LUANA LISBOA

SISTEMA PARA ANÁLISE DAS OUTORGAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA E DILUIÇÃO DE EFLUENTES NA BACIA DO RIO PIRACICABA-MG

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2014

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

L769s
2014

Lisboa, Luana, 1984-
Sistema para análise das outorgas de captação de água e diluição de efluentes na bacia do rio Piracicaba - MG / Luana Lisboa. – Viçosa, MG, 2014.
xii, 94f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.
Orientador: Demetrius David da Silva.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f.77- 86.

1. Recursos hídricos. 2. Água - Captação. 3. Águas residuais - Purificação. 4. Bacia do Rio Piracicaba (MG). I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 553.7

LUANA LISBOA

SISTEMA PARA ANÁLISE DAS OUTORGAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA E DILUIÇÃO DE EFLUENTES NA BACIA DO RIO PIRACICABA-MG

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 16 de dezembro de 2014.

Michel Castro Moreira
(Coorientador)

José Márcio Alves da Silva

Alisson Carraro Borges

Silvio Bueno Pereira

Demetrius David da Silva
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela fé e perseverança para alcançar meus objetivos.

Em especial aos meus pais, à minha família e ao meu noivo, por toda força, incentivo e amor.

Ao Professor Demetrius David da Silva, pela oportunidade de desenvolvimento desta pesquisa e inúmeras outras, pelos ensinamentos e pelo exemplo de dedicação e profissionalismo.

Aos Professores Antonio Teixeira de Matos e Celso Ribeiro Bandeira de Melo, pela coorientação; e ao meu amigo e educador Michel Castro Moreira, pela grande ajuda e pelo aprendizado.

À CAPES e ao CNPq, pelo auxílio financeiro concedido através da bolsa de estudo e pelo financiamento do projeto.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e a todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, pela contribuição.

Ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e à Federação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), pelos dados disponibilizados; e à Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), pelo apoio durante a finalização da tese.

Aos estagiários Lucas, Rayana, Renan, Júlio e Vitor, pelas horas de dedicação no desenvolvimento da tese; em especial, ao André de Jesus Silva, pela imensa colaboração.

Aos meus amigos do Centro de Referência em Recursos Hídricos (CRRH), pela prazerosa convivência: Eduardo, Micael, David, Valdeir Eustáquio, Júlio, Nayara, Felipe e outros.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização de mais esta conquista – Meu muito obrigada!

BIOGRAFIA

LUANA LISBOA, filha de Luiz Antônio Lisboa e Maura Regina da Silva Lisboa, nasceu no dia 31 de março de 1984, em Viçosa, Minas Gerais.

Em março de 2003, iniciou o curso de Engenharia Agrícola e Ambiental na Universidade Federal de Viçosa (UFV), graduando-se em julho de 2008.

Em agosto desse mesmo ano, ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, em Engenharia Agrícola da UFV, na área de Recursos Hídricos e Ambientais, submetendo-se à defesa da Dissertação em julho de 2010.

Em agosto desse ano, iniciou o Programa de Pós-Graduação, em nível de Doutorado, em Engenharia Agrícola da UFV, na área de Recursos Hídricos e Ambientais, submetendo-se à defesa da tese em dezembro de 2014.

Em julho desse mesmo ano, iniciou suas atividades profissionais no Serviço Geológico do Brasil (CPRM) como Pesquisadora em Geociências, na área de Hidrologia, em Manaus, Amazonas.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS ..... **v**
LISTA DE FIGURAS ..... **vi**
RESUMO ..... **ix**
ABSTRACT ..... **xi**
1. Introdução **1**
2. Revisão Bibliográfica **3**
2.1. Outorga de direitos de uso dos recursos hídricos 3
2.2. Aplicação e legislações afetas à outorga de diluição de efluentes no país 5
2.2.1. Agência Nacional de Águas (ANA) 6
2.2.2. Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) – MG 8
2.2.3. Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH) – ES 9
2.2.4. Instituto Estadual do Ambiente (INEA) – RJ 10
2.2.5. Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) – SP 11
2.2.6. Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (ADASA) – DF 12
2.2.7. Secretaria do Estado do Meio Ambiente (SEMA) – MT 13
2.2.8. Instituto das Águas do Paraná (Águas Paraná) – PR 14
2.2.9. Secretaria do Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH) – AL 15
2.2.10. Considerações gerais 15
2.3. Enquadramento dos corpos d'água em classes de uso 18
2.4. Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) aplicados à gestão de recursos hídricos 22
2.5. Sistemas de apoio à gestão de recursos hídricos 23
3. Material e Métodos **33**
3.1. Área de estudo 33

3.2. Modelo Digital de Elevação Hidrograficamente Condicionado (MDEHC) 34
3.2.1. Amostragem 35
3.2.2. Processamento do MDE 35
3.2.3. Validação do MDE 36
3.3. Disponibilidade hídrica anual 36
3.4. Cadastros de usuários de água 38
3.5. Cálculo das vazões de diluição decorrentes dos lançamentos de efluentes 39
3.6. Cálculo das vazões passíveis de outorga 43
3.7. Índice de conflito pelo uso da água na gestão de recursos hídricos (i_{cg}) 45
3.8. Desenvolvimento e funcionalidades do sistema 46
4. Resultados e discussões 51
4.1. Cadastro de usuários de água 51
4.1.1. Declaração de Carga Poluidora 51
4.1.2. Cadastro de outorgas de captação de água 55
4.2.1. Funcionalidades do sistema 57
4.2.1.1. Vazões mínimas de referência 57
4.2.1.2. Vazões de diluição e indisponível pelos lançamentos 59
4.2.1.3. Disponibilidade hídrica outorgável 60
4.2.1.4. Índices de conflito pelo uso da água na gestão de recursos hídricos (i_{cg}) 61
4.2.2. Cadastro de um novo usuário de água 63
4.3. Estudo de caso 66
4.3.1. Disponibilidade hídrica ainda passível de outorga ao longo do rio Piracicaba 66
4.3.2. Índice de conflito pelo uso da água na gestão de recursos hídricos (i_{cg}) 72
5. Conclusões 76
6. Referências 77
Apêndices 87
APÊNDICE A 88
APÊNDICE B 90
APÊNDICE C 92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Critérios utilizados no país para regulamentação da outorga de diluição de efluentes 16
Tabela 2 – Classificação das águas-doces segundo seus usos preponderantes e condições de qualidade dos cursos d'água 20
Tabela 3 – Estações fluviométricas utilizadas na estimativa e regionalização das vazões mínimas da Bacia do Rio Piracicaba 37
Tabela 4 – Valores típicos de K_1 42
Tabela 5 – Empreendimentos do cadastro de Declaração de Carga Poluidora da FEAM utilizados no estudo 54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classes de enquadramento da água-doce de acordo com sua qualidade e respectivos usos, conforme Resolução CONAMA nº 357/2005. 19
Figura 2 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba, MG. 33
Figura 3 – Enquadramento dos cursos d'água em classes de uso para a Bacia do Rio Piracicaba..... 34
Figura 4 – Mapa de localização das estações fluviométricas utilizadas no estudo. 37
Figura 5 – Arquitetura utilizada no desenvolvimento do sistema de análise das outorgas. 48
Figura 6 – Funcionalidades implementadas no sistema para análise das outorgas de captação de água e diluição de efluentes. 48
Figura 7 – Localização das seções de interesse ao longo do rio Piracicaba. 50
Figura 8 – Mapa de localização dos empreendimentos com a Declaração de Carga Poluidora da FEAM utilizados na análise das outorgas de diluição de efluentes na Bacia do Rio Piracicaba. 52
Figura 9 – Mapa de localização dos usuários outorgados para captação de água na Bacia do Rio Piracicaba. 55
Figura 10 – Tela de apresentação do Sistema para análise das outorgas de captação de água e diluição de efluentes na Bacia do Rio Piracicaba, MG. 56
Figura 11 – Tela de apresentação do sistema para determinação das vazões mínimas de referência (Q7,10). 57
Figura 12 – Resultado obtido pelo sistema com o resultado da determinação da vazão mínima de referência para a seção de interesse. 58
Figura 13 – Escolha do usuário para determinação da vazão de diluição e indisponível pelo lançamento através do sistema..... 59

Figura 14 – Resultados apresentados pelo sistema para o cálculo da vazão de diluição e indisponível pelo lançamento de efluente. 59
Figura 15 – Determinação da disponibilidade hídrica outorgável na seção de interesse. 60
Figura 16 – Relatório de disponibilidade hídrica outorgável para captação de água e diluição de efluentes exibido pelo sistema para a seção de interesse. 61
Figura 17 – Tela para determinação do mapa de índices de conflito pelo uso da água na gestão de recursos hídricos (icg). 62
Figura 18 – Relatório dos índices de conflito pelo uso da água na gestão de recursos hídricos (icg). 62
Figura 19 – Menu referente ao cadastro das informações. 63
Figura 20 – Tela para cadastro de um novo processo. 63
Figura 21 – Uso dos recursos hídricos cadastrados no sistema. 64
Figura 22 – Cadastro da intervenção – Etapa 1. 65
Figura 23 – Identificação da seção de interesse referente ao cadastro de um novo usuário de água (Etapa 2). 65
Figura 24 – Alteração do status do processo. 66
Figura 25 – Relatório com resultados exibidos pelo sistema para a disponibilidade hídrica passível de outorga em uma seção de interesse no rio Piracicaba, com área de drenagem igual a 5.465,69 km2. 67
Figura 26 – Relatório com resultados exibidos pelo sistema para disponibilidade hídrica passível de outorga em uma seção de interesse no rio Piracicaba, com área de drenagem de 4.238,0 km2. 68
Figura 27 – Relatório com resultados exibidos pelo sistema para disponibilidade hídrica passível de outorga em uma seção de interesse no rio Piracicaba, com área de drenagem de 3.031,59 km2. 69
Figura 28 – Relatório com resultados exibidos pelo sistema para disponibilidade hídrica passível de outorga em uma seção de interesse no rio Piracicaba, com área de drenagem de 959 km2. 70
Figura 29 – Relatório com resultados exibidos pelo sistema para a disponibilidade hídrica passível de outorga em uma seção de interesse no rio Piracicaba, com área de drenagem de 50,10 km2. 70
Figura 30 – Relatório dos índices de conflito pelo uso da água na gestão de recursos hídricos (icg), em janeiro de 2015. 73

Figura 31 – Relatório dos índices de conflito pelo uso da água na gestão de recursos hídricos (icg), em janeiro de 2012. 74

RESUMO

LISBOA, Luana, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2014. **Sistema para análise das outorgas de captação de água e diluição de efluentes na bacia do rio Piracicaba-MG**. Orientador: Demetrius David da Silva. Coorientadores: Michel Castro Moreira, Celso Ribeiro Bandeira de Melo e Antônio Teixeira de Matos.

A outorga de direito de uso da água, prevista na Política Nacional de Recursos Hídricos, é um dos principais instrumentos de gestão para controle quantitativo e qualitativo dos recursos hídricos. Para a sua implantação, é necessário, entre outras ações, definir critérios e desenvolver ferramentas para análise integrada dos aspectos de quantidade e qualidade da água. Dessa forma, o objetivo do estudo foi desenvolver um sistema para análise das outorgas de captação de água e diluição de efluentes, associando os aspectos quali-quantitativos dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Piracicaba, em Minas Gerais. A fim de desenvolver o sistema, foram realizados o levantamento e preparação da base de dados geográfica, hidrológica e administrativa. A base de dados geográfica utilizada consistiu do modelo digital de elevação hidrograficamente condicionado (MDEHC) e da hidrografia ottocodificada. A base de dados hidrológicos correspondeu à disponibilidade hídrica anual ao longo da hidrografia, obtida a partir dos dados das estações fluviométricas pertencentes à Rede Hidrometeorológica Nacional da Agência Nacional de Águas (ANA), por meio do Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb). A espacialização dos dados de vazão das estações fluviométricas foi realizada a partir do método Tradicional de regionalização de vazões. A base de dados administrativa consistiu dos cadastros de usuários de água da bacia e das declarações de carga poluidora dos lançamentos, os quais foram obtidos do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e da Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM), respectivamente. Entre as funcionalidades implementadas no sistema para análise das outorgas estão: a determinação das vazões mínimas de referência ao longo da hidrografia; da vazão necessária para diluição e indisponível pelos lançamentos de

efluentes; das vazões passíveis de outorga em uma seção de interesse, assim como a determinação do índice de conflito pelo uso da água na gestão de recursos hídricos (i_{cg}). A acessibilidade ao sistema é feita através de um navegador *web*, por meio da internet. De acordo com a análise de disponibilidade hídrica na bacia do rio Piracicaba, foi possível constatar que os trechos mais críticos quanto à vazão passível de outorga para as captações de água e diluição de efluentes localizam-se próximo à foz e cabeceira do rio Piracicaba. Na foz do curso d'água, foram observados comprometimentos de 23 e 46% do limite máximo outorgável para as captações e diluições de efluentes, respectivamente. Próximo à cabeceira, 49% da vazão máxima outorgável está comprometida com as captações de água e, no caso da diluição de efluentes, a utilização dos recursos hídricos ultrapassou a vazão mínima de referência. Pelos resultados, conclui-se que o sistema determina, de forma consistente, as vazões mínimas de referência anual, a disponibilidade hídrica outorgável ao longo da hidrografia, as vazões de diluição e indisponível pelos lançamentos, assim como identifica trechos dos cursos d'água com disponibilidade hídrica crítica e, portanto, fornece subsídios para análises das outorgas quali-quantitativas dos recursos hídricos na bacia.

ABSTRACT

LISBOA, Luana, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, December, 2014. **System to analyse concessions for water catchment and effluent dilution in the Piracicaba river basin of Minas Gerais**. Adviser: Demetrius David da Silva. Co-Advisers: Antonio Teixeira de Matos, Michel Castro Moreira and Celso Ribeiro Bandeira de Melo.

The concession of the right to use water, stipulated in the National Policy for Water Resources, is one of the main administrative instruments for the quantitative and qualitative control of water resources. To determine it, there are several key actions, among them defining criteria and developing tools for the integrated analysis of aspects of water quantity and quality. Thus, the objective of this study was to develop a system to analyze concessions for water catchment and dilution of effluents, associating this with the qualitative-quantitative aspects of water resources in the Piracicaba River Basin (Minas Gerais state). To develop the system, a survey was done and a database was prepared for geographical, hydrological and administrative aspects. The geographical database consisted of a Hydrographically Conditioned Digital Elevation Model (HCDEM) and of "ottocodified" hydrography. The hydrographical database corresponded to the annual availability of water throughout the hydrography, obtained from data collected at fluviometric stations belonging to the National Hydro-meteorological Network of the National Water Agency (ANA), by means of the Hydrological Information System (HidroWeb). Outflow from the fluviometric stations was spatialized using the Traditional Method for regionalizing outflow. The administrative database consisted of registers for the users of water from the river basin and of the declarations of pollution load, which were obtained from the Minas Gerais Institute for Water Management (IGAM) and the State Environmental Foundation (FEAM), respectively. Among the functionalities implemented in the system for analysis of the concessions are: determination of the minimum reference outflows throughout the hydrography; necessary outflow for dilution and outflow made

unavailable by effluent dilution; the outflows subject to concession in a section of interest, as well as the determination of the index of conflict surrounding the use of water in the management of water resources (i_{cg}). The accessibility to the system was assessed using a web navigator on the internet. In accordance with the analysis of water availability in the Piracicaba River Basin, it was possible to affirm that the stretches that are most critical in terms of outflow subject to concession for water catchment and effluent dilution are located near the mouth and headwaters of the Piracicaba River. At the mouth of the watercourse it was observed that 23 and 46% of the maximum concessionary limit for catchment and effluents, respectively, were compromised. Near the source, 49% of the maximum concessionary limit was compromised with water catchment and, in the case of effluent dilution, the use of water resources exceeded the minimum reference outflow. From the results it was concluded that the system consistently determines the minimum annual reference outflows, the water available for concession throughout the hydrography, the outflow for dilution and the outflow made unavailable by diluting effluents. It also identifies stretches in the watercourse with critical water availability and, therefore, provides a basis for analyzing qualitative-quantitative concessions of water resources in the basin.

1. INTRODUÇÃO

A outorga de uso de água para o lançamento de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final, prevista na Lei nº 9.433/1997, é importante instrumento de gestão por constituir uma das formas de se evitar a escassez em termos qualitativos e os possíveis conflitos pelo uso da água, garantindo o efetivo direito de acesso dos usuários aos recursos hídricos (WESSLING, 2011).

Segundo Pinheiro et al. (2013), os Estados brasileiros não têm, em sua maioria, a outorga de lançamento de efluentes implantada, e alguns já possuem regulamentação específica, mas ainda não a praticam, enquanto outros estão realizando estudos para a definição dos critérios de análise.

A ausência de um dispositivo legal que estabeleça claramente os critérios de outorga para fins de diluição de efluentes é uma realidade mesmo entre os Estados que já a emitem. Em alguns, esses requerimentos são avaliados pelo órgão de meio ambiente, enquanto as solicitações de outorga para outras finalidades são diretamente avaliados pela autoridade outorgante. Nesse caso, há um sério risco de se ignorar a primeira diretriz de ação para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH): a gestão sistemática, sem dissociação dos aspectos de qualidade e quantidade dos recursos hídricos (SOUZA et al., 2009).

Conforme estabelecido na Lei nº 9.433/1997, a outorga visa assegurar o controle quali-quantitativo dos usos da água, razão pela qual são passíveis de outorga tanto as captações quanto os lançamentos de efluentes. Assim, a Lei denota claramente a inter-relação entre esses dois tipos de interferências. Tem-se, no entanto, a necessidade de comparar os usos em uma base única e integrada, pois as captações de água são usos consuntivos expressos em vazão demandada, enquanto os lançamentos são considerados usos não consuntivos representados pelas cargas poluentes (ANA, 2013).

Para contornar esse problema e comparar demandas quantitativas e qualitativas na mesma unidade de medida, alguns Estados e a própria Agência Nacional de Águas (ANA) adotam o conceito de "vazão de diluição", proposta por Kelman (1997), ou seja, a vazão necessária para diluir um poluente até a sua concentração permitida, de acordo com a classe de enquadramento do curso d'água. Desse modo, o método permite que as interferências qualitativas no corpo hídrico sejam "transformadas" em equivalentes quantitativos, facilitando o balanço entre as demandas (captações e diluição de efluentes) e a disponibilidade hídrica do curso d'água (SOUZA et al., 2009).

Associado ao fato de que nos órgãos responsáveis pelo gerenciamento dos recursos hídricos no país a falta de dados e de corpo técnico é uma realidade, a abordagem feita, como a quantificação da vazão de diluição, poderá auxiliar expressivamente os órgãos gestores de recursos hídricos nos procedimentos técnicos para análise dos pedidos de outorga de uso da água.

Pereira et al. (2012) citaram que, na maioria dos casos, as análises dos pedidos de outorga ainda são feitas através de procedimentos manuais com a utilização de mapas, planilhas de cálculo e outros dados de forma isolada e não integrada, tornando os processos demorados e mais suscetíveis a erros. Paralelamente, o processo de análise dos pedidos de outorga trata-se de procedimento repetitivo, com alto potencial de sistematização, o que permite a aplicação de métodos automáticos em ambientes computacionais (COLLISCHONN; LOPES, 2009).

Um sistema para gestão de recursos hídricos, além de disponibilizar informações necessárias à tomada de decisão e analisar os impactos das interferências humanas, precisa ser dinâmico e integrar os procedimentos técnicos, legais e administrativos. Dessa forma, precisa manter atualizado o cenário de utilização dos recursos hídricos e servir como instrumento para gestão da informação, através de consultas, análises e controle dos processos (MARQUES, 2010).

Pelo exposto, este trabalho teve como objetivo desenvolver um sistema para análise das outorgas de captação de água e diluição de efluentes, associando os aspectos quali-quantitativos dos recursos hídricos, tendo como área de estudo a bacia hidrográfica do rio Piracicaba-MG, de forma a possibilitar avanços no entendimento do comportamento da bacia e fornecer subsídios para a gestão integrada dos aspectos quantitativos e qualitativos dos recursos hídricos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Outorga de direitos de uso dos recursos hídricos

A outorga de direito de uso dos recursos hídricos é um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) implementada na Lei nº 9.433/1997, sendo um ato administrativo mediante o qual a autoridade outorgante concede ao outorgado o direito de uso dos recursos hídricos, por um prazo determinado e de acordo com os termos e condições expressos no respectivo ato.

Esse instrumento tem por objetivo a garantia do exercício do direito de acesso à água e, para tanto, são estabelecidas, por meio de atos administrativos do órgão gestor de recursos hídricos, condições específicas para as captações de água e para os lançamentos de efluentes (COLLISCHONN; LOPES, 2009), assim como os limites de disponibilidade hídrica outorgável nos cursos d'água.

A disponibilidade hídrica de uma bacia pode ser avaliada pela análise das vazões mínimas, caracterizadas pela sua magnitude, duração e frequência de ocorrência, refletindo o potencial natural disponível para abastecimento humano, industrial, navegação, geração de energia e lançamento de efluentes (RODRIGUES, 2004). As vazões mínimas usualmente empregadas como referência na legislação brasileira, para fins de outorga, são as vazões mínimas com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$) e aquelas associadas às permanências de 90% (Q_{90}) e 95% (Q_{95}) no tempo.

A vazão de referência $Q_{7,10}$ reflete uma situação de severa escassez, restrita aos sete dias mais críticos de um ano, cuja probabilidade de ocorrência é de 10%. As desvantagens geralmente descritas ao se adotar essa vazão de referência apontam para uma limitação excessiva do uso dos recursos hídricos (LANNA et al., 1997).

A adoção da $Q_{7,10}$ para a concessão de outorga facilita o aspecto operacional do sistema de outorga e dá maior segurança ao gestor dos recursos hídricos, pois os limites outorgáveis são relativamente baixos e, portanto, facilmente alcançados, ou seja, quando se utiliza de pequenos valores como referência, obtêm-se maiores garantias de que não

haverá falhas de atendimentos às demandas, porém, na maior parte do tempo, uma vazão considerável não será utilizada (BALTAR et al., 2003).

Não obstante o caráter restritivo da $Q_{7,10}$, os Estados brasileiros que a adotam como vazão de referência para fins de outorga assumem postura ainda mais conservadora ao fixarem um percentual da $Q_{7,10}$ como máxima vazão outorgável (MENDES, 2007).

Nas unidades da federação que possuem bacias com rios intermitentes, como é o caso do Nordeste brasileiro, não é possível adotar como referência a $Q_{7,10}$, uma vez que ela assumiria valor nulo, pois em determinadas épocas do ano não há vazão escoando pelas calhas dos rios. Dessa forma, a prática de referenciar a disponibilidade hídrica por uma vazão oriunda da curva de permanência de vazões é mais usual, uma vez que ela está associada a níveis de garantia historicamente observados nos cursos d'água, configurando-se, assim, um parâmetro bem utilizado para expressar a disponibilidade hídrica (TUCCI, 2004) e, assim, determinar o limite máximo outorgável para captação e lançamento de efluentes.

Segundo Roques (2006), o termo outorga para lançamento de efluentes está sendo usualmente alterado para outorga de diluição de efluentes, expressão essa que já vem sendo adotada pela ANA, pois a outorga permite a utilização de parte da água de um corpo hídrico receptor para diluição dos efluentes, tendo-se, portanto, a função de diluir os efluentes e não de autorizar o lançamento.

Essa constatação foi apresentada no artigo 15 da Resolução nº 16, de 8 de maio de 2001, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), ou seja:

> A outorga de direito de uso da água para o lançamento de efluentes será dada em quantidade de água necessária para a diluição da carga poluente, que pode variar ao longo do prazo de validade da outorga, com base nos padrões de qualidade da água correspondentes à classe de enquadramento do respectivo corpo receptor e, ou, em critérios específicos definidos no correspondente plano de recursos hídricos ou pelos órgãos competentes.

Pelo exposto, a emissão de outorga de diluição deve respeitar a classe de enquadramento do curso d'água, por meio de limites para parâmetros de qualidade da água, como demanda bioquímica de oxigênio (DBO), concentrações de fósforo e nitrogênio, de forma que esse padrão seja respeitado mesmo após as diluições dos efluentes.

Diferentemente das captações, que retiram uma vazão que se acumula integralmente nos trechos a jusante dos cursos d'água, as vazões indisponibilizadas pela diluição de efluentes tornam-se progressivamente menores, ficando novamente disponíveis para novos usuários. Isso ocorre devido ao fenômeno da autodepuração dos cursos d'água. Cabe ressaltar que essa afirmação só é válida para diluição de poluentes não conservativos, em que algum decaimento é esperado, notadamente a DBO, que é o parâmetro mais utilizado para a caracterização dos efluentes por estar relacionado com o lançamento de esgotos domésticos (ANA, 2013).

A diluição de efluentes constitui um uso não consuntivo, pois não deriva água do curso d'água, ao contrário da outorga de captação. Contudo, é preciso que a água esteja disponível no corpo hídrico receptor, para que seja realizada a diluição do efluente (ROQUES, 2006).

2.2. Aplicação e legislações afetas à outorga de diluição de efluentes no país

A outorga para diluição de efluentes, fundamentada no conceito de vazão de diluição, teve o início de sua aplicação pela Secretaria de Recursos Hídricos (SRH), do Ministério de Meio Ambiente (MMA), na década de 1990. Com a criação da ANA (Lei nº 9.984/2000), esta passou a emitir a outorga para diluição de efluentes para rios de domínio federal (DANTAS, 2010).

Em nível estadual, a outorga para diluição de efluentes iniciou-se em 2003, no Estado da Bahia, e, a partir desse ano, surgiram novas experiências em outros Estados, como Espírito Santo e Paraná. Ao longo desses últimos anos, esses três Estados vêm apresentando uma série de desafios relacionados à aplicação dessa modalidade de outorga. Mais recentemente, os Estados do Mato Grosso e de Minas Gerais, além do Distrito Federal, também definiram critérios para a outorga de diluição de efluentes (WESSLING, 2011).

O Estado de Mato Grosso implantou seu sistema de gestão qualitativa e começou a emitir outorgas de diluição em meados de 2009, seguindo metodologia similar à adotada pela ANA. O Distrito Federal também iniciou o procedimento de outorga de diluição em 2009, porém com uma inovação e a concessão de outorgas para diluição de efluentes de drenagem pluvial, na qual avalia tanto os aspectos sobre o impacto qualitativo nos corpos d'água quanto as questões relacionadas à impermeabilização do solo e contenção de enchentes, deixando a outorga para diluição de efluentes sanitários e industriais para um segundo momento (DANTAS, 2010).

Em Minas Gerais, o processo de implantação da outorga de diluição de efluentes iniciou em 2008, de forma mais cautelosa. Primeiramente, escolheu-se uma bacia-piloto crítica, a sub-bacia do Ribeirão da Mata, inserida na bacia do rio das Velhas, para validar a operacionalidade e os critérios de análise, antes de implantar em todo o Estado (IGAM, 2013).

Pelos resultados da implantação da outorga de diluição de efluentes na bacia do ribeirão da Mata, ao confrontar a vazão máxima outorgável com a vazão demandada (vazão de diluição) pelos usuários, houve resultado em valor negativo para a disponibilidade hídrica nas proximidades da foz do ribeirão da Mata e em outros cursos d'água. No entanto, segundo o IGAM (2013), apesar da situação crítica apresentada em relação à disponibilidade hídrica, deve-se definir um plano de abatimento das cargas efluentes, considerando a redução progressiva de vazões de lançamento (por exemplo, reúso, recirculação em alguns casos) e, ou, concentrações (melhoria na eficiência de remoção do parâmetro).

Nos Estados em que não há legislação para outorga de diluição, ou naqueles em que ainda ela não foi implementada, os lançamentos de efluentes são analisados pelo órgão ambiental, em que o controle é realizado com base apenas no padrão de lançamento, totalmente desvinculados do processo de emissão de outorga (GARCIA, 2011).

De acordo com Pinheiro et al. (2013), Pernambuco é um exemplo, pois, apesar de estar em fase de regulamentação, nele a outorga para diluição de efluentes, atualmente, é controlada apenas pela licença ambiental, de forma pontual, sem que haja análise da capacidade de autodepuração do curso d'água.

Constata-se, porém, que para a efetiva aplicação da outorga de diluição de efluentes é necessária sua regulamentação através das legislações estaduais e federais, de forma a definir os critérios e procedimentos utilizados na análise das solicitações.

2.2.1. Agência Nacional de Águas (ANA)

No âmbito federal, a ANA é o órgão gestor de recursos hídricos responsável pelas análises das outorgas de diluição de efluentes, e o embasamento legal adotado está apresentado na Lei nº 9.433/1997, complementada pelas Resoluções do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) nº 16, de 8 de maio de 2001; e nº 140, de 21 de março de 2012; e pela Resolução da ANA nº 219, de 6 de junho de 2005.

A Lei nº 9.433/1997, no seu artigo 12, inciso III, estabelece que o "lançamento em corpos de água de esgotos e demais resíduos líquidos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final", está sujeito à outorga pelo poder público. O artigo 13 estabelece que "toda outorga estará condicionada às prioridades de uso descritas nos Planos de Recursos Hídricos e deverá respeitar a classe em que o corpo de água estiver enquadrado". Assim, a classe de enquadramento dos cursos d'água é utilizada no processo de outorga de diluição de efluentes, com o objetivo de determinar a concentração máxima para cada poluente no curso d'água, de forma que se continue, após o lançamento, respeitando esse limite de enquadramento. A concentração máxima permitida de DBO e outros poluentes no curso d'água para cada classe de enquadramento é descrita pela Resolução CONAMA nº 357/2005.

Percebe-se, no entanto, que para a verificação da concentração resultante do corpo receptor e, consequentemente, do atendimento ao enquadramento, após o lançamento do efluente, devem-se considerar os processos de autodepuração do curso d'água ao longo do trecho analisado.

Essa abordagem é proposta pela Resolução do CNRH nº 16/2001, que em seu parágrafo 1º, do artigo 12, estabelece que "as vazões e os volumes outorgados poderão ficar indisponíveis, total ou parcialmente, para outros usos no corpo de água, analisando o balanço hídrico e a capacidade de autodepuração para o caso de diluição de efluentes". Dessa forma, a vazão de diluição não será constante ao longo do trecho a jusante do lançamento e, sim, irá diminuir, no caso de poluentes não conservativos presentes nos efluentes.

O parágrafo 2º desse mesmo artigo expõe que a "vazão de diluição poderá ser destinada a outros usos no corpo de água, desde que não agregue carga poluente adicional", uma vez que a indisponibilidade da vazão de diluição citada anteriormente é válida apenas para o mesmo poluente, podendo ser considerada para diluição de outros poluentes, desde que não comprometa a outorga já concedida.

A Resolução do CNRH nº 140/2012 estabelece critérios gerais para outorga, com fins de diluição em cursos d'água superficiais, e em seu art. 4 define que:

> Na análise dos pedidos de outorga de lançamento de efluentes com fins de diluição em corpos de água superficiais serão observadas:
> I. as características quantitativas e qualitativas dos usos dos recursos hídricos e do corpo receptor para avaliação da disponibilidade hídrica, levando em consideração os usos outorgados e cadastrados a montante e a jusante da seção em análise;

> II. as condições e padrões de qualidade, relativos aos parâmetros outorgáveis, referentes à classe em que o corpo de água estiver enquadrado ou às metas intermediárias formalmente instituídas;
> III. as vazões de referência;
> IV. a capacidade de suporte do corpo de água receptor quanto aos parâmetros adotados; e
> V. outras referências tecnicamente justificadas.

