

ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA EXPLOTADA NA ZONA DE RECARGA DO AQUÍFERO GUARANI NO MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS-SP

Geisy Candido da Silva (*), Denise Balestrero Menezes, Marcilene Dantas Ferreira

* Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Ciências Ambientais, Bacharel em Gestão e Análise Ambiental
silva_geisi@yahoo.com.br.

RESUMO

O aquífero Guarani é um importante manancial de águas subterrânea de extensa área, tornando o manejo e conservação das águas subterrâneas conflituosa. Este aquífero é confinado por derrames basálticos, com restritas áreas de afloramento leste e oeste da bacia do Paraná, correspondentes a arenitos da Formação Pirambóia e Botucatu. A faixa leste do afloramento do aquífero Guarani, atravessa a região central do Estado de São Paulo de norte a sul, englobando importantes municípios. Nesse contexto, o município de São Carlos, abrange parte das áreas do afloramento do aquífero Guarani em sua porção norte e sul, cujos usos do solo são predominantemente agrícolas, industriais e pecuários. Em contrapartida, a região central de São Carlos é destinada a habitações e ao desenvolvimento do centro comercial. Porém, o aumento da densidade populacional induz direciona a expansão territorial para as áreas de afloramento do aquífero Guarani. O conjunto dos fatores ambientais e as ações antrópicas implicam diretamente na qualidade da água que será explorada. Portanto, analisar as características das ocupações antrópicas e obter indicadores da qualidade da água explorada através do monitoramento são ferramentas determinísticas para a obtenção de parâmetros, que serão utilizados para direcionar novas pesquisas e propor diretrizes para o manejo da área. Para tanto, foi elaborado um Plano de Informações (PI) da área de estudo, composto por mapas pré-existentes do substrato rochoso e de materiais inconsolidados, adicionados a mapas das classes hipsométricas e dos usos e ocupações do solo, dos quais, foram tratados em Sistema de Informações Geográficas (SIG). O software utilizado foi MapInfo v. 10, para o georreferenciamento das imagens e a composição das cartas temáticas, e software ICE 1.4.4, para a mosaicagem de cenas do satélite SPOT 5 para composição da imagem base para o mapeamento dos usos e ocupações do solo. Paralelamente ao PI, ocorreu o monitoramento de 13 poços presentes na área, onde houve amostragem da água, seguida da análise de parâmetros físicos básicos: potencial hidrogênionico e condutividade elétrica. Os resultados permitiram correlacionar os índices da análise da água amostrada aos usos do solo, que pelas características do afloramento do aquífero Guarani, são ameaças diretas a qualidade das águas subterrâneas. O tratamento dos dados indicaram contaminações pontuais na área, porém é preciso que haja análises completas dos parâmetros físicos, químicos e biológicos das amostras do monitoramento, onde será possível identificar a fonte poluidora e propor alternativas para mitigar os efeitos sobre as águas subterrâneas.

PALAVRAS CHAVES: Contaminação da água, Zona de Recarga do Aquífero Guarani, Monitoramento, Sistema de Informação Geográfica (SIG).

INTRODUÇÃO

O aquífero Guarani é um importante reservatório hídrico subterrâneo, que desde a década de 1970 desperta o interesse da comunidade acadêmica, dos órgãos políticos institucionais e da sociedade em geral (SOUZA, 2009). Em territórios brasileiros este aquífero possui 839.800 km² de extensão, correspondendo a 70% de sua área total.

Todavia, implementar ações eficientes de gestão evitando conflitos entre os setores usuários demanda estudos hidrogeológicos associados ao monitoramento, permitindo aquisição de informações sobre os limites e as potencialidades de exploração desse reservatório (NISHIYAMA & ZUQUETTE, 1994).

No Brasil o aquífero Guarani apresenta duas estruturas, a confinada e a não confinada, a qual possui comportamento de aquífero livre, caracterizada pela zona de afloramento e recarga deste aquífero. A área não confinada expõe todo o Sistema Aquífero Guarani (SAG), pois permite que dejetos provenientes de atividades antrópicas potencialmente poluidoras infiltrem no solo atingindo o lençol freático (IRITANI & EZAKI, 2008). Portanto, as áreas de afloramento são mais vulneráveis, o que possibilita contaminações diretas causadas por avanços urbanos, industriais e agrícolas.

Contaminações diretas e indiretas do aquífero livre refletem o déficit no planejamento de muitos municípios brasileiros. Conseqüentemente o diagnóstico de áreas com conflitos na recarga deste reservatório natural é primordial para auxiliar na gestão dessas regiões que possuem extrema vulnerabilidade.

Nesse contexto, o município de São Carlos, interior do Estado de São Paulo, está inserido em parte da faixa de afloramento do aquífero Guarani, cujo território sofre impactos de atividades antrópicas potencialmente poluidoras,

como a agricultura e os avanços populacionais desordenados, que de forma direta ou indireta afetam a qualidade das águas deste aquífero.

