

AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIAS PARA O MONITORAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Gilze Belém Chaves Borges¹ Edson da Costa Bortoni² & Roberto Alves de Almeida³

RESUMO --- As preocupações com a questão ambiental e a preservação dos recursos hídricos afloram no seio das comunidades que entenderam a importância deste recurso para a sua sobrevivência. No Brasil, a exploração das águas subterrâneas tem crescido de forma acelerada nas últimas décadas. Conhecer a disponibilidade e a qualidade dos sistemas aquíferos é primordial para o estabelecimento de uma política de gestão. Para garantir a qualidade destas águas, quanto à mineralização, eliminação de potenciais riscos de contaminação e vulnerabilidade frente aos fatores antrópicos, pesquisas científicas apontam para a necessidade de implantação de um monitoramento contínuo de qualidade de águas subterrâneas. Os dados podem ser obtidos através de análises locais e laboratoriais, bem como explorar a rapidez dos resultados com medições de precisão e confiabilidade, utilizando sensores. Neste sentido, neste artigo se procura mostrar estas novas tecnologias aplicadas em um teste analítico de um poço de água subterrânea e as perspectivas de elevar as análises qualitativas e quantitativas de água a uma análise investigativa e voltada para o futuro, através de métodos que utilizam cada vez mais a instrumentação, buscando novas estratégias que proporcionam a obtenção de informação, com necessária validação e confiabilidade.

ABSTRACT --- The concerns about the environmental problems and preservation of the water resources emerge in the heart of the communities that understood the importance of this resource for its survival. In Brazil, the exploration of the underground waters has grown up in last few years. To know the availability and quality of the aquifers systems is very important for the establishment of a politics management. To guaranty the quality of these waters, the kind of their chemical composition, the elimination of possible risks of contamination and vulnerability front of human actions, scientific researches points to the necessity of implementation a continuous monitoring of quality of underground waters. The data can be gotten through laboratory and local analysis, as well as exploring the quickness of the results and the measurements of precision and reliability, using sensors. In this sense, this work show these technologies applied in an analytical test of underground water and present the perspectives to obtain the qualitative and quantitative analyses of water, through methods that use instrumentation that provide the information with validation and reliability.

Palavras-chave: água subterrânea, sensores, monitoramento.

1) Pesquisadora do CERNE da Universidade Federal de Itajubá; Av BPS 1303-Pinheirinho; Itajubá-MG; 37500-903;. E-mail: gilze.borges@uol.com.br.

2) Professor Adjunto da Universidade Federal de Itajubá ; Av BPS 1303; Pinheirinho. Itajubá-MG; 37500-903; E-mail bortoni@unifei.edu.br.

3) Professor visitante da Universidade Federal de Itajubá ; Av BPS 1303; Pinheirinho. Itajubá-MG; 37500-903; E-mail: roberto4772@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Atualmente no Brasil, as atividades de pesquisas e desenvolvimentos tecnológicos relacionados a recursos hídricos, principalmente em relação às águas subterrâneas, possuem dificuldades de atualização de banco de dados contendo informações sobre parâmetros de qualidade, bem como dos poços de extração. Programas de monitoramento providenciarão estes dados com exatidão e necessário conhecimento, uma vez que compreendem três elementos essenciais: continuidade, organização com teste sistemático e objetivo.

Um programa de monitoramento de águas subterrâneas tem importância ímpar dentro do novo conceito de preservação e conservação dos recursos naturais, pois se torna uma ferramenta para gerenciamento da qualidade, identificação de poluição e vulnerabilidade, além da previsão de fatos que venham a prejudicar aquíferos de forma irremediável.

Um item muito importante a ser levado em conta, quando se pensa em aquíferos, está relacionado às condições, localização e poços de exploração de águas subterrâneas, fatores importantes para identificar e manter sua qualidade e evitar sua contaminação. Um poço de extração de água subterrânea deve seguir procedimentos para sua manutenção e operação determinadas tecnicamente quando de sua construção, para evitar sua contaminação.

Para realizar um programa de monitoramento é imprescindível que se estabeleça um planejamento com claros objetivos, procedimentos delineados para respostas efetivas e previsão de custos de investimentos e operacionalização. Uma simples amostra, não constitui um monitoramento, assim como estudos esporádicos, não fornecem subsídios para uma caracterização hidrogeológica de um aquífero, ou mesmo descreve uma situação sistemática do andamento da qualidade do sistema água que está sendo avaliado.

O monitoramento pode servir a diversos fins e aplicações, principalmente para preservação de um recurso, avaliação da vulnerabilidade frente a fatores antrópicos, detecção de contaminação e poluição difusa, previsão de vazão explorável, possibilidade de medidas preventivas e corretivas. Mas acima destes interesses todos, está a água, o seu uso para o consumo e a sua ligação com a vida; e neste contexto, cada vez mais a qualidade da água com suas características físicas, físico-químicas e microbiológicas precisam ser conhecidas sendo o monitoramento uma ferramenta útil para estes estudos.

O sistema de sensores pode ser utilizado em sistema de monitoramento, incluindo sensores mecânicos, eletrônicos e analíticos, sistemas de controle, telemetria e softwares. Monitoramentos usando sensores podem ser tipicamente para parâmetros ambientais e sistemáticos, facilitando os processos de aquisição de dados e disponibilização destes para a formação de um banco de dados a serem monitorados pelos órgãos gestores (EPA, 2005).

Dentro deste programa de monitoramento, vê-se uma aplicação da constante evolução das tecnologias e do aumento da exigência da sociedade, provocando portanto um aumento da demanda da informação. Atualmente, através de procedimentos analíticos as informações podem ser contínuas e em tempo real, ao mesmo tempo em que sendo mais completa, contam com mais confiabilidade e precisão e em tempo cada vez menor.

Apresenta-se neste trabalho uma análise da utilização de um sensor comercial para avaliar um poço de água subterrânea, de forma a possibilitar a avaliação das análises qualitativas realizadas com o uso desta tecnologia para uma aplicação futura em monitoramento de águas subterrâneas.

2. MONITORAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

O Brasil não possui uma rede de monitoramento nacional de águas subterrâneas e de águas minerais. Há uma grande carência de dados a respeito da qualidade de águas. As fontes de dados são pontuais, através de trabalhos realizados no CPRM - Serviço Geológico do Brasil, algumas secretarias de Ministério de Meio Ambiente, CETESB e trabalhos particulares.

Vários estudos estão sendo realizados para a criação de redes de monitoramento para aquíferos em determinados locais, sem que sejam efetivamente realizados. É preciso criar uma rede de monitoramento que permita caracterizar a qualidade de águas subterrâneas, para se conhecer os aquíferos existentes, a vazão explotável e manter a qualidade destas águas, diagnosticando os efeitos antrópicos com tempo suficiente para garantir sua proteção e preservação (ANA, 2001).