Em relação ao cálculo da vazão de diluição, a Resolução anterior expõe que este deverá ser feito por meio da equação derivada do balanço de massa. Já os parâmetros utilizados como referência para determinação da vazão de diluição são definidos na Resolução ANA nº 219/2005, que em seu art. 1 cita que "somente será avaliado os parâmetros relativos à temperatura, à DBO e, em locais sujeitos à eutrofização, ao fósforo e nitrogênio".

2.2.2. Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) – MG

No Estado de Minas Gerais, o órgão gestor de recursos hídricos é o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), bem como as legislações afetas à outorga para diluição de efluentes, apresentadas pela Deliberação Normativa do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH) nº 26, de 18 de dezembro de 2008, e pela Resolução Conjunta SEMAD-IGAM nº 1.548, de 29 de março de 2012.

Essa última Resolução define como vazão de referência para o cálculo da disponibilidade hídrica superficial a $Q_{7,10}$ e estipula em 50% da $Q_{7,10}$ o limite máximo de captações e diluições a serem outorgados, em cada seção considerada, ficando garantidos a jusante de cada derivação, fluxos residuais mínimos de 50% da $Q_{7,10}$. No entanto, o parágrafo 1º do art. 42 da referida Resolução estabelece que o limite máximo de captações a serem outorgadas nas bacias hidrográficas dos rios Jequitaí, Pacuí, Urucuia, Pandeiros, Verde Grande, Pará, Paraopeba e Velhas, por cada seção considerada em condições naturais, será de 30% da $Q_{7,10}$, ficando garantidos a jusante de cada derivação fluxos residuais mínimos equivalentes a 70% da $Q_{7,10}$. Assim, a disponibilidade hídrica máxima outorgável para as captações de água, ou seja, para os usos consuntivos, é de 50% da $Q_{7,10}$ na maior parte do Estado de Minas Gerais, e os 50% remanescentes nos cursos d'água são destinados à diluição dos efluentes. Desse modo, o uso da água por uma modalidade de outorga não interfere na diminuição da disponibilidade hídrica de outro uso, pois os usos de captação de água e diluição de efluentes não são concorrentes.

De acordo com o art. 2º da Deliberação Normativa do CERH nº 26/2008, a outorga para diluição de efluentes será efetuada pelo órgão gestor, tendo como referência:

> I. o parâmetro DBO;
> II. a disponibilidade hídrica para diluição, função da vazão de referência;
> III. a vazão de diluição, assim considerada como a quantidade de água necessária para a diluição da concentração de DBO;
> IV. a concentração de DBO no efluente;
> V. a concentração permitida de DBO no corpo de água onde é realizado o lançamento;
> VI. a concentração de DBO no corpo de água imediatamente a montante do lançamento; e
> VII. as metas progressivas de melhoria de qualidade, de acordo com o programa para efetivação do enquadramento.

Estabelece-se ainda que, no caso de a DBO não ser o principal parâmetro do efluente, deverá ser utilizado o mais representativo, em razão da Declaração de Carga Poluidora do Empreendimento. Nos casos de diluição de efluentes em rios em processo de recuperação, o órgão gestor estabelecerá periodicamente padrões intermediários de DBO até que seja atingido o valor estabelecido na classe de enquadramento. A metodologia para o cálculo da vazão de diluição de efluentes é descrita por IGAM (2013), sendo baseada na equação do balanço de massa.

2.2.3. Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH) – ES

No Estado do Espírito Santo, a Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH) é órgão gestor responsável pelos processos de outorga, em substituição ao Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA). Através da Instrução Normativa IEMA nº 007, de 21 de junho de 2006, estabelece no artigo 5º critérios para outorga de diluição de efluentes em corpos d'água superficiais, determinando que "o somatório das vazões de diluição outorgadas em cursos d'água fica limitado a 50% da vazão de referência ($Q_{7,10}$) e, salvo os casos tecnicamente justificados, nenhum usuário receberá outorga superior a 25% da vazão de referência".

A Instrução cita ainda que "as vazões de diluição a jusante de cada lançamento poderão ser novamente disponibilizadas, observadas a capacidade de autodepuração do curso d'água e a respectiva classe de enquadramento". O parâmetro DBO é considerado referência no caso de diluição em cursos d'água e o fósforo, no caso de lagos e reservatórios.

Outra instrução normativa relacionada à outorga de diluição de efluentes no Estado do Espírito Santo é o IEMA nº 11, de 19 de outubro de 2007, através da qual estabelece metas progressivas de melhoria de qualidade de água a serem observadas na análise dos processos de outorga. Expõe em seu artigo 2º que:

> Na avaliação dos processos de outorga para fins de diluição de efluentes em cursos de água, o padrão de qualidade do corpo receptor, referente à DBO, utilizada no cálculo da vazão de diluição, será equivalente:
> I. à concentração de 5,0 mgL^{-1}, em consonância com a Resolução CONAMA nº 357/2005, em trechos de cursos de água que apresentam DBO igual ou inferior a 5,0 mgL^{-1}; e
> II. à concentração observada, em trechos de cursos de água que apresentam DBO superior a 5,0 mgL^{-1}.

A Instrução Normativa cita que:

> Para efetivação do enquadramento dos cursos de água na classe 2, o padrão a que se refere o inciso do art. 2º será reduzido, a cada período de seis anos contados a partir da data de sua publicação, em 10% da concentração inicial observada, até que seja atingido o valor de 5 mgL^{-1}.

Observa-se que, no caso do Espírito Santo, as legislações contemplam os critérios de vazão máxima passível de outorga, em razão da vazão de referência e dos parâmetros utilizados para determinação da vazão de diluição de efluentes, bem como do enquadramento e capacidade de autodepuração dos cursos d'água.

Destaca-se que os critérios apresentados são restritos à diluição de efluentes. Assim, a utilização dos recursos hídricos por uma modalidade de outorga não interfere na disponibilidade hídrica máxima para outras.

2.2.4. Instituto Estadual do Ambiente (INEA) – RJ

O Decreto Estadual nº 15.159, de 24 de julho de 1990, estabelece a Superintendência de Rios e Lagoas (SERLA) como órgão técnico e executor da Política de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro, motivo pelo qual os critérios de outorga no Estado foram publicados por meio de Portarias da SERLA, atualmente substituída pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA), que é o órgão gestor responsável pela análise dos pedidos de outorga.

Entre as legislações sobre a outorga de uso da água no Estado, cita-se a Portaria SERLA nº 567, de 7 de maio de 2007. Como critérios estabelecidos, adota-se a $Q_{7,10}$

como a vazão mínima de referência, sendo a vazão máxima outorgável correspondente a 50% da $Q_{7,10}$ na seção de interesse, para o caso de águas superficiais.

Na Portaria SERLA nº 567/2007 são apresentados alguns critérios para análise dos pedidos de outorga de diluição de efluentes, como: a qualidade dos efluentes lançados, as vazões de diluição requeridas e sua localização através de coordenadas geográficas, observando-se, quando couber, o lançamento a montante do local. Essa Portaria, no entanto, não faz referência à classe de enquadramento e à capacidade de autodepuração do curso d'água, assim como parâmetros utilizados para determinação da vazão de diluição do efluente.

Segundo Procópio (2011), em se tratando da outorga para diluição de efluentes no Estado, o único parâmetro verificado diz respeito ao mínimo de eficiência do tratamento em termos de remoção de DBO (85%). Esse autor destacou que ainda é incipiente a experiência estadual na aplicação do enquadramento como instrumento de gestão de recursos hídricos.

2.2.5. Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) – SP

No caso do Estado de São Paulo, o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) é o órgão gestor dos recursos hídricos e o responsável pela concessão das outorgas de diluição de efluentes.

Com relação às legislações estaduais referentes aos processos de outorga de diluição, cita-se a Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991, que estabelece normas à Política Estadual de Recursos Hídricos, bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos. De acordo com o artigo 10º dessa Lei, o lançamento de efluentes nos corpos d'água, entre outros, dependerá de cadastramento e da outorga de direito de uso.

A vazão de referência utilizada para determinar a disponibilidade hídrica no Estado são a $Q_{7,10}$ e as vazões regularizadas por reservatórios, como apresentado na Lei Estadual nº 9.034, de 27 de dezembro de 1994. De acordo com o art. 14 desta Lei:

> Quando a soma das vazões captadas em uma determinada bacia hidrográfica, ou em parte desta, superar 50% da respectiva vazão de referência, a mesma será considerada crítica e haverá gerenciamento especial que levará em conta:
> I. o monitoramento da quantidade e da qualidade dos recursos hídricos, de forma a permitir previsões que orientem o racionamento ou medidas especiais de controle de derivações de águas e de lançamento de efluentes;

> II. a constituição de comissões de usuários, supervisionadas pelas entidades estaduais de gestão dos recursos hídricos, para o estabelecimento, em comum acordo, de regras de operação das captações e lançamentos;
> III. a obrigatoriedade de implantação, pelos usuários, de programas de racionalização do uso de recursos hídricos, com metas estabelecidas pelos atos de outorga.

No entanto, não existem critérios específicos para outorga de diluição de efluentes e, de acordo com Wessling (2011), a outorga para diluição de efluentes é realizada de maneira interligada aos procedimentos de licenciamento ambiental, sendo este último executado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB).

2.2.6. Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (ADASA) – DF

A outorga de direito de recursos hídricos no Distrito Federal foi regulamentada pelo Decreto nº 22.359, de 31 de agosto de 2001, sendo o órgão gestor de recursos hídricos a Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (ADASA). Segundo o Decreto:

> A vazão de diluição é a parcela da vazão do corpo receptor necessária para diluir um lançamento de efluente e deve ser tal que a mistura resultante tenha a concentração máxima permitida pelo enquadramento do respectivo trecho. Para efeito de outorga, são calculadas as vazões de diluição para todos os parâmetros físico-químicos que compõem o lançamento, sendo que a maior vazão de diluição calculada será a atribuída ao lançamento.

Em 2011, os critérios técnicos para emissão de outorga de diluição de efluentes nos corpos d'água do Distrito Federal foram complementados pela Resolução nº 13, de 26 de agosto de 2011. Essa Resolução estabelece que, para emissão da outorga, serão considerados os parâmetros DBO e temperatura do efluente e, em locais sujeitos à eutrofização, como lagos e reservatórios, as concentrações de fósforo, nitrato e nitritos, de forma a manter os padrões de qualidade referentes à classe do curso d'água receptor, assim como as metas progressivas, intermediárias e final, em conformidade com o enquadramento.

A Resolução estabelece que a ADASA, na análise do pedido de outorga, também avaliará outros parâmetros de qualidade (sólidos totais, óleos e graxas, coliformes totais, entre outros) e poderá, em razão das características específicas do efluente e do corpo

hídrico receptor, considerar outros parâmetros, de forma a garantir os usos múltiplos dos recursos hídricos. Segundo o art. 7º:

> Os lançamentos de efluentes deverão garantir, sem prejuízo das demais exigências, a manutenção dos padrões de qualidade referentes à classe em que o corpo hídrico receptor vier a ser enquadrado, relativos aos parâmetros outorgáveis, considerando as metas progressivas, intermediárias e final, que serão formalmente instituídas.

De acordo com o apresentado nessa Resolução, as vazões de diluição poderão ficar indisponíveis, total ou parcialmente, para outros usos no corpo de água, considerando o balanço hídrico e a capacidade de autodepuração. No seu artigo 13, estabelece que:

> Será adotada para análise hidrológica e hidráulica dos pedidos de outorga a vazão Q_{mmm} (média das mínimas mensais) quando não houver barramento, e em função das características das unidades de análise hidrológica poderá adotar como vazão de referência a $Q_{7,10}$ ou a Q_{90}.

2.2.7. Secretaria do Estado do Meio Ambiente (SEMA) – MT

Em Mato Grosso, a Secretaria do Estado do Meio Ambiente (SEMA) é responsável pela avaliação dos pedidos de outorga, enquanto os critérios técnicos utilizados para outorga de diluição de efluentes foram estabelecidos pela Resolução do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CEHIDRO) nº 29, de 24 de setembro de 2009.

De acordo com o artigo 6º da referida Resolução, "o somatório da vazão de diluição do lançamento considerado, mais as vazões de diluição outorgadas na bacia de drenagem a montante, fica limitada à vazão de referência na seção do lançamento". Em seu 1º parágrafo, cita que:

> A disponibilidade hídrica para uma determinada seção do corpo hídrico deverá levar em conta as outorgas de captação superficiais emitidas, sendo que o percentual da vazão de referência reservado para a diluição de efluentes concorrerá com o percentual da vazão de referência comprometido com as captações consuntivas, conforme:
> a) Inicialmente será reservada a vazão de diluição o percentual da vazão de referência não outorgável para usos consuntivos (30% da Q_{95});
> b) Sequencialmente será reservada a vazão de diluição o percentual da vazão de referência outorgável para usos consuntivos, ficando esse percentual, indisponibilizado para outorgas consuntivas.

A Resolução define como limite máximo individual para diluição do poluente de determinado usuário 50% da Q_{95} e cita que a outorga será avaliada com base na DBO para diluição em cursos d'água e o fósforo e nitrogênio, em lagos e reservatórios.

A constatação de que as vazões de diluição a jusante de cada lançamento poderão ser novamente disponibilizadas, observadas a capacidade de autodepuração do curso d'água, e a respectiva classe de enquadramento é exposta no art. 5º da Resolução. Cita-se também que poderão ser utilizados outros parâmetros na análise da outorga, quando as características do efluente da atividade realizada pelo usuário não forem preponderantemente aquelas citadas.

2.2.8. Instituto das Águas do Paraná (Águas Paraná) – PR

A outorga de recursos hídricos no Estado do Paraná é de responsabilidade do Instituto das Águas do Paraná (Águas Paraná), o qual substituiu a Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (SUDERHSA).

O regime de outorga no Estado foi regulamentado pelo Decreto Estadual nº 4.646/2001. Em seu artigo 6º, o Decreto destaca, da mesma forma como foi instituído pela Lei Federal nº 9.433/1997, que o "lançamento em corpo de água, de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final" é um uso sujeito à outorga. No artigo 21, é apresentado que:

> Para os usos correspondentes ao lançamento, em corpo de água, de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos serão outorgados:
> I. vazão e volume médios diários necessários à diluição das cargas poluentes lançadas e seu regime de variação mensal;
> II. cargas máximas de poluentes e respectivos volumes de diluição e período de duração; e
> III. regimes de funcionamento, considerando-se a operação dos dispositivos de lançamentos de vazões e cargas, em termos do número de horas diárias, número de dias por mês e do regime de variação anual.

Informações complementares quanto à outorga de diluição de efluentes no Estado estão disponíveis no Manual de Outorgas do Paraná (SUDERHSA, 2006), que tem como objetivo o agrupamento de todos os procedimentos administrativos e técnicos que devem ser adotados e considerados em um processo de outorga. De acordo com esse manual, o limite máximo outorgável pelo Estado é definido como 50% da Q_{95}, estando contempladas nesse limite tanto as outorgas de captação quanto as de diluição de

efluentes, e adota-se o parâmetro DBO para o cálculo das vazões necessárias para diluição.

2.2.9. Secretaria do Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH) – AL

No Estado de Alagoas, a Secretaria do Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH) é responsável pelas autorizações de uso da água, regidas pela Lei nº 5.965, de 10 de novembro de 1997, e pelo Decreto nº 6, de 23 de janeiro de 2001. A primeira legislação cita, em seu art. 17, que depende de outorga o "lançamento de efluentes em cursos d'água, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final". Já o Decreto nº 6/2001 regulamenta a outorga, prevista anteriormente, assim como dá outras providências. No parágrafo 3º, expõe que:

> Ao se emitir uma outorga, o volume outorgado fica indisponível, total ou parcialmente, para outros usos no corpo hídrico em que é feita a captação ou diluição e nos corpos hídricos situados a jusante, considerada a capacidade de autodepuração.

O art. 15 estabelece que a disponibilidade hídrica seja avaliada em função das características hidrológicas ou hidrogeológicas da bacia superficial, e o valor de referência adotado é a vazão regularizada associada à permanência de 90%. O art. 12 expõe que a "soma dos volumes d'água outorgados em determinada bacia não poderá exceder a nove décimos da vazão de referência", ou seja, 90% da Q_{90reg}.

O Decreto cita, em um dos seus artigos, que para cada lançamento de efluente no curso d'água a outorga para captação, derivação ou extração de água deve ser efetuada simultaneamente, sem prejuízo da exigência da licença ambiental. Porém, nos casos em que não houver disponibilidade hídrica "serão racionadas, indistintamente, as captações de água ou as diluições de efluentes, implicando, neste último caso, o racionamento e suspensão do lançamento de efluentes".

2.2.10. Considerações gerais

As legislações referentes às outorgas de diluição apresentam similaridades entre si, uma vez que têm como objetivo geral disciplinar o uso da água e garantir o seu controle qualitativo. Na Tabela 1 são apresentados os critérios utilizados por alguns Estados, pelo Distrito Federal e em nível federal para a outorga de diluição de efluentes e respectivas legislações.

Observa-se, na Tabela 1, que a implantação da outorga para diluição de efluentes é um processo recente e, consequentemente, são poucos os Estados que possuem legislações específicas para a outorga dessa modalidade.

Tabela 1 – Critérios utilizados no país para regulamentação da outorga de diluição de efluentes

Estado/Órgão Gestor	Legislação	Vazão de referência e limite outorgável	Parâmetro de qualidade
ANA	Lei Federal nº 9.433/1997, Resolução do CNRH nº 16/2001 e Resolução da ANA nº 219/2005	70% Q_{95}	DBO (cursos d'água); fósforo e nitrogênio (reservatórios)
Minas Gerais/IGAM	Deliberação Normativa do CERH nº 26/2008 e Resolução Conjunta SEMAD-IGAM nº 1.548/2012	$Q_{7,10}$ (70% ou 50% para lançamento)	DBO ou o mais representativo do efluente
Rio de Janeiro/INEA	Portaria SERLA nº 567/2007.	$Q_{7,10}$ (50% para outorgas superficiais)	Eficiência de remoção de DBO de 85%
São Paulo/DAAE	Lei Estadual nº 9.034/1994	$Q_{7,10}$	De acordo com o licenciamento ambiental
Espírito Santo/AGERH	Instrução Normativa IEMA nº 007/2006 e nº 11/2007	$Q_{7,10}$ (50% para todos os lançamentos e 25% por empreendimento)	DBO (cursos d'água) e fósforo (reservatórios)
Distrito Federal/ADASA	Resolução nº 13/2011	Q_{mmm} (média das mínimas mensais) ou $Q_{7,10}$ ou Q_{90}	DBO e temperatura (cursos d'água) e fósforo, nitrato e nitrito (reservatórios)
Mato Grosso/SEMA	Resolução do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CEHIDRO) nº 29/2009	Q_{95} (30% e posteriormente poderá ser utilizada a vazão disponível para captação e 50% por empreendimento)	DBO (cursos d'água) e fósforo e nitrogênio (reservatórios)
Paraná/Águas Paraná	Decreto Estadual nº 4.646/2001	Q_{95} (50% para outorgas superficiais)	DBO
Alagoas/SEMARH	Lei nº 5.965/1997 e Decreto nº 6/2001	Q_{90} (90% para outorgas superficiais)	Não definido

Verificou-se, de forma geral, que nas legislações apresentadas o parâmetro utilizado para o cálculo da vazão de diluição em cursos d'água é a DBO. No entanto, em algumas legislações, como a de Minas Gerais, Distrito Federal e Mato Grosso, já é notada a necessidade de consideração de outros parâmetros que sejam mais representativos das características de determinados efluentes.

De acordo com a Cetesb (2009), a DBO está presente em alta concentração nos efluentes sanitários e industriais (curtumes, têxtil, alimentícia, bebidas, celulose, laticínio, cervejaria, açúcar, álcool e outras) e representa a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica, por decomposição microbiana aeróbia, para uma forma inorgânica estável. É, portanto, a medida indireta da matéria orgânica

biodegradável na água e, quanto mais matéria orgânica, maior o consumo de oxigênio pelos microrganismos que a degradam.

Bem et al. (2013) destacaram que a introdução de elevadas concentrações de matéria orgânica, fósforo e nitrogênio, oriunda de efluentes sanitários, altera principalmente a qualidade da água de lagos e reservatórios. O aumento da concentração de nutrientes, em ambientes lênticos, pode levar ao estado de eutrofização (VON SPERLING et al., 2008).

Quando ocorre de forma natural, a eutrofização é um processo gradual e lento. Ao contrário, a eutrofização artificial ocorre de forma acelerada, com aumento desordenado da produção de biomassa fitoplanctônica provocando desequilíbrio ecológico (FERREIRA et al., 2005). Os impactos decorrentes da eutrofização são o aumento da turbidez, redução da concentração de oxigênio dissolvido, alteração da cor, sabor e odor, o que pode ocasionar mortandade de peixes e outros seres vivos, além de restrições quanto à balneabilidade. Assim, alguns órgãos gestores, a exemplo da ADASA e SEMA, utilizam como parâmetro de referência para análise dos pedidos de outorga de diluição de efluentes, em reservatórios e lagos, o fósforo e o nitrogênio, enquanto a AGERH adota apenas o fósforo.

Na maioria das legislações apresentadas, constata-se a necessidade da consideração da capacidade de autodepuração dos cursos d'água na análise das outorgas de diluição. Entende-se por autodepuração o processo de degradação da matéria orgânica no ambiente aquático resultante de uma sequência de fenômenos de natureza microbiológica (decomposição), química (oxidação) e física (diluição, sedimentação e reaeração atmosférica) (BRAGA et al., 2003). Assim, 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 de "autodepuração". Porém, caso a carga poluidora lançada seja maior que a capacidade de recuperação do manancial, poderá ocorrer danos irreversíveis nesse ecossistema (ARAÚJO; SANTAELLA, 2003).

Com relação aos limites máximos outorgáveis pelos Estados, observa-se que os critérios definidos no Estado de Minas Gerais e Espírito Santo possuem limites específicos para outorga de diluição, e a utilização da água para essa finalidade não irá interferir na disponibilidade hídrica para captação.

A adoção desse critério é justificada pela sua simplicidade: caso o balanço hídrico fosse realizado considerando conjuntamente as vazões captadas e de diluição, a análise se tornaria ainda mais complexa, pois os efeitos sobre a qualidade da água teriam que considerar não apenas as cargas poluidoras na bacia, mas também as variações de disponibilidade hídrica promovidas pelos usos consuntivos (SOUZA et al., 2009). Entretanto, nos Estados do Rio de Janeiro e Paraná, o critério de vazão máxima outorgável é o mesmo tanto para captação quanto para diluição, o que torna a situação ainda mais restritiva para os usos.

De acordo com Espinosa (2013), nesses Estados é estabelecida como máxima vazão outorgável, para o conjunto de captações e diluições, determinada fração α (0,5, por exemplo) da vazão adotada como referência, significando que a fração complementar da vazão, 1-α, não entrará nos cálculos de balanços, seja para captações, seja para diluições. Assim, o resultado final será 1-α da vazão adotada como referência com a concentração natural, e outro tanto (aquele outorgado para diluição) com a concentração permitida legalmente. Como a concentração natural é na maioria dos casos menor que a permitida pelo enquadramento, isso resulta em uma mistura com concentração maior que a natural e menor que a permitida legalmente. Ou seja, esse método conduz a valores de parâmetros de qualidade, depois de concedidas as outorgas de quantidade e qualidade menores que os correspondentes ao enquadramento do corpo hídrico, deixando esse instrumento sem utilidade em relação ao propósito para o qual foi estabelecido.

Em outros Estados como Mato Grosso, os critérios são diferentes, pois se estipula um limite máximo para outorga de diluição e, quando esse limite é atingido, ainda é possível utilizar a disponibilidade hídrica destinada à captação de água.

2.3. Enquadramento dos corpos d’água em classes de uso

O enquadramento dos corpos d’água é o estabelecimento do nível de qualidade (classe) a ser alcançado ou mantido em um segmento de corpo d’água ao longo do tempo, e seus objetivos de qualidade correspondentes a cada classe de uso são apresentados na legislação ambiental brasileira pela Resolução CONAMA nº 357/2005, que dividiu as águas brasileiras em doces, salobras e salinas. Para as águas-doces, definiram-se cinco classes, sendo a classe especial a mais exigente em termos de qualidade da água e a classe 4, a menos restritiva (Figura 1).

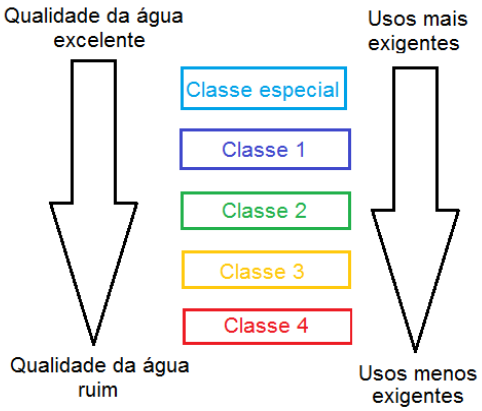


Figura 1 – Classes de enquadramento da água-doce de acordo com sua qualidade e respectivos usos, conforme Resolução CONAMA nº 357/2005.

Fonte: ANA, 2014.

A Resolução CONAMA nº 357/2005 substituiu a antiga CONAMA nº 20/1986, e, entre as inovações dessa Resolução, cita-se a adoção de metas progressivas intermediárias obrigatórias, visando à efetivação do enquadramento, que desse modo expressa a meta final de qualidade. Permite, assim, que as ações necessárias ao alcance dos objetivos finais estabelecidos no enquadramento sejam implantadas de forma gradativa, o que possibilita avaliação continuada da qualidade da água e da eficácia das ações, por meio de metas de curto e de médio prazo (BRASIL, 2005).

Mais do que uma simples classificação, o enquadramento dos corpos d'água deve ser visto como instrumento de planejamento, pois deve estar baseado não necessariamente no seu estado atual, mas nos níveis de qualidade que deveriam possuir, ou ser mantidos nos cursos d'água, para atender às necessidades estabelecidas pela comunidade (ANA, 2007). Ou seja, é um instrumento que busca dar aos usos definidos para uma bacia hidrográfica a sustentabilidade, por meio de metas de qualidade de água para o corpo hídrico (AMARO, 2009).

A Resolução CONAMA nº 357/2005 expõe que devem ser selecionados parâmetros prioritários para o enquadramento e as metas de qualidade da água devem ser atingidas em regime de vazão de referência, excetuados os casos em que a determinação hidrológica dessa vazão não seja possível (ex.: reservatórios). Dessa maneira, flexibiliza a escolha da vazão de referência, anteriormente fixada como a $Q_{7,10}$, e permite que estudos possam ser feitos em função da realidade local e das prioridades estabelecidas nos planos de bacias (MELO, 2006).

Na Tabela 2 é apresentada a classificação das águas-doces, segundo seus usos preponderantes, em cinco classes, e as condições de qualidade dos cursos d'água.

Tabela 2 – Classificação das águas-doces segundo seus usos preponderantes e condições de qualidade dos cursos d'água

Classificação das águas-doces	Usos preponderantes	Condições de qualidade de água
Classe especial	- Abastecimento para consumo humano, com desinfecção - Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas - Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral	- Condições naturais do curso d'água
Classe 1	- Abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado - Proteção das comunidades aquáticas - Recreação de contato primário, como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274/2000 - Irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rentes ao solo e são ingeridas cruas, sem remoção de película - Proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas	- DBO: 3 mgL^{-1} - OD: não inferior a 6 mgL^{-1} - pH: 6 a 9 mgL^{-1} - Turbidez até 40 unidades nefelometrica de turbidez (UNT), entre outros
Classe 2	- Abastecimento para consumo humano após o tratamento convencional - Proteção das comunidades aquáticas - Recreação de contato primário, como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274/2000 - Irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto - Aquicultura e atividade de pesca	- DBO: 5 mgL^{-1} - OD: não inferior a 5 mgL^{-1} - pH: 6 a 9 mgL^{-1} - Turbidez até 100 UNT, entre outros
Classe 3	- Abastecimento para consumo humano após o tratamento convencional ou avançado - Irrigação de culturas arbóreas cerealíferas e forrageiras - Pesca amadora - Recreação de contato secundário - Dessedentação de animais	- DBO: 10 mgL^{-1} - OD: não inferior a 4 mgL^{-1} - pH: 6 a 9 mgL^{-1} - Turbidez até 100 UNT, entre outros
Classe 4	- Navegação - Harmonia paisagística	- DBO: sem limites - OD: não inferior a 2 mgL^{-1} - pH: 6 a 9 mgL^{-1} - Turbidez sem limites, entre outros

Fonte: BRASIL, 2005.

Cabe salientar que a Resolução CONAMA nº 357/2005, em seu art. 30, veda a mistura de efluentes com águas de melhor qualidade, como as águas de abastecimento, do mar e de sistemas abertos de refrigeração sem recirculação para controlar as condições de lançamento e diluição antes do seu lançamento; e no art. 32 proíbe o lançamento de efluentes de quaisquer fontes poluentes em águas de classe especial, mesmo que tratados.

Atualmente, os rios brasileiros, em sua maioria, por não terem especificado seus enquadramentos, são considerados como de classe 2, exceto se as condições de qualidade atuais forem melhores, o que determinará a aplicação da classe mais rigorosa correspondente, conforme rege o art. 42 dessa Resolução.

Destacam-se também, como inovações da referida Resolução, a criação de novas classes de águas salobras e salinas; a inclusão de novos parâmetros de qualidade da

água; e a revisão dos parâmetros, utilizando como referência os mais recentes estudos. Para cada uma das classes definidas, estabeleceram-se determinados "padrões e condições" de qualidade a ser mantida ou alcançada no curso d'água em razão dos seus usos preponderantes, representados pela concentração máxima admissível para diversos parâmetros, como oxigênio dissolvido, DBO, nitrogênio e fósforo, entre outros.

A Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011, dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes e, ainda, complementa e altera a Resolução CONAMA nº 357/2005. De acordo com a referida Resolução, o órgão ambiental competente poderá acrescentar outras condições e padrões para o lançamento de efluentes, ou torná-los mais restritivos, ou exigir tecnologia ambientalmente adequada e economicamente viável para o tratamento dos efluentes, compatível com as condições do respectivo corpo receptor. No seu artigo 5º, cita que os efluentes não poderão conferir ao corpo receptor características de qualidade em desacordo com as metas obrigatórias progressivas, intermediárias e final, do seu enquadramento.

A partir da Lei nº 9.433/1997, o enquadramento passou a ser um dos instrumentos da PNRH que visam "assegurar às águas, superficiais e subterrâneas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas, bem como diminuir os custos de combate à poluição, mediante ações preventivas permanentes". Está interligado aos demais instrumentos de gestão de recursos hídricos (outorga, cobrança, planos de bacia) e de gestão ambiental (licenciamento, monitoramento).

A relação do enquadramento com a outorga foi estabelecida pela mesma lei, uma vez que esta institui que toda outorga (art. 13) "deverá respeitar a classe em que o corpo de água estiver enquadrado". Portanto, as análises de pedidos de outorga deverão considerar as condições de qualidade estabelecidas pela classe de enquadramento.

De acordo com a ANA (2007), o enquadramento deve, preferencialmente, constar nos Planos de Recursos Hídricos, resultado de um processo de planejamento que estabeleça as prioridades de usos dos corpos hídricos. De acordo com o proposto na PNRH, caberá às Agências de Água ou Agências de Bacia, no âmbito de sua área de atuação, propor ao respectivo Comitê de Bacia Hidrográfica o enquadramento dos corpos de água nas classes de uso, para encaminhamento ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) ou respectivo Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH), em função do domínio desse corpo de água (federal ou estadual).

