

## IV-230 - MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE NATURAL À CONTAMINAÇÃO DE AQUÍFERO NO MUNICÍPIO DE HUMAITÁ/AM

**Miqueias Lima Duarte<sup>(1)</sup>**

Graduando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Amazonas - Campus Vale do Rio Madeira. Bolsista de Iniciação Científica e Tecnológica/PAITI/UFAM.

**Fabício Berton Zanchi<sup>(2)</sup>**

Graduado em Licenciatura plena em Matemática pela Universidade Federal de Rondônia (UNIR/RO). Mestre em Meteorologia pela Universidade de São Paulo (USP/SP). Doutor em Ecohidrologia pela VU University of Amsterdã-Holanda, professor adjunto no curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Amazonas.

**Juliana Rocha Duarte Neves<sup>(3)</sup>**

Graduada em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Amazonas.

**Willian Barros do Nascimento<sup>(4)</sup>**

Graduando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Amazonas.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua FCO Monteiro Neto – São Pedro - Humaitá - Amazonas - CEP: 69800-000 - Brasil - Tel: +55 (97) 98121-3364 - e-mail: [miqueias-lima-2014@hotmail.com](mailto:miqueias-lima-2014@hotmail.com).

### RESUMO

A água subterrânea é um recurso natural vital para o abastecimento das necessidades humanas, deste modo é fundamental a manutenção dos recursos naturais e cooptar por um melhor gerenciamento e uso. No entanto, a sua desordenada extração juntamente com as atividades exercidas na superfície são os principais meios de degradação. Neste sentido, o presente estudo mapeou a vulnerabilidade natural à contaminação do sistema de aquífero constituído de Sedimentos Aluvionares na área urbana do município de Humaitá, no sul do Amazonas, por meio do método GOD - *Groundwater hydraulic confinement Overlaying strata Depth to groundwater table*. Foram avaliados os dados geológicos e hidrogeológicos de 35 poços extraídos do banco de dados SIAGAS e GEOBANK (CPRM). O parâmetro “G” obteve índice igual a 1,0. Já o parâmetro “O” os índices foram 0,6 a 0,66 e o parâmetro “D” variou entre 0,7 a 0,9. Com a interpolação Inverso Ponderado da Distância possibilitou verificar espacialmente a concentração dos índices de vulnerabilidade em cada local de amostragem, este variado entre 0,48 a 0,6. Logo, os resultados obtidos revelaram a predominância de vulnerabilidade médio/alta para a área de estudo, indicando a necessidade do desenvolvimento de ações públicas de gestão e proteção da água subterrânea no município.

**PALAVRAS-CHAVE:** Vulnerabilidade do lençol, Método GOD, Interpolação.

### INTRODUÇÃO

Os sistemas de águas subterrâneas são fontes naturais bem mais resistentes à poluição do que os de águas superficiais, geralmente, são fontes de boa qualidade que possibilitam a utilização sem grandes custos, deste modo, tais fontes vêm sendo utilizadas em grande escala para abastecimento de cidades e núcleos urbanos, bem como nas indústrias e na irrigação (Marengo e Dias, 2006).

No Brasil, atualmente, 39% dos municípios são abastecidos exclusivamente por fontes subterrâneas. No estado do Amazonas, 44 municípios são abastecidos por tais fontes, onde o município de Humaitá, no sul do estado, é exclusivamente abastecido por águas subterrâneas (ANA, 2010), o sistema de aquífero da região do tipo superficial (aquífero livre) formado ao longo das margens dos grandes rios amazônicos constituído em sua formação por Depósitos Aluvionares.

Mesmo sendo fontes de água de qualidade, pelo fato de estarem protegidas naturalmente, algumas atividades exercidas na superfície podem tornar vias de contaminação da água subterrânea, pondo em risco a qualidade da água presente no aquífero (Almeida et al., 2006; Tucci e Cabral, 2003; Campos e Reis, 2002).