A poluição das águas subterrâneas é derivada tanto das atividades de despejo em locais inadequados, quanto da agricultura pela infiltração e percolação de agrotóxicos e pesticidas, pelas indústrias através de compostos não tratados e por outras atividades antrópicas (PERROTA, 2005). A infiltração dos poluentes nas águas subterrâneas depende de vários fatores, sendo os principais a permeabilidade do solo e/ou das rochas, da cobertura vegetal, da inclinação do terreno e dos usos e ocupação do solo (QUEIROZ, 2009).

A manutenção e proteção dos aquíferos requerem uma série de preocupações dentre elas o aumento e a diversificação de produtos químicos que possam poluir as águas subterrâneas; a crescente aplicação de fertilizantes e pesticidas na agricultura; o lançamento de esgoto e efluentes industriais não tratados, em larga escala; os efeitos potencialmente nocivos à saúde, associados à poluição de captações de água subterrânea, resultando em baixas concentrações, mas persistentes de alguns contaminantes de toxicologia pouco conhecida; dificuldade e a inviabilidade de realizar a remoção de poluentes em um grande número de fontes pontuais de captação; o fato de que a reabilitação de um aquífero poluído requer altos custos, resultando muitas vezes no abandono do local de captação (FOSTER, 1988).

Os diversos usos da água acabam deixando este recurso altamente vulnerável à poluição e contaminação, assim como pode gerar conflitos entre os setores usuários e gerar impactos ambientais. Portanto, para evitar problemas dos usos atuais e futuros, é preciso que haja uma gestão desses recursos, tendo como objetivo ajustar as demandas econômicas, sociais e ambientais em níveis sustentáveis.

Porém, a gestão dos recursos subterrâneos demanda caracterizações e monitoramento da área abordada, pois os parâmetros encontrados em estudos prévios subsidiam novos estudos direcionados a problemas específicos, contribuindo para prever e mitigar problemas de saúde pública e altos índices de contaminação das águas subterrâneas.

OBJETIVOS

O cenário do município proporcionou a abordagem deste estudo, que esteve embasado no diagnóstico preliminar da qualidade das águas subterrâneas exploradas na porção noroeste de São Carlos-SP. O estudo foi composto pela caracterização da área e pelo monitoramento da água de treze poços presentes na área. A integração dos dados obtidos com análise dos parâmetros físicos básicos da água as características da área, forneceram informações sobre indícios de contaminação da água e suas possíveis fontes de degradação.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo corresponde a 232 km² de abrangência, cujos limites de afloramento do aquífero Guarani foram verificados com o auxílio do mapeamento elaborado por FAGUNDES (2010), referente ao substrato rochoso e aos materiais inconsolidados (FIGURA1).



FIGURA1: Localização da área de estudo no Estado de São Paulo, município de São Carlos-SP.

Estes mapas foram digitalizados no software MapInfo v. 11.0, tendo o datum horizontal convertido de Córrego Alegre para SAD 69, mantendo-se a projeção geográfica Universal Transversa de Mercator (UTM), correspondendo ao fuso 23

S e com escala de 1:25.000. Isto possibilitou a elaboração do Plano de Informações (PI), do substrato rochoso e dos materiais inconsolidados.

Complementando a caracterização da área, cartas temáticas referentes à altimetria do terreno e aos usos e ocupações do solo foram elaboradas. A carta hipsométrica foi constituída com o datum horizontal SAD 69, projeção geográfica UTM, fuso 23 S e escala 1:25.000.

A carta de usos e ocupações do solo teve como base a técnica o mosaico de imagens, onde foram extraídas 800 cenas do satélite SPOT 5 (*Sistem e Proboitoire de Observation de la Terra*), com resolução espacial de 20 metros (MOLINA, 2003). A mosaicagem une dois ou mais extratos de imagem e foi realizada no software Microsoft Ice 1.4.4 (BAGLI & FONSECA, 2005).

A caracterização da área de estudo possibilitou o diagnóstico dos limites de ocorrência do aquífero livre, no qual houve o monitoramento em poços distribuídos na região delimitada, sendo 6 poços cacimbas e 7 piezômetros (TABELA1).

TABELA 1: Coordenadas dos poços utilizados no monitoramento.

Poço	Coord. L (m)	Coord. N (m)
PM1	190478	7576194
PM2	193797	7572277
PM3	196629	7569921
PM4	201969	7572369
PM5	203028	7572060
PM6	205220	7574300
PM7	207961	7574284
PC8	204928	7573580
PC9	202021	7574346
PC10	200276	7575338
PC11	198951	7576845
PC12	195009	7577783
PC13	192815	7569596

PM - Poços de monitoramento (piezômetros)

PC - Poços Cacimbas.

Nos pontos de monitoramento houve a amostragem e análise de parâmetros físicos básicos da água que foram: potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica. Os resultados possibilitaram concluir se há contaminação/poluição do aquífero livre e quais usos do solo estariam sucedendo este quadro, vinculando à análise dos dados da hipsometria do terreno.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos no geoprocessamento, como o mapa de materiais inconsolidados e do substrato rochoso, possibilitaram o diagnóstico dos materiais inconsolidados presentes na área e os limites do afloramento do aquífero Guarani.