Dentro deste programa de monitoramento, vê-se uma aplicação da constante evolução das tecnologias e do aumento da exigência da sociedade, provocando portanto um aumento da demanda da informação.

2.1 Sistemas de Monitoramento Contínuo da Qualidade das águas subterrâneas.

Um programa de monitoramento de água tem importância ímpar dentro do novo conceito de preservação e conservação dos recursos naturais, pois se torna uma ferramenta para gerenciamento da qualidade, identificação de poluição e vulnerabilidade, além de previsão de fatos que venham a prejudicar aquíferos de forma irremediável.

Tendo em vista os aquíferos, há ainda uma preocupação maior, uma vez que estão sujeitos à super-exploração ou mesmo à contaminação, pela inacessibilidade, extensão e falta de conhecimentos científicos e dados sustentáveis essenciais ao manejo adequado.

Um item muito importante a ser levado em conta, quando se pensa em aquíferos, está relacionado às condições, localização e poços de exploração de águas subterrâneas, fatores importantes para identificar e manter a sua qualidade e evitar sua contaminação. Um poço de

extração de água subterrânea deve seguir procedimentos para sua manutenção e operação determinadas tecnicamente quando de sua construção, para evitar contaminação .

Lemons & Vorwerk (1998) complementam que a representatividade do monitoramento, vai depender da representatividade da amostra de água e os parâmetros que forem escolhidos. Muitas variáveis afetam a representatividade de um monitoramento, incluindo a heterogeneidade da águas, o tempo de equilíbrio dos instrumentos, os processos hidrológicos, hidrogeológicos, biológicos e físico-químicos nas amostragens em determinadas áreas. Mas o principal objetivo é a coleta de dados e a representatividade das amostras. Para a implantação de um sistema de monitoramento, os autores sugerem um diagrama, conforme o apresentado na figura 1.

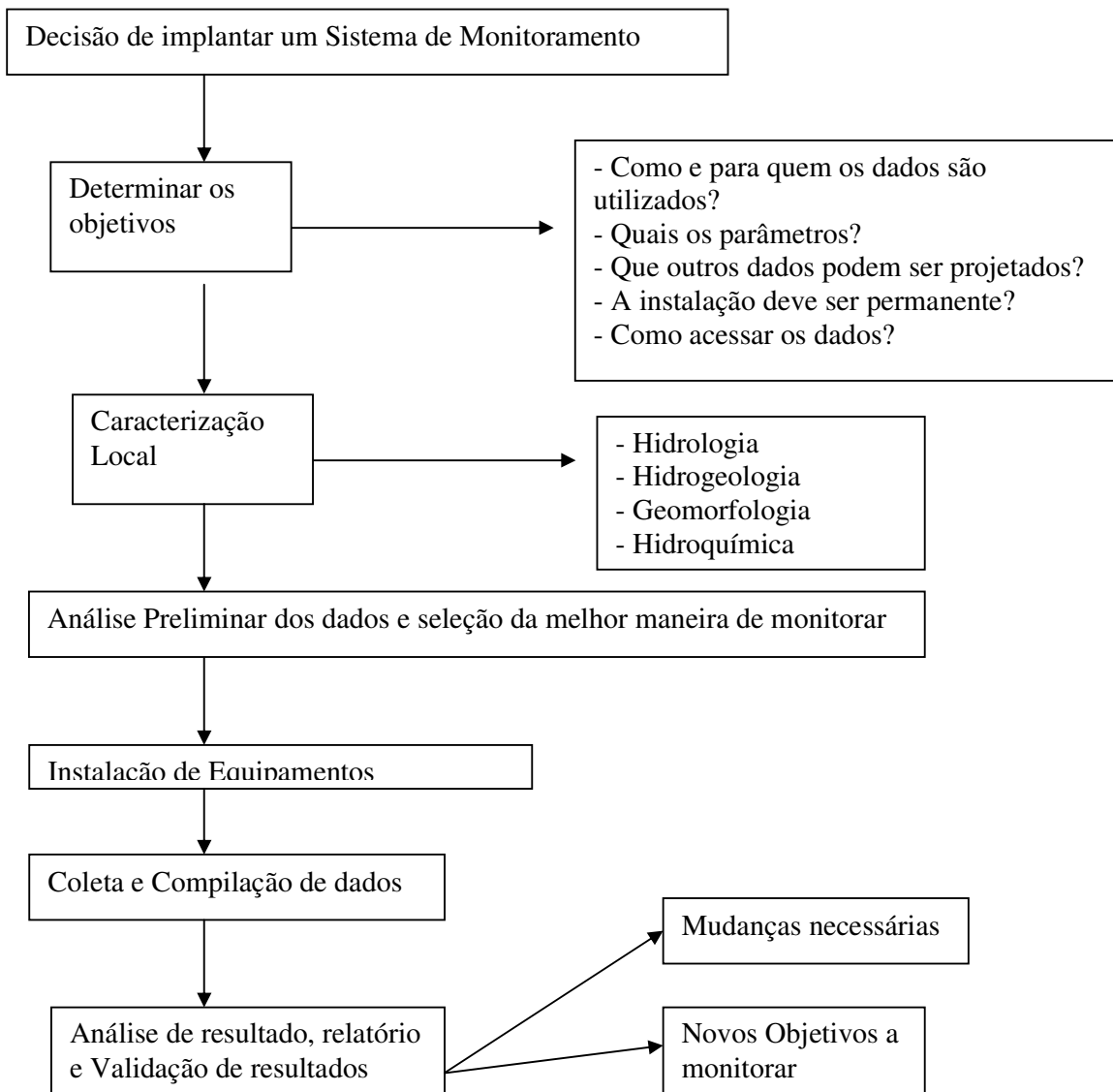


Figura 1 - Diagrama de Implantação de um monitoramento de Qualidade de Água (Lemons & Vorwek, 1998)

Muitos países possuem programas de controle e monitoramento da qualidade da água para prevenção antrópica apenas para cumprimento de legislação. Poucos estão avançados no monitoramento como acompanhamento de qualidade para ações preditivas e para o verdadeiro conhecimento do aquífero e das funções geológicas e hidrogeológicas da área de exploração, para um conhecimento científico da água.

Segundo Boman *et al.* (2002), um fator primordial em qualquer monitoramento, é a consistência de dados que permite avaliar comparações de um mesmo método e de laboratórios, das técnicas empregadas e procedimentos. Análises comparativas são ferramentas importantes para garantir se o sistema de monitoramento adotado corresponde em termos de amostragens, de número de amostras, de padrões adotados, calibrações, intervalos de tempo, procedimentos e confiabilidade dos dados adquiridos.

