UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA OUTORGA DE DIREITO DE USO DE RECURSOS HÍDRICOS

BRUNO COLLISCHONN

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Engenharia.

Porto Alegre, outubro de 2014.

Apresentação

O presente trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob a orientação do Prof. Carlos Eduardo Morelli Tucci.

Agradecimentos

- ao IPH e a seus professores e funcionários, em especial aos professores Juan Martin Bravo, Fernando Dornelles, André Silveira, Fernando Meirelles e os colegas Adalberto Meller e Rodrigo Paiva;

- à ANA, pelo apoio à elaboração desta tese e concessão de licença para sua finalização, e à sociedade brasileira, que custeou minha formação superior e atualmente paga meus vencimentos;

- aos colegas Alan Vaz Lopes, André Raymundo Pante, Francisco Lopes Viana e Luciano Meneses Cardoso da Silva, que formaram o "caldo cultural" onde esta tese se originou;

- aos demais colegas da ANA, em especial os da pelada de sexta-feira: Márcio "Meu Camarada", Nazareno, Petry, Prado, Lima, Rubão, Léo Almeida, Marcelão, Marcola, Aldir;

- ao prof. Tucci, pela experiência transmitida e atenção dedicada;

- a meus pais, pelo incentivo ao estudo, e irmãos, em particular o prof. Walter pelas valiosas discussões e conselhos;

- por fim, mais do que tudo, à minha esposa Lidiane e minha filhinha Lorena, que enchem meu lar, meu coração e minha vida de alegria; a elas dedico esta tese.

Resumo

A outorga de direito de uso de água é um instrumento de alocação de água cuja avaliação depende do balanço entre demandas e disponibilidades hídricas na bacia. Entretanto, a tomada de decisão na emissão do instrumento ainda é morosa em muitos órgãos gestores de recursos hídricos no país, gerando insegurança jurídica e protelação de investimentos produtivos. Além disso, o múltiplo domínio das águas em uma mesma bacia leva a um risco de superalocação do recurso hídrico, pela falta de interlocução entre os órgãos gestores responsáveis. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão para análise de pedidos de outorga com base na legislação brasileira, permitindo a integração do gerenciamento em bacias de múltiplos domínios hídricos. O sistema vem sendo usado para tomar decisões reais em órgãos gestores de recursos hídricos no Brasil, e seu uso proporcionou grande celeridade e uniformidade à tomada de decisão e economia à administração pública. O desenvolvimento e uso do sistema levantam diversas questões sobre o gerenciamento de recursos hídricos no Brasil, em particular dado o múltiplo domínio das águas em uma mesma bacia, e aponta alguns possíveis caminhos para um aprimoramento de questões técnicas em que o sistema de apoio à decisão e o próprio instrumento da outorga são carentes.

Abstract

Water rights permits, known as *outorga,* are one of the instruments of the Brazilian Water Resources Policy. Federal and state water resources departments evaluate each new water right request based on a comparison between water availability (usually a high percentile of the flow duration curve) and existing water demands. However, decision-making about the issuing of new permits is sometimes slow, causing regulatory uncertainties and unnecessary delays in investment. Moreover, in basins shared by more than one single federal state, there is the risk of resource overallocation, given the incipient exchange of information between state and federal water departments. This work presents the development of a Decision-Support-System for evaluating water rights requests, given the Brazilian legal and technical framework. The system allows for integrated management in basins shared by more than one state, where three or more water authorities are involved with issuing water rights permits. The system is being used in real water resource management, allowing for a more quick and uniform decision-making. The economy provided for the public administration due to its use is significant, in terms of both time and financial resources. Its development raised several questions about water resources management in Brazil, given the various actors involved in management in shared basins. Moreover, some possible improvements are proposed, regarding the DSS and water rights in general.

Sumário

LISTA DE TABELAS ..... **IX**

LISTA DE FIGURAS ..... **X**

LISTA DE ANEXOS ..... **XV**

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS ..... **XVI**

1. INTRODUÇÃO **1**

1.1. OBJETIVO 3

1.2. JUSTIFICATIVA 4

2. OUTORGA DE USO DE RECURSOS HÍDRICOS **5**

2.1. DOMÍNIOS DOS RECURSOS HÍDRICOS 5

2.2. OUTORGA DE DIREITO DE USO E ALOCAÇÃO DE ÁGUA 10

2.3. DILUIÇÃO DE EFLUENTES 19

2.4. ALOCAÇÃO NEGOCIADA DE ÁGUA 21

3. SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO EM RECURSOS HÍDRICOS **25**

3.1. DEFINIÇÕES 25

3.2. SISTEMAS EXISTENTES 27

3.3. CONTEXTO DE DESENVOLVIMENTO 28

3.4. OTTOCODIFICAÇÃO 31

4. O SISTEMA DE CONTROLE DE BALANÇO HÍDRICO (SCBH) **34**

4.1. PROCEDIMENTO DE ANÁLISE 34

4.2. ESTRUTURA COMPUTACIONAL DO SISTEMA E BACIAS SISTEMATIZADAS 37

4.3. INTELIGÊNCIA GEOGRÁFICA 41

4.3.1. Versão Matlab *41*

4.3.2. Versão PHP *41*

4.4. ACUMULAÇÃO DE DEMANDAS 42

4.4.1. Versão Matlab *42*

4.4.2. Versão PHP *45*

4.5. DISPONIBILIDADE HÍDRICA 47

4.6. RESERVATÓRIOS 50

4.6.1. Reservatórios de regularização *50*
4.6.2. Reservatórios do setor elétrico – com DRDH *50*
4.6.3. Reservatórios do setor elétrico – sem DRDH formal *51*
4.6.4. Trechos a jusante de reservatórios *52*
4.7. QUALIDADE DE ÁGUA 53
4.7.1. DBO *54*
4.7.2. Nitrogênio e fósforo *56*
4.7.3. Temperatura *56*
4.8. INDICADORES DE COMPROMETIMENTO 58
4.9. SISTEMA DE APOIO À ALOCAÇÃO NEGOCIADA DE ÁGUA 60
4.10. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DO USO DO SISTEMA 62
5. RESULTADOS 65
5.1. SCBH LOCAL 65
5.1.1. SCBH São Francisco *65*
5.1.2. Operações gerenciais *75*
5.1.3. SCBH Paraíba do Sul *79*
5.1.4. SCBH Piranhas-Açu *86*
5.2. SCBH *WEB* 90
5.2.1. Bacias do rio Uruguai e Lagoa Mirim *93*
5.2.2. Uso externo *103*
5.2.3. Bacia do rio Preto *104*
5.2.4. Bacia do São Marcos *108*
5.3. COMPARAÇÃO ENTRE VANTAGENS E DESVANTAGENS DAS DUAS VERSÕES 113
5.4. SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA ALOCAÇÃO NEGOCIADA DE ÁGUA 114
5.4.1. Luiz Vieira (Brumado) *114*
5.4.2. Estreito/Cova da Mandioca *122*
5.5. BENEFÍCIOS DO USO DO SISTEMA 127
5.6. AVALIAÇÃO DO USO DO SISTEMA PELOS USUÁRIOS (ANALISTAS) 130
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS 134
6.1. CONCLUSÕES 134
6.2. RECOMENDAÇÕES 138
6.2.1. Outorga de águas subterrâneas *138*
6.2.2. Novos reservatórios *141*

6.2.3. Qualidade de água em reservatórios *144*
6.2.4. Vazões mínimas *147*
6.2.5. Melhorias no sistema de apoio à alocação negociada de água *148*
6.2.6. Vazões de entrega *149*

7. BIBLIOGRAFIA 153

ANEXOS 159

Lista de Tabelas

Tabela 2.1. Mananciais cujo gerenciamento foi delegado pela ANA a órgãos gestores estaduais. 10

Tabela 2.2. Comparativo dos sistemas de alocação de direitos de uso da água no Brasil e no oeste dos EUA (Doutrina Colorado)..... 17

Tabela 4.1. Exemplo da estrutura da matriz binária contendo o balanço hídrico 43

Tabela 4.2. Exemplo de matriz com a topologia 44

Tabela 5.1. Limite de área irrigável por pivô central na bacia do São Marcos, definidos por meio da Resolução ANA nº567/2010 109

Tabela 5.2. Demandas pleiteadas inicialmente por cada usuário do açude Luiz Vieira, em hm^3. 115

Tabela 5.3. Síntese de todas as demandas levantadas nos açudes Estreito e Cova da Mandioca. 124

Tabela 5.4. Número de interferências avaliados por meio do SCBH na ANA, de 2008 a 2013. 127

Tabela 5.5. Relação entre número de análises do SCBH e número total de outorgas emitidas pela ANA..... 128

Tabela 5.6. Economia proporcionada pelo SCBH de 2008 a 2013. 129

Tabela 5.7. Aspectos em que o sistema melhorou os procedimentos, na avaliação dos analistas entrevistados. 131

Tabela 5.8. Melhorias necessárias para um uso mais amplo e confiável do sistema, na avaliação dos analistas entrevistados. 133

Lista de Figuras

Figura 2.1. Domínios dos corpos hídricos brasileiros, na escala 1:1.000.000 (apenas rios com bacia maior do que 1.000 km² foram considerados, para maior clareza) 7

Figura 3.1. Componentes de um sistema de apoio à decisão segundo Azevedo et. al (2003) . 26

Figura 3.2. Codificação otto (Figueiredo e Rubert, 2000). 31

Figura 4.1. Bacia hidrográfica com usos já outorgados (vermelho), estação de monitoramento e novo pedido de outorga (em preto) 35

Figura 4.2. Fluxograma do Sistema de Controle de Balanço Hídrico (adaptado de ANA, 2013a)..... 39

Figura 3. Bacias em que o SCBH foi aplicado 40

Figura 4.4. Rasterização de reservatórios e sobreposição com as ottobacias 42

Figura 4.5. Exemplo esquemático de acumulação de demandas em banco de dados 45

Figura 4.6. Acumulação de uma nova demanda em todos os trechos a jusante (versão MATLAB)..... 46

Figura 4.7. Acumulação por meio de consulta às demandas situadas em trechos a montante (versão PHP)..... 46

Figura 4.8. Valores de coeficiente de troca de calor (Thomann e Müller (1987) *apud* Cardoso da Silva e Monteiro (2004)) 57

Figura 5.1. Tela inicial do sistema com dados preenchidos para análise de ponto de captação 66

Figura 5.2. Resultados da análise – ponto de captação..... 67

Figura 5.3. Análise considerando demanda média mensal, mostrando redução do comprometimento 68

Figura 5.4. Resultados gráficos da análise de jusante..... 69

Figura 5.5. Resultado da análise indicando comprometimento excessivo da disponibilidade hídrica na maior parte dos meses..... 70

Figura 5.6. Análise de outorga para diluição de efluentes 72

Figura 5.7. Gráfico mostrando a concentração a jusante do ponto de lançamento 73

Figura 5.8. Análise de diluição de efluentes contendo N, P e alteração da temperatura 74

Figura 5.9. Operações de alteração de vazão de referência (planilha modelo à esquerda) e corte da propagação em reservatórios (à direita)..... 75

Figura 5.10. Resultado do diagnóstico quantitativo dos rios federais da bacia do São Francisco, dadas as outorgas atuais 76

Figura 5.11. Procedimento para alteração de outorga..... 78

Figura 5.12. Resultados da simulação quali-quantitativa do Paraíba do Sul sem considerar a retirada de cargas através de captações (esquerda) e detalhe para o trecho da elevatória de Santa Cecília..... 80

Figura 5.13. Representação do decaimento de cargas poluentes considerando a retirada por captações 81

Figura 5.14. Localização das interferências cadastradas na bacia do Paraíba do Sul e levadas em conta na simulação. 82

Figura 5.15. Concentração de $DBO_{5,20}$ nos cursos de água de domínio da União situados na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul. A escala de cores representa as classes estabelecidas na Resolução CONAMA nº 357/2005. 83

Figura 5.16. Enquadramento dos corpos d'água de domínio da União. 83

Figura 5.17. Concentração de $DBO_{5,20}$ nos cursos de água de domínio da União situados na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul (compromisso de abatimento de cargas)..... 85

Figura 5.18. Bacia do Piranhas-Açu e macrotrechos para alocação de água. 87

Figura 5.19. Quadro da alocação de água por finalidade e macrotrecho na bacia do rio Piranhas-Açu, definida pela Resolução ANA nº 687/2004..... 87

Figura 5.20. Tela inicial do SCBH Piranhas-Açu, com menu para escolha da finalidade 88

Figura 5.21. Tela de resultados do SCBH Piranhas-Açu. 89

Figura 5.22. Tela inicial do SCBH *web*. 92

Figura 5.23. Escolha da bacia de análise..... 92

Figura 5.24. Tela de *login.* 93

Figura 5.25. Tela para inserção de informações do uso de água. 94

Figura 5.26. Tela de identificação do manancial e município e detalhamento da demanda.... 95

Figura 5.27. Usuário Carlos Simonetti, outorgado no rio Uruguai, cuja localização se insere dentro da ottobacia de pequeno afluente. 96

Figura 5.28. Tela com os resultados da análise. 97

Figura 5.29. Inserção de uma coordenada correspondente a um manancial não gerenciado pela instituição do analista logado. 98

Figura 5.30. Tela inicial para análise de lançamento de efluentes. 99

Figura 5.31. Identificação do rio e município e detalhamento dos dados do lançamento de efluentes. 99

Figura 5.32. Vazões indisponibilizadas e indicadores de comprometimento qualitativo..... 100

Figura 5.33. Análise em porção fronteiriça do rio Uruguai, levando em conta o normativo da ANA referente a rios fronteiriços e transfronteiriços. 101

Figura 5.34. Lista de usuários outorgados nas bacias do rio Uruguai e Lagoa Mirim (a lista real foi reduzida para visualização). 102

Figura 5.35. Exclusão de um usuário do banco de dados. 102

Figura 5.36. Tela de resultados para análise no módulo externo. 103

Figura 5.37. Bacia do rio Preto até a UHE Queimado e hidrografia do sistema, com melhor escala no território do DF..... 105

Figura 5.38. Tela de inserção de coordenadas do SCBH bacia do rio Preto..... 106

Figura 5.39. Análise de um ponto de captação em rio distrital. 106

Figura 5.40. Análise realizada em manancial de domínio da União, delegado ao DF, sinalizando para o não-atendimento das condições de delegação. 107