Nesse contexto, no mapa do substrato rochoso, foram observados três materiais diferentes sendo eles: Formação Botucatu de idade Cretácea e litologia de arenitos friáveis e silicificados, Formação Itaqueri de idade Jurássico-Cretáceo e litologia arenítica com cimento de finos, siltitos, conglomerações e argilitos e a Formação Serra Geral de idade Triássico e de litologia Basaltos e Diabásios (FAGUNDES, 2010).

Na Formação Serra Geral, havia basaltos e diabásios. Os basaltos dessa formação ocorrem na região leste e sul da área de estudo, em encostas com declividades elevadas, não aflorando na região oeste. Já os diabásios ocorrem na região nordeste em uma pequena extensão, onde são recobertos por materiais inconsolidados residuais argilosos, com espessura de até 5m (FAGUNDES, 2010).

A Formação Botucatu é caracterizada por dois tipos de arenitos; um friável que compõe as zonas com suave declividade e outro que ocupa as escarpas. Além dessa característica, há um pacote de arenito superior bem cimentado/silicificado e um inferior pouco cimentado localizado em baixas declividades, compondo a área de recarga direta do aquífero (FIGURA2).

Na delimitação dos materiais inconsolidados da área de estudo foi diagnosticado a presença de 14 tipos de materiais inconsolidados, sendo tanto materiais residuais quanto materiais retrabalhados. Esses materiais possuem um código de identificação utilizada na legenda do mapa (ZUQUETTE et. al, 2009) (Tabela 2).

TABELA 2: Materiais inconsolidados encontrados na área de Estudo. Fonte: FAGUNDES, 2010.

Materiais inconsolidados	Legenda do mapa
Retrabalhado Aluvião	I-RT Aluvião
Retrabalhado Colúvio arenoso	II-RT Colúvio arenoso
Retrabalhado Arenoso-argiloso	III-RT Colúvio arenoso-argiloso
Retrabalhado Arenoso	IV- RT Arenoso
Residual Formação Itaqueri Arenoso com finos	V- RS FM IT Arenoso com finos
Residual Formação Itaqueri Arenoso com finos rasos	VI-RS FM IT Arenoso com finos rasos
Residual Formação Itaqueri finos rasos	VII-RS FM IT Finos
Residual Formação Itaqueri finos com rasos	VIII- RS FM IT Finos rasos
Residual Formação Serra Geral silto-argiloso raso	IX- RS FM SG Silto-argiloso raso
Residual Formação Serra Geral argiloso	X- RS FM SG Argiloso
Residual Formação Serra Geral argiloso raso	XI- RS FM SG Argiloso raso
Residual Formação Botucatu arenoso	XII- RS FM BO Arenoso
Residual Formação Botucatu arenoso raso	XIII- RS FM BO Arenoso raso
Formação Botucatu silicificado	XIV- FM BO Silicificado

O material retrabalhado Aluvião, na área de estudo é caracterizado por estar em zonas de onde a zona saturada está a menos de 2 metros de profundidade, tendo sua camada superficial arenosa rica em matéria orgânica. Já o retrabalhado Colúvio, recobre parte da Formação geológica Itaqueri e Botucatu, com espessuras inferiores a 5 metros. O retrabalhado Colúvio areno-argiloso, este entre os limites de basaltos e arenitos da Formação Botucatu, podendo atingir 5 metros de espessura. E o retrabalhado arenoso está localizado em áreas mais elevadas, separado dos residuais finos por uma camada de seixos, variando sua espessura de centímetros á superiores a 0.5 metros (FAGUNDES, 2010) (FIGURA3).

O mapa de usos e ocupações do solo forneceu parâmetros sobre a composição dos diferentes tipos de usos na paisagem, dos quais foram vinculados aos dados do monitoramento das águas subterrâneas. Os resultados do mapa com o uso de cenas do satélite SPOT 5 (FIGURA4).

As características da área de estudo foram complementadas com o mapa das classes hipsométricas, que compôs o último mapa geoprocessado durante o estudo. Nesta carta, é possível observar as características do relevo da área, das quais estão associadas ao fluxo de resíduos, pela declividade do terreno e á proximidade aos recursos hídricos (FIGURA5). O Plano de Informações da área de estudo, ao final da análise dos dados do monitoramento foi utilizado para associar os valores dos parâmetros físicos básicos da água as possíveis fontes de contaminação.

