



LEVANTAMENTO GEOFÍSICO, MONITORAMENTO E MODELAGEM MATEMÁTICA DA CONTAMINAÇÃO DO LENÇOL FREÁTICO POR EFLUENTE DE CHARQUEADORA

Rafael Machado Mello¹; Carlos Tadeu Carvalho do Nascimento²; Sérgio Koide³

RESUMO

O presente trabalho consistiu na integração de diferentes ferramentas, modelagem matemática, levantamento geofísico, dados de monitoramento de qualidade e nível d'água para avaliar, por meio de um modelo computacional, o fluxo e a propagação dos contaminantes no aquífero freático de uma região do Distrito Federal, denominada Condomínio Vista Bela, onde esgoto doméstico bruto e de efluente industrial foram infiltrados no solo. O efluente industrial é derivado do processamento, lavagem, tratamento e embalagem de carnes de uma indústria charqueadora.

ABSTRACT

The present work is an integration of different tools, including mathematical modeling, geophysical surveying, water quality and level monitoring data to evaluate, by a computer model, the flow and contaminant propagation in the groundwater in a region of the Federal District called Bela Vista condominium, where raw domestic sewage and industrial effluents were infiltrated into the soil. The industrial effluent is derived from the processing, cleaning, treating and packaging processes in a meat processing industry.

Palavras-Chave – água subterrânea e contaminação.

¹ ADASA, Parque Ferroviário de Brasília, Estação Rodoferroviária, Brasília - DF, CEP 70631-900. Tel.: (61)3961-4985, e-mail: rafael.mello@adasa.df.gov.br.

² Universidade de Brasília, Faculdade UnB Planaltina, Planaltina - DF, CEP: 73345-010. Tel.: (61)3488-8052 e-mail: carlostadeu@unb.br.

³ Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Asa Norte, Brasília - DF, CEP 70910-900. Tel.: (61)3107-0926, e-mail: skoide@unb.br.

INTRODUÇÃO

O descarte indevido de resíduos industriais no solo, degradando a qualidade das águas subterrâneas, é uma grande preocupação contemporânea. De toda água disponível no planeta, apenas 3% é doce, sendo que desta, 97,0 % correspondem à água subterrânea. De acordo com Fetter (1994), na década de 90, o consumo de água cresceu mais de seis vezes, demandando uma maior exploração de recursos hídricos. Desta forma, a água subterrânea se torna uma fonte imprescindível para o abastecimento humano. No Brasil, oito milhões de domicílios são abastecidos diretamente dessa água, o que corresponde a 15,6% do total de residências (IBGE, 2010).

No Distrito Federal, o abastecimento de água é feito pela captação de água superficial dos sistemas de Santa Maria/Torto e do Descoberto, e dezessete captações de pequeno e médio porte auxiliam no abastecimento. A captação subterrânea é caracterizada como suplementar nas zonas urbanas, com exceção da cidade satélite de São Sebastião, que é completamente abastecida por poços tubulares profundos; entretanto, nas comunidades rurais, se torna exclusiva na maioria das propriedades (EMBRAPA, 2002).

O caso em estudo relaciona-se a um lançamento irregular de efluentes, resultantes do processo de lavagem, tratamento e embalagem de carnes em uma pequena indústria localizada na cidade de Ceilândia. Os efluentes foram lançados numa fossa não revestida e atingiram o lençol freático, propagando-se na água subterrânea. A empresa está instalada próxima a lotes residenciais e em vários desses lotes foi observada a contaminação de cisternas e poços. Existe ainda o risco dessa poluição atingir uma barragem situada no córrego Capão do Brejo, afluente do rio Descoberto.

Nesse sentido, o presente trabalho propõe-se a avaliar, por meio da integração de diferentes ferramentas, modelagem matemática, levantamentos geofísicos e utilizando dados de monitoramento, o fluxo e a propagação dos contaminantes no aquífero freático de uma região do DF, denominado Condomínio Rural Vista Bela, onde ocorreu lançamento in natura de esgotos e de efluentes industriais.

