

# BACIA DO COMPLEXO BÁSICO E BARREIRA HIDRÁULICA: REUSO DE ÁGUA PARA FINS INDUSTRIAIS

KARLA P. OLIVEIRA-ESQUERRE<sup>1</sup>, ASHER KIPERSTOK<sup>2</sup>, RICARDO KALID<sup>3</sup>, EMERSON SALES<sup>4</sup>, MARIO CEZAR MATTOS<sup>5</sup>, EDUARDO COHIM<sup>6</sup>, ALBÉRICO R. P. MOTTA<sup>7</sup>, FÁBIO MENEZES<sup>8</sup>, LAYSA LIMA<sup>9</sup>, SAMARA SILVA<sup>10</sup>, WASHINGTON DÓREA<sup>11</sup>, JORDON WERLANG<sup>12</sup>, JOSÉ BATISTA<sup>13</sup>, RODOLFO F. SCHUBACH<sup>14</sup>

Trabalhos de Pesquisa e Desenvolvimento

Recursos Hídricos

<sup>1</sup> Pesquisadora do Projeto ECOBRASKEM; karla.esquerre@gmail.com

<sup>2</sup> Coordenador do Projeto ECOBRASKEM e do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais nos Processo Produtivo; asher@ufba.br.

<sup>3</sup> Vice-coordenador do Projeto ECOBRASKEM e Professor do Departamento de Engenharia Química da UFBA; kalid@ufba.br.

<sup>4</sup> Pesquisador do Projeto ECOBRASKEM e Professor do Instituto de Química da UFBA; eas@ufba.br.

<sup>5</sup> Pesquisador do Projeto ECOBRASKEM; mariocezarmattos@yahoo.com.br

<sup>6</sup> Pesquisador do Projeto ECOBRASKEM; ecohim@ufba.br

<sup>7</sup> Pesquisador do Projeto ECOBRASKEM; arpmotta@petrobras.com.br

<sup>8</sup> Estudante de Engenharia Ambiental, FTC; Bolsista do Projeto ECOBRASKEM, menezes\_fis@yahoo.com.br.

<sup>9</sup> Estudante de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFBA, Bolsista do Projeto ECOBRASKEM; lay.lima@yahoo.com.br

<sup>10</sup> Estudante de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFBA; Bolsista do Projeto ECOBRASKEM, samara\_nan@yahoo.com.br.

<sup>11</sup> Engenheiro de Produção da Cetrel – Empresa de Proteção Ambiental S.A; ventura@cetrel.com.br.

<sup>12</sup> Engenheiro Químico da Cetrel – Empresa de Proteção Ambiental S.A; jordon@cetrel.com.br.

<sup>13</sup> Supervisor de Operação da Cetrel – Empresa de Proteção Ambiental S.A; jbatista@cetrel.com.br

<sup>14</sup> SSMA da Braskem/UNIB, rodolfo.schubach@braskem.com.br.

Este estudo objetiva a possibilidade de reaproveitamento da água da Bacia do Complexo Básico (BCB) e da Barreira Hidráulica (BHP) em unidades industriais do Pólo Industrial de Camaçari. A BCB faz parte do sistema de efluentes inorgânicos da área industrial do pólo e tem a função de acumular temporariamente esses efluentes (juntamente com as águas pluviais) de forma a impedir que contaminantes transbordem para os cursos d'água da região. A BHP, por outro lado, faz parte do sistema orgânico e consiste em uma unidade de contenção hidráulica composta por poços de extração e monitoramento situados estrategicamente a jusante do complexo industrial de Camaçari, com o objetivo de proteger os recursos hídricos subterrâneos. Utilizando dados históricos de volume acumulado na bacia e vazão bombeada pelos poços foi possível obter uma estimativa do volume de água disponível para reuso, o qual representa cerca de, no mínimo, 15% da vazão bombeada por dia do Rio Joanes para o abastecimento das indústrias do pólo. Quanto ao estudo qualitativo, verifica-se que mudanças operacionais das unidades industriais contribuintes e/ou a diluição da água possibilitaria o enquadramento de parâmetros considerados críticos, e, conseqüentemente, o seu reuso para fins industriais. Além de permitir uma maior proteção dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos da região, o reuso representaria uma considerável redução do volume de água extraído dos mananciais atualmente utilizados, assim como do volume de efluentes enviado para o emissário submarino.

**Palavras-chave:** Bacia do Complexo Básico; Barreira Hidráulica; Reuso de Água; Pólo Industrial de Camaçari.

# 1. INTRODUÇÃO

O Pólo Industrial de Camaçari foi instalado no final da década de 70, na cidade de Camaçari, no nordeste brasileiro. Atualmente conta com 60 empresas, sendo que dessas, a maioria atua nos setores petroquímicos e químicos e o restante está distribuído entre setores diversos, como metalúrgico, automotivo, cervejarias e de transformação.

