo 21 poços do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas do Serviço Geológico do Brasil (SIAGAS, 2010) e 14 poços do Cadastro de Costa *et al* (2007). As informações contidas nos cadastros referem-se à localização, ao perfil litológico, nível estático, tipo do aquífero entre outros.

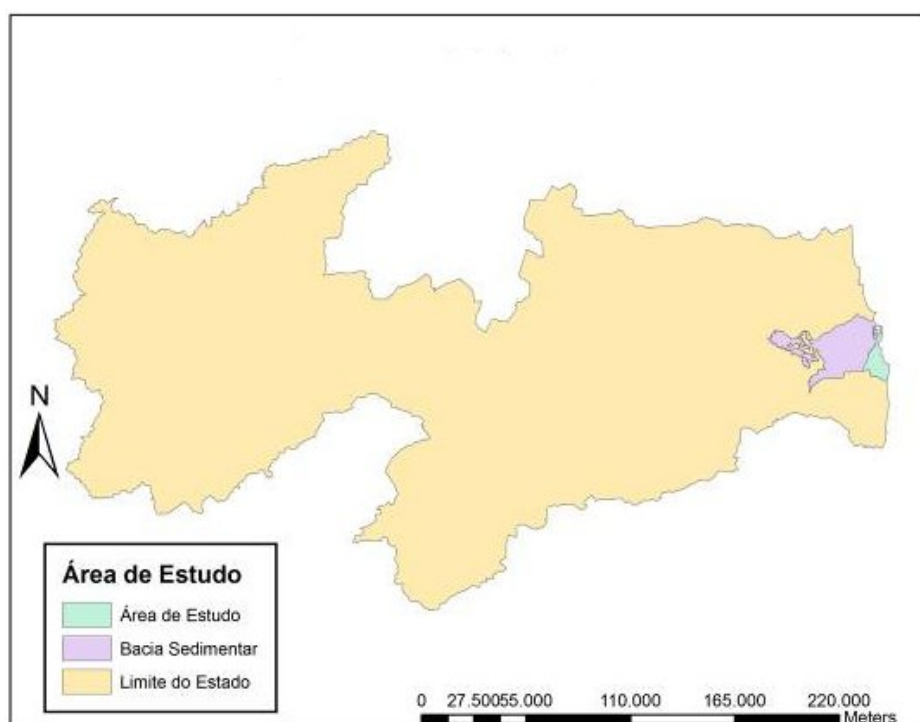


Figura 1 - Localização da porção sedimentar da Região do Baixo Curso do rio Paraíba.

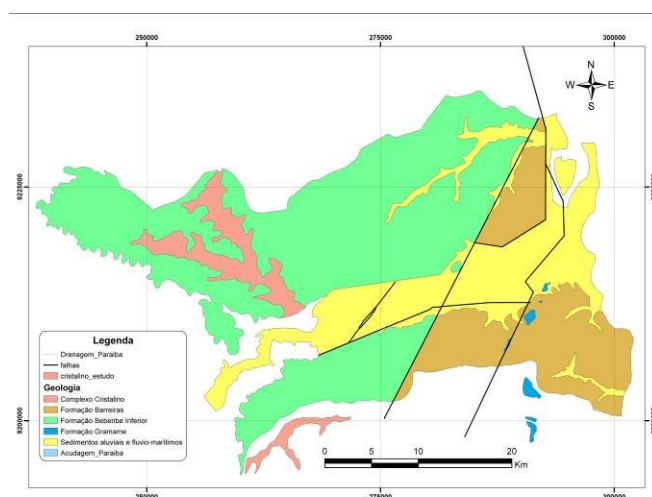


Figura 2 – Geologia da área de estudo (Fonte: ASUB, 2009).

