

## IV-253 – CALIBRAÇÃO DO SISTEMA GEORREFERENCIADO DE APOIO À DECISÃO PARA A BACIA DO RIO MUNDAÚ – AL/PE

**Fernando Antônio de Barros Nascimento<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Alagoas. Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento pela Universidade Federal de Alagoas.

**Carlos Ruberto Frago Junior<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Alagoas. Mestre e Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul em parceria com o grupo de Ecologia Aquática da Universidade de Wageningen (Holanda) e com o Instituto de Pesquisas Ambientais da Universidade de Arhus (Dinamarca). Professor do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas

**Luíza Rijo Valoura<sup>(3)</sup>**

Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Alagoas.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Niteroi, 28 - Jacintinho – Maceió - AL - CEP: 57042-045 - Brasil - Tel: (82) 98185-6416 - e-mail: fernandobarrosn@gmail.com

**Endereço<sup>(2)</sup>:** UFAL, Campus A.C. Simões, Av. Lourival Melo Motta, s/n – Cidade Universitária – Maceió - AL - CEP: 57072-900 - Brasil - Tel: (82) 3214-1605 - e-mail: ruberto@ctec.ufal.br

**Endereço<sup>(3)</sup>:** Rua Senador Rui Palmeira, 901 – Ponta Verde – Maceió - AL - CEP: 30310-760 - Brasil - Tel: (82) 225-9518 - e-mail: luizarijov@gmail.com

### RESUMO

Os problemas envolvendo a gestão dos recursos hídricos estão vindo à tona com maior intensidade a cada ano que passa. Isso justifica a grande importância de um bom manejo dos recursos hídricos para que se garanta o desenvolvimento sustentável, ou seja, que a água mantenha-se disponível em quantidade e qualidade, garantindo o seu uso para as futuras gerações. Nesse sentido, busca-se alternativas de ferramentas que auxiliem os gestores na tomada de decisão de forma ágil e precisa, as quais tenham capacidade de relacionar os atributos espaciais da rede de drenagem com a localização dos diferentes usuários de água em uma bacia hidrográfica. Logo identifica-se um alto potencial de uso de modelos hidrológicos integrados a um SIG (Sistema de Informação Geográfica) para analisar a disponibilidade quali-quantitativa de água em bacia hidrográfica. Tendo em vista esse contexto, este trabalho teve como objetivo calibrar um modelo quali-quantitativo para a Bacia do Rio Mundaú – AL/PE para o período de estiagem.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistema de Suporte a Decisão, Modelagem hidrológica, Calibração.

### INTRODUÇÃO

Brasil, diversas regiões vem apresentando conflitos relacionados à esses dois quesitos, principalmente devido à crescente demanda em variados usos.

Além do atendimento em quantidade, é importante também que o corpo hídrico se apresente com características qualitativas adequadas para atendimento de um determinado uso (e.g. abastecimento humano ou animal, irrigação).

A busca por soluções que facilitem a gestão dos recursos hídricos e garanta eficiência e eficácia a esse processo é uma constante nos últimos anos, o que pode ser comprovado pelos diversos modelos matemáticos aplicados à hidrologia que foram desenvolvidos. Daí, uma alternativa para agilizar o processo de análise de pedidos de outorga e auxiliar a gestão dos recursos hídricos é o desenvolvimento de um Sistema de Suporte à Decisão (SSD) (PESSOA, 2010).

Segundo PORTO, et al. (1997), os SSD são sistemas computacionais constituídos por bases de dados e modelos matemáticos, que, interagindo entre si, através de uma interface gráfica, têm por objetivo auxiliar indivíduos que tomam decisões na solução de problemas não estruturados (ou parcialmente estruturados).

Problemas não estruturados são aqueles para os quais não existem soluções através de algoritmos bem definidos e, por isso não são facilmente tratáveis por computador

Este trabalho prevê a calibração de um modelo quantitativo que foi utilizado para avaliação da segurança hídrica na bacia do Rio Mundaú, localizada entre os estados de Alagoas e Pernambuco, por meio da aplicação e operacionalização de um Sistema de Apoio ao Gerenciamento de Recursos Hídricos integrado a um SIG.

O modelo hidrológico utilizado nesse estudo é o denominado Modelo de Grandes Bacias (MGB), desenvolvido no Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) por Collischonn (2001). O MGB-IPH é um modelo hidrológico distribuído que foi desenvolvido para aplicações em bacias de diversos tamanhos, sobretudo para áreas superiores a 10.000 km<sup>2</sup> (grandes bacias). A versão de discretização em sub-bacias permite a aplicação do modelo em bacias de médio porte (entre 2.000 e 10.000 km<sup>2</sup>) dependendo da frequência do registro da chuva (horária ou diária) e do tempo de concentração da bacia.

Este modelo foi escolhido para o estudo por considerar a heterogeneidade espacial da bacia hidrográfica, característica que pode ser observada na bacia do rio Mundaú. O modelo permite uso de ferramentas de geoprocessamento, interface gráfica e suporte para calibração automática, além de ter código-fonte aberto, permitindo a modificação conforme necessidade do usuário.

O módulo de qualidade da água do SGAD é calibrado considerando o cenário atual de disponibilidade hídrica (regime permanente), produção de efluentes e de tratamento de esgoto no período de estiagem. Para a calibração do modelo são selecionadas as estações de monitoramento de qualidade de água existentes. Para isto são consideradas apenas as informações no período de estiagem, uma vez que o modelo simula a qualidade da água para uma condição de estiagem de referência e em condição de regime permanente.

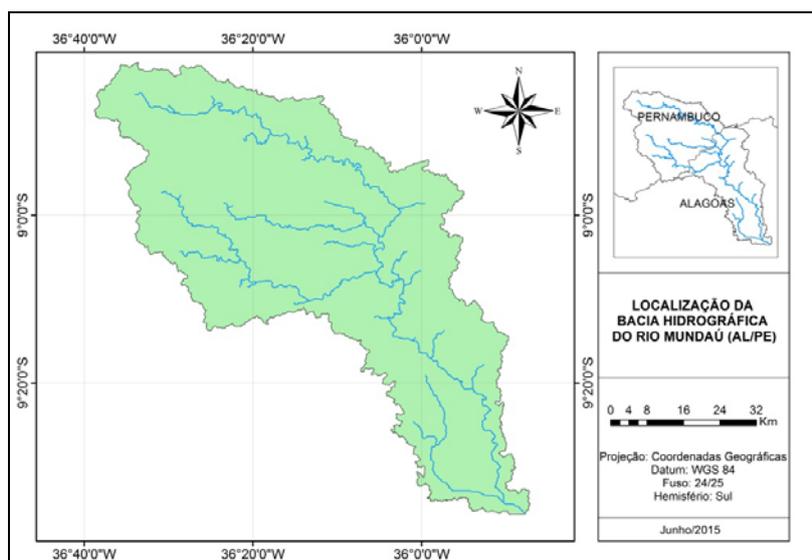
Os valores observados são apresentados como *boxplot* e posicionados no gráfico de acordo com a sua localização na rede de drenagem.

Os valores dos parâmetros do modelo (coeficientes K de decaimento, coeficiente de reaeração, etc) são predefinidos de acordo com a faixa de variação estabelecida na literatura; subsequentemente, os parâmetros do modelo são manualmente e gradualmente alterados até que se atinja a uma correspondência satisfatória entre a saída do modelo e os *boxplots*, que representam uma síntese dos dados observados em cada seção fluvial.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **ÁREA DE ESTUDO**

A bacia do rio Mundaú (Figura 1) possui uma área de 4.126 Km<sup>2</sup>, situada uma parte no Estado de Pernambuco, onde o rio nasce, e outra em Alagoas, onde desemboca na lagoa Mundaú.