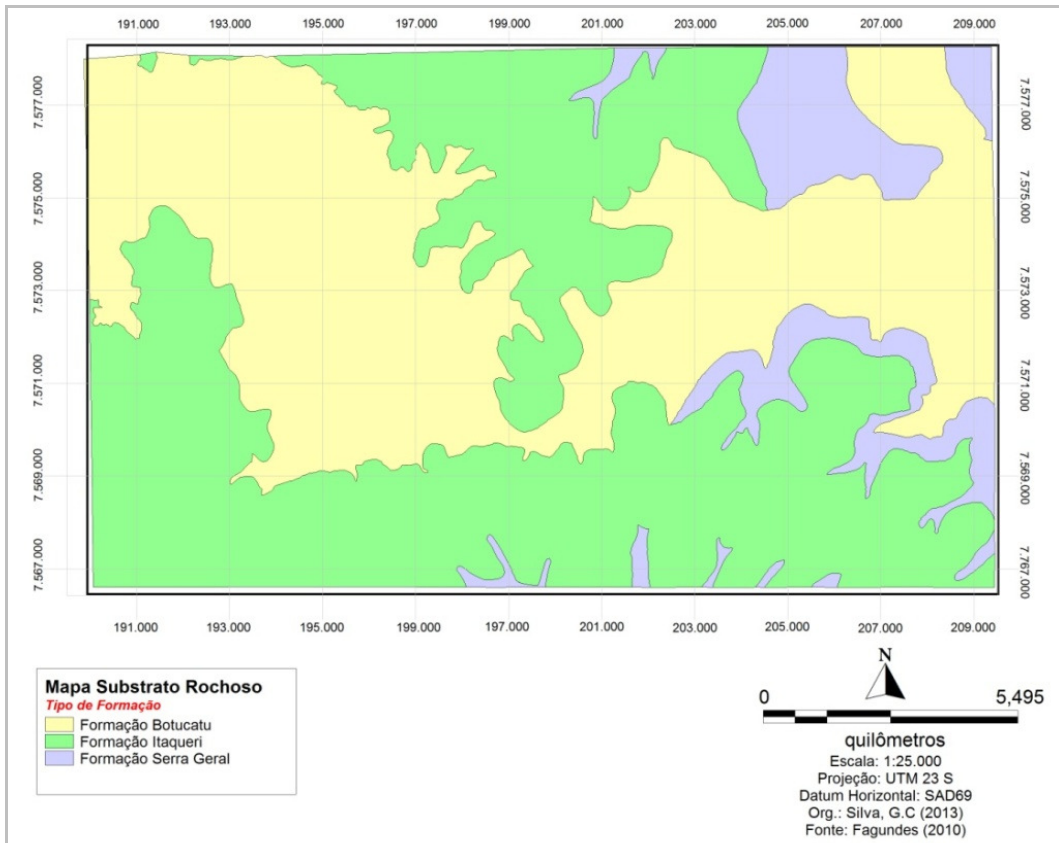


FIGURA2: Mapa do substrato rochoso, da região noroeste do município de São Carlos, SP.

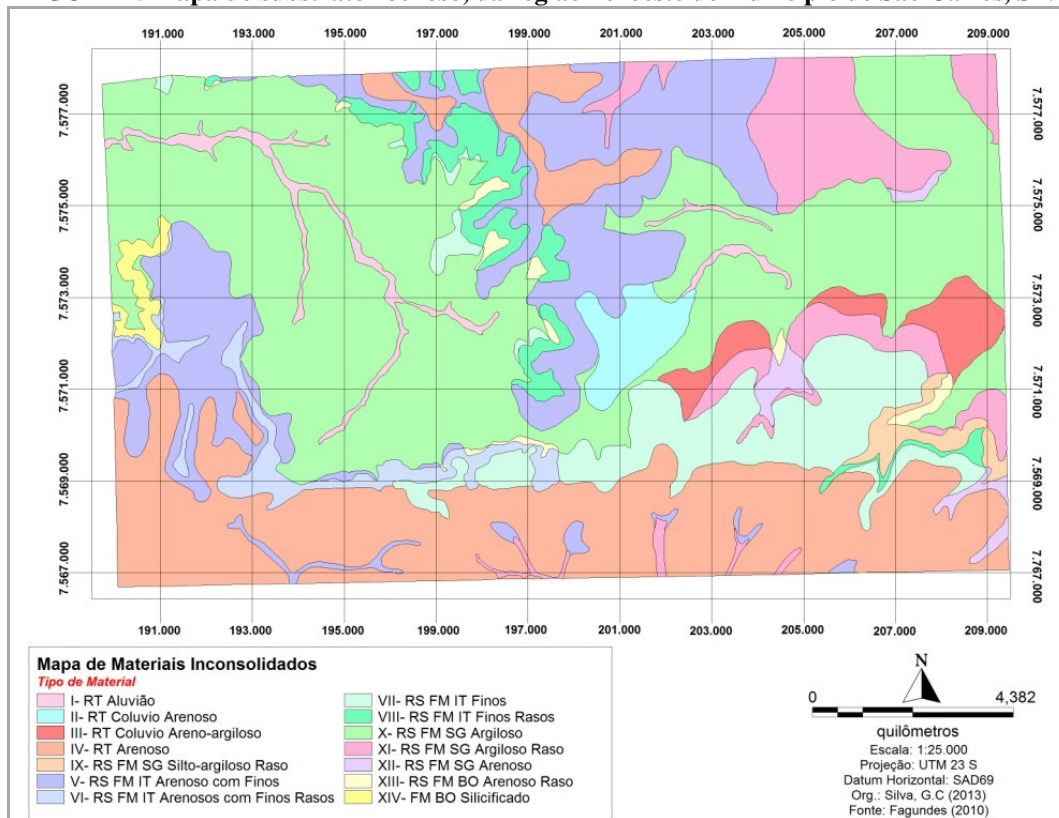


FIGURA3: Mapa de materiais inconsolidados, da região noroeste do município de São Carlos-SP.