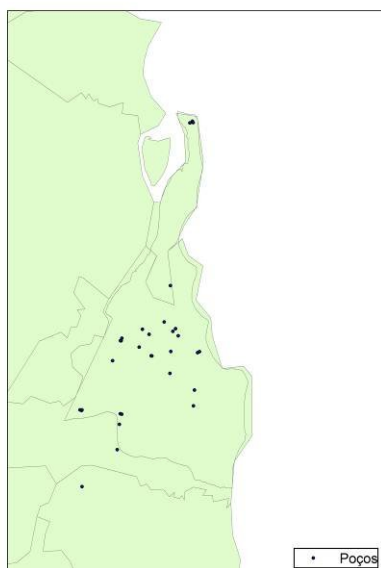


Figura 3 – Distribuição dos poços na área de estudo.

2.2. Método GOD

Para determinar a vulnerabilidade do aquífero à contaminação, são considerados o grau de inacessibilidade hidráulica da zona saturada do aquífero e a capacidade de atenuação dos estratos de cobertura da porção saturada do aquífero. Com base em tais considerações, o índice de vulnerabilidade GOD (Foster, 1987; Foster e Hirata, 1988) caracteriza a vulnerabilidade do aquífero à contaminação conforme os seguintes parâmetros:

G - Grau de confinamento da água subterrânea;

O - Ocorrência de estratos de cobertura;

D - Distância até o lençol freático ou o teto do aquífero confinado;

Para cada parâmetro acima há um respectivo índice, de acordo com a Figura 4. O produto dos três índices determina o grau de vulnerabilidade do aquífero (Tabela 1).

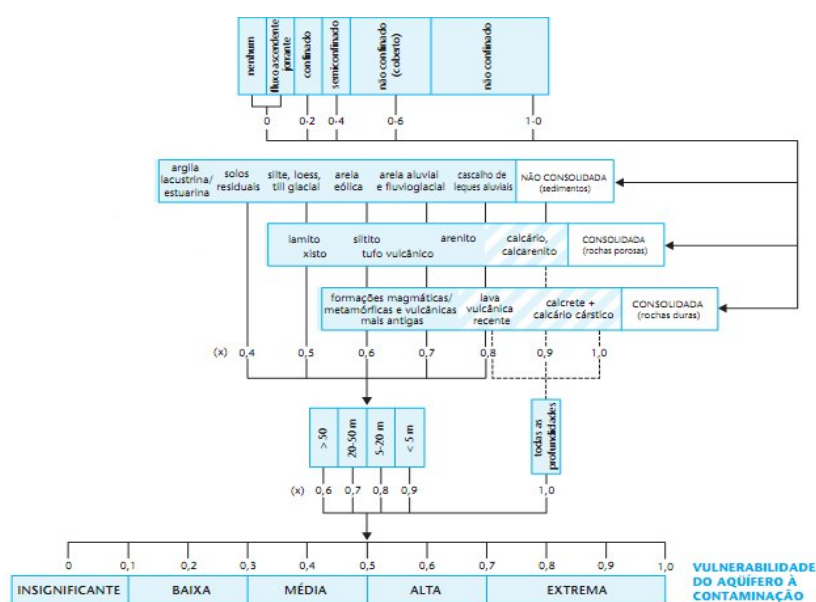


Figura 4 – O método de vulnerabilidade GOD (FONTE: Feitosa *et al*, 2008).

Para o grau de confinamento da água subterrânea foi indexado a escala de 0,0 a 1,0. A especificação dos estratos de cobertura da zona saturada do aquífero é determinada em termos do grau de consolidação e pela característica da litologia de permeabilidade e a porosidade do solo da zona não saturada, levando a uma segunda pontuação, numa escala de 0,4 a 1,0. O último parâmetro estima a profundidade até o lençol freático, no caso dos aquíferos livres, ou a profundidade do primeiro nível principal da água, para aquíferos confinados, com uma classificação na escala de 0,6 a 1,0.

Tabela 1- Classes de Vulnerabilidade

Intervalo	Classe	Características
0,0 -0,1	Insignificantes	Desconsidera a camadas confinantes com fluxos verticais descendentes não significativos.
0,1 – 0,3	Baixa	Vulnerável a contaminantes conservativos em longo prazo, quando continuamente e amplamente lançado.
0,3 – 0,5	Média	Vulnerável a alguns poluentes, mas somente quando continuamente lançado.
0,5 – 0,7	Alta	Vulneráveis 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: Adaptado de Foster & Hirata (1988).