Com o objetivo de orientar o procedimento de elaboração do enquadramento nas bacias hidrográficas, a Resolução do CNRH nº 91/2008 definiu o seguinte conteúdo mínimo, de modo a subsidiar as propostas de enquadramento, a citar:

> I. Diagnóstico: Caracterização geral da bacia hidrográfica; assim como do uso e ocupação do solo; identificação e localização das interferências que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo d'água; disponibilidade, demanda e condições de qualidade das águas superficiais e subterrâneas, entre outros;
> II. Prognóstico: Deverão ser avaliados os impactos sobre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos advindos da implementação dos planos e programas de desenvolvimento previstos, com horizontes de curto, médio e longo prazo, entre outros;
> III. Propostas de metas relativas às alternativas de enquadramento: deverão ser elaboradas com vistas ao alcance ou manutenção das classes de qualidade de água pretendidas em conformidade com os cenários de curto, médio e longo prazos, elaboradas em função de um conjunto de parâmetros de qualidade de água e das vazões de referência; e
> IV. Programa para efetivação: deve conter propostas de ações de gestão e seus prazos de execução, os planos de investimentos para o alcance das metas intermediárias e final de qualidade da água etc.

De acordo com Procópio (2011), a referida resolução do CNRH transcende as questões relativas ao "rio que temos" e ao "rio que queremos", adotando como foco da gestão dos recursos hídricos o "rio que podemos ter". O enquadramento deve ser proposto inicialmente em função do uso requerido mais restritivo; no entanto, torna-se indispensável que a condição de qualidade inerente à classe pretendida seja algo viável. Assim, o enquadramento deve ser definido em função da qualidade possível de ser atingida, considerando um conjunto de ações técnica e economicamente viáveis e não somente a condição atual do corpo d'água ou, ainda, a condição desejada.

Com as alterações da legislação ambiental e de recursos hídricos, é premente a atualização dos enquadramentos já realizados, segundo os procedimentos estabelecidos pelas diretrizes da Resolução CONAMA nº 357/2005 e da Resolução CNRH nº 91/2008.

2.4. Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) aplicados à gestão de recursos hídricos

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) têm sido bastante utilizados para auxiliar na gestão e planejamento dos recursos hídricos, uma vez que são sistemas automatizados capazes de armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja,

dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente à informação e indispensável para análises e processamentos (CÂMARA et al., 1996).

Grande parte dos dados sobre recursos hídricos necessitam de um SIG para a sua melhor visualização e manipulação, uma vez que as interferências nos cursos d'água precisam ser consideradas no processo de gestão dos usos múltiplos, por meio das relações espaciais que existem entre os empreendimentos e os elementos naturais das bacias hidrográficas (SILVA, 2012).

Destacando a bacia hidrográfica como unidade de gestão e planejamento, algumas tendências ou padrões em SIG podem ser observados, a citar: a representação das bacias por meio de Modelos Digitais de Elevação Hidrograficamente Condicionados (MDEHC), para extrair características físicas das bacias hidrográficas e aplicá-las em estudos hidrológicos, como na regionalização de vazões; e a ottocodificação de bacias hidrográficas, conforme estabelecido por Pfafstetter (1989), para fins de representação da hierarquia dos cursos d'água na bacia (MARQUES, 2010).

A ottocodificação oferece benefícios como a economia de dígitos na codificação, a representação hierárquica das bacias devido à topologia embutida nos dígitos, a possibilidade de detalhamento em escalas maiores e a fácil implementação por programação (MENEZES; GALVÃO, 2005). Segundo Pereira et al. (2012), a codificação por esse método é interessante, pois permite fazer inferências sobre a posição das interferências e trechos dos cursos d'água na bacia.

2.5. Sistemas de apoio à gestão de recursos hídricos

A partir do estabelecimento dos instrumentos de gestão de recursos hídricos, iniciou-se o desenvolvimento de estudos voltados às técnicas metodológicas para análise dos processos de outorga de diluição de efluentes (GARCIA, 2011), visto que a complexidade dos usos da água em uma bacia hidrográfica demanda o desenvolvimento de sistemas capazes de coletar, armazenar e processar os dados hidrológicos e espaciais, transformando-os em informação útil ao processo de gestão dos recursos hídricos (MOREIRA, 2006).

Entre os sistemas desenvolvidos e voltados para análise das diluições dos efluentes nos cursos d'água, podem-se citar os trabalhos de Ferraz e Braga (1998), Rodrigues (2000), Rodrigues (2005), Rodrigues e Silva (2007), Roberto et al. (2007),

Collischonn e Lopes (2009), Zorzal (2009), Naohn et al. (2009), Marques et al. (2011) e Garcia (2011).

Ferraz e Braga (1998) realizaram um trabalho no qual foi proposto um modelo decisório com o objetivo de compatibilizar as ofertas e demandas de água. O sistema desenvolvido foi composto por um modelo matemático de simulação dos processos hidrológicos e de qualidade da água (Simox II), um sistema de informações geográficas (Idrisi 4.0) e um sistema especialista para dar suporte ao planejamento e gerenciamento integrado dos recursos hídricos, no que se refere às metas de outorga de uso da água. O Simox II utiliza as equações desenvolvidas por Streter Phelps na simulação do oxigênio dissolvido (OD) e da DBO, para avaliar se os padrões despejados são concorrentes com a classificação dos corpos d'água. Possui como dados de entrada as características hidráulicas e geométricas dos cursos d'água, sua divisão em segmentos, as vazões de referência, parâmetros de qualidade da água, vazões de captação e lançamento de efluentes.

O modelo decisório foi aplicado à bacia do rio Corumbataí e a um trecho da bacia do rio Piracicaba, em São Paulo, para avaliação de seu desempenho. Segundo Ferraz e Braga (1998), o sistema proposto permite uma análise em tempo real das solicitações feitas para as derivações e diluições de efluentes na bacia, com relação ao abastecimento urbano, industrial e irrigação, em função da quantidade de água requerida e da qualidade de seus efluentes. Apontaram que a incorporação dos sistemas de apoio à decisão no modelo decisório trouxe benefícios, em virtude da capacidade de reunir informações para uma bacia hidrográfica, as quais serão fundamentais aos gestores de recursos hídricos na comparação, análise e julgamento das alternativas para uso racional e sustentável dos recursos hídricos.

O sistema apresentado por Ferraz e Braga (1998) pode ser utilizado como ferramenta de auxílio das outorgas de diluição de efluentes, uma vez que avalia o impacto na qualidade de água devido aos lançamentos, tendo como referência os limites impostos pela classe de enquadramento. Porém, restringe-se às condições para as quais o modelo de qualidade de água, Simox II, foi estruturado e, consequentemente, apresenta limitações, como a capacidade de simular a hidrografia composta apenas de rios e canais, pois se fundamenta em estruturas de redes, desconsiderando, assim, as particularidades dos reservatórios. Para utilização do modelo de qualidade Simox II, é necessário ainda que a região de estudo apresente dados de qualidade da água para sua adequada calibração, condição que não é verificada na maior parte das bacias

hidrográficas brasileiras, que carecem de informações tanto de qualidade quanto de quantidade de água.

A análise dos pleitos de outorga de diluição de efluentes deve considerar a classe de enquadramento do curso d'água, em função dos limites de qualidade impostos por essa outorga, assim como a vazão de diluição da carga de poluente lançada. Assim, Rodrigues (2000) publicou o modelo matemático RM1, que calcula para poluentes degradáveis lançados em rios a vazão de diluição e a vazão liberada para novas outorgas à medida que as concentrações dos poluentes diminuem, devido aos seus diferentes comportamentos e ao volume de diluição da carga de poluente do usuário a montante, que é captada pelo usuário a jusante. Para determinação do decaimento da concentração de poluente no curso d'água, o modelo RM1 utiliza como ferramenta de auxílio o modelo de qualidade de água QUAL2E.

De acordo com esse autor, o modelo RM1 contempla tanto a outorga quanto a cobrança pelo uso da água. No cálculo da cobrança, a quantificação da carga de poluente retirada do rio, através de pontos de captação, referente a cada usuário-poluidor de montante, permite que o custo da carga de poluente retirada do rio seja repassado ao respectivo usuário-poluidor e subtraído do custo da respectiva captação. Logo, quanto melhor a qualidade da água captada, maior o custo para a captação; assim como para lançamento, quanto maiores os danos provocados aos usuários de jusante, maior o custo de lançamento do respectivo efluente. Porém, o modelo matemático requer um trabalho considerável para sua aplicação à medida que solicita a organização de grande quantidade de dados da bacia. Dessa forma, Rodrigues (2000) recomenda o desenvolvimento de uma ferramenta mais sofisticada para aplicação do modelo proposto.

A ferramenta de auxílio, com tal objetivo, foi proposta por Rodrigues (2005), que apresentou um sistema de suporte à decisão denominado SSD RB, no qual faz a integração do modelo RM1 com o modelo QUAL2E, utilizado para a simulação dos parâmetros de qualidade da água, além de uma interface gráfica e de uma base de dados.

O SSD RB visa auxiliar e orientar os tomadores de decisão nos processos de gestão de recursos hídricos, na inserção de dados de forma eficiente, assim como fornece uma saída gráfica que permite a visualização dos dados hidráulicos, classe de qualidade do rio, custos unitários, parâmetros e coeficientes, além de realizar comparações entre os resultados obtidos de diferentes cenários simulados (RODRIGUES, 2005).

Rodrigues (2005) expôs que o SSD RB apresenta as mesmas limitações de uso que o modelo de qualidade de água QUAL2E, destacando-se a restrição quanto ao número máximo de trechos, elementos de captação e lançamento, entre outros. Destaca-se, ainda, que o SSD RB não utiliza em sua interface um sistema de informações geográficas e, por isso, não é possível a visualização espacial das outorgas ao longo dos cursos d'água, identificação dos trechos em que o limite máximo de vazão para outorga foi ultrapassado ou que se encontra em situação crítica, o que facilitaria o entendimento do processo de outorga.

Posteriormente, Rodrigues e Silva (2007) desenvolveram o Sistema de Enquadramento, Planejamento e Gestão de Corpos Hídricos – Aloc Server, constituído por três modelos matemáticos, QUAL2E, FISCHER e ALOC, e uma base de dados. Segundo esses autores, o sistema apresenta melhor desempenho e não tem mais limitações quanto ao número de trechos e pontos de lançamentos e captações. O ALOC Server é constituído de módulos, a citar: módulo de geoprocessamento (permite a inserção de dados e a elaboração de mapas temáticos); módulo calibração (visa auxiliar o usuário no processo de calibração); módulo quali-quantitativo (permite análise simultânea de qualidade e quantidade); módulo balanço de carga (realiza todo o balanço de cargas do corpo hídrico); módulo enquadramento e metas progressivas (tem como função verificar o atendimento aos padrões de lançamento de efluentes e de qualidade do corpo hídrico, considerando a zona de mistura); módulo outorga e cobrança (permite o cálculo de vazões de diluição e custos de lançamento e captação).

O modelo ALOC surgiu da integração das metodologias do modelo RM1 (RODRIGUES, 2000) e do modelo RM2 (RODRIGUES; PORTO, 2001), o que permitiu trabalhar simultaneamente com os conceitos de carga e de vazão de diluição, sendo possível a separação de quanto efetivamente cada usuário-poluidor contribui, individualmente, com a poluição, diante de um cenário global de diluições, captações e poluição difusa. Já a função do modelo de FISCHER, no AlocServer, é a determinação do comprimento da zona de mistura, considerando o regime permanente (RODRIGUES; SILVA, 2007).

De acordo com Rodrigues e Silva (2007), o ALOC Server apresenta-se como marco inovador na área de gestão de recursos hídricos, já que ele insere aspectos de qualidade da água para os processos de outorga e cobrança, de forma articulada aos instrumentos da PNRH, e traz também um novo conceito, o de "Justiça Hídrica", ou seja, quem capta água com qualidade inferior paga menos do que quem capta água com

qualidade superior, assim como mais paga quem mais polui e prejudica os usuários a jusante.

O programa proposto por Rodrigues e Silva (2007) não contempla as prioridades de uso, importante nos casos em que a disponibilidade hídrica de uma bacia se encontra em situação crítica. Essa consideração foi feita por Roberto et al. (2007), que apresentou uma plataforma para a análise de concessão de outorga para captação de água e diluição de efluentes denominada Outorga LS, aplicado em bacias hidrográficas com diversas características físicas e ambientais.

A plataforma Outorga LS foi desenvolvida visando à integração do banco de dados que contenha informações hidrológicas e cadastros de usuários com a tecnologia de sistemas de informações geográficas, por meio de interface de comunicação ilustrativa e de fácil utilização. A interface do sistema é capaz de tornar disponível ao usuário ferramentas que possibilitam o diálogo com os dados e com os modelos, fazendo-os interagir entre si, e permite avaliar os resultados para identificar os que atendem ou não aos critérios de julgamento para concessão das outorgas de captação de água e diluição de efluentes (ROBERTO et al., 2007).

A Outorga LS representa uma rede de fluxo de caráter geral que os usuários podem alocar quantos nós de demanda forem necessários, seja ela consuntiva ou não, e o atendimento a essas demandas varia de acordo com um valor de prioridade atribuído pelo usuário e, dessa forma, se ocorrerem déficits, as demandas com menor prioridade são reduzidas em primeiro lugar. Também faz parte da plataforma apresentada um modelo de qualidade da água que simula as concentrações de DBO, OD, coliformes totais, fósforo total, algas, sólidos dissolvidos, nitrogênio orgânico, amônia, nitrito e nitrato, considerando os lançamentos pontuais e a classe de enquadramento do corpo receptor (ROBERTO et al., 2007).

Segundo esses autores, o sistema engloba ferramentas para manipulação de dados de quantidade e qualidade da água, sendo algumas comuns em sistemas de informações geográficas, como ferramentas de visualização, identificação e localização de feições geográficas (*layers*). Os dados são organizados e armazenados em um banco de dados através do qual é possível processar, recuperar, consultar e manipular as informações, a exemplo de séries de vazões, precipitações, dados de qualidade da água com a localização dos respectivos postos de medição, mapas com a delimitação de municípios, hidrografia, represas e cadastro de usuários, informações essas úteis para a análise de solicitação de outorga.

A vantagem observada na plataforma apresentada por Roberto et al. (2007) está no fato de possibilitar sua aplicação a qualquer bacia, porém é necessário criar e editar as feições como os trechos dos rios e as demandas, tornando, dessa forma, o processo lento e dispendioso. Garcia (2011) citou que o Outorga LS tem seu processo de otimização focado nas análises quantitativas, em que a vazão de diluição não é considerada variável do processo de otimização. Esse fato é constatado, pois o programa não quantifica a vazão necessária para diluição dos efluentes e, assim, não é possível avaliar o comprometimento do curso d'água com essa finalidade.

Em seguida, Collischonn e Lopes (2009) desenvolveram um Sistema de Controle de Balanço Hídrico para a bacia do rio Paraná, para apoio à emissão de outorgas na ANA. Sua principal característica está relacionada com o controle de balanço hídrico, realizando análises do impacto de captações de água e de diluição de efluentes sobre a disponibilidade hídrica e identificando os trechos críticos do rio.

Segundo aqueles autores, o sistema foi desenvolvido em Matlab e possui interface gráfica, que permite o usuário (no caso, o especialista em recursos hídricos que analisa o pedido de outorga) entrar com as informações referentes ao regime de captação e, ou, diluição de efluentes e fazer as análises. O sistema faz as análises em termos de demandas mensais, uma vez que variam de acordo com o mês do ano. Com isso, é possível contemplar sazonalidades no balanço hídrico, as quais podem ser bastante intensas.

O sistema permite a análise de outorga de diluição de efluentes que, na ANA, são contemplados apenas pelos parâmetros temperatura, DBO, nitrogênio e fósforo totais. A concepção do sistema como um todo e, em especial, da parte referente à diluição dos efluentes é inspirada no trabalho de MMA (2000), no qual as análises são feitas através da metodologia proposta por Kelman (1997), que consiste em determinar a vazão necessária para a diluição do efluente até um nível "aceitável". No entanto, segundo esses autores, atualmente o diagnóstico é feito apenas para usos consuntivos, porém há a pretensão de incorporar as informações de lançamento de efluentes, de forma que se possa ter uma visão integrada do comprometimento quali-quantitativo sobre a bacia.

Collischonn e Lopes (2009) relataram que o relativo sucesso na implementação do sistema para a bacia do Paraná encoraja a sua replicação para outras bacias. A disseminação do sistema em órgãos estaduais também é uma possibilidade, eventualmente adaptando-se às necessidades específicas. O equacionamento, no que diz respeito à análise da diluição de efluentes, é bastante simplificado, já existindo modelos

mais elaborados para contemplar esse problema, mas que, entretanto, são complexos de implementar na escala de bacia devido ao grande número de usuários e à necessidade de tornar o sistema amigável e flexível. Além disso, a escassez de monitoramento qualitativo dos rios prejudica, de certa forma, o uso de modelos mais complexos que, naturalmente, demandam mais dados. Entretanto, para os objetivos da outorga e da política de recursos hídricos, as simplificações são adequadas e podem ser usadas para fins de suporte à decisão.

Zorzal (2009) apresentou o SSD-RIOS, com o objetivo de apoiar a análise técnica de solicitações de licenças ambientais e outorga de uso de água em rios, fornecendo subsídios para tomadas de decisões acerca da escolha da melhor localização dos lançamentos de efluentes em cursos de água, considerando as características hidráulicas/hidrológicas e a capacidade de autodepuração dos cursos d'água, assim como seu enquadramento.

A principal característica e vantagem que o SSD-RIOS apresenta é a possibilidade de análise de locação de uma nova fonte pontual de lançamento, variando seu posicionamento ao longo de todo o trecho do rio, o que proporciona avaliação do comportamento dos constituintes simulados e verificação dos locais onde os limites estabelecidos pela classe de enquadramento foram violados, de forma que o usuário possa alocar o lançamento em um trecho do rio onde cause menor impacto e seja o local mais viável ao solicitante. O sistema permite também análises a respeito das eficiências de tratamento de efluentes necessárias para a manutenção dos parâmetros de qualidade da água dos corpos receptores, dentro de padrões estabelecidos, assim como a modificação dos valores-limite dos parâmetros de qualidade de água entre valores adotados pela Resolução CONAMA nº 357/05, ou definidos pelo usuário, flexibilizando o uso do programa, caso se queira considerar as metas progressivas no planejamento da recuperação da qualidade da água do corpo receptor (ZORZAL, 2009).

Os resultados gerados pelo SSD-RIOS são disponibilizados em forma de tabelas e gráficos, sendo possível analisar o impacto da nova fonte de lançamento nos parâmetros de qualidade de água do rio, pois apresenta as condições do curso d'água antes e depois do lançamento do efluente.

Zorzal (2009) constatou que em outros estudos os autores procuraram estabelecer a mesma tipologia de entrada de dados utilizada pela interface do modelo QUAL2E, em que todas as fontes pontuais são inseridas juntas, ou seja, no mesmo formulário. No SSD-RIOS, a entrada de dados relativos à nova fonte pontual é feita separadamente das

demais, assim como a sua simulação e análise. Como recomendação desse autor está a inclusão de um módulo no sistema que considere as equações para calcular e avaliar a vazão de diluição, considerando os limites máximos de vazão estipulados pelos órgãos gestores de recursos hídricos. O novo módulo utilizaria os resultados gerados do modelo QUAL2E para obter os coeficientes das equações de diluição. Pereira e Mendonça (2005) salientaram a importância da realização de simulações práticas, antes da adoção de qualquer equação para o cálculo da vazão de diluição, e de sua variação ao longo do corpo receptor, na análise de solicitações de outorga.

Seguindo a mesma linha de utilização dos sistemas para auxiliar na análise de outorga de diluição de efluentes, Garcia (2011) desenvolveu um sistema através do qual é possível avaliar diferentes estratégias, visando facilitar o processo de análise e efetivação do instrumento, respeitando os limites estabelecidos pela classe de enquadramento dos cursos d'água. O SSD utiliza algoritmos evolucionários para otimização do processo de alocação de demanda e de carga de efluente, a citar: os algoritmos genéticos *particle swarm optimization* e o *diferencial evolution*.

Garcia (2011) relatou que o sistema inseriu em suas análises três estratégias para outorga de diluição de efluentes, pré-programadas, através dos algoritmos evolucionários, a saber: as restrições impostas pelo gestor para os limites de tratamento de efluentes mínimo e máximo impostas aos usuários, ou a finalidade de uso; as restrições impostas pela legislação ambiental, como a concentração máxima dos poluentes ou eficiência de tratamento; e a isonomia entre os usuários. As estratégias propostas tiveram como principal objetivo avaliar o comportamento do SSD na obtenção dos resultados e a flexibilidade dos algoritmos na introdução de restrições e penalidades, tendo em vista a maximização do uso da vazão disponível para diluição, a redução dos impactos causados pelo lançamento de efluentes no corpo hídrico e a minimização dos custos das medidas de despoluição adotadas.

Segundo Garcia 9 (Idem), a questão da isonomia entre os usuários da bacia é bastante polêmica, e o SSD proposto resolve essa situação através da imposição de uma restrição ao algoritmo, a qual considera que os usos de mesma finalidade devem atender aos mesmos níveis de tratamento de seus efluentes. Assim, usuários do mesmo setor produtivo devem ter as mesmas restrições ambientais, independentemente da localização do uso da bacia e da qualidade ambiental do corpo receptor. Esse tipo de análise onera o custo global das medidas de despoluição, o que pode dificultar sua implementação, pois obriga os usuários localizados em trechos de rios com condições

ambientais mais favoráveis a aplicar a mesma medida de despoluição do usuário localizado em um trecho ambientalmente degradado, onde a capacidade de assimilação de carga poluidora é menor. O aspecto positivo dessa alternativa é a melhoria do perfil de qualidade da água final do rio.

O referido autor, para avaliar o desempenho dos algoritmos utilizados no SSD proposto, realizou um estudo de caso na bacia hidrográfica do rio Atibaia (SP) e constatou que a estratégia de outorga que não considerou a legislação ambiental para lançamento de efluentes e a isonomia entre os usuários apresentou o menor custo global das medidas de tratamento de efluentes. Esse resultado se deve ao fato de essa estratégia ser a menos restritiva que as demais analisadas e do melhor aproveitamento da vazão disponível no trecho para diluir os efluentes.

A ferramenta proposta produziu um algoritmo capaz de analisar sistemas complexos, com diversas demandas quantitativas e de diluição de efluentes. Assim, do resultado de sua utilização, obtém-se uma composição das captações e eficiências de tratamento dos efluentes, tendo em vista o menor impacto, em termos de qualidade do corpo receptor, custo de tratamento e aproveitamento máximo da água disponível. Dessa forma, o SSD desenvolvido contribui expressivamente para a efetivação do instrumento de outorga de efluentes, através da inserção de critérios e estratégias de análise de outorga propostas, garantindo maior agilidade na tomada de decisão (GARCIA, 2011).

Posteriormente aos estudos apresentados, Marques et al. (2011) desenvolveram o SigWeb Aquora – Sistema de Controle Dinâmico para Gestão dos Usos Múltiplos da Água. O sistema foi assim denominado por estar relacionado a um banco de dados geográficos, possuir as funcionalidades de um SIG com acesso remoto via internet e por se tratar da evolução do Sistema Multiusuário para Gestão dos Recursos Hídricos, denominado AQUORA (MARQUES, 2006). O SIGWeb AQUORA, além de funcionar como portal espacial divulgando informações hidrológicas a toda a sociedade, automatizou as principais funções necessárias para a gestão dos usos múltiplos da água.

De acordo com os citados autores, o desenvolvimento do SIGWeb AQUORA combinou os avanços da hidrologia, do geoprocessamento e da gestão da informação. Inicialmente aplicado à bacia do rio Doce, o sistema incorpora um modelo de banco de dados geográficos modelados especificamente para armazenar e relacionar todas as informações hidrológicas e administrativas necessárias ao controle dos usos múltiplos da água. Construído com tecnologias ORACLE e ESRI ArcGIS Sever, o sistema não só

tem a capacidade de gerenciar os processos administrativos relativos à outorga e divulgar informações hidrológicas na Internet, mas também analisa o impacto de captações superficiais e das diluições de efluentes, atualizando, em tempo real, a disponibilidade hídrica em toda a hidrografia.

Observa-se que cada sistema descrito anteriormente possui limitações e potencialidades como ferramentas para fornecer subsídios aos processos de outorga de diluição de efluentes. Entre as vantagens apresentadas pela maioria dos trabalhos está a consideração do enquadramento dos cursos d'água, uma vez que não é permitido que o lançamento de cargas poluidoras ultrapasse o limite estabelecido pela classe de enquadramento dos cursos d'água.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

A Bacia do Rio Piracicaba localiza-se no Estado de Minas Gerais, na região Centro-Leste, com área de drenagem de 5.706 km^2, e pertence à Bacia Hidrográfica do Rio Doce (Figura 2). A população estimada, segundo o IBGE (2014), é de 984.236 habitantes, abrangendo 20 municípios mineiros (IGAM, 2011).

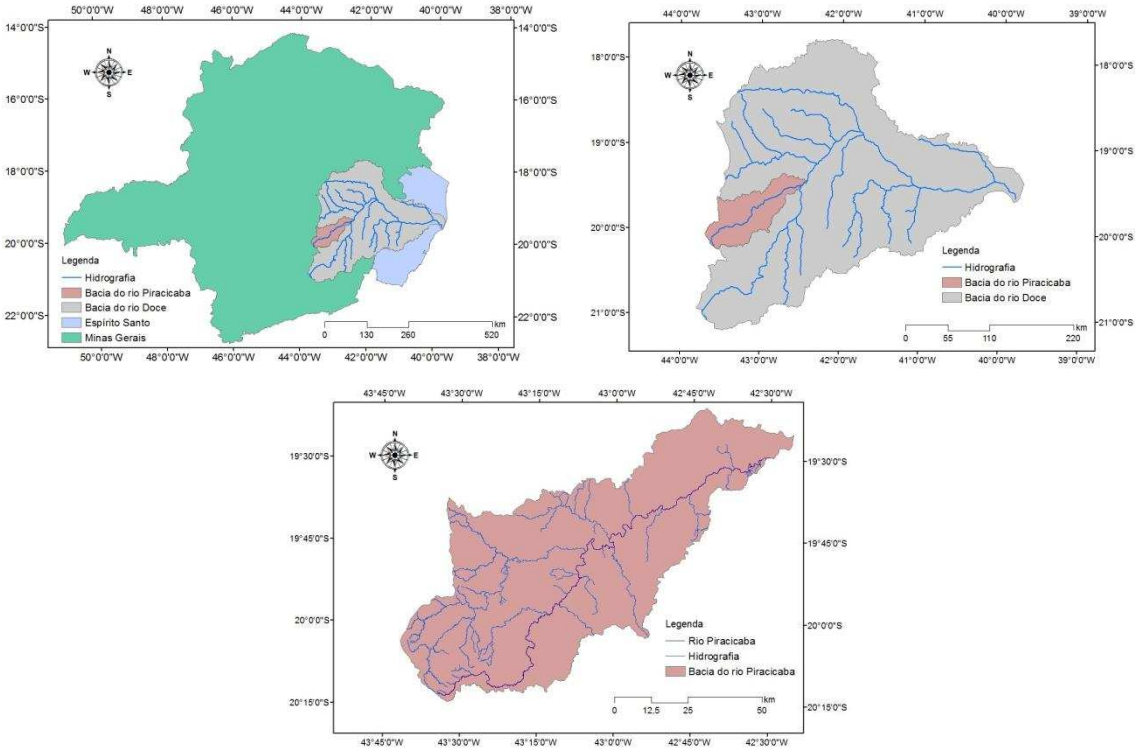


Figura 2 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba, MG.

O rio Piracicaba nasce no Município de Ouro Preto, nas proximidades da Serra do Caraça, a uma altitude de 1.680 m, e desloca-se na direção Leste, tendo sua confluência com o rio Doce na cidade de Ipatinga, a uma altitude de 210 m. Ao longo desse percurso, passa pelos Municípios de Rio Piracicaba, Nova Era e Antônio Dias e pela Região Metropolitana do Vale do Aço, formada por Coronel Fabriciano e Ipatinga, na

margem esquerda; e Timóteo, na margem direita (CONSÓRCIO ECOPLAN – LUME, 2010).

Nessa região, localiza-se um dos maiores polos da economia mineira, baseada em três atividades interligadas: mineração, reflorestamento com eucaliptos e siderurgia, com alto grau de impacto ambiental, além de expressiva concentração urbana, sendo os recursos hídricos elementos-chave no processo de crescimento econômico e desenvolvimento sustentável da bacia (CBH PIRACICABA, 2011).

A Bacia do Rio Piracicaba foi uma das pioneiras a ter o enquadramento dos cursos d'água definidos, tornando-se referência no país. O enquadramento dos cursos d'água em classes de uso foi homologado pela Deliberação Normativa do Conselho Estadual de Política Ambiental nº 9, de 19 de abril de 1994, passando em 2008 por uma revisão e atualização de seus usos (atuais e futuros) em cada trecho (Figura 3).

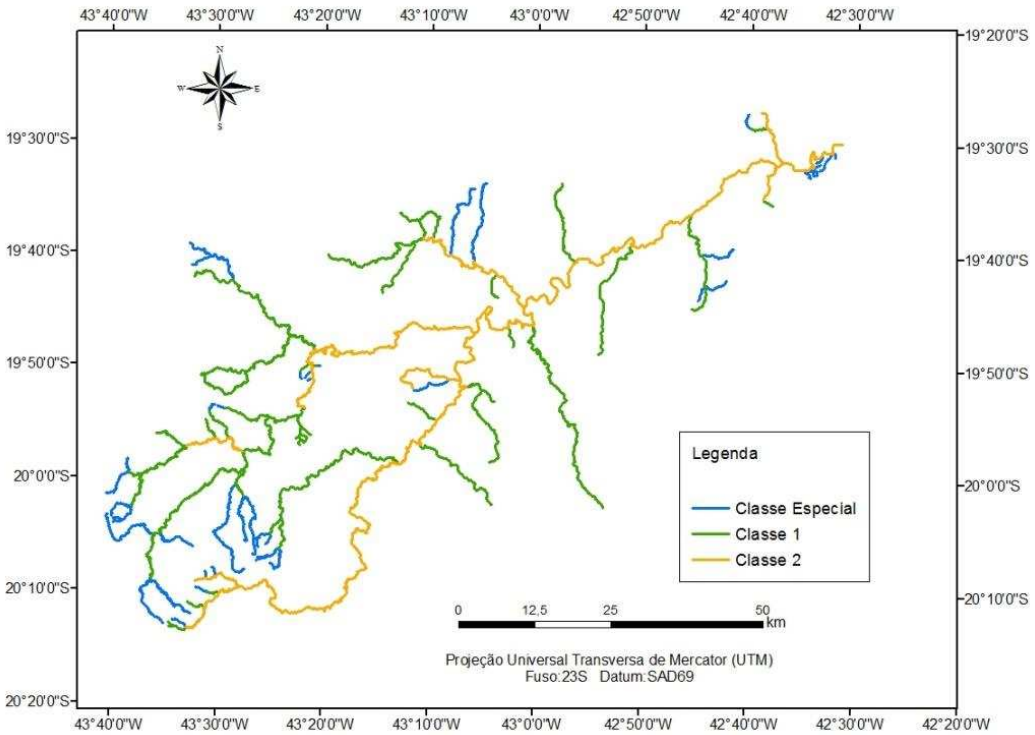


Figura 3 – Enquadramento dos cursos d'água em classes de uso para a Bacia do Rio Piracicaba.
Fonte: Adaptado de CONSÓRCIO ECOPLAN – LUME, 2008.

