

## Outorga para Lançamento de Efluentes – Uma Metodologia de Apoio à Gestão de Recursos Hídricos

Renata Barros Pinheiro<sup>1</sup>, Suzana Maria Gico Lima Montenegro<sup>2</sup>, Simone Rosa da Silva<sup>3</sup>,  
Yvonilde D. P. Medeiros<sup>4</sup>, Joana Tereza Aureliano<sup>5</sup>

rena.pinheiro@gmail.com; suzanam@ufpe.br; simorosa2003@yahoo.com.br; yvonilde.medeiros@gmail.com; jaureliano@semas.pe.gov.br

Recebido: 31/12/11 - revisado: 09/08/12 - aceito: 17/08/13

### RESUMO

A crescente crise mundial de abastecimento de água ressalta a necessidade da implementação de instrumentos que norteiem os órgãos gestores no controle do lançamento de efluentes, particularmente nos mananciais hídricos superficiais, objeto deste estudo, visto que a má qualidade da água a torna indisponível para determinados usos. Este trabalho teve por objetivo propor uma metodologia de auxílio aos gestores de recursos hídricos na tomada de decisões, no que se refere à outorga para lançamento de efluentes em cursos d'água, utilizando um modelo de qualidade de água e definindo critérios a serem adotados na análise dos pleitos. A área utilizada para a calibração do modelo de qualidade e para a simulação de cenários foi um trecho de aproximadamente 22km do rio Capibaribe, entre os municípios de São Lourenço da Mata e Recife, Pernambuco. O modelo matemático adotado foi o Qual-UFMG, tendo sido analisados os parâmetros OD e DBO. Os resultados obtidos demonstram que menos de 10% do trecho em estudo apresenta estes parâmetros dentro dos limites estabelecidos por lei para a sua classe de enquadramento. Além disso, foi possível a identificação dos pontos críticos, onde será necessária uma adequação dos empreendimentos instalados, e pontos onde o rio ainda apresenta alguma capacidade de depuração. A simulação de cenários hipotéticos permitiu concluir que a implantação de metas progressivas de ajuste do efluente enquadra o rio nos padrões estabelecidos para sua classe.

**Palavras-chave:** Gestão de recursos hídricos. Lançamento de efluentes. Modelagem de qualidade da água.

### INTRODUÇÃO

Para se por em prática um modelo de desenvolvimento sustentável é primordial uma eficiente gestão das águas. A quantidade e a qualidade da água são indissociáveis, pois os aspectos qualitativos podem ocasionar restrições de disponibilidade hídrica. A qualidade da água está atrelada aos usos pretendidos, podendo ser de boa qualidade para um fim e não para outro. Portanto, tendo este recurso natural usos múltiplos, deve-se preservar a qualidade adequada para o uso mais nobre a que se destina.

Os corpos d'água têm a capacidade de recuperar muitas de suas características e encontrar uma nova situação de equilíbrio por meio de um conjunto de processos naturais chamados "autodepuração". Porém, caso a carga poluidora lançada seja maior que a capacidade de recuperação do manancial, poderão ocorrer danos irreversíveis neste ecossistema (ARAÚJO; SANTAELLA, 2003).

Atualmente o Brasil encontra-se em um ritmo acelerado de crescimento, elevando a demanda por consumo de água. Ao mesmo tempo em que os empreendimentos necessitam de água em seus processos, despejam resíduos nos corpos d'água. A poluição causada por estes despejos pode alcançar os mananciais de forma pontual ou difusa, sendo esta última mais difícil de quantificar e controlar (MOTA, 2000). Para minimizar os danos que este modelo de desenvolvimento pode causar ao meio ambiente, é preciso implementar plenamente as políticas públicas ambientais.

A maioria dos estados brasileiros não tem a outorga para lançamento de efluentes implantada. Alguns já possuem regulamentação específica, mas

<sup>1</sup>- Agência Pernambucana de Águas e Clima – APAC

<sup>2</sup>- Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

<sup>3</sup>- Universidade de Pernambuco - UPE

<sup>4</sup>- Universidade Federal da Bahia - UFBA

<sup>5</sup>- Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Estado de Pernambuco

ainda não a praticam, outros estão realizando estudos para a definição dos critérios de análise.

Um dos impedimentos à implantação da outorga para lançamento de efluentes de forma plena na maioria dos estados do Nordeste é a intermitência de alguns rios do semiárido. A indisponibilidade periódica de água não permite a diluição ou mesmo o transporte do efluente, sendo este, muitas vezes, a única vazão do corpo receptor.

O objetivo deste artigo é apresentar uma proposta de metodologia para auxiliar os gestores de recursos hídricos na implantação da outorga para lançamento de efluentes, baseada em um modelo matemático adaptado à planilha eletrônica e alimentado com os dados secundários disponibilizados na web.

## ÁREA DE ESTUDO

A bacia do rio Capibaribe foi escolhida por se tratar de um rio que corta a capital do Estado, ser um dos patrimônios hídricos abastecendo 43 municípios (BIONE et al., 2009) e ter grande importância no desenvolvimento sócio-econômico do Estado de Pernambuco.

A bacia do rio Capibaribe apresenta uma área de cerca 7.500km<sup>2</sup> e está localizada na porção norte-oriental do Estado de Pernambuco (Figura 1). O rio nasce na divisa dos municípios de Jataúba e Poção, atravessa diversos centros urbanos, servindo de corpo receptor de resíduos industriais e domésticos e percorre uma extensão total de aproximadamente 280km até a foz, na cidade do Recife (PERNAMBUCO, 2002).