Figura 5.41. Composição de imagens LANDSAT da bacia do São Marcos, e detalhe para a sub-bacia do ribeirão Samambaia, com grande densidade de pivôs centrais..... 109

Figura 5.42. Telas iniciais do SCBH São Marcos. 111

Figura 5.43. Tela de resultados do SCBH São Marcos, com destaque para a avaliação dos limites de área irrigável. 111

Figura 5.44. Detalhamento das áreas irrigadas outorgadas na bacia do São Marcos 112

Figura 5.45. Tela inicial do sistema desenvolvido 116

Figura 5.46. Adição de novos usuários e detalhamento dos volumes mensais 117

Figura 5.47. Sistema preenchido com as demandas pleitadas por cada usuário do açude Luiz Vieira. 118

Figura 5.48. Comportamento volumétrico do açude Luiz Vieira, considerando as demandas informadas, supondo um ano hidrológico seco e partindo de reservatório cheio. 118

Figura 5.49. Comportamento volumétrico considerando as demandas informadas e supondo um ano hidrológico médio..... 119

Figura 5.50. Comportamento volumétrico considerando as demandas informadas e supondo um ano hidrológico úmido. 120

Figura 5.51. Leitura de planilha de demandas e formato das demandas em MS Excel®..... 121

Figura 5.52. Sistema Estreito-Cova da Mandioca e perímetro de irrigação a jusante..... 123

Figura 5.53. Tela inicial do sistema, preenchida com as demandas pleiteadas pelos diferentes usuários 124

Figura 5.54. Comportamento volumétrico dos açudes Estreito (esquerda) e Cova da Mandioca (direita), considerando as demandas informadas e supondo um ano hidrológico seco e partindo de reservatório cheio. 125

Figura 5.55. Comportamento volumétrico considerando as comportas fechadas, ano médio. 126

Figura 5.56. Número de interferências analisadas ano a ano 127

Figura 5.57. Grau de satisfação dos analistas com o uso do SCBH em relação aos procedimentos de análise de outorga 130

Figura 5.58. Grau de satisfação dos entrevistados com o uso do SCBH para análise de diluição de efluentes. 132

Figura 5.59. Respostas referentes ao desenvolvimento de novos sistemas..... 132

Figura 6.1. Composição de imagens LANDSAT da bacia do São Marcos mostrando trecho da hidrografia na escala 1:100.000 com vários reservatórios 144

Figura 0.1. Exemplo de resolução de outorga submetendo o uso às decisões da Alocação Negociada de Água (disponível em http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2008/462-2008.pdf) 165

Figura 0.2. Ottocodificação da bacia do rio Una 166

Figura 0.3. Códigos de cursos d'água da bacia do rio Una 167

Figura 0.4. Delimitação da área de drenagem das ottobacias individuais 170

Figura 0.5. Acumulação da área de drenagem por meio da eliminação sequencial de confluências de cabeceira 172

Lista de Anexos

Anexo A 1. Exercícios de Teoria dos Jogos..... 159

Anexo A 2. Exemplo de resolução de outorga remetendo decisões ao processo de alocação negociada de água..... 165

Anexo A 3. Exemplo de ottocodificação e de consulta geográfica. 166

Anexo A 4. Base hidrográfica e ottocodificação. 168

Anexo A 5. Exemplo de relatório de análise do SCBH. 174

Anexo A 6. Respostas ao questionário..... 175

Lista de abreviaturas e símbolos

ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos

ADASA/DF – Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal

AIEPC – Área Irrigável Equivalente máxima por Pivô Central

ANA – Agência Nacional de Águas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

C_{ef} – Concentração do parâmetro de qualidade de água no efluente ($mg.l^{-1}$)

CF88 – Constituição Federal do Brasil

C_{man} – Concentração natural do parâmetro de qualidade de água no corpo hídrico ($mg.l^{-1}$)

CNARH – Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos

CODEVASF – Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e Parnaíba

COGERH/CE – Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Ceará

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

C_p – Calor específico da água ($cal.g^{-1}.ºC^{-1}$)

C_{perm} – Concentração permitida do parâmetro de qualidade de água no corpo hídrico ($mg.l^{-1}$)

CPRM – Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais

D – Volume de demanda (hm^3)

DAEE/SP – Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DIB – Distrito de Irrigação de Brumado

DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra as Secas

DNOS – Departamento Nacional de Obras de Saneamento (extinto)

DRDH – Declaração de Reserva de Disponibilidade Hídrica

e – número neperiano

E – volume evaporado (hm^3)

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

EUA – Estados Unidos da América

H – profundidade média do curso d'água (cm)

HTML – HyperText Markup Language

ICC – Indicador de comprometimento coletivo (%)

ICCqual – Indicador de Comprometimento Coletivo Qualitativo (%)

ICCquant – Indicador de Comprometimento Coletivo Quantitativo (%)

ICI – Indicador de comprometimento individual (%)

ICIqual – Indicador de Comprometimento Individual Qualitativo (%)

ICIquant – Indicador de Comprometimento Individual Quantitativo (%)

IEMA/ES – Instituto Estadual do Meio Ambiente do Estado do Espírito Santo

IGAM/MG – Instituto Mineiro de Gestão das Águas

INMET –Instituto Nacional de Meterologia

IPH – Instituto de Pesquisas Hidráulicas

K – coeficiente de troca de calor ($cal.cm^{-2}.dia^{-1}.ºC^{-1}$)

k_1 – coeficiente de decaimento da DBO (ºC)

K_{dec} – coeficiente de abatimento de DBO entre dois trechos quaisquer (-)

Kr – Taxa de remoção de matéria orgânica (dia^{-1})

LABSID/USP – Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões da Universidade de São Paulo

L_n – comprimento de um trecho de rio (m)

MGB-IPH – Modelo Hidrológico de Grandes Bacias

MS – Microsoft

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico

PAD-DF – Plano de Assentamento Dirigido do Distrito Federal

PCH – Pequena Central Hidrelétrica

PHP – acrônimo recursivo para “PHP:Hypertext Preprocessor” (originalmente Personal Home Page)

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos

Q_{afl} – volume afluente (hm^3)

Q_{cap} – vazão captada pelo usuário ($m^3.s^{-1}$)

Q_{capmax} – vazão máxima instantânea de captação ($m^3.s^{-1}$)

$Q_{capmeddia}$ – vazão contínua média diária captada ($m^3.s^{-1}$)

$Q_{capmedmes}$ – vazão contínua média mensal captada ($m^3.s^{-1}$)

Q_{capmon} – vazão captada a montante ($m^3.s^{-1}$)

Q_{dem} – Vazão demandada pelo usuário ($m^3.s^{-1}$)

Q_{dil}- Vazão de diluição ($m^3.s^{-1}$)

Q_{disp} – Disponibilidade hídrica ($m^3.s^{-1}$)

Q_{ef} – Vazão efluente ($m^3.s^{-1}$)

Q_{indisp} – Vazão indisponibilizada pelo lançamento de efluentes ($m^3.s^{-1}$)

Q_{lanmon} – vazão lançada a montante ($m^3.s^{-1}$)

Q_{mont} – Vazão de demanda acumulada a montante do usuário ($m^3.s^{-1}$)

Q_{ref} – vazão de referência, ou medida da disponibilidade hídrica ($m^3.s^{-1}$)

RMSP – Região Metropolitana de São Paulo

SAD – Sistema de Apoio à Decisão

SCBH – Sistema de Controle de Balanço Hídrico

SEMA/MA – Secretaria Estadual de Meio Ambiente do Maranhão

SEMAD/MG – Secretaria do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Estado de Minas Gerais

SICAD – Sistema de Informações Geográficas do Distrito Federal

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SIN – Sistema Interligado Nacional de geração de energia

SQL – Structured Query Language

t – tempo de trânsito entre trechos (dias)

T_{ef} – Temperatura do efluente (ºC)

Temp – temperatura da água (ºC)

T_{man} – Temperatura natural do corpo hídrico (ºC)

TNRCC – Texas Natural Resource Conservation Comission

UHE – Usina Hidroelétrica

V – volume armazenado no reservatório (hm^3)

W_0 – Carga de DBO inicial (usualmente em $kg.dia^{-1}$)

W_n – Carga de DBO no trecho n (usualmente em $kg.dia^{-1}$)

WRAP – Water Rights Analysis Package

ρ – massa específica da água ($g.cm^{-3}$)

1. Introdução

A Lei 9.433, de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, elenca entre os seus instrumentos de gestão a outorga de direito de uso de recursos hídricos. Trata-se de uma autorização de uso da água que, não obstante o seu caráter administrativo, depende de uma série de análises técnicas realizadas pelos órgãos gestores de recursos hídricos.

Por ser um bem público, não existe no Brasil a posse privada da água, de forma que cabe ao poder público administrar sua alocação. A outorga tem por objetivo a garantia do exercício dos direitos de acesso à água e o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água. Em outras palavras, trata-se de uma garantia do poder público de que o volume ou vazão outorgados estão reservados para uso do requerente e não serão alocados a terceiros, conferindo segurança ao investimento a ser feito. Quando existem necessidades bem definidas de vazão para manutenção de ecossistemas, a outorga e o gerenciamento de recursos hídricos devem também garantir que estas sejam atendidas.

A verificação sobre o atendimento a garantia depende basicamente de dois fatores:

a) Da disponibilidade hídrica natural do manancial, ou seja, da hidrologia do rio ou reservatório;
b) Das vazões já outorgadas a outros usuários;

Os chamados indicadores de comprometimento, resultantes do balanço hídrico entre demandas e disponibilidades, auxiliam o órgão gestor a tomar a decisão quanto ao deferimento ou indeferimento de novos pedidos de outorga, podendo ainda determinar prazos de outorga, condicionantes ou outras medidas (Collischonn e Lopes, 2009). Portanto, além de ser um instrumento importante para o usuário, por garantir o acesso à água, é um instrumento importante para o Estado, por permitir o acompanhamento constante da evolução do comprometimento dos recursos hídricos.

Entretanto, embora a lei preveja entre seus fundamentos que a unidade de gestão dos recursos hídricos seja a bacia hidrográfica, a Constituição Federal dividiu em **cursos d'água,** e não em bacias hidrográficas, o domínio (administração) dos recursos hídricos, entre os Estados e a União. Devido à interpretação atual dos instrumentos legais, em uma mesma bacia hidrográfica, coexistam vários órgãos gestores de recursos hídricos, dedicados a administrar essencialmente o mesmo recurso.

Até o presente momento muito pouca integração existe entre órgãos gestores, no que diz respeito à unificação de critérios de outorga em bacias compartilhadas, definição de condições de entrega na transição entre mananciais de diferentes domínios, ou mesmo quanto à publicidade das outorgas emitidas em rios de bacias compartilhadas (ANA, 2013b).

Isto pode levar a inconsistências no gerenciamento e a eventuais superalocações de água em determinadas situações. Em uma bacia com múltiplos domínios, o órgão gestor de jusante aloca a sua vazão de referência, que depende das vazões dos tributários, gerenciados por outro órgão gestor. Não existe acordo sobre qual a vazão (ou volume) deva ser entregue na transição entre os mananciais de diferentes domínios. Além disso, não há um intercâmbio constante de informações entre o órgão gestor de montante e de jusante, no sentido de manter mutuamente atualizada a vazão já outorgada em cada domínio (Cardoso da Silva e Monteiro, 2004). Em algum momento, fatalmente surgirá o conflito, pela alocação da mesma água para dois usuários distintos, um em rio de domínio do Estado e outro da União.

Além disso, diversos órgãos gestores de recursos hídricos no Brasil sofrem com falta de estrutura (ABRH, 2013), decorrente de fatores como:

a) Pouco interesse dos governos em inserir os recursos hídricos como prioridade;
b) Confusão e sobreposição com o sistema de meio ambiente.

Essa falta de estrutura acarreta os seguintes problemas, que acabam afetando o gerenciamento adequado dos recursos hídricos:

a) Falta de pessoal para análise de pedidos de outorga;
b) Falta de qualificação, com ausência quase total de hidrólogos;
c) Análise de outorga resumindo-se a exigências documentais, sem análise técnica;
d) Outorga para lançamento de efluentes limitando-se a avaliar padrões de emissão, sem considerar demais lançamentos e o atendimento ao enquadramento;

Neste contexto, um sistema de apoio à decisão para análise de outorgas representa um avanço em termos de gerenciamento integrado. Por um lado, a análise de pedidos de outorga em um sistema amigável, que represente o balanço hídrico entre demandas e disponibilidades, permite que mesmo não-hidrólogos possam tomar decisões a respeito de pedidos de outorga, sem necessidade de simulações complexas ou conhecimento de sistemas de informação geográfica (SIG). Por outro lado, os avanços em tecnologia de informação permitem que um sistema como este possa ser utilizado conjuntamente pelos diversos órgãos gestores

responsáveis pelo gerenciamento de uma mesma bacia, proporcionando uma efetiva integração.

O termo "sistema de apoio à decisão" ou "sistema de suporte à decisão" tem sido usado, no contexto de recursos hídricos, para denominar as mais diversas ferramentas computacionais, que, de alguma forma, representam cenários de gerenciamento de recursos hídricos, auxiliando na tomada de decisão quanto a: operação de reservatórios, manejo de irrigação, uso do solo, qualidade de água, drenagem urbana, controle de cheias, otimização. Já em 1986, Parker Al-Utabi (1986) *apud* Porto e Azevedo (1997) revisaram 350 diferentes sistemas de apoio à decisão em recursos hídricos. Diversos sistemas de apoio à decisão têm se dedicado especificamente ao instrumento da outorga de direito de uso (Wurbs, 2005, Porto *et al*. 2005, Rodrigues, 2006, Pereira, 2011, Ferraz, 1998, Silveira, 1998a, Marques, 2009). Entretanto, poucos têm sido usados para efetivamente tomar decisões reais (Mysiak *et al*. 2005), ao passo que a na grande maioria dos órgãos gestores de recursos hídricos no Brasil, nenhum sistema é utilizado, mostrando um certo descompasso entre a ciência/desenvolvimento e o gerenciamento prático, já constatado também por Andreu *et al*. (1996) e McIntosh *et al*. (2005).