2.3. Modelagem Espacial

Para a implementação do modelo de vulnerabilidade GOD, é necessário que toda a informação envolvida seja representada por *planos de informação espacial* e que os mapas resultantes sejam obtidos a partir da modelagem destes planos conforme esquematizado na Figura 4. Ou seja, a maneira como estes planos serão combinados, operados, consultados, etc, estabelecida através do método GOD, definirá os resultados a serem obtidos.

O conceito de “modelagem espacial” adotado neste trabalho baseia-se nos conceitos de “modelagem de adequação” (do inglês: “suitability modeling”) (ESRI, 2000; Burrough & Mcdonnell, 1998), “modelagem de adequação de uso do solo” (do inglês: “land-use suitability modeling”) (Brail & Klosterman, 2001; Longley *et al*, 1999) e “modelagem cartográfica” (do inglês: “cartographic modeling”) (Sendra, 1997; Malczewski, 1999).

Todos estes conceitos, amplamente difundidos na literatura científica da área de geoprocessamento (cuja tradução para a língua portuguesa nem sempre expressa de forma satisfatória seu real significado), dizem respeito às atividades de análise espacial em SIG e envolvem uma série de operações e relações entre os mapas, suas interações com os dados não espaciais (tabelas, textos, etc), dados intermediários derivados dos originais, enfim, todos os procedimentos necessários ao processo de modelagem espacial de informações.

Para a obtenção dos mapas utilizou-se a extensão *Spatial Analyst Tool* do ArcGIS 9.2[®] realizando uma interpolação dos valores de cada parâmetro dos poços para área de estudo. Essa operação permitiu obter mapas em formato matricial onde os pixels indicam os valores dos parâmetros interpolados para todo o espaço amostral.

2.3.1. Métodos de Interpolação

A interpolação espacial consiste em um procedimento que permite calcular o valor de uma variável em uma posição do espaço, (pontos não amostrais, com um valor estimado),

[®] ArcGIS 9.2, Spatial Analyst são marcas registradas da ESRI *inc*.

conhecendo os valores destas variáveis em outras posições do espaço (pontos amostrais com valores reais) (Sendra, 1997).

Para apoiar a escolha por um dos diversos métodos de interpolação disponíveis alguns testes foram realizados. Para tanto, após realizada a interpolação, uma das amostras foi retirada e os dados novamente interpolados para uma comparação entre o dado observado (amostra) e o dado interpolado. Desta forma observou-se que para este conjunto de dados a *Krigagem* (Kriging) não apresentou bons resultados.

Desta forma, utilizou-se o método IDW que corresponde à interpolação entre cada ponto como uma influência local, diminuindo à medida que a distância entre os pontos aumenta. Este método apresentou valores mais próximos entre o dado observado e o medido.

O método de interpolação IQD é uma ferramenta de análise espacial que assume que cada amostra de ponto tem influência local que diminui com a distância. Este método admite que os pontos mais próximos, para o processamento da célula, influam mais fortemente que aqueles mais afastados. O uso de interpolador IQD é recomendado quando a variável a ser mapeada diminui com a distância na localização amostrada (Wei e McGuinness, 1973).

Neste sentido, foram confeccionados três superfícies (Figura 5) no software ArcGIS 9.2[®] e suas extensão *Spatial Analysis Tool*, são elas:

a) Mapa de Ocorrência da água subterrânea (G)

Elaborado a partir das unidades geológicas regionais localizadas nas fichas cadastrais de cada poço. Para este estudo utilizou-se o aquífero confinado, semi-confinado e o livre.