**Figura 1 - Mapa de localização da Bacia do Rio Mundaú**  
(Fonte: ALVES et al, 2015)

## **PRÉ-PROCESSAMENTO DOS DADOS DE ENTRADA DO SISTEMA GEORREFERENCIADO DE APOIO À DECISÃO**

Nessa etapa, foi coletada a maioria dos dados que foram utilizados no processo de simulação e realizou-se a sua modelagem para que eles ficassem no padrão necessário para aplicação no sistema. Dentre esses dados, podem-se citar os dados envolvidos na caracterização do domínio, ou seja, a discretização da área de estudo, obtendo-se por meio de modelagem a caracterização das minibacias e das linhas de drenagem da bacia em estudo; a estimativa das demandas e cargas a serem utilizadas na análise de disponibilidade hídrica e análise de qualidade da água da bacia; as vazões mínimas de referência por trecho de linha de drenagem, obtida a partir de simulações efetuadas em modelo hidrológico; e dados de qualidade de água, obtidos por meio de campanhas de medição in loco.

### **ESTIMATIVA DAS DEMANDAS E CARGAS**

As demandas hídricas consideradas foram de abastecimento humano (urbano e rural), irrigação, pecuária e industrial. Para a estimativa dessas demandas foram utilizados alguns valores per capita de consumo obtidos na literatura (CREDER, 1999; PEREIRA, 1999; TELLES e DOMINGUES, 2006; SNIS, 2011), tanto para consumo humano quanto animal. Para estimativa das cargas, foram considerados os mesmos consumidores utilizados na estimativa da demanda.

### **ESTIMATIVA DAS CARGAS POLUIDORAS BRUTAS**

Com base em Von Sperling (2005), as cargas poluidoras brutas providas de saneamento básico (rural e urbano) foram estimadas utilizando os valores per capita teórico e a contagem por município e setor censitário. As estimativas das cargas poluidoras geradas pela população animal utilizaram como base a contagem da população animal (apresentada anteriormente) e a carga poluente por cabeça e por tipo de animal.

### **CÁLCULO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA**

As vazões de referência consideradas foram a Q90 e a Q95. Foi escolhido o modelo hidrológico Modelo de Grandes Bacias do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (MGB-IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) para estimar as vazões ao longo da bacia.

## CALIBRAÇÃO DO MODELO MGB-IPH PARA VAZÕES MÍNIMAS

A metodologia utilizada para o processo de calibração foi a calibração manual. Daí, por meio do método da tentativa e erro, foram realizadas diversas simulações até que se obtivesse um comportamento das vazões calculadas semelhante ao das vazões observadas.

A Tabela 1 apresenta os parâmetros calibráveis considerados no modelo. Além dos parâmetros calibráveis, o modelo considera os seguintes parâmetros fixos: albedo, índice de área foliar, altura do dossel e resistência superficial. Os valores iniciais utilizados como base para iniciar o processo de calibração foram sugeridos por Collischonn (2001).

**Tabela 1 - Parâmetros Calibráveis do MGB-IPH.**

Parâmetro	Descrição do que o parâmetro representa
<b>Wm</b>	Capacidade de armazenamento do solo.
<b>b</b>	Parâmetro de forma da relação entre armazenamento e saturação.
<b>K<sub>bas</sub></b>	Parâmetro que controla a vazão de estiagem.
<b>K<sub>int</sub></b>	Parâmetro que controla a quantidade de água da camada de solo que é escoada sub-superficialmente.
<b>XL</b>	Controla a forma da curva de redução da drenagem intermediária ou sub-superficial do solo.
<b>CAP</b>	Controla o fluxo do reservatório subterrâneo para a camada superficial do solo.
<b>Wc</b>	Parâmetro de armazenamento residual.
<b>C<sub>s</sub></b>	Parâmetro para calibração da propagação superficial nas células.
<b>C<sub>i</sub></b>	Parâmetro para calibração da propagação sub-superficial nas células.
<b>C<sub>B</sub></b>	Parâmetro de retardo do reservatório subterrâneo.

Como critério de avaliação e verificação do processo de calibração, foram utilizados dois métodos, a análise visual dos hidrogramas e curvas de permanência e a análise numérica, por meio de funções objetivo. Como funções objetivo, foram considerados o Coeficiente de Nash-Sutcliffe (Equação 1 e Equação 2) e o erro relativo da Q<sub>90</sub> (Equação 3) e da Q<sub>95</sub> (Equação 4).

$$NS = 1 - \frac{\sum(Q_{obs}(t) - Q_{cal}(t))^2}{\sum(Q_{obs}(t) - \overline{Q_{obs}(t)})^2} \quad \text{Equação 1)}$$

$$NS_{log} = 1 - \frac{\sum(\ln(Q_{obs}(t)) - \ln(Q_{cal}(t)))^2}{\sum(\ln(Q_{obs}(t)) - \ln(\overline{Q_{obs}(t)}))^2} \quad \text{Equação (2)}$$

$$E_{Q90} = 100 \cdot \left( \frac{Q_{90\_obs} - Q_{90\_cal}}{Q_{90\_obs}} \right) \quad \text{Equação 2)}$$

$$E_{Q95} = 100 \cdot \left( \frac{Q_{95\_obs} - Q_{95\_cal}}{Q_{95\_obs}} \right) \quad \text{Equação 3)}$$

Onde:

Q<sub>obs</sub> (t): Vazão média observada diária (m<sup>3</sup>/s);

Q<sub>cal</sub> (t): Vazão média calculada diária (m<sup>3</sup>/s);

Q<sub>90\_obs</sub>: Vazão observada com média de permanência em 90%;

Q<sub>90\_cal</sub>: Vazão calculada com média de permanência em 90%;

Q<sub>95\_obs</sub>: Vazão observada com média de permanência em 95%;

Q<sub>95\_cal</sub>: Vazão calculada com média de permanência em 95%.

## MONITORAMENTO DE VAZÕES E QUALIDADE DA ÁGUA

Visando o emprego da modelagem hidrológica e da calibração do módulo de qualidade da água do SGAD, foi realizada uma série de levantamentos de campo para medição das vazões e de qualidade da água ao longo do rio Mundaú e seus principais afluentes. Foram definidas 15 estações de monitoramento ao longo do rio Mundaú e em seus principais afluentes para monitoramento das vazões mínimas no período de estiagem (período de 5 meses, de novembro a março) e dos parâmetros físico-químicos de qualidade da água. As vazões foram monitoradas através de medidor acústico de vazão portátil (SONTEK Argonaut-ADV para trechos de rio de pequeno porte). A avaliação de qualidade foi realizada através da coleta de amostras de água em tréplica por estação para análise em laboratório de parâmetros físico-químicos e microbiológicos (pH, características organolépticas, alcalinidade de Hidróxidos em  $\text{CaCO}_3$ , alcalinidade de Carbonatos em  $\text{CaCO}_3$ , alcalinidade de Bicarbonatos em  $\text{CaCO}_3$ , Cloretos, Dureza Total, Dureza de não Carbonatos, Condutividade elétrica, Nitrato, Nitrito, Cloro residual, Cálcio, Magnésio, Sólidos totais dissolvidos,  $\text{CO}_2$ , Metais pesados, DBO, DQO, Óleos e Graxas, OD - Oxigênio Dissolvido, Sulfatos, Sílica, Ferro, Coliformes totais e termotolerantes).