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão para análise de outorga, que permite analisar a interferência conjunta de outorgas para captações e lançamentos. Adicionalmente, o sistema foi desenvolvido de forma a permitir a análise conjunta de outorgas em bacias com vários domínios e, consequentemente, vários tomadores de decisão, permitindo uma efetiva integração do gerenciamento de recursos hídricos. O sistema vem sendo utilizado na prática para análise de outorgas na Agência Nacional de Águas e em alguns órgãos gestores estaduais. A partir deste desenvolvimento, são levantados questionamentos sobre a integração da gestão de recursos hídricos em bacias com múltiplos domínios, traçando-se um paralelo com sistemas de alocação de água em outros países, notadamente o oeste dos EUA.

1.1. Objetivo

Os principais objetivos do presente trabalho são

- propor e desenvolver um sistema de apoio à decisão para efetivar a integração do gerenciamento de recursos hídricos, em um contexto de múltiplos domínios da água;

- proporcionar celeridade e economia à tomada de decisão quanto à outorga de recursos hídricos;

De forma secundária, pretende-se que o desenvolvimento e uso do sistema levante questionamentos e sugestões de melhorias sobre as limitações atuais do instrumento da outorga e do gerenciamento de recursos hídricos no Brasil, particularmente no que se refere à definição de condições de uso integrado em bacias com rios ou aquíferos de diferentes domínios.

1.2. Justificativa

Esta pesquisa é importante para instrumentalizar o processo de outorga dentro de uma legislação de recursos hídricos ainda em implementação e com limitadas capacidades técnicas e de informação.

Apesar do grande número de usuários e de vários gestores, existe um número ainda reduzido de sistemas de apoio à decisão que vem sendo usados efetivamente no gerenciamento de recursos hídricos. Além disso, existe pouca ou nenhuma interlocução entre os diferentes gestores de uma mesma bacia, reforçando a necessidade de integração, além de pouca capacitação de muitos órgãos gestores de recursos hídricos no assunto.

2. Outorga de uso de recursos hídricos

O item convencionalmente conhecido como "Revisão Bibliográfica" tem dois capítulos, sendo o primeiro (capítulo 2) dedicado a aspectos relevantes do conhecimento sobre o instrumento da outorga de uso da água. Apresenta alguns aspectos relevantes do conhecimento a respeito da outorga de uso da água, obtidos na literatura e também na legislação. Primeiramente, é feita uma revisão sobre o múltiplo domínio dos recursos hídricos em uma mesma bacia, e algumas abordagens existentes para lidar com a questão. A seguir é apresentado o instrumento da outorga em si, fazendo um paralelo entre a abordagem brasileira e a encontrada em outros países, notadamente no oeste dos EUA. Na sequência, é feita uma contextualização de um caso particular da outorga no Brasil, que é a outorga para diluição de efluentes. Por fim, comenta-se sobre o instrumento da alocação negociada de água, uma possível abordagem para lidar com risco e incerteza na disponibilidade hídrica futura.

Já o capítulo 3 especifica o conhecimento a respeito de sistemas de apoio à decisão em recursos hídricos e para outorga e gerenciamento de recursos hídricos.

2.1. Domínios dos recursos hídricos

Conforme mencionado na introdução, existe uma aparente contradição entre a Constituição Federal de 1988 (CF88), que estabelece os bens e competências dos entes federados (União e Estados) no que diz respeito aos recursos hídricos, e a lei 9433/1997, que estabelece a bacia hidrográfica como unidade de gestão (art. 1º inciso V) e preconiza o gerenciamento integrado dos recursos hídricos (Art. 2, inciso II).

A Constituição Federal, em seu artigo 20, elenca entre os bens da União:

"Art. 20. São bens da União:

...

III - os ***lagos, rios e quaisquer correntes de água*** *em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais;"*

Já no artigo de nº 26, elenca os bens dos estados

"Art. 26. Incluem-se entre os bens dos Estados:

I - as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União;"

Ou seja, o art. 20 define que as águas de forma geral são de domínio dos Estados, exceto aquelas listadas no artigo 20, que são da União, e as em depósito decorrentes de obras da União (sem definir explicitamente a quem pertence este último bem).

A lei 9433/1997 reforça o caráter de bem público da água (art. 1º inciso I), ou seja, excluindo sua propriedade privada. Para fazer uso de recursos hídricos, o poder público, detentor do bem, autoriza o usuário (pessoa física ou jurídica) por meio da outorga de direito de uso da água, que não constitui alienação do bem, mas o simples direito de uso (lei 9433/1997, art. 18).

Entretanto, fica evidente que o texto da Constituição estabelece uma clara separação da posse dos recursos hídricos em função de mananciais (lagos, rios e quaisquer correntes d'água), e não de bacias hidrográficas. Portanto, embora a lei 9433 preconize a gestão por bacia, a Constituição Federal divide a gestão entre mananciais de diferentes domínios em uma mesma bacia hidrográfica, fazendo com que a água da mesma bacia passe a ser gerenciada por vários entes.

Também é paradoxal, do ponto de vista do gerenciamento integrado preconizado pela lei, o fato da CF88 excluir dos bens dos estados os reservatórios construídos por obra da União[1]. Isto acarreta que mesmo em bacias onde todos os rios são de domínio estadual, possam ocorrer mananciais de domínio da União, e consequentemente o duplo domínio. É o caso das bacias no semi-árido brasileiro, em que o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) possui diversos reservatórios públicos. Neste caso, a ANA gerencia os usos na bacia hidráulica do açude, enquanto o órgão gestor estadual emite outorga nos rios a montante e a jusante. É de notar que mesmo a definição de onde termina o rio e começa o reservatório é fonte de imprecisão no texto constitucional.

A Figura 2.1 mostra a divisão dos domínios dos rios brasileiros.

[1] Embora o texto não estabeleça explicitamente que o domínio neste caso passa para a União, esta é a interpretação atualmente adotada

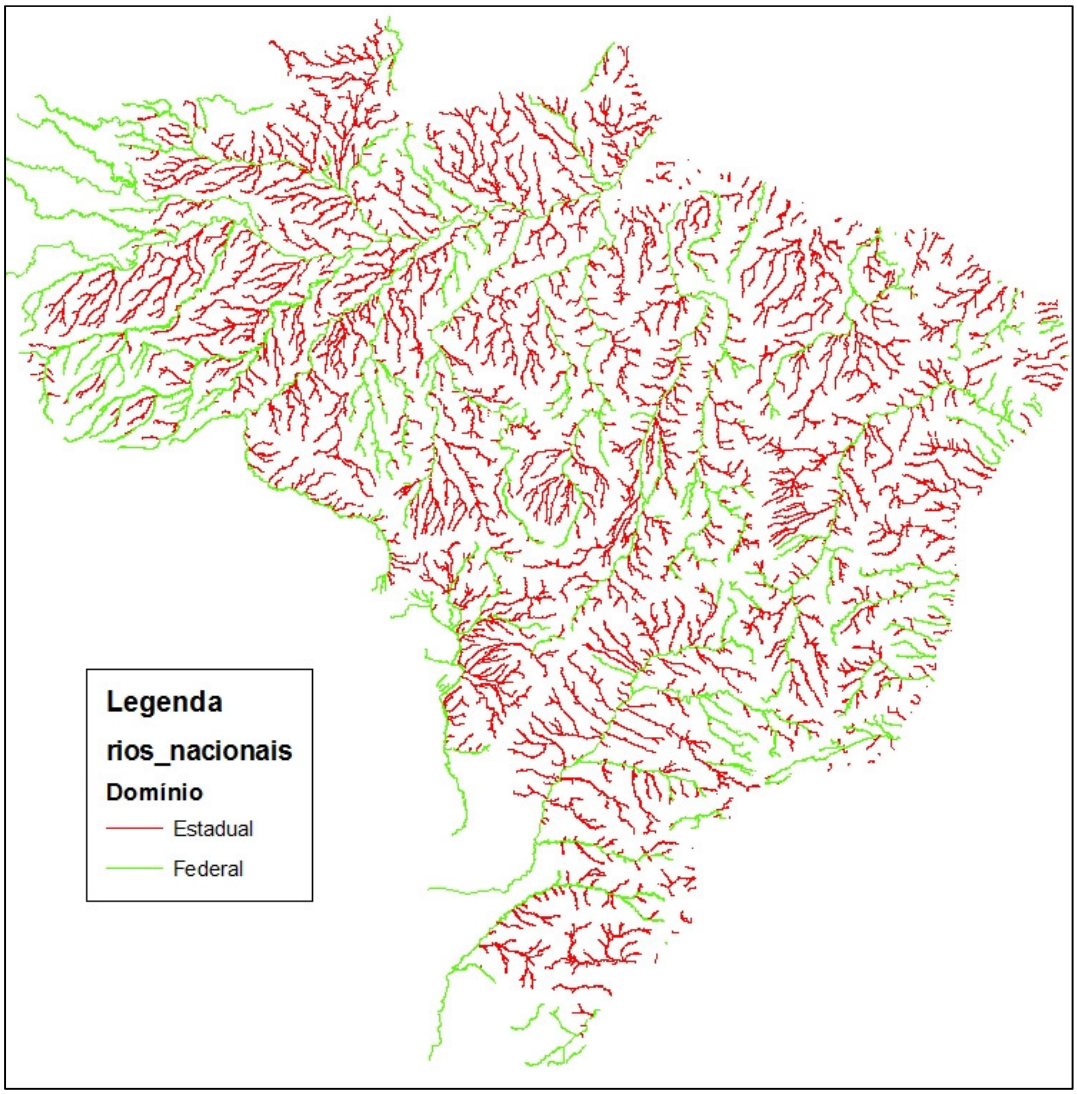


Figura 2.1. Domínios dos corpos hídricos brasileiros, na escala 1:1.000.000 (apenas rios com bacia maior do que 1.000 km² foram considerados, para maior clareza)

Percebe-se na figura que, em uma mesma bacia, ocorrem rios de domínio da União e de diferentes estados. Esta divisão é decorrente da chamada interpretação geográfica, assim denominada por Cabral e Kelman (2003), por descrever os rios como acidentes geográficos vinculados ao território.

Esta abordagem leva à necessidade de definição sobre quem é o rio principal, no caso de confluências entre rios de diferentes domínios. Esta definição foi dada pela Resolução ANA

nº 399, de 22 de julho de 2004, que definiu que, em cada confluência, o rio principal é aquele que conta com a maior área de drenagem[2].

Cabral e Kelman (2003) consideram o enfoque geográfico equivocado, e sugerem uma outra interpretação para o termo **correntes d'água**, expresso no art. 20. No entender dos autores, uma possível interpretação hidrológica deste artigo acarretaria que todos os rios cuja água em algum momento deságua em um rio interestadual deveriam ser de domínio da União. Esta interpretação eliminaria, em grande parte, os múltiplos domínios em uma mesma bacia. Estados interiores, sem costa, como Goiás e Minas Gerais, não teriam parte na administração de águas superficiais nesta interpretação.

Entretanto, esta interpretação é bastante criticada por acarretar uma excessiva centralização do gerenciamento nas mãos da União, em contradição ao espírito constitucional e aos anseios por descentralização (Campos, 2007). De fato, a chamada interpretação hidrológica não é que prevalece atualmente, sendo adotada a interpretação geográfica.

Campos (2007) sugere que o Constituinte inseriu o múltiplo domínio dos recursos hídricos de forma proposital, buscando induzir a cooperação entre os entes federativos para uma gestão integrada dos recursos hídricos.

Mesmo Cabral e Kelman (2003), que consideram a abordagem atual equivocada, entendem que a eventual controvérsia é desnecessária caso efetivamente ocorrer a articulação entre a União e os Estados, prevista no Artigo 4º da lei 9433/1997, que preconiza que a União deve articular-se com os Estados tendo em vista o gerenciamento dos recursos hídricos de interesse comum.

O legislador, possivelmente no intuito de propor meios para contornar potenciais conflitos decorrentes dos múltiplos domínios da água, trouxe um novo elemento por meio do Decreto Presidencial nº 3.692, de 19 de dezembro de 2000, que instalou a Agência Nacional de Águas (ANA):

"*Art 17. Observado o disposto no art. 4º da Lei nº 9.433, de 1997,* ***a ANA exercerá ação reguladora*** *em corpos d'água de domínio da União, inclusive mediante a* ***definição de***

---

[2] Esta Resolução substituiu a resolução 707/2004 do DNAEE, que definia o rio principal por meio da toponímia ou nome do curso hídrico, e fez com que houvesse alteração de domínio de alguns mananciais, particularmente em regiões de cabeceira, como a famosa nascente do rio São Francisco na Serra da Canastra, que passou ao domínio do Estado de Minas Gerais

requisitos de vazão mínima e de concentração máxima de poluentes na transição de corpos d'água de domínio Estadual para os de domínio Federal[3]."

Assim, caso se esgotem as possibilidades de resolver de forma articulada conflitos entre domínios de jusante e montante, conforme preconizado em lei, a ANA poderia arbitrar a questão, definindo unilateralmente quais devem ser as condições hidrológicas de entrega entre domínios.

Um dos casos em que a ANA procurou exercer essa atribuição se deu na bacia do rio São Marcos (GO/MG), em que foram definidos consumos máximos de água em cada Estado envolvido, de forma a respeitar usos outorgados no rio federal a jusante. Entretanto, Feitosa da Silva e Cordeiro Netto (2013) afirmam que, ao invés da definição unilateral possibilitada pelo decreto 3692/2000, a ANA tem preferido soluções negociadas e voluntaristas para a definição de condições de entrega.

Outra possibilidade, aberta pelo art. 14 da Lei 9433, é a delegação do gerenciamento aos órgãos gestores estaduais: "*O Poder Executivo Federal poderá delegar aos Estados e ao Distrito Federal competência para conceder outorga de direito de uso de recursos hídricos de domínio da União*". Segundo Cardoso da Silva e Monteiro (2004), esta abordagem possui a vantagem de que o Estado delegatário pode manter suas rotinas de trabalho, sistemas de apoio à decisão e critérios de outorga. A delegação é particularmente útil no caso de rios que cruzam de um Estado para o outro. Por outro lado, no caso de rios que fazem a fronteira entre dois estados, o controle seria apenas de uma margem, o que implicaria na necessidade de estabelecimento de consórcio entre os Estados, complicando o processo.