Tabela 2 – Informações utilizadas para interpolação dos dados

Localidade	Nível Estático (m)	G	O	D
Alto do Mateus II	46,05	0,20	0,51	0,70
Cabo Branco	32,70	0,20	0,69	0,70
Cabedelo II	1,00	0,20	0,76	0,90
Cabedelo III	3,05	0,20	0,66	0,90
Colônia Juliano Moreira	42,00	0,20	0,76	0,70
Conjunto Paratibe	43,50	0,20	0,74	0,70
Conjunto Valentina Figueiredo	37,06	0,40	0,73	0,70
Conjunto Vieira Diniz	24,60	0,20	0,62	0,70
Funcionário II	49,60	0,20	0,64	0,70
Espaço Cultural	54,00	0,20	0,52	0,60
Hospital Gen. Edson Ramalho	40,70	0,20	0,64	0,70
INOCOP	37,85	1,00	0,58	0,70
Instituto de R. do Menor	25,00	0,20	0,64	0,70
João Pessoa (Buraquinho)	4,50	0,20	0,68	0,90
Resinor	17,00	0,20	0,68	0,80
Torre R-6	51,80	0,20	0,68	0,60
Bra Sauto	23,53	0,20	0,73	0,70
CIAD	32,68	0,40	0,76	0,70
CIEF/CODEF	38,20	0,40	0,53	0,70
Conj. J. Vieira Diniz	24,60	0,20	0,64	0,70
Cruz das Armas	62,80	0,20	0,56	0,60
Funcionários II	37,50	0,20	0,60	0,70
Gramame/Engenho Velho	44,60	0,20	0,65	0,70
Mata de Buraquinho	4,50	0,20	0,62	0,90
Altiplano	32,00	0,40	0,51	0,70

[®] ArcGIS 9.2 , Spatial Analyst são marcas registradas da ESRI inc.

Coner	43,50	0,20	0,49	0,70
Anatólia	32,93	0,20	0,65	0,70
Mangabeira R7	38,65	0,20	0,65	0,70
Conj J Vieira	26,80	0,20	0,64	0,70
Cabedelo	4,70	0,20	0,75	0,90
Bancários	44,40	0,20	0,73	0,70
Conde 1	85,00	0,20	0,63	0,60
Pitimbu 1	1,00	0,20	0,63	0,90
Castelo Branco	170,00	0,20	0,62	0,60
Santa Rita	3,89	0,20	0,7	0,90

b) Mapa de litologia da zona não saturada (O)

Para este mapa foram utilizados dados dos perfis litológicos disponíveis em suas fichas cadastrais. Para cada camada do perfil foi atribuído um valor conforme a metodologia descrita, e foi realizada uma média com os valores de cada camada.

c) Mapa de profundidade do lençol freático (D)

Criado através das informações de profundidade do nível estático de cada poço cadastrado.