## BALANÇO QUALITATIVO

Como dado de entrada para o balanço qualitativo foram consideradas as cargas poluentes por usos múltiplos, provenientes de esgotos domésticos urbanos lançados como fontes pontuais de poluição, com objetivo de avaliar a qualidade da água no período de estiagem.

No processo de simulação, não foram consideradas as cargas provenientes dos habitantes da zona rural ou as cargas provenientes de indústrias. Não se consideraram as cargas oriundas da zona rural devido ao fato de eles utilizarem em sua maioria o sistema fossa/sumidouro, com isso, assumiu-se que esse sistema seria efetivo para eliminar o tipo considerado de carga poluente. Quanto às cargas das indústrias, considerou-se que as cargas orgânicas, bacteriológicas e nutrientes industriais são baixas nos tipos de indústria da região, quando isso não ocorre, essas cargas estariam incorporadas às cargas urbanas via sistemas universais de coleta de esgotos.

A estimativa dos valores dos parâmetros de reação dos poluentes foi feita com base na literatura ou por meio de ajustes relacionados a dados de monitoramento. Os valores de decaimento para alguns dos poluentes foram estimados trecho a trecho, com auxílio de equações empíricas ou físicas, considerando as características físicas do local, tais como a velocidade da água, a profundidade e a largura do trecho. Essas variáveis dependem ainda da vazão, dessa forma, foram estimados valores diferentes para as mesmas de acordo com a vazão de referência.

O processo de calibração envolveu os valores dos parâmetros calculados pelo modelo e dados de medições da qualidade da água realizadas in loco. Conforme apresentado na metodologia, foram coletadas amostras para análise da qualidade da água em 15 pontos, distribuídos espacialmente ao longo da bacia. As coletas foram realizadas apenas no período de estiagem.

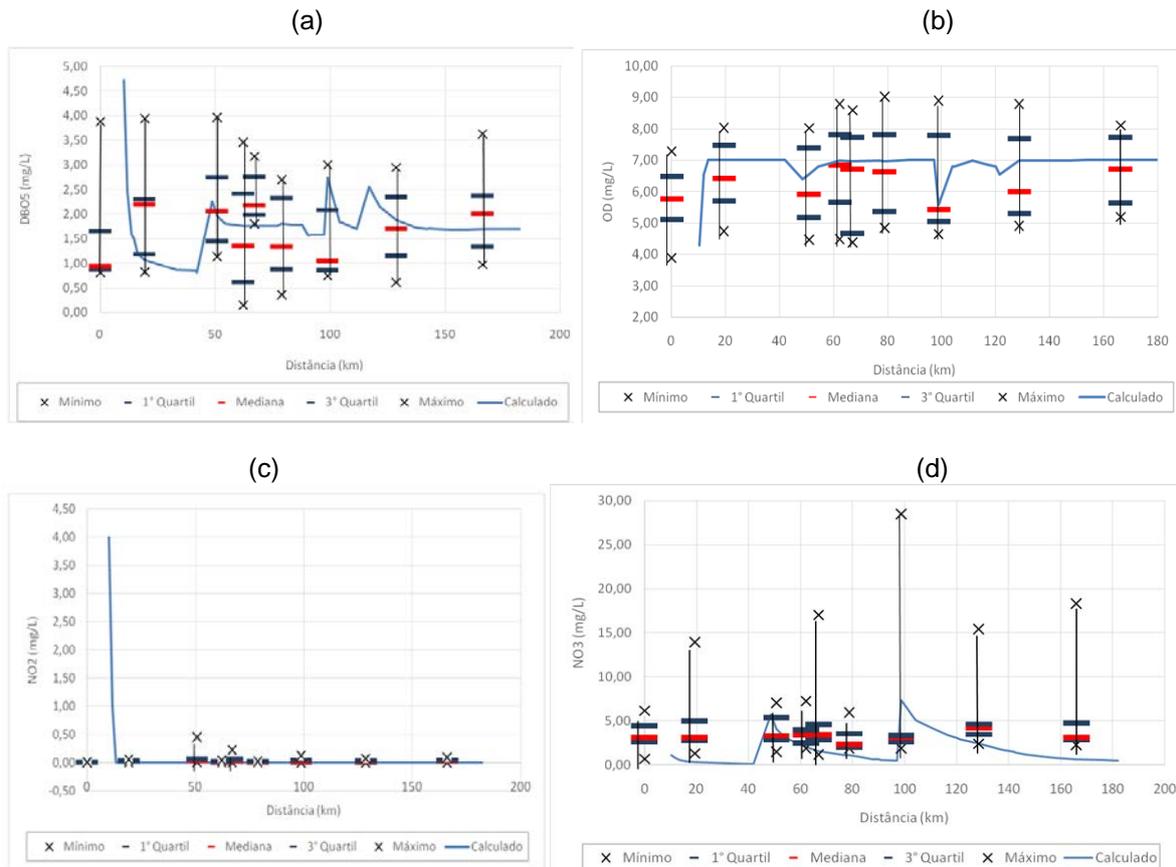
Os dados observados das medições foram analisados por ponto de coleta, apresentando-se boxplots dos mesmos os quais foram posicionados no gráfico com os valores dos parâmetros calculados pelo modelo, considerando a localização do ponto de coleta ao longo da rede de drenagem.

Após o processo de simulação dos parâmetros de qualidade, foi sendo verificado se os valores estimados pelo modelo estavam coerentes com os medidos em campo, por meio dos boxplots nos gráficos. Com isso, foi possível ajustar os parâmetros do modelo, de forma manual e gradual, até que eles estivessem compatíveis com a situação real observada na bacia.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### CALIBRAÇÃO DO MODELO

As concentrações dos poluentes calculados pelo modelo foram comparadas com os boxplots dos dados observados ao longo da calha do rio Mundaú (Figura 2). Os valores de monitoramento são indicativos, tendo sido usados na calibração, para que os valores simulados ficassem em torno da variabilidade das concentrações observadas.



**Figura 2 - Comparação entre as concentrações de DBO5 (a), OD (b), NO2 (c) e NO3 (d), em mg/L, estimadas pelo modelo e os dados observados no período de estiagem ao longo da calha do rio Mundaú. Os dados observados estão apresentados em boxplot.**

Julgou-se pelos resultados, e considerando as limitações das informações para a estimativa das cargas de poluentes e dos coeficientes do modelo, que o modelo retrata razoavelmente bem a realidade da bacia, podendo ser usado com a precisão demandada em um estudo como este. Ou seja, embora a calibração para alguns parâmetros não tenha sido excelente, o modelo permite ao gestor verificar quais regiões apresentam não conformidades para a concentração dos parâmetros, apresentando-se como uma ferramenta importante no processo de tomadas de decisão, como por exemplo a implementação de políticas públicas para determinada região.

