

## Rede de plataformas de coleta de dados para monitoramento automático da qualidade da água do rio Paraíba do Sul

Flávio de Carvalho Magina<sup>1</sup>  
Benedito Jorge dos Reis<sup>2</sup>  
Mário Luiz Alves<sup>3</sup>  
Reinaldo José Tavares de Paula Santos<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE-CPTEC  
Rodovia Presidente Dutra, km 40 - 12630-000 – Cachoeira Paulista - SP, Brasil  
magina@cptec.inpe.br

<sup>2</sup> Departamento de Agricultura e Meio Ambiente – Prefeitura Municipal de Tremembé  
Rua 7 de setembro, 701 – Centro – 12120-000 - Tremembé - SP, Brasil  
meioambiente@tremembe.sp.gov.br

<sup>3</sup> Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB - Agência Taubaté  
Av. Itambé, 38 – Bairro Santa Luzia - 12091-200 - Taubaté - SP, Brasil  
{reinaldos, mariola}@cetesbnet.sp.gov.br

**Abstract.** This work describes the implementation of an automated water quality monitoring network designed for operation at the Paraíba do Sul river, Brazil. Equipments, sensors and telecommunications systems, engineering solutions, site selection factors for the water-quality stations and the minimal requirements for operation were analyzed and specified. A set of preliminary data collection graphics are presented as example to demonstrate the application.

**Palavras-chave:** data collection platforms, water quality monitoring, multiparameter sondes, plataformas de coleta de dados, PCD, qualidade da água.

### 1. Introdução

No último quarto do século passado, a bacia do rio Paraíba do Sul passou por um processo de acelerada industrialização e urbanização, com intenso uso dos recursos hídricos, culminando em um cenário de degradação ambiental com significativos custos associados.

A situação do tratamento dos esgotos é crítica nos três Estados da bacia, limitando-se a 10,4% em São Paulo, 1,2% em Minas Gerais e 2,0% no Rio de Janeiro. O desenvolvimento industrial, por sua vez, apesar de todo crescimento econômico decorrente, também tem contribuído significativamente para a degradação das águas, em razão dos lançamentos de efluentes com as mais diversas constituições, representando, em muitos casos, as piores fontes de contaminação das águas e da biota aquática na bacia. No entanto, os dados disponíveis sobre a poluição industrial na bacia do rio Paraíba do Sul, em face ao grande universo de empreendimentos existentes, são ainda imprecisos e desencontrados, mas já são suficientes para permitir o mapeamento de áreas críticas e para justificarem um monitoramento de qualidade da água mais abrangente e intenso.

A CETESB, em consonância com as diretrizes do Comitê das Bacias Hidrográficas do rio Paraíba do Sul (CBH-PS), preocupou-se com a implantação de um projeto de monitoramento eficaz, sustentável e de longa duração e que permitisse um conhecimento técnico profundo das sazonalidades hidrológicas, dos principais usos da água, e dos locais considerados estratégicos para controle e emissão de alertas, quando da ocorrência de eventos extremos,

pois o crescimento populacional e industrial tem aumentado a demanda por água na região e conseqüentemente o recurso hídrico apresenta tendência de esgotamento da sua capacidade de recuperação em termos de quantidade e qualidade.

Em 2004, a CETESB assinou convênio com o INPE para implantação conjunta de um sistema, constituído de uma rede de estações automáticas remotas denominadas PCDs (Plataformas de Coleta de Dados), localizadas ao longo do rio Paraíba do Sul, dotadas de sensores de qualidade e nível da água e sistema de telecomunicações via satélite do INPE (SCD) e também MODEM telefônico, propiciando a coleta e tratamento contínuos dos dados, medições de precipitações pluviométricas e descargas líquidas nos pontos monitorados. Ressalta-se que as PCDs e sensores utilizados nesse convênio são oriundos de um antigo projeto do INPE para monitoramento ambiental do eixo Rio São Paulo, denominado Projeto MARSP. A implantação desses equipamentos pelo INPE, dentro do Projeto MARSP, estava até então suspensa por falta de recursos e parceiros institucionais que viabilizassem as condições requeridas para sua instalação e operação continuada. Apesar de no convênio INPE-CETESB só constarem sete estações PCDs, o Projeto MARSP do INPE dispunha de dez estações PCDs completas, sendo que três estações PCDs ficariam no estoque do INPE como sobressalentes e prontas para substituir as estações em operação no caso de uma manutenção corretiva, evitando assim a interrupção prolongada na geração de dados. Em 2005, a CETESB aprovou no CBH-PS, projeto financiado pelo FEHIDRO, para implantação de um sistema de alerta a partir dos dados gerados pela rede de PCDs implantadas pelo convênio INPE-CETESB.