Foster et al. (2002) relaciona a vulnerabilidade à contaminação de águas subterrâneas com características hidrogeológicas locais, onde tais características podem ser mapeadas a fim de facilitarem a avaliação dos perigos e possibilitando a tomada de decisão para proteger sua qualidade.

## OBJETIVO

O objetivo deste estudo é realizar o mapeamento da vulnerabilidade natural à contaminação das águas subterrâneas na área urbana do município de Humaitá, sul do estado do Amazonas, com a aplicação do método GOD (*Groundwater hydraulic confinement Overlaying strata Depth to groundwater table*), e avaliar espacialmente as classes de vulnerabilidade na área.

## MATERIAL E MÉTODOS

Utilizou-se registros de 35 poços tubulares localizados na região urbana do município de Humaitá (Figura 1), os mesmos foram extraídos do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas/SIAGAS da Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais/CPRM. O critério de busca de dados deu-se com base nos registros do SIAGAS, obtendo dados que corresponde o período chuvoso para região (Outubro/Julho), sendo adquiridas informações de coordenadas UTM, nível estático e formação geológica.

Complementares sobre a Geodiversidade do município foram extraídos do sistema de Informação Geográficas GEOBANK/CPRM de geologia do estado do Amazonas escala 1:1.000.000.

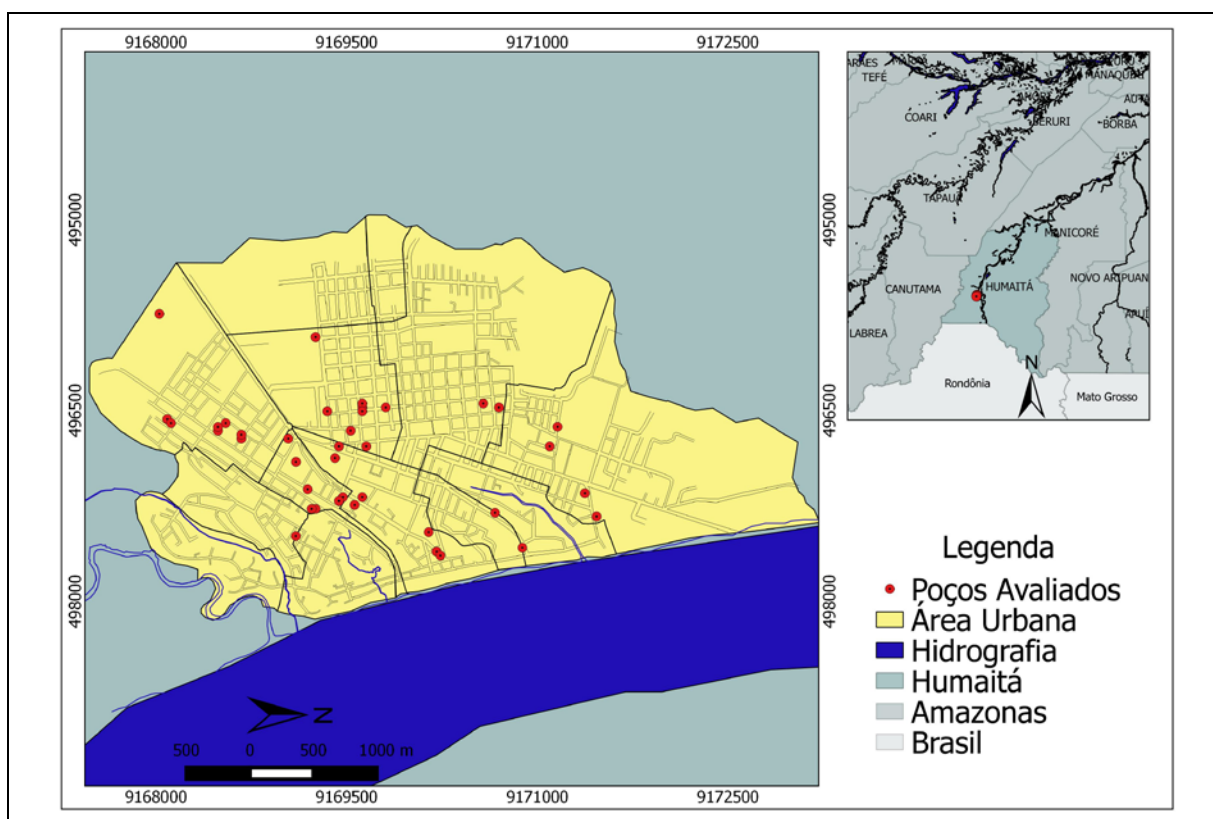


Figura 1. Área de estudo, poços avaliados e hidrografia.

Foi observada a Formação Içá predominante na área de estudo seguido de Aluvionares, com base na descrição litológica para as respectivas formações observa-se a presença de areia/cascalho/argila, (Formação Içá) este sendo predominante nos poços avaliados (20 poços), seguida de arenito/argilito/silito (Depósitos Aluvionares) num total de 15 registros para a área de estudo.

## MÉTODO GOD

Com base nos dados obtidos, foi aplicado o método GOD como descrito por Foster et al. (2002), o método baseia-se na análise de três parâmetros “G” “O” e “D”, sendo o índice de vulnerabilidade o produto destes.

O parâmetro representado por “G” (*Groundwater hydraulic confinement*) corresponde ao grau de confinamento do aquífero, este varia de 0 a 1. O parâmetro “O” (*Overlaying strata*) que corresponde ao tipo de litologia encontrada na zona não saturada varia de 0,4 a 1. E o parâmetro “D” (*Depth to groundwater table*) que corresponde à profundidade do nível d’água, este varia de 0,6 a 1 (Foster et al., 2002). A Figura 2 ilustra as etapas na obtenção do índice de vulnerabilidade pelo método GOD.