### SIMULAÇÃO DO BALANÇO QUALITATIVO

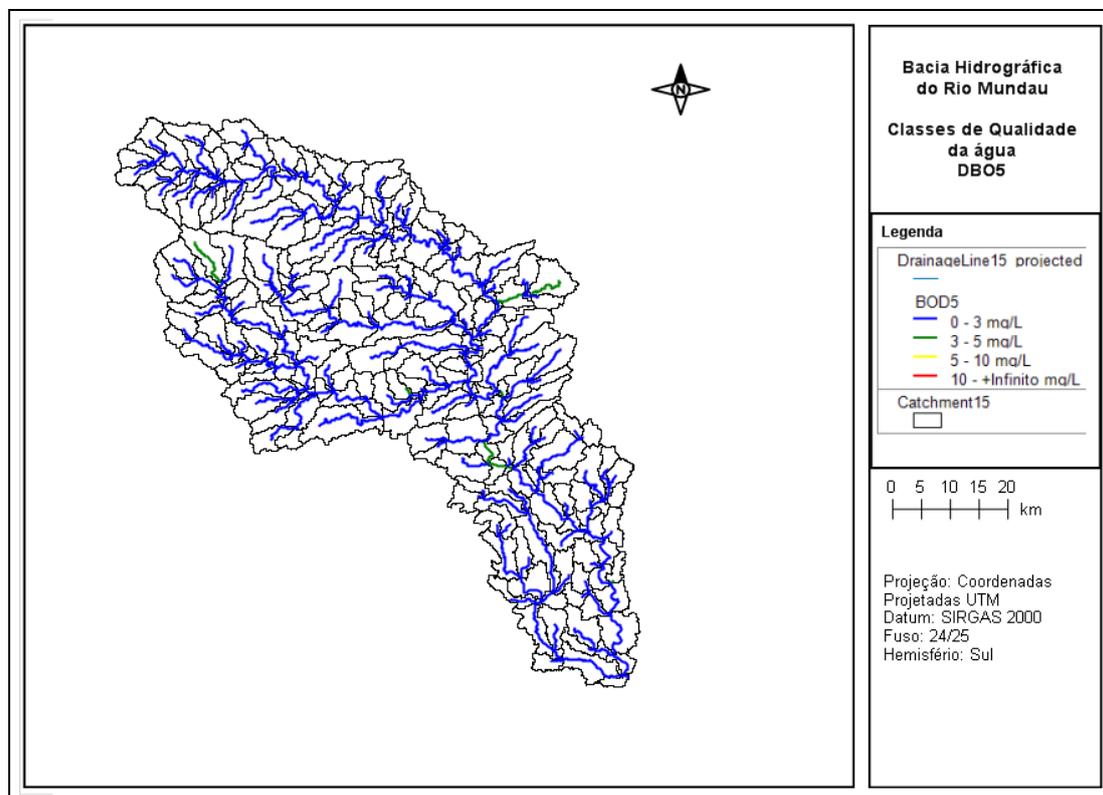
Foram realizadas simulações de qualidade da água com o modelo para período de estiagem na cena atual (Cenário 1), considerando as vazões de referência Q95 e Q90. Apesar do modelo simular 11 (onze) variáveis de qualidade da água, avaliou-se a classe resultante para sete variáveis (DBO5, OD, NH3, NO2, NO3, Fósforo Total e Coliformes Termotolerantes) ao longo dos cursos d'água uma vez que estas variáveis possuem classificação definida na Resolução CONAMA N° 357.

Da Figura 3 a 13 são apresentados os resultados da classificação das sete variáveis de qualidade da água para a condição atual, considerando as vazões de referência Q95 e Q90, para os diversos trechos da linha de drenagem. Nas figuras, observa-se uma classificação por cores para representar as classes especificadas na Resolução CONAMA 357. Com isso, os trechos em azul configuram-se em classe 1, em verde classe 2, em amarelo classe 3 e em vermelho classe 4, conforme apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2 - Classes de qualidade da água (Resolução CONAMA 357).**

Classe (Resolução CONAMA 357)	Cor
Classe 1	AZUL
Classe 2	VERDE
Classe 3	AMARELO
Classe 4	VERMELHO

Em geral, ocorreram pequenas modificações em termos de classificação para diferentes vazões de referência. Percebeu-se também que o impacto dos lançamentos de efluentes na qualidade da água tem curta extensão espacial, com exceção para o Nitrogênio Orgânico e para os Coliformes Termotolerantes que apresentaram grande propagação espacial no rio Mundaú e no rio Canhotinho. O Nitrito e o Fósforo Orgânico também apresentaram alguns trechos com grau de comprometimento maior da qualidade da água, todos situados em trechos de cabeceira, com destaque para um trecho próximo a cidade de Garanhuns, que é próxima da nascente do rio Mundaú.



**Figura 3: Classificação da DBO para o cenário atual (2015), considerando a Q90 como a vazão de referência.**

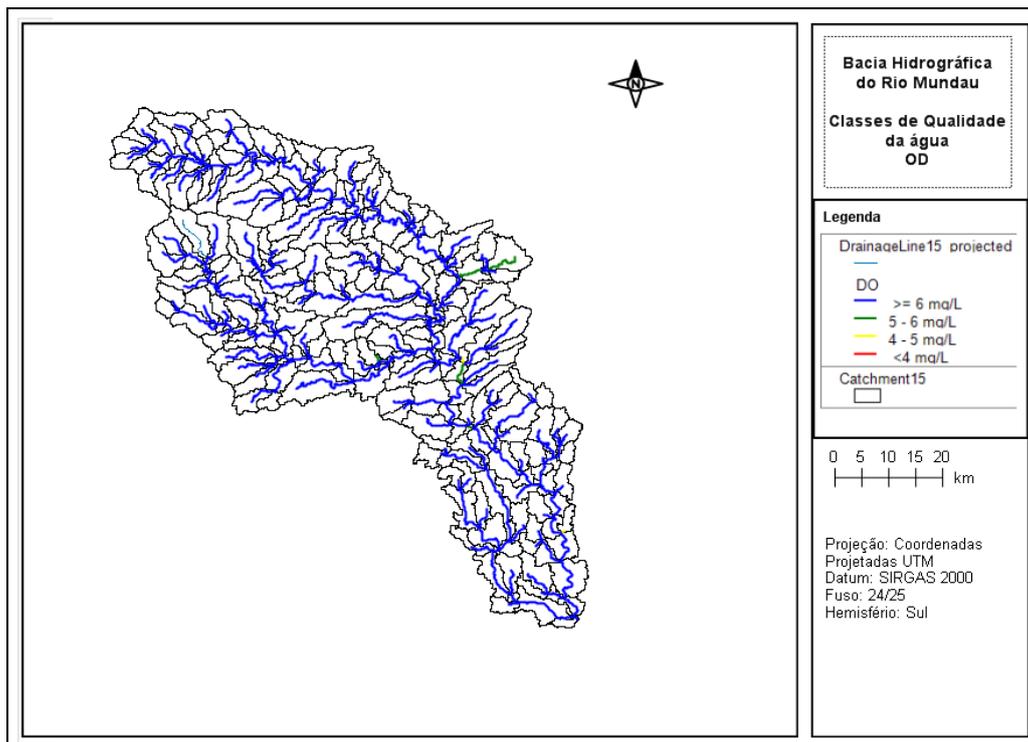


Figura 4: Classificação do OD para o cenário atual (2015), considerando a Q90 como a vazão de referência.