3.2. Modelo Digital de Elevação Hidrograficamente Condicionado (MDEHC)

A construção da base de dados geográfica é essencial no desenvolvimento de ferramentas de apoio à gestão dos recursos hídricos, pois é necessário combinar as informações hidrológicas, cadastrais e as regras administrativas da gestão com os

elementos geoespaciais que descrevem o comportamento da rede de drenagem (MARQUES, 2010).

3.2.1. Amostragem

Para a construção da base geográfica, utilizou-se o Modelo Digital de Elevação (MDE), com resolução de 30 m, obtida a partir das imagens de satélite ASTER, resultado de um consórcio entre a NASA, o Ministério da Economia, Comércio e Indústria do Japão (METI), o *Earth Resources Data Analysis Center* (ERSDAC) e o *United States Geological Survey* (USGS)[1].

A hidrografia ottocodificada da Bacia do Rio Piracicaba foi um dado básico no desenvolvimento do sistema, tendo em vista que, a partir da ottocodificação dos segmentos e do relacionamento destes com as seções de interesse, foi possível a determinação das interferências a montante e a jusante das seções em análise. Essa amostragem foi obtida na ANA, no portal de Metadados Geoespaciais, nas escalas 1:50.000 e 1:100.000. O sistema de projeção utilizado foi o Universal Transversa de Mercator (UTM), *datum* SAD69 (*South American Datum 1969*), zona 23S. A base hidrográfica foi unifilar, ou seja, os mesmos lagos e reservatórios foram representados de forma linear.

3.2.2. Processamento do MDE

No processamento do MDE, foram utilizados os recursos do programa computacional ESRI ArcGis 10.2, para a manipulação dos dados geoespaciais. Por agrupar uma série de rotinas padronizadas para caracterização hidrográfica e, ainda, integrar uma estrutura de banco de dados, foram utilizadas as ferramentas do Arc Hydro, uma extensão do ArcGis, para modelagem consistente de bacias hidrográficas. A metodologia encontra-se detalhada em Maidment (2002) e Fan e Collischonn (2009).

O primeiro procedimento realizado para que o MDE se tornasse hidrograficamente consistente foi o seu recondicionamento pela imposição de uma feição linear sobre ele, no caso a hidrografia ottocodificada. Esse processo é conhecido como *Stream – Burning*, pois a rede de drenagem é marcada sobre o MDE e a ferramenta utilizada foi a *DEM Reconditioning*.

[1] <http://gdex.cr.usgs.gov/gdex>.

A modificação do MDE resultou em depressões espúrias (células com valor de elevação menor que das células vizinhas) na área de estudo, sendo necessário seu preenchimento através da função *Fill Sinks*.

Em seguida, gerou-se a direção do escoamento superficial, que consiste em analisar o MDE com o objetivo de definir para cada pixel uma única direção de fluxo da água, por meio da ferramenta *Flow Direction*. O resultado é uma imagem raster, em que para cada pixel é atribuído um valor ou código que denota para qual dos vizinhos ele drena.

Com operações de vizinhança e conectividade, foi calculado o número de pixels localizados a montante de cada célula, obtendo-se, assim, o fluxo acumulado, por meio da ferramenta *Flow Accumulation*, tendo como arquivo de entrada a direção de escoamento gerada no passo anterior. O fluxo acumulado foi utilizado no sistema para o cálculo da área de drenagem ao longo da hidrografia.

Posteriormente, gerou-se a rede de drenagem em formato raster. Nesse caso, foi necessário definir o limite de pixels a partir do qual começa a rede de drenagem. Para este estudo, utilizou-se um acúmulo de 250 células, levando em consideração a escala da hidrografia ottocodificada vetorizada, pois, quanto menor o valor-limite adotado, maior a densidade da rede de drenagem.

Para finalizar, fez-se a delimitação da Bacia do Rio Piracicaba com a função *Bacth Subwatershed Delineation* e, posteriormente, novo preenchimento das depressões espúrias.

3.2.3. Validação do MDE

Com o objetivo de validar o MDE, fez-se a comparação da hidrografia numérica gerada com a hidrografia ottocodificada do IBGE, através da sobreposição delas, apresentadas conforme mostrado na Figura 1A (Apêndice A). Na Figura 2A (Apêndice A) é apresentado o MDEHC gerado.

3.3. Disponibilidade hídrica anual

Visando estimar a vazão mínima de referência com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$), adotada para fins de outorga no Estado de Minas Gerais, foram analisados os dados consistidos de quatro estações fluviométricas (Tabela 3 e

Figura 4), pertencentes à rede hidrometeorológica da ANA, disponibilizados no Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb).

Tabela 3 – Estações fluviométricas utilizadas na estimativa e regionalização das vazões mínimas da Bacia do Rio Piracicaba

Código	Estação	Latitude (Sul)	Longitude (Oeste)	Área de drenagem (km^2)	Curso d'água
56640000	Carrapato (Brumal)	19º58'18''	43º27'32''	609	Ribeirão Santa Bárbara
56610000	Rio Piracicaba	19º55'54''	43º10'23''	1.160	Rio Piracicaba
56659998	Nova Era IV	19º45'56''	43º1'58''	3.060	Rio Piracicaba
56696000	Mario de Carvalho (PCD)	19º31'27''	42º38'27''	5.270	Rio Piracicaba

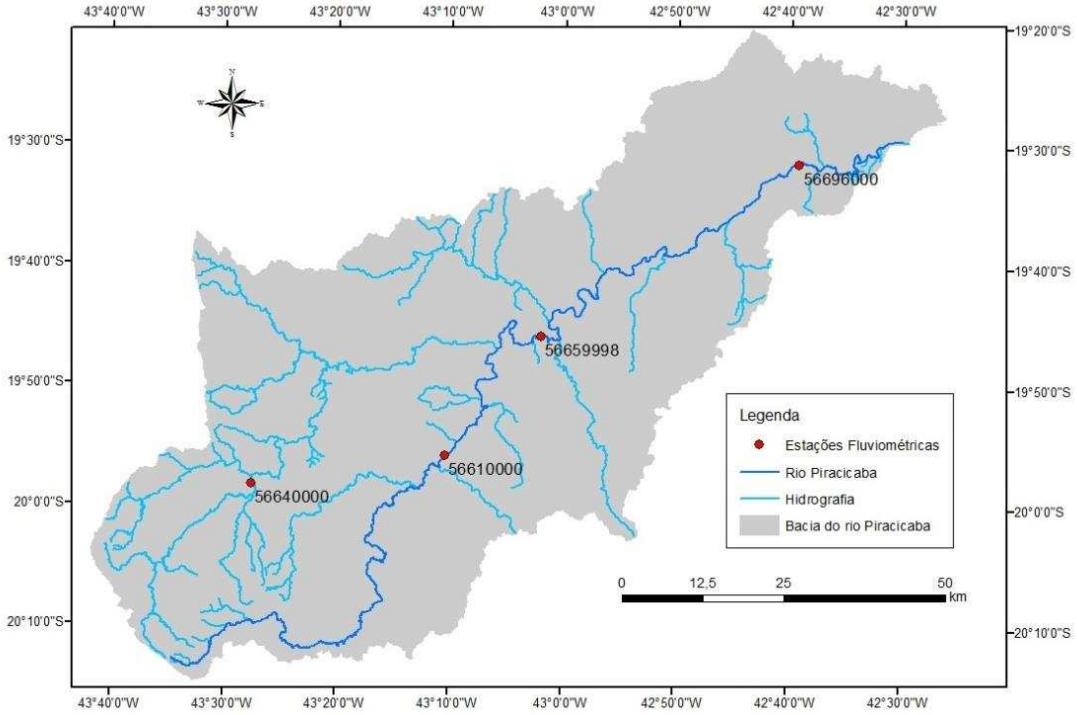


Figura 4 – Mapa de localização das estações fluviométricas utilizadas no estudo.

Inicialmente, foram elaborados diagramas de barras das estações fluviométricas, a fim de definir o período de dados disponíveis em cada estação, de forma a permitir a identificação do período-base (período comum de dados) a ser utilizado no estudo.

Em seguida, o ano hidrológico foi determinado com a finalidade de servir de base temporal para análise dos dados, em substituição ao ano civil. A determinação do ano hidrológico foi feita por meio da observação da distribuição anual das vazões, ou seja, analisando a variabilidade do regime hidrológico da bacia.

Foram elaboradas, para cada estação fluviométrica, as séries anuais e quadrimestrais de vazões com sete dias de duração (Q_7) e, de posse do mapa de localização das estações, foram identificados os valores inconsistentes de vazão a partir da análise de continuidade das vazões desde a cabeceira (seções de montante) até a foz da bacia (seções de jusante). Finalmente, para a determinação da $Q_{7,10}$, foi identificado, para cada estação fluviométrica, o modelo probabilístico com melhor ajuste às séries de Q_7.

Com o objetivo de otimizar as informações hidrológicas e, assim, obter a $Q_{7,10}$ em diversas seções de interesse ao longo da hidrografia e que não possuem medições, foi utilizada a técnica de regionalização de vazões descrita por Eletrobrás (1985), que se baseia na identificação de regiões hidrologicamente homogêneas e no ajuste de equações de regressão entre as diferentes variáveis a serem regionalizadas e as características físicas e climáticas das bacias de drenagem para cada região homogênea.

Considerando o número limitado de estações fluviométricas na Bacia do Rio Piracicaba, adotou-se uma região homogênea, e a área de drenagem foi a única característica física utilizada para o ajuste das equações de regionalização.

Para determinar a vazão de referência ($Q_{7,10}$), foi utilizado o software SisCAH.1.0 – Sistema Computacional para Análises Hidrológicas, e para a obtenção das equações de regionalização, o software SisCORV.1.0 – Sistema Computacional para Regionalização de Vazões, ambos desenvolvidos pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH)[2] da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Os resultados da estimativa das vazões mínimas e a regionalização de vazões estão apresentados nas Tabelas 1B e 2B (Apêndice B).

3.4. Cadastros de usuários de água

Considerando que o sistema proposto tem como base de dados as outorgas de captação concedidas, foi solicitado ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) o cadastro de usuários de captação de água na área de abrangência da Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba. Entre os dados disponibilizados no cadastro, têm-se as coordenadas geográficas das outorgas, o tipo da outorga, o valor de vazão concedida, o período de vigência, o número da Portaria, a validade e outros.

[2] <http://www.ufv.br/dea/gprh>.

O cadastro de usuários de água da Bacia do Rio Piracicaba fornecido pelo IGAM totalizou 6.220 interferências. Porém, foi necessária a utilização de filtros, de forma a selecionar os usuários que fazem captação superficial, excluindo das análises as captações subterrâneas. Selecionaram-se as interferências considerando o *status* do processo como outorga deferida, renovada e retificada. Os demais foram excluídos, uma vez que se tratava de cadastro efetivado (usos insignificantes), outorga arquivada, cancelada, indeferida, vencida e outros.

Em seguida, foram excluídos os usuários com modo de uso de água como canalização/retificação de curso d'água, barramento em curso d'água sem captação, travessia rodoferroviária, dragagem, limpeza e desassoreamento de curso d'água, uma vez que eles não interferem na disponibilidade hídrica quantitativa. Consideraram-se as Portarias vigentes até janeiro de 2013, para implementar no banco de dados do sistema.

O cadastro de usuários de água utilizado para análise dos lançamentos de efluentes foi a Declaração de Carga Poluidora dos empreendimentos licenciados, disponibilizado pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), uma vez que o órgão gestor de recursos hídricos convocará para regularização da outorga de diluição de efluentes, inicialmente, esses empreendimentos.

Apesar das várias modalidades de outorga, foram utilizados somente os dados de captação de águas superficiais e diluição de efluentes, por haver critérios bem estabelecidos na legislação e exigirem a atualização da disponibilidade hídrica.

De posse dos cadastros de usuários, foi necessária a análise dos dados constantes nas planilhas, a fim de identificar inconsistências, como registros de captação sem dados de vazões e processos sem coordenadas geográficas, de forma a não tornar as bases de dados geográficos e hidrológicos inconsistentes.

3.5. Cálculo das vazões de diluição decorrentes dos lançamentos de efluentes

Para cada lançamento de efluente, é necessário o cálculo da vazão apropriada para diluição da carga poluente e, também, a contribuição dos lançamentos a montante, e a soma desses valores não poderá ultrapassar o limite estipulado em legislação.

Para fins de determinação da vazão de diluição, adotou-se a metodologia proposta por MMA (2000) e adotada pelo IGAM, em que a vazão de diluição (equação 2) pode ser determinada por meio da equação do balanço de massa (equação 1).

$$C_e Q_e + C_r Q_r = C_m (Q_e + Q_r) \quad (1)$$

$$Q_{dilui} = Q_e \frac{(C_e - C_{máx})}{(C_{máx} - C_{nat})} \quad (2)$$

em que:

Q_{dilui} = vazão de diluição requerida do lançamento para DBO (m^3s^{-1});
Q_e = vazão de lançamento do efluente (m^3s^{-1});
C_e = concentração de DBO no efluente (mgL^{-1});
C_{max} = concentração máxima permitida de DBO no corpo receptor (mgL^{-1});
C_{nat} = concentração natural da DBO no rio onde é realizado o lançamento (mgL^{-1});
C_r = concentração da DBO no rio (mgL^{-1});
C_m = concentração da DBO no rio após a mistura com o efluente (mgL^{-1}); e
Q_r = vazão do corpo receptor (m^3s^{-1}).

Para obtenção da equação da vazão de diluição, a partir da equação de balanço de massa as seguintes premissas foram adotadas (ROQUES, 2006):

- Considera-se que o corpo de água possui carga natural de determinado poluente. Dessa forma, a concentração do corpo receptor (C_r) corresponde à concentração natural (C_{nat}). Assim, a concentração "disponível para consumo" é menor, porém mais próxima da realidade do que se não fosse contemplada a existência de uma concentração natural no sistema.
- A concentração da mistura (C_m) é equivalente à concentração máxima permitida do poluente no curso d'água (C_{max}).
- A vazão do corpo receptor (Q_r) é correspondente à parcela de vazão desse corpo receptor necessária para diluir (Q_{dilui}) uma concentração de determinado poluente presente no efluente lançado.

Observa-se, através da equação 1, que a carga resultante no corpo receptor após a mistura é dada pela multiplicação da concentração da mistura pelo somatório das vazões de lançamento e do corpo receptor. Partindo da premissa de que a concentração da mistura deva respeitar a concentração máxima permitida, esse somatório de vazões é o valor necessário para diluir o efluente de modo que o corpo de água permaneça com a concentração equivalente à estabelecida para o poluente, quando do enquadramento do curso d'água. Para respeitar a concentração máxima permitida no corpo receptor, ao se lançar um efluente, haverá indisponibilização de uma vazão correspondente à soma da

vazão de diluição (parcela do corpo de água necessária para diluir o poluente) e a vazão do seu próprio lançamento, tal como mostrado na equação 3.

$$Q_{indisp} = Q_{dilui} + Q_e \tag{3}$$

em que:

Q_{indisp} = vazão indisponível no curso d'água, devido ao lançamento de efluentes (m^3s^{-1});
Q_{dilui} = vazão de diluição requerida do lançamento para DBO (m^3s^{-1}); e
Q_e = vazão de lançamento do efluente (m^3s^{-1}).

Entende-se que a vazão lançada deva passar a fazer parte do corpo d'água, sendo utilizada para diluir o próprio lançamento, juntamente com a vazão de diluição, devendo ser indisponibilizada para diluição do referido poluente.

O método empregado considera, ainda, que a vazão indisponibilizada para outras diluições do mesmo poluente, denominada vazão de diluição, está sujeita a decaimento, caso o poluente seja de natureza não conservativa. Neste estudo, o decaimento da DBO foi baseado no modelo proposto por Streeter e Phelps, em 1925 (VON SPERLING, 2007), conforme a equação 4.

$$l = l_0 e^{-k_1 t} \tag{4}$$

em que:

l = concentração remanescente de DBO (mgL^{-1});
l_0 = concentração inicial de DBO (mgL^{-1});
K_1 = coeficiente de desoxigenação (dia^{-1}); e
t = tempo (dias).

Com base nas equações 2 e 4, chega-se à equação 5 (MMA, 2000; SALIM et al., 2007; MARQUES, 2010), que representa a vazão indisponível para o parâmetro DBO, a jusante do lançamento, considerando o seu decaimento com o tempo.

$$Q_{indisp_x} = \frac{(Q_{dilui\,x0} + Q_e) C_{máx\,x0}\, e^{-k_1 t}}{C_{máx\,x}} \tag{5}$$

em que:

Q_{indisp_x} = vazão que se torna indisponível em uma seção a jusante do lançamento para diluição de DBO (m^3s^{-1});

Q_e	=	vazão de lançamento do efluente (m^3s^{-1});
$Q_{dilui\ x0}$	=	vazão de diluição no trecho onde ocorre o lançamento (m^3s^{-1});
$C_{max\ x0}$	=	concentração máxima permitida de DBO para o trecho do corpo receptor onde ocorre o lançamento (mgL^{-1});
$C_{max\ x}$	=	concentração máxima permitida de DBO para uma seção a jusante do lançamento onde se quer calcular a vazão indisponível (m^3s^{-1});
K_1	=	coeficiente de desoxigenação (dia^{-1}); e
t	=	tempo de percurso do ponto de lançamento até o trecho a jusante (dias).

Uma das vantagens de utilizar tal metodologia baseia-se no fato de ela permitir a avaliação do pedido de outorga, considerando o usuário de forma individual, sem considerar os demais lançamentos (MMA, 2000). Assim, a vazão de diluição é calculada para cada lançamento, e a carga de DBO remanescente de lançamentos a montante deverá utilizar parcela da água disponível para a diluição no respectivo ponto.

Foi identificada para cada ponto de lançamento dos efluentes na Bacia do Rio Piracicaba e a jusante deste a classe de enquadramento do trecho, utilizando os valores de concentração máxima de DBO estipulados na Resolução CONAMA nº 357/2005 (Classe 1 = 3 mgL^{-1} e Classe 2 = 5 mgL^{-1}), para o cálculo da vazão de diluição (equação 2).

Diferentemente do caso de outorga de captações, em que a vazão demandada é adicionada às demandas de montante de todos os trechos a jusante, sem alterações, a vazão indisponível é modificada pelos processos de autodepuração na calha do rio (equação 5).

O coeficiente de desoxigenação (K_1) depende das características da matéria orgânica, além da temperatura e da presença de substâncias inibidoras, foi obtido por meio de valores médios apresentados na Tabela 4 (VON SPERLING, 2005).

Tabela 4 – Valores típicos de K_1

Origem	**K_1 (dia^{-1})**
Esgoto bruto concentrado	0,35 – 0,45
Esgoto bruto de baixa concentração	0,30 – 0,40
Efluente primário	0,30 – 0,40
Efluente secundário	0,12 – 0,24
Curso d'água com águas limpas	0,08 – 0,20

Fonte: Adaptado de FAIR et al., 1973; ARCEIVALA, 1981 *apud* Von SPERLING, 2005.

Para concentração natural do poluente no rio, foi considerado o valor de 1,0 mgL^{-1}, conforme sugerido por Von Sperling (2005), pois, de acordo com esse autor, um rio

bastante limpo possui uma DBO natural decorrente da matéria orgânica oriunda de folhas e galhos de árvore, peixes mortos, fezes de animais etc. Valor esse adotado pela ANA, na análise das outorgas de diluição de efluentes.

Outra variável necessária para o cálculo da vazão de diluição é o tempo de percurso do poluente entre o ponto de lançamento e a seção de interesse a jusante. Para isso, utilizou-se a velocidade de escoamento de 0,5 ms^{-1} (ANA, 2013; MARQUES, 2010; COLLISCHONN; LOPES, 2009), juntamente com a distância entre as seções, determinada através do MDEHC.

3.6. Cálculo das vazões passíveis de outorga

A estimativa das vazões ainda passíveis de outorga em uma seção de interesse baseou-se na análise entre a disponibilidade hídrica na seção de interesse e as demandas existentes a montante e a jusante. Destaca-se que os limites máximos outorgados para captação e diluição são distintos, ou seja, 50% da $Q_{7,10}$ em uma seção do curso d'água é destinada unicamente à captação e o restante, ou seja, a vazão remanescente correspondente aos outros 50% da $Q_{7,10}$, é destinado à diluição dos efluentes. Dessa forma, a vazão disponível para novas outorgas de captações e diluição de efluentes, considerando a análise de montante, estão representadas pelas equações 6 e 7, respectivamente.

$$Q_{disp_cap} = xQ_{mr} - \sum Q_{cap} \quad (6)$$

$$Q_{disp_dilui} = xQ_{mr} - \sum Q_{indisp} \quad (7)$$

em que:

Q_{disp_cap}	=	vazão disponível para novas outorgas de captação na seção de interesse, considerando as outorgas a montante (m^3s^{-1});
Q_{disp_dilui}	=	vazão disponível para novas outorgas de diluição de efluentes na seção de interesse, considerando as outorgas a montante (m^3s^{-1});
x	=	percentual da Q_{mr} passível de ser outorgada, expressa em decimal, adimensional;
Q_{mr}	=	vazão mínima de referência estimada na seção de interesse (m^3s^{-1});
Q_{cap}	=	vazão outorgada para captação a montante da seção de interesse, (m^3s^{-1}); e
Q_{indisp}	=	vazão indisponível referente aos lançamentos de efluentes a montante da seção de interesse, m^3s^{-1}.

Caso no ponto de interesse seja solicitada uma nova outorga de captação ou diluição de efluentes, a vazão disponível deverá ser subtraída do valor captado ou indisponível pelo lançamento, expressando, assim, a vazão remanescente para futuras outorgas.

A obtenção da vazão mínima de referência (Q_{mr}) foi feita, conforme o procedimento descrito anteriormente para a estimativa da $Q_{7,10}$, pelo método de regionalização de vazões, dependendo apenas da área de drenagem de cada seção de interesse.

Na soma das vazões de captação outorgadas a montante da seção em análise, o sistema consulta as interferências a montante, tendo como referência a hidrografia ottocodificada para localização.

Já na análise da disponibilidade hídrica para diluição dos efluentes o sistema soma todas as contribuições existentes na seção, ou seja, determina para cada lançamento a montante qual a sua vazão indisponível na seção em análise.

Segundo Catalunha (2004), qualquer retirada em uma seção do curso d'água acarreta mudanças nas condições de uso das seções a jusante. Desse modo, não se pode outorgar em uma seção vazões que comprometam a disponibilidade hídrica das outorgas emitidas a jusante da seção de interesse. Assim, na situação em que se analisa a disponibilidade hídrica a jusante, as outorgas emitidas a jusante, o sistema identifica para cada ponto de outorga a jusante da seção de interesse a vazão disponível para outorga de captação de acordo com a equação 8.

$$Q_{disp_J\,cap} = xQ_{mr} - \sum Q_{cap} \qquad (8)$$

em que:

Q_{disp_jcap} = vazão disponível para novas outorgas a jusante da seção em análise de cada captação de água (m^3s^{-1}).

Posteriormente aos cálculos feitos de disponibilidade hídrica máxima outorgável para captação de água na seção de interesse e nas seções a jusante desta, através das equações 6 e 8, o sistema apresenta a menor vazão disponível, embasando a decisão de emitir ou não a outorga. Dessa forma, a disponibilidade hídrica das outorgas a jusante pode limitar o uso dos recursos hídricos na seção de interesse, mesmo que neste local a disponibilidade hídrica seja adequada à retirada. Assim, é possível assegurar vazões

remanescentes ao processo de outorga em conformidade com a legislação nos domínios de gestão (análise de jusante).

A partir da ativação da outorga pelo órgão gestor, o sistema atualiza as vazões mensais disponíveis para outorga (disponibilidade outorgável) ao longo da hidrografia até o exutório da bacia.

3.7. Índice de conflito pelo uso da água na gestão de recursos hídricos (i_{cg})

Visando identificar os segmentos de rios com potenciais conflitos pelo uso da água na Bacia do Rio Piracicaba, adotou-se metodologia proposta por Moreira et al. (2012), através da qual se buscam compatibilizar o uso, o controle e a proteção dos recursos hídricos.

O índice de conflito pelo uso da água na gestão de recursos hídricos (i_{cg}) deve ser adotado, tendo o segmento de um rio como unidade de estudo, sendo expresso pela equação 9.

$$i_{cg} = \frac{Q_{out}}{xQ_{mr}} \tag{9}$$

em que:

i_{cg} = índice de conflito pelo uso da água na gestão de recursos hídricos;
Q_{out} = vazão outorgada a montante da foz do segmento em estudo (m^3s^{-1});
x = Q_{mr} passível de ser outorgada, adimensional; e
Q_{mr} = vazão mínima de referência estimada na foz do segmento em estudo, (m^3s^{-1}).

Considerando a variação dos valores de Q_{out} em relação à xQ_{mr}, tem-se a seguinte escala de variação de valores de i_{cg}:

$0 \leq i_{cg} \leq 1$ = situação na qual as vazões outorgadas a montante da foz do segmento em estudo se encontram dentro dos limites legais; e
$i_{cg} > 1$ = situação na qual as vazões outorgadas a montante da foz do segmento em estudo superam os limites previstos pela legislação.

Visando a uma representação gráfica dos valores de i_{cg} por meio da elaboração de mapas, na situação em que as vazões outorgadas a montante da foz do segmento em estudo estão dentro dos limites legais ($0 \leq i_{cg} \leq 1$), Moreira et al. (2012) propuseram uma estratificação para caracterização das faixas de vazão ainda permissíveis de serem outorgadas:

	(i_{cg} = 0), ou seja, vazão ainda permissível de ser outorgada igual à vazão máxima passível de ser outorgada na foz do segmento em estudo;
	(0 < i_{cg} ≤ 0,7), ou seja, a vazão ainda permissível de ser outorgada superior a 30% da vazão máxima passível de outorga;
	(0,7 < i_{cg} ≤ 0,9), ou seja, a vazão ainda permissível de ser outorgada inferior a 30% e superior a 10% da vazão máxima passível de outorga; e
	(0,9 < i_{cg} ≤ 1), ou seja, vazão ainda permissível de ser outorgada inferior a 10% da vazão máxima passível de outorga.

Para caracterizar a condição em que as vazões outorgadas superam os limites previstos pela legislação (i_{cg} > 1), Moreira et al. (2012) utilizaram estratificação do intervalo em duas classes. Dado que o limite legal já foi ultrapassado, para esse caso as faixas adotadas de valores de i_{cg} terão como referência a Q_{mr} em substituição a xQ_{mr}. Para tanto, basta multiplicar o valor de i_{cg} pelo percentual da Q_{mr} passível de ser outorgada (x). Dessa forma, o limiar para estratificação da condição em que as outorgas emitidas superam a vazão permissível de ser outorgada é dado por $x*i_{cg}$.

Nesse caso, considerando a situação em que o valor de Q_{out} é superior a xQ_{mr}, a variação dos valores de i_{cg} está entre os respectivos intervalos:

$x*i_{cg} \leq 1$ = vazão outorgada superior a xQ_{mr} e inferior ou igual à vazão mínima de referência; e

$x*i_{cg} > 1$ = vazão outorgada superior à vazão mínima de referência.

Para essa condição, utiliza-se o seguinte simbolismo:

	($x*i_{cg} \leq 1$), ou seja, vazão outorgada superior a xQ_{mr} e inferior ou igual à vazão mínima de referência; e
	($x*i_{cg} > 1$), ou seja, vazão outorgada superior à vazão mínima de referência.

3.8. Desenvolvimento e funcionalidades do sistema

O sistema foi desenvolvido utilizando tecnologias *open source*, ou seja, sem custo para o uso, possibilitando uma economia e liberdade na sua expansão. O acesso ao sistema é realizado através de um navegador *web*, a partir de qualquer local com acesso à internet.

A escolha das tecnologias utilizadas no sistema foi realizada a partir da análise das documentações de diversas soluções livres. Buscou-se, ainda, verificar as tecnologias que são efetivamente utilizadas em aplicações baseadas nos sistemas de informações geográficas na internet.

Para o desenvolvimento do sistema foram utilizadas diversas tecnologias, entre elas: as linguagens de programação Java, Java Server Faces e Java script; as linguagens de marcação XML, XHTML; linguagem de estilo CSS; os servidores de dados Apache Tomcat e Geoserver; e o sistema gerenciador de banco de dados Postgre SQL, com a extensão PostGIS. Como ferramenta de auxílio ao desenvolvimento, utilizou-se a IDE (Integrated Development Environment) Eclipse.

Para o armazenamento dos dados, utilizou-se o sistema gerenciador de banco de dados (SGBD) Postgre SQL. O Postgre SQLé um banco de dados objeto-relacional que implementa sofisticadas funcionalidades e possui alta confiabilidade e estabilidade. O Postgre SQL, no entanto, não tem a capacidade de armazenar dados georreferenciados, de modo que para solucionar esse problema empregou-se a extensão PostGIS, que torna possível armazenar esse tipo de dados no Postgre SQL.

O sistema foi estruturado utilizando um estilo arquitetural em três camadas (Figura 5), sendo definidas: a camada de dados que deve possuir suporte ao armazenamento de dados geográficos; a camada de negócios que é composta tanto por um servidor de aplicação quanto por um servidor de mapas; e a camada de apresentação, em que o sistema pode ser acessado preferencialmente por um navegador de internet.

De forma a possibilitar a implantação do sistema, foi criada uma infraestrutura composta por uma máquina virtual, executando o sistema operacional Ubuntu Server. Apesar de utilizar uma distribuição Linux, todas as tecnologias necessárias para que o sistema seja disponibilizado podem ser implantadas em servidores executando o Windows Server.

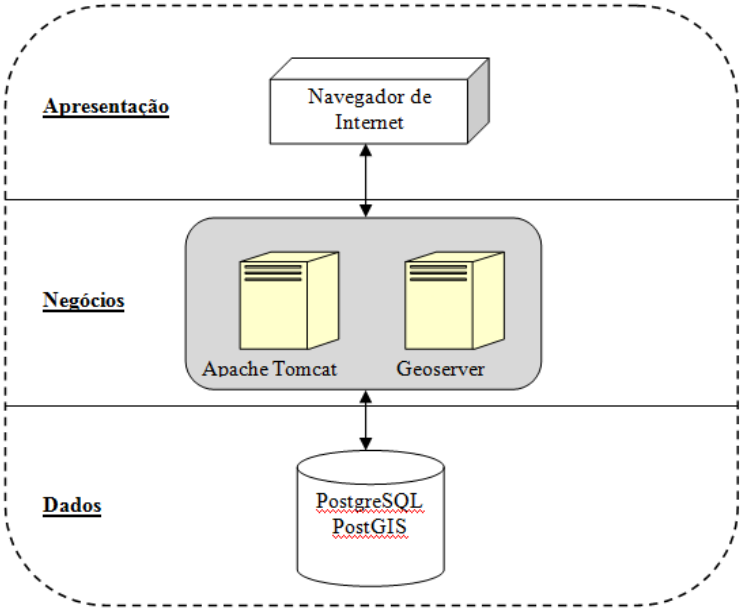


Figura 5 – Arquitetura utilizada no desenvolvimento do sistema de análise das outorgas.