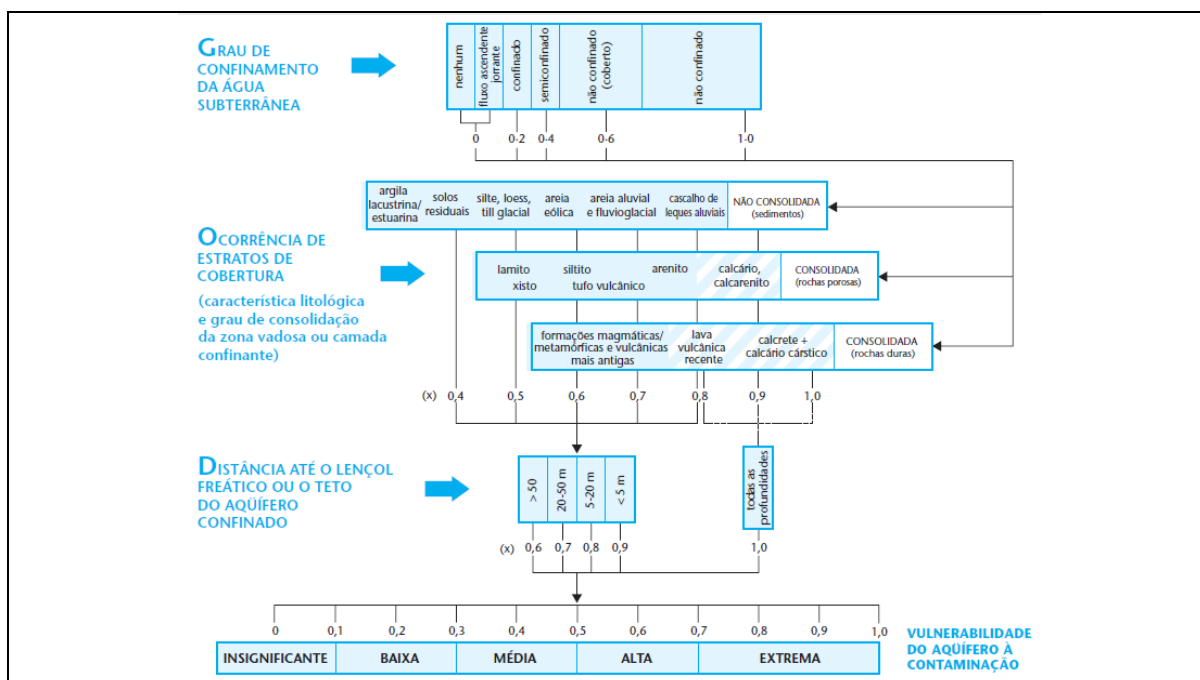


Figura 2. Sistema GOD de Avaliação de vulnerabilidade. Fonte: Foster et al. (2002).

O índice de vulnerabilidade (IV) do aquífero é o produto dos três índices, onde valores mais próximos de 0 correspondem a menores índices de vulnerabilidade, já valores mais próximos de 1 correspondem a maiores índices de vulnerabilidade.

## DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE

O sistema de aquífero da área é do tipo poroso não confinado, ou seja, constituído por uma formação geológica permeável e superficial e limitado na base por uma camada impermeável, tal sistema de aquífero sendo mais vulneráveis recebem uma pontuação mais alta na escala de avaliação (Foster et al., 2002), logo foi estabelecido o valor 1,0 para o parâmetro “G” que corresponde ao tipo de aquífero.

Com respeito à pontuação dada às propriedades litológicas (parâmetro “O”), a cobertura vadosa é do tipo poroso sendo observada a litologia predominante arenosa em ambas as características litológicas, onde foram empregados 0,6 para litotipo areia/cascalho/argila (Formação Içá) e 0,66 para litotipo arenito/argilito/silito (Depósitos Aluvionares).

Já o parâmetro “D”, Barbosa et al., (2011) cita a importância da avaliação do fator relacionado a distância até o nível freático da água subterrânea, pois quando se trata de um mesmo sistema de aquífero, pequenas alterações na distância até o nível freático alteram significante o índice de vulnerabilidade, caso verificado no presente estudo, onde o nível estático dos poços apresentaram valores variando entre 4 a 20 metros, onde a pontuação dada variou entre 0,7 a 0,9 (Tabela 1).

**Tabela 1. Identificação dos poços, localização dos poços, Nível Estático, Formação Geológica, Parâmetros G, O, D e índice de vulnerabilidade (IV).**

