

## Vulnerabilidade natural das águas subterrâneas no entorno da Embrapa Milho e Sorgo

**João Herbert Moreira Viana<sup>(1)</sup>; Daniela Alcântara Machado<sup>(2)</sup> & Celso de Oliveira Loureiro<sup>(3)</sup>**

(1) Pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, Rod. MG 424 km 45, Sete Lagoas, MG, CEP 35.701-970, [jherbert@cnpmc.embrapa.br](mailto:jherbert@cnpmc.embrapa.br) (apresentador); (2) Mestranda do Curso de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, UFMG, Belo Horizonte, MG, CEP 31270-901, [danni.amachado@gmail.com](mailto:danni.amachado@gmail.com); (3) Professor, Departamento de Engenharia sanitária e Ambiental, Belo Horizonte, MG, CEP 31270-901, [celso@desa.ufmg.br](mailto:celso@desa.ufmg.br)  
Apoio: CNPq, Copasa

**RESUMO:** Esse trabalho visou um melhor entendimento do sistema hidrogeológico e da vulnerabilidade natural das águas subterrâneas à contaminação por insumos da atividade agrícola na área de influência da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas – MG. Foi realizada uma caracterização geral da área de estudo com visitas aos principais locais de interesse hidrogeológico. Foram executados furos de sondagem, medidas da infiltração de água no solo com permeâmetro de Guelf, e instalados poços de monitoramento da qualidade da água subterrânea e de medição do nível d'água. Esse conjunto de dados foi utilizado para a caracterização do modelo de circulação hídrica subterrânea. A partir desse modelo, foi desenvolvido o modelo hidrogeológico computacional, utilizando o aplicativo Visual MODFLOW. A avaliação preliminar da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrânea foi realizada a partir do modelo qualitativo denominado DRASTIC Agrícola. O modelo hidrogeológico computacional indicou que o sentido principal do fluxo d'água subterrânea é dos divisores de água local em direção aos córregos Jequitibá e Matadouro. O índice DRASTIC Agrícola apresentou cinco classes de vulnerabilidade: baixa, moderada, alta, muito alta e extrema, predominando a classe muito alta (26 km<sup>2</sup> ou 34 % da área avaliada), associada às regiões próximas aos córregos Jequitibá e Matadouro.

**Palavras-chave:** contaminação, aquífero, modelagem.

### INTRODUÇÃO

As questões referentes à preservação dos mananciais hídricos subterrâneos dependem das atividades que são adotadas em superfície, uma vez que existem inúmeros sistemas de comunicação entre o solo e as águas subterrâneas e superficiais. Neste contexto, as atividades de origem agrícola

oferecem riscos à qualidade das águas subterrâneas, principalmente pelo uso de agroquímicos (fertilizantes e herbicidas) e seus metabólitos, que podem contaminar as águas subterrâneas e superficiais.

A avaliação da vulnerabilidade em áreas onde existe um potencial de contaminação da água subterrânea apresenta-se útil na medida em que pode auxiliar na priorização das diversas atividades de monitoramento ambiental. Pode-se, por exemplo, através da utilização de mapas de vulnerabilidade, definir áreas onde o monitoramento deva ser executado de maneira mais intensiva, bem como auxiliar no planejamento de práticas conservacionistas visando à definição de áreas que devam ser protegidas de modo a garantir a integridade do aquífero em termos de qualidade da água.

A utilização sustentável dos recursos hídricos implica na adoção de medidas de gestão adequadas, que evitem a degradação desses recursos e que permitam a sua proteção, especialmente em zonas sujeitas ao maior risco de poluição. A Embrapa Milho e Sorgo está localizada na região cárstica da Província Hidrogeológica do São Francisco. Peculiaridades envolvendo os aquíferos cársticos têm justificado inúmeros estudos realizados em suas áreas de ocorrência, visto que esses aquíferos apresentam grande importância como fonte de água para abastecimento, mas também são vulneráveis à contaminação. Como fornecedor de tecnologia na área de manejo e uso do solo, e tendo em vista a crescente preocupação com a proteção dos mananciais hídricos (superficial e subterrâneo), a Embrapa Milho e Sorgo tem voltado suas atenções para o tema. Desta forma, o objetivo geral deste estudo foi fazer a caracterização hidrogeológica e a

avaliação preliminar da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas no entorno da Embrapa Milho e Sorgo.

### MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia adotada para a realização deste trabalho consistiu na integração das seguintes atividades: levantamento bibliográfico e cartográfico; trabalhos de campo; caracterização geral da área de estudo; caracterização do modelo de circulação hídrica subterrânea e caracterização da vulnerabilidade e do risco de contaminação de aquíferos.

Inicialmente foi realizado um reconhecimento geral da área de estudo, com visitas a pontos de interesse para o desenvolvimento deste estudo. Os locais visitados e cadastrados incluíram as nascentes, lagoas, cursos d'água, pontos de captação da água subterrânea (cacimbas e poços tubulares), afloramentos rochosos e as áreas de cultivo agrícola. Foi então providenciada a execução de furos de sondagem, utilizando trado manual e mecânico, para descrição macroscópica do perfil do solo ou do saprolito e localização do nível freático, quando possível.

Foi feita a medição da infiltração de água, usando o permeâmetro de Guelph, nas mesmas áreas em que se realizou a sondagem a trado. Foram feitas a perfuração e a instalação da rede de poços de monitoramento hidrogeológico e da qualidade da água subterrânea; com a amostragem concomitante do material geológico nos furos a trado e nos poços de monitoramento e a medição do nível d'água nos furos de sondagem a trado e nos poços de monitoramento.

Após a caracterização da área de estudo, foram desenvolvidos o modelo hidrogeológico conceitual e o computacional. Para o modelo hidrogeológico conceitual, foram definidos: a área de influência e contornos topográficos da Embrapa; as unidades hidroestratigráficas existentes na área de estudo e as áreas de recarga e descarga do aquífero subterrâneo. Para o desenvolvimento do modelo hidrogeológico computacional foi utilizada a metodologia de Anderson & Woessner (1992), que se resume nas seguintes etapas: definição da base topográfica; definição do domínio e da malha do modelo computacional, a partir da avaliação da área de influência da Embrapa e os contornos

topográficos; definição das condições de contorno, tais como: cargas constantes, fluxo zero e drenos; incorporação das unidades hidroestratigráficas definidas no modelo hidrogeológico conceitual; atribuição dos valores dos parâmetros hidráulicos, para cada unidade hidroestratigráfica, baseados em dados obtidos em campo e da literatura; e calibração do modelo por meio de ajustes nos valores da recarga e dos parâmetros hidráulicos, utilizando como referência os valores de cota d'água nos poços, cisternas e nascentes, e da vazão nos córregos.

O método utilizado para a avaliação e mapeamento da vulnerabilidade natural das águas subterrâneas no entorno da Embrapa foi o DRASTIC Agrícola, desenvolvido por Aller et al. (1987). As informações necessárias para a aplicação do método foram obtidas por meio de investigações de campo e em bases de dados disponíveis em instituições públicas e órgãos de pesquisa. O software utilizado como ferramenta para montagem do mapa preliminar de vulnerabilidade foi o ArcGIS, na versão 9.2, da empresa ESRI. O índice DRASTIC corresponde à soma ponderada de sete valores que correspondem à avaliação dos seguintes parâmetros hidrogeológicos (Fig. 1):

D – Profundidade do Lençol Freático (Depth to groundwater);

R – Recarga do Aquífero (Recharge rate);

A – Matéria do Aquífero (Aquifer media)

S – Tipo de Solo (Soil media);

T – Topografia (Topography);

I – Influência da Zona Vadosa (Impact of the vadose zone)

C – Condutividade Hidráulica do Aquífero (Hydraulic conductivity). O mapa preliminar da vulnerabilidade foi elaborado através da álgebra de mapas (análise de

multi-critérios), utilizando o software ArcGIS versão 9.2.

Após a fase de atribuição de valores foi realizado o cruzamento dos sete mapas: mapa de profundidade do lençol freático (D), mapa de recarga do aquífero (R), mapa de tipo de aquífero (A), mapa de tipo de solos (S), mapa de topografia (T), mapa de impacto da zona vadosa (I) e o mapa de condutividade hidráulica (C).