Vários estudos estão sendo realizados para a criação de redes de monitoramento para aquíferos em determinados locais, sem que sejam efetivamente realizados. É preciso criar uma rede de monitoramento que permita caracterizar a qualidade de águas subterrâneas para se conhecer os aquíferos existentes, a vazão explotável e manter a qualidade destas águas, diagnosticando os efeitos antrópicos com tempo suficiente para garantir sua proteção e preservação.

Segundo Hirata (2006), nos dias de hoje, retirar uma alíquota representativa de um aquífero ainda é um grande desafio técnico. Nas últimas décadas muito se evoluiu nesta “arte”. É certo que os novos equipamentos têm contribuído fortemente para que a retirada de uma amostra de um poço seja a mais representativa possível, é certo também que coletar a água com menor distúrbio possível tem resultado em amostras “verdadeiras”. Mas toda esta discussão acaba por convencer que o aquífero é antes de tudo um sistema complexo e, quando analisado em detalhe, suas heterogeneidades hidráulicas e químicas ganham expressões pouco previsíveis e muitas vezes esquecidas por hidrogeólogos.

Para potencializar o uso de equipamentos cada vez mais atuais e buscando atuar em sistemas de monitoramento com objetivo de melhorar procedimentos analíticos e propiciar cada vez mais veracidade à qualidade química e física das análises, uma grande perspectiva é a utilização de sensores, pois possuem a robustez necessária, são de fácil manuseio, portáteis, além de possibilitar geração de informação qualitativa e quantitativa em tempo real e com precisão.

Segundo Pursals (2003), quando se adiciona sensores no processo analítico, há uma redução e em alguns casos eliminação de algumas etapas do procedimento analítico convencional, demonstrando maior eficiência dos métodos de medidas.

Com a utilização dos sensores, há uma demonstração de como estão sendo resolvidos alguns dos desafios do químico analítico quanto a amostragens, análises no local (*in loco*), calibração, automatização e resultados de dados, pré-tratamento de amostras, enfim, uma série de melhorias

que possibilitam à Química Analítica e à Eletrônica, o desenvolvimento científico para um conhecimento cada vez maior desta área ambiental.

2.2 Uso de sensores para o monitoramento qualitativo de águas subterrâneas.

O estudo *in loco* de uma fonte consta da interpretação de suas características físico-químicas e químicas realizadas no local, conjugadas com análises químicas e bacteriológicas realizadas em laboratório. Para o estudo *in loco* e também visando o monitoramento contínuo da qualidade de águas, atualmente pode-se contar com sensores portáteis de diversos modelos que há algum tempo constam dos trabalhos de campo. Mas, existem vários métodos sendo desenvolvidos no mundo que possibilitam monitoramento *on line* através de sensores que possam captar grandezas durante um período de tempo estabelecido e transmiti-los através de uma rede que efetue o tratamento dos dados e o disponibilize à sociedade.

Os sistemas de monitoramento ambiental têm sido uma aplicação para as sondas multiparâmetros de medição da qualidade da água. A sonda compreende um dispositivo em forma de torpedo que é colocado na água para obter dados durante um período. Cada sonda pode ter um ou mais sensores, de forma a abranger os parâmetros de interesse. As sondas comercialmente encontradas, abrangem parâmetros como oxigênio dissolvido, condutividade, salinidade, sólidos totais dissolvidos, resistividade, temperatura, pH, potencial de óxido-redução, turbidez, nível, vazão, nitrato, amônia, cloreto e clorofila.

Segundo Graça (2002), para a escolha de uma sonda adequada à avaliação da qualidade da água, é necessário conhecer previamente a faixa de variação dos parâmetros que serão medidos, bem como as possíveis oscilações durante os períodos de bombeamento, e identificar as que preenchem as especificações exigidas.

O princípio de funcionamento das sondas é praticamente o mesmo, com poucas variações quanto às especificações, calibrações, dimensões e utilidades. Os itens de diferenciação, ficam por conta da tecnologia aplicada nos resultados e principalmente nos programas de tratamento dos dados, ou seja, nos *dataloggers* e os *softwares* de aplicação. A calibração de um sensor é um fator de fundamental importância na avaliação de resultados.

Diante dos parâmetros analisados pelas sondas,destacam-se :

- Condutividade - Os sensores de condutividade utilizam uma célula com quatro eletrodos de níquel puro para medida da condutividade da solução. Dois dos eletrodos são percorridos por uma corrente elétrica, e os outros dois usados para medir a queda de tensão. A queda de tensão medida é convertida em um valor de condutividade e, miliSiemens (milimhos). Para converter este valor em um valor de condutividade em miliSiemens por cm (mS/cm), a condutividade deve ser multiplicada pela constante da célula que tem unidade em cm (cm⁻¹). Para a maioria das

aplicações, a constante das células é automaticamente determinada (ou confirmada) para cada lançamento do sistema em seguida do procedimento de calibração. A saída do instrumento é em mS/cm ou $\mu\text{S/cm}$ para condutividade e condutância específica. Muitas vezes a multiplicação da constante da célula pela condutividade é feita pelo próprio instrumento ou software de tratamento de dados. A calibração é um item muito importante em todo o processo pois a condutividade de soluções de espécies iônicas é altamente dependente da temperatura e chega a variar em 3% para cada mudança de grau centígrado, ou seja, (coeficiente de temperatura = $3\%^\circ\text{C}$). Em adição, o próprio coeficiente de temperatura varia com a natureza das espécies iônicas. A calibração e os valores de compensação de temperatura muitas vezes devem ser feitos manualmente ou então, dependendo da sonda, há um software que faz esta compensação.

- Salinidade - A salinidade é automaticamente determinada através da condutividade da sonda e de leitura da temperatura de acordo com os algoritmos encontrados no “*Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater*” (1989). O uso da escala prática de salinidade resulta em valores “sem unidades”, desde que as medidas são tomadas como referência para a condutividade da água do mar padrão a 15°C . Porém os valores de salinidade são muito próximos daqueles determinados pelo método anterior, onde a massa de sais dissolvidos em uma determinada massa de água (ppm – partes por milhão) era informada.
- Total de Sólidos dissolvidos (TDS) – Resíduo Total - Os sólidos totais podem causar danos dependendo da aplicação da água, podendo sedimentar até mesmo em sondas que ficarem por muito tempo em contato com uma água de elevado TDS. Altos teores de sais minerais, particularmente sulfato e cloreto, estão associados a altos valores de TDS. Como a condutividade elétrica é devido à presença de espécies iônicas dissolvidas, assim, o valor da condutividade pode estar associado com um valor estimado da quantidade em g/l destas combinações de íons presentes. Através do valor da condutividade específica, há uma conversão para o TDS utilizando um multiplicador simples, que pode ser realizado juntamente com a análise da amostra. Algumas sondas utilizam os valores independentes não tendo um valor exato para TDS, mas para calculá-lo é simples:
 - Determinar a condutividade específica para a amostra no local;
 - Filtrar uma porção da água;
 - Evaporar completamente a água de um volume cuidadosamente medido de amostra filtrada resultando numa quantidade de resíduo seco;
 - Pesar o resíduo seco;
 - Dividir o peso do sólido em gramas pelo volume de água usado em litros, obtendo o valor do TDS em g/l para este local e esta amostra.