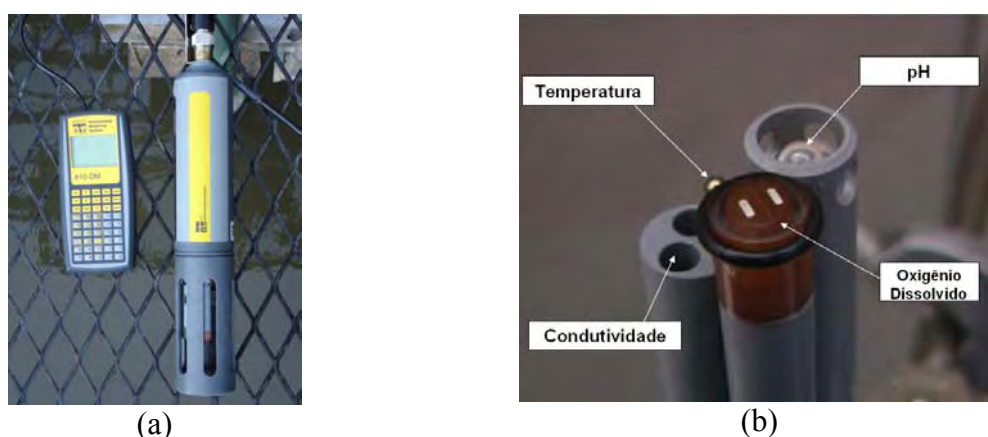
O objetivo principal desse trabalho é apresentar a metodologia e as soluções de engenharia utilizadas na implantação das três primeiras PCDs da rede automática de coleta de dados de qualidade da água do convênio INPE-CETESB, nos anos de 2005 e 2006, período em que o autor coordenou, pelo INPE, o projeto e a implantação dessas PCDs. Outro objetivo é apresentar exemplos gráficos de resultados obtidos dos dados coletados para ilustrar o potencial de utilização dos instrumentos de coleta de dados implantados.

## 2. Especificação e configuração dos sensores e das Plataformas de Coleta de Dados

O monitoramento de qualidade da água por meio de PCDs oferece hoje uma enorme gama de opções de parâmetros que podem ser investigados. Dentre eles podemos citar os metais pesados; os nitritos, fosfatos, cianetos, cloretos e fluoretos; os hidrocarbonetos e a amônia; o carbono orgânico total (TOC); os parâmetros químicos e físicos, tais como: temperatura, condutividade, turbidez, oxigênio dissolvido e pH. Porém, quanto maior a quantidade de parâmetros determinados pela estação automática mais cara ela será e mais complexa será sua manutenção e operação.

Deve se somar a essas condicionantes, a ausência de sistemas confiáveis, de validação das análises obtidas pelos sensores, para determinados poluentes, como os metais pesados e outros, orgânicos. Desta forma, optou-se pelo monitoramento em tempo real de um conjunto de parâmetros básicos, cujas variações temporais e espaciais indiquem a ocorrência de poluição de natureza química e orgânica, a saber: **oxigênio dissolvido (OD), condutividade, pH, temperatura da água, turbidez, além da medição do nível da água (cota) e precipitação pluviométrica.** Esses parâmetros básicos permitem a detecção de variações bruscas na qualidade da água, embora não forneçam informações precisas da natureza dessa poluição, sendo possível de serem desencadeados de imediato, os trabalhos de coleta de amostras para análise posterior em laboratório, para verificação da natureza dessas variações.