**Figura 1 – Mapa de localização da bacia do Capibaribe em PE**

Fonte: Pernambuco, 2002.

O rio Capibaribe apresenta regime fluvial intermitente no seu alto e médio cursos, tornando-se perene a partir da cidade de Limoeiro. Para

melhor detalhamento do Plano Diretor elaborado em 2002, a bacia foi dividida em quatro unidades de análise, conforme apresentado na figura 2.



**Figura 2 – Unidades de Análise - Bacia do Rio Capibaribe (Adaptado de PERNAMBUCO, 2002)**

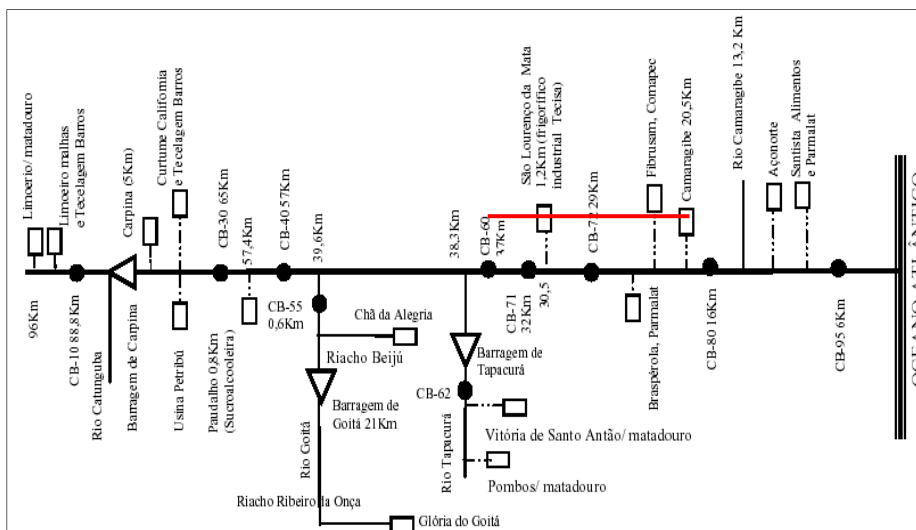
Os relatórios de monitoramento da Agência Pernambucana de Meio Ambiente – CPRH apresentam as localizações das estações de monitoramento da qualidade d'água operadas por este órgão. O trecho utilizado neste trabalho situa-se integralmente na UA-4 e tem uma extensão de aproximadamente 22km, iniciando-se na estação CB-60 seguindo para jusante até a estação CB-80, conforme indicado na figura 3. Além destas, neste trecho encontram-se ainda outras duas estações de qualidade d'água operadas pela CPRH (CB-71 e CB-72) e duas operadas pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM, sendo que as últimas possuem ainda dados de cota e vazão, e uma delas de perfil transversal. A área de drenagem do trecho escolhido é de aproximadamente 100km<sup>2</sup>.

## METODOLOGIA

### A escolha do modelo

Neste trabalho, optou-se pela utilização do modelo de qualidade da água de rios QUAL-UFGM (VON SPERLING, 2007), que por sua vez é uma adaptação em planilha eletrônica de um dos modelos mais utilizados no mundo, o QUAL-2E, desenvolvido pela *US Environmental Protection Agency* (USEPA) dos Estados Unidos.

Por todas as facilidades inerentes a este modelo (interface, idioma, etc), o mesmo foi utilizado por Rodrigues, Oliveira e Gomes (2009) para apresentar o diagnóstico atual e futuro do rio Anhanduí em Campo Grande, MS, tendo sido anteriormente utilizado no gerenciamento dos recursos hídricos do Distrito Federal.



**Figura 3 – Diagrama unifilar – Rio Capibaribe – com destaque para o trecho estudado**

Fonte: CPRH, 2009

Este modelo se baseia no tradicional modelo Streeter-Phelps, na equação da mistura e na equação de diluição proposta por Kelman (1997). Ele permite a modelagem de cinco constituintes ao longo do rio, dos quais este trabalho enfocou apenas dois: demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e oxigênio dissolvido (OD).

Esta opção levou em consideração o modelo de análise proposto pela ANA, a falta de dados de monitoramento dos outros parâmetros com o grau de detalhes que o modelo requer e as informações escassas em relação aos parâmetros dos efluentes.

O modelo QUAL-UFGM, possui algumas simplificações, a saber:

- Não são incluídas as algas nem suas inter-relações com os demais constituintes, visto que estes processos são mais importantes na simulação de ambientes lênticos;
- Não é considerada a dispersão longitudinal por se tratar de simulações que envolvem rios;
- É feita integração pelo método de Euler, que é a forma mais simples e de fácil compreensão pelo usuário da planilha.

As duas primeiras simplificações devem-se ao fato deste modelo ser voltado para a modelagem de rios e todas elas são intrínsecas do modelo.

Uma simplificação feita neste trabalho foi a não consideração da demanda por oxigênio gerada pelo fenômeno da fotossíntese.