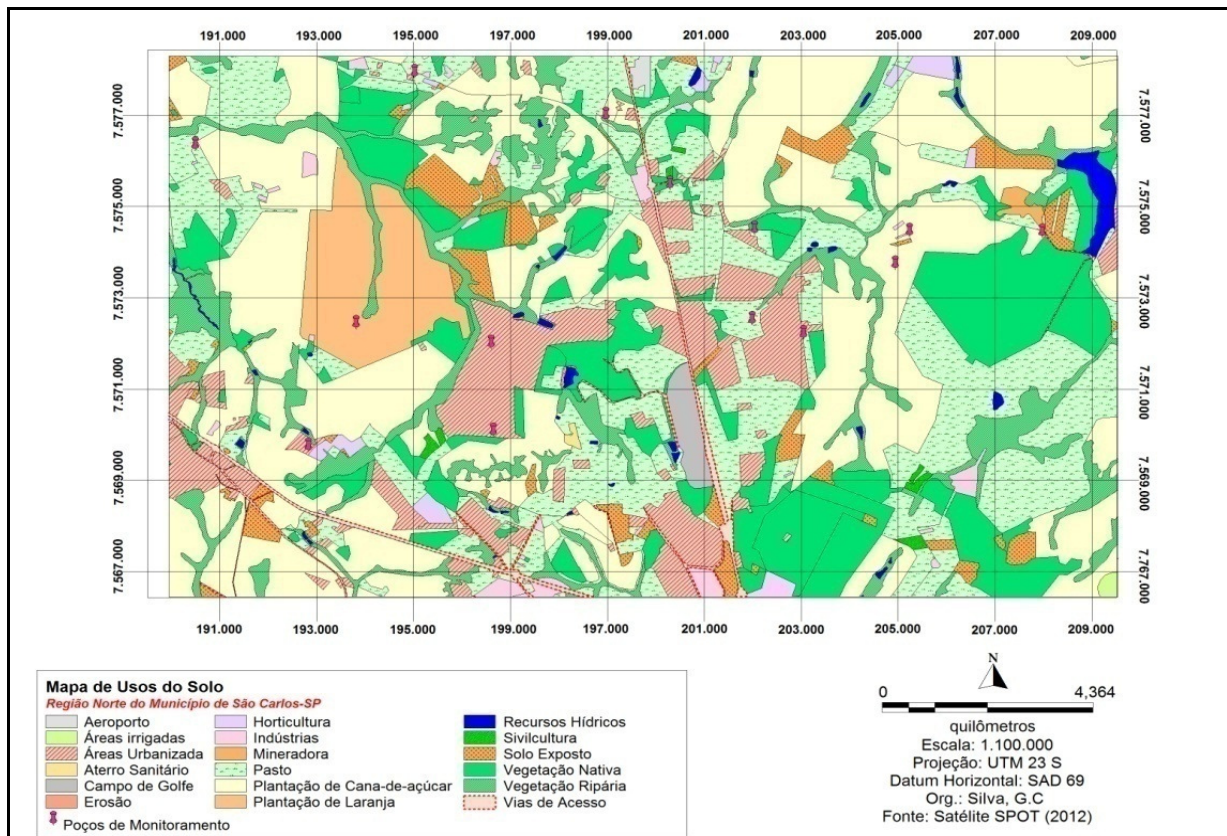


FIGURA4: Mapa de usos e ocupações do solo, região noroeste do município de São Carlos.