Desde a época da sua implantação, o Pólo já contava com sistemas de proteção ambiental fim de tubo que tinham o objetivo de proteger os dois grandes centros urbanos e os recursos hídricos localizados dentro da sua área de influência. Dentre esses estão os dois sistemas de efluentes: o sistema orgânico (SO) e o inorgânico (ou não contaminado, SN) operados pela Cetrel – Empresa de Proteção Ambiental. Em 1989, a duplicação do Pólo passou por um processo de licenciamento que permitiu uma discussão ampla da questão ambiental na indústria. Neste momento, o Conselho Estadual de Proteção Ambiental, CEPRAM, iniciou um deslocamento das medidas de controle da poluição para o interior das plantas industriais, desencadeando assim um importante processo de melhoria do desempenho ambiental das indústrias (MARINHO e KIPERSTOK, 2001).

Dentre as empresas instaladas no Pólo está a Unidade de Insumos Básicos da Braskem. Ela produz produtos petroquímicos de primeira geração, além de utilidades, como água, vapor, energia e combustível, como gasolina. Para produção de água, a Braskem possui sua própria Estação de Tratamento de Água (ETA) que produz água clarificada, filtrada, desmineralizada e potável, utilizada tanto para suprimento industrial interno, como para outras indústrias do Pólo. Ressalta-se que o Pólo consome atualmente mais de 35 mil m<sup>3</sup> por dia de variadas especialidades de água e vapor, conforme suas finalidades. Este volume equivale ao consumo de uma cidade de 640 mil habitantes (150 litros/hab), ou seja, ao abastecimento de ¼ da população da cidade de Salvador.

Apesar da produção de água não ser objetivo principal da empresa, a sua utilização de forma racional e otimizada pode representar uma significativa redução de custos e de impacto ambiental. Conseqüentemente, a empresa vem desenvolvendo um amplo programa visando a otimização e o uso racional desse recurso, o que resultou em dois projetos de pesquisa desenvolvidos em parceria

com a Rede de Tecnologias Limpas (Teclim) do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal da Bahia.

O primeiro dos projetos, denominado Braskem-Água, foi concluído em 2002 e teve como objetivo cadastrar todas as correntes aquosas da Braskem e elaborar o seu Balanço Hídrico (BH). O BH foi uma ferramenta que possibilitou a visualização de oportunidades de reuso da água e o entendimento da empresa no contexto do ciclo hídrico regional. O segundo projeto, denominado Ecobraskem e ora em andamento, abrange duas linhas de pesquisa. Uma delas é a otimização energética da empresa, assunto que não será tratado neste artigo. A outra linha visa a consolidação e atualização do BH existente e a implementação de proposições resultantes das oportunidades definidas no projeto anterior.

Alguns dos estudos desenvolvidos pelo projeto Ecobraskem, ligados à otimização do uso da água, apresenta resultados consideravelmente significativos, em termos de benefícios econômicos e ambientais, e propostas consolidadas. Dentre esses encontra-se o estudo aqui apresentado que trata do reuso da água da Bacia do Complexo Básico e o reuso da água da Barreira Hidráulica. Tem-se então como objetivos gerais deste estudo:

- reduzir o volume de água extraído dos mananciais atualmente utilizados nas unidades industriais do Pólo, substituindo-o por água da Bacia do Complexo Básico (BCB) e da Barreira Hidráulica do Pólo (BHP);
- reduzir o volume de efluentes enviado para o emissário submarino, garantindo ou melhorando a proteção dos recursos hídricos da região;
- reduzir o gasto energético com a captação de água da RMS a partir da redução da importação de água da Bacia do Paraguaçu;
- aumentar o nível de percepção ambiental das indústrias quanto ao uso de água e geração de efluentes líquidos.

## 2. ESTUDOS DE CASO

O sistema de efluentes inorgânicos do Pólo, também conhecido como sistema de águas não contaminado (SN), é constituído por uma malha de tubulações e canais coletores com 30 km de extensão, três bacias de acumulação (cada uma com sua respectiva estação elevatória - EE), e um canal principal, que conduz os

efluentes para uma estação de tratamento de efluentes líquidos da Cetrel. Um desenho esquemático deste sistema é apresentado na Figura 1.

A BCB (Figura 2) é uma das três bacias de acumulação do sistema inorgânico e tem a função de acumular temporariamente os efluentes inorgânicos (juntamente com as águas de chuva), durante as ocasiões de chuvas intensas, de modo a impedir que esses transbordem para os cursos d'água da região. Funciona, portanto, de forma similar a um reservatório de atenuação de cheias, cujo princípio operacional prevê a manutenção de uma parte do seu volume vazio a fim de que ele possa receber e estocar temporariamente as águas de chuvas nas ocasiões de chuvas intensas.