OBJETIVOS

Estudar, por meio da integração de diferentes ferramentas, o fluxo e a propagação dos contaminantes no aquífero freático em uma região do DF utilizando dados de infiltração de efluentes de uma indústria charqueadora em Ceilândia – DF.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Utilizar métodos geofísicos para caracterizar a subsuperfície do local estudado.

- Caracterizar o fluxo de água e a propagação da pluma de contaminação por cloreto da água subterrânea no aquífero freático na região de estudo por meio de modelo matemático.
- Analisar o problema à luz dos resultados obtidos com o uso das diferentes ferramentas (monitoramento, geofísica e modelagem matemática).

MATERIAL E MÉTODOS

Como foco central de estudo escolheu-se como contaminante de interesse o cloreto, por apresentar concentração muito elevada nos efluentes infiltrados, por ser baixíssima a sua ocorrência natural na região e por possuir uma natureza conservativa.

Logo, no intuito de avaliar a dinâmica do transporte do cloreto derivado de dejetos industriais em uma área contaminada por uma charqueadora, foram desenvolvidas 3 etapas de levantamento de dados e procedimentos até que se conseguisse elaborar um modelo de fluxo subterrâneo para, a partir desse, simular o transporte do contaminante de interesse. As etapas consistem no monitoramento, no levantamento geofísico e na modelagem.

Dessa forma, como etapa 1, foram utilizados dados referentes ao monitoramento do nível piezométrico e da qualidade da água de poços localizados na área contaminada. Como etapa 2 foi desenvolvido um levantamento geofísico, utilizando a técnica de caminhamento elétrico com arranjo dipolo-dipolo. Como etapa 3 desenvolveu-se uma modelagem computacional utilizando o programa Visual Modflow e ainda foi desenvolvido um teste de bombeamento.

No item “4.1” apresenta-se uma breve descrição da área estudada; no item “4.2” são apresentados os pontos, a periodicidade e o método do monitoramento do nível piezométrico; no item “4.3” relata-se a construção do arranjo físico e a execução de um teste de bombeamento; no item “4.4” mostra-se os resultados do monitoramento qualitativo de 15 pontos durante quase 03 (três) anos; no item “4.5” são descritas todas as etapas empregadas num levantamento geofísico que utilizou o método elétrico de corrente contínua para visualizar a pluma de contaminantes; e no item “4.6” são relatadas todas as etapas de elaboração de um modelo conceitual, estabelecendo-se: as condições de contorno e condições iniciais; seleção dos códigos computacionais para o modelo de fluxo e de transporte; a partir dos dados de campo levantados nas outras etapas, conforme descrito a partir do item 4.2.

ÁREA DE ESTUDOS

Este trabalho foi desenvolvido no Condomínio Rural Vista Bela, localizado na região Administrativa de Ceilândia, cidade satélite do Distrito Federal com população aproximada de 400

mil habitantes (Figura 1). No condomínio em questão, os poços são a única fonte de água para as residências e para as indústrias. A área de estudo localiza-se na região das nascentes do córrego Capão do Brejo, afluente da sub-bacia do rio Descoberto, bacia hidrográfica do Paranaíba. Trata-se de uma área com 350 hectares, caracterizada pela ocupação irregular do solo. Ali existem aproximadamente 500 residências localizadas dentro da área de contribuição do córrego Capão do Brejo.

