XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS
ÁGUA • DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIOAMBIENTAL
17 – 22 DE NOVEMBRO DE 2013 – BENTO GONÇALVES / RS

ABRH
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RECURSOS HÍDRICOS

CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGIAS DE NASCENTES SITUADAS EM DIFERENTES MODELADOS DE RELEVO

Paulo Rodrigo Zanin[1] & Nadia Bernardi Bonumá[2] & Pedro Luiz Borges Chaffe[3]*

Resumo

As nascentes são feições hidrogeológicas que formam as cabeceiras dos rios, assim, sua identificação e preservação são fundamentais para a gestão dos recursos hídricos. No entanto, a caracterização de nascentes envolve a compreensão de complexas interações de processos hidrológicos e geomorfológicos. Desta forma o objetivo do presente estudo foi de analisar as especificidades do escoamento subterrâneo por meio de ensaios hidrogeológicos em nascentes decorrentes de dois modelados de relevo distintos. Em análise comparativa observou-se que o relevo é determinante no comportamento hidrológico de nascentes, uma vez que influência diretamente na conectividade hidrológica das feições hidrogeomorfológicas analisadas.

Palavras-Chave: Nascentes, Lençol Freático.

HYDROGEOLOGICAL FEATURES OF SPRINGS LOCATED IN DISTINCT SURFACE RELIEF

Abstract

Springs are hydrogeological features that form the headwaters of the rivers thus its identification and preservation are critical to manage the water resources. Nevertheless the spring characterization envolves the understanding of complex interections of geomorphic and hydrologic processes. Therefore, the objective of this study was to analyse the groundwater flow specifics using hydrogeological testing in springs arising from two distinct surface relief. Comparative analysis indicated that the relief has significant influence on hydrological behavior of headwaters since it directly affects the hydrologic connectivity of hydro-geomorfology features analyzed.

Keywords: Springs, Watertable.

INTRODUÇÃO

A água precipitada pode alimentar diretamente o escoamento superficial ou infiltrar no solo e contribuir para o escoamento subsuperficial. A parcela da precipitação que infiltrar e percolar pela zona de aeração do solo virá a constituir uma zona saturada, onde a água ocupará todos os poros do material pedológico, constituindo um corpo aquoso uniforme sobre uma estrutura geológica que a comportará, e exercerá ao mesmo tempo a função de reservatório e de meio de circulação, também denominado de aqüífero.

Os aqüíferos, dependendo da formação litológica e conseqüente porosidade, se dividem em três categorias, são denominados de aqüíferos de meio fraturado ou de porosidade físsural; aqüífero de meio poroso ou porosidade granular, os quais são objeto de estudo deste artigo; e aqüíferos de meio cárstico ou de porosidade química. (ROSA FILHO, *et al*, 2011)

São ainda classificados de acordo com a transmissividade da água no corpo geológico, sendo classificados em livres, confinados e semi-confinados. Os aqüíferos livres, objeto deste

[1]*Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), paulorzgeo@gmail.com
[2] Profª Adjunta do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC, nadia.bonuma@ufsc.br
[3] Prof Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC, pedro.chaffe@ufsc.br

estudo, são aqueles em que a água circula com facilidade devido a boa permeabilidade e transmissividade do aqüífero, sendo a carga hidráulica (h), compreendida somente pela altitude do ponto(z), ou carga de elevação, pois a carga de pressão (P/y) em aqüíferos livres correspondente somente a pressão atmosférica e portanto a carga de pressão será correspondente a linha d'água (CABRAL, *et al*, 2003). Esta linha d'água é compreendida pelo limite entre a zona de aeração e a zona saturada do solo compreendida pela superfície freática, a qual sob influência da gravidade acompanha a topografia do terreno, mas com uma declividade mais amena. (PRESS *et al*, 2006) Segundo Calheiros *et al* (2004), os lençóis freáticos são de formação local, tendo como área de acumulação da precipitação os limites da bacia hidrográfica.

A água proveniente do lençol freático pode vir a abastecer outro aqüífero ou então ressurgir em superfície através de rios efluentes ou de nascentes. A transição do fluxo de base para o escoamento superficial proporcionado pela feição de nascente constitui um importante processo hidrológico em função da redução do tempo de concentração na bacia hidrográfica.