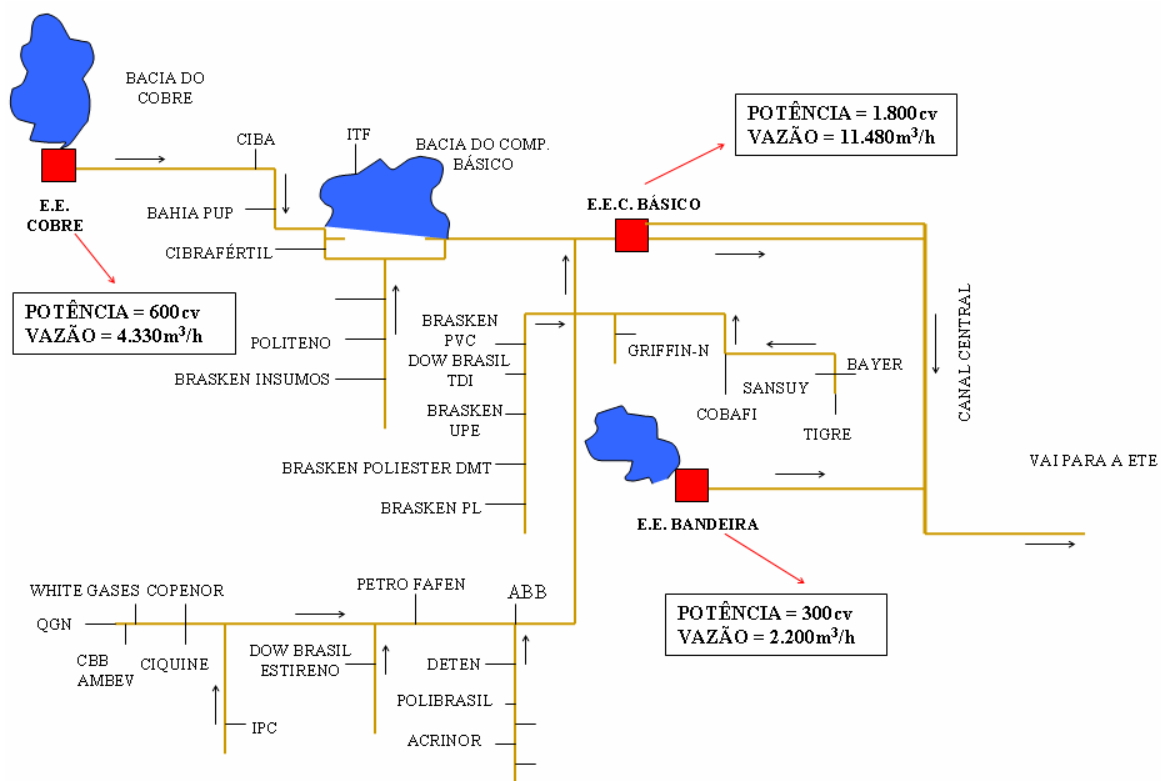


Figura 1: Sistema de Águas Não Contaminadas do Pólo Industrial de Camaçari (Fonte: CETREL).



Figura 2: Foto aérea da BCB (Fonte: Conder, 2002).

Projetada inicialmente para conter 2.021.000m<sup>3</sup> (EIA/RIMA, 1989), a BCB conta atualmente com uma capacidade de armazenamento total de aproximadamente 1.600.000 m<sup>3</sup>, redução ocasionada principalmente por assoreamento. Sua operação prevê a manutenção de um volume de água de apenas 30% da sua capacidade, deixando-se os 70% restantes para receber a mistura águas pluviais e efluentes inorgânicos nas épocas de chuvas. Como objetivos específicos do estudo de reuso da água da BCB tem-se, dentre outros:

- diagnosticar o funcionamento da BCB e identificar o potencial hídrico para efeito de reuso da BCB, considerando suas características, afluências e aspectos operacionais;
- avaliar a qualidade da água da BCB e de suas afluências e saídas;
- identificar a relação existente entre parâmetros qualitativos e quantitativos da BCB, considerando o modelo operacional de descarte de efluentes industriais e a sazonalidade da região, para efeito de reuso da água, e
- propor medidas para potencializar o reuso de água do ponto de vista de mudanças na estrutura física o no modelo operacional do SN e das unidades industriais do Pólo.