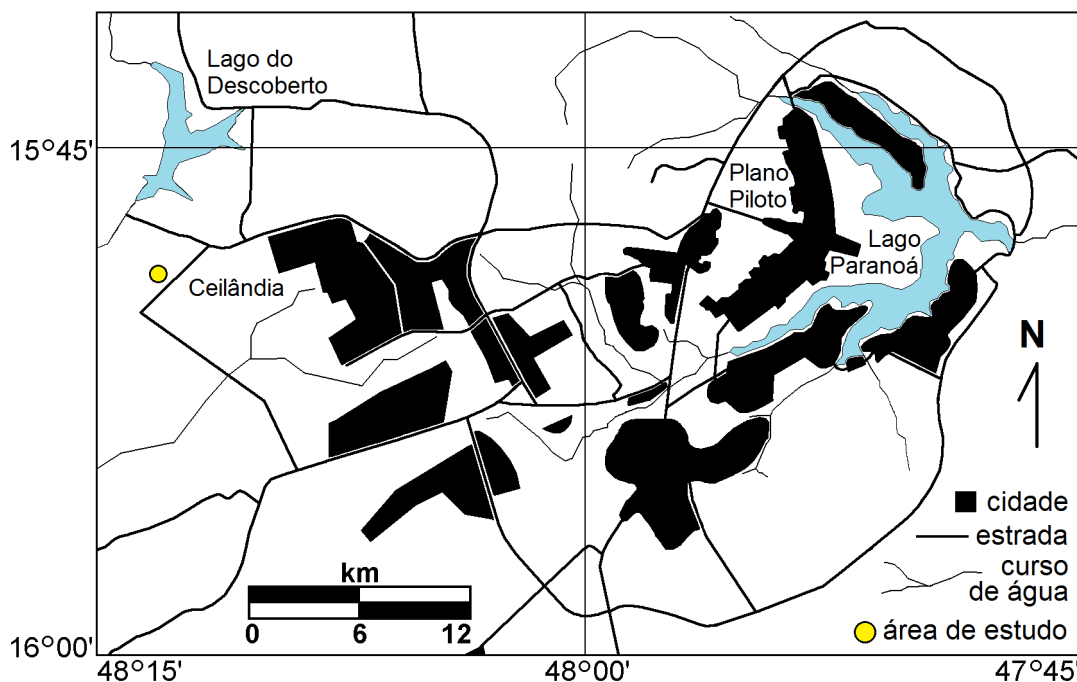


Figura 1 - Localização da área de estudo.

Nesse condomínio são desenvolvidas atividades industriais de pequeno porte, entre elas a de beneficiamento de carnes. Numa dessas pequenas indústrias, ocorreu a infiltração no solo do efluente industrial resultante do processo de lavagem, tratamento e embalagem de carnes para fabricação de charque e carne de sol. O cloreto de sódio é o principal produto utilizado no processamento e o efluente é composto basicamente da mistura de salmoura com o sangue da carne processada. Esse efluente tem elevados níveis de cloreto e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e não pode ser descartado sem tratamento. Por esse motivo, a indústria construiu um sistema para tratamento biológico do efluente composto por decantadores, aeradores e filtros de areia e brita. O sistema de tratamento apresentou falhas, pois o efluente disposto no solo por meio de uma fossa não mostrou redução significativa das suas características poluentes. Esses efluentes chegaram ao lençol freático, a oito metros de profundidade, e se propagaram seguindo o gradiente hidráulico, atingindo poços e cisternas de residências localizadas a jusante da empresa.

Nas cisternas adjacentes à referida charqueadora foi constatada a presença de substância similar ao efluente produzido pela empresa. A partir desse instante, a ADASA, órgão regulador

local, através de denúncia, identificou a situação e tomou medidas como a interdição do sistema de tratamento de efluentes por suspeita de ineficiência. A área está sendo monitorada pela Agência que contratou serviços de análises físico-químicas e bacteriológicas das águas subterrâneas e águas servidas da empresa. A identificação da contaminação ocorreu em fevereiro de 2009.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Monitoramento do nível piezométrico

A rede de monitoramento do nível piezométrico possibilitou a montagem do traçado de mapas potenciométricos, os quais refletiram as direções e sentidos do fluxo da água subterrânea, importantíssimos para execução da modelagem proposta na avaliação da contaminação supracitada. A Figura 2 apresenta a superfície freática gerada pelo Visual MODFLOW a partir de dados de 10 poços que tiveram seus níveis monitorados. Observa-se o sentido do fluxo como predominante de nordeste para sudoeste e, ainda, a delimitação das condições de contorno do modelo pelos divisores de água. Os valores apresentados correspondem às cargas em metros.