As nascentes também possuem um importante viés econômico e social, pois a água filtrada naturalmente pelo solo possui sua qualidade para consumo humano condicionada somente pelo uso e cobertura da terra em sua área de contribuição, e desta forma constituindo um importante manancial para o uso consuntivo da água em meio urbano ou rural.

No entanto, as conceituações de Nascentes contidas na literatura cientifica e legal, caracterizam tal feição de forma genérica sem englobar toda a sua complexidade (FELIPPE *et al*, 2009). As formas tradicionais utilizadas para mapear e caracterizar nascentes são por meio de produtos cartográficos identificando as nascentes pelo começo dos rios, pela variabilidade sazonal de vazões, forma de ocorrência e características da feição hidrogeológica (FELIPPE *et al*, 2009; FARIA, 1997, VALENTE & GOMES 2005)

Com o intuito de aprofundar os métodos de análise sobre nascentes, o objetivo do presente estudo foi de investigar as especificidades do escoamento subterrâneo por meio de ensaios hidrogeológicos em nascentes decorrentes de dois modelados de relevo distintos, localizadas no município de Imbituba-SC.

Caracterização de Nascentes

Valente & Gomes (2003) classificam as nascentes de acordo com a transmissividade do aqüífero, constituindo nascentes de lençol freático, as quais serão analisadas neste artigo, e nascentes de lençol artesiano. Também são classificadas pela morfologia da área de ocorrência, podendo ser de contato ou de encosta, de depressão, e difusa. São de contato quando um aquifugo ou aquiclude intercepta a superfície fazendo com que a água do aqüífero freático sobreposto, ou aqüífero artesiano intercalado aflore, sendo denominado também de nascente de encosta, devido a sua ocorrência geral em sopés de morros e regiões acidentadas de forte declive. As denominadas nascentes de depressão se constituem de concentrações de água em um rebaixamento do terreno, formando os olhos d'água ou fontes. No caso de áreas saturadas em água, formando um ambiente brejoso, os quais podem gerar fluxos contínuos de água a jusante, são denominadas de nascentes difusas. Nascentes podem ainda ser originadas de falhamentos geológicos ou galerias em rochas carbonáticas.

Para CALHEIROS *et al*, (2004) ainda é possível separar as nascentes de acordo com sua formação podendo ser do tipo sem acumulo de água inicial, ocorrendo em terrenos acidentados e de forma pontual devido a inclinação da camada impermeável que intercepta o terreno em algum ponto. Também podem ser do tipo com acumulo de água inicial, o qual ocorre nas áreas mais rebaixadas de um terreno plano, onde a camada impermeável localiza-se próxima a superfície de forma paralela, formando uma nascente de tamanho considerável, semelhante a um pequeno lago.

As Nascentes podem ainda oscilar dentro das calhas fluviais, constituindo nascentes fixas e nascentes moveis (FARIA, 1996 e 1997) aumentando ou reduzindo o comprimento dos canais devido a oscilação do regime pluviométrico ou por acumulo de material orgânico nos canais de 1ª ordem, os quais formam pequenas barragens naturais (FARIA, 2000).

Área de Estudo

A nascente aqui denominada de Nascente Orográfica está situada sobre o Granitóide Paulo Lopes, conformando um Modelado de Dissecação de Morraria. O ambiente da Feição configura-se como cabeceira de drenagem com topografia concava, conformando um pequeno vale em V, possui um solo bastante úmido, com uma textura arenosa à média. Constitui uma nascente de contato sem acumulo de água inicial, onde a exfiltração da água ocorre de forma pontual entre fragmentos de rocha, figura 1.

A nascente aqui denominada de Nascente de Planície se situa em um deposito pertencente ao Sistema Laguna-Barreira IV de idade Holocênica, constituindo uma planície lacustre. Na área de estudo o solo apresenta-se rico em matéria orgânica, não hidromórfico, com textura arenosa. Constitui uma nascente de depressão com acumulo de água inicial, figura 1.

Figura 1. Localização das áreas de estudo.

MATERIAIS E MÉTODOS

A prospecção de nível de lençol freático consistiu na abertura de poços de observação com diâmetro de 25 cm, utilizando uma cavadeira articulada. Após 6 h foi medida a profundidade da parte superior da zona saturada do solo, ou lençol freático, com uma trena de metal. As coordenadas altimétricas dos pontos de prospecção, das feições geormorfo/hidrológicas em análise e do terreno, foram coletadas utilizado o GPS Geodésico TopCon GR3.