A soma dos produtos dos pesos e índices de

avaliação de cada parâmetro de vulnerabilidade ( $Da * Dp + Ra * Rp + Aa * Ap + Sa * Sp + Ta * Tp + Ia * Ip + Ca * Cp$ ; na qual: a – índice de avaliação atribuída ao parâmetro e p – peso atribuído ao parâmetro), produziu a classificação final, transformada então em vulnerabilidade natural à contaminação dos aquíferos livres na área de estudo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo hidrogeológico computacional apresentou-se coerente com o respectivo modelo conceitual, mostrando que o fluxo de água subterrânea ocorre dos altos topográficos em direção às respectivas drenagens, no caso os córregos Jequitibá e Matadouro, e de sul para norte, em direção ao nível de base local, que é o rio das Velhas.

O modelo indica que os pontos de monitoramento denominados lagoas Olhos d'Água e Subida da Estação são áreas de descarga da água subterrânea, e na região da lagoa da Capivara o fluxo d'água subterrânea tende a ser epidérmico, com uma contribuição limitada na parte superior do escoamento freático e em profundidade, o fluxo de água sob a lagoa se direciona para os elementos de base, representados pela lagoa Olhos d'Água e córrego Matadouro (Fig. 2a). Os índices de vulnerabilidade obtidos variaram de 124 a valores superiores a 200, permitindo o agrupamento de cinco classes de vulnerabilidade: baixa, moderada, alta, muito alta e extrema, com predominância, na maior parte da área, de vulnerabilidade alta (índice de 160 a 179), conforme mostrado no mapa da Fig. 2b.

A Tab. 1 mostra os intervalos das classes de vulnerabilidade com os respectivos valores de área em km<sup>2</sup>. É importante ressaltar que o índice determinado é independente da carga poluente. No caso de se pretender determinar o risco de uma determinada área com relação a um tipo específico de poluente é necessário considerar outros fatores, como as propriedades físico-químicas do poluente, a intensidade de aplicação, a persistência do contaminante no ambiente dentre outros. Para as classes de vulnerabilidade baixa e moderada o risco de poluição foi minimizado, principalmente, pela profundidade mais elevada do lençol freático, pelo

tipo de material da zona vadosa e pela variação na declividade do terreno. As classes de vulnerabilidade alta e muito alta (26 km<sup>2</sup> ou 34 %) foram dominantes na área de estudo e estão distribuídas próximas aos córregos Jequitibá e Matadouro, onde o nível d'água subterrânea está mais próximo da superfície e as cotas topográficas mais baixas. O mapa de vulnerabilidade denota a importância do fator profundidade do nível d'água uma vez que a faixa de maior vulnerabilidade corresponde à de menores profundidades do lençol freático.

## CONCLUSÕES

O modelo hidrogeológico computacional desenvolvido nesse trabalho apresentou-se coerente com o respectivo modelo conceitual. O mapa preliminar de vulnerabilidade natural do aquífero freático mostrou que as vulnerabilidades variam de baixa a extrema, com predomínio da vulnerabilidade muito alta e alta e que essa vulnerabilidade aumenta com a proximidade dos ribeirões Matadouro e Jequitibá e diminui nos altos topográficos.

## AGRADECIMENTOS

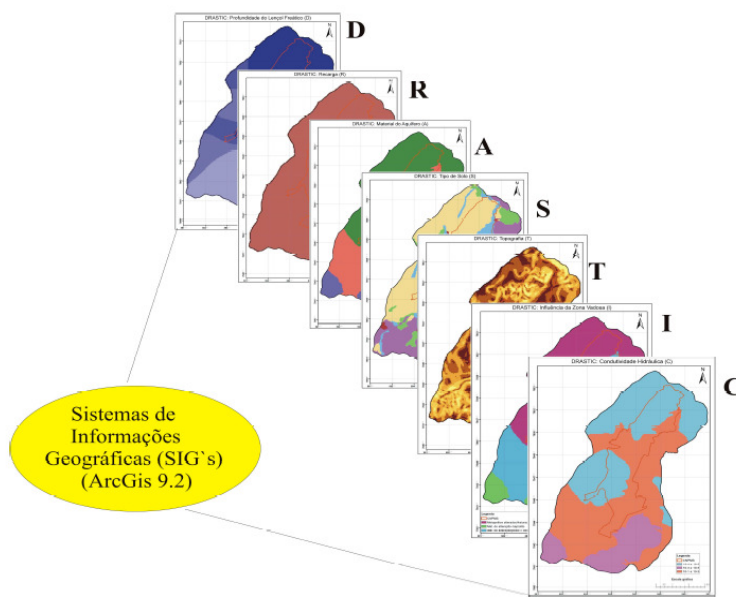
Os autores agradecem o apoio da Copasa na realização dos trabalhos e a bolsa do CNPq.