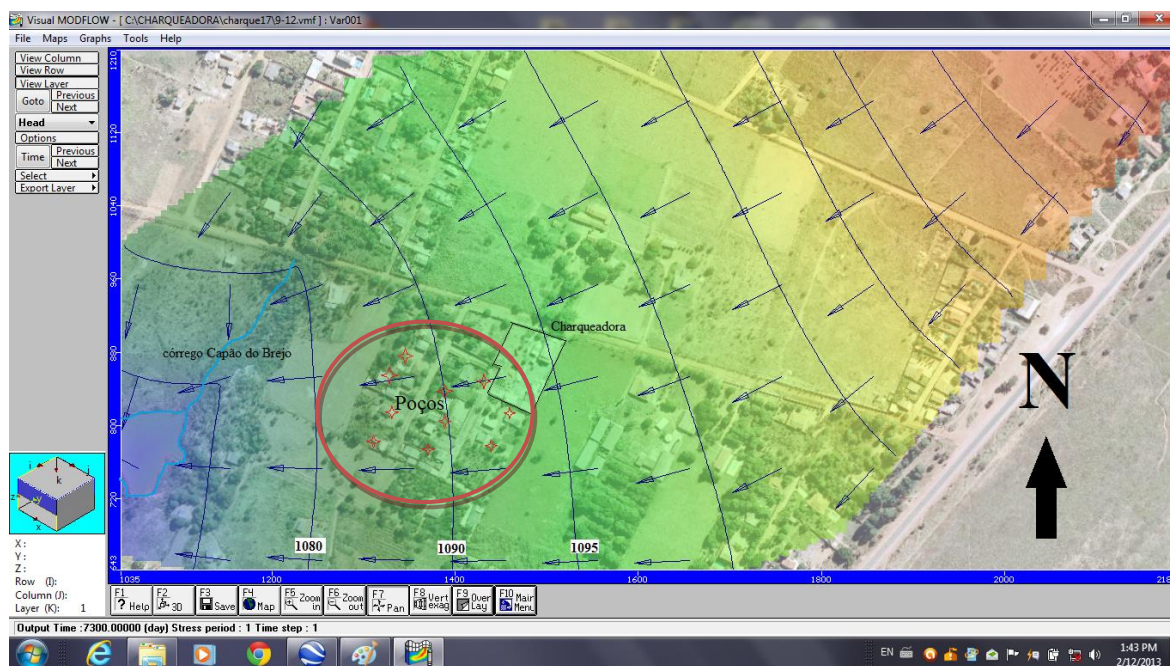


Figura 2 - Superfície equipotencial da área de estudo

Monitoramento da qualidade

Os primeiros resultados condenaram 05 (cinco) poços (cisternas) localizados no terreno de casas situadas entre 20m e 200m a jusante da empresa. Isso indicou a possibilidade de uma linha principal de fluxo, devido à localização específica numa região, perpendicular à nascente do córrego Capão do Brejo, afluente da sub-bacia do rio Descoberto, bacia hidrográfica do Paranaíba. A

imagem adaptada do Google Earth, Figura 3, mostra os locais das cisternas inicialmente identificadas com problemas de contaminação.