A Barreira Hidráulica (BHP), por sua vez, foi projetada de forma a impedir que uma eventual contaminação das águas subterrâneas da região do Pólo atinja os aquíferos e cursos d'água da região. Constitui-se em um conjunto de poços alinhados perpendicularmente ao fluxo subterrâneo de modo a interceptar no máximo possível as contaminações. Tomando-se como referência o fluxo das águas subterrâneas e superficiais, a BHP foi implantada à jusante do Pólo, estrategicamente posicionada entre as nascentes dos rios Imbassaí e Dias D'Ávila.

São, portanto, objetivos específicos da BHP: conter a propagação das plumas de contaminação para fora dos limites da área do Pólo Industrial de Camaçari; evitar contaminação das nascentes do Rio Imbassaí, e evitar contaminação de mananciais subterrâneos (poços, cacimbas, etc) utilizados pela população do entorno da cidade de Dias D'Ávila.

Uma vez na superfície, a água extraída dos poços é encaminhada para o SO, citado anteriormente. Assim, dentre os objetivos específicos quanto ao estudo de reuso da água da BHP, tem-se:

- diagnosticar o funcionamento da BHP e avaliar a vazão potencial disponível para reuso;

- identificar a relação existente entre parâmetros qualitativos e quantitativos da BHP, considerando suas características gerais e a especificidade de cada poço, para efeito de reuso da água, e
- analisar meios para potencializar o reuso de água e minimizar o espalhamento da pluma de contaminação através da extração da água subterrânea por poços de extração/monitoramento e reuso por unidades industriais vizinhas.

Neste artigo, serão detalhados, especialmente, os resultados do estudo referente ao estudo quantitativo, ou seja, de avaliação da disponibilidade hídrica da BCB e vazões bombeadas da BHP.

### 3. METODOLOGIA

A metodologia adotada no projeto Ecobraskem inclui ações gerais, aplicadas ao projeto como um todo, e específicas, desenvolvidas para cada estudo. As ações gerais envolveram a formação da equipe do Ecobraskem; realização de reuniões semanais com o corpo técnico e reuniões do conselho consultivo; capacitação de técnicos para gerenciamento dos recursos hídricos na empresa; treinamentos específicos para os pesquisadores do projeto; levantamento de dados; levantamento das restrições operacionais para viabilizar o processo de reuso e/ou reciclo; busca de oportunidades de minimização de efluentes e redução no consumo de água – realizada, e divulgação do projeto para técnicos da Braskem.

A seguir é apresentada uma descrição detalhada da metodologia utilizada para estimativa da disponibilidade hídrica da BCB e das vazões bombeadas da BHP para fins de reuso. Cabe mencionar que, para ambos os estudos, tem sido avaliada a possibilidade de reuso da água para alimentação das torres de resfriamento, oportunidade identificada através do balanço hídrico.

#### 3.1 Estudo da Disponibilidade Hídrica da BCB

Para estimativa da disponibilidade hídrica da BCB foram utilizados dois métodos. O primeiro consiste no modelo de balanço de massa baseado na variação diária do volume ocupado da bacia e o segundo no modelo *Soil Conservation Service* (YRYDA, 1985) que considera as contribuições naturais de água à BCB, ou seja, as afluições geradas por precipitação.

No modelo de balanço de massa, representado pela Equação 1, considerou-se como base de cálculo as variações diárias do volume ocupado da BCB para os anos de 2004 e 2005 e a vazão de recalque da Estação Elevatória do Complexo Básico (EECB) igual a: (1) vazão média de efluentes do SN, ou seja, 1.000 m<sup>3</sup>/h, e (2) média da vazão de recalque dos anos de 2004 e 2005, ou seja, 3.000 m<sup>3</sup>/h.

Dados diários de vazão bombeada pela EECB e de volume da BCB para os anos de 2004 e 2005 são apresentados na Figura 3.

$$\text{VOLUME ACUMULADO POR DIA} = \text{VOLUME (t+1)} - \text{VOLUME (t)} - \text{VOLUME MÉDIO DE RECALQUE DA EECB (t)}, \text{ onde } t = \text{dia} \quad (1)$$