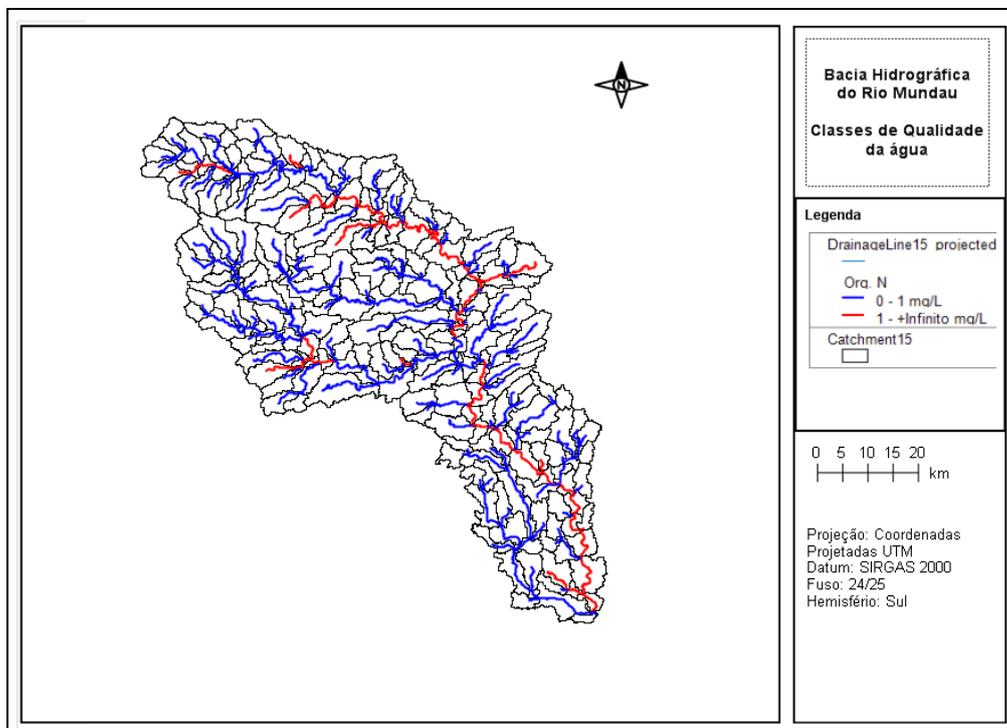


Figura 5: Classificação da Norg para o cenário atual (2015), considerando a Q90 como a vazão de referência.

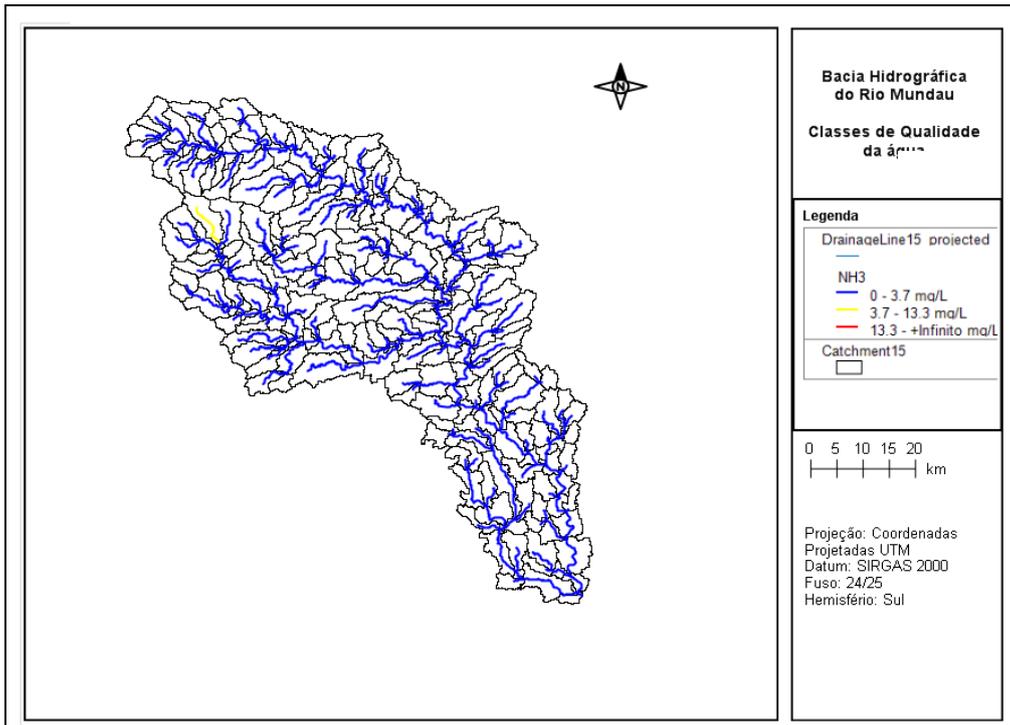


Figura 6: Classificação do NH<sub>3</sub> para o cenário atual (2015), considerando a Q<sub>90</sub> como a vazão de referência.

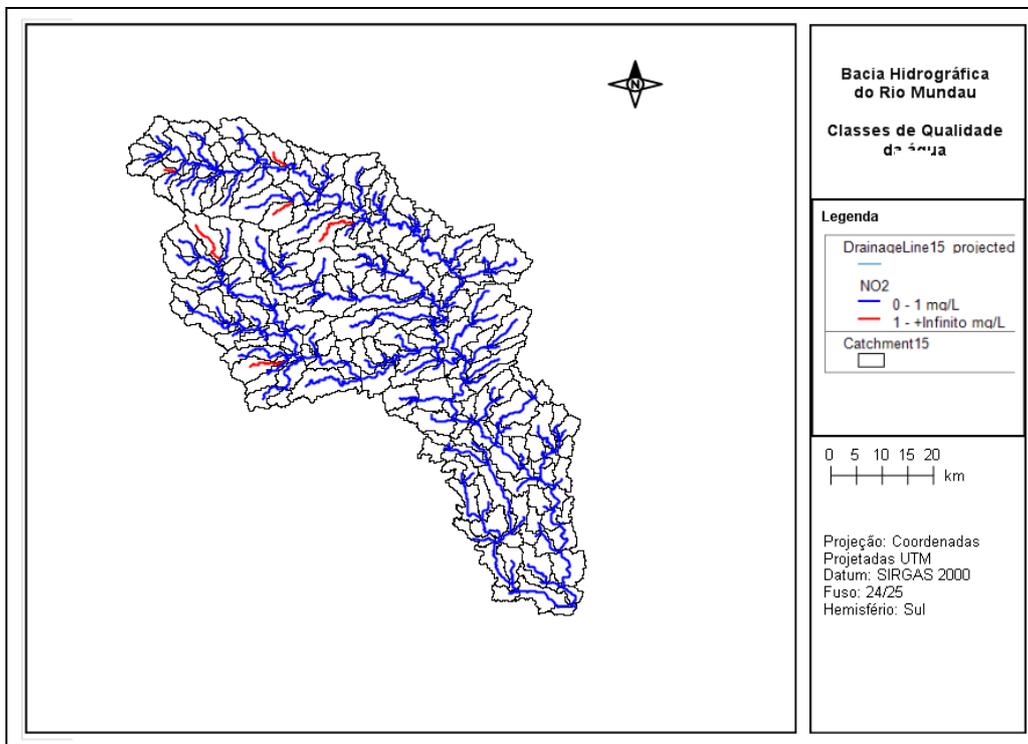


Figura 7: Classificação do NO<sub>2</sub> para o cenário atual (2015), considerando a Q<sub>90</sub> como a vazão de referência.