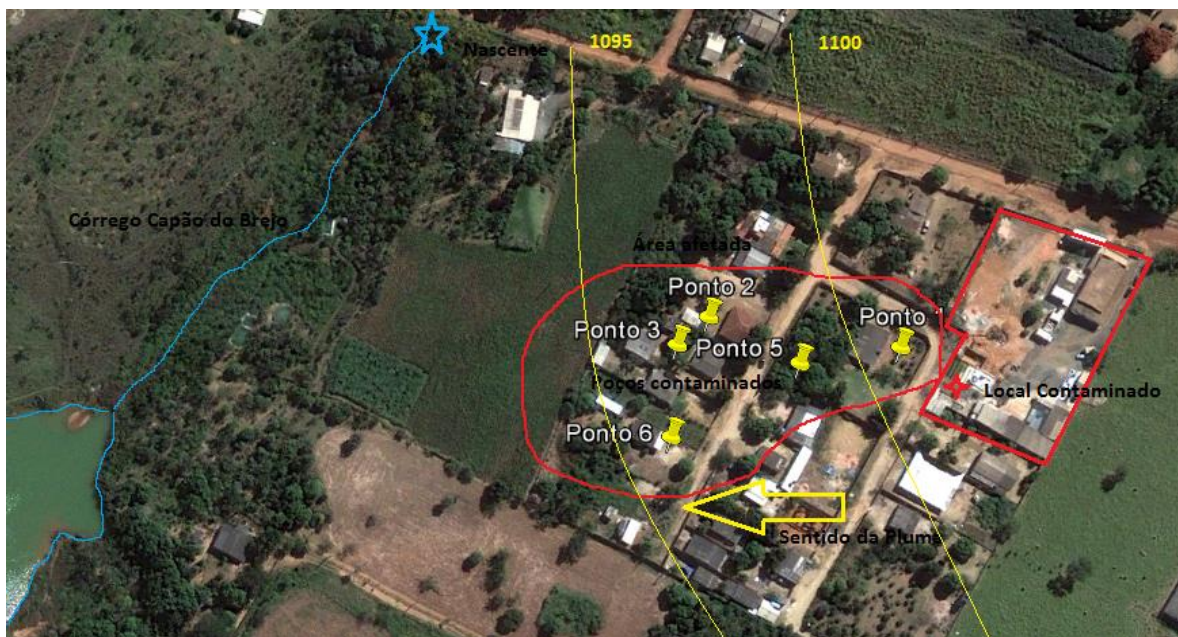


Figura 3 - Imagem adaptada do Google Earth indicando poços contaminados

Geofísica

Os valores medidos nas áreas contaminadas foram de aproximadamente 20 Ohm.m enquanto os valores do solo não contaminado são da ordem de 2.000 Ohm.m. Os valores medidos são apresentados na forma de seções de resistividade (figuras 4, 5 e 6). As seções foram processadas individualmente, motivo pelo qual as escadas de resistividade são diferentes. A análise visual possibilita observar uma zona contaminada na linha 1, na posição 80 metros. Para esta linha não se esperava obter uma visualização da pluma de contaminante, visto que esta se localiza a montante da empresa. Deste modo a detecção da pluma indica que existe outro ponto de lançamento de efluente além da fossa vinculada ao sistema de tratamento. Na linha 2 também é observada uma pluma de contaminação na posição 20 metros e que corresponde à propagação do poluente seguindo o fluxo na zona saturada do terreno. Na linha 3 podem ser observadas regiões pontuais de baixa resistividade nas posições 95 e 120 metros, as quais correspondem no terreno a locais de cisternas em lotes residenciais. Aparentemente, nestas cisternas deve estar ocorrendo uma acumulação dos contaminantes vinculados ao efluente.

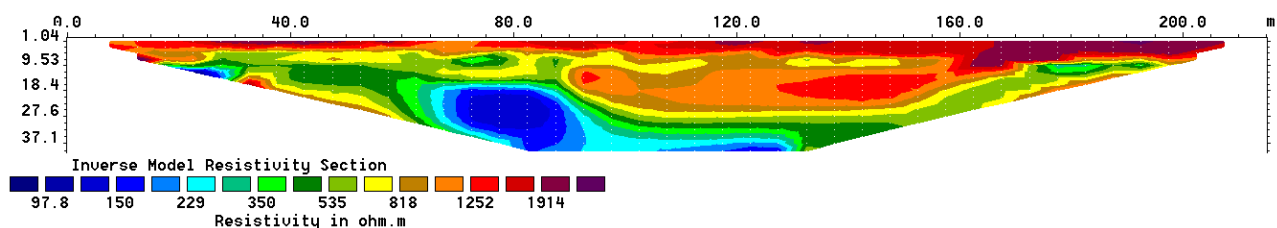


Figura 4 - Seção de resistividade elétrica na linha 1.

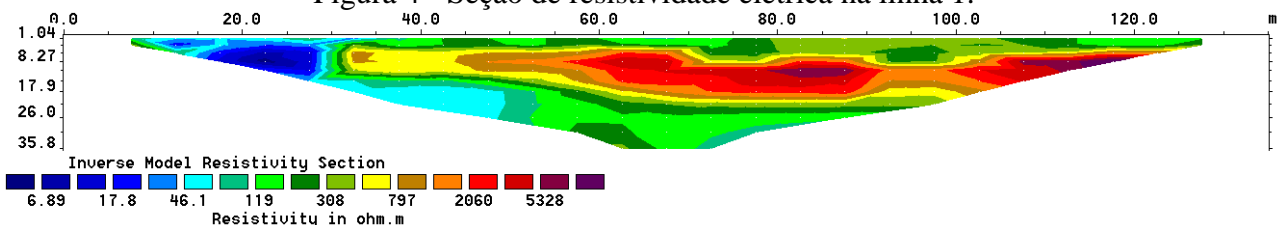


Figura 5 - Seção de resistividade elétrica na linha 2.