As alturas piezométricas da superfície freática foram obtidas em seções lineares a partir da feição em análise. De posse das cotas piezométricas foi possível mapear a superfície freática através de interpolação com o método da krigagem via softwares de SIG. Após realizar o mapeamento da superfície freática, foram analisadas as direções do escoamento subterrâneo e concentrações do fluxo de água, com o pacote de ferramentas do ArcGIS 10.0 Arctoolbox/hydrology. Vale salientar que foram considerados dois pontos a jusante das nascentes, correspondentes ao canal fluvial e conseqüentemente a cota piezométrica local.

Posteriormente foi aplicada a Lei de Darcy para o escoamento subterrâneo, conforme a formula 1.

$$V = KA\left(\frac{h1-h2}{L}\right) \quad (1)$$

Onde:

V= Velocidade do Escoamento Subterrâneo (m/dia);
K= Coeficiente de Infiltração (litros/m² dia) medido *in loco* com teste de percolação;
A= Área da Seção usada no teste de percolação(m²);
h1= Cota Piezométrica do ponto mais alto do aqüífero(m);
h2= Cota Piezométrica da Nascente(m);
L= Distancia entre h1 e h2 (m).

Para obter o coeficiente de infiltração foi elaborado o teste de percolação com o método da trincheira, mais especificamente a cova de seção quadrada (30X30 cm) conforme norma da ABNT NBR 7229 (1993).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para uma melhor compreensão dos resultados, os dados levantados e calculados foram reunidos na tabela 01.

Tabela 01- Resumo dos dados levantados.

	Nascente Orográfica	Nascente de Planície
Prospecções	12	25
Intervalo	2 a 2,5 m	15 a 20 m
Prosp. com água	8	25
Profun. Média	0,63 m	1,54
Teste de Percolação	3	16
Coeficiente de Infiltração médio (k)	24,33 l/m² dia	109 l/m² dia
Área seção trincheira (A)	0,09 m²	0,09 m²
Área acumulada Nascente	23,48 m²	16.676 m²
Sentido Acumulo de Fluxo	Noroeste-Sudeste	Noroeste-Sudeste
h1	46,93m	7,5m
h2	44m	4,2m
L	9m	208m
Grad. Hidr. Sentido do acum. de fluxo	0,3255	0,015m
Velocidade do Escoamento Subterrâneo	0,71m/dia	0,15m/dia

Na Nascente Orográfica, as amostragens da cota piezométrica foram realizadas em três direções até a superfície freática não ser encontrada, figura 2A. Subtraindo estas profundidades das respectivas cotas do terreno elaborou-se um modelo de Nível de Lençol Freático, figura 2B, onde é possivel observar que a cota piezométrica encontra-se em maior altitude a noroeste e nordeste da nascente.