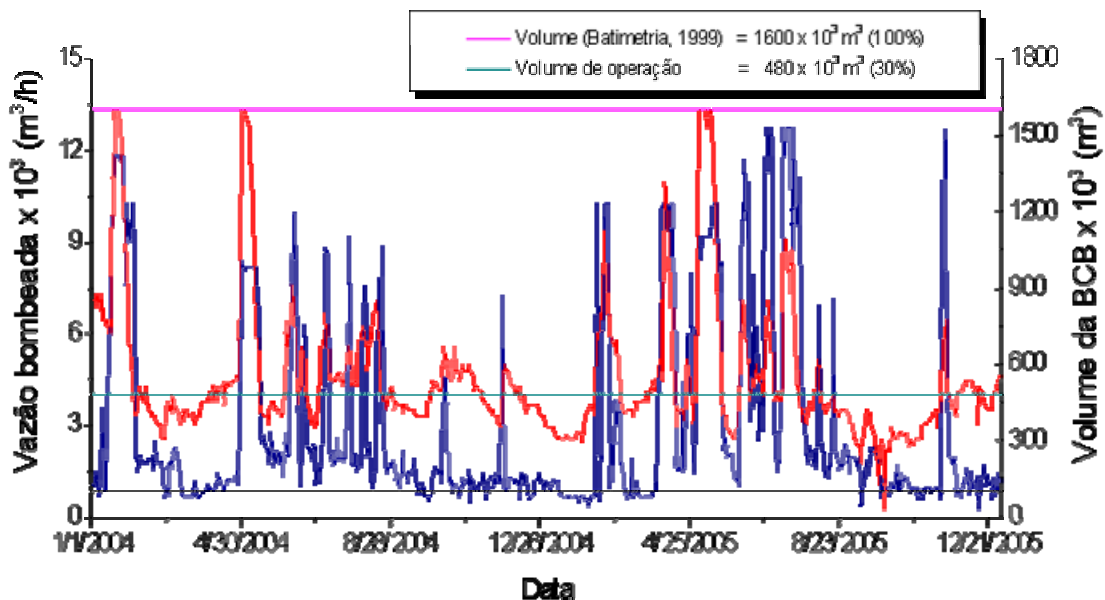


Figura 3: Dados diários de vazão bombeada pela EECB e volume da BCB para os anos de 2004 e 2005.

Quanto ao uso do modelo *Soil Conservation Service* (SCS), verificou-se que a bacia hidrográfica que contribui para a BCB tem uma área de 1066 Ha e não possui medição de vazão. Assim, para estimar a contribuição natural, aquela proveniente apenas das precipitações pluviométricas, utilizou-se o método do *U.S. Bureau of Reclamation*, recomendado pelo IRYDA – *Instituto de Reforma y Desarrollo Agrário* da Espanha (1985) para os aportes superficiais em pequenas bacias. Esse método fornece uma estimativa do escoamento superficial direto de uma chuva isolada a partir das características do solo e de sua cobertura.

Na estimativa dos volumes totais aportados à BCB admitiu-se uma condição favorável e uma desfavorável do ponto de vista de volume diário escoado, atribuindo-se um percentual da altura infiltrada que escoaria para a drenagem superficial de 60% e 30%, respectivamente.

### 3.2 Estudo das Vazões Bombeadas da BHP

Para análise das vazões potenciais para reuso provenientes dos poços de sucção da BHP foram levantados dados históricos de vazão e nível dinâmico de onze dos quatorze poços em operação. Através da ferramenta estatística gráfica de séries temporais, tentou-se correlacionar padrões de comportamento dos dados com intervenções operacionais de troca de bomba e limpeza dos poços.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 4 são apresentadas estimativas da disponibilidade hídrica da BCB obtidas através do modelo de balanço de massa. Quando considerado a vazão recalque referente unicamente aos efluentes do SN, ou seja,  $1.000\text{m}^3/\text{h}$  (a), estima-se uma disponibilidade de  $500\text{m}^3/\text{h}$  de água da BCB em 56% do tempo analisado ou de  $2.500\text{m}^3/\text{h}$  em 27% do tempo. Estes percentuais caem em 11 e 7%, respectivamente, quando considerada a vazão média de recalque da EECB de  $3.000\text{m}^3/\text{h}$  (b). Para ambos os métodos, nota-se que as vazões tais valores representam uma parcela significativa da água atualmente bombeada do Rio Joanes e utilizada na ETA.