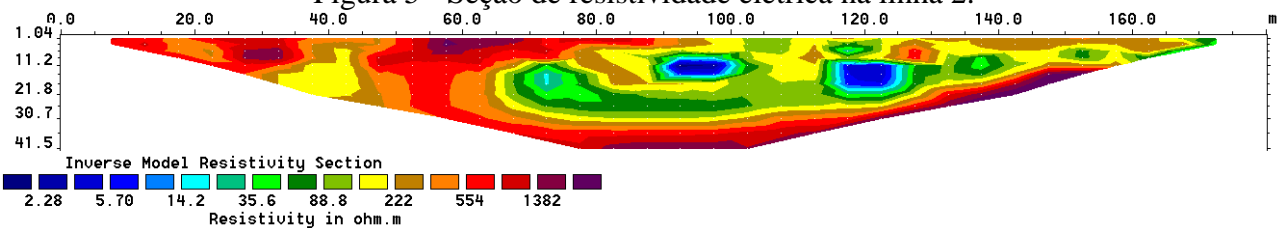


Figura 6 - Seção de resistividade elétrica na linha 3.

Modelagem

Em março de 2009, após 02 (dois) anos de injeção do contaminante, a simulação apontou que a pluma apresentava mais de 110m de comprimento, fato comprovado pelo levantamento geofísico e pelo monitoramento qualitativo realizada no mesmo período em poços da região, ou seja, foram necessários aproximadamente 720 dias para percorrer tal distância. A imagem da Figura 7 apresenta a visualização da pluma para o período de dois anos de injeção.