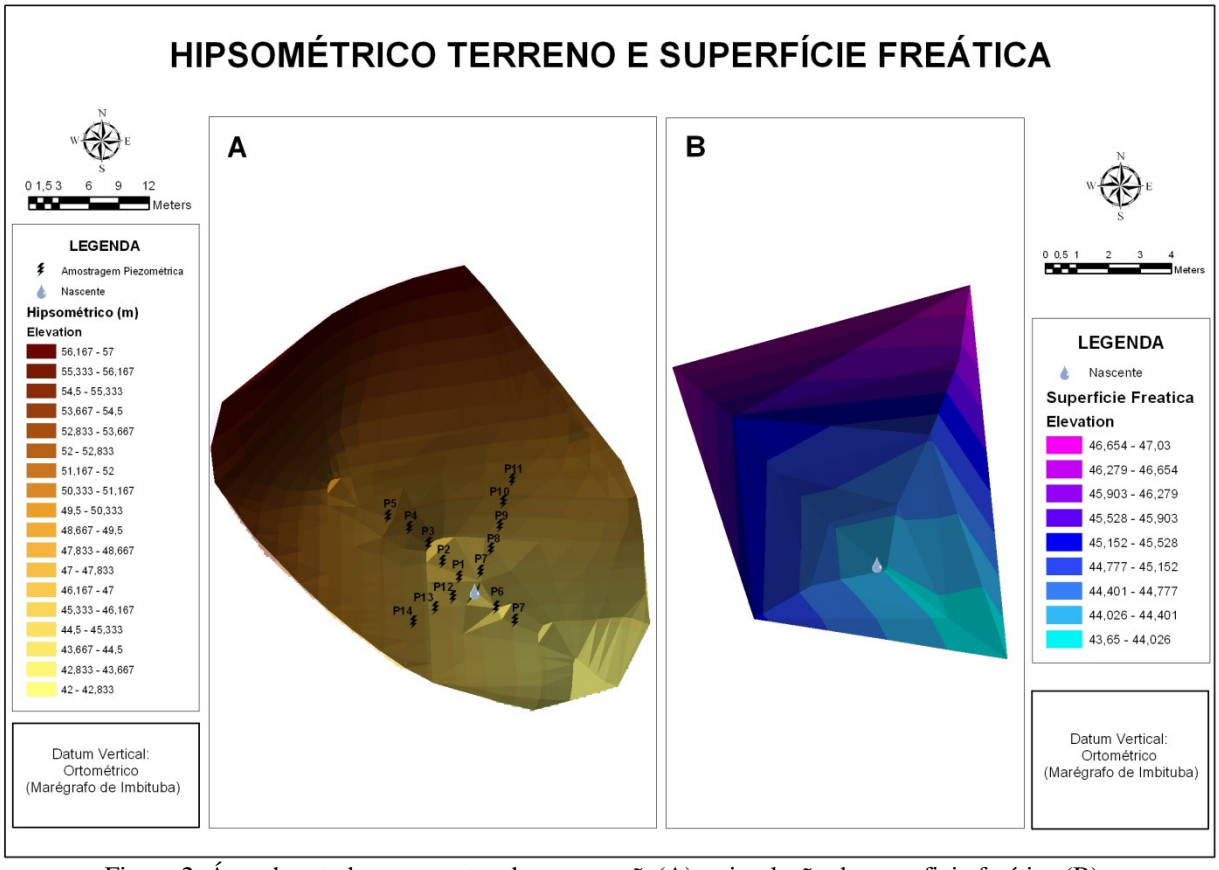

Figura 2. Área de estudo com pontos de prospecção(A) e simulação da superficie freática (B).

Com base no mapeamento da superfície freática, foi simulada a direção de fluxo, figura 3A, onde observa-se que o maior fluxo volta-se para sul, proveniente da porção norte da cabeceira, sendo seguido pelo fluxo de sudeste e de leste. Apartir da direção de fluxo foi simulada a acumulação de fluxo, figura 3B, onde se observa que o maior aporte hídrico da nascente provém de noroeste, com acumulação hídrica proveniente de uma área de 23,48 m².