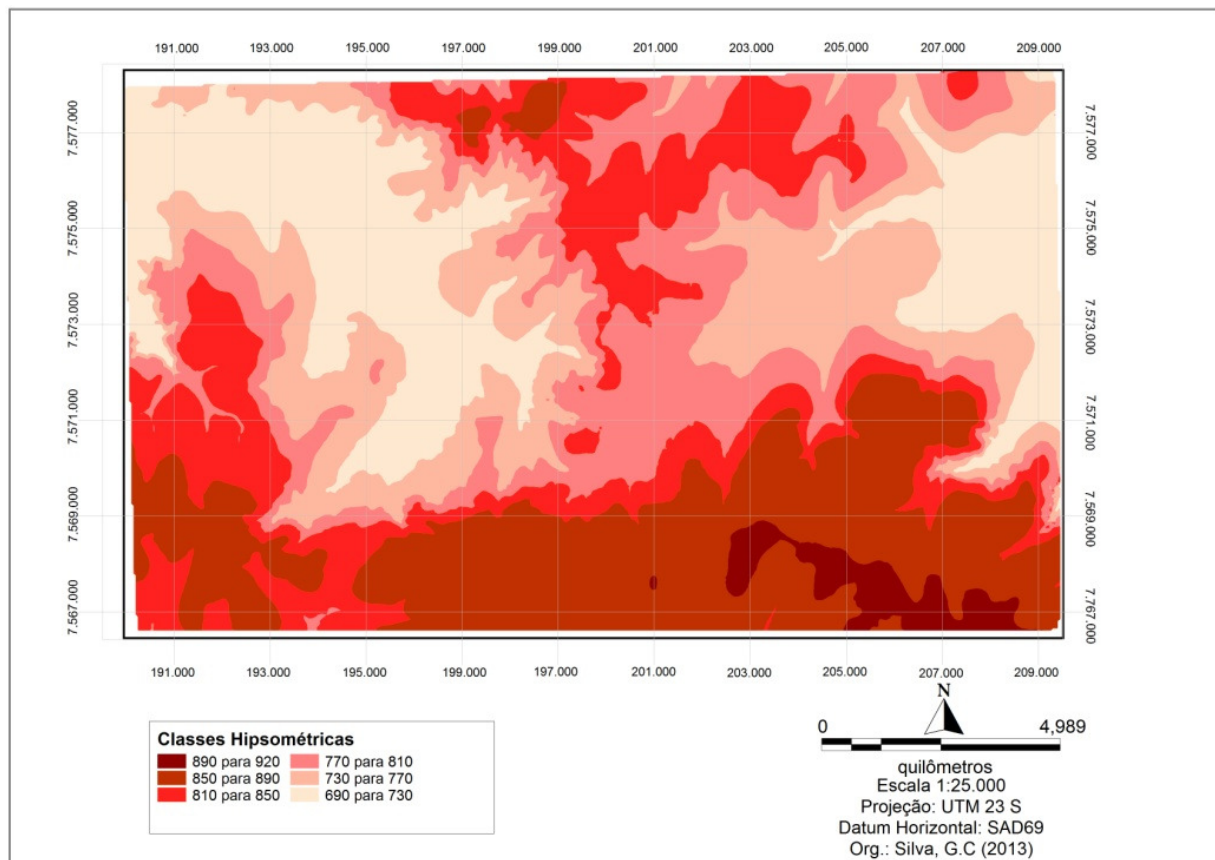


FIGURA 5: Mapa hipsométrico do terreno, região noroeste do município de São Carlos-SP.

No Brasil, parâmetros que determinam padrões de substâncias contidas na água para abastecimento populacional, são regulamentados pela Portaria do Ministério da Saúde 2914/2011 (BRASIL, 2011).

O potencial hidrogeniônico (pH), para a água destinada ao abastecimento populacional deve apresentar valores entre 6,0 e 9,5. Segundo CASALI (2008), o pH indica a atividade de íons H⁺, expressando a condição do meio, que pode ser ácido (pH < 7,0), alcalino (pH > 7,0) ou neutro (pH=7).

Água com pH baixo compromete o gosto, a palatabilidade e aumenta a corrosão, enquanto que águas com pH elevado aumentam a formação de incrustações e diminuem a eficiência da desinfecção por cloração (SPERLING, 2005).

Todavia, valores de condutividade elétrica não implicam diretamente na qualidade da água, mas auxiliam no cálculo de minerais presentes em sua composição, indicando a concentração de Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), que segundo a legislação possui 1.000 mg/L como valor máximo permitido (BRASIL, 2011).

Nesse caso, altas concentrações de Sólidos Dissolvidos Totais tornam a água impalatável, gerando problemas de corrosão de tubulações e o seu consumo pode causar o acúmulo de sais na corrente sanguínea e possibilitar a formação de cálculos renais (CASALI, 2008).

Os resultados das análises de pH dos poços de monitoramento apontaram para pHs ácidos inferiores a 6,0. Valores de pH em torno de 6 é comum para água subterrânea em áreas com solo arenoso e vegetação de cerrado. Mas valores próximos a 5 podem estar relacionados ao uso de agroquímicos nas culturas, tornando o solo mais ácido, pois a água que infiltra no aquífero livre, acaba carreando dejetos dos insumos para o lençol freático.

Correlações entre usos do solo e hipsometria indicaram que os poços de monitoramento com águas mais ácidas estão localizados em territórios de cultivo de milho, laranja e cana-de-açúcar; e que a hipsometria apresenta relevantes declives na área o que pode ajudar a dispersão dos poluentes para áreas mais baixas.

As premissas vinculadas aos valores do potencial hidrogeniônico (pH) podem ser confirmadas pelos valores da condutividade elétrica, que fornecem informações sobre os Sólidos Dissolvidos Totais, cujos valores estão associados a intervenções antrópicas como agente de contaminação.

Os poços de monitoramento 1,2 e 7, e também os poços cacimbas 11 e 13, apresentam grandes plantações no entorno justificando os valores elevados da condutividade elétrica em relação aos demais poços. Esse evento pode estar relacionado ao uso de fertilizantes e pesticidas nessas áreas, que resultam no aumento de minerais e sais presentes no solo, e consequentemente, na água (GRÁFICO 1).