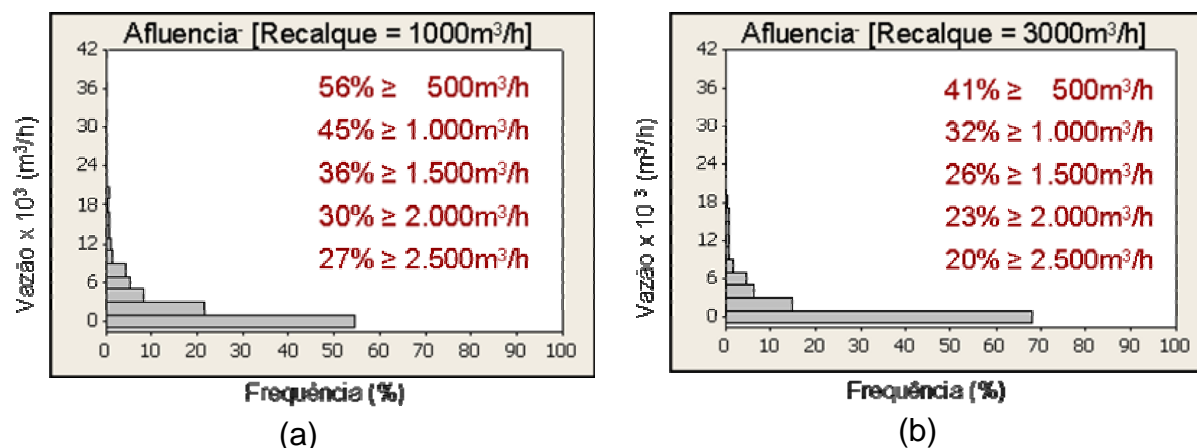


Figura 4: Estimativa da disponibilidade hídrica da água da BCB pelo modelo de balanço de massa considerando vazão de recalque constante e igual a (a)  $1.000\text{m}^3/\text{h}$  e (b)  $3.000\text{m}^3/\text{h}$ .



Quando utilizado o modelo SCS, os percentuais da disponibilidade hídrica são reduzidos consideravelmente, seja para o caso mais ou menos favorável, como pode ser observado na Figura 5. Tal comportamento pode ser justificado pela existência de afluências na BCB que não água de chuva, ou seja, além dos afloramentos existentes na região da BCB, esta recebe contribuições diretas no SN provenientes da Bacia do Cobre e, em períodos de alta pluviosidade, da Bacia do Bandeira, ocasionando, assim, um incremento na disponibilidade hídrica na BCB. Tais contribuições foram indiretamente contabilizadas no modelo de balanço de massa, mas não foram no modelo SCS.

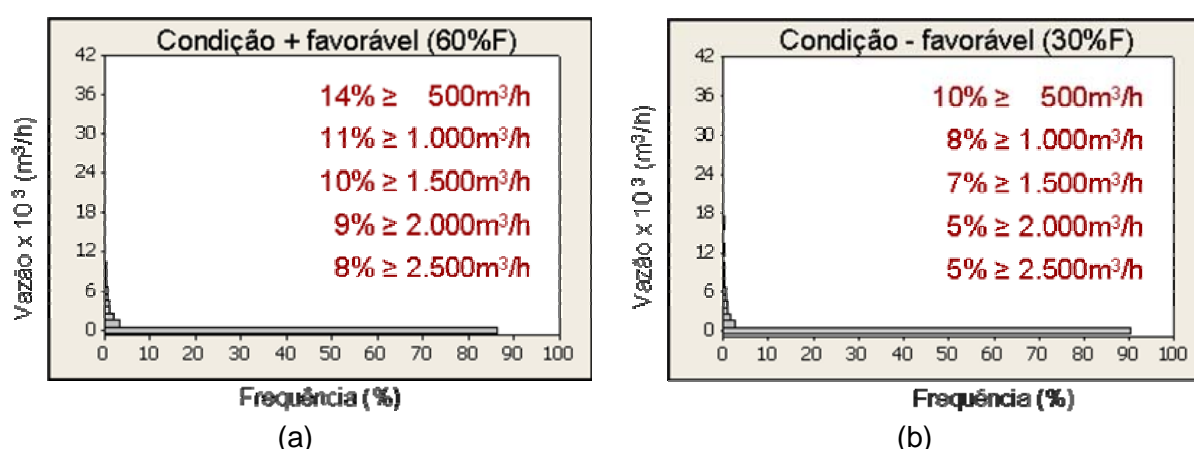


Figura 5: Estimativa da disponibilidade hídrica da água da BCB através do modelo *Soil Conservation Service* para (a) condição mais favorável e (b) condição menos favorável.

Para o caso da BHP, o estudo quantitativo foi baseado na análise dos dados históricos de vazão bombeada e nível dinâmico para cada poço. Na Figura 6 são apresentados os dados de três poços da BHP; as setas indicam o momento onde ocorreu troca de bomba para outra de menor potência (seta vermelha), maior potência (seta azul), de igual potência (seta verde) e limpeza do poço (seta rosa).

Para os três poços, observa-se um comportamento mais estável da vazão e nível dinâmico nos últimos anos de operação. Variações mais significativas parecem ocorrer devido a perda de performance das bombas em períodos que podem se prolongar por até um ano, fator esse que pode ser facilmente controlado caso um sistema de reuso seja implementado.