Atualmente, os seguintes mananciais encontram-se delegados pela ANA aos Estados (Tabela 2.1):

[3] Pode-se observar que a lei deu grande ênfase à situação em que um rio estadual situa-se a montante de um rio federal. Entretanto, o contrário também ocorre eventualmente, como no caso do rio Preto (de domínio da União) que aflui ao rio Paracatu (de domínio de Minas Gerais) ou do rio Piracicaba (União), afluente do rio Tietê (São Paulo).

Tabela 2.1. Mananciais cujo gerenciamento foi delegado pela ANA a órgãos gestores estaduais.

Mananciais	Órgão gestor/estado	Observação
Reservatórios do DNOCS	COGERH/CE	Somente para abastecimento público
Rios federais na bacia do Poti/Longá	COGERH/CE	
Rios federais da bacia do Piracicaba/Capivari/Jundiaí	DAEE/SP	
Rios federais da bacia do Piracicaba/Capivari/Jundiaí	SEMAD-IGAM/MG	Delegação sendo encerrada por falta de interesse de MG
Rios federais no Distrito Federal	ADASA/DF	

Cardoso da Silva e Monteiro (2004) afirmam que a delegação pressupõe confiança da União, por meio da ANA, para com os órgãos gestores estaduais que receberão a delegação. Os autores identificam maturidade técnica, administrativa e institucional insuficiente em muitos estados, sendo esse um entrave para uma maior disseminação da delegação do gerenciamento de recursos hídricos.

Por fim, uma alternativa interessante de descentralização é a pactuação entre Estados, que eliminaria ou diminuiria os problemas relativos a múltiplos domínios. Neste ponto, as iniciativas brasileiras ainda estão bastante incipientes. Na bacia do Piranhas-Açu, foi definido um consumo máximo de 6,4m³.s^{-1} no estado da Paraíba e 20,9 m³.s^{-1} no Rio Grande do Norte, prevendo ainda uma vazão de entrega de 1 m³.s^{-1} entre ambos. Uma proposta de alocação entre 7 unidades da federação foi feita durante o plano decenal do São Francisco, porém não foi aprovada pelo comitê de bacia. Já na bacia dos rios Poti e Longá, compartilhados entre os estados do Piauí e Ceará, foram definidos volumes máximos de reservação a serem implantados em cada estado, de maneira a alocar o potencial de regularização da bacia de forma mais otimizada.

2.2. Outorga de direito de uso e alocação de água

A outorga de direito de uso de recursos hídricos é um instrumento clássico de comando-e-controle, por meio do qual a administração autoriza uma pessoa física ou jurídica, pública ou privada, a usar água de um manancial para alguma atividade econômica. Entre os instrumentos de gestão estabelecidos na lei de recursos hídricos, é o que lida mais diretamente com alocação de água em bacias hidrográficas.

Por um lado, a outorga é importante para que a administração conheça o perfil de uso da água na bacia hidrográfica e acompanhe sua evolução.

Por outro lado, a outorga é uma garantia dada pelo Estado ao usuário de água, assegurando que a água será alocada a ele e não a terceiros. Isto visa a conferir segurança jurídica aos investimentos necessários aos empreendimentos que usam água. A necessidade de direitos claros de uso ou de propriedade, de forma geral, foi consagrada nos trabalhos de Coase (1960) e Demsetz (1967) e atualmente sua importância já está consagrada para a estabilidade das economias de livre mercado. No caso do direito de uso da água, um sistema de alocação de direito de uso é ainda mais importante por se tratar de um bem de acesso comum. Hardin (1968) demonstrou que, para bens desta natureza, a falta de regulação pode levar a uma superalocação do recurso, levando à chamada "tragédia do bem comum". O caráter móvel da água nos rios também contribui com assimetrias econômicas que não podem ser resolvidas somente pelo mercado, havendo a necessidade de regulação por parte de um ente desinteressado (o Estado) para seu equilíbrio.

Na mesma linha, Cardoso da Silva e Monteiro (2004) afirmam que a implantação da outorga induz à ordem no uso dos recursos hídricos, trazendo uma certa tranquilidade aos usuários, pois estes, uma vez possuidores dos direitos de uso, poderão realizar seus investimentos em um ambiente mais organizado e, por isso, inibidor de conflitos.

A utilidade da outorga como instrumento de redução de desequilíbrios na alocação de bens de uso comum pode ser demonstrada também por um exercício de teoria dos jogos, inspirado em Pinker (2011), conforme Anexo A 1.

Cardoso da Silva e Monteiro (2004) concluem que a outorga do uso da água é um instrumento essencial ao gerenciamento dos recursos hídricos, pois ela possui aspectos técnicos, legais e econômicos que, se bem articulados, colaboram para o sucesso da implementação de um sistema racionalizado de uso dos mananciais.

Um aspecto importante a destacar a respeito do instrumento da outorga é que a avaliação hidrológica do pedido de outorga deve ser um procedimento expedito (Silveira *et al.* 1998a). Assim, não há possibilidade de o órgão gestor desenvolver ou mesmo simular modelos de elevada complexidade a cada análise que deve ser feita.

O arcabouço legal para atribuição de direitos de uso teve desenvolvimentos diferentes no Brasil, em comparação com outras partes do mundo. No Brasil, convergiu-se para um sistema em que a administração pública define *a priori* o risco de desatendimento (ou garantia de

atendimento) a que o conjunto de usuários de uma bacia está sujeito. Ao definir como "vazão de referência[4]" a vazão com permanência de 95% do tempo, por exemplo, o Estado assume arbitrariamente que, em média, todos os usuários têm uma tolerância de 5% ao risco de desatendimento hídrico.

Esta abordagem dá grande ênfase no **comando**, visto que o **controle** (fiscalização) é muito incipiente, centralizado e de difícil operacionalização em um país com as dimensões do Brasil. Por esse motivo, assume-se um risco relativamente baixo, ou uma garantia relativamente alta, para impedir o risco de conflitos de forma preventiva e conservadora, já no ato da outorga.

Embora essa abordagem dê relativa segurança ao tomador de decisão, pode levar a uma subutilização de água em alguns casos. O setor de irrigação, por exemplo, em geral tem tolerância bem mais alta ao desatendimento hídrico (Pante *et al.*, 2005), de até 20%, o que permitiria a adoção de garantias bem mais baixas e consequentemente mais água para ser alocada.

Essa abordagem tem várias diferenças importantes, do ponto de vista de sistemas de apoio à decisão, com a abordagem adotada no oeste americano, por exemplo, que será descrita a seguir (Jones e Cech, 2011).

Nos Estados Unidos, de forma geral, prevaleceram dois sistemas de alocação de água: a Doutrina Ripária (*Riparian Doctrine*), em que o uso da água está vinculado ao uso da terra lindeira, e a Doutrina de Apropriação Prévia (*Prior Appropriation Doctrine*), em que aquele que primeiramente fez uso da água em uma bacia tem prioridade sobre os demais. Cada estado americano tem autonomia para definir seu próprio sistema, porém praticamente todos estados adotaram uma ou outra abordagem, ou combinações de ambas.

A Doutrina Ripária foi adaptada da lei comunal inglesa (*English Common Law*), portanto deriva de um contexto de boa distribuição anual da precipitação e pouca necessidade de irrigação. Esta abordagem foi adaptada com sucesso à maior parte dos estados da costa Leste dos EUA, permitindo a alocação entre os usos existentes, na sua maioria não consuntivos (moinhos, serrarias, rodas d'água e pequenas hidrelétricas, resfriamento de caldeiras, etc). Em

---

[4] O termo "vazão de referência" foi importado da gestão ambiental, para avaliação de capacidade de diluição e qualidade de água, e tem sido corriqueiramente usado na gestão de recursos hídricos para definir a vazão a ser dividida entre os diferentes usos

situações de escassez, todos os usuários deveriam diminuir seu uso proporcionalmente, sem definição de prioridade entre usuários.

No entanto, à medida em que o povoamento americano avançou para o oeste, com diminuição gradual da precipitação média anual, a Doutrina Ripária passou a se mostrar inadequada para lidar com os conflitos que surgiam. De fato, Cardoso da Silva e Monteiro (2004) afirmam que sistemas de alocação em que o direito de uso da água é vinculado ao uso da terra somente terão bom funcionamento em bacias onde não há problema de escassez quantitativa ou qualitativa.

Assim, ficou clara a necessidade de um outro sistema para as regiões semi-áridas e desérticas do oeste americano. A Doutrina de Apropriação Prévia surgiu informalmente entre usuários de mineração no estado da Califórnia, no qual a maior parte das terras lindeiras eram de propriedade da União e as operações de mina eram distantes dos rios, tornando inviável a vinculação do uso da água com o uso da terra. Essa desvinculação deu origem ao conceito de direito de uso da água, para fins econômicos, diferente do conceito de propriedade da água vigente até então.

Uma outra diferença importante é que em situações de escassez, usuários mais recentes (*juniors*) deveriam cessar seu uso para priorizar o atendimento a usuários mais antigos (*seniors*), ao invés de dividir o risco igualmente. Esta priorização levou ao princípio do *first in time, first in right*. Este princípio surgiu da constatação de que, em função da quantidade de água requerida para as operações de mina, era mais adequado atender a uma operação plenamente, mesmo que outras operações tivessem que ser interrompidas, do que atender a ambas com vazão insuficiente.

O estado americano do Colorado adota a doutrina de apropriação prévia em sua versão mais pura, tendo banido a Doutrina Ripária do arcabouço legal em 1882. A versão local passou a ser conhecida como Doutrina do Colorado e é adotada ainda nos estados do Alasca, Arizona, Idaho, Montana, Nevada, Novo México, Utah e Wyoming (Cech, 2010).

A constituição do estado do Colorado estabelece que o direito de usar a água não outorgada em um dado rio para uso econômico nunca pode ser negado. Esta é uma diferença importante em relação ao sistema brasileiro, em que a outorga é um ato discricionário, portanto podendo ser negado a critério da administração pública. No Colorado, qualquer empreendedor pode obter uma outorga de direito de uso, desde que se sujeite à prioridade temporal estabelecida.

A administração geral é dada a um engenheiro de recursos hídricos (*state water engineer*) e seus agentes, os engenheiros de divisão (*division engineer*). Cada divisão hídrica é subdividida em unidades (*water districts*), de acordo com as bacias e sub-bacias hidrográficas. As outorgas são administradas no campo pelos Comissários de recursos hídricos (*Water comissioners*), que têm contato direto com os usuários e monitoram as condições do manancial e as captações dentro do seu distrito (Jones e Cech, 2011).

Se, em um dado momento, um usuário outorgado não pode ser atendido pela vazão atualmente disponível no rio, ele notifica o comissário do seu distrito e solicita que todos usuários mais recentes (*juniors*) a montante interrompam suas captações. Este procedimento é denominado de "chamado" no rio (*placing a call on the river*). O comissário comunica o chamado aos usuários "*juniors*" a montante e determina sua redução até que a demanda do solicitante seja satisfeita. À medida em que chove e as vazões voltam a aumentar, o rio vai se tornando gradativamente mais "*junior*" novamente. Em condições normais, em que todos os usuários podem ser atendidos, fala-se em "rio livre" (*free river*).

Como se vê, a Doutrina de Apropriação Prévia, embora tenha algumas similaridades com o sistema de alocação brasileiro, tem grande ênfase no **controle**, contando com fiscais no campo com grande capilaridade e capazes de agir rapidamente para garantir a prioridade temporal das outorgas. Pouca ênfase é dada no **comando**, uma vez que o ato administrativo correspondente à outorga é meramente burocrático e emitido por um tribunal local, sem análise técnica aprofundada. Na literatura consultada, observa-se que não há, por parte da administração, uma análise do comprometimento causado por um novo usuário à disponibilidade hídrica do rio ou a outros usuários. Cabe ao próprio empreendedor avaliar o risco de passar a captar em um determinado rio, levando em conta que será "*junior*" em relação aos demais usuários e estará sujeito a cortes mais frequentes. Por exemplo, se um empreendedor constata que os usuários já outorgados comprometem uma vazão correspondente à $Q_{85\%}$, porém o retorno obtido com um empreendimento justifica este risco, nada o impede de obter sua outorga. Levando este raciocínio ao extremo, poderia se outorgar até o limite da vazão máxima observada no rio, uma vez que a constituição estadual impede a administração de negar o uso de águas não alocadas.

Pode-se especular até mesmo sobre as raízes culturais desta diferença. Nos Estados Unidos o empreendedorismo, o risco, a não-intervenção estatal e a desregulamentação são elementos culturais históricos. No Brasil, por outro lado, ainda predomina um certo paternalismo, em

que o Estado assume o papel de decidir em nome dos usuários qual é o nível de risco hídrico que cada um deve estar sujeito.

Outros pontos referentes à Doutrina do Colorado são importantes na discussão a ser levantada por esta tese (Jones e Cech, 2011). A primeira delas diz respeito a vazões mínimas no rio. Pela lei do Colorado, a vazão do rio pode ser completamente usada a menos que exista uma outorga para algum usuário que dependa da manutenção de vazões no rio (*in-stream flows*). Ao longo do tempo, a definição de **uso da água** foi sendo ampliada pelos tribunais do estado, contemplando recreação, navegação, ictiofauna e vida selvagem, entre outros usos não consuntivos. Assim, estes podem competir pela água com os demais usuários, em sua ordem de prioridade temporal.

Como o movimento ambientalista e a demanda por recreação são mais recentes do que os usos pioneiros, eventuais outorgas para aqueles usos têm prioridades mais baixas, ficando sujeitos a restrições mais frequentes. Entretanto, a lei do estado previu mecanismos para realocação de prioridades. O principal deles é o mercado de águas, segundo o qual toda outorga é comercializável, mantendo a data de prioridade em que foi emitida inicialmente. Assim, grupos ambientalistas ou outros usuários que dependam de água com mais garantia podem adquirir direitos de água de usuários "sêniors".

Ao invés de adquirir um direito de uso pleno, a lei possibilita também a aquisição de cotas (*shares*) em uma companhia de fornecimento de água (*Ditch Company*), situação em que o novo usuário terá direito a uma fração da outorga, correspondente ao número de cotas adquiridas.