- Dividir o valor do TDS g/l pela condutividade específica em mS/cm para obter o multiplicador de conversão, utilizando as unidades corretas.
- Em algumas sondas entrar com o valor da constante

É importante reconhecer que este dado se refere à análise de resíduo seco e que em algumas sondas este dado não poderá ser adquirido pelo software, já que ele possui um dado interno de conversão. É importante ressaltar que, em termos gerais, o TDS não pode ser calculado com precisão a partir da Condutividade específica, a menos que a natureza química da água permaneça constante.

- pH - As sondas empregam um eletrodo de pH substituível em campo para a determinação da concentração de íon de hidrogênio. A sonda é um eletrodo combinado que consiste em um reservatório de vidro próton seletivo cheio de solução tampão a aproximadamente pH 7,0 e um eletrodo de referência Ag/AgCl que utiliza eletrólito gelatinoso. Um fio prateado coberto com AgCl é submerso no reservatório da solução Tampão. Prótons (íons H^+) em ambos os lados do vidro, interagem com este, produzindo um gradiente de potencial através da membrana de vidro. Desde que a concentração do íon de hidrogênio na solução tampão interna é constante, esta diferença de potencial determinada, relativa ao eletrodo de referência é proporcional ao pH do meio. Algumas sondas utilizam eletrodos de pH individualizados, eletrodos de vidro e de referência separados, mas o princípio de operação é o mesmo.

O eletrodo de pH pode ser considerado uma bateria cuja tensão varia com o pH da solução medida. O eletrodo de pH é um bulbo de vidro sensível aos íons de H^+ , com um milivoltímetro cuja saída é proporcional a variação relativa dos íons de hidrogênio dentro e fora do bulbo. O eletrodo de referência não varia sua saída com a atividade dos íons de hidrogênio. O eletrodo de pH sofre variação com a temperatura, sendo primordial sua calibração com soluções buffers de valores de pH conhecidos e disponíveis comercialmente, mas que sejam rastreáveis e a cada medição.

- Profundidade e Nível - As sondas podem ser equipadas com sensor de profundidade ou sensor de nível. De fato, ambos os sensores medem profundidade, mas por convenção de alguns fabricantes, como no caso da YSI, nível se refere à medidas “ventiladas” e profundidade a medidas “não-ventiladas”. Ambas as medidas usam transdutor diferencial tipo “*strain gauge*” para medir pressão com um lado do transdutor exposto à água. Para medidas de profundidade, o outro lado do transdutor é exposto ao vácuo. O transdutor mede a pressão da coluna d’água mais a pressão atmosférica sobre a água. A profundidade pode ser calculada da pressão mostrada pela coluna d’água, quando a profundidade é calibrada no ar, o software, registra a pressão atmosférica e subtrai este valor de todas as medidas subsequentes. O sensor de nível utiliza o transdutor diferencial com um lado exposto à água. Porém o outro lado do transdutor é ventilado

à atmosfera, através de um tubo capilar. Neste caso, o transdutor mede só pressão exercida pela coluna d'água. A pressão atmosférica é ignorada e suas mudanças não alteram a leitura. O sensor de profundidade deve ser zerado antes de seu lançamento, para levar em conta a pressão atmosférica. O sensor de nível também requer um pequeno ajuste antes do primeiro uso deste. A temperatura deve sempre ser levada em conta na calibração dos sensores.

- Temperatura - As sondas utilizam um termistor de óxido metálico sinterizado que muda previsivelmente sua resistência com a variação da temperatura. O algoritmo para conversão de resistência para temperatura está embutido no software da sonda, e leituras precisas de temperatura em graus centígrados, Kelvin, Fahrenheit são fornecidas automaticamente. Para algumas sondas não é necessária a calibração de temperatura.
- Oxigênio Dissolvido - As sondas da YSI empregam o sistema “*Rapid Pulse*”, para a medida de Oxigênio Dissolvido (OD). Este sistema utiliza um sensor tipo Clark que é semelhante a outras sondas tipo “membrana-coberta” de oxigênio dissolvido. O sistema continua medindo a corrente associada com a redução do oxigênio que se difunde por uma membrana de teflon, e esta corrente ainda é proporcional à pressão parcial (não à concentração) de oxigênio na solução. A membrana isola os eletrodos necessários para esta redução do meio externo. Uma fina camada de eletrólito de cobertura é requerida para a corrente fluir, e previne outros elementos não-gasosos e eletroquimicamente ativos de interferir na medida. A diferença da sonda de Clark é que são apenas formadas de dois eletrodos e na sonda elaborada pela YSI são três eletrodos (catodo, anodo e referência), além de uma geometria nova.

Os sensores de OD padrão comercializados pelos fabricantes de sondas são continuamente polarizados com uma voltagem suficientemente negativa para causar a redução do oxigênio a íon de hidróxido no catodo e o metal de prata ser oxidado para cloreto de prata no anodo. O oxigênio difunde pela membrana de teflon. A corrente associada com este processo é proporcional a presença de oxigênio na solução fora da membrana. Porém como esta reação eletroquímica procede, o oxigênio é consumido no meio, resultando em uma diminuição na corrente medida (e no conteúdo aparente de oxigênio) se a solução externa não é agitada rapidamente. Para minimizar esta depleção de oxigênio, os eletrodos da sonda no sistema “*Rapid Pulse*” são rapidamente polarizados e despolarizados durante uma seqüência de medições.

- Turbidez - É a medida do conteúdo de sólidos suspensos na água e é tipicamente determinado apontando um feixe de luz na solução de amostra e medindo a luz que é difundida para fora pelas partículas presentes na amostra. Para sistemas de turbidez capazes de operarem em campo, a fonte de luz habitual é um diodo emissor de luz (LED) que produz radiação na região do espectro próxima ao Infravermelho. Normalmente o detector é um fotodiodo de alta sensibilidade. O ângulo entre a luz emitida e detectada varia (normalmente entre 90 a 180 graus)

dependendo da sonda utilizada. A maioria das sondas comerciais consiste em um sensor do campo óptico. A saída do sensor de turbidez da sonda é processada pelo software para prover leituras em unidades nefelométricas de turbidez (NTUs). As sondas em geral são equipadas com um limpador mecânico para limpeza periódica do sensor através de acionamento manual ou automático. Esses sistemas de limpeza permitem o monitoramento de longo período e ao mesmo tempo para amostragem instantânea.