## REFERÊNCIAS

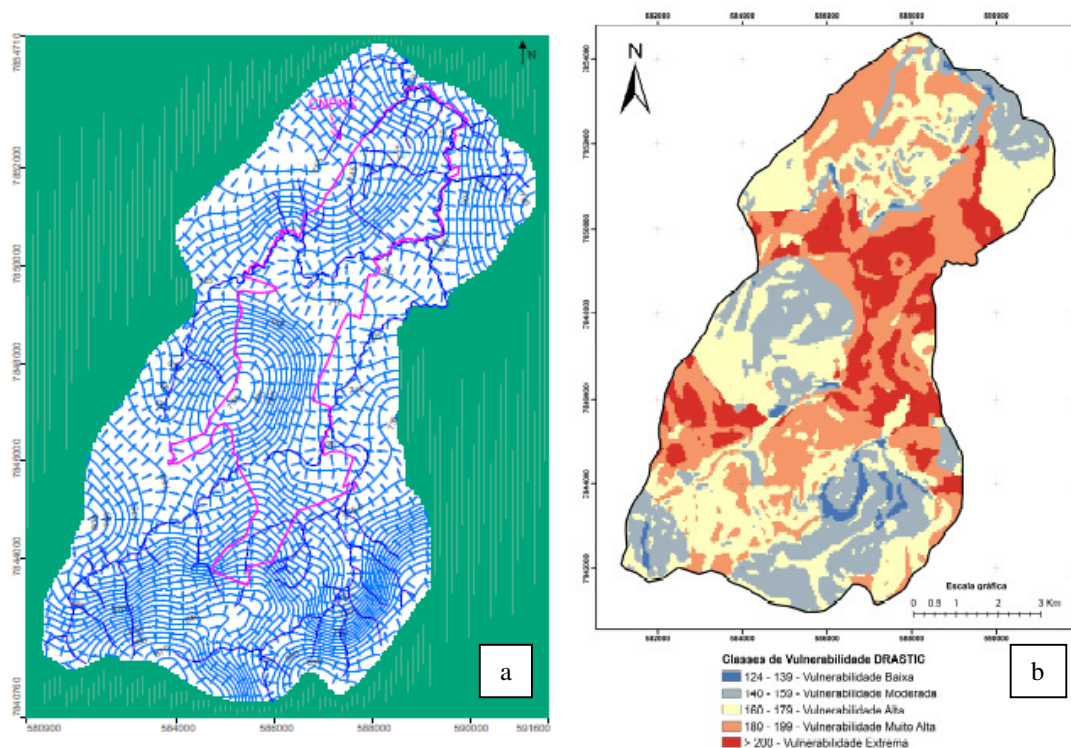
- ALLER, L., et al. DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. Washington, D.C., U.S. Environmental Protection Agency, 1987. 643 p. (Publication EPA 600/2-87/035).
- ANDERSON, M. P.; WOESSNER, W.W. Applied groundwater modeling: simulation of flow and advective transport. Califórnia: Academic Press, 381 p, 1992.
- MACHADO, DANIELA ALCÂNTARA. Caracterização hidrogeológica e vulnerabilidade natural das águas subterrâneas no entorno do Centro Nacional de Pesquisa Milho e Sorgo - Sete Lagoas/MG. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2011. 215 P.

**Tabela 1.** Classes de vulnerabilidade para a área de estudo.

Intervalo de valores	Classe de vulnerabilidade	Área (km <sup>2</sup> )	Fração da área (%)
124 - 139	Vulnerabilidade baixa	0,90	1,17
140 - 159	Vulnerabilidade moderada	16,23	20,92
160 - 179	Vulnerabilidade alta	26,49	34,14
180 - 199	Vulnerabilidade muito alta	23,43	30,20
>200	Vulnerabilidade extrema	10,53	13,58
Total		77,60	100,00



**Figura 1.** Planos de informações que foram combinados para a classificação da vulnerabilidade.



**Figura 2.** Equipotenciais do nível d'água e direções do fluxo d'água subterrânea na área de trabalho, obtidas através do modelo hidrogeológico computacional (a) e mapa preliminar da vulnerabilidade à contaminação no entorno do CNPMS (b).