Outra forma de usar água fora da prioridade é apresentar um Plano de Incremento de Água (*Water Augmentation Plan*), que consiste normalmente em armazenar água em pontos diversos, durante períodos de excesso, e liberá-la em períodos de escassez, de forma a impedir "calls" de usuários seniors a jusante. Estes armazenamentos normalmente fazem uso de depressões próximas ao rio, geradas por operações de mineração abandonadas. O plano de incremento pode ser atendido também por meio da suplementação do rio com água subterrânea, desde que a extração desta comprovadamente não interfira nas vazões atuais e futuras do rio. Pode ser atendido ainda por meio da aquisição de esgoto de cidades próximas, como é o caso de Denver, cuja demanda é atendida por meio de transposição de vazões da bacia do rio Colorado, e cujas vazões de retorno suplementam usos na bacia do rio South Platte.

Um aspecto a destacar no sistema de alocação do Colorado é que a doutrina de apropriação prévia é válida também para captações de água subterrânea. Para tanto, os aquíferos do estado foram classificados em tributários ou não-tributários, de acordo com o grau de interferência que captações em cada um causam nos rios adjacentes. Aquíferos nas Montanhas Rochosas, situados em falhas nas rochas, ou de caráter confinado, em geral são classificados como não-tributários, e são gerenciados de forma que sua reserva permanente seja utilizada em um prazo não inferior a 100 anos.

Já aquíferos livres, próximos a recursos hídricos superficiais, são normalmente classificados como tributários. Desde a década de 1960 estabeleceu-se nos tribunais que captações de água subterrânea em aquíferos tributários estarão sujeitas ao *first in time, first in right*, estando sujeitas a restrições para preservar usuários *seniors* a jusante. Nestes casos, o engenheiro de recursos hídricos do Estado dispõe de modelos de água subterrânea para avaliar a influência de captações de água subterrânea sobre o manancial superficial. Como os efeitos destas captações sobre a vazão do rio não são sentidos imediatamente, o engenheiro pode definir inclusive a necessidade de restrições em antecipação a eventuais crises.

Neste aspecto, o sistema de alocação de água no Estado do Colorado é mais cuidadoso, uma vez que no Brasil de modo geral o gerenciamento de recursos hídricos subterrâneos ainda é feito de forma dissociada do gerenciamento de águas superficiais, ou seja, não se leva em conta as captações de subterrânea ao emitir uma outorga para água superficial.

Por fim, um ponto em que os Estados Unidos se encontram bastante avançados é no estabelecimento de tratados de alocação de água entre Estados, conhecidos como *Interstate River Compacts*, que são acordados entre os Estados e ratificados pelo congresso americano, no intuito de dividir entre si a água de bacias compartilhadas. Mais de 30 acordos como esse estão em vigor nos EUA (Cech, 2010).

Provavelmente, o mais conhecido destes é o Tratado do rio Colorado, assinado em 1922, que dividiu a bacia deste rio em uma porção superior (estados do Colorado, Novo México, Utah e Wyoming) e uma porção inferior (estados do Arizona, California e Nevada), cada qual recebendo uma vazão de 7,5 milhões de acres-pé por ano (cerca de 295 m^3/s). Foi estabelecido um ponto de controle na transição entre as duas porções, e o acordo prevê uma vazão de entrega de 295 m^3/s na transição entre elas (média móvel de 10 anos). Posteriormente, em 1948, a vazão da porção superior foi dividida entre os Estados por meio de um acordo complementar, sendo alocado 52% para o Colorado, 23% para Utah, 14% para Wyoming e 12% para o Novo México.

Outros tratados, com regras de diferentes complexidades, foram assinados para gerenciar bacias compartilhadas com outros estados. O acordo do rio South Platte, por exemplo, foi assinado em 1923 entre Nebraska e Colorado, prevendo restrições no período de verão, com a interrupção da captação de todos usuários no estado do Colorado (montante) posteriores a junho de 1897. Esta data corresponde à outorga do principal usuário do estado de Nebraska (jusante). Assim, observa-se que a doutrina de apropriação prévia valeu inclusive para usuários situados em diferentes estados (Jones e Cech, 2011).

A alocação de água entre estados ou entes federados em uma mesma bacia, por meio de acordos como esses, é um passo fundamental para uma descentralização do gerenciamento, pois permite que cada ente gerencie seus recursos hídricos de forma quase independente, desde que respeitando os limites estabelecidos nos acordos. Isto tornaria desnecessário o intercâmbio constante de informações entre os entes a respeito da vazão outorgada em cada estado.

A Tabela 2.2 mostra um comparativo dos sistemas de alocação de direitos de uso no Brasil e no oeste dos EUA (Doutrina Colorado).

Tabela 2.2. Comparativo dos sistemas de alocação de direitos de uso da água no Brasil e no oeste dos EUA (Doutrina Colorado)

Aspecto	Brasil	Oeste dos EUA
Prioridade de uso	Abastecimento público e dessedentação animal; eventual definição em planos de bacia	Prioridade temporal (first in time, first in right)
Discricionariedade do ato	Ato discricionário; outorga pode ser negada	Direito de usar a água não outorgada nunca pode ser negado
Garantia de acesso à água/risco de desatendimento	Definida *a priori* pelo órgão gestor	Quantificada pelo usuário
Autoridade outorgante	Órgão gestor de recursos hídricos estadual ou federal	Tribunal de Recursos Hídricos (*Water Court*)
Acompanhamento (*enforcement*)	Ênfase no comando (outorga)	Ênfase no controle (fiscalização)
Análise técnica da outorga para fins de tomada de decisão	Balanço entre demandas e disponibilidades hídricas	Não há; ato burocrático
Fiscalização de usos da água	Incipiente; centralizada	Atuante; descentralizada e ágil
Caráter do sistema de alocação	Ambiente técnico/ político (comitê e órgãos gestores)	Ambiente judicializado
Caráter da outorga	Precária; Pode ser revogada a qualquer tempo.	Usufrutória; outorga não pode ser revogada sem compensação

Aspecto	Brasil	Oeste dos EUA
Validade das outorgas	Máximo de 35 anos; em geral 5 a 10 anos (renovável)	Não se extingue, desde que usada
Possibilidade de perda de direito	Ausência de uso por 3 anos consecutivos	Ausência de uso (demonstração rotineira para o comissário local)
Mercado de direitos de uso	Não é permitido	Existe
Integração com gerenciamento de água subterrânea	Não há	Existe, no caso de aquíferos tributários
Pactos de alocação entre entes federados	incipiente	Desenvolvido

Em alguns Estados do oeste americano que apresentam tanto climas úmidos quanto semi-áridos, as leis de alocação de água incorporaram elementos tanto da Doutrina Ripária quanto da Doutrina de Apropriação Prévia. É o caso da Califórnia e do Texas, por exemplo. Entretanto, muitos dos elementos identificados na Tabela 2.2 são comuns, como os mercados de água, o protagonismo dos tribunais, o caráter usufrutório da outorga e a pactuação com Estados vizinhos. Segundo Lopes (2014), na Califórnia tampouco existe um órgão técnico que avalia comprometimento hídrico causado por novos pedidos de outorga. Entretanto, neste Estado, em algumas bacias foram feitas simulações considerando todos os usos outorgados, que levaram a recomendações de não emitir novas outorgas, uma vez que o risco já é considerado demasiado.

Já no Texas, o sistema de alocação é relativamente complexo, visto que a superposição de doutrinas criou um sistema praticamente impossível de gerenciar (Wurbs, 1995). Além disso, não há integração entre o gerenciamento de águas superficiais e subterrâneas, e a figura do comissário de recursos hídricos ou mestre de águas só está presente na bacia do rio Grande. Assim, a restrição a usuários "*juniors*" para atendimento a outorgas mais antigas, prática comum em outros estados do oeste, é pouco praticada no Texas (Wurbs, 1995). Por outro lado, um órgão técnico, o TNRCC (Texas Natural Resource Conservation Comission) tem a atribuição de avaliar tecnicamente novos pedidos de outorga. Segundo Wurbs (1995), um pedido de outorga somente é aprovado pelo TNRCC se existe água não outorgada disponível e se usos já outorgados não serão prejudicados. Não fica claro qual é a garantia ou risco que é definido para fazer esta avaliação. Entretanto, o autor afirma que o TNRCC tem buscado alocar água com diferentes garantias a diferentes usuários, restringindo alguns usuários em situações de escassez.

Assim, observa-se que em todo oeste dos EUA, há muita ênfase na fiscalização e restrição em períodos em que nem todos usuários outorgados podem ser atendidos, e pouco peso na avaliação prévia do comprometimento causado por novos pedidos de outorga. Mesmo no Texas, em que esta avaliação prévia é feita, aparentemente não há limite (vazão de referência) para definir qual é o risco máximo a ser permitido.

O caso do oeste americano foi discutido mais exaustivamente nesse capítulo devido aos vários paralelos que podem ser traçados com o sistema brasileiro, e sua relação com sistemas de apoio à decisão. Em muitos outros países de colonização inglesa prevaleceu a doutrina Ripária também adotada no leste americano. É o caso da Austrália, que recentemente viveu uma reforma de seu sistema para incorporar instrumentos de mercado e componentes ambientais. Em muitos países em desenvolvimento, não se achou legislação referente ao assunto ou esta é muito genérica, não permitindo traçar paralelos importantes. Há ainda um grupo de países em que os direitos de uso já se encontram consolidados há várias dezenas de anos ou mesmo séculos, como a Espanha.

2.3. Diluição de efluentes

A base legal para a outorga de diluição de efluentes está na lei 9433/1997, que inclui entre os usos sujeitos à outorga o lançamento de efluentes que alterem a qualidade dos recursos hídricos (art. 12). No artigo seguinte, a lei determina que toda a outorga deve respeitar a classe de enquadramento vigente, criando uma clara vinculação entre os dois instrumentos.

O reconhecimento da necessidade de diluir poluentes como um uso da água e sua inclusão em um sistema único de alocação deste recurso são características peculiares da legislação brasileira de recursos hídricos. O passivo ainda existente na coleta e tratamento de esgotos no Brasil acabou por forçar o reconhecimento de que uma parte da água dos mananciais deve estar disponível para diluição de cargas de efluentes. Em grande parte dos países desenvolvidos, as questões relativas a qualidade de água foram resolvidas por meio do estabelecimento de padrões rigorosos de emissão (Cech, 2010), à parte do sistema de alocação quantitativa. O caso mais conhecido provavelmente seja o *Clean Water Act* nos EUA, que estabeleceu, em sua seção 201, que todo e qualquer processo de tratamento de esgoto deveria usar a melhor tecnologia disponível, previamente à descarga em um corpo hídrico.

Os padrões de emissão, embora sejam um elemento que coexiste na legislação ambiental brasileira, estabelecem a carga máxima permitida de poluente que pode ser lançada. Já a outorga para diluição foca na qualidade de água do corpo receptor, e não na do efluente.

A abordagem brasileira procurou levar em conta o uso para diluição de efluentes de forma similar ao uso para usos consuntivos, por meio da transformação das interferências qualitativas em equivalentes quantitativos (Cardoso da Silva e Monteiro, 2004). Com isso, é possível comparar usos para captação e lançamento em uma mesma unidade de medida.

A integração de captações e lançamentos em um único sistema de alocação torna bastante complexa a análise da interferência entre usos. Esta interferência pode se dar de diversas formas:

-captações a montante diminuem a capacidade de diluição do manancial para lançamentos a jusante;

- captações a jusante de lançamentos retiram, em alguma medida, a carga poluente lançada;

- lançamentos a montante de captações aumentam a quantidade de água disponível para ser captada;

A relativa complexidade destas interrelações levou alguns Estados brasileiros a fixar percentuais da vazão de referência que podem ser alocados para cada tipo de interferência. O estado do Espírito Santo, por exemplo, definiu a $Q_{90\%}$ como vazão de referência para os rios de seu domínio, permitindo que até 50% desta vazão possa ser outorgada para usos consuntivos. Os demais 50% são a vazão disponível para diluição de efluentes. Isto diminui a complexidade das análises, visto que captações e lançamentos podem ser analisados de forma separada. Entretanto, pode levar a uma desotimização ou sub-utilização da água, em situações em que o manancial é preponderantemente usado para diluição de efluentes, por exemplo.

Embora a abordagem das vazões de diluição permita converter captações e lançamentos para uma base única de comparação, há uma diferença importante entre ambos para fins de sistematização e balanço hídrico em termos de bacia hidrográfica. Uma captação de água deixa de ficar disponível para outros usos quantitativos a jusante, desde o ponto de captação até a foz do rio. Já usos para lançamento, dependendo da natureza do poluente, vão ficando gradativamente disponíveis novamente, à medida em que a autodepuração consome a carga poluente. É o caso da carga de DBO, que é o principal parâmetro avaliado pelo sistema desenvolvido nesse trabalho.

2.4. Alocação negociada de água

A hidrologia do semiárido nordestino é marcada pela predominância de rios intermitentes, onde o uso econômico da água só é possível em reservatórios ou trechos de rio perenizados por estes. Tal constatação já vem de longa data, visto a preocupação histórica do Estado Brasileiro com o tema das secas, materializado através da criação do DNOCS em 1909.

Por outro lado, a criação apenas recente de um Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos acarretou que, em muitos casos, a demanda associada aos açudes públicos da região nordeste tenha, ao longo do tempo, superado seu potencial de regularização, ou vazão que pode ser fornecida a longo prazo com um nível de garantia aceitável. Ou seja, no momento de implantação dos instrumentos de gestão previstos na Política nacional de Recursos Hídricos – PNRH, já havia um cenário de conflito instalado pelo uso da água. Este conflito é particularmente sensível no caso de implementação do instrumento da outorga de direito de uso de recursos hídricos, que lida diretamente com a garantia de uso da água, levando o órgão gestor de recursos hídricos a dilemas frequentes sobre quem deve ser priorizado ou quem deve ter seu uso restringido. Estes dilemas são resolvidos apenas em parte pela priorização de uso imposta pela lei nº 9.433/1997 e que deverão ser mais explorados nos planos de recursos hídricos, em grande parte ainda ausentes para os açudes do semiárido (Collischonn e Cardoso da Silva, 2010).

Uma das ferramentas desenvolvidas para apaziguar os conflitos neste tipo de situação é a alocação negociada de água, em que tipicamente os usuários ou envolvidos com o uso da água no entorno do açude reúnem-se periodicamente e decidem sobre o volume de água a ser destinado a cada usuário pelos próximos meses.