As funcionalidades implementadas no sistema para análise das outorgas de captação de água e diluição de efluentes estão apresentadas na Figura 6, sendo elas: a determinação das vazões mínimas de referência para qualquer seção de interesse; as vazões de diluição e indisponível pelos lançamentos; a disponibilidade hídrica ainda passível de outorga; e os índices de conflito pelo uso da água na gestão de recursos hídricos.

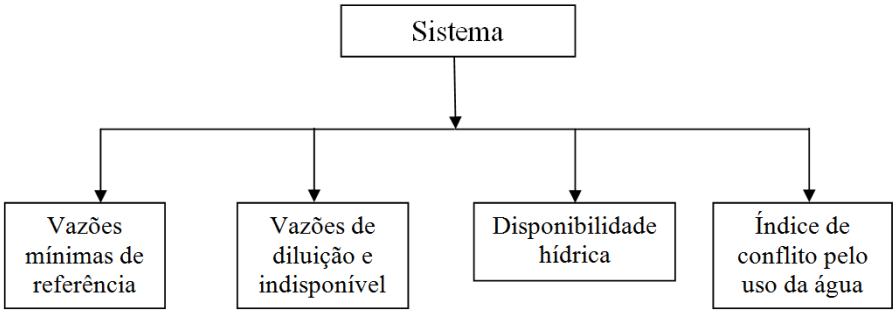


Figura 6 – Funcionalidades implementadas no sistema para análise das outorgas de captação de água e diluição de efluentes.

Para determinação da vazão mínima de referência ($Q_{7,10}$) ao longo da hidrografia, é necessária, inicialmente, a identificação da localização da seção de interesse, que pode ser feita digitando as coordenadas geográficas ou pela localização desta sobre o mapa da bacia. Posteriormente, o sistema identifica a área de drenagem e, por meio da equação de regionalização, realiza o cálculo da vazão mínima de referência.

A vazão de diluição e indisponível pelos lançamentos de efluentes é obtida através da identificação do lançamento de interesse, já cadastrado no banco de dados e, assim, o sistema utilizando as equações derivadas do balanço de massa e de decaimento dos poluentes procede à determinação das vazões. Para isso, são necessárias informações como a vazão lançada e a concentração de DBO no efluente e a classe de enquadramento observada no local do lançamento. De forma a respeitar a concentração máxima permitida de DBO no corpo receptor, o lançamento do efluente irá indisponibilizar uma vazão correspondente à soma da vazão de diluição e à do lançamento, uma vez que a vazão lançada deve passar a fazer parte do corpo d'água para diluir o próprio lançamento.

A disponibilidade hídrica ainda passível de outorga em uma seção de interesse é determinada por meio da escolha da seção de interesse. Posteriormente, o sistema calcula a disponibilidade hídrica máxima outorgável (50% $Q_{7,10}$), por meio da área de drenagem e da equação de regionalização. Em seguida, faz-se a análise de montante, subtraindo da disponibilidade hídrica máxima outorgável as outorgas existentes a montante da seção de interesse. Porém, no caso das captações de água, é necessário comparar esse valor com a disponibilidade hídrica nos pontos de outorga a jusante destes e, assim, o sistema retorna ao menor valor encontrado, sendo essa a vazão ainda passível de outorga na seção de interesse.

O índice de conflito pelo uso da água na gestão de recursos hídricos (i_{cg}) foi implementado com o objetivo de facilitar as análises das outorgas e ter um indicativo dos trechos dos cursos d'água com disponibilidade hídrica crítica, de forma a permitir melhor gerenciamento dos recursos hídricos nesses trechos. Para determinação do i_{cg} pelo sistema, é necessária a escolha do mês e ano para o qual se tenha interesse. Como resultados, são apresentados dois mapas, um considerando as captações de água e o outro, as diluições de efluentes, através dos quais é possível visualizar a situação dos trechos quanto à disponibilidade hídrica.

A fim de permitir o agrupamento das informações relativas à seção de interesse, desenvolveu-se um ícone na tela de apresentação dos resultados, o qual torna possível imprimir e salvar o relatório com as informações.

Para verificação das funcionalidades implementadas no sistema, fez-se um estudo de caso, de forma a analisar a disponibilidade hídrica ainda passível de outorga na bacia, considerando cinco seções ao longo do rio Piracicaba, com as seguintes áreas de

drenagem: seção 1 (5.465,0 km^2), seção 2 (4.238,0 km^2), seção 3 (3.031,0 km^2), seção 4 (959,0 km^2) e seção 5 (50,0 km^2) e apresentadas na Figura 7.

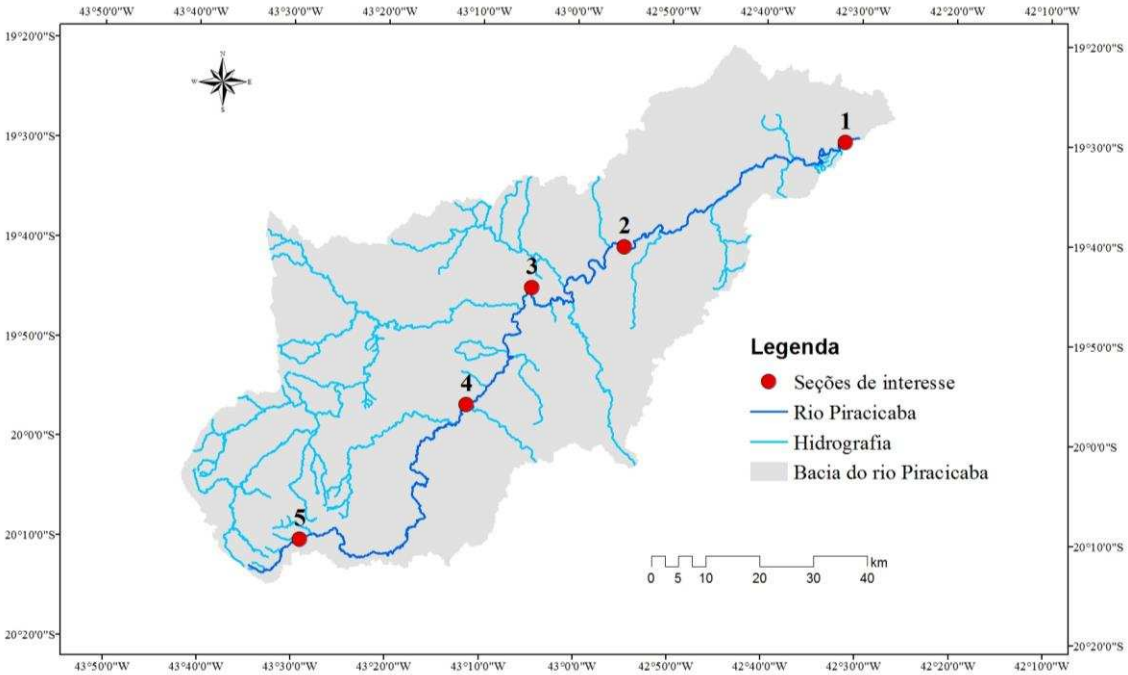


Figura 7 – Localização das seções de interesse ao longo do rio Piracicaba.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Cadastro de usuários de água

4.1.1. Declaração de Carga Poluidora

O cadastro de empreendimentos que engloba os relatórios de Declaração de Carga Poluidora da FEAM na Bacia do Rio Piracicaba, MG, contempla, ao todo, 79 declarações, representadas por 19 empresas. Porém, nem todos os empreendimentos fazem o lançamento dos efluentes diretamente nos cursos d'água, pois, de acordo com as declarações analisadas, algumas empresas têm o lançamento na rede coletora pública, pois se referem a esgoto sanitário e esgotamento de água pluvial, possuindo autorização da companhia de saneamento para o lançamento sem tratamento em sua rede coletora. Em outros casos, a destinação do efluente pode ocorrer de diversas maneiras possíveis, a citar: o efluente é direcionado através de uma instalação de recalque para outra empresa que o utiliza em seu processo; é recirculado dentro da própria empresa, através da implantação do programa de descarte zero de efluentes industriais, ou o efluente tratado é lançado no solo, sumidouro ou recolhido por empresa especializada.

Ressalta-se que em muitas declarações não foi apresentado o valor da DBO dos lançamentos, indicando, dessa forma, que a DBO não é o parâmetro mais representativo desses lançamentos. Observou-se também, após a análise espacial das coordenadas dos empreendimentos, que alguns estão fora do limite da Bacia do Rio Piracicaba e, por isso, foram excluídos da análise. Dessa forma, dos 79 empreendimentos do cadastro da FEAM, 27 foram utilizados para o cálculo da vazão de diluição e análise dos futuros pleitos de outorga (Figura 8), representando uma vazão total lançada de 3.836.460,16 m^3mês^{-1} ou 4,44 m^3s^{-1}. Após o cálculo da vazão de diluição e indisponível para cada lançamento, fez-se a soma desses valores, totalizando 2,50 m^3s^{-1} e 6,94 m^3s^{-1}, respectivamente. Constatou-se ainda que, dos 27 empreendimentos, 12 fazem o lançamento direto no rio Piracicaba, ou seja, 44% do total.

Considerando a vazão total de lançamento, observou-se que 98% estão representados por apenas três empreendimentos, localizados nas cidades de Ipatinga e Santa Bárbara. Os empreendimentos citados estão relacionados às atividades de produção de laminados planos de aço carbono e extração de minérios. Considerando a localização dos empreendimentos, constatou-se que apenas um lançamento (CP0041862012) ocorre em cursos d'água de classe 1 (Rio Conceição), enquanto os demais têm o lançamento de efluentes em cursos d'água de classe 2 e, portanto, o limite para DBO igual a 5,0 mgL^{-1}.

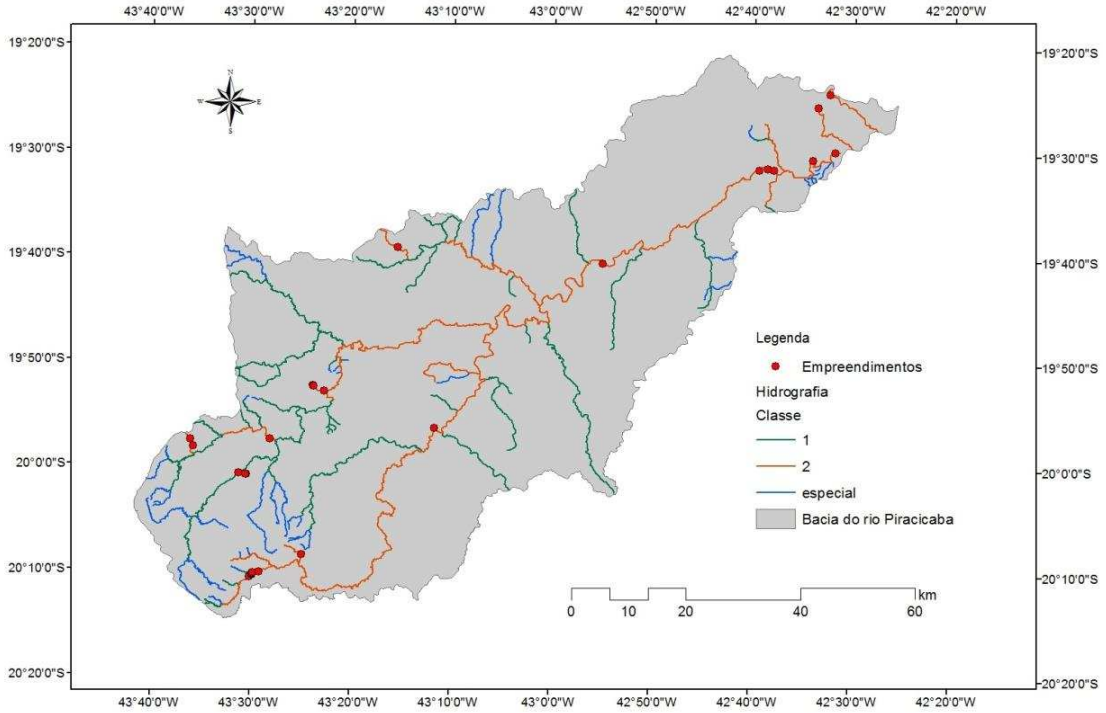


Figura 8 – Mapa de localização dos empreendimentos com a Declaração de Carga Poluidora da FEAM utilizados na análise das outorgas de diluição de efluentes na Bacia do Rio Piracicaba.

De acordo com a Deliberação Normativa COPAM nº 74/2004, os empreendimentos localizados na Bacia do Rio Piracicaba são enquadrados da seguinte forma: pequeno porte e grande potencial poluidor ou médio porte e médio potencial poluidor (Classe 3 – três empreendimentos), grande porte e médio potencial poluidor ou médio porte e grande potencial poluidor (Classe 5 – cinco empreendimentos) e grande porte e grande potencial poluidor (Classe 6 – 19 empreendimentos).

Dos empreendimentos da Classe 3, as tipologias de atividades econômicas são abate de animais de médio e grande portes (suínos, ovinos, caprinos), extração de rocha para produção de britas com ou sem tratamento e usinas de produção de concreto comum. Dos empreendimentos da Classe 5, as tipologias são representadas por lavra a céu aberto com tratamento a úmido – minerais metálicos e reciclagem ou regeneração de outros resíduos. Dos empreendimentos da Classe 6, as tipologias são representadas pela siderurgia e elaboração de produtos siderúrgicos, lavra a céu aberto com tratamento a úmido – minério de ferro e lavra a céu aberto com ou sem tratamento – rochas ornamentais.

Na Tabela 5 são apresentados os empreendimentos que possuem Declaração de Carga Poluidora pertencente à área de abrangência do estudo. De acordo essa tabela, pode-se observar que, para os empreendimentos com protocolo CP0047422012 e CP0047362012, a vazão de diluição resultou em valor negativo, uma vez que o seu cálculo é feito considerando a diferença entre a DBO do efluente e a do curso d'água, que nesse caso está representada por 5,0 mgL^{-1}. Isso se justifica pelo fato de os valores de DBO lançado serem inferiores ao limite imposto pela classe, sendo, respectivamente, iguais a 2,75 e 2,60 mgL^{-1}. Esses dois lançamentos representam 25,48% da vazão total lançada.

Para o empreendimento com protocolo CP0055192012, a DBO é igual a 4,90 mgL^{1} e, dessa forma, a vazão de diluição também é negativa. No entanto, a vazão resultante foi zero, uma vez que a diferença de DBO lançada e permitida é mínima.

Observou-se que o empreendimento com protocolo CP0045182012, a vazão lançada é a maior entre todos os usuários e, apesar de o valor de DBO não ser tão expressivo, apresentou a maior vazão de diluição e, consequentemente, a maior vazão indisponibilizada pelos lançamentos. O segundo maior valor de vazão de diluição é para o protocolo CP0055092012 e corresponde a 0,285 m^3s^{-1}, para vazão de lançamento igual a 0,004 m^3s^{-1}. Apesar do valor baixo de lançamento, a DBO é o segundo maior valor e igual a 285,1 mgL^{-1}.

Tabela 5 – Empreendimentos do cadastro de Declaração de Carga Poluidora da FEAM utilizados no estudo

Protocolo	Município	XUTM	YUTM	Curso d'água	$Q_{lançada}$ (m^3/s)	$DBO_{lançada}$ (mg/L)	$Q_{diluição}$ (m^3/s)	$Q_{indisponível}$ (m^3/s)
CP0041832012	Santa Barbara	656018	7786102	Córrego Sape	0,001505	179,2	0,06553	0,06703
CP0041852012	Santa Barbara	655958	7786042	Córrego Cristina	0,001157	186,55	0,05253	0,05369
CP0041862012	Santa Barbara	654758	7786252	Rio Conceição	0,000347	231,55	0,01967	0,02001
CP0042882012	Santa Barbara	660248	7792312	Rio São João	0,004667	25,93	0,02442	0,02909
CP0047422012	Timóteo	748298	7839202	Rio Piracicaba	0,789205	2,75	-0,44393	0,34528
CP0047362012	Timóteo	747228	7839469	Rio Piracicaba	0,342422	2,6	-0,20545	0,13697
CP0046262012	Ipatinga	756065	7850246	Ribeirão Taúbas	0,009750	8,8	0,00926	0,01901
CP0038772012	Antonio Dias	718349	7822983	Rio Piracicaba	0,000011	5,04	0,00000	0,00001
CP0039322012	Santana do Paraíso	758200	7852541	Ribeirão Ipanema	0,003819	6,52	0,00145	0,00527
CP0039132012	Timóteo	745750	7839280	Rio Piracicaba	0,002738	28,39	0,01601	0,01875
CP0046182012	Ipatinga	756065	7850246	Ribeirão Taúbas	0,009750	8,8	0,00926	0,01901
CP0048272012	Ipatinga	755125	7840900	Rio Piracicaba	0,009322	41,8	0,08576	0,09508
CP0045182012	Ipatinga	759068	7842262	Rio Piracicaba	3,232500	7,84	2,29508	5,52758
CP0050892012	Itabira	682573	7825886	Córrego Conceição	0,004195	51	0,04824	0,05244
CP0051552012	Rio Piracicaba	688957	7794059	Córrego do Restaurante	0,000790	311	0,06040	0,06119
CP0052342012	São Gonçalo do Rio Abaixo	667778	7801582	Córrego Canal	0,006841	22	0,02908	0,03592
CP0052352012	São Gonçalo do Rio Abaixo	667808	7801492	Córrego Canal	0,002049	21	0,00819	0,01024
CP0052362012	São Gonçalo do Rio Abaixo	669698	7800652	Córrego Brucutu	0,001296	103	0,03176	0,03306
CP0054222012	Mariana	665678	7771882	Córrego São Luiz	0,000645	36,3	0,00505	0,00569
CP0054542012	Ouro Preto	656575	7768014	Rio Piracicaba	0,003000	101	0,07200	0,07500
CP0054702012	Mariana	657038	7768372	Rio Piracicaba	0,001110	15	0,00278	0,00389
CP0054902012	Mariana	657038	7768552	Rio Piracicaba	0,000139	33	0,00097	0,00111
CP0055092012	Mariana	657038	7768582	Rio Piracicaba	0,004079	285,1	0,28564	0,28972
CP0055132012	Mariana	657188	7768732	Rio Piracicaba	0,000008	78,5	0,00014	0,00015
CP0055192012	Mariana	658298	7768912	Rio Piracicaba	0,000002	4,9	-0,00000	0,00000
CP0055432012	Barão de Cocais	646857	7791083	Córrego Capim Gordura	0,003000	25,2	0,01515	0,01815
CP0055442012	Barão de Cocais	646334	7792279	Córrego Capim Gordura	0,006000	17,3	0,01845	0,02445

4.1.2. Cadastro de outorgas de captação de água

Os usuários de captação outorgados na bacia totalizaram 57 interferências com demanda de 4,69 m^3s^{-1}, e 98% desse valor corresponde a apenas três empreendimentos, localizados nas cidades de Ipatinga e Santa Bárbara. Os usuários estão apresentados na Figura 9 e na Tabela 1C (Apêndice C).

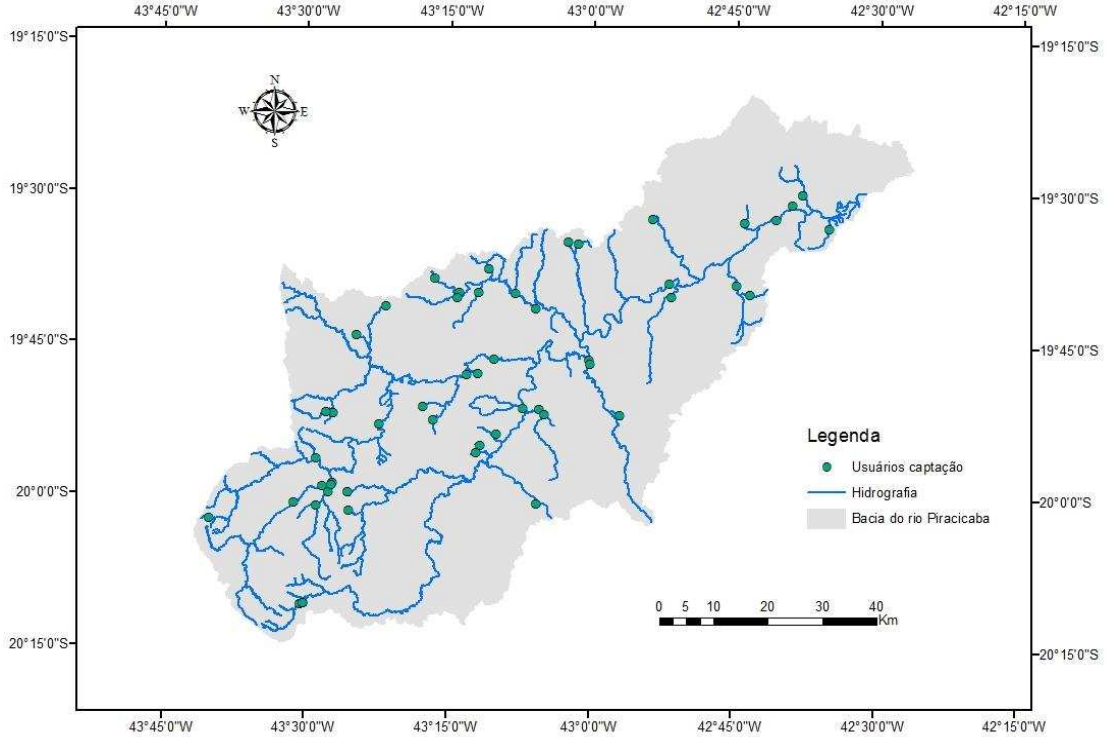


Figura 9 – Mapa de localização dos usuários outorgados para captação de água na Bacia do Rio Piracicaba.

Entre as finalidades de uso observadas no cadastro de usuários outorgados para captação, citam-se: abastecimento público (17 usuários com vazão demandada de 1,026 m^3s^{-1}), consumo industrial (26 usuários com vazão demandada de 3,52 m^3s^{-1}), irrigação (6 usuários com vazão demandada de 0,10 m^3s^{-1}), extração mineral e dessedentação animal (8 usuários com vazão demandada de 0,04 m^3s^{-1}), entre outras finalidades. Dessa forma, 75,05% da vazão outorgada está representada pelo setor industrial, correspondendo a mais de 45% dos usuários outorgados.

4.2. Apresentação do sistema

O Sistema para análise das outorgas de captação de água e diluição de efluentes na Bacia do Rio Piracicaba, MG, encontra-se disponível no endereço eletrônico: <http://www.sisrh.ufv.br>, podendo ser acessado a partir de qualquer navegador de internet. A Figura 10 exibe a tela de apresentação do sistema, constando seu nome, as instituições envolvidas e a barra de ferramentas superior, assim como o menu (funcionalidades). Para melhor visualização dos mapas exibidos nessa tela, o usuário pode clicar em cada um e, assim, aumentar o seu tamanho.

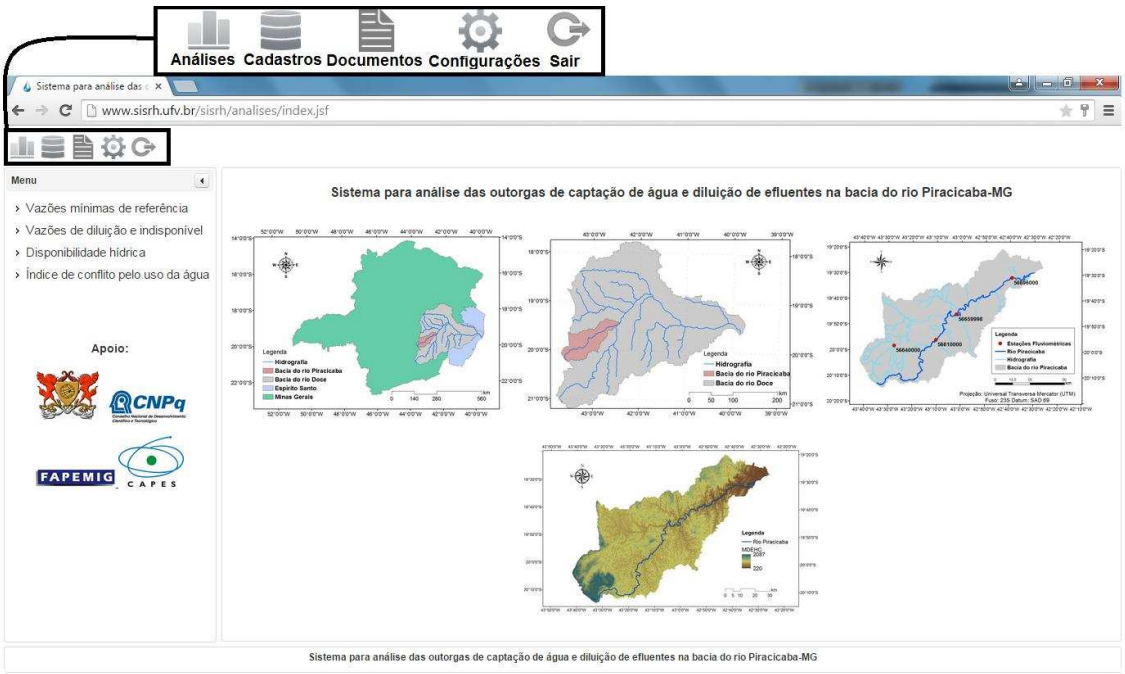


Figura 10 – Tela de apresentação do Sistema para análise das outorgas de captação de água e diluição de efluentes na Bacia do Rio Piracicaba, MG.

Na barra de ferramentas em destaque na Figura 10, no campo referente às "Análises", é possível acessar as funcionalidades do sistema, a citar: consultas das vazões mínimas de referência para qualquer seção de interesse ao longo da hidrografia, as vazões de diluição e indisponíveis pelos lançamentos, a disponibilidade hídrica e o índice de conflito pelo uso da água na gestão de recursos hídricos (i_{cg}).

No campo "Cadastros" é possível incluir um novo usuário ao banco de dados, assim como de requerentes, analistas, processos de outorga, intervenções, entre outros. Também, é possível editar as informações já cadastradas, ou seja, fazer modificações no banco de dados do sistema.

No campo “Documentos” estão disponíveis arquivos de interesse para a Bacia do Rio Piracicaba, como seu enquadramento, o plano de ações de recursos hídricos, legislações pertinentes em níveis federal e estadual, entre outras. O campo “Configurações” é utilizado pelo administrador do sistema para programação das rotinas; e o campo “Sair”, para se desconectar do sistema.

4.2.1. Funcionalidades do sistema

4.2.1.1. Vazões mínimas de referência

Ao clicar em “Vazões mínimas de referência”, a tela da Figura 11 é apresentada, onde são exibidos alguns temas ou camadas (Campo 1) relacionados à bacia, como a hidrografia, o enquadramento dos cursos d’água em classes de uso, os municípios pertencentes à área de abrangência, o rio Piracicaba e sua foz, o limite do Estado de Minas Gerais, os usuários dos recursos hídricos e as estações fluviométricas, entre outros.

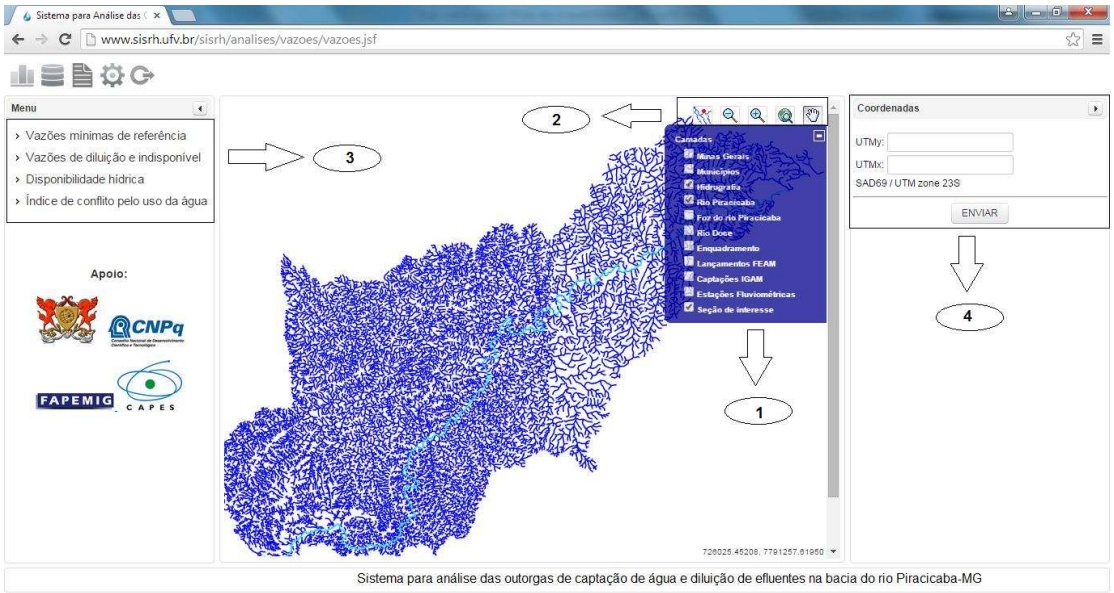


Figura 11 – Tela de apresentação do sistema para determinação das vazões mínimas de referência ($Q_{7,10}$).

As ferramentas convencionais de SIG para manipulação espacial das informações e apresentação dos elementos geográficos foram incorporadas ao sistema (Campo 2, Figura 11). São elas:

Cursor: utilizada para selecionar a seção de interesse;

Zoom+: permite aumentar a escala da região selecionada;

Zoom-: permite diminuir a escala da região selecionada;

Pan: permite movimentar o mapa; e

Full Extend: permite visualizar toda a extensão dos temas selecionados.

Para determinar a vazão mínima de referência em uma seção de interesse, inicialmente é necessária a sua identificação, que pode ser realizada de duas formas: utilizando a ferramenta "Cursor", clicando em cima da hidrografia no mapa, ou informando as coordenadas geográficas, como pode ser verificado na Figura 11 (Campo 4).

Considerando que o sistema foi desenvolvido para as condições a fio d'água, caso o usuário escolha uma seção não coincidente com o curso d'água, é emitida a seguinte mensagem de erro: "Seção de interesse fora do curso d'água. Escolha uma seção de interesse coincidente com um curso d'água".

Após a identificação da seção de interesse, clica-se no botão "Enviar" e o sistema procede, automaticamente, à obtenção dos dados necessários à aplicação do método de regionalização, apresentando os resultados na tela (Figura 12).

Relatório - Vazões Mínimas de Referência

Localização Geográfica:

UTMx	712112.9983574247
UTMy	7816463.8470212165
SAD69 / UTM zone 23S	

Características Hidrológicas da Seção de Interesse:

Curso d'água:	Rio Piracicaba
Área de drenagem (km²)	4055.022000
Vazão mínima de referência (m³.s⁻¹):	
$Q_{7,10}$ Anual:	20.394364

Imprimir

Figura 12 – Resultado obtido pelo sistema com o resultado da determinação da vazão mínima de referência para a seção de interesse.

Observa-se, pela Figura 12, que o relatório com o resultado da simulação da vazão mínima de referência são apresentadas informações como a localização geográfica do ponto de interesse, o nome do curso d'água, a área de drenagem e o valor da $Q_{7,10}$ anual. É possível imprimir o relatório gerado e, também, salvar as informações.