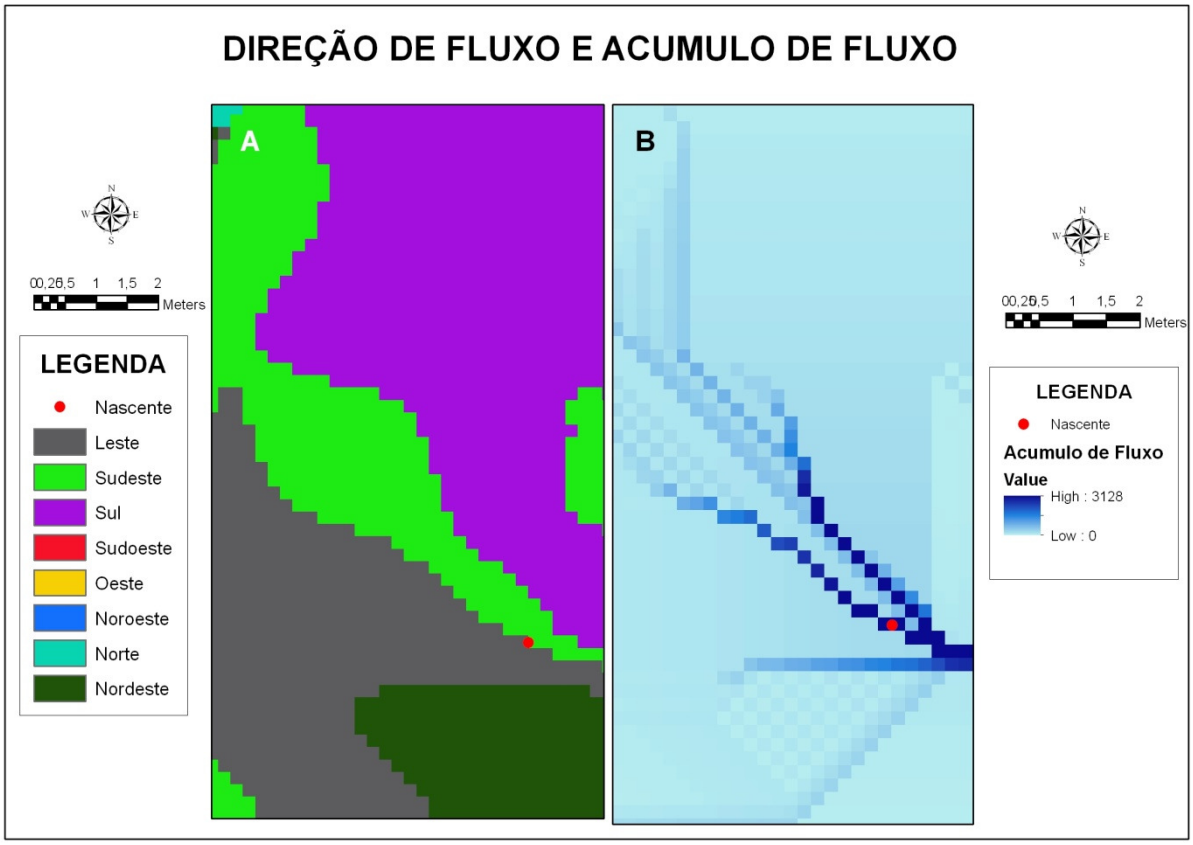

Figura 3. Direção de fluxo(A) e Concentração de Fluxo(B)

Uma vez obtido o principal sentido de concentração de fluxo, proveniente de noroeste, foi calculado o gradiente hidráulico desta seção, e calculado o Coeficiente de Infiltração. Desta forma aplicando a lei de Darcy foi obtido uma velocidade para o escoamento subterrâneo de 0,78 m/dia.

Na Nascente de Planicie foram realisados prospecções em 5 direções apartir da Nascente, figura 4A, sendo alcançada a superficie freática em todos os pontos. Subtraindo as profundidades das respectivas cotas foi mapeada a superficie freática, figura 4B, e desta foi elaborada uma simulação de direção de fluxo, figura 5A, onde é possivel observar que esta é predominantemente voltada para leste e secundariamente para sudeste. Apartir da direção de fluxo simulou-se o acumulo de fluxo, figura 5B, onde observa-se que existem mais de uma concentração de fluxo na área amostrada, sendo que a responsavel pelo abastecimento da nascente provém de noroeste com um acumulo hídrico proveniente de uma área de contribuição de 16.676 m² .

De posse da principal concentração de fluxo, proveniente de noroeste, foi calculado o gradiente hidráulico e calculado o coeficiente de infiltração. Desta forma aplicando a lei de Darcy foi obtido uma velocidade para o escoamento subterrâneo de 0,15 m/dia.