A alocação negociada de água é um instrumento que, embora não previsto em lei, tem sido implementado com relativo sucesso, principalmente no estado do Ceará, por meio da Companhia de Gerenciamento de Recursos Hídricos daquele estado (COGERH), conforme Pinheiro *et al.* (2011) e Lopes e Freitas (2007). Segundo Pinheiro *et al.* (2011), a metodologia adotada pela COGERH para a operação de reservatórios e alocação da água goza de grande credibilidade junto aos técnicos do setor, usuários da água e comitês de bacia. As decisões são tomadas nos seminários com o comitê, em escala de bacia hidrográfica, e com os conselhos gestores de açudes, em escala local. Um dos exemplos mais interessantes de sua aplicação foi documentada por Kelman (2009) na bacia do rio Jaguaribe, em que a ferramenta foi

implementada com o auxílio de instrumentos econômicos, levando a uma realocação de água de usos com pouco valor agregado (no caso, a irrigação de arroz) para usos com maior valor (fruticultura).

Lopes e Freitas (2007) destacam os fatores positivos associados ao processo de alocação negociada de água:

- A forte participação pública no processo;

-O estabelecimento de um consenso na sociedade sobre a alocação realizada;

- O estabelecimento de mecanismo de avaliação, acompanhamento e controle, por parte dos usuários e da sociedade civil, da implementação do acordo ou pacto realizado, o que reduz os custos de controle por parte do poder público;

- Suporte técnico das informações de monitoramento na decisão inicial e na avaliação e controle;

- A operação do sistema hidráulico é parte decisiva em todo o processo.

É importante mencionar que, no contexto em que a alocação negociada de água está operante, a outorga para todos os usuários permanece sendo obrigatória. Entretanto, este instrumento se submete às decisões ou consensos obtidos no âmbito da alocação negociada. A outorga passa a ser uma garantia de longo prazo (5 a 10 anos), um referencial para o uso da água que pode ser feito de forma sustentável, e a alocação negociada define a política de uso em horizonte mais curto, de 6 meses a um ano. Em geral, o próprio ato da outorga (resolução ou portaria) prevê a possibilidade das vazões outorgadas serem alteradas por meio da alocação negociada, conforme exemplo de resolução no Anexo A 2.

Do ponto de vista operacional, a decisão sobre o cenário de uso é tomada fundamentalmente com base em informações técnicas como: nível d'água no final do período chuvoso do reservatório, permanência de vazões afluentes, dados de evaporação média, curva cota-área-volume do reservatório, a partir dos quais é feito um balanço hídrico sequencial ao longo de um horizonte médio prazo (normalmente um a dois anos), simulando o deplecionamento do reservatório. A simulação de balanço hídrico visa, portanto, a fazer uma previsão do comportamento volumétrico no período seguinte, dado um determinado cenário de uso e uma determinada afluência. Em geral, por segurança, adota-se afluência nula, porém em alguns casos alguma afluência com alta garantia pode ser considerada, dependendo das características da bacia e da disponibilidade de previsões climatológicas favoráveis. Cabe ao

órgão gestor moderar a reunião, impedindo por exemplo que riscos excessivos sejam tomados pela plenária e garantindo que todos interessados tenham possibilidade de colocar suas demandas.

A previsão do comportamento volumétrico do açude se constitui em uma espécie de curva-guia para acompanhamento da alocação negociada. Caso, em um dado intervalo de tempo, o volume real for inferior ao que foi previsto, uma nova alocação deve ser realizada, com maiores restrições.

Além da previsão do comportamento volumétrico do açude, outros fatores que influenciam fortemente na decisão são: tolerância ao risco de desabastecimento para o setor de saneamento, característica das culturas irrigadas (anuais ou perenes), a expectativa com relação ao preço da cultura ao longo do próximo período.

Trata-se de uma ferramenta de gerenciamento de risco, uma vez que a afluência futura é incerta (afluências altas têm baixa garantia e vice-versa. Dessa forma, a moderação do órgão gestor é importante para esclarecer e definir qual é a afluência estimada, e consequentemente, o risco associado.

A grande vantagem desta ferramenta é a sua maior dinâmica de operacionalização, permitindo uma maior alocação de água em períodos de maior armazenamento e maiores restrições em períodos de escassez. Devido ao constante acompanhamento e à alocação de curto prazo, eventuais incertezas na disponibilidade hídrica são atenuadas, fazendo com que seja uma ferramenta inclusive para lidar com a adaptação a eventuais mudanças climáticas.

Porém, a componente técnica da simulação de balanço hídrico, necessária para a negociação, nem sempre é de domínio completo de todos os envolvidos, levando à necessidade de um acompanhamento técnico permanente de parte de um órgão gestor de recursos hídricos. Normalmente, é realizada uma reunião de alocação anual, em geral no fim da estação chuvosa, em que vários cenários de uso de água são simulados, estimando-se o nível previsto do reservatório ao fim do período seguinte. Posteriormente, é necessário um acompanhamento de forma a verificar se os níveis observados do reservatório situam-se próximos ou acima dos níveis previstos. Por outro lado, a centralização da gestão na ANA e nos órgãos gestores estaduais tem impedido que essa iniciativa seja ampliada para outros reservatórios nos demais estados do semi-árido.

Assim, surge a oportunidade para o desenvolvimento de aplicativos para auxílio na tomada de decisão com relação à alocação negociada de água, os quais sejam suficientemente didáticos

para permitir uma compreensão de todos os envolvidos sobre os resultados das simulações. Além disso, devem ser amigáveis, de forma a permitir seu uso por técnicos locais (EMATER, DNOCS), após algum treinamento. Desta forma, é possível disseminar a prática de alocação negociada de água, com a vantagem adicional de descentralizar, de fato, o gerenciamento de recursos hídricos.

3. Sistemas de apoio à decisão em recursos hídricos

Este capítulo apresenta inicialmente algumas definições referentes a sistemas de apoio à decisão. A seguir, são mencionados alguns sistemas existentes ou encontrados na literatura, com ênfase em sistemas de apoio à outorga e características de cada um. No item seguinte, são feitas algumas considerações sobre o contexto de desenvolvimento e a relativa carência de sistemas de apoio à outorga na literatura científica internacional, em comparação com a literatura brasileira. Por fim, é feita uma breve introdução da ottocodificação no contexto de sistemas de apoio à decisão em recursos hídricos.

3.1. Definições

O termo "sistema de apoio à decisão" ou "sistema de suporte à decisão"[5] tem sido usado, no contexto de recursos hídricos, para denominar ferramentas computacionais, que, de alguma forma, representam cenários, auxiliando na tomada de decisão quanto a problemas de gerenciamento de recursos hídricos. Labadie e Sullivan (1986) afirmam que, no passado, tomadores de decisão relutavam em adotar sistemas deste tipo devido a questionamentos quanto ao custo/benefício, confiabilidade e inquietações sobre delegar a tomada de decisão para programadores e especialistas em computação. Sobretudo, havia a queixa de que a experiência dos tomadores de decisão não estava sendo adequadamente incorporada nos modelos desenvolvidos.

Por outro lado, fatores como a conscientização do público sobre problemas com a água, restrições financeiras e de pessoal e a crescente complexidade do gerenciamento e controle de sistemas de recursos hídricos fizeram com que a adoção da tecnologia se tornasse inevitável (Labadie e Sullivan, 1986).

Embora muitos modelos de simulação sejam genericamente denominados de Sistemas de Apoio à Decisão (SAD), Braga *et al.* (1998) e Loucks et al. (2005) alertam que o que os diferencia é que o SAD procura estabelecer um alto grau de interação com o usuário, permitindo a este manter controle direto sobre as atividades computacionais e seus resultados.

---

[5] Este autor tem preferido o termo "Sistema de Apoio à Decisão" como tradução para o original do inglês "Decision-Support-System".

Braga *et al*. (1998) afirmam que os componentes de um Sistema de Apoio à Decisão são: diálogo, dados e modelos. A Figura 3.1 mostra os componentes segundo esta definição.

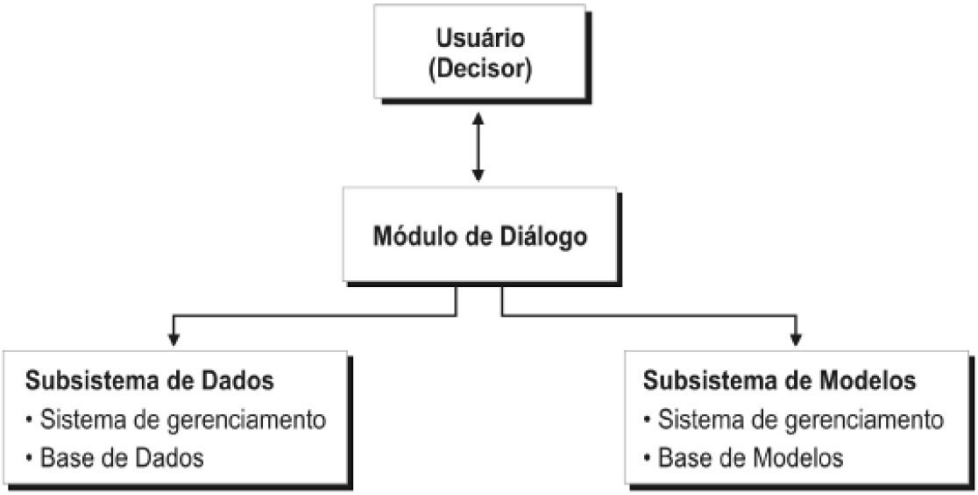


Figura 3.1. Componentes de um sistema de apoio à decisão segundo Azevedo et. al (2003)

A componente de diálogo contém a interface de uso, campos para entradas de dados, etc. A interface de dados contém informações hidrológicas, operativas e de demanda. Já a interface de modelos contempla as ferramentas computacionais para processamento da informação. Porto e Azevedo (1997) incluem ainda uma quarta componente, denominada base de conhecimento, que incorpora a experiência do tomador de decisão no processamento do sistema.

Outro conceito importante é que o sistema seja de **apoio**, e não de tomada de decisão. Assim, as saídas do sistema devem ser na forma de gráficos, mapas ou indicadores de fácil interpretação, e possuir flexibilidade suficiente para não engessar a tomada de decisão.

Loucks et al. (2005) alertam que, em geral, há um distanciamento entre desenvolvedores do sistema e seus usuários finais (os tomadores de decisão), propondo o conceito de desenvolvimento compartilhado (*Shared-Vision Modelling*). Nessa visão mais recente, a ênfase é no desenvolvimento não do SAD em si, mas de ferramentas que permitam a todos os interessados desenvolver conjuntamente o sistema. Embora o presente sistema não se origine formalmente dessa visão, o fato de ter sido desenvolvido dentro do órgão gestor (tomador de decisão) facilitou grandemente a adesão a seu uso.

3.2. Sistemas existentes

De forma geral, a maior parte dos trabalhos em sistemas de apoio à decisão visam ao planejamento e otimização de sistemas de recursos hídricos (Andreu *et al*, 1996, Jamieson e Fedra, 1996, Dunn *et al*. 1996, Mysiak *et al*. 2005), políticas de operação de sistemas de reservatórios (Reitsma, 1996, Wurbs, 2005) ou operação de setores usuários específicos como irrigação ou saneamento (Zeng *et al*. 2012, Triana e Labadie, 2012).

Sistemas de apoio à decisão específicos para outorga são mais raros. Entre os poucos sistemas de apoio à decisão para outorga na literatura estrangeira, destaca-se o Water Rights Analysis Package (WRAP), descrito em Wurbs e Walls (1989) e Wurbs (2001). Este sistema também é um dos poucos que vêm sendo utilizados no gerenciamento real de recursos hídricos, pelo TNRCC (órgão gestor de recursos hídricos do Texas). Neste sistema, o cenário de outorgas de direito de uso na bacia é simulado considerando séries históricas de vazão, sendo mensurada a frequência de desatendimento a um dado uso, bem como o somatório de vazões não apropriadas.

No Brasil, diversos trabalhos propõem sistemas de apoio à decisão para análise de outorgas, alguns dos quais serão mencionados a seguir. Em comum a todos eles, está a avaliação do impacto de novas outorgas na disponibilidade hídrica e nos usos já outorgados. Ferraz e Braga (1998) desenvolveram um sistema de apoio à decisão para outorga, em caráter experimental, para a bacia do rio Corumbataí (SP), contemplando também a outorga para diluição de efluentes. Já Silveira *et al*. (1998a) apresentam um sistema de apoio à decisão bastante abrangente para outorga na bacia do rio Santa Maria (RS).

Santana et. al (2002) apresentam um sistema de apoio à decisão à outorga para a bacia do rio das Fêmeas (BA), consistindo em uma planilha MS Excel®. Este sistema só permite topologias hídricas relativamente simples, uma vez que o balanço hídrico é feito por afluentes, sendo que cada afluente corresponde a uma nova aba na planilha. Assim, o número de trechos é limitado, e eventuais conflitos localizados, internamente a uma determinada sub-bacia, podem passar despercebidos. Ainda assim, este sistema vem sendo aplicado até hoje na prática, no gerenciamento de recursos hídricos do estado da Bahia.

Rodrigues (2005) desenvolveu o sistema denominado SSD-RB, que além de apoiar a decisão sobre outorga, também subsidia o processo de cobrança pelo uso da água. Este sistema também permite a análise de outorgas para diluição de efluentes. Já Marques (2006) desenvolveu o sistema Aquora, que permite a operação do sistema de apoio à decisão à

outorga pela internet, em modo multi-usuário. Este sistema vem sendo implementado para gerenciamento de recursos hídricos no estado do Tocantins.

Pereira Pessoa (2010) e Pereira *et al*. (2012) desenvolveram um sistema de apoio à outorga de captação de água para a bacia do rio dos Sinos. A vantagem deste é a integração com um sistema de informação geográfica (SIG), tornando mais visual o comprometimento hídrico e mais didática a tomada de decisão.

Por fim, cabe destacar a família de sistemas de apoio à decisão desenvolvida pelo LABSID/USP, derivados do sistema Acquanet, que por sua vez é originado do sistema MODSIM (Roberto, 2002 e Porto *et al*., 2005). O sistema Acquanet é um sistema de rede de fluxo, em que o sistema de recursos hídricos é representado por uma rede formada por nós (reservatórios, demandas e confluências) e arcos (trechos de rios, canais e adutoras), e vem tendo diversas aplicações práticas, especialmente em sistemas de reservatórios. Mais recentemente, foi desenvolvida uma adaptação do sistema, denominada OutorgaLS (Ravanello, 2007), voltada para outorga de uso da água, sendo que foram incorporadas facilidades de uso em relação ao Acquanet. Em alguns aspectos, o sistema Acquanet se assemelha ao WRAP (Wurbs, 1995) uma vez que ambos levam em conta simulações com toda a série histórica de vazões, e ambos quantificam a frequência de falhas ao atendimento de um dado usuário.