- Nitrato - O sensor de nitrato das sondas consiste de um eletrodo de fio metálico em um enchimento personalizado. A solução interna é separada do meio da amostra por uma membrana de polímero, a qual interage seletivamente com íons de nitrato. Quando o sensor é imerso em água, é estabelecido um potencial em toda membrana, o qual depende das quantidades relativas de nitrato na amostra e da solução de enchimento interno. Este potencial é lido em relação ao eletrodo de referência Ag/AgCl do sensor de pH da sonda. Quanto aos eletrodos de íons-seletivos (ISEs), a relação linear entre o logaritmo da atividade de nitrato (ou concentração em solução diluída) e a tensão elétrica observada, conforme previsto pela equação de Nernst, é a base para a determinação. Eletrodos de íons seletivos possuem maior tendência para mostrar oscilações de calibração ao longo do tempo, do que todos os sensores disponíveis na sonda. No entanto, isto não é um problema caso a sonda possa ser calibrada periodicamente. Caso tenha que ser utilizada por um período mais longo, deve haver a consciência da oscilação deste parâmetro.
- Cloreto - O sensor de cloreto da sonda utiliza uma membrana de estado sólido fixada a um fio condutivo. Quando o sensor é imerso na água, estabelece-se um potencial em toda a membrana, que depende da quantidade de cloreto no meio. Este potencial é lido em relação ao eletrodo de referência do sensor de pH da sonda. Quanto aos IESs, há uma relação linear entre o logaritmo da atividade do cloreto (ou concentração em solução diluída) e a tensão observada. A equação de Nernst descreve esta relação. Em todos os IESs há uma relação muito dependente ainda de interferências para leituras de íons seletivos como cloretos, nitratos, amônia e com relação a estes parâmetros, bem como aos novos desenvolvimentos. Observa-se que as sondas que utilizam eletrodos de íons seletivos, ainda pouco desenvolvidos no Brasil, encontram-se ainda com muitas limitações e poucas aplicações. Segundo os representantes comerciais, como são sensores de eletrodos seletivos, não são recomendados para monitoramento contínuo, uma vez que podem sofrer interferências e degradação. Tomando como referência trabalhos internacionais na área, destacam-se os sensores multiparâmetros desenvolvidos utilizando fibra óptica para análise de pH, Temperatura e cálcio (Dybko *et al.*, 1998), ou desenvolvimento de cálcio e dureza total, utilizando método potenciométrico (Saurina, 2002) e mesmo sensores multicanal utilizando membranas (Sakai, 2000), além de alguns outros,.

No trabalho de Saurina (2002), a determinação de cálcio e da dureza total se dá pela montagem de um sensor potenciométrico que consiste de uma série de eletrodos de íons seletivos (ISEs) para cálcio, magnésio, amônia, sódio, lítio. Este sensor resulta numa quantificação através do método quimiométrico, cujos resultados apresentam concordância com aqueles indicados pelos Métodos Padrões de Complexometria. O corpo do eletrodo consiste de um tubo PVC protegido por um cabo interno preenchido por polímero epoxy. As membranas para detectar a seletividade dos íons são preparadas contendo uma substância orgânica que a envolve (ionophore). A reprodutibilidade e a repetibilidade foram corrigidas utilizando tratamento de dados através do Método Quimiométrico.

O trabalho de Dybko *et al.* (1998) é baseado em sensores multiparâmetros utilizando fibra óptica. O probe consiste de sensores de íons para pH, temperatura e cálcio, o qual é baseado nas mudanças de absorbância através de um determinado reagente. Um sistema de medidas é o software desenvolvido pela LabWindows. São usados diodos emissores de luz com fontes de 560nm para o sensor de cálcio, 630nm para o sensor de pH e 650 nm para o sensor de temperatura. Cada sensor foi preparado como um compartimento separado feito no probe. Uma membrana apropriada óptica é inserida no compartimento onde é emitido o feixe óptico.

A sonda de Sakai *et al.* (2000) utiliza a aplicação de um eletrodo multicanal usando membranas lipídicas como sensor potenciométrico para detecção qualidade da água. As membranas lipídicas são de fácil detecção de dados e para transformar em sinais elétricos. A medida do potencial é um eletrodo de Ag/AgCl em solução de KCl (eletrodo referência). O sensor com oito membranas apresentou faixa de detecção de 0,01 a 0,03 μM à temperatura ambiente. Este estudo foi feito para monitorar a qualidade da água de rio, mas demonstrou ser viável para análise de contaminantes.

O monitoramento de águas subterrâneas embora tenha recebido crescente atenção durante os últimos anos, sendo uma medida importante para o acompanhamento das condições de aquíferos para fazer previsões e controle de sua exploração ainda não representa uma realidade, principalmente no tocante às análises qualitativas. Mas, graças aos avanços relacionados aos sistemas de medição, telecomunicações e informática, a automação no processo de monitoramento de aquíferos tem obtido cada vez mais espaço, abrindo mais as possibilidades de se tornarem prováveis de realização e com mais precisão, confiabilidade e conforme a difusão da tecnologia, a custos menores.

Há ainda que se considerar que a captação de águas subterrânea não pressupõe um acompanhamento adequado de parâmetros analíticos que permitam identificar uma evolução dos processos hidrodinâmicos que acontecem nos aquíferos e muito menos servirão como indicativos para possíveis previsões de contaminação. Comprova-se que há pesquisas e um

grande interesse científico em utilizar monitoramento contínuo e tecnologias avançadas como uma ferramenta de gestão de águas, mas há muito que avançar.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia proposta foi aplicada à cidade de São Lourenço, que comporta uma das mais completas e complexas estâncias hidrominerais do País, que faz parte do Circuito das Águas do Sul de Minas Gerais, tendo em vista a necessidade de elaboração de um planejamento envolvendo monitoramento qualitativo para uma gestão sustentável de seus recursos minerais e hídricos, objetivando assegurar a qualidade, limites de exploração sustentáveis além da avaliação de contaminação e vulnerabilidade frente aos fatores antrópicos.

São Lourenço situa-se no Sul de Minas Gerais, ao pé da Serra da Mantiqueira, com 873 metros de altitude, com sua posição determinada pelas coordenadas geográficas de 22° 06' 59" de latitude sul e 45° 03' 16" de longitude oeste (IGA, 2000), distando de 395 km de Belo Horizonte, a capital do estado, de 333 km do Rio de Janeiro e de 327 km de São Paulo, possuindo portanto uma posição geográfica estratégica dentro da porção sul do estado.

A região assume particular importância pela situação geográfica em que se encontra. Abrange na porção ocidental o Circuito das Águas, os setores mais densamente povoados, com maiores equipamentos urbanos, e cidades que se comportam como pólos comerciais e turísticos, com destaque para o papel minero-econômico desempenhado pelas águas minerais.