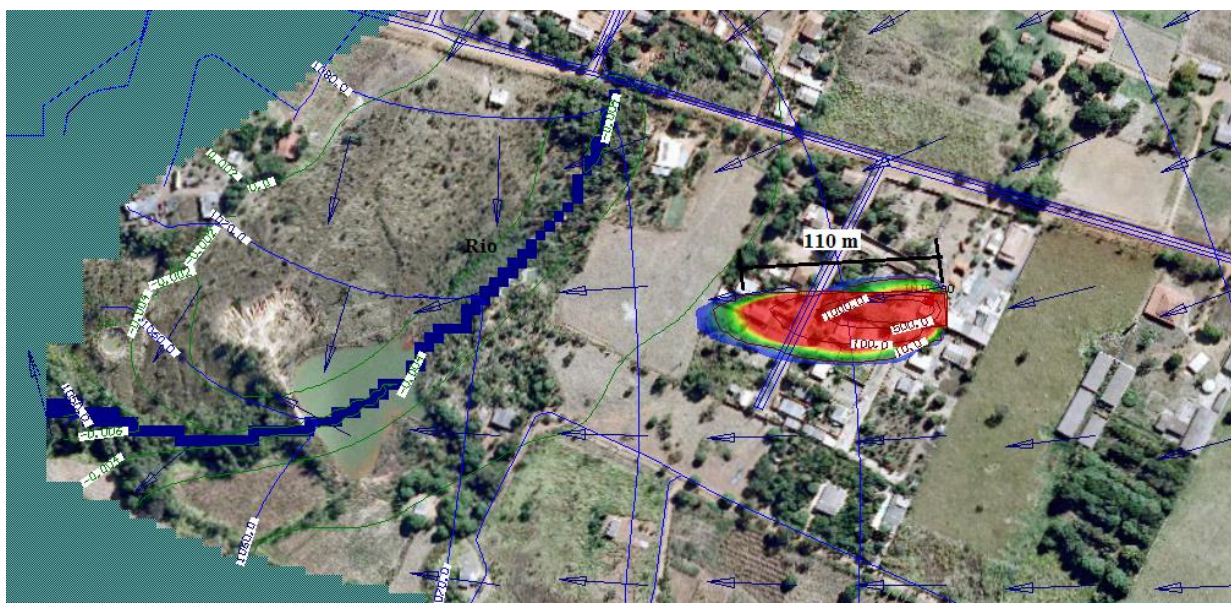


Figura 7 - Pluma com tempo de simulação de 02 anos

Depois de mais 03 anos, completando um tempo de simulação de 1.440 dias após cessar o lançamento dos dejetos industriais no aquífero poroso, percebe-se que a pluma sai da área coberta pelos pontos de monitoramento. Na Figura 8 apresenta-se a visualização da pluma para o período de 4 anos após lacre do sistema de lançamento.

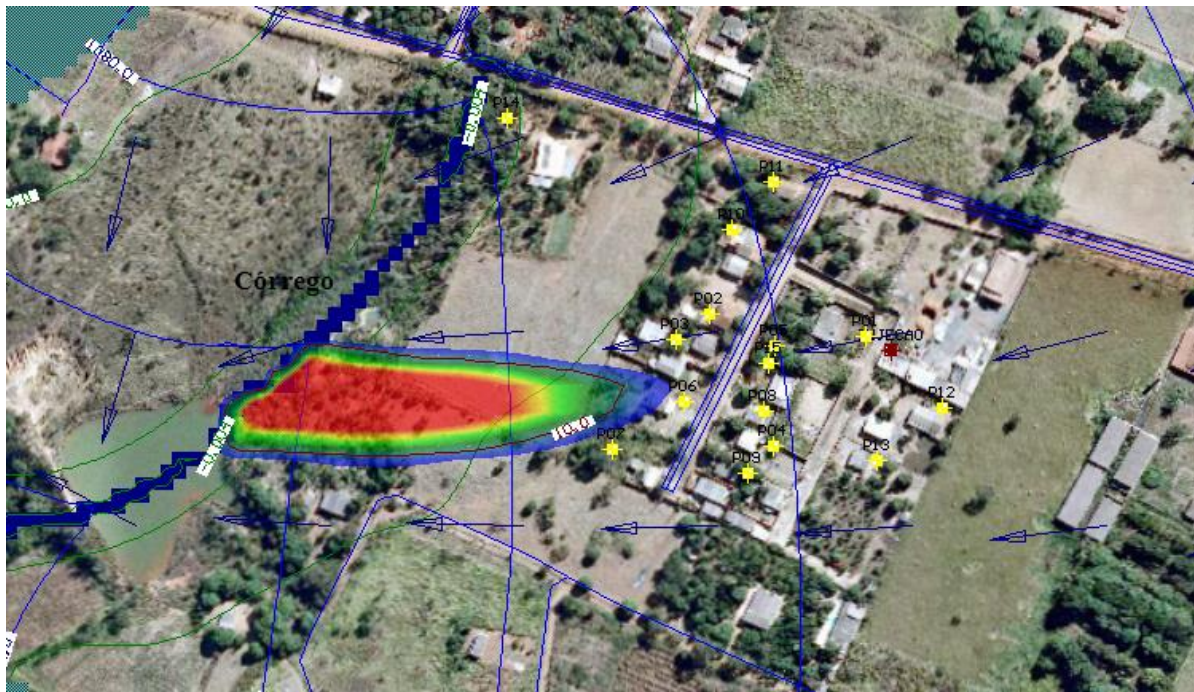


Figura 8 - Pluma de 04 (quatro) anos após lacre do sistema de lançamento

Com o período total de avaliação, percebeu-se que a área após 10 anos de simulação apresenta a pluma quase que totalmente carregada para o corpo receptor a jusante da área avaliada, conforme Figura 9



Figura 9 - Visualização da pluma para o período de 10 anos de simulação

CONCLUSÕES

A integração de diferentes ferramentas, como monitoramento, levantamento geofísico e modelagem, ao se estudar a propagação da pluma de um efluente de charqueadora, mostrou-se adequada como procedimento para identificar a extensão e localização da pluma, o fluxo e a propagação dos contaminantes no aquífero freático da região.