Os sensores necessários para medir esses parâmetros básicos estão disponíveis na forma de instrumentos individualizados ou em várias combinações. Para clareza neste texto, um sensor é definido com sendo um único elemento sensor capaz de medir um determinado parâmetro ou um determinado sensor que é destacado de uma combinação de sensores. Um grupo de sensores configurados conjuntamente é chamado de sonda multiparâmetro de qualidade da água a qual geralmente está conectada a um sistema de aquisição, gravação e transmissão de dados (PCD). Junto com a sonda multiparâmetro de qualidade da água (**Figura 1**) utiliza-se também um dispositivo “handheld” dotado de display e teclado e com software residente capaz de realizar leituras e calibrações dos sensores no campo e no laboratório. A **Tabela 1** apresenta um resumo das especificações dos sensores da sonda de qualidade da água utilizada no monitoramento automático do rio Paraíba do Sul.



**Figura 1** – Sonda multiparâmetro de qualidade da água  
a) dispositivo “handheld” e sonda b) detalhe dos sensores

**Tabela 1** – Especificações dos sensores da sonda multiparâmetro

Fabricante: YSI Inc.		Modelo: 6820-02		
Sensor	Tipo	Faixa de medição	Resolução	Exatidão
Temperatura	Termistor	-5 °C a +45 °C	0,01 °C	±0,15 °C
Oxigênio Dissolvido	Rapid Pulse, tipo Clark, polarográfico	0 a 50 mg/L	0,01 mg/L	0 a 20 mg/L: ± 2 mg/L 20 a 50 mg/L: ± 0,6 mg/L
pH	Eletrodo com combinação de vidro	0 a 14 unidades	0,01 unidades	± 0,2 unidades
Turbidez	Óptico, 90° de dispersão, com limpeza mecânica	0 a 1.000 NTU		± 5% da leitura ou 2 NTU, o que for maior
Condutividade	Célula com 4 eletrodos com faixa automáticas	0 a 100 mS/cm		± 0,5% da leitura + 0,001 mS/cm
Profundidade	“Strain gauge” em aço inoxidável, não ventilado	0 a 61 m	0,001 m	± 0,12 m

Para o monitoramento da quantidade de água foram selecionados os parâmetros nível da água e chuva, com o pluviômetro acoplado. Os dados de nível da água, apoiados nas curvas-chaves, geradas nos levantamentos batimétricos e dados das medições de velocidade nos estudos específicos das secções, permitem a obtenção das vazões. A partir da definição desta função são geradas as vazões diárias, mensais e anuais. Com base nestes resultados poderão ser elaborados os estudos de vazões extremas, máximas e mínimas, que servirão de base para os níveis de alerta de enchentes, o cálculo das vazões disponíveis para outorga do uso de recursos hídricos, a modelagem do transporte e dispersão de poluentes, a modelagem da propagação de enchentes, etc. O sensor de nível (cota) utilizado é do tipo transdutor submersível de pressão, modelo 2106-140-0015, fabricado pela Keller PSI Inc., com faixa de medição de 0 a 1.055 cm de coluna de água (pressão de 0 a 15 psig) e saída analógica de 4 a 20 mA.

Os dados de chuva permitirão o conhecimento das sazonalidades climáticas da região abrangida pela PCD, e as séries geradas poderão ser utilizadas em diversos estudos, dos quais podemos destacar: modelos de chuva e deflúvio nos locais onde não houver a disponibilidade de informações, estabelecimento das equações de chuvas intensas para diversas durações e recorrências, etc. O pluviômetro utilizado é do tipo balança com fechamento de contato “reed-switch” acionado por magneto, modelo 444A, fabricado pela Handar Inc., calibrado para medir precipitação mínima de 0,25 mm, sendo a capacidade do pluviômetro ilimitada.

O sistema de aquisição é constituído ainda pela PCD, modelo 555 BRH fabricada pela Handar Inc., dotada de: 16 canais analógicos, entrada para canal de pulsos, entrada para sensores seriais do tipo SDI-12, conversor analógico-digital de 14 bits de resolução, transmissor para satélites SCD-ARGOS, modem telefônico PCMCIA, expansão de memória para cartão de memória PCMCIA, caixa ambientalmente selada padrão NEMA-4X, conectores padrão MS-MIL para sensores e módulos externos, alimentação por bateria selada recarregável por painel solar. Esse modelo de PCD é o mesmo modelo utilizado extensivamente (mais de 600 unidades) nas grandes redes de coleta de dados do INPE, ANA, SIVAM e outras entidades que operam sistemas de coleta de dados ambientais no Brasil.