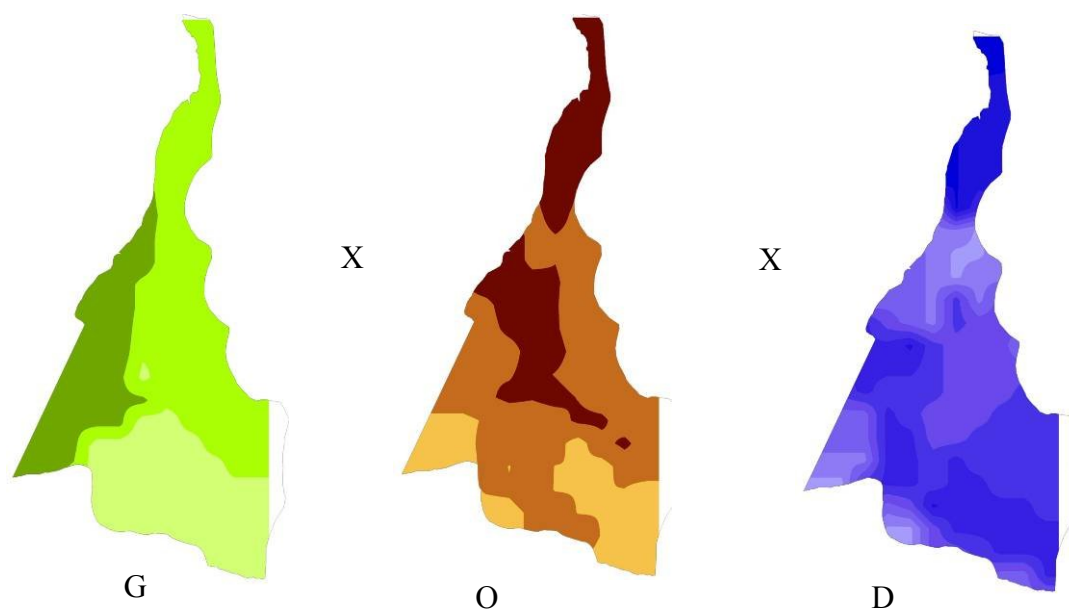


Figura 5 – Mapas Temáticos de cada plano de informação do método GOD.

2.3.2. Aplicação do método GOD: obtenção do mapa de vulnerabilidade

Um conceito comum em geoprocessamento é o conceito de *álgebra de mapas*. Enquanto na álgebra convencional as variáveis são representadas por símbolos como “x” ou “y”, na álgebra de mapas os próprios mapas ou planos de informação representam as variáveis. Ou seja, um valor ou atributo associado a uma feição de mapa (no caso de dados vetoriais), ou a uma célula (no caso de dados raster) representa uma variável na álgebra de mapas. Alguns SIGs disponibilizam uma ferramenta similar a uma calculadora para realizar estas operações de álgebra de mapas (ArcView GIS, IDRISI, etc). Estas “calculadoras de mapas” permitem de forma interativa a construção de expressões numéricas que produzem um novo plano de informações.

O mapa de vulnerabilidade foi confeccionado a partir da sobreposição dos três mapas referentes aos parâmetros requeridos na metodologia “GOD”. A Figura 5 ilustra o cálculo realizado para a geração deste mapa. A sobreposição foi feita com a ferramenta do *ArcToolBox* > *Math* > *Times*. Esta ferramenta multiplica dois planos de informação em formato raster realizando a multiplicação “pixel a pixel”, gerando um novo plano de informação onde o valor de cada pixel é o resultado desta multiplicação. A Figura 6 representa o plano de informação resultante desta operação.

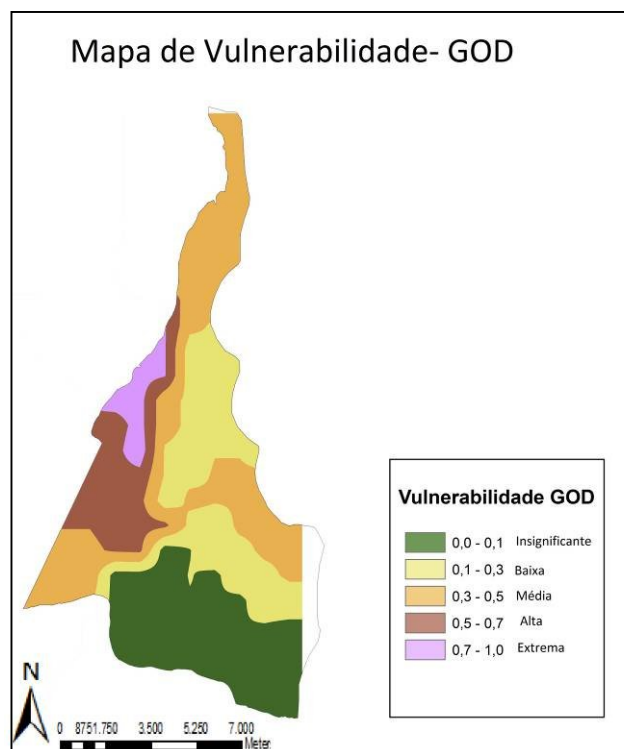


Figura 6 – Mapa de Vulnerabilidade.