4.2.1.2. Vazões de diluição e indisponível pelos lançamentos

Para determinação da vazão de diluição e indisponível pelos lançamentos, é necessário clicar no menu “Vazão de diluição e indisponível”, escolher o usuário de interesse (Figura 13) e, em seguida, clicar em “Calcular”.

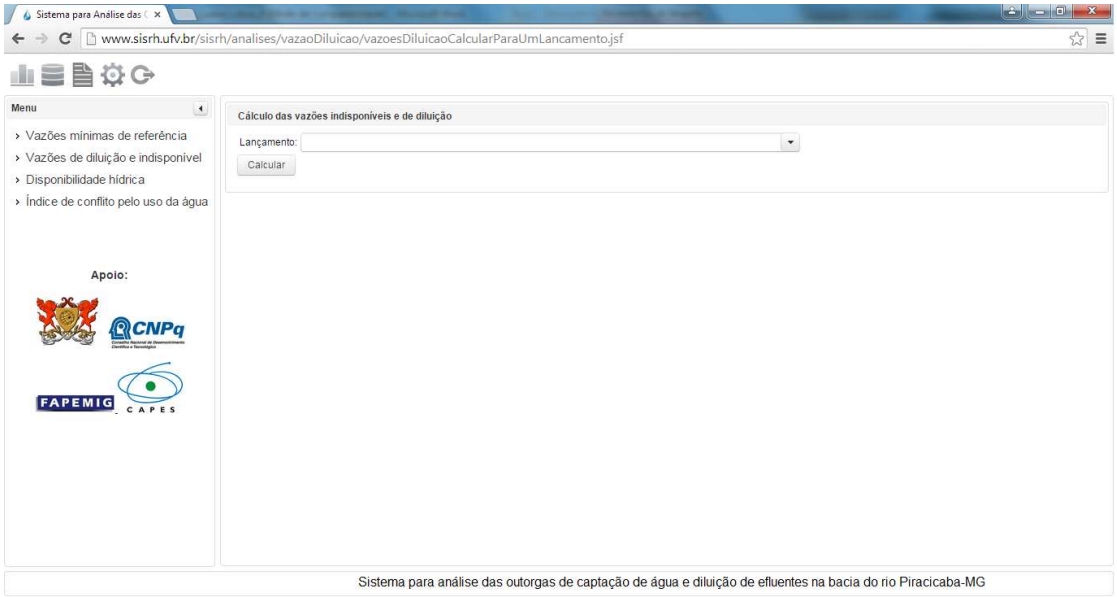


Figura 13 – Escolha do usuário para determinação da vazão de diluição e indisponível pelo lançamento através do sistema.

Os resultados apresentados pelo sistema referente ao cálculo das vazões de diluição e indisponível pelos lançamentos são: nome da intervenção, a classe de enquadramento do curso d’água e o respectivo valor de DBO máxima, a DBO natural do curso d’água e a DBO do lançamento, assim como a vazão de diluição e a indisponível pelo lançamento, conforme apresentado na Figura 14.

Relatório - Vazões de Diluição e Indisponível

Intervenção: CP0039322012
Classe do trecho do rio: 2
Concentração Máxima (mg.L⁻¹): 5.0
DBO (mg.L⁻¹): 6.520000
Concentração Natural do Poluente (mg.L⁻¹): 1.000000

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Vazão de Lançamento ($m^3.s^{-1}$):	0.003819	0.003819	0.003819	0.003819	0.003819	0.003819	0.003819	0.003819	0.003819	0.003819	0.003819	0.003819
Vazão de Diluição ($m^3.s^{-1}$):	0.001451	0.001451	0.001451	0.001451	0.001451	0.001451	0.001451	0.001451	0.001451	0.001451	0.001451	0.001451
Vazão Indisponível ($m^3.s^{-1}$):	0.005270	0.005270	0.005270	0.005270	0.005270	0.005270	0.005270	0.005270	0.005270	0.005270	0.005270	0.005270

Imprimir

Figura 14 – Resultados apresentados pelo sistema para o cálculo da vazão de diluição e indisponível pelo lançamento de efluente.

4.2.1.3. Disponibilidade hídrica outorgável

A principal funcionalidade implementada no sistema refere-se ao cálculo da disponibilidade hídrica outorgável em qualquer seção de interesse ao longo da hidrografia, considerando as demandas dos usuários de captação de água e diluição de efluentes. Para isso, inicialmente seleciona-se “Disponibilidade hídrica” (Campo 1, Figura 15) e, em seguida, determina-se a seção de interesse através da ferramenta “Cursor” ou fornece as coordenadas manualmente. Depois, é necessário escolher o período inicial e final da simulação (Campo 2) e clicar em “Enviar” (Campo 3). Após isso, o sistema apresenta, mensalmente, as vazões remanescentes permissíveis para concessão da outorga de captação de água e diluição de efluentes na respectiva seção (Figura 16).

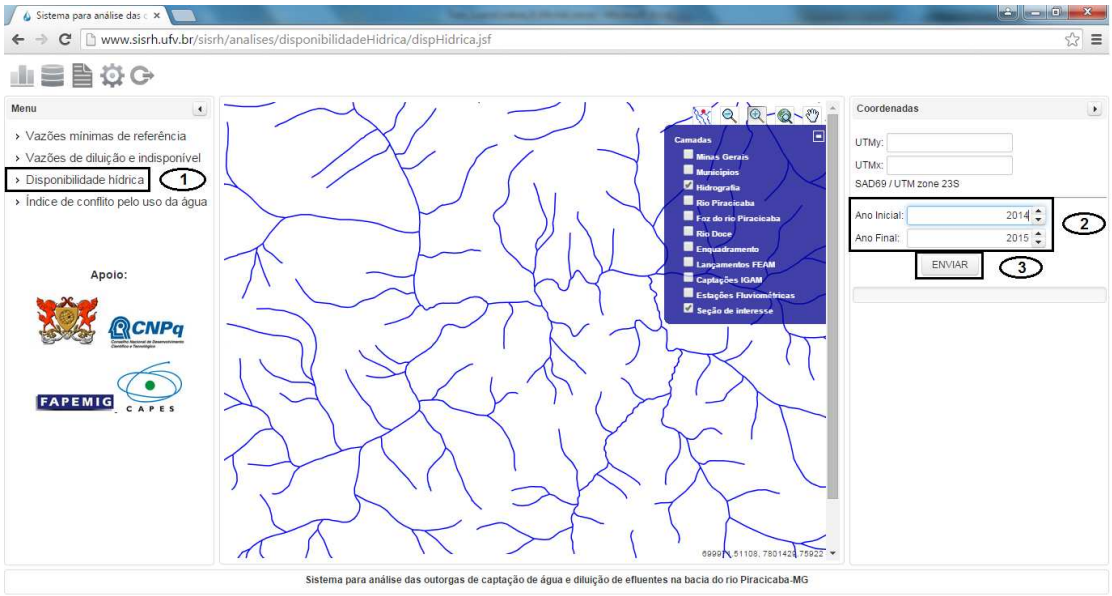


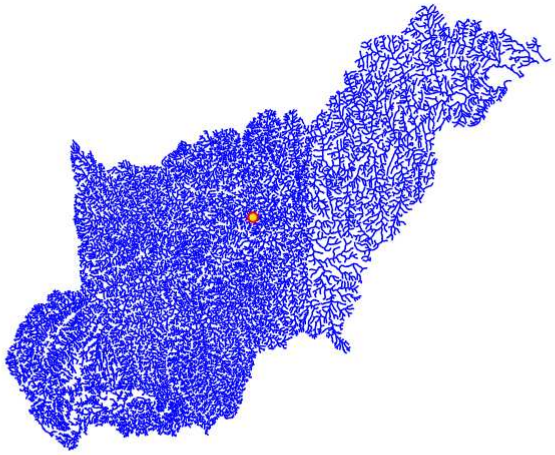
Figura 15 – Determinação da disponibilidade hídrica outorgável na seção de interesse.

Os resultados de disponibilidade hídrica são apresentados em duas cores diferentes: vermelha, que indica que as vazões outorgadas superaram o percentual da vazão de referência passível de outorga na seção de interesse, fato esse que também é indicado pelo sinal negativo; e a cor verde indica a existência de vazões passíveis de outorga.

Relatório - Vazões Disponíveis

Localização Geográfica:

UTMx	696901.156314
UTMy	7812197.455632
SAD69 / UTM zone 23S	



Características Hidrológicas da Seção de Interesse:

Curso d'água:	Rio Santa Bárbara
Área de drenagem (km²)	1595.297700
Classe do rio:	2
Vazão mínima de referência (m³.s⁻¹):	
$Q_{7,10}$ Anual:	8.598256
Vazão máxima outorgável (m³.s⁻¹):	
50% $Q_{7,10}$ Anual:	4.299128

Vazões Disponíveis para Captação (m³s⁻¹)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2014	2.947628	2.947628	2.947128	2.960328	2.960328	3.529328	3.529328	3.557128	3.557128	3.557128	3.558428	3.558428
2015	3.558428	3.558428	3.557928	3.557128	3.557128	3.557128	3.557128	3.557128	3.557128	3.577128	3.578428	3.578428

Vazões Disponíveis para Lançamento (m³s⁻¹)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2014	4.142157	4.142157	4.142157	4.142157	4.142157	4.142157	4.142157	4.142157	4.142157	4.142157	4.142157	4.142157
2015	4.142157	4.142157	4.142157	4.142157	4.142157	4.142157	4.142157	4.142157	4.142157	4.142157	4.142157	4.142157

Imprimir

Figura 16 – Relatório de disponibilidade hídrica outorgável para captação de água e diluição de efluentes exibido pelo sistema para a seção de interesse.

4.2.1.4. Índices de conflito pelo uso da água na gestão de recursos hídricos (i_{cg})

Para obtenção do mapa representando os índices de conflito pelo uso da água na gestão de recursos hídricos (i_{cg}), inicialmente é necessário escolher o mês e o ano para os quais tenha interesse (Figura 17). Posteriormente, clica-se no botão "Enviar" e são apresentados mapas para captações de água e diluição de efluentes, conforme a Figura 18, representando o mês de janeiro de 2014.

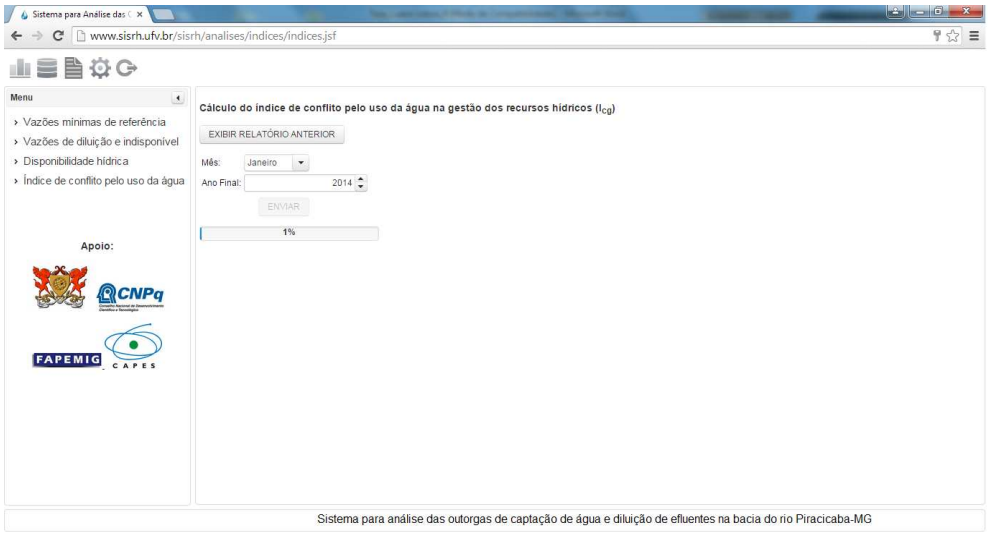
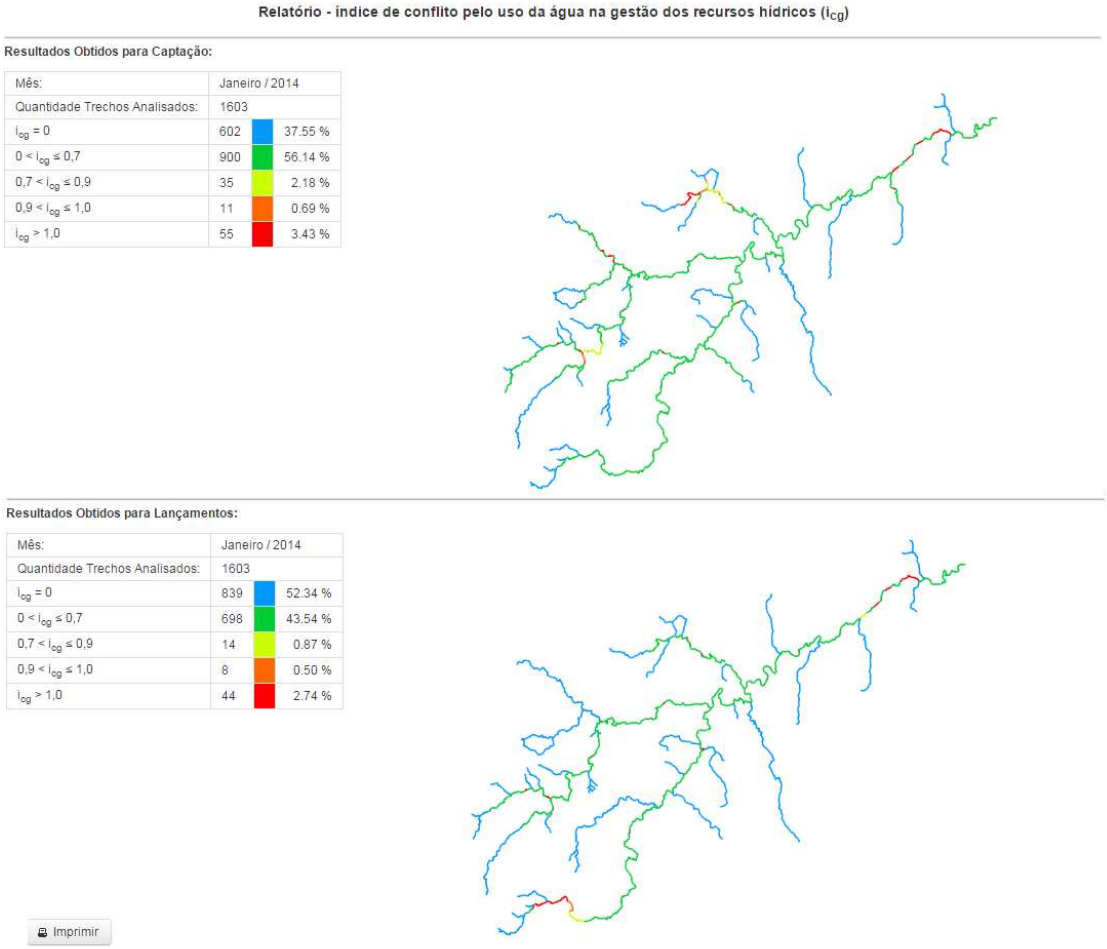


Figura 17 – Tela para determinação do mapa de índices de conflito pelo uso da água na gestão de recursos hídricos (i_{cg}).



Relatório - índice de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos (i_{cg})

Resultados Obtidos para Captação:

Mês:	Janeiro / 2014	
Quantidade Trechos Analisados:	1603	
$i_{cg} = 0$	602	37.55 %
$0 < i_{cg} \leq 0,7$	900	56.14 %
$0,7 < i_{cg} \leq 0,9$	35	2.18 %
$0,9 < i_{cg} \leq 1,0$	11	0.69 %
$i_{cg} > 1,0$	55	3.43 %

Resultados Obtidos para Lançamentos:

Mês:	Janeiro / 2014	
Quantidade Trechos Analisados:	1603	
$i_{cg} = 0$	839	52.34 %
$0 < i_{cg} \leq 0,7$	698	43.54 %
$0,7 < i_{cg} \leq 0,9$	14	0.87 %
$0,9 < i_{cg} \leq 1,0$	8	0.50 %
$i_{cg} > 1,0$	44	2.74 %

Imprimir

Figura 18 – Relatório dos índices de conflito pelo uso da água na gestão de recursos hídricos (i_{cg}).

Observa-se, na simulação apresentada na Figura 18, que o cálculo do i_{cg} apresenta um mapa de índice para cada modo de uso de água, ou seja, um para captação de água e

outro para diluição de efluentes. Isso decorre do fato de a legislação de Minas Gerais estabelecer limites distintos de disponibilidade hídrica para captações e para diluição de efluentes.

4.2.2. Cadastro de um novo usuário de água

A função para solicitar uma outorga foi programada para ser executada após o cadastro de informações do requerente, do empreendimento, dos analistas e dos responsáveis técnicos, uma vez que essas informações são necessárias para os procedimentos seguintes.

Inicialmente, deve-se clicar em “Cadastro” na tela inicial do sistema, selecionar “Processos” (Figura 19) e “Inserir Novo” processo. Assim, é apresentada a tela da Figura 20, através da qual são solicitadas algumas informações.

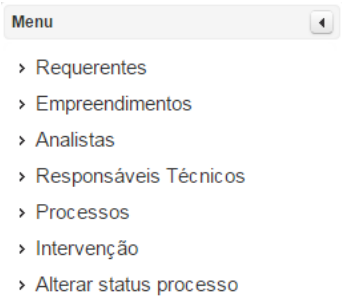


Figura 19 – Menu referente ao cadastro das informações.

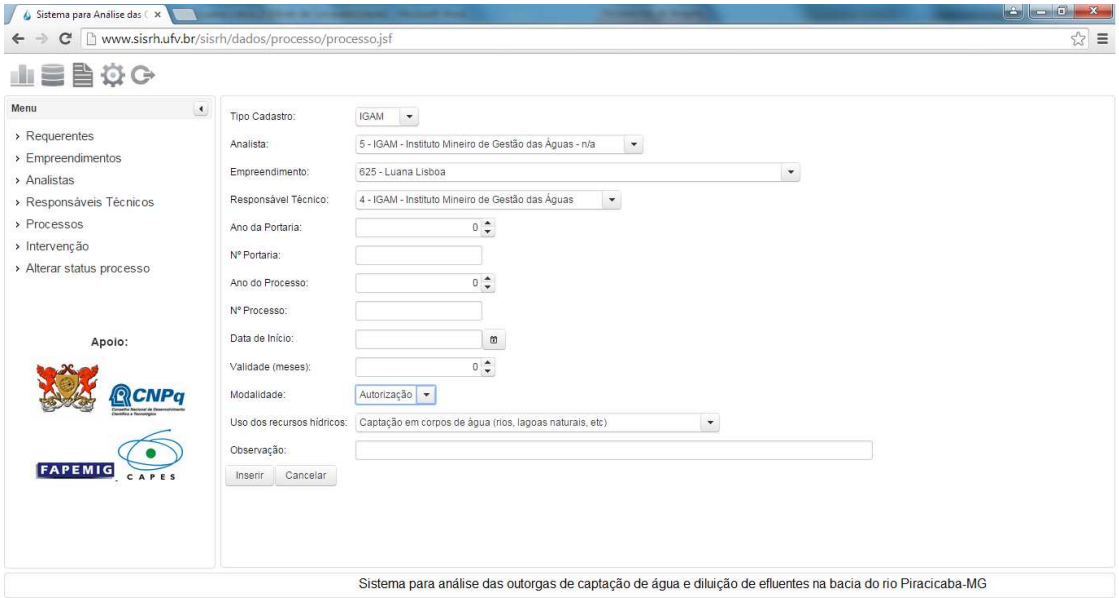


Figura 20 – Tela para cadastro de um novo processo.

Entre as informações necessárias ao cadastro de um novo processo, citam-se as modalidades da outorga: concessão ou autorização; a data de início e a validade da outorga; e o uso dos recursos hídricos, sendo estes os que interferem na disponibilidade hídrica, como apresentado na Figura 21.

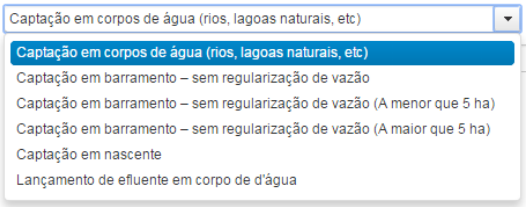


Figura 21 – Uso dos recursos hídricos cadastrados no sistema.

Em seguida, deve-se caracterizar a solicitação da outorga através do campo "Intervenção" (Figura 20) e clicar em "Inserir Novo". Assim, a tela da Figura 22 é apresentada (Etapa 1). Deve-se escolher o número de processo criado anteriormente e preencher os campos de acordo com a modalidade, seja ela captação ou diluição de efluentes, uma vez que, dependendo da situação delas, informações diferentes são solicitadas ao usuário. Para as captações são solicitados os valores mensais de vazão demandada e o período de vigência, enquanto para a diluição, os valores mensais da vazão de lançamento, o valor da DBO bruta e tratada, os parâmetros qualitativos dos efluentes brutos e tratados, entre os quais é cita a demanda química de oxigênio (DQO) e de sólidos suspensos (Figura 22).

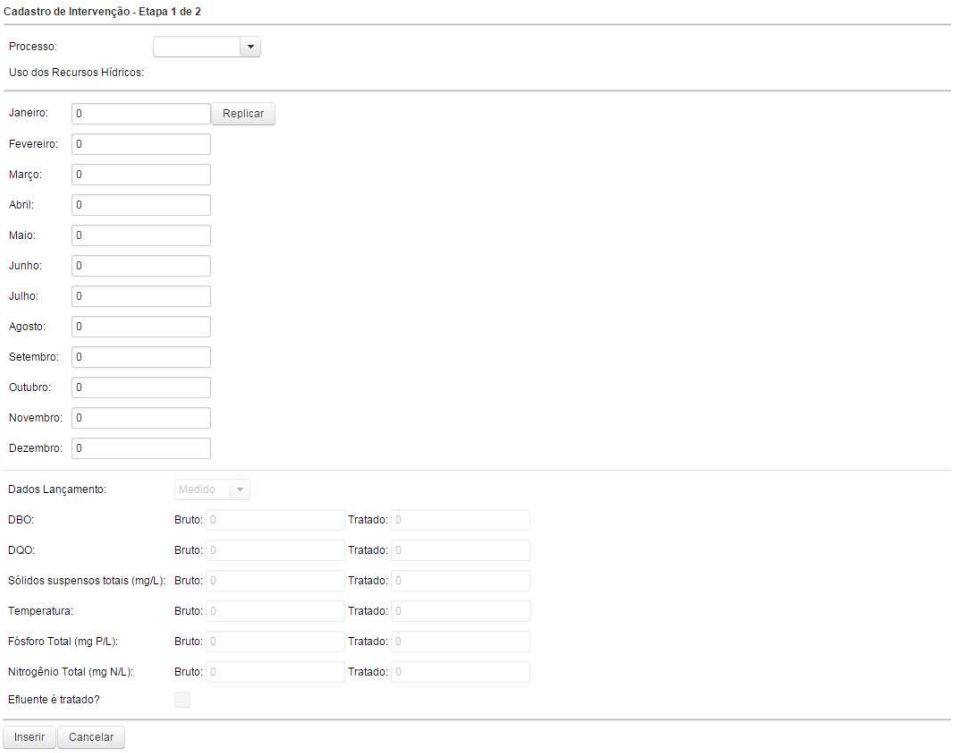


Figura 22 – Cadastro da intervenção – Etapa 1.

Após o cadastro dessas informações (Etapa 1), o sistema redireciona para o mapa com a hidrografia da bacia, de forma que se faça a locação do ponto de outorga (Etapa 2) (Figura 23), que pode ser através da identificação no mapa ou da apresentação das coordenadas geográficas.

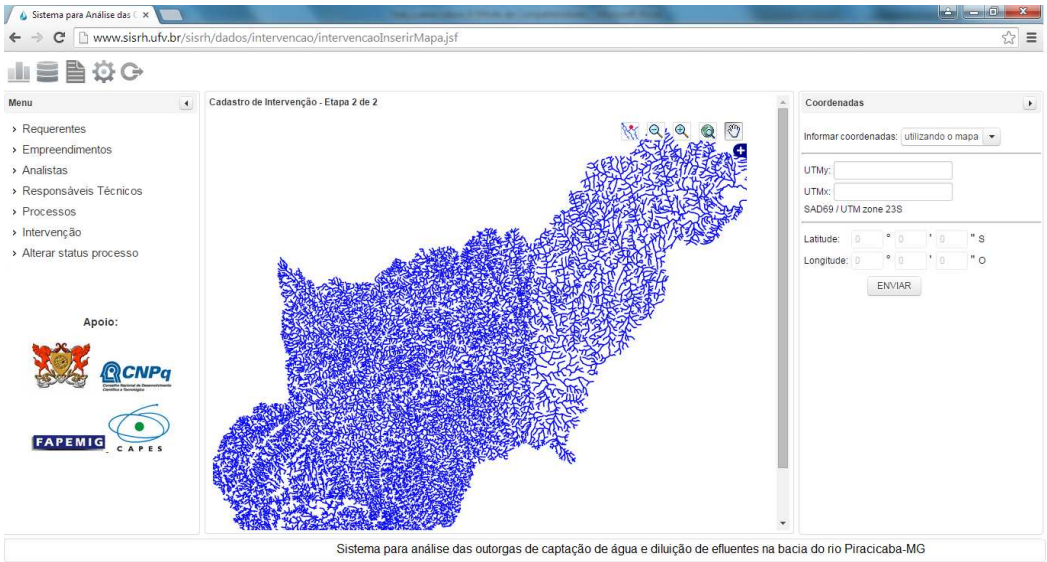


Figura 23 – Identificação da seção de interesse referente ao cadastro de um novo usuário de água (Etapa 2).

A intervenção cadastrada ainda estará, no entanto, com o *status* do processo “Em análise”, e para que este seja incorporado ao banco de dados é necessário selecionar “Alterar status de um processo” e selecionar “Deferida”, “Renovada” ou “Retificada”, conforme apresentado na Figura 24.

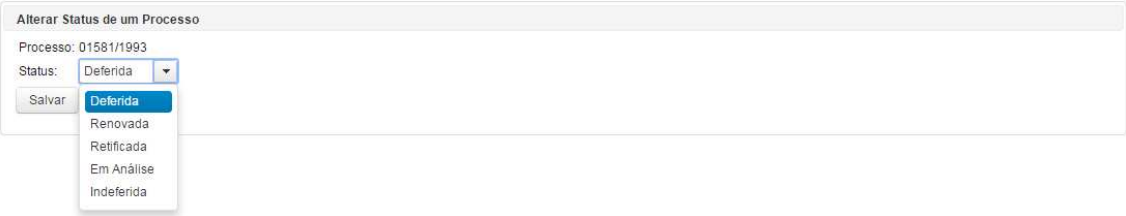


Figura 24 – Alteração do *status* do processo.

Assim, o usuário cadastrado fará parte do banco de dados referente às demandas de água na bacia e passa a interferir na disponibilidade hídrica para novas captações ou diluição de efluentes. Após o cadastro do novo usuário, é possível analisar a disponibilidade hídrica ainda passível de outorga na seção de interesse, considerando a demanda do usuário inserido. Observa-se, porém, que o sistema ainda será apresentado ao IGAM para apreciação, uma vez que as análises visando à concessão das outorgas são de responsabilidade do órgão gestor.

4.3. Estudo de caso

4.3.1. Disponibilidade hídrica ainda passível de outorga ao longo do rio Piracicaba

Para análise da disponibilidade hídrica passível de outorga, fez-se um estudo de caso selecionando pontos de interesse ao longo do rio Piracicaba, MG. A primeira seção utilizada para análise localiza-se próximo à foz do rio, a jusante de todas as intervenções referentes à captação de água e diluição de efluentes.

De acordo com o relatório exibido pelo sistema com os resultados da simulação de disponibilidade hídrica na primeira seção de interesse (Figura 25), observa-se que a $Q_{7,10}$ na foz do rio Piracicaba é de 26,89 m^3s^{-1}, para área de drenagem correspondente a 5.465,69 km^2. Dessa forma, a disponibilidade hídrica máxima passível de outorga é, segundo a legislação de Minas Gerais, de 13,44 m^3s^{-1}, tanto para captações de água quanto para diluições de efluentes.

Caracteristicas Hidrológicas da Seção de Interesse:

Curso d'água:	Rio Piracicaba
Área de drenagem (km²)	5465.687400
Classe do rio:	2
Vazão mínima de referência (m³.s⁻¹):	
$Q_{7,10}$ Anual:	26.887162
Vazão máxima outorgável (m³.s⁻¹):	
50% $Q_{7,10}$ Anual:	13.443581

Vazões Disponíveis para Captação (m³s⁻¹)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2012	11.097481	10.987481	10.435081	10.432081	10.428881	10.512081	10.550081	10.542381	10.540781	10.540781	10.538881	10.538881
2013	10.483881	10.383681	10.383181	10.509581	10.514181	10.624181	10.689181	10.689181	10.689181	10.911181	10.909281	10.909281
2014	10.854281	10.745481	10.744981	10.758181	10.761381	11.440381	11.523381	11.551181	11.551181	11.551181	11.549281	11.549281
2015	11.787281	11.679481	11.748381	11.747581	11.750781	11.860781	11.936781	11.936781	11.936781	11.956781	11.954881	11.954881

Vazões Disponíveis para Lançamento (m³s⁻¹)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2012	7.257117	7.257117	7.257117	7.257117	7.257117	7.257117	7.257117	7.257117	7.257117	7.257117	7.257117	7.257117
2013	7.257117	7.257117	7.257117	7.257117	7.257117	7.257117	7.257117	7.257117	7.257117	7.257117	7.257117	7.257117
2014	7.257117	7.257117	7.257117	7.257117	7.257117	7.257117	7.257117	7.257117	7.257117	7.257117	7.257117	7.257117
2015	7.257117	7.257117	7.257117	7.257117	7.257117	7.257117	7.257117	7.257117	7.257117	7.257117	7.257117	7.257117

Figura 25 – Relatório com resultados exibidos pelo sistema para a disponibilidade hídrica passível de outorga em uma seção de interesse no rio Piracicaba, com área de drenagem igual a 5.465,69 km^2.

Pela Figura 25, observa-se que os resultados de disponibilidade hídrica para as captações de água variam mês a mês, ao longo do período analisado. Tal fato se justifica em função da sazonalidade de algumas outorgas presentes no cadastro de usuários do IGAM que possuem demandas diferentes durante o período solicitado para uso da água, bem como, também, em função das diferentes validades dos processos de outorgas. No entanto, no caso da disponibilidade hídrica para diluição de efluentes, essa variação não ocorre, uma vez que esse comportamento se deve à não sazonalidade dos lançamentos de efluentes, pois a vazão de lançamento é a mesma durante todos os meses do ano e os usuários possuem a validade da outorga, com início em 2011 e término em 2015.

Verifica-se, nessa tabela, que o menor valor de vazão disponível para novas outorgas de captação ocorreu nos meses de fevereiro e março de 2013, sendo igual a 10,38 m^{3}s^{-1}, ou seja, houve redução de 23% do limite máximo, equivalente à demanda dos usuários de 3,06 m^{3}s^{-1}. Porém, a partir de junho de 2014 esse valor aumentou para 11,44 m^{3}s^{-1} e, em janeiro de 2015, a disponibilidade hídrica foi de 11,79 m^{3}s^{-1}.