3.3. Contexto de desenvolvimento

Embora a literatura apresente vários exemplos de sistema de apoio à decisão para outorga, observa-se que poucos têm sido usados na prática, na tomada de decisão real quanto a pedidos de outorga. Mysiak *et al*. (2005) afirmam que, apesar do alto número de sistemas de apoio à decisão existentes na área de recursos hídricos, é alta a probabilidade de que estes não estejam à altura dos desafios que se propõem a responder.

Azevedo *et al*. (2003), ao avaliar os sistemas de apoio à decisão para outorga nos seis Estados brasileiros considerados mais avançados em gerenciamento de recursos hídricos[6], concluem que a utilização prática de SADs para outorga, no Brasil, ainda é relativamente limitada e

[6] São Paulo, Paraná, Minas Gerais, Bahia, Ceará e Pernambuco, segundo Azevedo *et al*. (2003).

pouco conhecida. Os seis estados avaliados utilizam ferramentas computacionais (modelos, bancos de dados, SIG, etc.) na análise e/ou controle das outorgas. Porém, com a aplicação de questionários, constataram que, e, em geral, não existia um SAD bem definido, mas sim ferramentas de suporte à decisão, com diferentes níveis de integração, que se aproximavam, algumas mais, outras menos, de um SAD propriamente dito, para análise, controle e administração da outorga. Com base na interlocução com órgãos gestores estaduais de recursos hídricos, observa-se que suas conclusões permanecem válidas, passados mais de dez anos da publicação deste trabalho.

Existe uma expressiva quantidade de sistemas de apoio à decisão em recursos hídricos. Entretanto, especificamente no que diz respeito a sistemas para apoio à outorga ou outro instrumento de alocação de água, a grande maioria das referências é no Brasil, com poucas experiências similares em outros países.

A necessidade de um sistema de apoio à decisão para outorga está intrinsecamente ligada à necessidade e às características do próprio sistema de alocação de água do país ou região. A ausência de trabalhos similares em outros países se deve a alguns fatores socioeconômicos, geográficos, legais e culturais, a saber:

a) Clima que possibilite a expansão do uso da água, principalmente por meio da agricultura irrigada;
b) Maturidade do sistema de alocação de água no país e existência de fronteiras agrícolas onde o uso pode expandir fortemente;
c) Arcabouço histórico e legal do sistema de alocação;
d) Dispersão dos usuários;

Embora esses fatores individualmente sejam comuns a vários países, entende-se que em poucos eles ocorram simultaneamente, como no caso do Brasil. Cada um dos fatores será brevemente abordado neste item, bem como a influência de cada um na necessidade de desenvolvimento de um sistema de alocação de água, e consequentemente de um sistema de apoio à decisão para esse fim.

A necessidade de um sistema de alocação de água, com direitos de uso ou propriedade bem definidos, é mais evidente em países com características climáticas que favoreçam a irrigação. Considerando que a este é o principal uso consuntivo da água no mundo, um sistema de apoio à decisão para outorga é especialmente necessário em regiões onde a irrigação é possível ou necessária. Isto exclui, por exemplo, os países da Europa central e do norte, bem como boa

parte da costa leste dos EUA. Naturalmente, estes países mais desenvolvidos tiveram problemas de alocação qualitativa de água, os quais foram majoritariamente resolvidos por meio da definição de padrões de emissão, como o *Clean Water Act* nos EUA (Cech, 2010).

Países mais similares ao Brasil neste quesito são a Austrália, o oeste dos EUA, Espanha, Chile e Argentina. Entretanto, mesmo nestes países o uso da água já se encontra bem mais consolidado, com direitos de uso da água datando de um ou mais séculos. O Brasil é singular, por suas dimensões e seu histórico de ocupação, na disponibilidade de fronteiras agrícolas, ou bacias em que a água ainda é subutilizada, porém com potencial para expansão em curto ou médio prazo.

Cita-se como exemplo a bacia dos rios Teles Pires e Juruena (MT), em que atualmente predomina a produção de sequeiro, porém com enorme potencial para aumento do número de safras com uso da irrigação. Ou então o estado de Roraima, que conta com áreas planas e estação seca bem definida, porém ainda depende de energia elétrica de países vizinhos por não estar conectado ao Sistema Interligado Nacional (SIN). Em regiões novas como essas, normalmente povoadas por migrantes vindos de outras partes do país, muitas vezes os usuários ainda não se habituaram às variações interanuais da hidrologia, podendo subestimar o risco de atendimento de um dado manancial.

Em um contexto como esse, um sistema de alocação de água e de controle dos usos outorgados é importante para evitar os conflitos que podem vir a ocorrer devido a uma expansão muito rápida do uso da água.

O terceiro fator diz respeito ao arcabouço legal e cultural no qual o sistema de gerenciamento e alocação de água foi concebido. Como visto, em países de economia mais liberal como os EUA, o sistema se desenvolveu de tal forma que o próprio empreendedor quantifica os riscos, dado o sistema de prioridade temporal estabelecido, sem que o ato administrativo da outorga se detenha em análises mais aprofundadas do comprometimento que um novo uso causa na disponibilidade hídrica.

Este fator explica a quase ausência de sistemas de apoio à decisão para outorga na literatura americana, uma vez que, diferentemente do Brasil, a análise de indicadores de comprometimento e do balanço hídrico de novos pedidos de outorga não é um fator tão determinante no gerenciamento de recursos hídricos naquele país.

Por fim, em países como a Espanha, Argentina ou oeste dos EUA, observa-se um maior grau de organização por parte dos usuários, de forma que o número de envolvidos é menor. Na

Califórnia e em outros estados americanos, embora os sistemas hídricos sejam relativamente complexos, do ponto de vista do uso da água é comum a organização de distritos de irrigação, que compartilham uma única tomada de água por meio de um canal (Imperial Valley, Central California Irrigation District, Nevada, Solano, El Dorado, entre outros). No Brasil, há uma grande dispersão dos usuários, fruto principalmente da expansão da agricultura irrigada por empreendedores privados nos últimos anos. Isto torna extremamente complexa a análise sistemática do balanço hídrico entre demandas e disponibilidades, pela dinâmica com que este balanço se altera. Este fator também explica a maior demanda por sistemas de apoio à decisão no contexto brasileiro.

3.4. Ottocodificação

A ottocodificação é uma metodologia para classificação de cursos d'água, desenvolvida pelo engenheiro Otto Pfaffstetter, do extinto DNOS. Consiste na atribuição de algarismos inteiros a cada sub-bacia, sendo que os algarismos pares são atribuídos às quatro maiores sub-bacias (em área de drenagem), em ordem crescente de jusante para montante. Já os algarismos pares são atribuídos às chamadas interbacias, ou bacias incrementais, situadas entre as sub-bacias principais (ANA, 2007). A Figura 3.2 mostra um exemplo de codificação de sub-bacias até o nível 2.

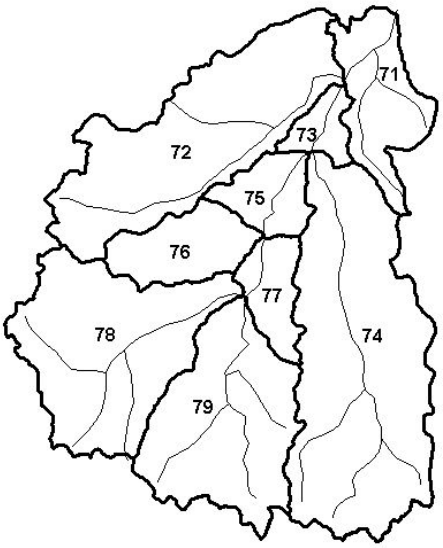


Figura 3.2. Codificação otto (Figueiredo e Rubert, 2000).

Cada sub-bacia ou interbacia devidamente codificada passa a ser uma ***ottobacia.*** *O* processo de codificação pode ir sendo repetido em outros níveis de divisão, enquanto houver afluentes na rede hidrográfica, até que a cada trecho de rio ou sub-bacia seja atribuído um código único.

Galvão e Meneses (2005) listam algumas das vantagens da ottocodificação:

- trata-se de um método natural, hierárquico, baseado na topografia da área drenada e na topologia da rede de drenagem;

- codifica as bacias com economia de dígitos e embute grande quantidade de informação topológica nos dígitos;

- é de fácil implementação por técnicas de programação, tem aplicabilidade global e permite integração com Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Por outro lado, as desvantagens da ottocodificação derivam da necessidade de construção de uma rede unifilar, topologicamente consistente quanto aos aspectos de conectividade, em formato de grafo e sem confluências duplas. Especificamente, a ottocodificação encontra limitações ou acarreta a necessidade de alguma perda de informação nos seguintes casos (Amorim Teixeira, 2012):

- rios ramificados, como contornos de ilhas, deltas, furos etc;

- bacias endorreicas, sem drenagem para o oceano;

- sumidouros, como por exemplo em regiões cársticas;

- rios muito largos, representados por margens duplas;

- lagos e reservatórios.

Do ponto de vista de sistemas de apoio à decisão em recursos hídricos, sua grande vantagem é a possibilidade de exprimir uma grande quantidade de informações topológicas de forma simples, sem a necessidade de acoplamento com sistemas de informação geográfica, que poderia tornar o sistema lento no caso de topologias complexas. A ottocodificação permite que toda a informação sobre topologia da bacia possa ser armazenada em bancos de dados de acesso rápido (SQL SERVER ou outro). Com isso, o balanço entre disponibilidades e demandas hídricas pode ser feito via consulta ao banco de dados, sem a necessidade de navegar sobre uma topologia geográfica. O Anexo A 3 mostra exemplos de codificação de otto, bem como de consultas geográficas a partir dos códigos.

4. O Sistema de Controle de Balanço Hídrico (SCBH)

Este capítulo contém o roteiro metodológico da pesquisa e está dividido da seguinte forma: inicialmente é feita uma descrição do procedimento a ser sistematizado, para que se tenha uma idéia da rotina a ser desempenhada pelo sistema de apoio à decisão. A seguir é apresentado um fluxograma geral do sistema de apoio à decisão e de como está estruturado computacionalmente.

Os itens seguintes apresentam as diversas etapas desse fluxograma: a abordagem para representar a topologia geográfica de bacias hidrográficas no ambiente do sistema; a metodologia para acumulação das demandas; as fontes de dados para definição da disponibilidade hídrica, ou vazão de referência; o tratamento dado a reservatórios no sistema; a formulação para qualidade de água e outorga de lançamento de efluentes; e por fim, a formulação dos indicadores de comprometimento.

Adicionalmente, é apresentada a metodologia de desenvolvimento do sistema de apoio à alocação negociada de água, um subproduto do sistema de apoio à decisão aqui desenvolvido. Por fim, apresenta-se a metodologia para avaliação dos resultados do uso do sistema e quantificação de seus benefícios.

4.1. Procedimento de análise

A análise técnica de pedidos de outorga na Agência Nacional de Águas (ANA) e em grande parte dos órgãos gestores estaduais é feita em duas vertentes:

- análise de uso racional ou análise de empreendimento: visa a verificar se a vazão/volume que está sendo pleiteado é compatível com a população a ser atendida (no caso de saneamento), área a ser irrigada, culturas, clima, método (no caso de irrigação), tipologia industrial e volume de produção (no caso da indústria ou mineração), e assim por diante. Trata-se de atender ao fundamento da lei que preconiza o uso racional da água. É, portanto, uma análise do balanço hídrico **no empreendimento**, independentemente do manancial que se pretende utilizar;

- análise de disponibilidade hídrica: visa a verificar se o manancial em que se pleiteia a outorga tem capacidade para atender à nova demanda, dada a sua hidrologia e dado que já existem outros usuários outorgados na mesma bacia, cuja demanda deve ser preservada.

Trata-se, portanto, de atender o aspecto de garantia de acesso à água, assegurando-se de que a vazão/volume pleiteado está disponível para o uso e não será alocado a terceiros. É, portanto, uma análise do balanço hídrico **da bacia hidrográfica**, independentemente da finalidade do uso;

Os resultados das duas vertentes de análise definem aspectos importantes da outorga. Usos eficientes em bacias pouco comprometidas têm suas outorgas deferidas, em geral por um prazo mais longo. Já usos perdulários em bacias com uso intenso podem ter suas outorgas indeferidas, ou ensejar o estabelecimento de condicionantes de aumento de eficiência.

O sistema descrito nesta tese tem por objetivo sistematizar a análise da segunda vertente, portanto a análise da disponibilidade hídrica. O exemplo a seguir descreve o procedimento de análise a ser sistematizado.

A Figura 4.1 mostra uma bacia hidrográfica hipotética, que já conta com um certo número de usuários outorgados, cada um com sua vazão. A bacia conta também com uma estação fluviométrica, e existe um novo pedido de outorga a ser analisado.

Figura 4.1. Bacia hidrográfica com usos já outorgados (vermelho), estação de monitoramento e novo pedido de outorga (em preto)

O objetivo da análise é fornecer indicadores de comprometimento, que expressam em que medida o usuário se apropria da vazão de referência (indicador de comprometimento individual) e em que medida o conjunto de usuários já compromete esta vazão (indicador de comprometimento coletivo). A formulação dos indicadores é a seguinte:

$$\text{ICI}=\frac{Q_{dem}}{Q_{disp}}\cdot 100\% \tag{4.1}$$

$$\text{ICC}=\frac{Q_{dem}+\sum Q_{mont}}{Q_{disp}}\cdot 100\% \tag{4.2}$$

onde ICI é o indicador de comprometimento individual, ICC é o indicador de comprometimento coletivo, Q_{dem} é a vazão pleiteada pelo novo usuário, Q_{disp} é a vazão de referência e ΣQ_{mont} é o somatório de vazões já outorgadas a montante.