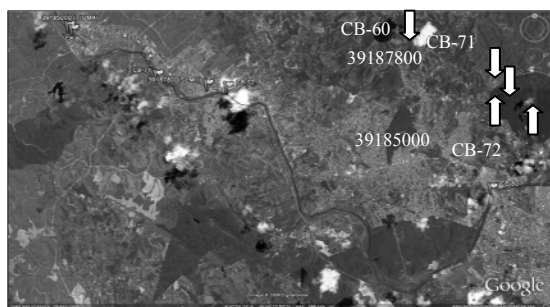
Von Sperling (2007) faz uma análise da não consideração dos fenômenos da fotossíntese e respiração na modelagem do oxigênio dissolvido e afirma que a fotossíntese e a respiração, quando consideradas juntas tendem a se cancelar.

#### Definição dos pontos de calibração

Tem-se, ao longo do trecho em estudo, 05 (cinco) postos de controle, que são as estações da CPRH e as da CPRM, com as seguintes características (Figura 4):

- CB-60: Localizada a montante da Usina Tiúma, no município de São Lourenço da Mata, apenas com dados de qualidade, operada pela CPRH;
- CB-71: Na captação da Compesa (Companhia Pernambucana de Saneamento) – Castelo, no município de São Lourenço da Mata, apenas com dados de qualidade, operada pela CPRH;
- CB-72: A jusante da cidade de São Lourenço da Mata, no local da antiga barragem, no município de São Lourenço da Mata, apenas com dados de qualidade, operada pela CPRH;

- CB-80: Na ponte da Av. Caxangá, na cidade de Recife, apenas com dados de qualidade, operada pela CPRH;
- 39185000 (TIUMA): A montante da CB-60, ou seja, um pouco antes do início do trecho em estudo, no município de São Lourenço da Mata, operada pela CPRM, com dados de cota, vazão e qualidade;
- 39187800 (SÃO LOURENÇO DA MATA II): a montante da CB-72, no município de São Lourenço da Mata, operada pela CPRM, com dados de cota, vazão, qualidade e perfil transversal.



**Figura 4 – Imagem de satélite: Locação dos postos de controle**

Fonte: Google Earth.

Para a modelagem, utilizou-se um  $\Delta s$  de 0,1km, totalizando 218 parcelas. Os pontos de calibração são as estações (ou postos) que se localizam nos pontos 0,0km, 3,8km, 6,4km e 21,8km. Sendo assim, o trecho 01 inicia-se na estação CB60 indo até a CB71, o trecho 02 vai da CB71 à CB72 e, finalmente, o trecho 03 vai da CB72 até a CB80.

#### **Alimentação do modelo**

Para identificação dos usuários que já lançam efluentes no rio Capibaribe fez-se inicialmente uma tentativa de levantamento de dados secundários partindo do banco de dados da CPRH. A grande dificuldade encontrada foi a impossibilidade do cruzamento de informações, por exemplo, de município com bacia hidrográfica. Sendo assim, só foi possível levantar as empresas instaladas (e licenciadas) em cada município, sem a garantia de que estes usuários estejam de fato na área de estudo, visto que também não estão cadastradas as coordenadas geográficas para localização do empreendimento.

Diante disto, foram utilizadas imagens de satélite para verificar, dentro da área de estudo,

onde, possivelmente, se localizam usinas, centros urbanos, áreas de cana-de-açúcar, etc. A partir destas imagens, realizou-se trabalho de campo para levantar os possíveis usuários detectados às margens do Capibaribe.

Foram obtidas coordenadas e fotos das empresas e realizada entrevista com funcionários. Consideraram-se relevantes empreendimentos como fábrica de ração, lava jato, indústria alimentícia, postos de gasolina. Em todos os locais visitados obteve-se a informação de que não havia geração de efluentes ou que existia fossa séptica e sumidouro para destinação dos esgotos.

Quanto aos usuários que captam água neste manancial, no banco de dados da gerência de outorga e cobrança da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), as únicas captações relevantes são as da COMPESA – Tiúma e Castelo.

Atualmente, em Pernambuco, o lançamento de efluentes é controlado apenas pela licença ambiental, de uma forma pontual, sem que haja uma análise da capacidade de depuração do manancial. Encontra-se em fase de regulamentação a outorga para lançamento de efluentes.

#### **Demandas hídricas**

O prévio conhecimento da disponibilidade hídrica e a avaliação da possível demanda são essenciais para a realização do gerenciamento dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica.

A demanda para usos não consuntivos ao longo desta bacia é pouco expressiva, o que levou a estudar apenas a demanda para usos consuntivos. Embora o foco deste trabalho seja a outorga para lançamento de efluentes, é de suma importância o conhecimento da demanda para captação, visto que uma alteração na qualidade da água pode comprometer sua disponibilidade para outros fins.

As demandas para lançamento de efluentes foram classificadas como concentradas e difusas, divididas em saneamento público (centros urbanos), efluentes industriais e agrícolas, oriundos de fertirrigação.

Foram delimitadas as áreas visivelmente ocupadas por cana-de-açúcar e as áreas urbanas, que geram as demandas para lançamento de efluentes consideradas, visto que, como já foi comentado, não foram obtidos dados de lançamentos industriais na área.

Em relação à contribuição dos centros urbanos, para o cálculo da densidade populacional foram utilizados os dados de área constantes no Plano Diretor da Bacia do Rio Capibaribe (2002) e os dados de população do IBGE (2007). De acordo

com Von Sperling (1996) o consumo de água per capita de uma cidade média (50.000 a 250.000 habitantes) situa-se entre 120 e 220L/hab/dia. Neste caso adotou-se o valor médio. Utilizou-se o coeficiente de retorno igual a 0,8 e a concentração da DBO dos esgotos domésticos igual a 350mg/L (VON SPERLING, 1996).