A vazão disponível para novas outorgas de diluição de efluentes, considerando o período analisado (Figura 25), foi de 7,25 m^{3}s^{-1}, ou seja, houve diminuição de 6,18 m^{3}s^{-1}, que é a vazão indisponibilizada pelos lançamentos a montante da foz do rio Piracicaba. Esse valor representa 46% do total disponível para diluição dos efluentes, constatando-se, assim, comprometimento considerável dessa modalidade de outorga, pois esse valor é bem maior que o do comprometimento destinado às captações de água nessa seção.

Esse resultado é devido, principalmente, ao lançamento realizado pelo protocolo CP45182012, que se localiza próximo à foz do rio Piracicaba e indisponibiliza uma vazão de 5,52 m^3s^{-1}. Assim, a vazão indispobilizada pelos lançamentos nessa seção é de 6,18 m^3s^{-1} e, desse valor, 90% corresponde ao lançamento citado anteriormente, sendo os 10% restantes referentes aos demais lançamentos a montante.

A segunda seção de interesse analisada está apresentada na Figura 26 e possui área de drenagem igual a 4.238,0 km^2 e $Q_{7,10}$ corresponde a 21,24 m^3s^{-1}. Portanto, a vazão disponível para as outorgas de captação e diluição de efluentes é de 10,62 m^3s^{-1}. No entanto, nessa seção a disponibilidade hídrica para novas outorgas em janeiro de 2015 foi de 8,29 e 10,35 m^3s^{-1}, respectivamente para captação de água e diluição de efluentes.

O ano 2013 foi o de menor disponibilidade hídrica passível de outorga para as captações de água, representada por 8,21 m^3s^{-1} em fevereiro, com utilização de 2,40 m^3s^{-1}, ou seja, 23% do limite máximo disponível para outorga.

Características Hidrológicas da Seção de Interesse:

Curso d'água:	Rio Piracicaba
Área de drenagem (km²)	4238.010000
Classe do rio:	2
Vazão mínima de referência (m³.s⁻¹):	
$Q_{7,10}$ Anual:	21.245018
Vazão máxima outorgável (m³.s⁻¹):	
50% $Q_{7,10}$ Anual:	10.622509

Vazões Disponíveis para Captação (m³s⁻¹)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2012	8.299009	8.244009	8.241609	8.238609	8.235409	8.290409	8.328409	8.322409	8.320809	8.320809	8.318909	8.318909
2013	8.263909	8.218709	8.218209	8.344609	8.349209	8.404209	8.459209	8.459209	8.459209	8.681209	8.679309	8.679309
2014	8.624309	8.569309	8.568809	8.582009	8.585209	9.209209	9.292209	9.320009	9.320009	9.320009	9.318109	9.318109
2015	9.556109	9.503309	9.572209	9.571409	9.574609	9.629609	9.684609	9.684609	9.684609	9.704609	9.702709	9.702709

Vazões Disponíveis para Lançamento (m³s⁻¹)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2012	10.358369	10.358369	10.358369	10.358369	10.358369	10.358369	10.358369	10.358369	10.358369	10.358369	10.358369	10.358369
2013	10.358369	10.358369	10.358369	10.358369	10.358369	10.358369	10.358369	10.358369	10.358369	10.358369	10.358369	10.358369
2014	10.358369	10.358369	10.358369	10.358369	10.358369	10.358369	10.358369	10.358369	10.358369	10.358369	10.358369	10.358369
2015	10.358369	10.358369	10.358369	10.358369	10.358369	10.358369	10.358369	10.358369	10.358369	10.358369	10.358369	10.358369

Figura 26 – Relatório com resultados exibidos pelo sistema para disponibilidade hídrica passível de outorga em uma seção de interesse no rio Piracicaba, com área de drenagem de 4.238,0 km^2.

Considerando as demandas para diluição de efluentes, o comprometimento da disponibilidade hídrica nessa seção é pequeno, correspondendo a 2,54%, ou 0,26 m^3s^{-1}. Próximo ao local ocorre o lançamento de efluentes do usuário com Protocolo 38772012, no entanto a vazão indisponível por esse é nula, uma vez que a carga de DBO do efluente é de 5,04 mgL^{-1}, pouco superior ao limite permitido para o trecho, que é de 5,0

mgL^{-1} (classe 2). Dessa forma, o comprometimento com a diluição de efluentes nessa seção se deve aos lançamentos a montante, porém estes se localizam distantes, o que justifica a pequena utilização dos recursos hídricos.

A terceira seção analisada quanto à disponibilidade hídrica apresenta área de drenagem de 3.031,59 km^2 (Figura 27) e localiza-se no Município de Nova Era, MG. Para essa seção, a $Q_{7,10}$ é de 15,57 m^3s^{-1} e a vazão máxima passível de outorga, de 7,78 m^3s^{-1}. No entanto, considerando as demandas dos usuários, a disponibilidade hídrica para captação de água e diluição de efluentes em janeiro de 2012 foi de 5,96 e 7,46 m^3s^{-1}, respectivamente. Dessa forma, houve redução de 1,82 m^3s^{-1} para captação de água e 0,33 m^3s^{-1} para diluição de efluentes, ou seja, 23% e 4,2%, respectivamente. Assim, o comprometimento com as captações de água foi maior (1,49 m^3s^{-1}), em comparação com a demanda das diluições de efluentes.

Características Hidrológicas da Seção de Interesse:

Curso d'água:	Rio Piracicaba
Área de drenagem (km²)	3031.598700
Classe do rio:	2
Vazão mínima de referência (m³.s⁻¹):	
$Q_{7,10}$ Anual:	15.579676
Vazão máxima outorgável (m³.s⁻¹):	
50% $Q_{7,10}$ Anual:	7.789838

Vazões Disponíveis para Captação (m³s⁻¹)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2012	5.963338	5.963338	5.960938	5.957938	5.954738	5.954738	5.992738	5.986738	5.985138	5.985138	5.983238	5.983238
2013	5.928238	5.928238	5.927738	6.051938	6.056538	6.056538	6.111538	6.111538	6.111538	6.333538	6.331638	6.331638
2014	6.276638	6.276638	6.276138	6.289338	6.292538	6.861538	6.916538	6.944338	6.944338	6.944338	6.942438	6.942438
2015	6.887438	6.889638	6.958538	6.957738	6.960938	6.960938	7.015938	7.015938	7.015938	7.035938	7.034038	7.034038

Vazões Disponíveis para Lançamento (m³s⁻¹)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2012	7.456075	7.456075	7.456075	7.456075	7.456075	7.456075	7.456075	7.456075	7.456075	7.456075	7.456075	7.456075
2013	7.456075	7.456075	7.456075	7.456075	7.456075	7.456075	7.456075	7.456075	7.456075	7.456075	7.456075	7.456075
2014	7.456075	7.456075	7.456075	7.456075	7.456075	7.456075	7.456075	7.456075	7.456075	7.456075	7.456075	7.456075
2015	7.456075	7.456075	7.456075	7.456075	7.456075	7.456075	7.456075	7.456075	7.456075	7.456075	7.456075	7.456075

Figura 27 – Relatório com resultados exibidos pelo sistema para disponibilidade hídrica passível de outorga em uma seção de interesse no rio Piracicaba, com área de drenagem de 3.031,59 km^2.

Analisou-se, ainda, a disponibilidade hídrica para uma seção com área de drenagem de 959 km^2, conforme os resultados simulados (Figura 28). A disponibilidade hídrica para outorga em janeiro de 2015, nessa seção, foi de 2,68 m^3s^{-1}. Porém, considerando as demandas dos usuários, a vazão ainda passível de outorga para captação de água e diluição de efluentes é de 2,58 m^3s^{-1} e 2,43 m^3s^{-1}, respectivamente, um comprometimento correspondente a 3,73% para captação e 9,32% para diluição.

Características Hidrológicas da Seção de Interesse:

Curso d'água:	Rio Piracicaba
Área de drenagem (km²)	959.319900
Classe do rio:	2
Vazão mínima de referência (m³.s⁻¹):	
$Q_{7,10}$ Anual:	5.369274
Vazão máxima outorgável (m³.s⁻¹):	
50% $Q_{7,10}$ Anual:	2.684637

Vazões Disponíveis para Captação (m³s⁻¹)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2012	2.591437	2.591437	2.591437	2.591437	2.594637	2.594637	2.594637	2.588637	2.588637	2.588637	2.585437	2.585437
2013	2.585437	2.585437	2.585437	2.585437	2.588637	2.588637	2.588637	2.588637	2.588637	2.588637	2.585437	2.585437
2014	2.585437	2.585437	2.585437	2.585437	2.588637	2.588637	2.588637	2.588637	2.588637	2.588637	2.585437	2.585437
2015	2.585437	2.585437	2.654837	2.654837	2.658037	2.658037	2.658037	2.658037	2.658037	2.658037	2.654837	2.654837

Vazões Disponíveis para Lançamento (m³s⁻¹)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2012	2.432875	2.432875	2.432875	2.432875	2.432875	2.432875	2.432875	2.432875	2.432875	2.432875	2.432875	2.432875
2013	2.432875	2.432875	2.432875	2.432875	2.432875	2.432875	2.432875	2.432875	2.432875	2.432875	2.432875	2.432875
2014	2.432875	2.432875	2.432875	2.432875	2.432875	2.432875	2.432875	2.432875	2.432875	2.432875	2.432875	2.432875
2015	2.432875	2.432875	2.432875	2.432875	2.432875	2.432875	2.432875	2.432875	2.432875	2.432875	2.432875	2.432875

Figura 28 – Relatório com resultados exibidos pelo sistema para disponibilidade hídrica passível de outorga em uma seção de interesse no rio Piracicaba, com área de drenagem de 959 km^2.

Outra seção de interesse utilizada para análise da disponibilidade hídrica ao longo do rio Piracicaba foi próxima à cabeceira, a jusante de um conjunto de lançamentos, e com área de drenagem correspondente a 50,13 km^2 (Figura 29). A $Q_{7,10}$ está representada por 0,34 m^{3}s^{-1}, e a disponibilidade hídrica máxima outorgável para captação e diluição de eflentes é de 0,17 m^{3}s^{-1}.

Características Hidrológicas da Seção de Interesse:

Curso d'água:	Rio Piracicaba
Área de drenagem (km²)	50.139000
Classe do rio:	2
Vazão mínima de referência (m³.s⁻¹):	
$Q_{7,10}$ Anual:	0.349304
Vazão máxima outorgável (m³.s⁻¹):	
50% $Q_{7,10}$ Anual:	0.174652

Vazões Disponíveis para Captação (m³s⁻¹)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2012	0.095852	0.095852	0.095852	0.095852	0.095852	0.095852	0.095852	0.089852	0.089852	0.089852	0.089852	0.089852
2013	0.089852	0.089852	0.089852	0.089852	0.089852	0.089852	0.089852	0.089852	0.089852	0.089852	0.089852	0.089852
2014	0.089852	0.089852	0.089852	0.089852	0.089852	0.089852	0.089852	0.089852	0.089852	0.089852	0.089852	0.089852
2015	0.089852	0.089852	0.159252	0.159252	0.159252	0.159252	0.159252	0.159252	0.159252	0.159252	0.159252	0.159252

Vazões Disponíveis para Lançamento (m³s⁻¹)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2012	-0.188332	-0.188332	-0.188332	-0.188332	-0.188332	-0.188332	-0.188332	-0.188332	-0.188332	-0.188332	-0.188332	-0.188332
2013	-0.188332	-0.188332	-0.188332	-0.188332	-0.188332	-0.188332	-0.188332	-0.188332	-0.188332	-0.188332	-0.188332	-0.188332
2014	-0.188332	-0.188332	-0.188332	-0.188332	-0.188332	-0.188332	-0.188332	-0.188332	-0.188332	-0.188332	-0.188332	-0.188332
2015	-0.188332	-0.188332	-0.188332	-0.188332	-0.188332	-0.188332	-0.188332	-0.188332	-0.188332	-0.188332	-0.188332	-0.188332

Figura 29 – Relatório com resultados exibidos pelo sistema para a disponibilidade hídrica passível de outorga em uma seção de interesse no rio Piracicaba, com área de drenagem de 50,10 km^2.

De acordo com resultados da simulação apresentados na Figura 29, o limite outorgável para diluição de efluentes foi superado em 0,188 m^3s^{-1}, constatando-se que a demanda nessa seção superou a vazão mínima de referência. Observa-se, nessa figura, que a montante da seção de interesse estão localizados cinco lançamentos com os seguintes Protocolos: 55192012, 55092012, 54902012, 54702012 e 54902012, e a vazão indisponibilizada por esses totaliza 0,354 m^3s^{-1}, valor bem superior ao máximo permitido na legislação de Minas Gerais.

A vazão outorgada superior ao valor da $Q_{7,10}$ não implica, necessariamente, eliminação total da vazão no curso d'água, uma vez que a $Q_{7,10}$ corresponde a um índice probabilístico relacionado ao risco de ocorrência de um evento a cada 10 anos. Além disso, o valor da vazão outorgada corresponde ao somatório das outorgas, o que não implica retirada simultânea dessas vazões (MOREIRA, 2014).

Para as captações, a disponibilidade hídrica está dentro do limite estipulado pelo órgão gestor de recursos hídricos durante o intervalo de tempo analisado. No entanto, no período de agosto de 2012 a fevereiro de 2015, 49% da vazão total para outorgas está atendendo à demanda dos usuários. A partir do mês de março de 2015, a vazão outorgável aumenta para 0,1591 m^3s^{-1} (77%), o que é justificado pelo vencimento das outorgas.

Pelos resultados das simulações da disponibilidade hídrica ao longo do rio Piracicaba, constata-se que em alguns trechos da hidrografia é necessária a revisão dos processos de outorga para a captação de água, uma vez que a disponibilidade hídrica supera o limite máximo de vazão outorgável, principalmente na foz do rio Piracicaba, e mostra-se também necessário melhor planejamento na implantação da modalidade de outorga para diluição de efluentes, pois se verifica comprometimento do manancial acima dos limites estabelecidos pelo respectivo enquadramento, pois não há vazão para diluir todos os lançamentos.

Apesar, no entanto, de se ter verificado que em alguns trechos da hidrografia o limite de vazão máxima foi ultrapassado, a demanda referente aos lançamentos de efluentes na bacia não refletiu a utilização dos recursos hídricos para o setor de saneamento, uma vez que no cadastro da FEAM os usuários com a Declaração de Carga Poluidora não representavam essa demanda. Associado ao fato de que na área de abrangência da Bacia do Rio Piracicaba se encontram 20 municípios mineiros, que totalizam uma população de 687.851 habitantes (IGAM, 2011), constatou-se que a demanda para diluição de efluentes era muito superior à apresentada pela demanda dos

usuários da FEAM. Assim, para melhor avaliação da disponibilidade hídrica dos lançamentos de efluentes, é necessária a inclusão dos usuários que representem o setor de saneamento.

4.3.2. Índice de conflito pelo uso da água na gestão de recursos hídricos (i_{cg})

Na Figura 30 são apresentados os mapas dos índices de conflito pelo uso da água na gestão de recursos hídricos (i_{cg}) para captação e diluição de efluentes, obtidos considerando o mês de janeiro de 2015.

Constata-se, no caso da captação de água, que 40 trechos da hidrografia (2,5%) apresentam i_{cg} maior que 1, ou seja, as vazões outorgadas a montante da foz do segmento em estudo superam os limites previstos na legislação, e a região da bacia em que se concentram esses trechos está localizada próxima à foz do rio Piracicaba e no ribeirão do Machado,no Município de Bom Jesus do Amparo.

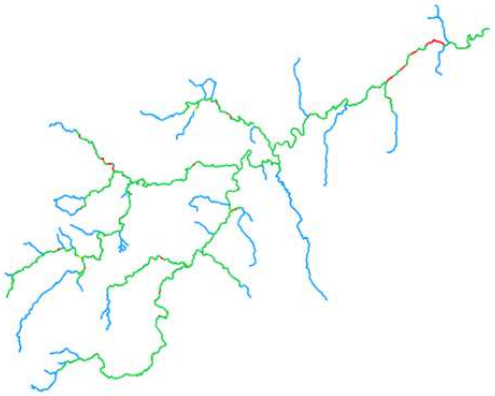
Conforme se observa na Figura 30, os trechos da hidrografia que não possuem outorga de uso para captação de água correspondem a 39,24% e estão representados pelos trechos com i_{cg} igual a zero, ou seja, pela cor azul. Os trechos que apresentam alguma redução na disponibilidade hídrica para captação correspondem a 58,27%, pois o i_{cg} varia de 0 a 0,9 (cores verde e amarela).

Para a diluição de efluentes, o número de trechos da hidrografia com valor de i_{cg} maior que a unidade corresponde a 44, ou seja, 2,74%, concentrados ao longo do rio Piracicaba. No entanto, em 43,54% dos trechos o i_{cg} varia entre 0 e 0,7, ou seja, a disponibilidade hídrica é menor que o limite (50% $Q_{7,10}$) máximo para outorgas, assim como foi observado nos trechos em que o i_{cg} esteve entre 0,7 e 0,9 e 0,9 e 1.

Relatório - índice de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos (i_{cg})

Resultados Obtidos para Captação:

Mês:	Janeiro / 2015	
Quantidade Trechos Analisados:	1603	
$i_{cg} = 0$	629	39.24 %
$0 < i_{cg} \leq 0,7$	931	58.08 %
$0,7 < i_{cg} \leq 0,9$	3	0.19 %
$0,9 < i_{cg} \leq 1,0$	0	0.00 %
$i_{cg} > 1,0$	40	2.50 %



Resultados Obtidos para Lançamentos:

Mês:	Janeiro / 2015	
Quantidade Trechos Analisados:	1603	
$i_{cg} = 0$	839	52.34 %
$0 < i_{cg} \leq 0,7$	698	43.54 %
$0,7 < i_{cg} \leq 0,9$	14	0.87 %
$0,9 < i_{cg} \leq 1,0$	8	0.50 %
$i_{cg} > 1,0$	44	2.74 %

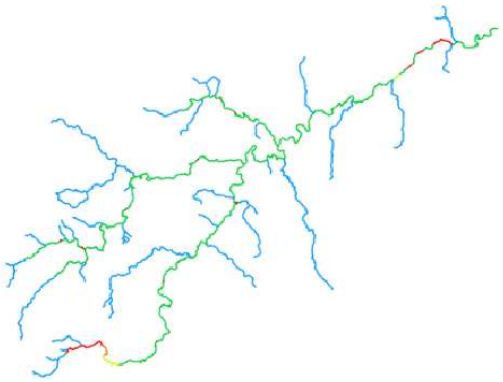
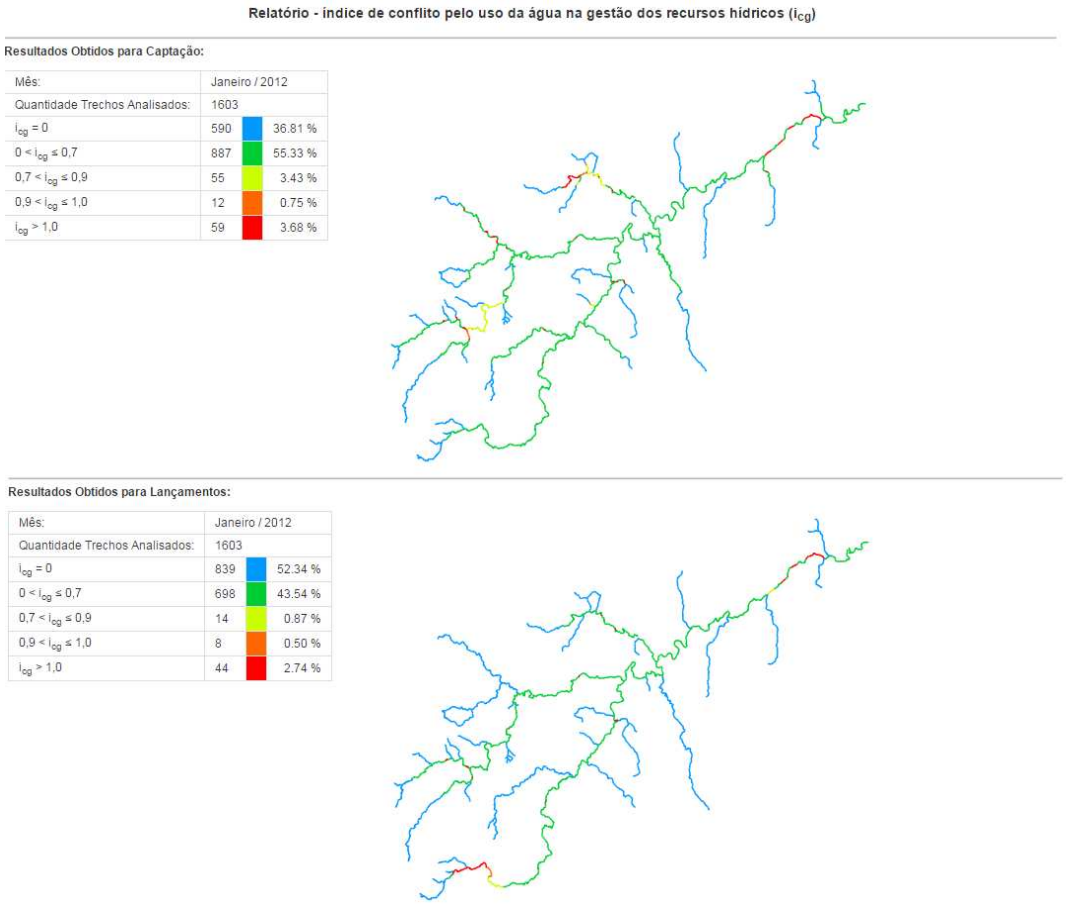


Figura 30 – Relatório dos índices de conflito pelo uso da água na gestão de recursos hídricos (i_{cg}), em janeiro de 2015.

Verificou-se, também, que 52,34% dos trechos da hidrografia não possuíam outorga de uso de água para diluição de efluentes. Esses trechos, em sua maioria, estavam localizados próximos às nascentes dos cursos d'água, pois, de acordo com a Resolução do CONAMA nº 430/2011, em seu art. 11, "é vedado o lançamento de efluentes ou a disposição de resíduos domésticos, agropecuários, de aquicultura, industriais e de quaisquer outras fontes poluentes, mesmo que tratados nos cursos d'água que se enquadram na classe especial".

Na Figura 31 são apresentados os mapas dos índices de conflito pelo uso da água (i_{cg}) para captação e diluição de efluentes, obtidos considerando o mês de janeiro de 2012, uma vez que nesse ano foi observada a situação mais crítica quanto aos índices de conflito pelo uso da água.



Relatório - índice de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos (i_{cg})

Resultados Obtidos para Captação:

Mês:	Janeiro / 2012	
Quantidade Trechos Analisados:	1603	
$i_{cg} = 0$	590	36.81 %
$0 < i_{cg} \leq 0,7$	887	55.33 %
$0,7 < i_{cg} \leq 0,9$	55	3.43 %
$0,9 < i_{cg} \leq 1,0$	12	0.75 %
$i_{cg} > 1,0$	59	3.68 %

Resultados Obtidos para Lançamentos:

Mês:	Janeiro / 2012	
Quantidade Trechos Analisados:	1603	
$i_{cg} = 0$	839	52.34 %
$0 < i_{cg} \leq 0,7$	698	43.54 %
$0,7 < i_{cg} \leq 0,9$	14	0.87 %
$0,9 < i_{cg} \leq 1,0$	8	0.50 %
$i_{cg} > 1,0$	44	2.74 %

Figura 31 – Relatório dos índices de conflito pelo uso da água na gestão de recursos hídricos (i_{cg}), em janeiro de 2012.

Verifica-se, na Figura 31, que, no caso da captação de água, 59 trechos da hidrografia (3,68%) se encontram com o i_{cg} maior que 1, ou seja, as vazões outorgadas a montante da foz do segmento em estudo superam os limites previstos em legislação, e a região da bacia em que se concentram esses trechos está localizada próxima à foz do rio Piracicaba, entre as cidades de Jaguaruçu e Timóteo, na margem direita; e em Ipatinga, Coronel Fabriciano e Antônio Dias, na margem esquerda. Outro curso d'água a apresentar demanda superior ao limite de captação é o ribeirão do Peixe, na cidade de Itabira. Observa-se ainda, nessa figura, que 36,81% dos trechos da hidrografia não possuem outorga de uso de água para captação.

Para as diluições de efluentes, 2,74% (44) dos trechos da hidrografia apresentaram i_{cg} maior que a unidade e estavam localizados na foz do rio Piracicaba, nos mesmos trechos onde o limite máximo outorgável para captação era superado. Próximo à cabeceira do curso d'água, na cidade de Mariana, também se observou situação crítica, justificada pela maior concentração de lançamentos nesses trechos.

Enfatiza-se novamente, da mesma forma como apresentado para os resultados de disponibilidade hídrica, que o índice de conflito pelo uso da água na gestão de recursos hídricos apresentado para as diluições de efluentes foi o mesmo observado em todo o período analisado, uma vez que as interferências referentes à diluição de efluentes possuíam 60 meses de validade e, nesse caso, não era apresentada nenhuma sazonalidade, sendo os valores de diluição e indisponíveis constantes ao longo de todo o período.

Dessa forma, observou-se que a determinação do índice de conflito pelo uso da água, o i_{cg}, possibilitou a identificação dos trechos dos cursos d'água, em que o limite de disponibilidade hídrica ultrapassou o limite imposto pela legislação e, assim, facilitou as análises das outorgas pelo órgão gestor, possibilitando o melhor gerenciamento e planejamento na utilização dos recursos hídricos.

5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados, pode-se concluir que:

– O Sistema para Análise das Outorgas de Captação de Água e Diluição de Efluentes na Bacia do Rio Piracicaba, MG, fornece subsídios para a gestão integrada dos aspectos quantitativos e qualitativos dos recursos hídricos, em nível de bacia hidrográfica, por meio da determinação, de forma consistente: das vazões mínimas de referência anuais em qualquer seção ao longo da hidrografia; da atualização e estimativa da disponibilidade hídrica mensal; das vazões de diluição e indisponível pelos lançamentos; e da identificação de trechos dos cursos d'água críticos, quanto à disponibilidade hídrica.

De acordo com a análise de disponibilidade hídrica na Bacia do Rio Piracicaba, pode-se constatar que os trechos considerados mais críticos quanto à vazão passível de outorga para as captações de água e a diluição de efluentes se localizam próximos da foz e cabeceira do rio Piracicaba. Na foz do curso d'água, observou-se um comprometimento de 23 e 46% do limite máximo outorgável para as captações e diluições de efluentes, respectivamente. Próximo à cabeceira, 49% da vazão máxima outorgável está comprometida com as captações de água e, no caso da diluição de efluentes, a utilização dos recursos hídricos ultrapassou a vazão mínima de referência.

O sistema desenvolvido, além de funcionar como sistema de informações de recursos hídricos, compilando as informações referentes aos recursos hídricos da bacia, possibilitou a automatização dos processos afetos às outorgas de captação de água e diluição de efluentes, através de procedimentos simplificados, podendo agilizar as análises das solicitações de outorgas pelo órgão gestor de recursos hídricos.

6. REFERÊNCIAS

ADASA – Agência Reguladora de Águas Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. **Resolução nº 13**, de 26 de agosto de 2011. Estabelece os critérios técnicos para emissão de outorga para fins de lançamento de efluentes em corpos hídricos de domínio do Distrito Federal e naqueles delegados pela União. Brasília, 2011.

ALAGOAS (Estado). **Decreto nº 6**, de 23 de janeiro de 2001. Regulamenta a outorga de direito de uso de recursos hídricos prevista na Lei n° 5.965, de 10 de novembro de 1997, que dispõe sobre a política estadual de recursos hídricos, institui o sistema estadual de gerenciamento integrado de recursos hídricos e dá outras providências. Maceió, 2001.

ALAGOAS (Estado). **Lei nº 5.965**, de 10 de novembro de 1997. Dispõe sobre a política estadual de recursos hídricos; institui o Sistema Estadual de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos e dá outras providências. Maceió, 1997.

ANA – Agência Nacional de Água. **Enquadramento dos corpos d'água**. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/Padres/enquadramento_basesconceituais.aspx>. Acesso em: Jul. 2014.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos da Agência Nacional de Águas**. Brasília: ANA, 2013. 237 p.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Panorama do enquadramento dos corpos d'água do Brasil e Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. Brasília: ANA, 2007. 124 p. il. (Caderno de Recursos Hídricos, 5).

AMARO, C. A.; PORTO, M. F. A. Proposta de um índice para avaliação de conformidade da qualidade dos corpos hídricos ao enquadramento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 2009, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande, 2009.

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.

BALTAR, A. M.; AZEVEDO, L. G. T.; REGO, M.; PORTO, R. la L. **Sistemas de suporte à decisão para a outorga de direitos de uso da água no Brasil**. Brasília: Banco Mundial, 2003. 48 p. (Série Água Brasil, 2).

BEM, C. C.; BRAGA, M. C. B.; AZEVEDO, J. C. R. Avaliação do estado trófico de um lago urbano raso. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 10, n. 1, p. 41-50, 2013.

BRASIL. **Resolução nº 140**, de 21 de março de 2012, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Brasília: MMA, 2012.

BRASIL. **Resolução nº 91**, de 5 de novembro de 2008, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos. Brasília, 2008.

BRASIL. Resolução nº 219, de 6 de junho de 2005 da Agência Nacional de Recursos Hídricos – ANA. Dispõe de diretrizes para análise e emissão de outorga de direito de uso de recursos hídricos para fins de lançamento de efluente. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**. Brasília: Poder Executivo, 7 de Nov. 2005.

BRASIL. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). 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. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**. Brasília: Poder Executivo, 18 Mar. 2005.

BRASIL. **Resolução nº 16**, de 8 de maio de 2001, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Brasília: MMA, 2001.

BRASIL. Política Nacional de Recursos Hídricos. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Recursos Hídricos. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**. Brasília: Poder Executivo, 9 Jan. 1997.

CALMON, A. P. S.; SOUZA, J. C.; REIS, J. A. T.; MENDONÇA, A. S. F. Subsídios para o Enquadramento dos Cursos de Água da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim Considerando Aportes de Esgotos Sanitários. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 1, p. 255-270, 2014.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M.; HEMERLY, A.; MAGALHÃES, G.; MEDEIROS, C. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Campinas, SP: UNICAMP – Instituto de Computação, 1996.

CATALUNHA, M. J. **Sistema integrado em rede para gestão do uso múltiplo da água e regionalização da $Q_{7,10}$ para os períodos mensal, bimestral, trimestral e anual**. 2004. 165 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004.

CBH – **Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba**. 2011. Disponível em: <http://www.cbhpiracicaba.org.br/mat_vis.aspx?cd=6520>. Acesso em: 10 Dez. 2011.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo**: significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. [S.l. : s.n.], 2009. 44 p. (Série de relatórios, Apêndice A).

CERH – Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Deliberação Normativa nº. 26**, de 18 de dezembro de 2008. Dispõe sobre procedimentos gerais de natureza técnica e administrativa a serem observados no exame de pedidos de outorga para o lançamento de efluentes em corpos de água superficiais no domínio do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008.

CEHIDRO – Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Resolução nº 29 de 24 de setembro de 2009. **Diário Oficial do Estado de Mato Grosso**, 23 de outubro de 2009. 4 p.

CONSÓRCIO ECOPLAN – LUME. **Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão**. 2010. DO2, 97 p.

CONSÓRCIO ECOPLAN – LUME. **Considerações sobre o enquadramento das águas da Bacia do rio Piracicaba**. [S.l. : s.n.], 2008. 98 p.

COLLISCHONN, B.; LOPES, A. V. Sistema de apoio à decisão para análise de outorga na bacia do rio Paraná. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 2009, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande, 2009.