As PCDs da rede de qualidade da água do Paraíba do Sul foram programadas para realizarem leituras instantâneas dos sensores a cada 10 minutos e armazenar essas leituras na memória local (memória RAM e/ou cartão PCMCIA), totalizando 144 medições por sensor armazenadas diariamente, exceto o pluviômetro que armazena medições por evento. O conteúdo da memória RAM pode ser recuperado localmente através de um Palmtop ou Pocket-PC ou Notebook conectado à PCD através de sua porta serial de comunicação ou remotamente através de conexão via MODEM. Os dados gravados no cartão de memória PCMCIA podem ser recuperados através de um notebook com interface para leitura de cartões PCMCIA. As PCDs também foram programadas para transmissão de dados para os satélites SCD do INPE, das leituras instantâneas dos sensores realizadas a cada três horas. Esses dados são retransmitidos pelos satélites SCD para as estações de recepção do INPE em Cuiabá-MT e Alcântara-MA e em seguida são enviados via rede ethernet para o Setor de Coleta de Dados do INPE em Cachoeira Paulista onde são processados e distribuídos aos usuários.

Para instalação dos equipamentos em campo foi desenvolvido um abrigo em alumínio para acondicionamento da PCD, pluviômetro, painel solar e antena. Esse abrigo foi instalado aproximadamente a 50 m da margem do rio, em local livre de obstruções (árvores, prédios, etc.) a fim de garantir o perfeito funcionamento do pluviômetro, painel solar e antena. Na extremidade de um píer que se projeta em direção ao centro do rio foi instalado um dispositivo desenvolvido para a proteção e instalação da sonda e do sensor de nível “in situ”. Esse dispositivo é constituído de dois tubos de PVC rígido, de 3 e 6 polegadas de diâmetro,

com furos para permitir a passagem livre da água e de uma caixa de inspeção em alumínio, com tampa basculante com cadeado, para que o operador possa ter acesso à sonda e ao sensor de nível durante a manutenção de rotina. Complementando o conjunto foi desenvolvido um flutuador para a sonda para que a mesma sempre faça medições numa mesma profundidade, independente da variação do nível do rio. Esse flutuador foi projetado para operar verticalmente dentro do tubo da sonda e é acoplado à sonda através de um parafuso e porca, sem alterar as características físicas da sonda.

Os cabos da sonda e do sensor de nível se interligam da caixa de inspeção ao abrigo da PCD através de um duto metálico corrugado revestido em PVC o qual é fixado ao píer por abraçadeiras e enterrado diretamente no solo ao logo do percurso até o abrigo da PCD. Aproximadamente a 1/3 do comprimento do duto corrugado, medidos da caixa de inspeção da sonda, foi instalada uma caixa metálica de passagem onde em seu interior se encontra um dispositivo desumidificador (com refil de sílica gel) cuja finalidade é proteger contra umidade e poeira o tubo de ventilação do sensor de nível. A **Figura 2** mostra detalhes da instalação e da disposição dos componentes da PCD.