De acordo com Barros (2008), em média são utilizados entre 250,3 e 273,8m<sup>3</sup> de vinhaça por hectare de cana plantado. E segundo Lyra, Rolim e Silva (2003), em estudo realizado na Usina Salgado na bacia hidrográfica do Rio Ipojuca, são utilizados 300m<sup>3</sup> de vinhaça por hectare por ano na fertirrigação. Com base nestes estudos, adotou-se inicialmente a média dos valores citados por Barros (2008).

**Tabela 1 - Resumo dos valores usados no cálculo das entradas**

População		Cana	
Consumo per capita (L/hab/dia)	180	Vazão Vinhaça (m <sup>3</sup> /ha/ano)	273,80
Coef retorno	0,8	Concentração DBO (mg/L)	35.000
Concentração DBO (mg/L)	350	Carreado	0,1
Camaragibe		São Lourenço	
Área (km <sup>2</sup> )	51,79	Área (km <sup>2</sup> )	26,44
População (hab)	136.381	População (hab)	95.304
Densidade (hab/km <sup>2</sup> )	2.633,35	Densidade (hab/km <sup>2</sup> )	3.604,54
Recife		Matadouro	
Área (km <sup>2</sup> )	218,70	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	0,0056
População (hab)	1.533.580	Concentração DBO (mg/L)	2000
Densidade (hab/km <sup>2</sup> )	7.012,25		

O Relatório Técnico III do PNMA II (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2003) apresenta uma memória de cálculo detalhando como a fertirrigação é considerada na análise da qualidade da água do rio Ipojuca. Seguindo este modelo, considerou-se que apenas 10% do volume utilizado na irrigação atingirá o manancial através de escoamento superficial. Admitiu-se ainda que não há contaminação do lençol freático por matéria orgânica, de acordo com estudo realizado por Ridesa (1994) apud Lyra, Rolim e Silva (2003) que

concluiu que o solo remove quase que totalmente a DBO deste efluente, mesmo em solos com alta capacidade de infiltração.

Ainda de acordo com Barros (2008), em seu levantamento bibliográfico, considerou-se que a DBO da vinhaça atinge valores entre 20.000 e 35.000mg/L. Esta concentração observada na Usina Salgado (LYRA; ROLIM; SILVA, 2003) foi de 21.500mg/L. Neste caso adotou-se inicialmente a média dos valores citados por Barros (2008) para ser utilizada na modelagem.

Os valores utilizados estão apresentados na tabela 1.

#### Dados de qualidade e fluvimetria

Os dados de qualidade foram obtidos dos relatórios de monitoramento da CPRH, considerando as quatro estações inseridas na área de estudo. Estas possuem informações a partir de 2001, com exceção da estação CB-71, a qual só apresenta dados a partir de 2006.

Diversos parâmetros são monitorados pela CPRH com coletas realizadas a cada dois meses, iniciando-se, anualmente, no mês de fevereiro.

No trecho em estudo existem apenas duas estações fluviométricas localizadas no início (Tiúma) e na metade do percurso do rio (SLMII). Ambas são operadas pela CPRM, sendo que Tiúma só apresenta dados consistidos no período de 1973 a 1982, enquanto que a estação SLMII possui dados mais recentes (1990 a 2006). Visto que serão estudados apenas 22km de rio, aproximadamente, optou-se por utilizar exclusivamente os dados de vazão da estação SLMII. A observação da hidrografia da área permite concluir que não existem tributários com contribuições significativas neste trecho.

#### **Análise de Sensibilidade**

A análise de sensibilidade permite determinar qual parâmetro tem maior influência na resposta de certa variável. Diversos estudos (KNAPIK; FERNANDES; PORTO, 2008; OPPA, 2007; RODRIGUES; OLIVEIRA; GOMES, 2009) demonstraram que a análise de sensibilidade aponta o coeficiente K2 como o elemento com maior influência no balanço do OD.

Neste trabalho esta análise foi realizada de maneira informal (VON SPERLING, 2007), ou seja, o modelo foi rodado com diferentes valores dos coeficientes e a partir dos gráficos gerados foi possível comprovar, durante a calibração, a sensibilidade dos resultados a pequenas variações no coeficiente K2.

### Calibração

A calibração do modelo foi realizada manualmente, variando-se os valores dos coeficientes até a obtenção das menores diferenças entre os valores das variáveis simuladas e as observadas, comprovadas através da visualização dos gráficos de saída. Os dados de vazão disponíveis representam o período chuvoso, portanto, a calibração foi feita para este período.

Inicialmente foi realizado um ajuste da vazão adotada, visto que a análise mais detalhada da série de vazões disponível demonstrou que para valores com garantia de permanência alta as características físicas do rio apresentavam distorções. Por este motivo adotou-se uma vazão próxima da média ( $14,3\text{m}^3/\text{s}$ ) da estação São Lourenço da Mata II como vazão de entrada.

Em seguida, os coeficientes de remoção de DBO (desoxigenação) e de reaeração foram introduzidos manualmente para cada trecho do rio de acordo com o ajuste do gráfico dos dados simulados aos dados medidos em campo.

Os coeficientes de desoxigenação utilizados e o coeficiente de demanda do sedimento seguiram os valores apresentados por Von Sperling (2007).