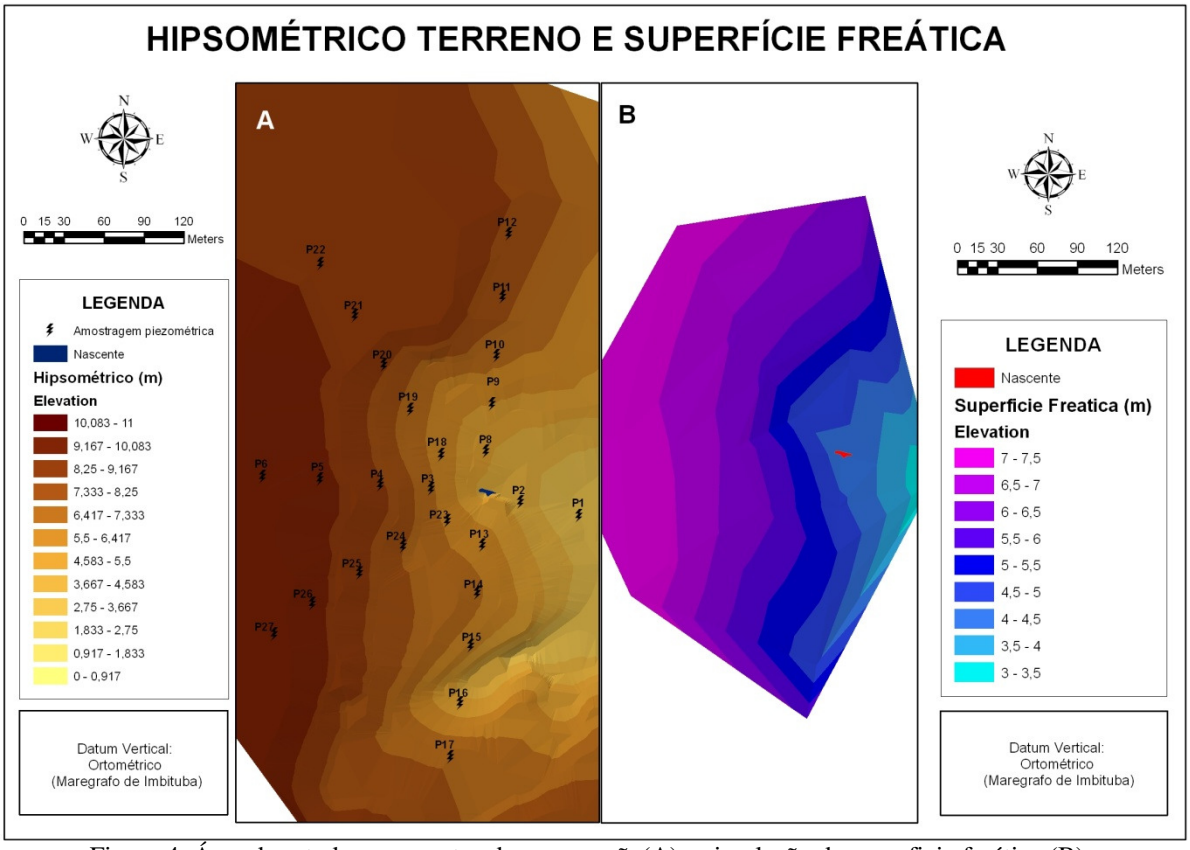

Figura 4. Área de estudo com pontos de prospecção(A) e simulação da superficie freática (B).