ID	UTM E	UTM N	NE (m)	Formação Geológica	G	O	D	IV
1	497119	9169193	10,00	Formação Içá	1	0,6	0,8	0,48
2	496874	9169408	8,00	Formação Içá	1	0,6	0,8	0,48
3	497609	9170207	12,00	Formação Içá	1	0,6	0,8	0,48
4	496659	9168487	12,00	Formação Içá	1	0,6	0,8	0,48
5	496599	9168548	12,00	Formação Içá	1	0,6	0,8	0,48
6	497273	9169255	20,00	Formação Içá	1	0,6	0,7	0,42
7	496506	9169347	12,00	D.Aluvionares	1	0,66	0,8	0,53
8	497304	9170667	12,00	Formação Içá	1	0,6	0,8	0,48
9	496629	9168487	7,40	Formação Içá	1	0,6	0,8	0,48
10	496782	9169439	10,00	D.Aluvionares	1	0,66	0,8	0,53
11	496782	9169654	10,00	D.Aluvionares	1	0,66	0,8	0,53
12	497181	9169623	10,00	D.Aluvionares	1	0,66	0,8	0,53
13	497456	9170145	14,00	D.Aluvionares	1	0,66	0,8	0,53
14	496476	9169623	12,00	D.Aluvionares	1	0,66	0,8	0,53
15	496599	9168118	12,00	D.Aluvionares	1	0,66	0,8	0,53
16	496445	9170575	12,00	Formação Içá	1	0,6	0,8	0,48
17	497487	9169100	12,00	Formação Içá	1	0,6	0,8	0,48
18	497578	9170882	10,00	D.Aluvionares	1	0,66	0,8	0,53
19	496445	9169623	11,50	D.Aluvionares	1	0,66	0,8	0,53
20	497640	9170237	18,20	Formação Içá	1	0,6	0,8	0,48
21	496659	9169531	6,00	D.Aluvionares	1	0,66	0,8	0,53
22	497333	9171466	12,70	D.Aluvionares	1	0,66	0,8	0,53
23	497181	9169470	12,00	D.Aluvionares	1	0,66	0,8	0,53
24	496782	9171097	4,00	D.Aluvionares	1	0,66	0,9	0,60
25	497150	9171374	12,00	Formação Içá	1	0,6	0,8	0,48
26	497242	9169562	12,00	Formação Içá	1	0,6	0,8	0,48
27	496506	9169623	12,00	Formação Içá	1	0,6	0,8	0,48
28	497211	9169439	12,00	Formação Içá	1	0,6	0,8	0,48