O coeficiente de reaeração ( $K_2$ ), pode ser estimado por três métodos: valores médios tabelados, valores em função das características hidráulicas do corpo d'água e valores correlacionados com a vazão do curso d'água (VON SPERLING, 2007).

Neste estudo, os dados disponíveis, em sua maioria, foram obtidos nos meses chuvosos, e os poucos obtidos no período seco apresentam incoerências nas características físicas do rio. Este fato impediu a validação do modelo para o período seco.

### Análise dos pleitos de outorga

Neste estudo adotou-se a análise qualitativa dos lançamentos utilizando-se as equações da mistura e Streeter-Phelps (inseridas no modelo QUAL-UFMG) e respeitando a manutenção dos parâmetros simulados dentro dos limites estabelecidos pelas resoluções CONAMA 357/05 (CONAMA, 2005) e 430/11 (CONAMA, 2011) (que completa e altera a primeira).

Adotou-se o padrão de qualidade da água exigido para manancial de classe 2 (CONAMA 357), visto que o corpo hídrico em estudo não possui enquadramento, de acordo com a legislação vigente. Para atendimento desta resolução os níveis de OD

devem ser superiores a  $5\text{mg/L}$ , enquanto que a DBO não deve ultrapassar  $5\text{mg/L}$  (CONAMA, 2005).

Para utilizar esta metodologia para rios de outras classes, devem ser considerados os valores de referência correspondentes.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Análise dos dados de qualidade

Foram calculados valores médios das variáveis para os períodos do verão e do inverno. A determinação dos meses de inverno e verão foi feita baseada na pluviometria, ou seja, abril, junho e agosto foram considerados meses de inverno, enquanto que outubro, dezembro e fevereiro foram considerados meses de verão. A partir destas informações e da locação dos postos foram elaborados gráficos temporais para cada variável (Figuras 5 e 6), com a sobreposição das estações, além de um gráfico espacial de inverno (Figura 7) e outro de verão (Figura 8).

Os gráficos temporais (Figuras 5 e 6) apresentam os dados coletados durante todo o período considerado neste estudo e permitem observar os intervalos em que os parâmetros encontram-se dentro dos limites recomendados para a classe 2. É possível perceber que a estação CB-72 apresenta os menores valores de OD e os maiores picos nos valores de DBO, provavelmente devido aos efluentes lançados, a montante desta estação, por um matadouro.

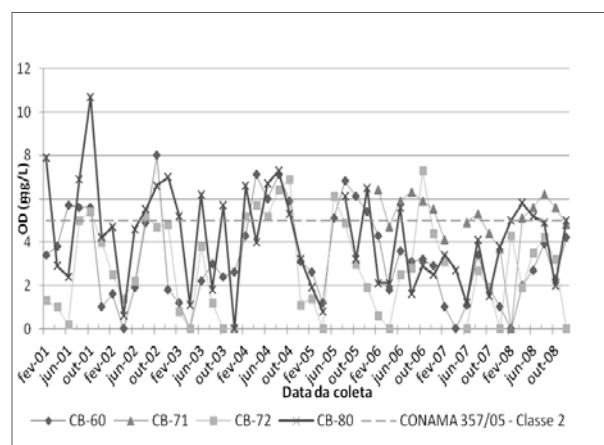


Figura 5 – Série temporal histórica de OD

Em relação aos gráficos com as médias de inverno e verão (Figuras 7 e 8), estes dados foram utilizados na comparação com os valores gerados pelo modelo matemático de qualidade. Observa-se que, mesmo em termos de médias, CB-72 apresenta sempre os piores níveis dos parâmetros em estudo. Seguindo a tendência natural, pode-se notar que as médias de OD no verão são inferiores às de inverno devido ao aumento da temperatura que tem influência direta sobre este parâmetro, além da menor disponibilidade de água.