Na Figura 7 apresenta-se uma estimativa da vazão total disponível para reuso considerando-se onze dos quatorze poços da BHP. Até meados de 2000, observa-se que apesar da oscilação da vazão extraída, a mesma tem um comportamento

ascendente, enquanto que no período posterior, apesar de existir também uma oscilação da vazão, esta parece oscilar dentro de uma faixa de valores quase constante, sugerindo um maior controle da operação de todo o sistema. Este comportamento pode também ser verificado analisando-se a estatística básica destes dados (Tabela 1). Verifica-se, portanto, uma vazão disponível para reuso variando de 76 a 101m<sup>3</sup>/h.

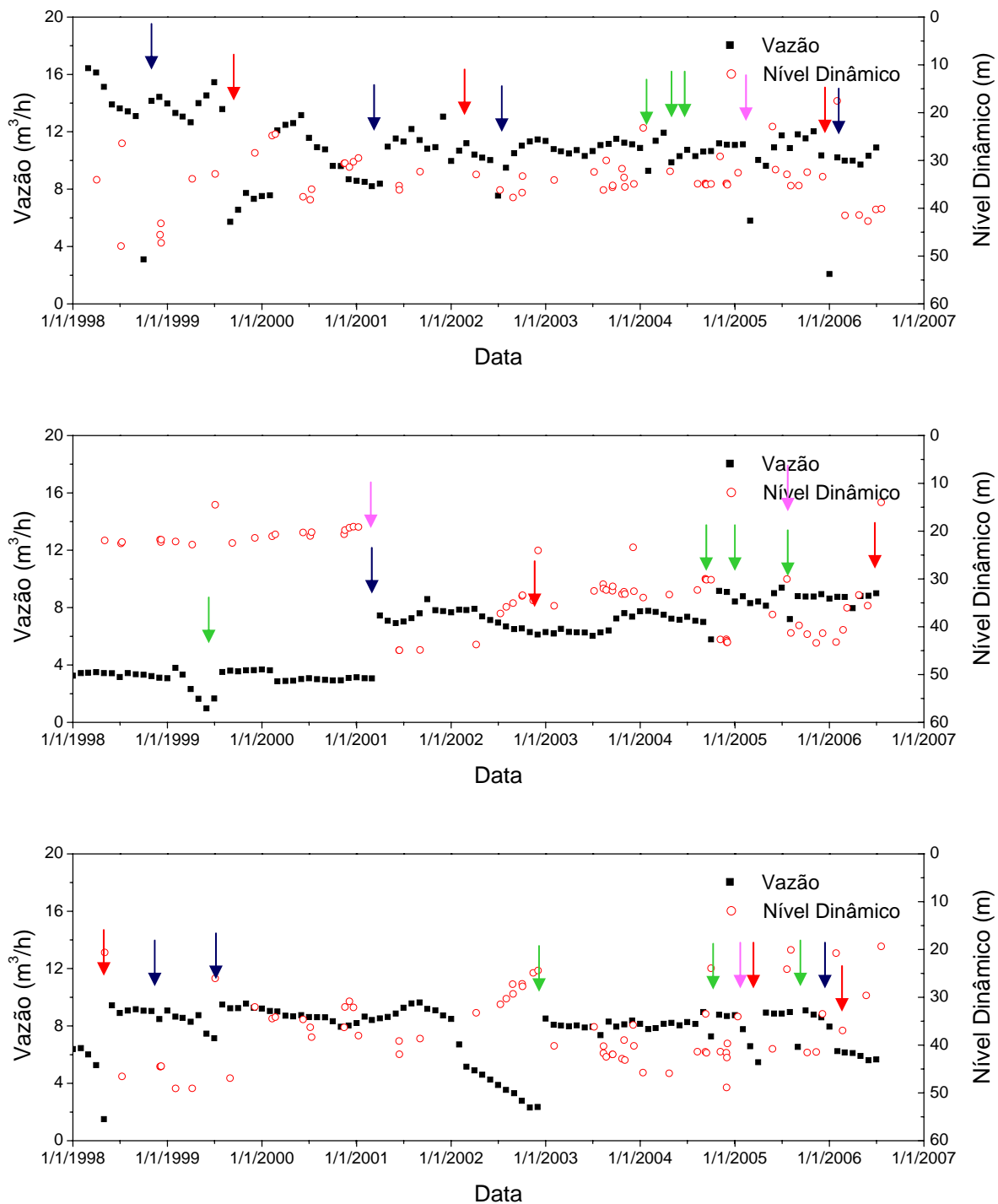


Figura 6: Vazão bombeada e nível dinâmico para três poços da BHP.