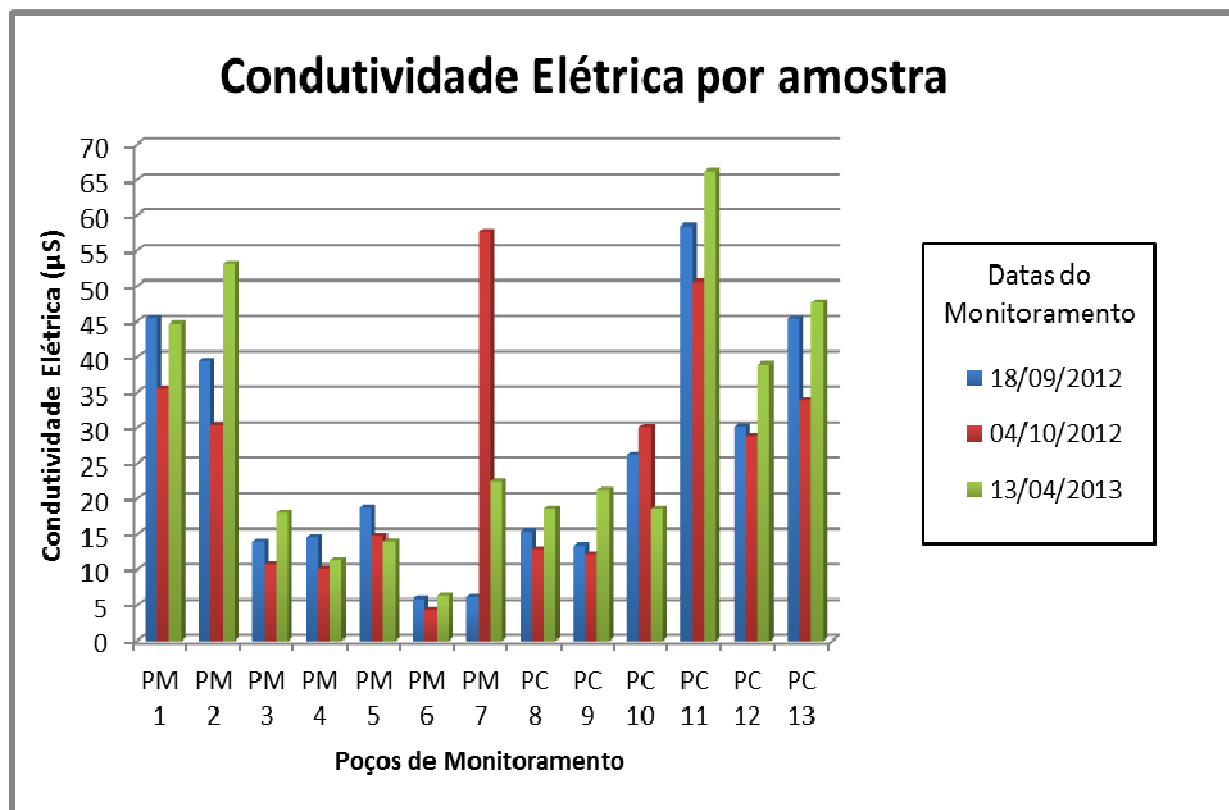


GRÁFICO 1: Dados da análise de condutividades elétrica (µS), das amostras dos poços de monitoramento.