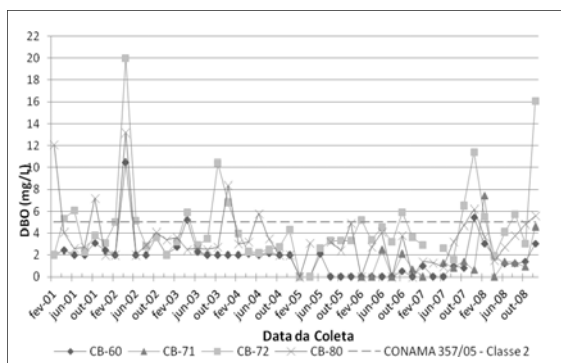


Figura 6 - Série temporal histórica de DBO

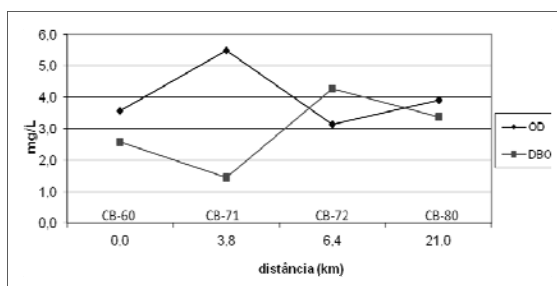


Figura 7 – Comportamento de OD e DBO ao longo do rio  
– média inverno

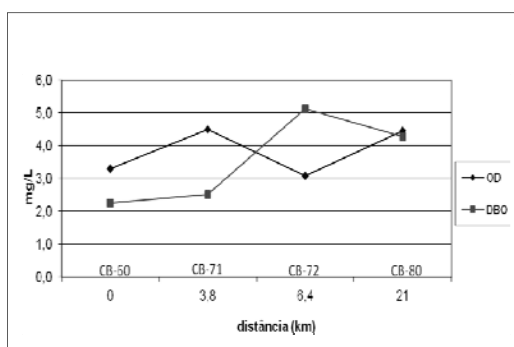


Figura 8 – Comportamento de OD e DBO ao longo do rio  
– média verão

## Resultados da Calibração

### Parâmetros de remoção de DBO ( $K_1$ , $K_d$ e $K_s$ )

Os valores de  $K_1$ ,  $K_d$  e  $K_s$  variaram de acordo com o melhor ajuste gráfico das variáveis analisadas (OD e DBO). A tabela 2 apresenta os valores utilizados em cada trecho.

Tabela 2 – Calibração dos parâmetros de remoção de DBO

Parâmetro Trecho	$K_1$ (d-1)	$K_d$ (d-1)	$K_s$ (d-1)
01	0,45	0,50	0,20
02	0,45	0,50	0,20
03	0,35	0,35	0,05

### Parâmetro de reaeração ( $K_2$ )

O valor de  $K_2$  também variou de acordo com o melhor ajuste gráfico das variáveis analisadas (OD e DBO), sendo as maiores alterações observadas no gráfico de OD. A tabela 3 apresenta os valores utilizados em cada trecho.

A grande variação deste parâmetro deve-se às diferenças de regime que o rio apresenta em seu curso. No primeiro trecho a velocidade de escoamento é a mais elevada, tendo o segundo trecho elevada concentração de plantas aquáticas e baixa velocidade.

Tabela 3 – Calibração do parâmetro de reaeração ( $K_2$ )

Trecho	$K_2$ (d-1)
01	1,50
02	0,07
03	0,15

### Coeficiente de demanda de oxigênio pelo sedimento ( $S_d'$ )

O valor de  $S_d'$  adotado foi constante, igual a 1,0g/m<sup>2</sup>.d, e utilizado apenas no segundo trecho, onde havia um consumo de oxigênio não justificado pelas demandas lançadas.

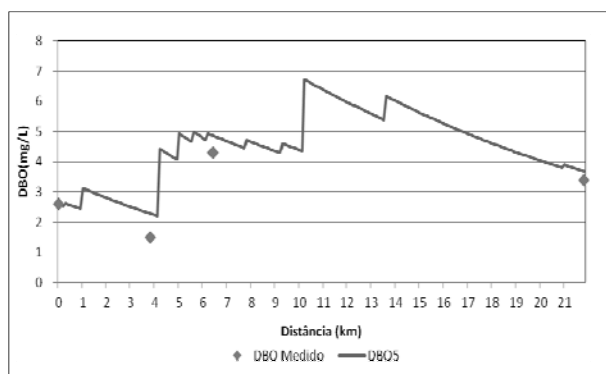
### Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A figura 9 apresenta a calibração da demanda bioquímica de oxigênio para o trecho em estudo, com a evolução da DBO ao longo de todo o trecho e seu comportamento após os lançamentos de efluentes. Os pontos equivalem aos dados observados nas estações de controle e a curva

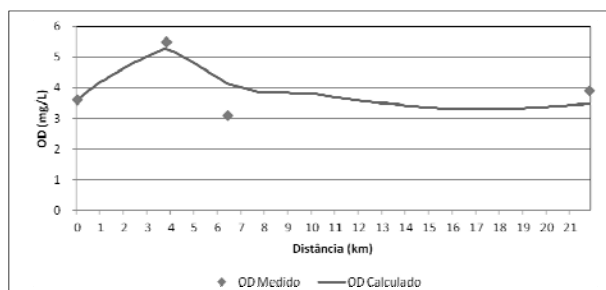
corresponde aos dados simulados, sendo o primeiro ponto a CB-60 (condição de contorno). Comparando a curva com os pontos pode-se observar um comportamento dos dados simulados semelhante aos reais, sendo que a máxima divergência ocorre na estação CB-71. Considerando que os coeficientes foram ajustados neste trecho para uma depuração máxima do rio, fica clara a necessidade de dados mais precisos das demandas existentes.

#### Oxigênio dissolvido (OD)

A figura 10 apresenta a calibração do oxigênio dissolvido para o trecho em estudo. A primeira mostra a evolução do OD ao longo de todo o trecho e seu comportamento após os lançamentos de efluentes, tendo sido o modelo calibrado para o período chuvoso. Novamente, os pontos correspondem aos dados das estações. Neste caso, com uma diferença máxima de aproximadamente 1mg/L na estação CB-72.



**Figura 9 – Comportamento da demanda bioquímica de oxigênio ao longo do trecho**



**Figura 10 – Comportamento do oxigênio dissolvido ao longo do trecho**

#### **Disponibilidade para emissão de outorga**

A área de estudo foi avaliada trecho a trecho, observando-se a qualidade da água e a possibilidade de emissão de outorgas no cenário atual. Deve-se lembrar que a bacia hidrográfica deve ser gerenciada como um todo. Neste estudo, as demandas a montante do trecho estão representadas pela qualidade observada na estação CB-60, utilizada como condição de fronteira a montante da bacia hidrográfica estudada. A análise aqui realizada tem como finalidade manter a qualidade necessária para a manutenção o rio na classe 2 da classificação do CONAMA, o que assegura aos usuários a jusante do trecho a qualidade necessária ao uso pretendido, desde que mantidos dentro dos padrões estabelecidos para a classe.