De maneira geral, as águas subterrâneas locais apresentam baixos teores de mineralização, compatíveis com os tipos litológicos predominantes (xistos, ganisses, quartzito) constituídos de minerais de restrita solubilidade. A composição química de uma água subterrânea varia à medida que esta se movimenta pelo aquífero e se enriquece de elementos químicos dissolvidos. (Hirata *et al.*, 1994)

Foi escolhido um poço de água subterrânea, com características de águas minerais, denominado Poço 2 A, que é um poço outorgado pelo IGAM em 20/05/2004, regulamentado para fins de utilização e não de comercialização, construído desde 1980, propriedade particular e que está em constante bombeamento, alimentando o Hotel Platino na cidade de São Lourenço, onde foi possível a realização de análises de laboratório e testes com a sonda comercial da YSI, realizada em dois momentos diferentes para confronto de dados. Os trabalhos de campo foram realizados nos períodos de janeiro, abril e maio de 2006, em datas pontuais.

As amostras foram coletadas usando o sistema de bombeamento instalado no próprio poço, uma vez que se trata de um poço doméstico. Este tipo de poço está em uso constante, portanto não foi necessário um bombeamento prolongado prévio.

A metodologia de análise constou de uma amostragem *in loco*, seguindo os procedimentos de amostragem e preservação adotados pelo *Standard Methods* e em acordo à norma NBR 9898. Foi estabelecido um prazo de bombeamento de 20 minutos, para assegurar a integridade das amostras e evitar a água estagnada.

Foram medidos em campo, o pH, a condutividade elétrica e a temperatura das amostras, utilizando aparelhos eletrônicos portáteis (eletrodos seletivos) e um termômetro, todos calibrados previamente em Laboratório da Universidade Federal de Itajubá e também os respectivos posicionamentos geográficos (GPS-*Global System Position*). Também em campo, foram analisadas as amostras de água, com a sonda, comercial da YSI - *Yellow Spring Incorporated Environmental*, YSI -6820, contendo os sensores de pH, condutividade, Temperatura, Oxigênio dissolvido, condutividade e Turbidez. O sistema de monitoramento ambiental Série 6, YSI – 6820, são sistemas multiparâmetros de medição de qualidade de água e de coleta de dados. São utilizados para pesquisa, avaliação e conformidade com as regulações. Juntamente com a sonda multiparâmetro acompanhou as análises um *datalogger* e um software de acompanhamento e tratamento de dados denominado *Ecowatch*.

Para o teste realizado, não foi possível adquirir uma sonda que possuíssem eletrodos de análise de nitrato, cloreto, amônia e clorofila, uma vez que foi utilizada uma sonda que opera continuamente analisando águas superficiais.

O princípio de funcionamento das sondas comerciais existentes, é praticamente o mesmo, com poucas variações quanto às especificações, calibrações, dimensões e utilidades. Os itens de diferenciação, ficam por conta da tecnologia aplicada nos resultados e principalmente nos programas de tratamento dos dados, ou seja, nos *dataloggers* e os softwares de aplicação. Observou-se uma tendência no lançamento de torpedos com dimensões menores, já que para a devida aplicação em águas subterrâneas e poços tubulares, as sondas com mais de 4 polegadas, não encontram aplicação neste segmento. Isto foi uma limitação encontrada na metodologia proposta.

A calibração dos instrumentos permite tanto o estabelecimento dos valores a serem lidos pelo equipamento, como a determinação das correções a serem aplicadas. A calibração de um sensor é um fator de fundamental importância na avaliação de resultados, sendo portanto um item observado durante o teste.

A coleta de amostras de água depende fundamentalmente do procedimento analítico a ser adotado. Foi seguida a orientação do laboratório onde serão analisadas as amostras, o Laboratório de Análises Mineraias – LAMIN, do CPRM- Serviço Geológico do Brasil, e procedimentos de amostragens da NBR 9898, inclusive utilizando os frascos de coleta de amostras fornecidos pelo próprio laboratório.

As amostras coletadas em duplicata, foram armazenadas sob refrigeração e enviadas para o respectivo laboratório em menos de vinte e quatro horas.

Os parâmetros solicitados foram: sílica, sulfato, cálcio, magnésio, potássio, sódio, alumínio, ferro total, alcalinidade, manganês, lítio bário, fosfato, cloreto, nitrato, nitrito, amônia, bicarbonato e carbonato.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Levantamento e tratamento dos dados

Os dados provenientes da sonda multiparâmetro foram armazenados no *datalogger*, que consiste num sistema de acumulação de dados acoplados às sondas. Este equipamento de pequenas dimensões, fica instalado junto ao equipamento de medição e capta dados em tempo real, podendo armazenar até 384 kilobytes (150,000 leituras de parâmetros individuais), dependendo do fabricante. De tempos em tempos, os dados devem ser descarregados em um computador, onde através de um software como o Excel, ou o específico do fabricante, permite tratar os dados estatisticamente e graficamente.

O poço 2A pertence à Bacia Estadual do Rio Verde, cuja Bacia Federal é a do Rio Grande, e se localiza na cidade de São Lourenço com posições geográficas medidas por GPS de 22°07'13" de latitude sul e 45° 03' 27" de longitude oeste, se encontra a 884 metros de altitude.

4.1.1 Dados do Poço

- Perfil litológico : até 14 m - argila arenosa; de 14 a 20 m- gnaiss alterado (biotita gnaiss), 20 a 75 m- gnaiss
- Perfil Geológico : até 14 m – Unidade geológica terciário-Quaternário, 14 a 20 m – Pré-cambriano / xistos-gnaisses- migmatitos, 20 a 75 m – Pré-cambriano / xistos – gnaisses – migmatitos
- Vazão : 15.840 L/h e Vazão requerida : 1,25 m³/h
- Forma de Captação do aquífero: Poço tubular profundo - Bomba submersa
- Tipo de aquífero: fissurado
- Nível estático : 1,00 m e Nível dinâmico : 15,00 m
- Diâmetro : 6 polegadas

A análise para a outorga foi realizada em 04/03/2002 por um laboratório particular. Quando do teste com o referido poço, foram coletadas amostras em duplicata, para realização também no LAMIN conforme os dados que serão apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - Resultados Analíticos de Poço 2A

Parâmetros	Análise Laboratório Particular - 04/03/2002	Análise no Lamin 05/04/2006
pH (in situ)	6,04	6,17
pH (laboratório)	7,3	7,61
Aspecto	Límpido	Límpido
Sólidos em suspensão		< 5 mg/L
Turbidez uT	0,0	0,5
Condutividade a 25°C	96	84,4
Dureza CaCO ₃	27	29
Alcalinidade total	33	
Cloretos mg/L	< 8,0	0,08
Ferro total mg/L	0,02	0,0
Nitrato mg/L	< 0,4	0,1
Nitrito mg/L	< 0,004	0,012
Oxigênio Dissolvido	< 1,0	0,10
Sólidos Dissolvidos Totais mg/L	96	Resíduo de evaporação a 180° c – 63,83
Cor u Hazen	< 1,0	0
Amônia	< 0,02	ND
Contagem Padrão de Placas	70	NR
Coliformes totais	Ausente	NR
Escherichia coli	Ausente	NR

ND = não contém dado / NR = não realizado

Pode-se concluir que a água do referido poço é uma água com baixa mineralização, e segundo o laudo do LAMIN, trata-se de água de baixo resíduo e que de acordo com a lei em vigor, só poderá vir a ser definida determinando alguns parâmetros químicos, físicos e físico-químicos inerentes à fonte, mas realizados *in loco*, como radioatividade, por exemplo. Sendo, portanto, classificada como uma água potável de mesa.