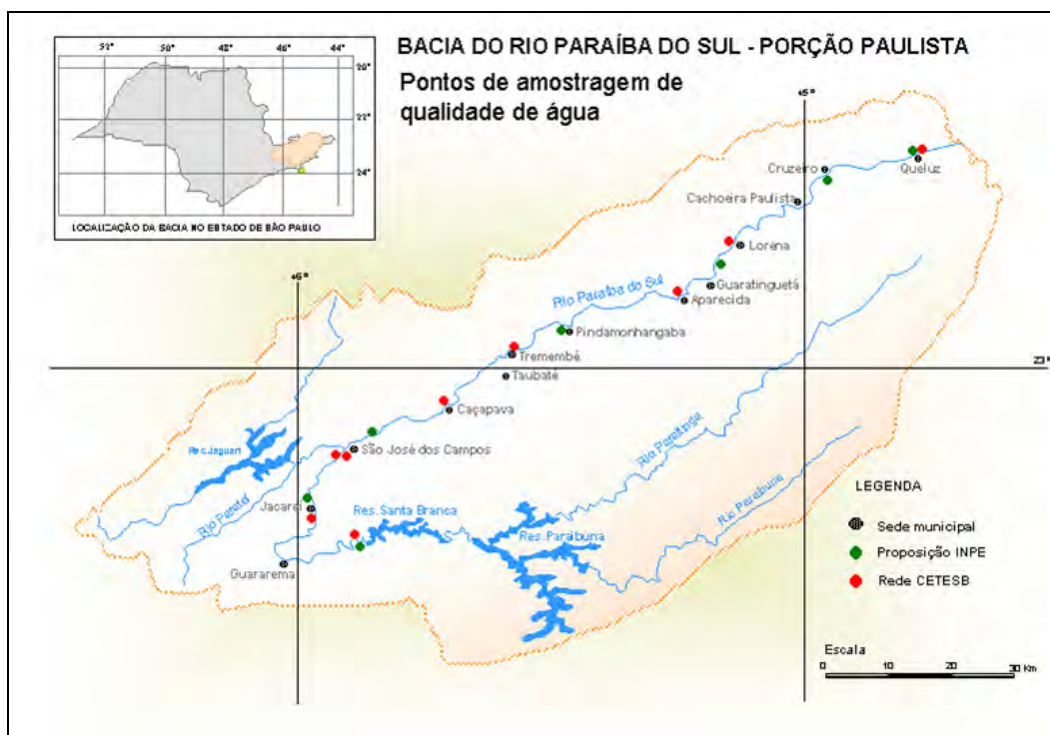


**Figura 2** – Detalhes da instalação da PCD de qualidade de água

### 3. Seleção de locais para instalação das Plataformas de Coleta de Dados

A definição da localização das PCDs de qualidade da água a ser implantadas no curso do rio Paraíba do Sul foi estabelecida em conjunto pela CETESB e INPE, considerando os seguintes fatores: a) adequabilidade do local para medições quantitativas e qualitativas da água, b) equidistância entre as PCDs que compõem a rede, c) segurança para o equipamento e proteção anti-vandalismo d) acesso fácil e seguro para o técnico de manutenção sob quaisquer condições climáticas e hidrológicas, e) apoio local dos parceiros industriais colaboradores com o projeto que cederam os locais de instalação e colaboraram na construção da infraestrutura necessária, tais como abrigos, piers, acessos, etc.

A rede de monitoramento da qualidade da água é composta de sete PCDs localizadas no trecho paulista do rio Paraíba do Sul. A **Figura 3** apresenta um mapa com a localização os locais selecionados para instalação das PCDs e também os pontos de amostragem convencional realizadas bimestralmente pela CETESB. Os locais selecionados para instalação das PCDs de qualidade da água são relacionados na **Tabela 2**.



**Figura 3** – Localização das PCDs de qualidade da água no rio Paraíba do Sul

**Tabela 2** – Locais selecionados para instalação das PCDs de qualidade da água

PCD	Local	Situação (em 14/09/2007)
01	Santa Branca (LIGHT)	Planejada (não instalada)
02	Jacareí (KAISER-FEMSA)	Instalada em março/2006 (em operação)
03	São José dos Campos (PETROBRAS)	Planejada (não instalada)
04	Pindamonhangaba (SABESP)	Planejada (não instalada)
05	Guaratinguetá (BASF)	Instalada em abril/2005 (em operação)
06	Cruzeiro (MAXION)	Instalada em março/2005 (em operação)
07	Queluz	Planejada (não instalada)

#### 4. Procedimentos adotados na operação da rede de PCDs de qualidade da água

Para o controle e garantia da qualidade dos dados coletados pelas PCDs foi estabelecido um procedimento operacional para execução da manutenção e calibração regular dos equipamentos.