De modo geral, considerando o início do trecho em estudo como ponto de partida, a partir do km 10, aproximadamente, os níveis de DBO no rio ultrapassam o limite estabelecido pela resolução CONAMA 357/05 (CONAMA, 2005), só se recuperando por volta do km 17 (Figura 9). Isto significa que ao longo de 7km do rio (um terço do trecho em estudo), na condição atual, para possibilitar a regularização dos empreendimentos já instalados, que lançam efluentes neste manancial, seria necessário o estabelecimento de metas de redução da carga lançada até que se atinja a classe pretendida para este rio.

Considerando o oxigênio dissolvido, apenas ao longo de 1,6km do trecho em estudo este parâmetro encontra-se acima de 5mg/L (Figura 10), como estabelece o CONAMA para rios de classe 2.

Na análise de um pleito de outorga para lançamento de efluentes devem ser observadas as condições do corpo receptor no ponto da mistura, respeitando-se os padrões estabelecidos para a classe de enquadramento, assim como os padrões de lançamento do efluente. É preciso que as duas condições estejam em conformidade com as resoluções CONAMA 357/05 (CONAMA, 2005) e 430/11 (CONAMA, 2011) para que algum novo lançamento seja autorizado.

O aumento da concentração de DBO ou a redução do OD no curso d'água pode acontecer a partir de várias combinações vazão x carga. Só é possível determinar se um empreendimento poderá se instalar em qualquer ponto da bacia, que ainda não esteja com a qualidade totalmente comprometida, mediante o conhecimento das características do efluente e da vazão a ser lançada.



Considerando que a implantação da outorga deve trazer um maior disciplinamento do uso dos recursos hídricos, regularizando os usuários já instalados, e a necessidade da implantação de novos empreendimentos no Estado, mais especificamente nesta bacia, uma alternativa para equacionar este problema é a imposição de metas progressivas no ato da emissão da outorga, seguindo a Resolução CNRH 91/2008 bem como a Resolução CONAMA 357/2005 (CONAMA, 2005). Esta alternativa vem sendo estudada no estado de Minas Gerais e já está sendo aplicada em outros Estados brasileiros com Espírito Santo e Bahia.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O rio Capibaribe tem importância estratégica tratando-se de abastecimento público da região metropolitana do Recife. No entanto, este estudo evidenciou o alto nível de degradação em que o rio se encontra e permitiu a identificação dos trechos onde ainda há a possibilidade de emissão de outorgas para lançamento de efluentes para novos empreendimentos bem como trechos em que a ação antrópica já comprometeu profundamente a sua qualidade.

A grande dificuldade para a alimentação do modelo foi a falta de consistência dos dados, com exceção do monitoramento de qualidade que, embora a série histórica seja relativamente curta, apresenta dados estatisticamente consistentes. No entanto, uma ampliação da rede de monitoramento pode melhorar profundamente os resultados da modelagem.

Em relação às características do rio (largura, profundidade, vazão, etc.), as únicas estações existentes na área de estudo apresentam informações incoerentes e com coletas muito espaçadas, o que dificultou bastante a escolha da vazão a ser utilizada na calibração e não permitiu a validação do modelo com vazões abaixo da média.

Como consequência, não foi possível aplicar a metodologia escolhida para uma vazão de referência admissível em termos práticos. A deficiência dos dados induziu à utilização de uma vazão com baixa permanência (50%), o que, na prática, dificulta a implementação da outorga de direito de uso da água para usuários que necessitam de uma maior garantia.

Ainda assim, o modelo QUAL-UFGM foi calibrado de forma satisfatória para o período chuvoso, o que demonstra a possibilidade da utilização de dados secundários na estimativa do comportamento do rio do ponto de vista de

qualidade, entretanto, uma ampliação da rede de estações fluviométricas permitiria um maior refinamento dos resultados, uma melhoria da calibração e a validação do modelo.

A não existência de um cadastro de usuários de água atualizado impediu que fossem lançadas as demandas reais existentes no trecho. E a impossibilidade de um cruzamento de informações no banco de dados do órgão licenciador, além da falta das coordenadas dos empreendimentos, não permitiu o conhecimento de todos os lançamentos existentes na região. É importante ressaltar que já existe uma orientação para que os técnicos obtenham esta informação durante as vistorias, o que indica que um próximo trabalho, provavelmente, poderá contar com este dado.

Todos estes fatores indicam a possibilidade da modelagem não corresponder à realidade e levantam a questão da criação de um banco de dados único para os órgãos que emitem outorga e licenciamento de forma a otimizar a informação.

Outro ponto evidenciado é a necessidade de uma melhoria na rede de monitoramento tanto de qualidade, incluindo novas estações não tão próximas das fontes poluidoras, quanto de quantidade, que apresenta atualmente apenas duas estações ao longo dos 21km estudados.

Para a utilização de um modelo matemático de qualidade da água como ferramenta de suporte a decisão é imprescindível a existência de dados consistidos para a sua alimentação. Neste trabalho foram necessárias diversas simplificações. Ao ser criada uma rede de monitoramento adequada, os novos dados devem ser incorporados ao modelo, que fornecerá, então, respostas mais precisas.