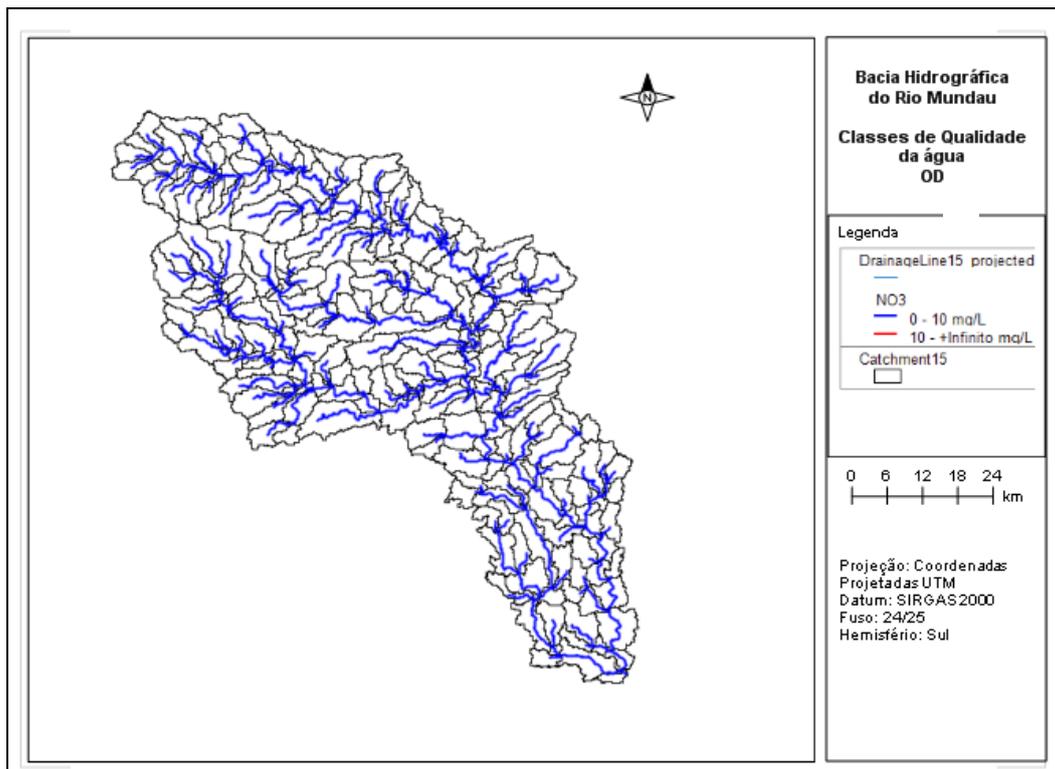


Figura 8: Classificação do NO<sub>3</sub> para o cenário atual (2015), considerando a Q90 como a vazão de referência.

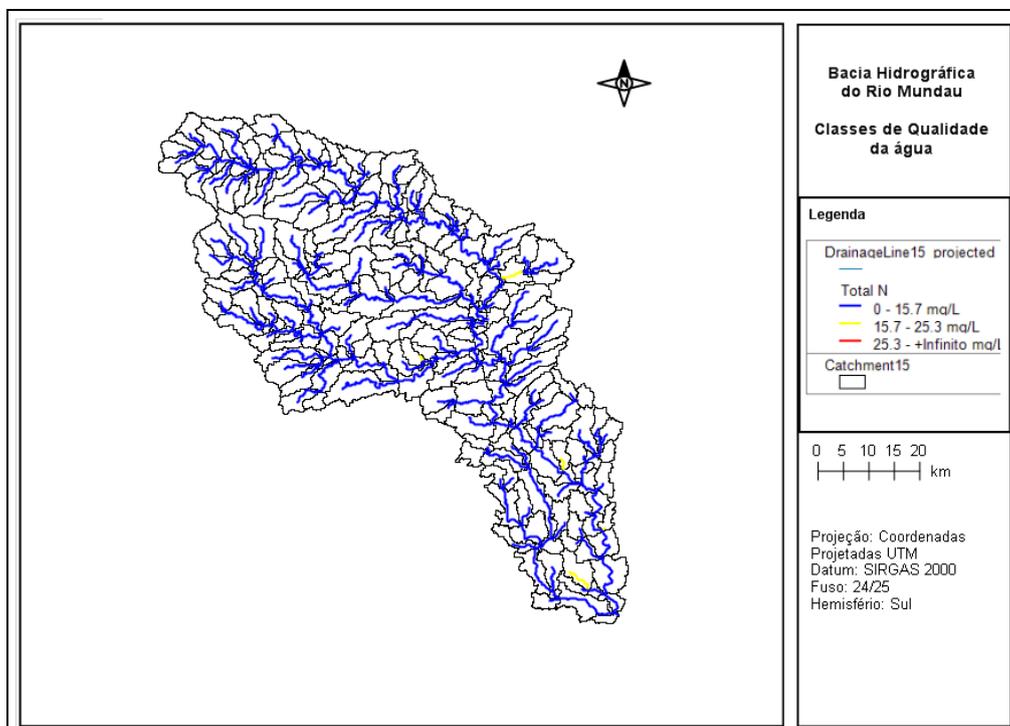


Figura 9: Classificação do NT para o cenário atual (2015), considerando a Q90 como a vazão de referência.

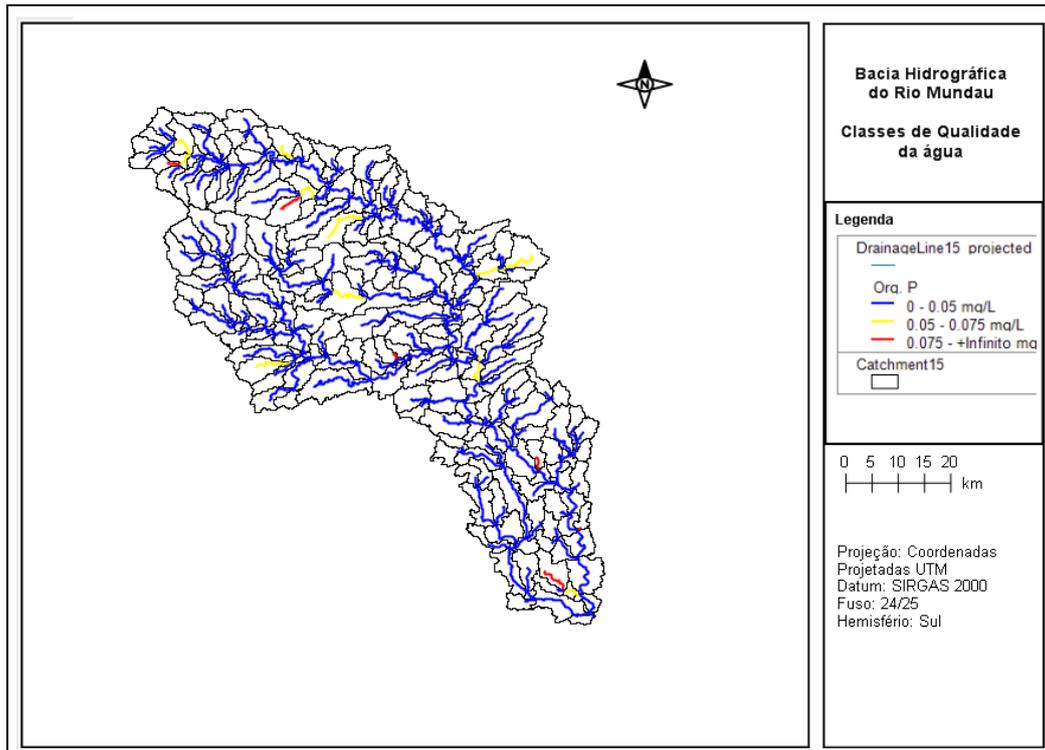


Figura 10: Classificação do Porg para o cenário atual (2015), considerando a Q90 como a vazão de referência.