Semanalmente são realizadas, pela CETESB, visitas de manutenção nas PCDs para realização dos seguintes serviços: **a)** inspeção e limpeza física dos sensores da sonda, do sensor de nível, do painel solar e do pluviômetro, tubo da sonda, tubo do sensor de nível; **b)** coleta de amostras de água para análise em laboratório; **c)** recuperação de dados gravados na memória da PCD; **d)** inspeção, registro e notificação de quaisquer anomalias que afetem o funcionamento da PCD e sensores.

Mensalmente, a sonda que se encontra em operação é substituída por outra sonda previamente calibrada no laboratório da CETESB, que é um laboratório acreditado pelo INMETRO. A sonda que saiu de operação é levada para o laboratório da CETESB para

limpeza minuciosa, manutenção de sensores e calibração, permanecendo no estoque até ser levada de volta para o campo para reinstalação, não necessariamente na mesma estação PCD em se encontrava instalada anteriormente. É realizado um controle de substituição e calibração das sondas com anotações de números de série e datas da realização dos serviços.

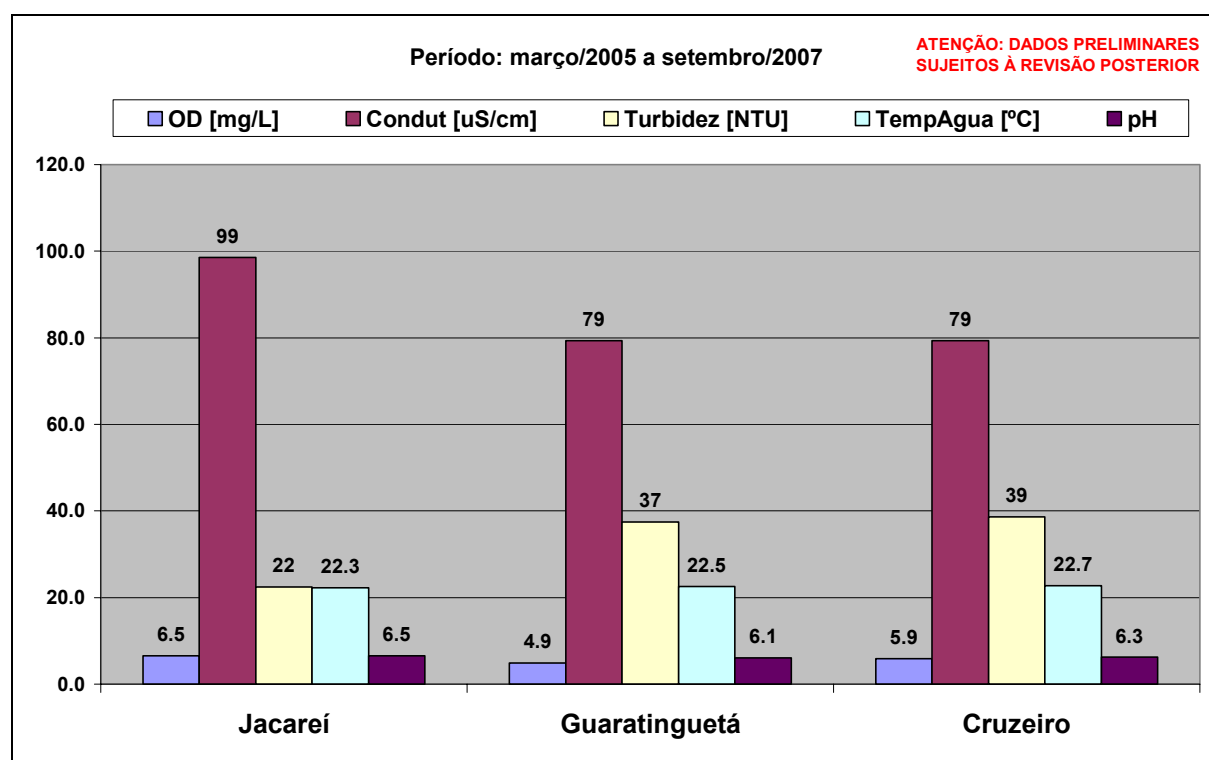
Todos os serviços executados no campo e de calibração de sondas no laboratório são documentados em fichas apropriadas, formando uma base de dados e conhecimentos sobre a operação do sistema, possibilitando o seu controle e ajustes necessários, como por exemplo, a validação e consistência dos dados coletados.