Já os testes com a sonda Y foram realizados em duas etapas, ou seja, dois dias diferentes, em 01/04/06 e em 06/05/06 apresentando os dados estatísticos demonstrados na tabela 2 e na tabela 3 a seguir.

Tabela 2 - Dados estatísticos do Poço 2A no dia 04/01/2006 com amostra de 124 dados - Sonda Y

Parâmetro	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Temp °C	21,940	22,180	22,040	0,080
Cond específica (mS/cm)	0,119	0,127	0,122	0,002
TDS (mg/L)	0,077	0,082	0,080	0,002
pH	6,330	7,030	6,830	0,190
DO conc mg/L	6,250	6,650	6,350	0,080
Turbidez (NTU)	0,000	0,100	0,050	0,001

Tabela 3 - Dados estatísticos gerados pela análise do Poço 2A no dia 06/05/06 com 146 amostragens - Sonda Y

Parâmetro	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Temp °C	20,840	21,260	21,080	0,130
Cond. Específica (mS/cm)	0,130	0,144	0,134	0,001
TDS (mg/L)	0,086	0,090	0,087	0,001
pH	6,160	6,300	6,280	0,010
DO conc mg/L	5,330	5,630	5,400	0,052
Turbidez (NTU)	0,000	0,100	0,050	0,001

Com os dados obtidos pelas análises realizadas com a sonda Y, assim como no resultado do Poço 1R, observa-se repetibilidade, conforme os dados de desvio padrão.

4.2 Discussão dos resultados obtidos

Durante a fase de levantamento bibliográfico e a fase metodológica, foram utilizadas técnicas analíticas tradicionais, de acordo com o *Standard Methods* e a avaliação através da análise utilizando a sonda multiparâmetro comercial YSI -6820 para análise de águas subterrâneas.

Algumas limitações existiram para a análise *on line*, que foram:

- Possibilidade de teste utilizando apenas uma sonda YSI-6820.
- Como a sonda apresentava diâmetro de 2,7 polegadas, foi impossível inserí-la no poço de estudo que apresentava 6 polegadas de diâmetro, acrescido da bomba que fica submersa e seus respectivos cabos.
- Como o poço era operante e a bomba submersa ligada, não foi possível inserir a sonda no poço para fazer testes analíticos em diferentes profundidades, possibilitando uma avaliação qualitativa do poço e do aquífero. Isto seria possível somente em um poço teste ou em um poço desativado.

A avaliação da sonda multiparâmetro foi realizada para análises no local (*in loco*), propiciando a investigação das velocidades de respostas da sonda, a repetibilidade e reprodutibilidade dos resultados, bem como as respostas analíticas frente ao laboratório LAMIN.

Com os resultados, observou-se repetibilidade e reprodutibilidade, sendo que o pH apresentou um desvio padrão elevado na primeira amostragem, podendo significar problemas com o sensor específico durante a medição, já que foi calibrado com padrões rastreáveis e *in loco*, antes das medidas.

A amostra do poço 2A é pouco mineralizada e os dados tiveram precisão, indicando da mesma forma, que para checar a exatidão da sonda e comparar os dados obtidos pelo LAMIN, há a necessidade da calibração da sonda no laboratório e sempre que for realizar análises efetuar a calibração com os mesmos padrões do laboratório em questão. Isto validará os resultados da sonda.

Os dados apresentados pelo poço 2 A, constam da tabela 4 abaixo.

Tabela 4 - Dados Analíticos do Poço 2A

Parâmetros	Aparelhos Portáteis	Sonda Y 01/04/06 124 dados		Sonda Y 06/05/06 146 dados		Lamin
		Méd	DP	Méd	DP	
Temp (°C)	22,10	22,04	0,080	21,08	0,130	-----
Cond (mS/cm)	0,12	0,12	0,002	0,134	0,001	0,084
OD (mg/L)	-----	6,35	0,080	5,40	0,052	-----
Turbidez	-----	0,05	0,001	0,05	0,001	0,500
pH	6,30	6,83	0,190	6,28	0,010	6,170

Os sensores são tecnologias de respostas rápidas sendo eficientes para análises de águas subterrâneas e apesar de ser uma ferramenta útil para as análises de águas *in loco*, apresentam limitações, uma vez que possibilitou apenas a análise dos três parâmetros convencionais como condutividade, turbidez e pH. Sabe-se que apesar de não ter havido testes quanto aos parâmetros de nitrato e cloreto, existe esta possibilidade, sendo estes íons indicativos importantes para alertar sobre o perigo da contaminação antrópica de um aquífero, bem como parâmetros de acompanhamento e monitoramento.

Uma composição mineralógica da rocha em vias de alteração, modifica o pH das soluções percolantes em função das reações químicas, conforme Toledo *et al.* (2003), ou seja, o pH e conseqüentemente a condutividade são fortes indicativos de alteração na mineralização das águas, enquanto o nitrato e cloreto são indicativos de contaminação, dependendo das concentrações existentes.

As vantagens de utilização de sensores são muitas, mas há limitações que precisam ser superadas. Os sensores comerciais existentes, alguns não são ainda compatíveis com os diâmetros dos poços, ficando difícil o monitoramento *on line*, inserindo o sensor diretamente no poço onde já se encontra a bomba submersa.

Outro fator relevante, avaliado a partir dos resultados obtidos pelas análises com sensores, demonstra que os instrumentos possuem precisão, mas não há como comprovar exatidão, pois os padrões de calibração utilizados foram diferentes em cada sonda e no LAMIN. É importante ressaltar a necessidade da padronização da calibração dos sensores e do laboratório com padrões rastreáveis, fornecidos pelo LAMIN, ou cujas sondas possam ser calibradas no laboratório e confirmadas as calibrações a cada teste analítico, com padrões enviados e se possível com acreditação do INMETRO-Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial.