3.0. Resultados e Discussão

A parte sul do mapa (Figura 6) apresenta a vulnerabilidade insignificante (ou muito baixa), enquanto a parte norte indica um valor de vulnerabilidade médio. Ressalta-se a importância da proteção dos recursos hídricos subterrâneos, com o intuito de minimizar os possíveis impactos ambientais em áreas com alta e/ou extrema vulnerabilidade. Sugere-se um planejamento do uso e ocupação do solo associada à gestão eficaz dos recursos hídricos.

A utilização de geoprocessamento apresenta-se como uma ferramenta útil na tomada de decisão, pois através de técnicas espaciais obteve-se o mapa de vulnerabilidade com delimitações de áreas conforme seu grau de suscetibilidade, além de extrapolar informações em locais sem dados.

O método GOD, neste caso, mostrou-se válido para a área de estudo. Outros métodos de obtenção da vulnerabilidade de aquíferos devem ser utilizados e comparados seus resultados para uma tomada de decisão melhor apoiada na gestão dos recursos hídricos subterrâneos nesta área.

Vale salientar que para um mapa mais confiável, em qualquer método, dever-se-ia utilizar um maior número de poços cadastrados (amostras) com as informações necessárias para a confecção dos mapas temáticos.

4.0. Agradecimentos

À CAPES e ao CNPq pela concessão de bolsas de mestrado e ao MCT/FINEP/CT-HIDRO pelo financiamento do projeto ASUB.

5.0. Referências Bibliográficas

- ASUB (2009). Integração dos Instrumentos de Outorga, Enquadramento e Cobrança para a Gestão das Águas Subterrâneas. Relatório Parcial I. Agosto de 2009.
- COSTA, W. D.; ALBUQUERQUE, J. do P. T. de; BRANCO, R. L. de C.; MARANHÃO, C. M. L.; GOLDFABER, M. (2007). Estudo de caracterização e verificação da disponibilidade hídrica da vertente litorânea do estado da Paraíba. Estudos Hidrogeológicos. Relatório Final. Tomo I – Texto. Ministério da Integração Nacional.
- BRAIL, R.K., KLOSTERMAN, R.E. (2001). Planning Support Systems, ESRI Press, Redlands, CA.
- BURROUGH, P. A. MCDONNELL R. A. (1998). Principles of Geographic Information Systems. Oxford, Oxford University Press.
- ESRI - Environmental Systems Research Institute, (2000). ModelBuilder for ArcView Spatial Analyst 2 - An ESRI White Paper. Redlands, May, 2000.
- FEITOSA, F.; MANUEL FILHO, J.; DEMÉTRIO, J. G. A. & FEITOSA, E. C. (Coordenadores). (2008). Hidrogeologia Conceitos e Aplicações. CPRM. 812p.
- FOSTER, S.S.D. (1987) Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy, in W. van Duijvanbooden and H.G. van Waegeningh (eds.), Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollution, Proceedings and Information No. 38 of the International Conference held in the Netherlands, in 1987, TNO Committee on Hydrological Research, Delft, The Netherlands.
- FOSTER, S. S. D. E HIRATA, R. C. A. (1988). Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data. WHO-PAHO/HPE-CEPIS Technical Manual, Lima, Peru. 81p.
- LONGLEY, P.A., GOODCHILD, M.F., MACGUIRE, D.J., RHIND, D.W. (1999). Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Applications, and Management, John Wiley & Sons, New York.
- MALCZEWSKI, Jacek (1999). Gis and Multicriteria Decision Analysis. John Wiley & Sons, Inc. New York, USA.
- SENDRA, Joaquín Bosque. (1997). Sistemas de Información Geográfica. Ediciones Rialp, S.A. Madrid.
- SIAGAS (2010). Serviço Geológico do Brasil. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>. Acessado em: 02 de Novembro de 2010.
- WEI, E.C.; McGUINNESS, J.L. (1973). Reciprocal distance squared method: a computer technique for estimating areal precipitation. Illinois: Agricultural Research Service, Department of Agriculture. (Report ARS-NC-8).