Este estudo procurou contribuir com a gestão dos recursos hídricos no Estado, iniciando um debate sobre a utilização da modelagem matemática para apoiar o instrumento outorga, mais especificamente para lançamento de efluentes, avaliando os parâmetros OD e DBO, de forma simplificada.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FACEPE pelo financiamento de bolsa de mestrado, à CPRH pela disponibilização dos dados, e ao CT-HIDRO/FINEP.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J. C.; SANTAELLA, S. T. Gestão da Qualidade. In: CAMPOS, N.; STUDART, T. *Gestão*

*das águas: princípios e práticas*. Porto Alegre: ABRH, 2003. p. 159-180.

BARROS, A. M. D. L. *Modelagem da poluição pontual e difusa: aplicação do modelo Moneris à bacia hidrográfica do rio Ipojuca*, Pernambuco. 2008. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

BIONE, M. A. A.; DANTAS, R. M. de L.; TAVARES, R. G.; SOARES, T. M.; SILVA, D. J. R.; SILVA, E. F. de F. A questão do esgoto doméstico na Bacia do Rio Capibaribe. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 2009, Campo Grande. *Anais...* Campo Grande: [s.n.], 2009.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. CONAMA. *Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005*. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. [S.l.]: CONAMA, 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 10 set. 2008.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. CONAMA. *Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011*. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. [S.l.]: CONAMA, 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 16 jul. 2013.

CPRH. AGENCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. *Relatório de monitoramento de bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco – 2007*. Recife: [s.n.], 2009. 97 p.

GOOGLE EARTH. Disponível em: <<https://maps.google.com.br/maps?hl=pt-BR&ll=-8.021207,-35.026151&spn=0.103349,0.187025&t=e&z=14&ecp=8.02453237,-35.02615148,17681.12,0.001,1.203,0>>. Acesso em: 02 out. 2013.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Contagem da População 2007*. População recenseada e estimada, segundo os municípios – Pernambuco. [S.l.]: IBGE, 2007. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/contagem\\_final/tabela1\\_1\\_13.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/contagem_final/tabela1_1_13.pdf)>. Acesso em: 5 dez. 2009.

KELMAN, J. Gerenciamento de Recursos Hídricos Parte I: Outorga. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12., 1997, Vitória. *Anais...* Vitória, ES: [s.n.], 1997.

KNAPIK, H. G.; FERNANDES, C. V. S.; PORTO, M. F. D. A. Estudo da qualidade da água na bacia do Alto Iguaçu: monitoramento, modelagem e calibração. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL-SUDESTE, 2., 2008, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: [s.n.], 2008.

LYRA, M. R. C. C.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. A. A. D. Topossequência de solos fertirrigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas do lençol freático. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 7, n. 3, p. 525-532, 2003.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Programa Nacional do Meio Ambiente II – PNMA II, Componente Desenvolvimento Institucional, Subcomponente Monitoramento de Qualidade da Água, Subprojeto Pernambucano. Monitoramento da Qualidade da Água como Instrumento de Controle Ambiental e Gestão de Recursos Hídricos no Estado de Pernambuco. Recife: MMA, 2003. 87 p. (Relatório Técnico III – Levantamento/Consolidação de Dados e Treinamento Contínuo).

MOTA, S. *Introdução à Engenharia Ambiental*. 2. ed. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2000. 416 p.

OPPA, L. F. *Utilização de modelo matemático de qualidade da água para análise de alternativas de enquadramento do rio Vacacaí Mirim*. 2007. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

PERNAMBUCO. Sub-programa de desenvolvimento sustentável de recursos hídricos para o semi-árido brasileiro - PROÁGUA. *Elaboração do plano diretor de recursos hídricos da bacia do rio Capibaribe*. Diagnóstico e estudos básicos. Fortaleza: Secretaria de Recursos Hídricos, 2002. p. 131.

RODRIGUES, D. B. B.; OLIVEIRA, P. T. S. D.; GOMES, A. O. Análise da qualidade da água de rio Anhanduí - MS utilizando o modelo QUAL-UFMG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 2009, Campo Grande. *Anais...* Campo Grande: [s.n.], 2009.

VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. v. I, 243 p.

VON SPERLING, M. *Estudos e modelagem da qualidade da água de rios*. 1. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. 588 p.

***Licensing of Effluent Discharges – A Methodology To Support Water Resources Management***

**ABSTRACT**

*The growing global water supply crisis highlights the need to implement tools that guide policy makers in controlling effluent discharges into surface water bodies, considering that the consequent poor water quality makes it unavailable for certain uses. This study proposes a methodology to aid water managers regarding licensing effluent discharge into water bodies, using a mathematical water quality model and proposing criteria to be adopted in analyzing the licensing process. The study area used to apply the water quality model and the simulation scenarios was a stretch of about 22km along the Capibaribe river between the cities of São Lourenço da Mata and Recife, Pernambuco-Brazil. The mathematical model was the QUAL-UFMG. The analyzed parameters were BOD and DO. The results showed that less than 10% of the stretch under study presents these parameters within the limits established by law for its water quality class considering preferred uses. Furthermore, it was possible to identify the critical points where it may be necessary for installed industrial plants to adapt, and points where the river still retains some depuration ability. The simulated scenarios showed that the implementation of progressive goal-setting may classify the effluent according to standards established for the river water quality class.*

**Keywords:** Water resources management. Effluent discharge. Water quality model.