5. CONCLUSÕES

O aproveitamento das águas subterrâneas e das águas minerais, vem crescendo muito nos últimos anos devido ao incremento das demandas e principalmente pela diminuição da qualidade e da quantidade disponíveis de águas superficiais. Por outro lado, há uma preocupação quando se pensa em exploração destes aquíferos, uma vez que um número excessivo de poços ou poços muito próximos que funcionam continuamente possam acarretar rebaixamento dos níveis de água de forma insustentável, acarretando um aumento de custos de bombeamento, diminuição de rendimento de poços, possibilidade de recalques de terrenos e em alguns casos exaustão dos aquíferos, pois bombeamento (Q), maior recarga natural.

As águas subterrâneas já carecem de estudos aprofundados de monitoramento qualitativo e quantitativo para a preservação destes mananciais que devido à complexidade acabam por dificultarem procedimentos investigativos destes aquíferos. Como Mestrinho (2006) menciona, o gerenciamento de águas subterrâneas, quando exercido, quase sempre se baseia em informações limitadas, sobretudo nos países latino-americanos, onde pouco se tem realizado e o pouco realizado ainda não leva em conta os conhecimentos integrados dos sistemas hidrogeológicos e hidroquímicos necessários para um monitoramento.

Os sensores podem ser utilizados como ferramenta útil, pois o estudo fica mais flexibilizado, podendo ser realizado com a periodicidade necessária e principalmente onde a coleta de dados poderá fornecer um histórico que possibilite o reconhecimento de uma área e principalmente de indicativos de contaminação, relações de recarga, mineralização e conhecimento da hidroquímica. Mas há uma necessidade premente de avanços tecnológicos no desenvolvimento de sensores com maiores capacidades analíticas, para auxiliar nos processos de monitoramento de águas subterrâneas e principalmente de águas minerais, como os que têm sido realizados em outros países. Os sensores existentes são ainda limitados tecnologicamente para monitoramentos qualitativos e quantitativos necessários e recomendados pelos órgãos ambientais e pelos agentes de controle de qualidade do setor.

Todo este sistema de automação de análises e de resultados pode ser apropriado para qualquer monitoramento em larga escala e a sua confiabilidade dependerá da calibração e validação das sondas e dos laboratórios envolvidos em um trabalho como este.

Existem vários métodos sendo desenvolvidos no mundo que possibilitam monitoramento *on line* através de sensores que possam captar grandezas durante um período de tempo estabelecido e transmiti-los através de uma rede que efetue o tratamento dos dados e o disponibilize à sociedade. Uma sonda multiparâmetro calibrada pode ser empregada por uma concessionária ou prestador de serviço para fazer a análise de vários poços, uma vez que apresenta como vantagem a coleta de um número muito grande de medidas em um pequeno tempo, elevando a confiabilidade da medição.

Embora as sondas multiparâmetros se apliquem a análise de água é necessário desenvolver sensores de íons específicos como cálcio, bicarbonatos, sódio, potássio, sulfato, e outros, denominados de íons maiores que caracterizam hidroquimicamente uma água subterrânea, além dos já desenvolvidos sensores de cloreto, nitrato e amônia, indicadores de contaminação.

Um monitoramento de qualidade requer tempo e pode resultar em dificuldades de interpretação, por se tratar de sistemas dinâmicos de águas de aquíferos ainda não totalmente conhecidos, carecendo de desenvolvimento de modelos matemáticos estatísticos que possibilitem calibrar os sensores. Contudo, a necessidade de um monitoramento das águas subterrâneas, podem trazer à luz informações elucidativas que garanta uma efetiva gestão deste recurso tão importante.

6. BIBLIOGRAFIA

- ANA - Agência Nacional das Águas. *Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos*. ANA, ANEEL. 2ª ed. Brasília, 2001. <http://www.ana.org.br>. Disponível em 17/03/2005.
- BOMAN, Brian; *et al.*. *Water Quality Monitoring Programs for environmental Assessment of Citrus Groves*. University of Florida. Institute of Food and Agricultural Sciences. Circular 1407, 2002.
- DYBKO, Artur, WROBLEWSKI, Wojciech, *et al.*. *Assesment of water quality based on multiparameter fiber optic probe*. *Sensors and Actuators B* 51 (1998) 208-213.
- EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY- USA. *Research Report. Technologies and techniques for Early Warning System to monitor and Evaluate Drinking water Quality: A state-of-the-art review*. EPA/600/R-05/156. U.S. Environmental Protection Agency. Office of water, 2005
- GRAÇA, Henrique. *Controlo de Qualidade e Monitorização de Captações de Água Mineral ou de nascente. Prospecção, Pesquisa e captação de Águas Minerais naturais, Recursos Geotérmicos e Águas de nascente*. Portugal: IGM, 2002. Versão on line no site do IGM : http://www.igm.pt/edicoes_online/prosp_pesq/indice.htm. Disponível em 14/07/2005.
- HIRATA, Ricardo *et al.* *Estudo para Localização de Fontes de Águas não Carbogásosas*. São Lourenço: Empresa de Águas de São Lourenço S.A., 1994.
- HIRATA, Ricardo & FERNANDES, Amélia. *Monitoramento das Águas Subterrâneas: Um grande Desafio para Países Emergentes*. I Simpósio Latino-Americano de Monitoramento das Águas Subterrâneas. Belo Horizonte: ABAS, Minas Gerais, 2006.
- IGA - Instituto de Geociências Aplicadas. *Mapeamento Geoambiental da Região do Circuito das Águas-MG*. Eder Silva (Coord). Belo Horizonte, 2000.

- LEMONS, J.W. & VORWERK, M. *Remote Monitoring of Hydroprojects: Design, Installation and Verification of Remote Monitoring Systems*. U.S. Army Corps of Engineers. Water Quality Technical Notes. AM-02 , 1998.
- MESTRINHO, S.S.P. *Monitoramento das Águas Subterrâneas em Diferentes Ambientes Hidrogeoquímicos*. I Simpósio de Monitoramento das Águas Subterrâneas. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas – ABAS-MG. Belo Horizonte, 2006.
- PURSALS, Judith Artigas. *Desenvolupament de Sensores Potenciòmetrics D'Estat Sòlid Per a Usos Mediambientals I Agroalimentaris*. Tese de doutorado. Universidade Autònoma de Barcelona, Bellaterra, 2003.
- SAKAI, Hiromitsu, *et al.*. *Evaluation of Water quality and pollution using multichannel sensors*. Sensors and Actuators B 66 (2000) 251-255
- SAURINA, Javier, *et al.*. *Determination of calcium and total hardness in natural waters using potentiometric sensor array*. Analytica Chimica 464 (2002) 89-98.
- STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTE WATER. 18^aed. Washington, D. C.; American Public Health Association, American Water Works Association, Water environmental Federation, 1992.
- TOLEDO, M. C. M. *et al.*. *Decifrando a Terra*. São Paulo: Oficina de textos, 2000. 2^a reimpressão, 2003. 568pp.
- YSI INCORPORATED ENVIRONMENTAL, “YSI INC. *Environmental Monitoring Systems Manual*.. Estados Unidos, 2004.