29	496476	9170698	9,80	Formação Içá	1	0,6	0,8	0,48
30	496721	9168671	12,00	Formação Içá	1	0,6	0,8	0,48
31	495923	9169255	8,00	Formação Içá	1	0,6	0,8	0,48
32	496690	9168671	12,00	Formação Içá	1	0,6	0,8	0,48
33	496628	9171159	4,00	D.Aluvionares	1	0,66	0,9	0,60
34	496476	9169807	8,00	Formação Içá	1	0,6	0,8	0,48
35	496904	9169101	12,00	D.Aluvionares	1	0,66	0,8	0,53

Após a obtenção do IV, foi realizada a confecção de mapas com a utilização do Software Quantum GIS 2.4. Foram confeccionados mapas temáticos da área de estudo, bem como a interpolação dos índices de vulnerabilidade natural da área.

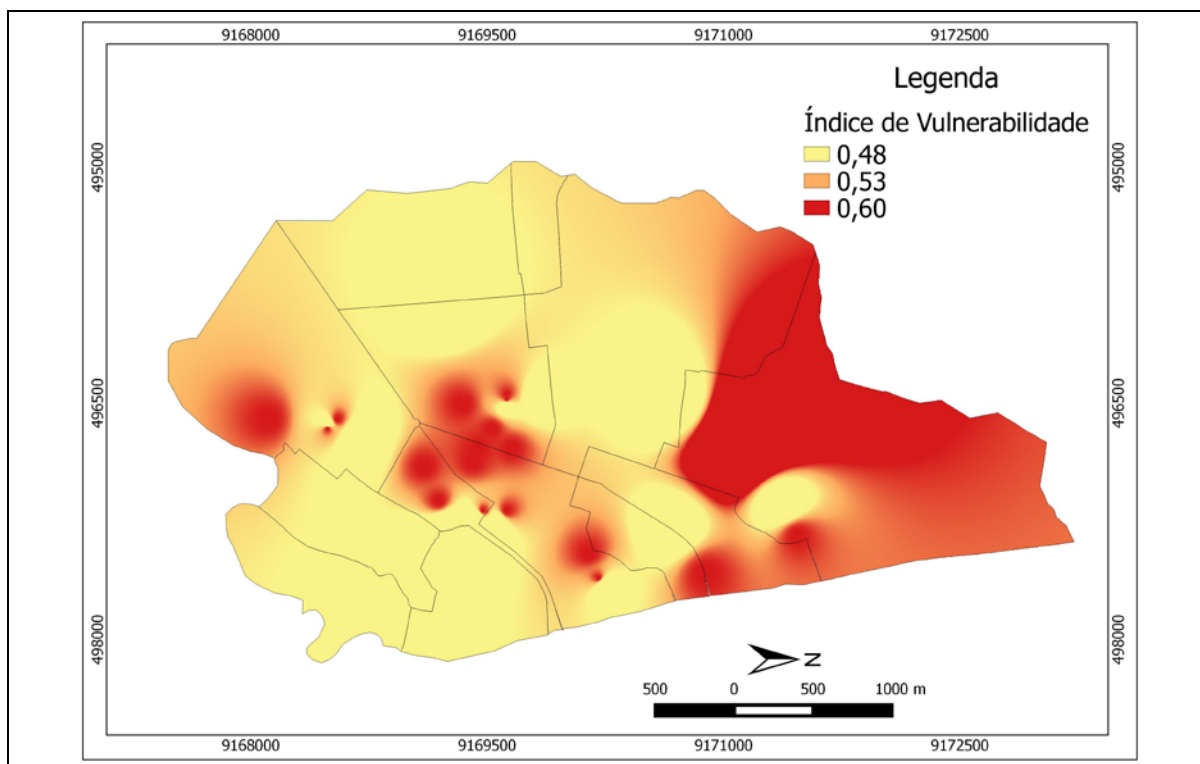
O método Inverso Ponderado da Distância (IDW) foi utilizado na interpolação dos dados, este determina os valores dos pontos utilizando uma combinação linear ponderada dos pontos amostrados. O peso de cada ponto é o inverso de uma função da distância (Marcuzzo et al., 2011). Esse método permite a criação de uma superfície *raster layer* geocodificado em matrizes de células discretas com estimativas feitas para todas as células de varredura.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como observado na Tabela 1, o índice “G” (*Groundwater hydraulic confinement*) não apresentou variações, pois a área de estudo corresponde apenas a um tipo de aquífero (livre). Já o índice “O” (*Overlaying strata*) apresentou uma pequena variação (0,6 – 0,66), este devido às proximidades apresentadas entre características litológicas da Formação Içá e Depósito Aluvionares. Por outro lado, o índice “D” (*Depth to groundwater*)