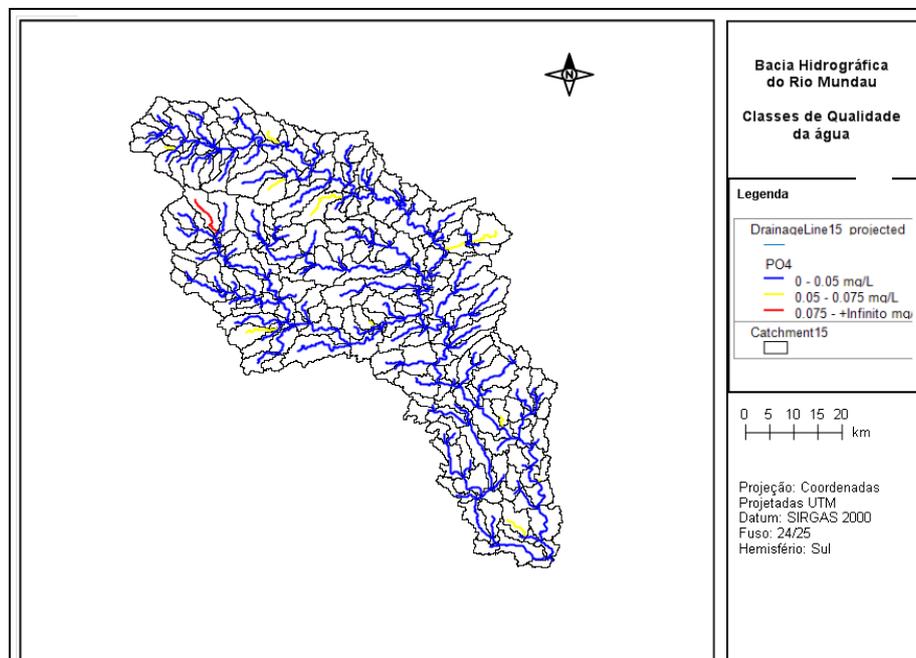


Figura 11: Classificação do PO<sub>4</sub> para o cenário atual (2015), considerando a Q90 como a vazão de referência.

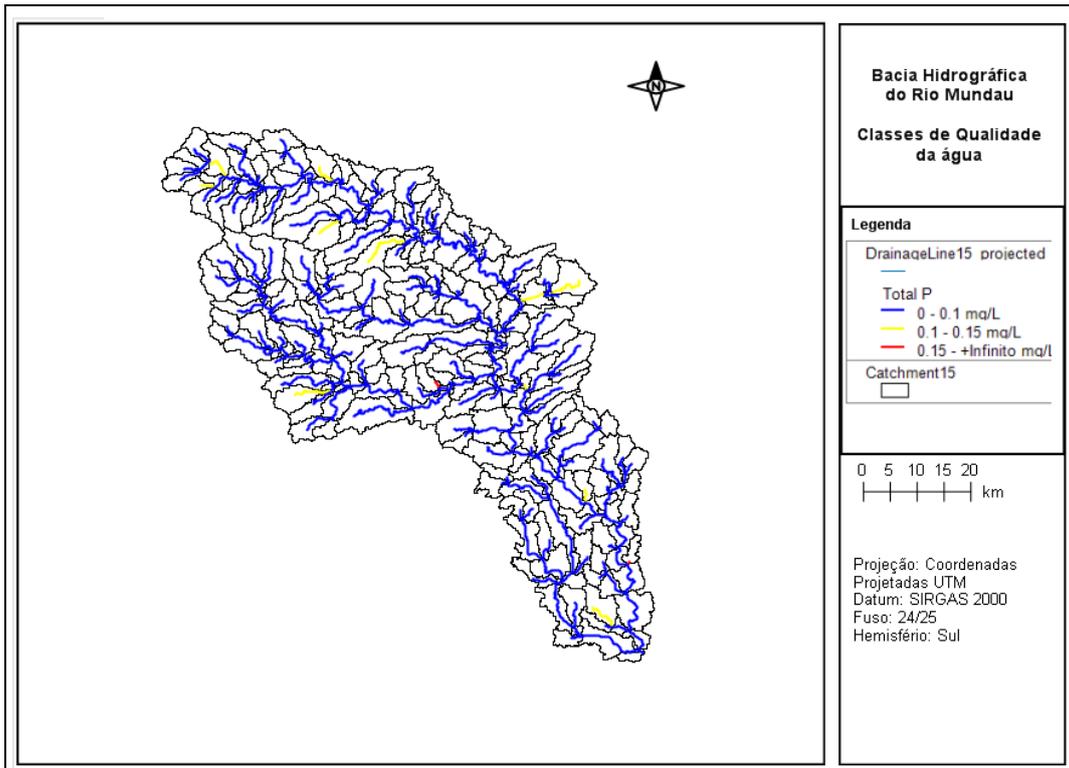


Figura 12: Classificação do PT para o cenário atual (2015), considerando a Q90 como a vazão de referência.

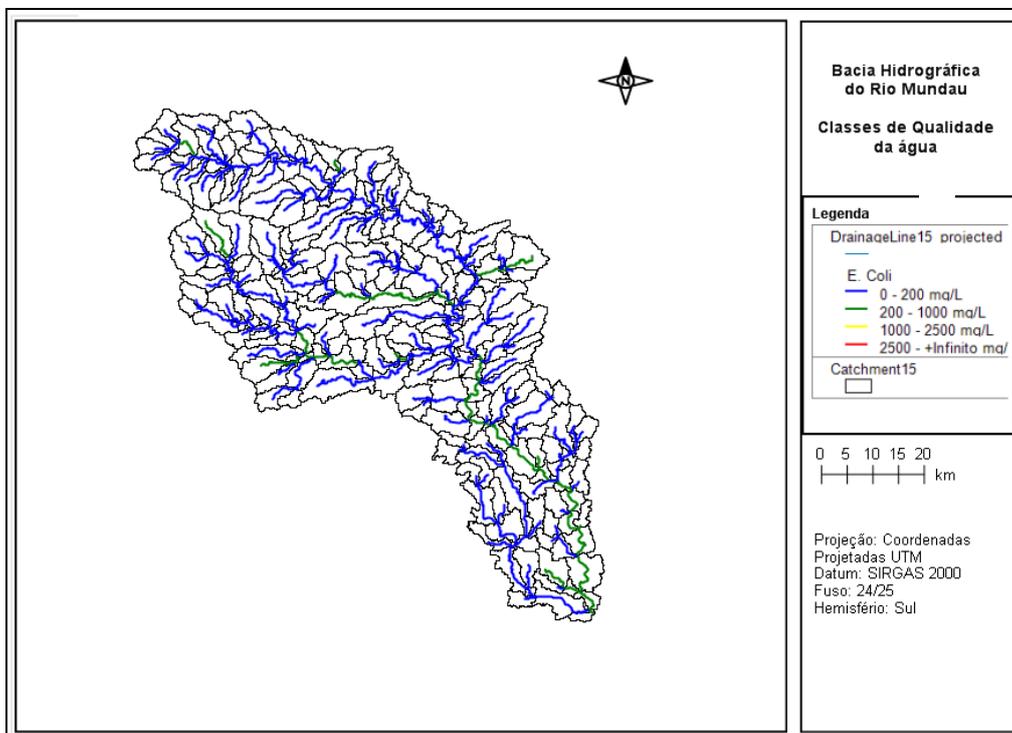
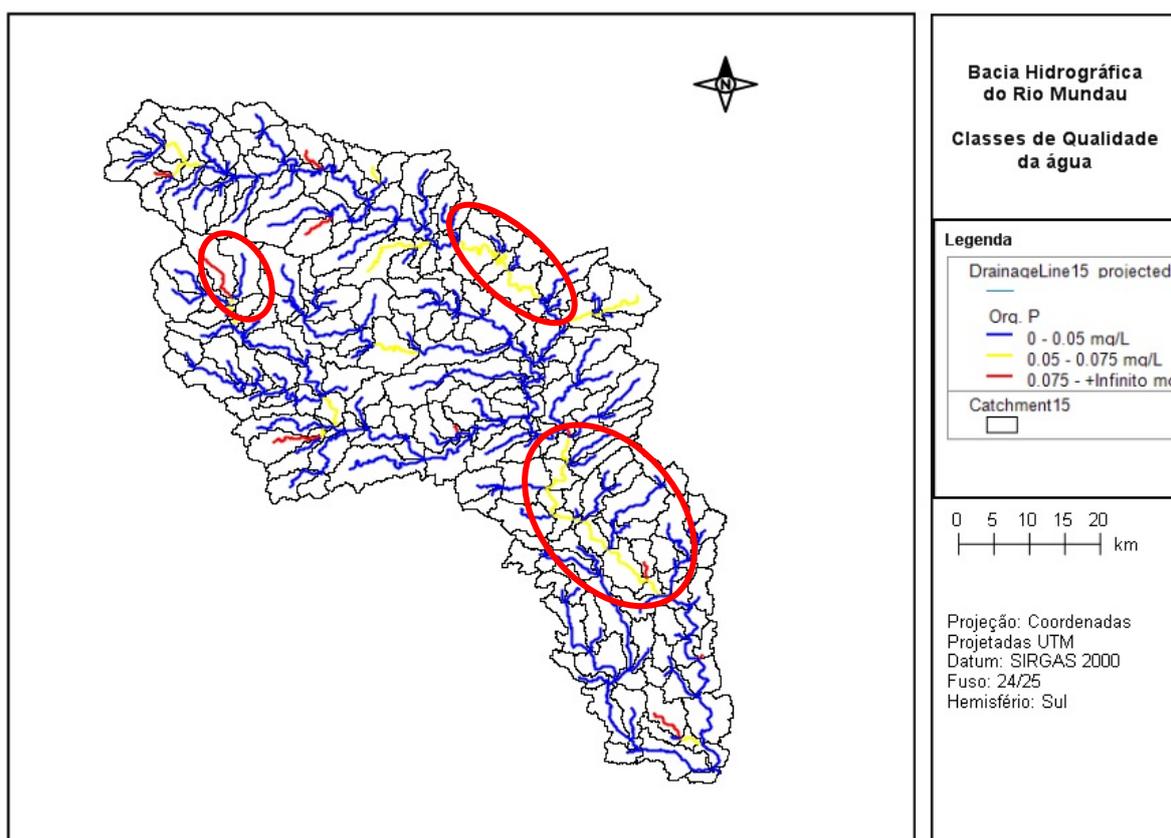