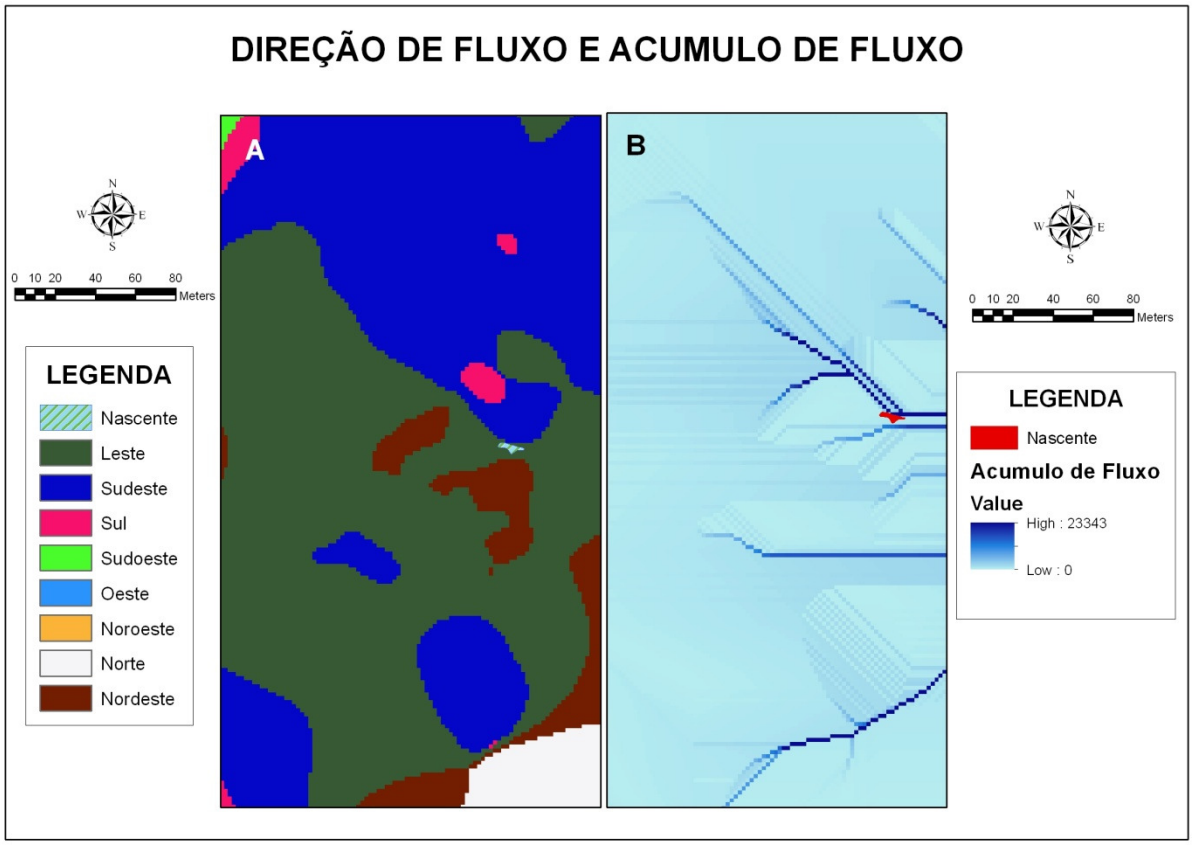

Figura 5. Direção de fluxo(A) e Concentração de Fluxo(B)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um ponto de articulação entre a água infiltrada no solo e o escoamento superficial pode ser denominado de nascente. O caráter perene ou intermitente desta feição hidrogeológica constitui apenas a oscilação do nível freático, podendo em períodos hidrológicos de baixas precipitações sofrer uma variação negativa de forma que a superfície freática não atinja a feição hidrogeomorfológica constituída pela nascente, e desta forma não aflorando em superfície.

Em relação às duas nascentes analisadas neste artigo constata-se que a nascente orográfica possui menor área de contribuição que a nascente de planície, mas por sua vez, possui um gradiente hidráulico maior e uma velocidade do escoamento subterrâneo também superior ao da nascente de planície. Isto demostra que o relevo torna-se o principal determinante no comportamento do escoamento subterrâneo e que o abastecimento hídrico da nascente orográfica necessita de precipitações frequentes, pois a menor área acumulada associada a maior velocidade de escoamento subterrâneo tende à um comportamento intermitente da exfiltração da água na falta de recargas sequenciais. Já a nascente de Planície, devido a sua maior área de acumulação e menor velocidade de escoamento, possui tendência de um comportamento perene da surgência hídrica em períodos de baixa frequência pluviométrica.

"O primeiro autor gostaria de agradecer ao Laboratório de Hidrologia/UFSC pela licença do software ArcGIS 10 e ao CNPq pela bolsa de estudo concedida."

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - NBR 7229 (1993) *Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos*. Rio de Janeiro. 15p.

CABRAL, J. KOIDE, S. SIMÕES, S.J.C. MONTENEGRO, S. (2003) Recursos hídricos Subterrâneos. In *Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas*. Org. por PAIVA, J.B.D. PAIVA, E.M.C.D. ABRH, Porto Alegre, pp. 237-279.

CALHEIROS, R.O. *et al*. (2004) *Preservação e Recuperação de Nascentes (de água e vida)*. Piracicaba: Comitê das Bacias hidrográficas dos rios PCJ-CTRN, 53p.

FARIA, A. P. (1996) *Dinâmica e Fragilidade de Bacias Fluviais de Primeira Ordem.* Tese de Doutorado. Instituto de Geociências / UFRJ, 218p.

FARIA, A. P. (1997) A dinâmica de nascentes e a influência sobre os fluxos nos canais. *A Água em Revista* (CPRM). V.8 pp. 74-80.

FARIA, A.P. (2000) Influência da vegetação nos processos fluviais de bacias de 1ª ordem. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. V. 5 n.3 pp.59-69.

FELIPPE,M. LAVARINI, C. PEIFER, D. DOLABELA, D. MAGALHÃES JUNIOR, A. (2009) Espacialização e caracterização das nascentes em unidades de conservação de Belo Horizonte-MG. In *Anais* do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Campo Grande-MG, Nov. 2009, pp. 1-18.

PREES, F. SIEVER, R. GROTZINGER, J. JORDAN, T.H. (2006) *Para entender a Terra.* Tradução Eduardo Menegat. Porto Alegre: Bookman, 656p.

ROSA FILHO, E.F. *et al*. (2001) *Aqüíferos do Estado do Paraná*. Curitiba: Ed. dos Autores, 200 p.

VALENTE, O. F.; GOMES, M. (2003)A. As nascentes e os rios. *Revista Ação Ambiental*, Viçosa, MG, ano 6, n. 24, pp. 11-13.