DANTAS, E. S. R. **Análise das experiências de outorga de diluição de efluentes em prática no Brasil e proposições de aperfeiçoamento**. 2010. 222 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

DISTRITO FEDERAL (Estado). **Decreto n° 22.359**, de 31 de agosto de 2001. Dispõe sobre a outorga de direito de uso de recursos hídricos no território do Distrito Federal e dá outras providências. Brasília, 2001.

ELETROBRAS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. **Metodologia para Regionalização de Vazões**. Rio de Janeiro, 1985.

ESPINOSA, H. R. M-. Considerações sobre as vazões de referência para outorgas de captação e diluição. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013, Bento Gonçalves-RS. **Anais...** Bento Gonçalves, RS, 2013.

FERRAZ, A. R. G.; BRAGA, JR. P. F. Modelo decisório para outorga de direito aos usos da água no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 3, n. 1, 1998.

FERREIRA, R. M.; BARROS, N. O.; DUQUE-ESTRADA, C. H.; ROLAND, F. **Lições de limnologia**. São Paulo: Rima Editora, 2005.

FRANTZ, L. C.; CRUZ, J. C. O processo de outorga de direito de uso de recursos hídricos superficiais no Rio Grande do Sul: contribuições para o aprimoramento. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 17, n. 1. p. 5-16, 2014.

GARCIA, J. I. B. **Sistema de suporte a decisão para o lançamento de efluentes**. 2011. 162 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

IEMA – Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Instrução Normativa n° 011**, de 19 de outubro de 2007. Estabelece metas progressivas de melhoria de qualidade de água para fins de outorga para diluição de efluentes em cursos de água de domínio do Estado do Espírito Santo. Vitória, 2007.

IEMA – Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Instrução Normativa n° 007**, de 27 de junho de 2006. Estabelece critérios técnicos referentes à outorga para diluição de efluentes em corpos de água superficiais do domínio do Estado do Espírito Santo. Vitória, 2006.

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Outorga de lançamento de efluentes na bacia do Ribeirão da Mata**. Belo Horizonte: IGAM, 2013. 137 p.

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Bacia Hidrográfica do Rio Doce**: Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/index.php?option=com_content&task=view&id=155&Itemid=140>. Acesso em: 15 Nov. 2011.

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Resolução Conjunta SEMAD-IGAM nº 1548**, de 29 de março 2012. Dispõe sobre a vazão de referência para o cálculo da disponibilidade hídrica superficial nas bacias hidrográficas do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2012.

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

LANNA, A. E.; PEREIRA, J. S.; SILVA, L. M. Análise de critérios de outorga de direito de uso da água. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12., 1997, Vitória. **Anais...** Vitória, 1997.

MAIDMENT, D. R. **Arc Hydro**: GIS for water resources. 1.nd. California: ESRI Press. Redlands, 2002.

MARQUES, F. A.; SILVA, D. D.; VALADARES, C.; RIBEIRO, C. A. A. S.; MARQUES, P. E.; SILVA, A. de J. SIGWEB AQUORA – Sistema de controle dinâmico para gestão dos usos múltiplos da água. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., 2011, Maceió. **Anais...** Maceió, 2011.

MARQUES, F. A. **Sistema de Controle Dinâmico para a Gestão dos Usos Múltiplos da Água**. 2010. 234 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

MELO, M. C. D. **Avaliação e proposição de outorga para lançamento de efluentes em corpos d'água**. 2006. 120 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento – Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

MENDES, L. A. **Análise dos critérios de outorga de direito de usos consuntivos dos recursos hídricos baseados em vazões mínimas de permanência**. São Paulo, 2007. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MENESES, P. R.; GALVÃO, W. S. Avaliação dos sistemas de classificação e codificação das bacias hidrográficas brasileiras para fins de planejamento de redes hidrométricas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos, SP: INPE, 2005. p. 2511-2518.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. SRH – Secretaria de Recursos Hídricos (SRH/MMA). **Sistemas de Apoio ao Gerenciamento de Usuários da Água** – SISAGUA. Brasília, 2000.

MOREIRA, M. C.; SILVA, D. D. da; LARA, M. dos S.; PRUSKI, F. F. Índices de conflito pelo uso da água da bacia do ribeirão entre Ribeiros. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 1, p. 221-228, 2014.

MOREIRA, M. C.; SILVA, D. D. da; PRUSKI, F. F.; LARA, M. dos S. Índices para identificação de conflitos pelo uso da água: proposição metodológica e estudo de caso. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n. 3, p. 7-15, 2012.

MOREIRA, M. C. **Gestão de recursos hídricos**: sistema integrado para otimização da outorga de uso da água. 2006. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

NAHON, I. M.; KISHI, R. T.; FERNANDES, C. V. S. Desenvolvimento de um sistema de apoio à análise de outorga de lançamento de efluentes – Estudo de caso: Bacia do Alto Iguaçu. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 14, n. 2, p. 47-58, 2009.

PEREIRA, M.; KAYSER, R. B.; COLLISCHONN, W. Integração do Modelo Hidrológico para Grandes Bacias MGB-IPH e Sistemas de Informação Geográfica para suporte a decisão de outorga de direito de uso da água. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 9, n. 2, p. 21-33, 2012.

PINHEIRO, R. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, S.R.; MEDEIROS, Y. D. P., AURELIANO, J. T. Outorga para lançamento de efluentes – Uma metodologia de apoio à gestão de recursos hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 4, p. 55-65, 2013.

PROCÓPIO, L. C. **Análise dos requisitos institucionais para implementação do enquadramento de corpos d'água no Estado do Rio de Janeiro**. 2011. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

RIBEIRO, M. A. de F. M.; BARBOSA, D. L.; BATISTA, M. L. de C.; ALBUQUERQUE, J. do P. T.; ALMEIDA, M. A.; RIBEIRO, M. M. R. Simulação da Prioridade de uso das Águas Superficiais como um Critério para o Instrumento da Outorga. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 2, p. 135-145, 2014.

RIBEIRO, M. M. R.; LANNA, A. E. L. A Outorga Integrada das vazões de Captação e Diluição. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 3, p.151-168, 2003.

RIO DE JANEIRO (Estado). **Lançamento de efluentes em corpos d'água**. Rio de Janeiro: Instituto Estadual do Ambiente – INEA. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/Portal/MegaDropDown/Licenciamento/RecursosHidricos/OutorgadeDireitodeUsodeRecusos/LancamentodeEfluentesemcorposd/index.htm&lang>. Acesso em: 20 Maio 2014.

ROBERTO, A. N.; PORTO, L. L. R.; JUNIOR, A. V. M. Plataforma generalizada para análise de outorga para captação de água e para lançamento de efluentes. In: SIMPÓSIO DO SUL E SUDESTE DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2007.

RODRIGUES, R. B.; SILVA, C. L. M. AlocServer – Sistema de Alocação de Carga e Vazão de Diluição para os Processos de Enquadramento, Outorga e Cobrança pelo Uso dos Recursos Hídricos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2007.

RODRIGUES, R. B. **SSD RB** – Sistema de Suporte a Decisão proposto para a gestão quali-quantitativa dos processos de outorga e cobrança pelo uso da água. 2005. 155 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

RODRIGUES, R. B. **Metodologia de apoio a concessão de outorga para diluição de efluentes e cobrança pelo uso da água – O modelo RM1**. 2000. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

RODRIGUES, R. del G. **Metodologia para estimativa das demandas e das disponibilidades hídricas na bacia do rio Paracatu**. 2004. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004.

ROQUES, T. V. P. **Aplicação de modelos computacionais na análise de outorga para diluição de efluentes em corpos de água – Fontes pontuais e difusas**. Vitória: 2006. 201 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2006.

SALIM F. P. C.; ROQUES T. V. P.; SOUZA, W. G. Definição de critérios técnicos de análise de outorga para diluição de efluentes em cursos d'água: o caso do Estado do Espírito Santo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2007.

SÃO PAULO (Estado). **Lei nº 9.034**, de 27 de dezembro de 1994. Dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH, a ser implantado no período 1994 e 1995, em conformidade com a Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991, que instituiu normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos. São Paulo, 1994.

SÃO PAULO (Estado). **Lei nº 7.663**, de 30 de dezembro de 1991. Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos. São Paulo, 1991.

SERLA – Superintendência Estadual de Rios e Lagoas. **Portaria nº 567**, de 7 de maio de 2007. Rio de Janeiro, 2007.

SILVA, A. de J. **Arquitetura de software para sistemas de informação para gestão de recursos hídricos**. 2012. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.

SILVA, D. D. da; ELESBON, A. A.; MAQUES, F. A. Sistemas de Informações na Gestão de Recursos Hídricos. In: **Fortalecimento do Sistema de Gestão de Recursos Hídricos no Brasil e na Bacia do rio Doce**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2010. p. 65.

SOUZA, W. G. de; SALIM, F. P. C.; SILVA, L. M. C. da. Aplicação de metas progressivas de melhorias de qualidade de água no processo de outorga para diluição de efluentes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 2009, Campo Grande. **Anais…** Campo Grande, 2009.

STREETER, H. W.; PHELPS, E. B. A study of the pollution and natural purification of the Ohio River. **Public Health Bulletin**, Washington, 1925. 146 p.

VON SPERLING, E.; FERREIRA, A. C. S.; GOMES, L. N. L. Comparative eutrophication development in two Brasil water supply reservoirs with respect to nutrient concentrations and bacteria growth. **Desalination**, v. 226, p. 169-174, 2008.

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. p. 317-576.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. v. 1, 452 p.

ZORZAL, R. **Sistema de suporte a decisão para análise de outorga de lançamento de efluentes de fontes pontuais em rios**. 2009. 200 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2009.

WESSLING, C. S. **Avaliação comparativa entre os procedimentos técnicos legais e administrativos para lançamento de efluentes em rios adotados no Brasil e Alemanha**. 2011. 186 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

APÊNDICES

APÊNDICE A

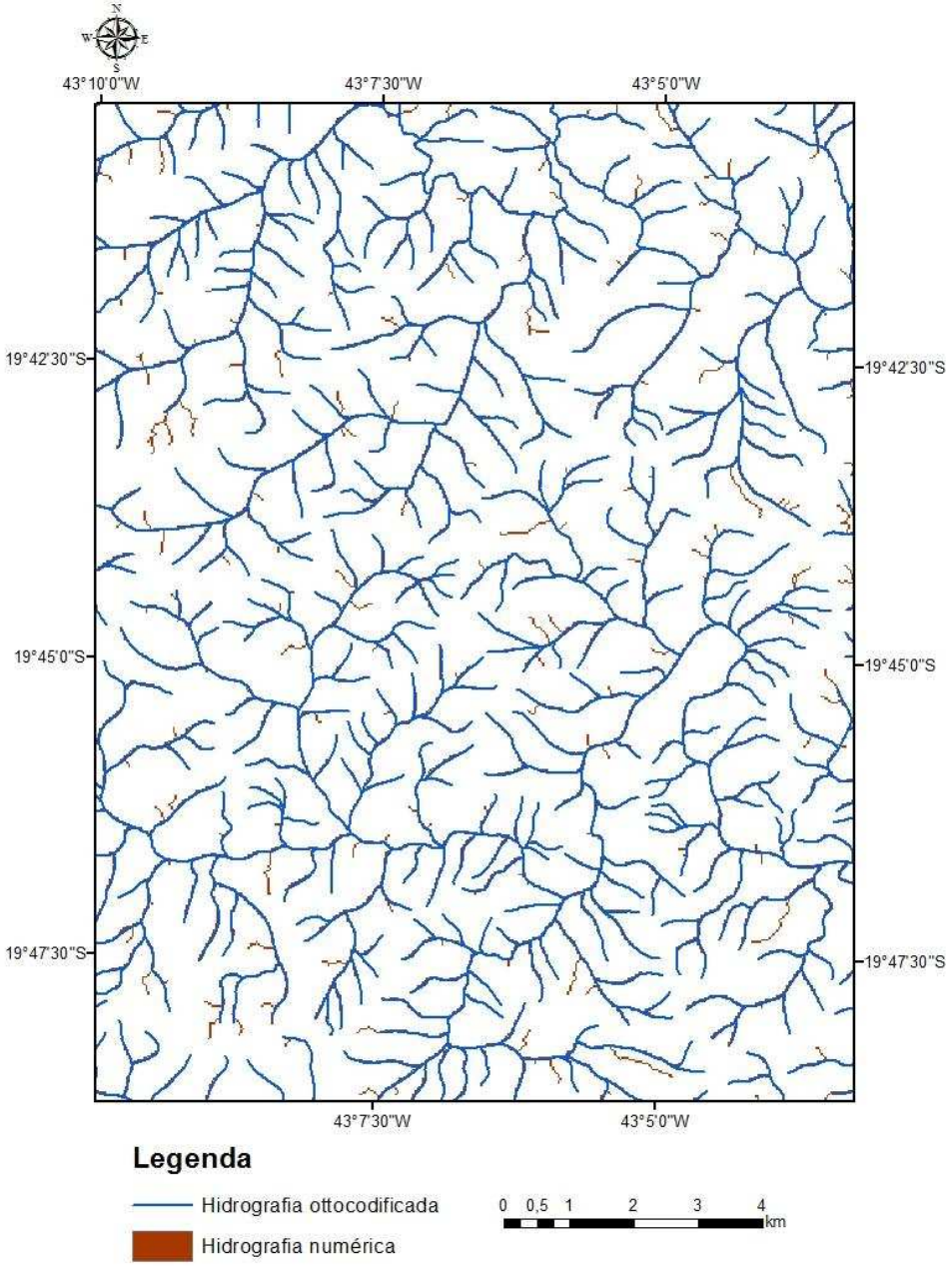
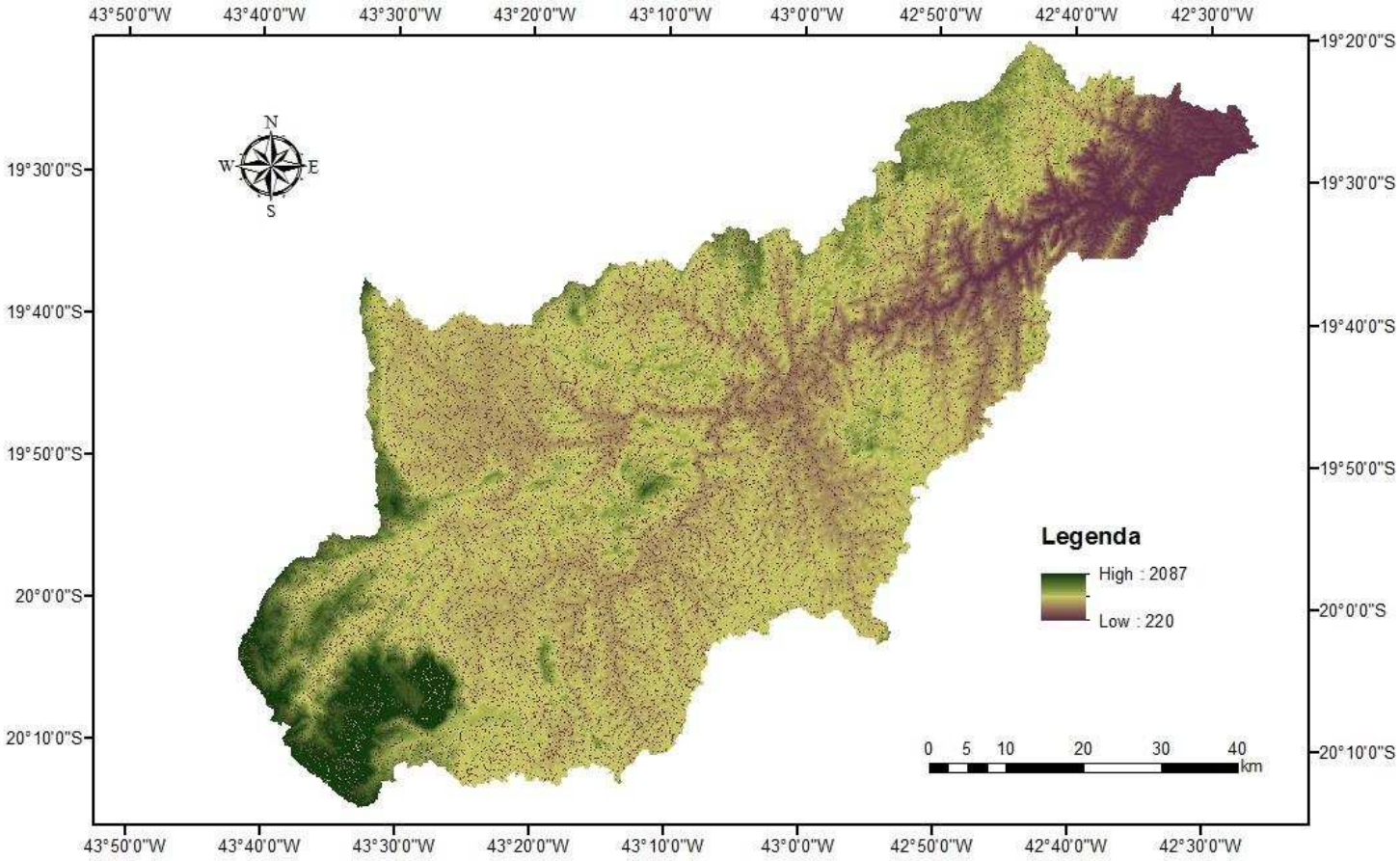


Figura 1A – Sobreposição da drenagem numérica com a hidrografia ottocodificada.



,

Figura 2A – Modelo digital hidrograficamente condicionado para a Bacia do Rio Piracicaba, MG.

APÊNDICE B

Disponibilidade hídrica

Através do período de dados em cada estação, foi possível a identificação do período-base (período comum de dados) compreendido entre 1975 e 2005, caracterizando 31 anos de dados consistidos.

Fez-se a análise do padrão de distribuição das médias das vazões específicas, máximas e mínimas mensais, para as estações fluviométricas da Bacia do Rio Piracicaba, como apresentado nas Figuras 1B, 2B e 3B, respectivamente.

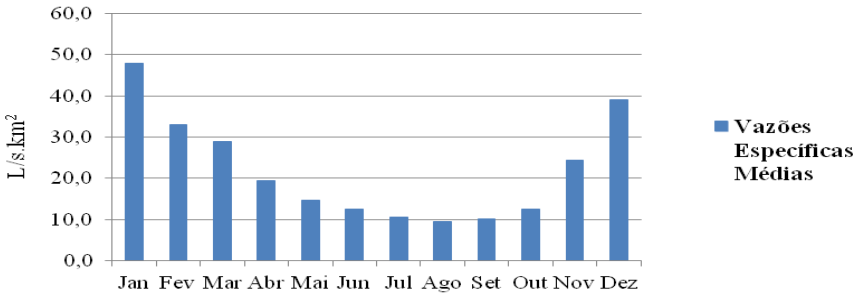


Figura 1B – Distribuição mensal das vazões específicas médias.

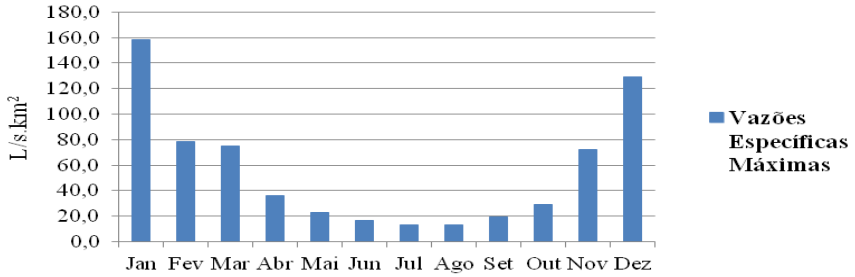


Figura 2B – Distribuição mensal das vazões específicas máximas.

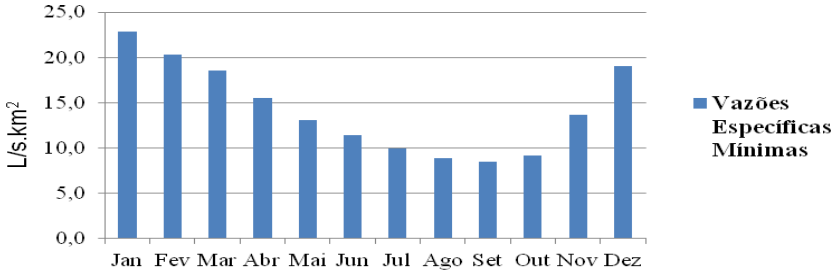


Figura 3B – Distribuição mensal das vazões específicas mínimas.

Pelos gráficos apresentados, observa-se que, de forma geral, a distribuição das vazões específicas médias, máximas e mínimas mensais revelou que o início do aumento dos valores observados ocorre no mês de outubro. Assim, no estudo, considerou-se o ano hidrológico como tendo início no mês de outubro e término no mês de setembro do ano seguinte. Após a identificação do ano hidrológico, as vazões mínimas de referência foram estimadas para cada estação fluviométrica utilizada no estudo (Tabela 1B).

Tabela 1B – Vazões mínimas de referência (m^3s^{-1}) nas estações fluviométricas

Estações fluviométricas	$Q_{7,10}$
56610000	5,14
56640000	2,87
56659998	17,12
56696000	27,61

Considerando o número limitado de estações fluviométricas na Bacia do Rio Piracicaba, a área de drenagem foi a única característica física utilizada para o ajuste das equações de regionalização, e, também, pelo mesmo motivo, adotou-se apenas uma região homogênea.

Na Tabela 2B é apresentada a equação de regionalização obtida no período anual utilizada na determinação da disponibilidade hídrica, em qualquer seção ao longo da hidrografia da Bacia do Rio Piracicaba.

Tabela 2B – Equações de regionalização para o período anual em função da área de drenagem, coeficiente de determinação e erro-padrão

Períodos	**Equações**	R^2	**Erro-padrão**
Anual	$Q_{7,10} = 0,009314\ A^{0,925826}$	0,979	0,187

APÊNDICE C

Tabela 1C – Cadastro de usuários outorgados para captação de água na Bacia do Rio Piracicaba

Processo Outorga	Empreendimento	Município	Finalidades	Curso d'água	Latitude	Longitude	Vazão capt. (m^3s^{-1})
00081/2011	Anglogold Ashanti	Santa Bárbara	Recirculação de água	Afluente do rio Conceição	-19,98726	-43,47273	0,0031
00287/2003	Prefeitura Municipal de Barão de Cocais	Barão de Cocais	Abastecimento público	Ribeirão dos Cocais	-19,86445	-43,46396	0,0100
00590/2007	Fazenda Paraíso	Santa Bárbara	Irrigação	Córrego Moinho de Olicio	-20,01933	-43,48161	0,0200
00614/2002	Prefeitura Municipal de Santa Bárbara	Santa Bárbara	Abastecimento público	Ribeirão Caraça	-19,99362	-43,42176	0,0080
00913/2007	Gerdau Aços Longos S.A.	Barão de Cocais	Consumo industrial	Rio Barão de Cocais ou João	-19,94139	-43,48194	0,1250
01113/2001	Prefeitura Municipal de Nova Era	Nova Era	Abastecimento público	Rio do Prata	-19,78306	-43,00333	0,0240
01114/2010	Prefeitura Municipal de Jaguaraçu	Jaguaraçu	Extração mineral	Córrego Ribeirão Onça Grande	-19,65128	-42,74773	0,0025
01303/2007	Fazenda Maquiné	Curvelo	Irrigação	Afluente da Margem Direita do Ribeirão Maquiné	-20,18030	-43,50810	0,0694
01443/2010	Consórcio Vale do Aço	Antônio Dias	Consumo industrial	Ribeirão do Bicudo	-19,67028	-42,86194	0,0550
01444/2010	Consórcio Vale do Aço	Nova Era	Consumo industrial	Rio da Prata	-19,77583	-43,00528	0,0550
01505/2011	Samarco Mineração S.A.	Mariana	Consumo industrial	Rio Santa Bárbara (Ribeirão Caraça)	-19,98159	-43,45347	0,5690
01552/2007	Nova Era Silicon	Nova Era	Consumo industrial		-19,58139	-43,04389	0,0073
01581/1993	Prefeitura Municipal de Ipaba	Coronel Fabriciano	Abastecimento público; Urbanização	Córrego Água Limpa	-19,49774	-42,63339	0,0100
01614/1993	Copasa	Antônio Dias	Abastecimento público	Rio Piracicaba	-19,65177	-42,86540	0,0200
01617/1993	Copasa – Bela Vista de Minas	Bela Vista de Minas	Abastecimento público	Córrego do Jambo	-19,86853	-43,08267	0,0500
01722/1993	SAA de São Domingos do Prata	São Domingos do Prata	Abastecimento público	Rio da Prata	-19,87227	-42,95655	0,0400
01815/1993	SAA de Rio Piracicaba	Rio Piracicaba	Abastecimento público	Córrego Talho Aberto	-19,90489	-43,17016	0,0370
02484/2005	Minerações Brasileiras Reunidas	Santa Bárbara	Consumo industrial	Córrego Mato Grosso	-20,04073	-43,66929	0,0024
03159/2006	Vale S.A.	Itabira	Consumo industrial; Contenção de sedimentos	Córrego Conceição	-19,64421	-43,27770	0,0160

Continua...

Tabela 1C – Cont.

Processo Outorga	Empreendimento	Município	Finalidades	Curso d'água	Latitude	Longitude	Vazão capt. (m^3s^{-1})
03160/2006	Vale S.A	Itabira	Consumo industrial; Contenção de sedimentos	Córrego dos Doze	-19,62667	-43,18167	0,0560
03161/2006	Vale S.A	Itabira	Consumo industrial; Contenção de sedimentos; Recirculação de água	Ribeirão do Peixe	-19,67452	-43,23652	0,2210
03468/2006	Mina de Água Limpa	Rio Piracicaba	Consumo industrial	Córrego do Diogo	-19,93056	-43,20139	0,2220
03545/2008	Saint – Gobain do Brasil	São Gonçalo do Rio Abaixo	Consumo industrial	Córrego São Pedro	-19,87694	-43,27750	0,0060
03565/2010	Belmont Ltda	São Gonçalo do Rio Abaixo	Consumo industrial; Lavagem de veículos	Córrego Pau Raíz	-19,85409	-43,29528	0,0015
04070/2010	Daniela Pereira Silva	Timóteo	Extração mineral		-19,52680	-42,66355	0,0058
04182/2006	Tratamento de água-bateria de poços-Rio Piracicaba	Rio Piracicaba	Abastecimento público	Córrego Caxambu	-20,01278	-43,09556	0,0053
04308/2007	Titânio Goiás Mineração	Itabira		Córrego José Antonio	-19,72884	-43,22319	0,0014
04408/2010	Galvão Engenharia S.A	Rio Piracicaba	Consumo industrial	Córrego do Barroso	-19,85902	-43,09174	0,0550
04914/2006	Copasa	Bom Jesus do Amparo	Abastecimento público	Rio São João	-19,69922	-43,48260	0,0115
05764/2006	CVRD – Complexo Industrial de Alegria	Mariana	Consumo humano; Consumo industrial	Córrego Macaco Barbado	-20,18412	-43,50863	0,0060
05841/2006	Nova Era Silicon S.A	Nova Era	Consumo industrial		-19,58556	-43,02556	0,0022
05914/2007	Cimeca Comércio e Indústria de Minérios	Rio Piracicaba	Irrigação	Córrego Pé da Serra	-19,91873	-43,19247	0,0022
06030/2006	Copasa	Santa Bárbara	Abastecimento público	Ribeirão Carraça	-19,99657	-43,45958	0,0720
06107/2006	Prefeitura Municipal de Jaguaraçu	Jaguaraçu	Abastecimento público	Córrego do Jacuba	-19,66541	-42,72378	0,0063
06250/2009	Samarco Mineração S.A	Mariana	Consumo industrial	Rio Santa Bárbara	-19,98470	-43,45376	0,5690
06286/2010	Fazenda Vereda	Bom Jesus do Amparo	Irrigação	Nascentes	-19,73773	-43,41226	0,0064
06457/2008	Cemig	São Gonçalo do Rio Abaixo	Dessedentação de animais	Afluente do rio Santa Bárbara	-19,88490	-43,37293	0,0050

Continua...

Tabela 1C – Cont.

Processo Outorga	Empreendimento	Município	Finalidades	Curso d'água	Latitude	Longitude	Vazão capt. (m^3s^{-1})
06709/2006	Piteiras Mineração	Itabira	Consumo industrial	Afluente da margem direita do rio do Peixe	-19,69167	-43,09889	0,0025
06745/2006	Anglogold Ashanti	Santa Bárbara	Consumo industrial	Rio Conceição	-20,01444	-43,52028	0,0140
06959/2007	Clóvis Ticom	Timóteo	Irrigação	Córrego Limoeiro	-19,55639	-42,58778	0,0012
07157/2010	DAE – Departamento Municipal de Água e Esgoto	João Monlevade	Abastecimento público	Rio Santa Bárbara	-19,79944	-43,22058	0,3000
07325/2009	Itamix Ltda – Maquiné	Barão de Cocais	Consumo industrial	Córrego Serra Velha	-19,86694	-43,45222	0,0110
07357/2011	Darbi Giacomin	Timóteo	Extração mineral	Rio Piracicaba	-19,54071	-42,68053	0,0210
07423/2011	Micon – Mineração Congonhas Ltda	Catas Altas	Consumo industrial	Tributário do córrego da Laje	-20,02722	-43,42417	0,0064
07624/2007	Prefeitura Municipal de Jaguaraçu	Jaguaraçu	Abastecimento público	Formador do córrego Baratinha	-19,54666	-42,73495	0,0026
08528/2008	Companhia Vale do Rio Doce	Caeté	Consumo industrial	Rio São João	-20,00029	-43,62063	0,0278
09425/2008	Belmont Ltda	Iatabira	Consumo industrial	Córrego Cachoeira	-19,66722	-43,13528	0,0280
10793/1995	DAE – João Monlevade	João Monlevade	Abastecimento público	Rio Piracicaba	-19,79972	-43,20000	0,2900
11056/1996	Serviço Autônomo de Água e Esgoto	Itabira	Abastecimento público	Rio do Peixe	-19,67286	-43,22883	0,0600
11059/1996	Serviço Autônomo de Água e Esgoto	Itabira	Abastecimento público	Ribeirão Candidópolis	-19,66580	-43,20138	0,0800
11531/2010	ABC Tecnologia Ltda	Timóteo	Consumo humano/ industrial	Rio Piracicaba	-19,52082	-42,65174	0,5500
13289/2010	Samarco Mineração S.A	Mariana	Consumo humano/ industrial	Rio Piracicaba	-20,18012	-43,50278	0,0094
13551/2009	Arcelormittal Brasil S.A	João Monlevade	Consumo humano/ industrial	Rio Piracicaba	-19,85590	-43,11925	0,8900
16198/2009	Arcelormittal Brasil S.A	Bela Vista de Minas	Consumo humano/ industrial	Rio Santa Bárbara	-19,77667	-43,17194	0,0150
16828/2010	Sítio da Tranquilidade	Barão de Cocais	Aqüicultura/Consumo humano	Córrego Pedra Vermelha	-19,97360	-43,57254	0,0030
18487/2011	Prefeitura Municipal de São Gonçalo do Rio Abaixo – Timirim	São Gonçalo do Rio Abaixo	Irrigação	Afluente do córrego Timirim	-19,68972	-43,36139	0,0008
19348/2011	Fazenda Santa Cruz	Antonio Dias			-19,54278	-42,89583	0,0017