table) foi o que apresentou maiores variações (0,7 – 0,9) agregando alterações significativas no índice de vulnerabilidade.

Com a multiplicação dos índices “G”, “O”, “D” obteve-se o IV, sendo confeccionado o mapa de vulnerabilidade (Figura 3), que possibilitou observar a distribuição dos índices para toda área de estudo.



**Figura 3. Mapa de vulnerabilidade à contaminação do município de Humaitá.**

Como observado na Figura 3, é possível identificar as áreas de vulnerabilidade alta e média na área urbana do município, onde a região norte apresenta maiores índices, seguido de um aglomerado na parte central e uma pequena área na parte sul do município. A alta vulnerabilidade encontrada nessas áreas deve-se ao fato de que a litologia é constituída de arenito/argilito/silito da Formação de Depósitos Aluvionares representando maior índice “O”, e pela sua pequena profundidade do nível estático (cerca de 4 metros), agregando altos índices de vulnerabilidade.

As demais áreas que apresentaram vulnerabilidade média correspondem em maioria as de Formação Içá, que em sua litologia está presente a fração argila, agregando menores índices juntamente com o nível estático mais profundo.

De modo geral, observa-se que a região urbana do município possui uma suscetibilidade natural à contaminação, ou seja, as características avaliadas oferecem uma baixa resistência à penetração de poluentes, estes devido à permeabilidade dos litotipos da Formação Içá/Aluvionares juntamente ao tipo de confinamento de aquífero apresentando profundidade de nível estático raso característico de aquíferos não confinados.

Nesse sentido, devem-se tomar alguns cuidados quanto ao uso e ocupação do solo na área. O cadastro de fontes potenciais geradoras de contaminante pode auxiliar no melhor planejamento de uso e ocupação do solo, a avaliação do perigo à contaminação pode servir como auxílio no melhor gerenciamento dos recursos subterrâneos do município.



## CONCLUSÃO

Com a aplicação do método GOD obtiveram-se dados pontuais, onde a vulnerabilidade do aquífero foi espacializada para toda área urbana do município com a interpolação IDW. A confecção do mapa de vulnerabilidade possibilitou identificar as áreas de média e alta vulnerabilidade na região, com a aplicação do método observou-se a fragilidade do sistema de aquífero decorrente das características geológicas e hidrogeológicas que o constitui. O que requer um cuidado específico quanto ao uso e ocupação do solo, pois como verificado no estudo, há predominância de alta vulnerabilidade praticamente em toda área.