Os resultados das análises das amostras de água coletadas junto às estações PCDs de qualidade da água são armazenados em meio eletrônico para posterior comparação e validação dos dados coletados automaticamente pelas sondas.

## 5. Exemplos de dados coletados pelas plataformas de coleta de dados

Para ilustrar as potencialidades da rede de monitoramento automático são apresentados alguns gráficos gerados a partir dos dados coletados pelas três PCDs de qualidade da água instaladas e em operação no rio Paraíba do Sul.

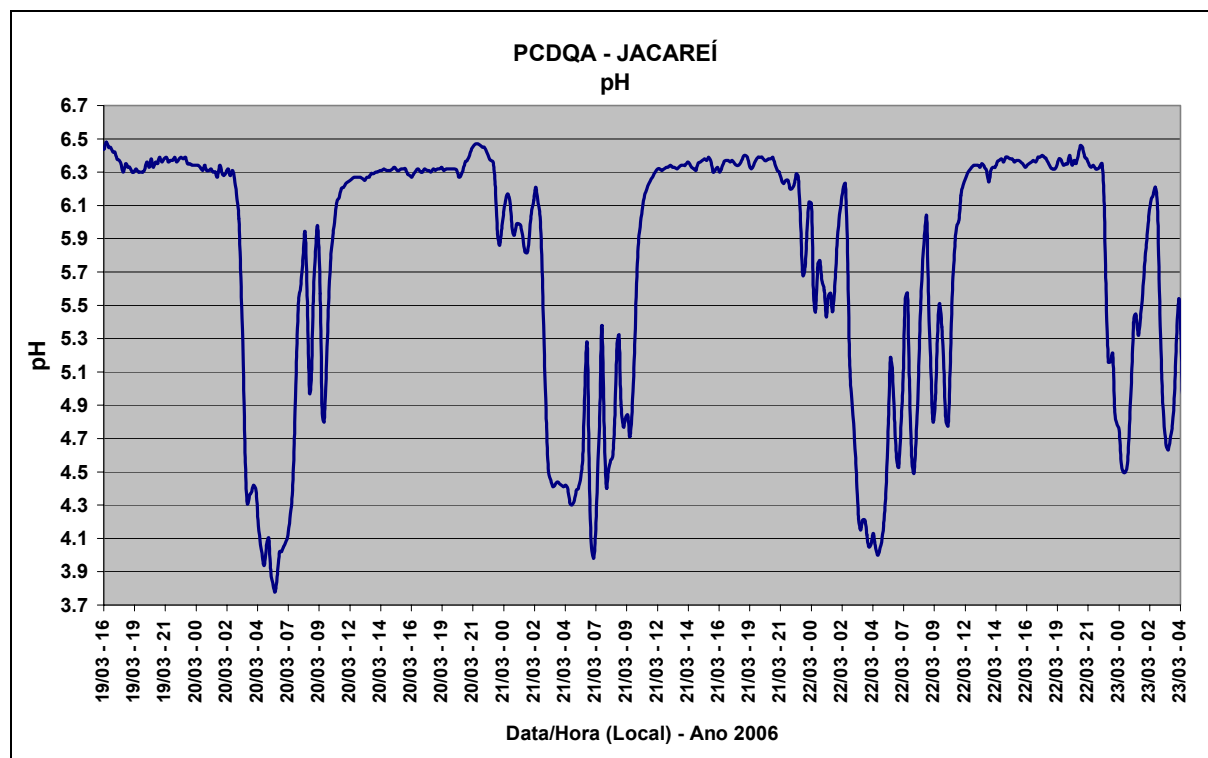
A **Figura 4** mostra a média dos valores dos diferentes parâmetros coletados pelas PCDs de qualidade da água nos pontos de amostragem no período de março de 2005 a setembro de 2007.