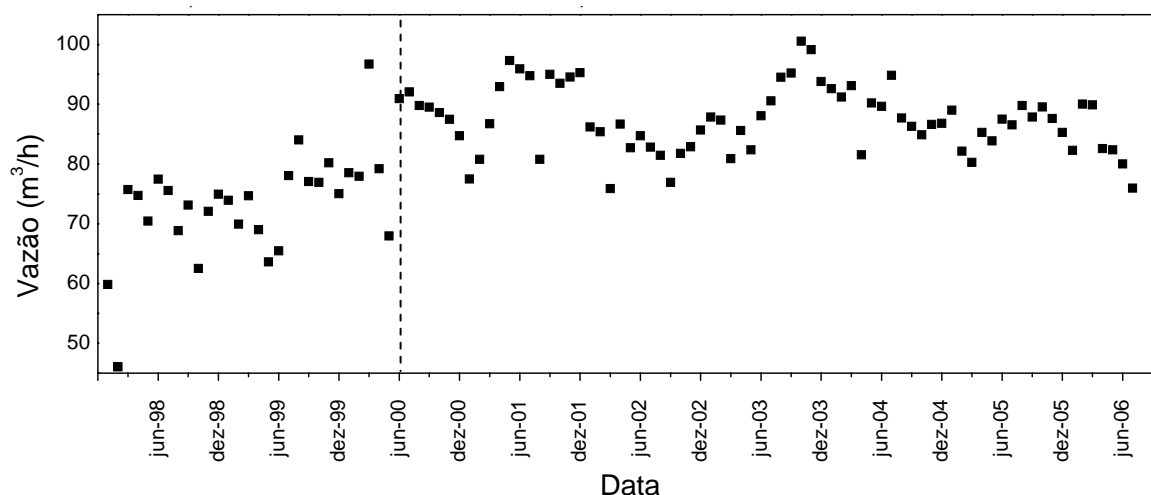


Figura 7: Vazão bombeada total.

Tabela 1: Estatística básica dos dados históricos da vazão total bombeada da BHP.

	Jan98 - Mai00	Jun00 - Jul06
<b>Estatística Básica</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/h)</b>	
<b>Média</b>	73	87
<b>Desv. Pad.</b>	9	5
<b>Mínimo</b>	46	76
<b>Máximo</b>	97	101

Quanto ao estudo qualitativo da água da BCB, foi verificado que mudanças operacionais das unidades industriais contribuintes e/ou a diluição da água possibilitaria o enquadramento de parâmetros considerados críticos, como a condutividade, e, conseqüentemente, o seu reuso para fins industriais. Por fazer parte do SO, o reuso da água da BHP, por sua vez, requer uma análise detalhada quanto aos riscos potenciais referentes, especialmente, à presença de organoclorados (DELLEUR, 1999). Tal estudo encontra-se em andamento.

## 5. CONCLUSÃO

Através das vazões disponíveis para reuso estimadas neste estudo verifica-se que, além de permitir uma maior proteção dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos da região, o reuso representaria uma considerável redução do volume de água extraído dos mananciais atualmente utilizados, assim como do volume de

efluentes enviado para o emissário submarino. Como afirmado por Asano (Watanabe e Funamizu, 2003), em geral, o reuso de água é não somente tecnicamente viável na indústria como também se justifica economicamente.

Certamente, a parceria entre a Universidade e a Braskem tem apontado para uma nova realidade de otimização e controle ambiental na indústria. Essa parceria tem sido benéfica para ambos. Para a indústria, se torna possível utilizar os conhecimentos acadêmicos e as habilidades de pesquisa para otimização de processo e para a universidade, viabiliza-se a utilização a indústria como um laboratório para o desenvolvimento e aplicação de conhecimentos.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho gostariam de agradecer à Braskem e a FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos – que, através de um projeto cooperativo do Fundo Setorial de Petróleo e Gás, CT-PETRO, financiam este projeto; à Rede de Tecnologias Limpas da UFBA, que, juntamente com a Braskem, coordenam o projeto, e, finalmente, às empresas, instituições e órgãos que são parceiros e colaboram com o andamento do projeto, a saber, Cetrel, CRA e FTC de Salvador.

## 7. REFERÊNCIAS

- DELLEUR, J. The Handbook of Groundwater Engineering. Indiana: RCR Press LLC, 1999.
- EIA/RIMA. Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental para Ampliação do Complexo Petroquímico de Camaçari, Hidroconsult, 1989.
- MARINHO, M., KIPERSTOK, A. Maerbal Marinho Ecologia Industrial e Prevenção da Poluição: Uma Contribuição ao Debate Regional, Bahia Análise & Dados, v.10, n.4, p.271-279, 2001.
- WATANABE, Y; FUNAMIZU, N., Water Resources and Water Supply in the 21st Century. Sapporo: Hokkaido University Press, 2003.
- IRYDA. Manuales Técnicos 2 – Diseño de pequeños embalses. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca e Alimentación, 1985.