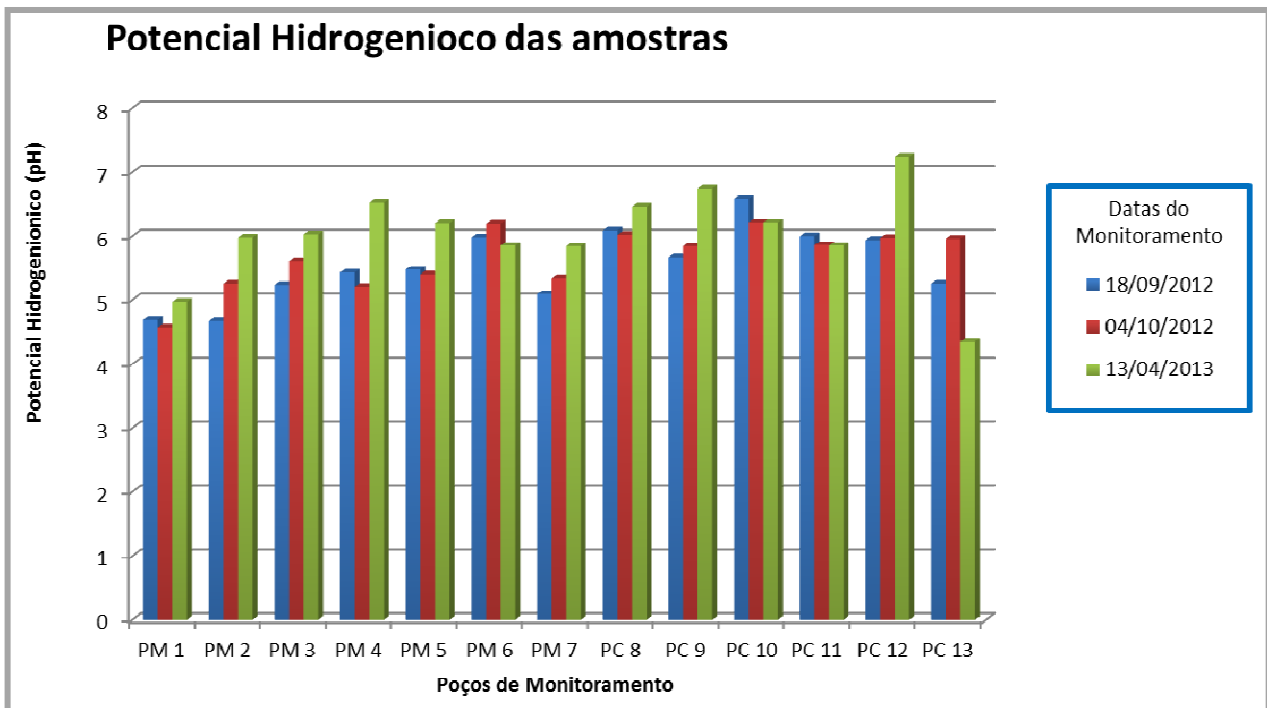


GRÁFICO 2: Dados da análise do potencial hidrogeniônico, das amostras dos poços de monitoramento.

CONCLUSÃO

As relações entre os usos do solo e os altos índices de condutividade elétrica associados à acidez do potencial hidrogeniônico (pH), fortalecem as necessidades de uma estrutura sólida de planejamento e gestão territorial adicionadas à disseminação de informação dos riscos potenciais das atividades agrícolas à qualidade das águas do aquífero Guarani.

A análise desta porção da região noroeste do município de São Carlos-SP, proporcionou avaliar as condições de recarga do aquífero Guarani de forma restrita, sendo possível concluir que as contaminações são pontuais. Porém, o acúmulo dos dejetos provenientes da agricultura no aquífero pode culminar em consequências mais graves, que levaria séculos para retornar a potabilidade da água para abastecimento.

Portanto, monitoramentos constantes com o intuito de averiguar a persistência da alta condutividade elétrica e das alterações do pH, são primordiais para auxiliar na gestão dessa área, proporcionando equilíbrio entre as necessidades do cultivo agrícola e do abastecimento da população que extrai água do aquífero Guarani. Investigações de parâmetros mais específicos associados aos agroquímicos devem ser avaliados para comprovação das observações efetuadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAGLI, V.V & FONSECA, L. M. G. *Emprego de análise em multiresolução para mosaicação de Imagem de Sensoriamento remoto*. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005.
- BRASIL. *Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011: Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade*. Ministério da Saúde, Brasília, 15p. 2004.
- CASALI, C.A. *Qualidade da Água para Consumo Ofertada em Escolas e Comunidades Rurais da Região Central do Rio Grande do Sul*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria. 173p. 2008.
- FAGUNDES, J.R.T. *Estudo integrado das características geológico-geotécnicas com vista à avaliação de recarga de aquífero: região de São Carlos-SP*. (Tese-Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos- Universidade de São Paulo. São Carlos-SP, 2010.

5. FOSTER, S.S.D.; HIRATA, R.C; ROCHA, G.A. *Riscos de poluição de águas subterrâneas: Uma proposta metodológica de avaliação regional*. 1988.
6. IRITANI, M.A & EZAKI, S. *As águas subterrâneas do Estado de São Paulo*. Secretaria de Estado do Meio Ambiente – SMA.São Paulo-SP, 104p. 2008.
7. MOLINA, J.V.E. *Recursos Hídricos Superficiais da Área Urbana de Expansão da Cidade de São Carlos-SP- Estudo Multitemporal*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos. 106p. 2003.
8. NISHIYAMA, L & ZUQUETTE, L.V. *Importância da Cartografia Geotécnica para Caracterização de Vulnerabilidade de Aquíferos Livres: Exemplo do Aquífero Botucatu na Quadricula de São Carlos-SP*. Geociências. [S.I], V.13, Nº2, p 345-357. São Paulo-SP, 1994.
9. PERROTA, M.M. Mapa Geológico do Estado de São Paulo escala 1:750.000. *Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil*. São Paulo: CPRM, 2005.
10. QUEIROZ, R.C. *Geologia e Geotécnica Básica para Engenharia Civil*. Editora: Rima. São Carlos–SP, 2009.
11. SOUZA, L.C. *Águas Subterrâneas e a Legislação Brasileira*. Editora: Juruá. Curitiba-PR. 236p. 2009.
12. SPERLIND, M.V. *Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgoto*. 3º Edição. Editora: DESA. Universidade Federal do Mato Grosso. 452p. 2005.