Figura 13: Classificação dos Coliformes para o cenário atual (2015), considerando a Q90 como a vazão de referência.

Para avaliar quais os trechos de rio estão conformes ou não conformes com o enquadramento preliminar (considerando a classe 2 da resolução CONAMA 357 para águas doces, uma vez que o rio ainda não possui uma proposta definitiva de enquadramento), foi efetuada a comparação trecho a trecho dos resultados obtidos nas simulações da qualidade da água da cena atual e com as concentrações limites da classe 2 para sete variáveis de qualidade da água. Nos mapas apresentados nas Figuras de 3 a 14 podem-se observar quais os trechos estão em conformidade (trechos em azul ou verde) e os trechos fora de conformidade (trechos em amarelo ou vermelho).

Analisando a Figura 14, observa-se que os níveis de concentração de Fósforo Orgânico ao longo da bacia mostraram-se ainda mais altos quando se considera vazão de referência Q95, havendo trechos ao longo do leito principal que apresentam grau de comprometimento que se enquadram nos parâmetros limite das classes 3 e 4, mostrando que é preciso intervenção nessas regiões. A verificação de alguns trechos, mostra que esse nível de concentração de Fósforo Orgânico acima da classe 3 da Resolução N° 357 do CONAMA coincide com trechos a jusante de regiões urbanizadas, podendo-se destacar o trecho próximo a Garanhuns, o trecho a jusante de Canhotinho, o trecho a jusante de União dos Palmares e o trecho a jusante de Murici (regiões destacadas na Figura 14). O fato de o índice de concentração de fósforo estar mais alto nesses trechos indica que há contaminação do rio por esgotos domésticos ou industriais, visto que o fósforo orgânico observado em grandes quantidades em corpos hídricos geralmente é proveniente de detergentes e outros efluentes domésticos (CETESB, 2009). Tendo em vista que a maioria das cidades ribeirinhas da bacia do rio Mundaú não possui saneamento básico, os esgotos de grande parte da zona urbana são lançados diretamente no corpo hídrico.



**Figura 14: Classificação do Porg para o cenário atual (2015), considerando a Q95 como a vazão de referência.**

Fica evidente que são necessários investimentos na infraestrutura de saneamento para atender o enquadramento preliminar proposto.

## **CONCLUSÕES**

Neste trabalho, foi utilizado um modelo quali-quantitativo para análise de recursos hídricos acoplado a um software SIG para realização da avaliação da segurança hídrica na Bacia do Rio Mundaú (AL/PE). O uso deste modelo mostrou-se bastante satisfatório para a bacia, juntamente com o uso do MGB-IPH na fase de pré-processamento dos dados e estimativa da disponibilidade hídrica, especialmente para o caso da bacia em estudo, a qual não apresentava grande disponibilidade de dados hidrológicos monitorados, destacando-se a região pernambucana.

Quanto à qualidade da água ao longo da bacia, concluiu-se, a partir dos resultados obtidos, que há regiões na bacia que apresentam valores dos parâmetros superiores aos estabelecidos para a classe 2 da resolução 357 do CONAMA, o que caracteriza água como inviável para consumo humano sem tratamento prévio. Isso indica também regiões com baixa segurança hídrica quanto à qualidade da água.

Mesmo considerando os erros inerentes ao processo de modelagem, foi possível caracterizar a situação atual da bacia quanto à qualidade da água ao longo da mesma, com relação a diferentes parâmetros determinados pela legislação vigente, o que comprova a qualidade da calibração do modelo. Essa caracterização mostra-se de extrema importância, em especial para os gestores e tomadores de decisão da região onde a bacia se encontra.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. PESSOA, M. M.E.P. 2010. Integração de Modelos Hidrológicos e Sistemas de Informação Geográfica na análise de processos de Outorga Quantitativa de uso da água. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre/RS : Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 2010. p. 90.
2. PORTO, R., et al. 1997. Técnicas quantitativas para o gerenciamento de Recursos Hídricos. Porto Alegre/RS : ABRH, 1997. p. 420.
3. COLLISCHONN, W. 2001. Simulação hidrológica de grandes bacias. Tese de Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil : Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 2001. p. 235.
4. ALVES, A. L. et al. Calibração do modelo MGB-IPH para vazões mínimas na bacia hidrográfica do rio Mundaú (AL/PE). In: SIMPÓSIO DE BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, Brasília, DF. Anais. Porto Alegre: ABRH, v.21, p. 1-8, 2015.
5. CREDER, H. Instalações Hidráulicas e Sanitárias. LTC. 5ª edição.
6. PEREIRA, F.A. Planilha de determinação de demanda hidroagrícola. 1999.
7. SNIS – Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. Diagnóstico dos serviços de água e esgoto, 2011.
8. TELLES, D. D.; DOMINGUES, A. F. Água na agricultura e pecuária. In: Rebouças, A. C.; Braga, B.; Tundisi, J. G. Água Doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação. ed. Escrituras São Paulo. São Paulo, 2006.
9. VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG. 3aed. 2005
10. CETESB. Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo. Apêndice A, Série Relatórios. Governo de São Paulo. Secretaria de Meio Ambiente. 2009.