Estudos durante o período seco são de fundamental importância para a comparação com os resultados de vulnerabilidade à contaminação encontrada no período chuvoso. Por fim, a confecção do mapa de vulnerabilidade possibilitou a identificação da fragilidade à contaminação do aquífero, logo é de suma importância a adoção de políticas públicas que visem o melhor gerenciamento e proteção dos recursos hídricos subterrâneos do município.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado do Amazonas/FAPEAM e o Programa de Apoio a Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação no Amazonas - PAITI pela concessão de bolsas e implementação do Laboratório de Hidrometeorologia da Universidade Federal do Amazonas – Campus Vale do Rio Madeira.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Almeida, F. R.; Espindula, J. C.; Vasconcelos, U.; Calazans, G. M. T. Avaliação da Ocorrência de Contaminação Microbiológica no Aquífero Freático Localizado Sob o Cemitério da Várzea em Recife - PE. **Revista Águas Subterrâneas**, São Paulo, v.20, n.2, p.19-26, 2006.
2. ANA. **Atlas Brasil: Abastecimento Urbano de Água: Panorama Nacional**. Agência Nacional de Águas, Engenheiros/Cobrape. Brasília, v. 1 e 2. 2010.
3. Barbosa, C. M.; Carvalho, A. M.; Ikematsu, P.; Filho, J. L. A. Cavani, A. C. M. Avaliação do Perigo de Contaminação do Sistema Aquífero Guarani em Sua Área de Afloramento do Estado de São Paulo decorrente das Atividades Agrícolas. **Revista Águas subterrâneas**, São Paulo, v.25, n.1, p.1-14, 2011.
4. CAMPOS, J.; REIS, M: Avaliação Hidrogeológico da Área Urbana do Município de Ariquemes – Rondônia. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas; Suplemento XII. **Revista Águas Subterrâneas**, São Paulo. 2002.
5. FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PA-RIS, M. **Proteção da Qualidade da Água Subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. Groundwater Management Advisory Team (GW.MATE) em parceria com a Global Water Partnership, copatrocinio da OMS-OPAS-CEPIS & UNESCO-ROSLAC-PHI. Banco Mundial. Washington, D.C., 2002.
6. GEOBANK. CPRM. **Mapas Geológicos Estaduais** - CPRM- Serviço Geológico do Brasil. 2014. Disponível em: <<http://geobank.sa.cprm.gov.br>> acesso em: 26 Nov. 2014.
7. IBGE- Mapeamento das Unidades Territoriais. Mapa de Setor Censitário urbano 2007. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias>> Acessado em: 24/08/2014.
8. Marcuzzo, Francisco F. N.; Lucas R. de Andrade.; Denise C. R. Melo. Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso, **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife. v.4, 2011.
9. Marengo, J. A.; Dias, P. L da Silva. **Águas subterrâneas**. Águas doces do Brasil. Capital Ecológico, Uso e Conservação/ organizadores Aldo da Cunha Rebouças, Benedito Braga, José Galizia Tundisi. - 3. ed. – São Paulo: **Escrituras Editora**, 2006. p. 111-140.
10. QGIS Development Team. QGIS Sistema de Informação Geográfica; **Abra Projeto Source Geospatial Foundation**. Disponível em < <http://qgis.osgeo.org> > acesso em: 20 Set. 2014.
11. SIAGAS, **Sistema de Informação de Águas Subterrâneas**. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br>> acesso em: 23 Ago. 2014.
12. Tucci, C. E. M.; Cabral, J. J. S.: **Qualidade da Água Subterrânea**; Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - CGEE. Prospeção Tecnológica, Anexo II-b, Dezembro. 2003. p. 6-36.