Para realização desses estudos foi feito um monitoramento quali-quantitativo do aquífero freático ao longo de 3 anos aproveitando a rede pré-existente composta de 14 cisternas que, até a detecção do problema, eram utilizadas como única fonte de abastecimento de água da região.

Os resultados do monitoramento permitiram delinear a pluma e mostraram que, com o passar dos 3 anos após a interdição do lançamento, a concentração do cloreto em todos os poços reduziu muito.

O teste de bombeamento e os dados de monitoramento do nível piezométrico foram utilizados para subsidiar a modelagem matemática. Durante a avaliação do caso estudado, esses dados permitiram ao modelo uma boa calibração quanto à simulação do tempo de propagação da pluma de contaminante.

A caracterização da qualidade da água subterrânea, monitorada por meio de poços (cisternas) na área de estudo, auxiliaram na elaboração de modelo mais confiável de caracterização do aquífero, evolução da pluma de contaminação e de remediação da mesma.

Os levantamentos geofísicos executados na área de estudo permitiram delinear melhor a pluma e também identificar contaminação em outro local não esperado. Foi observada uma pluma de contaminante a jusante da empresa, o que já era esperado, mas também foi observada uma pluma a montante, o que pode indicar outro ponto de lançamento de efluente, desconhecido até o momento do levantamento geofísico. A detecção desse possível lançamento não reportado evidencia a importância de se realizar um levantamento mais abrangente, que em geral só é possível por métodos geofísicos.

A modelagem matemática realizada na área estudada, utilizando o programa Visual Modflow, se embasou em dados de monitoramento, de teste de bombeamento, além de mapas geológicos que permitiram a calibração e simulação da pluma de cloreto.

As simulações, a partir do modelo calibrado, sugerem que depois de decorridos três anos da interrupção da fonte de contaminação, os processos naturais de dispersão atenuaram as concentrações de cloreto de sódio para limites próximos ao de potabilidade. Após o tempo de simulação de 1.440 dias, depois de interrompido o lançamento, percebe-se que a pluma sai da área

coberta pelos poços, reestabelecendo a condição próxima do natural. Ou seja, não mais se percebe a influência da atividade poluidora na região.

O monitoramento praticado na área de estudo foi de fundamental importância ao alcance dos resultados apresentados. No entanto, o estudo mostrou que a rede existente foi insuficiente para uma boa caracterização do local. Poços escavados manualmente por meio de trados poderiam ter sido abertos com baixo custo e forneceriam uma melhor base de dados para simulação e previsão do caminamento da pluma de contaminação.

Após os levantamentos geofísicos detectou-se a possibilidade da contaminação a montante que poderia ser melhor caracterizada com a execução de novas linhas de investigação criando seções a montante da charqueadora.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal – ADASA, (2012). Plano de Gerenciamento Integrado de recursos Hídricos do Distrito Federal – PGIRH. Disponível em: <www.adasa.df.gov.br>, acessado em 25 de maio de 2012.

Campos, J.E.G., Freitas-Silva, F.H. 1999. Arcabouço hidrogeológico do Distrito Federal. In: XII Simp. Geol. Centro-Oeste. Boletim de Resumos. Brasília. 113p.

EMBRAPA. (2002). Relatório da gestão EMBRAPA 2002. Brasília, DF.

Esteves, T, B. (2010). Estudo da Contaminação do Lençol Freático por Hidrocarbonetos Utilizando Modelagem Computacional. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Engenharia Civil, Universidade de Brasília.

Fetter, C.W. (1994). Applied Hydrogeology. University of Wisconsin, Oshkosh, 3º ed. Editora Prentice- Hall, Inc., 691p.

Gonçalves, T.D. 2007. Geoprocessamento como ferramenta para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos na região do Distrito Federal. Universidade de Brasília/Instituto de Geociências. 225p. (Dissertação de Mestrado).

IBGE, 2010. Censo Demográfico de 2010. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, dados referentes ao Brasil, fornecidos em meio eletrônico.

Nascimento, C.T.C.N. (1998). Comparação de Dados de Levantamentos Geofísicos e de Campanhas de Amostragem em Estudos de Contaminação do Subsolo. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Engenharia Civil, Universidade de Brasília..