**Figura 4** – Média dos valores dos diferentes parâmetros coletados pelas PCDs

A **Figura 5** apresenta um gráfico com as medições de pH realizadas pela PCD de Jacareí no período de 19 a 23 de março de 2006. O gráfico evidencia uma queda abrupta do pH com espaçamento temporal regular. Observa-se que o declínio do pH ocorre somente em períodos noturnos e matutinos, evidenciando despejo clandestino de efluentes à montante do ponto onde está instalada a sonda, o que seria impossível de ser detectado sem o monitoramento

contínuo e automático realizado pela PCD de qualidade da água, desde que o monitoramento convencional da CETESB é realizado bimestralmente, no período diurno.



**Figura 5** – Variações do pH detectadas pela sonda de qualidade da água instalada em Jacareí

## 6. Conclusões

A implantação e operação da rede de PCDs no rio Paraíba do Sul proporcionam uma sensível melhoria na aquisição de dados de quantidade e qualidade da água, possibilitando: **a)** o conhecimento da situação, em tempo real, da quantidade e qualidade da água do rio; **b)** a detecção de mudanças na qualidade da água, inclusive no período noturno, auxiliando no controle de atividades poluidoras; **c)** acompanhar eventos de enchentes e operação de reservatórios; **d)** estruturar um banco de dados hidrológicos de quantidade e qualidade da água com altíssima resolução temporal e qualidade dos dados proporcionada pela utilização de equipamentos de elevada confiabilidade; **e)** calibrar com grande exatidão modelos de simulação de quantidade e qualidade da água; **f)** capacitação e especialização de pessoal técnico em operação de sistemas automáticos e equipamentos de coleta de dados de qualidade da água, preparando-os para futuros desenvolvimentos e pesquisas no campo de instrumentação ambiental, de interesse estratégico para o país para o domínio de novas tecnologias de monitoramento e controle ambiental.

A continuidade da operação das três PCDs instaladas e a efetiva implantação da rede de PCDs no rio Paraíba do Sul, no total de sete pontos monitorados, conforme planejado inicialmente permite a aplicação imediata dos dados coletados na solução de importantes problemas de monitoramento ambiental na região do Vale do Paraíba, além de propiciar aos operadores dessa rede de monitoramento os conhecimentos necessários para estender esta experiência para outras regiões do país, que estejam interessadas em implantar o monitoramento automático da qualidade da água.



## Agradecimentos

Os autores apresentam os mais sinceros agradecimentos às indústrias que colaboraram na implantação das PCDs: MAXION de Cruzeiro, representada pelo Eng. José Roberto França Quintanilha e Eng. Elias Oliveira de Souza; BASF de Guaratinguetá, representada pelo Eng. Bert Neumeier e Eng. Mariana Rossi Sigrist e KAISER-FEMSA de Jacareí representada pelo Eng. Cândido Augusto Menconi e Eng. André Luiz Iannicelli. Também agradecemos a colaboração do Comitê de Bacias do Paraíba do Sul – CBH-PS – representado pelo seu atual presidente, o Eng. Antônio Gilberto Filippo Fernandes Júnior, pelo seu secretário executivo, o geólogo Edilson de Paula Andrade, do DAEE e pelo prof. Lázaro Tadeu Ferreira da Silva, da Câmara Técnica de Educação Ambiental e Mobilização Social deste Comitê.

## Referências

- Alvim, Luis Altivo Carvalho; Bressan Jr., Hélio; Magina, Flávio de Carvalho. **Relatório de Atividades - Seleção de locais para instalação de rede de monitoramento automático da qualidade da água no rio Paraíba do Sul**. São Paulo/Taubaté/Cachoeira Paulista – SP: CETESB e INPE/CPTEC, outubro de 2002.
- Magina, Flávio de Carvalho. **Plataformas de Coleta de Dados**. In INPE-CPTEC: Meio Ambiente e Ciências Atmosféricas. Curso em CD-ROM. Cachoeira Paulista-SP, Brasil: INPE-CPTEC, 1999.
- Reis, Benedito Jorge dos. O rio Paraíba do Sul é monitorado por satélite. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia (BSBMET)**, v. 29, n. 2, jul. 2005, p. 76-81, ISSN-1676-014-X.
- YSI Incorporated. **Environmental Monitoring Systems Operations Manual**. Yellow Springs, Ohio, USA: YSI Incorporated, 1999.