Os indicadores de comprometimento são o produto a ser fornecido pelo sistema de apoio à decisão. Com base na interpretação dos indicadores, o tomador de decisão dá o encaminhamento adequado ao pedido de outorga. Por exemplo, em alguns órgãos gestores, os comprometimentos individual e coletivo não podem superar, digamos, 20% e 80% da vazão de referência. É também por meio do indicador que o tomador de decisão avalia o cumprimento a eventuais normativos referentes a vazões mínimas a serem mantidas no rio.

Para cálculo dos indicadores, é necessário inicialmente extrapolar a vazão de referência do ponto onde esta é conhecida (a estação de monitoramento) para o local onde se deseja estimá-la (o novo ponto de captação). Isto pode ser feito por meio de uma relação de áreas de drenagem ou uma regionalização de vazões, ou outros métodos que serão discutidos mais adiante.

Uma vez estimada a vazão de referência no local, é possível calcular o indicador de comprometimento individual. Por fim, basta somar as vazões outorgadas aos usuários a montante e proceder ao cálculo do indicador de comprometimento coletivo. Com auxílio de um Sistema de Informações Geográficas, estes procedimentos podem ser realizados manualmente.

Entretanto, o procedimento manual tem várias implicações, a saber:

- cada novo pedido de outorga exige um estudo hidrológico individual;

- à medida em que o número de pedidos de outorga se acumula, começa a haver protelação na análise, devido à falta de sistematização;

- o procedimento toma tempo de profissionais com alguma formação em hidrologia, que são constantemente demandados para outras tarefas;

- há falta de padronização nas análises. Diferentes especialistas podem utilizar diferentes estações fluviométricas ou estudos de regionalização, levando a resultados distintos para uma mesma bacia;

-requer uma atualização de bases de dados de usuários outorgados ao fim de cada análise.

Adicionalmente, o cálculo de indicadores, conforme equações 4.1 e 4.2, somente expressa a situação da bacia a montante da nova demanda, porém não identifica eventuais conflitos que possam ocorrer a jusante. Embora mais rara, pode ocorrer a situação em que um usuário outorgado a jusante encontrava-se no limite da vazão outorgável, e passe a ser prejudicado com a inserção de um novo usuário.

A verificação manual desta situação exigiria que os indicadores fossem calculados não só para o novo pedido de outorga, mas também para todos os usuários já outorgados a jusante, inviabilizando uma análise mais criteriosa.

4.2. Estrutura computacional do sistema e bacias sistematizadas

O sistema de apoio à decisão foi denominado de SCBH – Sistema de Controle de Balanço Hídrico, e possui duas versões. A primeira delas foi desenvolvida em linguagem Matlab e é um sistema local, portanto funciona em computadores individuais ou em grupos de computadores conectados a um mesmo servidor institucional.

A segunda versão foi desenvolvida em linguagem PHP com banco de dados SQL Server. O conceito do sistema é o mesmo em ambas as versões, embora tenham sido adaptados a diferentes bacias com algumas peculiaridades próprias de cada uma.

Em linhas gerais, o modelo pode ser dividido em três componentes, conforme a definição de Azevedo *et al*. (2003), a saber:

- módulo de diálogo, consistindo em uma interface gráfica para (a) inserção de dados do usuário a ser outorgado e (b) apresentação dos resultados da análise;

- subsistema de dados, consistindo em tabelas com os usuários já outorgados com as respectivas vazões e localização, trechos de rio e reservatório com suas características (comprimento, área de drenagem) e vazões de referência;

- subsistema de modelos, que vem a ser o próprio código do sistema, contendo as formulações para balanço quali-quantitativo e os critérios de outorga da bacia.

Mais especificamente, o fluxograma do SCBH é mostrado na Figura 4.2.

O balanço hídrico entre demandas e disponibilidade hídrica no SCBH é feito por trechos de rio. Um trecho é a feição da hidrografia situada entre duas confluências. A discretização do sistema por trechos implica que, a cada trecho, corresponde uma única vazão de referência. Dentro de um mesmo trecho, não é possível distinguir qual usuário está a montante e a jusante. Tudo se passa como se todos usuários estivessem no exutório do trecho. Para uma base hidrográfica suficientemente densa, esta discretização não causa maiores problemas.

Da mesma forma, a apresentação dos resultados de indicadores de comprometimento corresponderá ao trecho onde o usuário se encontra, não sendo possível calcular comprometimentos coletivos distintos para usuários em um mesmo trecho.

O fluxograma da Figura 4.2 é genérico e algumas diferenças existem em função do histórico de desenvolvimento do sistema, primeiramente em MATLAB e posteriormente em linguagem WEB. As principais diferenças dizem respeito à inteligência geográfica e à forma de acumulação das demandas, tópicos que serão detalhados nos itens 4.4 e 4.5.

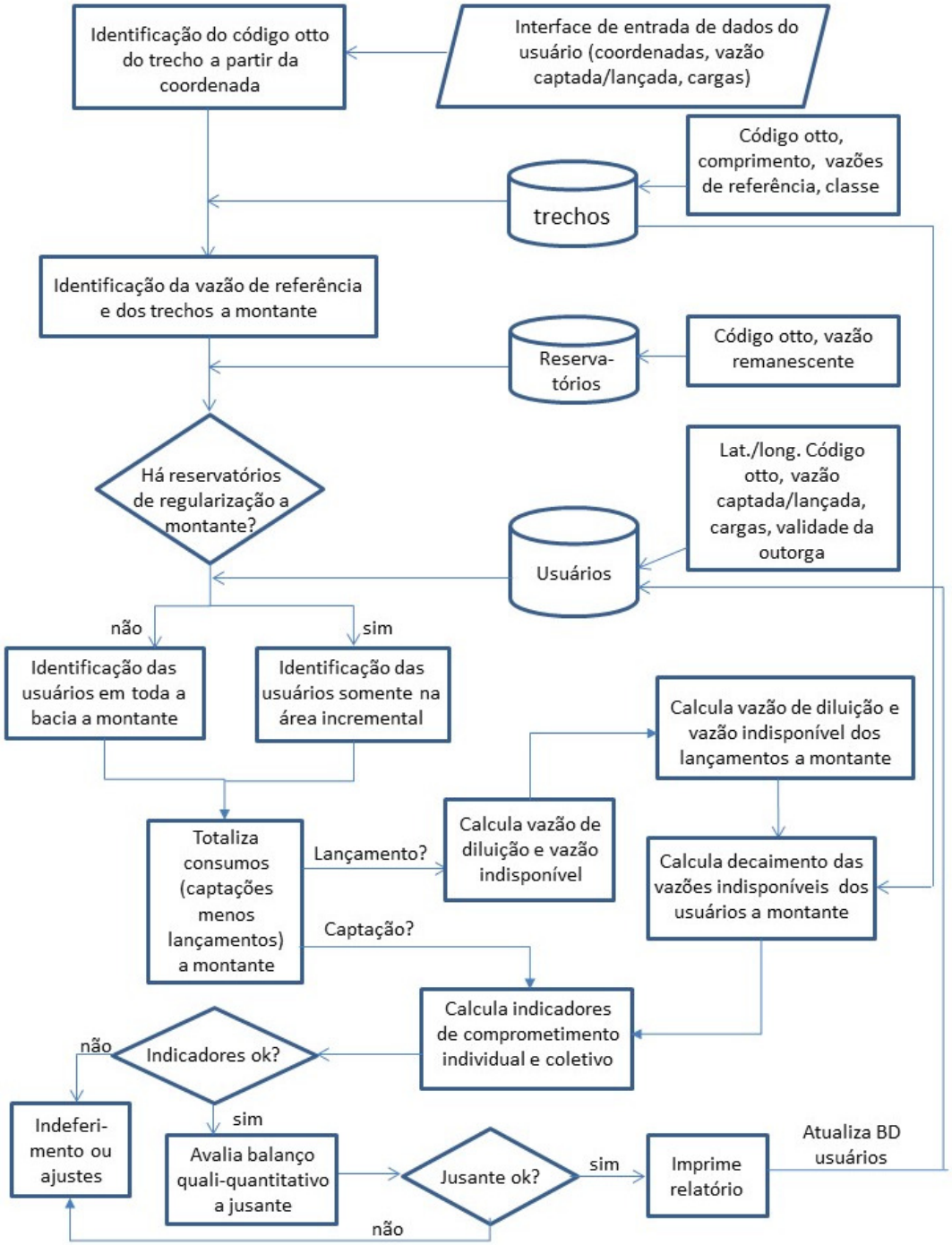


Figura 4.2. Fluxograma do Sistema de Controle de Balanço Hídrico (adaptado de ANA, 2013a)

Com relação aos estudos de caso, o sistema foi desenvolvido com uma visão genérica, de forma a permitir sua aplicação em qualquer bacia hidrográfica, desde que se possua alguns arquivos de entrada para sua sistematização. A versão local, desenvolvida em MATLAB, foi aplicada às bacias do São Francisco, Paraná (exceto bacia do São Marcos), Piranhas-Açu, Paraíba do Sul, Tocantins e Doce. Para fins de sistema, esta última bacia engloba ainda as

bacias dos rios Itabapoana, São Mateus, Pardo, Jequitinhonha, Mucuri, Jucuruçu e Buranhaém. Uma versão do sistema para a bacia do rio São José foi desenvolvida para uso do IEMA/ES. Já a versão *web* do SCBH está disponível para a bacia do rio Uruguai, em conjunto com a bacia da Lagoa Mirim, bacia do rio São Marcos (DF/GO/MG), bacia do rio Preto (DF/GO/MG), bacia do Itapecuru (MA), além de um sistema dedicado aos reservatórios de domínio da União no semi-árido nordestino. A Figura 3 mostra as bacias em que o sistema foi implementado. No presente trabalho, apenas alguns estudos de caso serão apresentados.

Figura 3. Bacias em que o SCBH foi aplicado

4.3. Inteligência geográfica

A base hidrográfica para desenvolvimento do SCBH consiste em uma hidrografia digital, normalmente em formato *shapefile*. Esta hidrografia pode ser obtida por meio da digitalização de cartas ou processamento de modelos digitais de elevação. O Anexo A 4 apresenta alguns aspectos relevantes à construção de uma base hidrográfica para sistematização.

Como visto, os indicadores a serem calculados pelo sistema dependem do balanço hídrico de montante e jusante. O termo "inteligência geográfica" é usado nesta tese para representar a forma com que o sistema de apoio à decisão localiza as interferências na bacia hidrográfica.

4.3.1. Versão Matlab

Nesta primeira versão do sistema, o analista deve identificar previamente o código do trecho em que se encontra o ponto de captação ou lançamento, por meio de um Sistema de Informação Geográfica (por exemplo, o ArcGis), externamente ao uso do SCBH. Isto porque esta versão não conta com qualquer inteligência geográfica que permita vincular a coordenada da interferência ao trecho em que se encontra.

4.3.2. Versão PHP

Para a identificação do trecho a partir da coordenada, o sistema conta com uma camada de informação invisível ao usuário, consistindo em um *raster* da divisão das ottobacias, no qual as coordenadas do retângulo envolvente e a resolução espacial são conhecidas. Este *raster* é armazenado na forma de uma matriz binária, em que o valor de cada *pixel* corresponde ao código da ottobacia. Quando há a inserção de uma coordenada, o sistema converte esta para a linha/coluna correspondente do *raster*, identificando a ottobacia correspondente. A partir da ottobacia, é possível consultar o banco de dados de trechos e obter as vazões de referência e outras características.

Em geral, a geração de um *raster* com resolução espacial de 500m é suficiente para os propósitos de gerenciamento de recursos hídricos. Entretanto, algum cuidado deve ser tomado pelo analista em pontos de captação/lançamento situados muito próximos de confluências.

Em captações situadas em reservatórios de grande porte, foi feita uma adaptação no *raster*, por meio da sobreposição do espelho d'água do reservatório sobre a delimitação das ottobacias. Isto foi feito para impedir que o sistema identificasse trechos de braços do reservatório, ao invés do corpo principal. Nestes casos, o código otto do trecho mais de

jusante do reservatório foi atribuído a toda a sua extensão. O contorno do reservatório foi expandido por um *buffer* de 500m para contemplar variações no nível d'água, pequenas imprecisões nas coordenadas, etc. A Figura 4.4 exemplifica o processo de rasterização e sobreposição dos reservatórios.

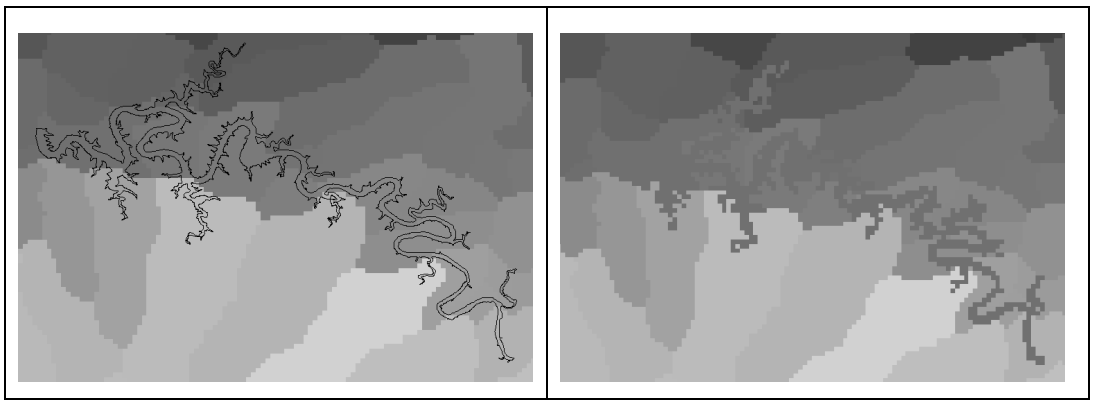


Figura 4.4. Rasterização de reservatórios e sobreposição com as ottobacias

A maior robustez dos bancos SQL Server permite que esta versão do sistema armazene outras características textuais dos trechos, como o nome (toponímia) do rio e o domínio (estadual ou federal).

Da mesma forma, o sistema possui uma camada de informação com um *raster* dos municípios pertencentes à bacia, identificando o município a partir da coordenada, de forma similar à identificação das ottobacias.

4.4. Acumulação de demandas

4.4.1. Versão Matlab

Na versão em Matlab, a acumulação de demandas é feita previamente, e o sistema armazena somente a demanda acumulada em cada trecho. A cada inserção de novo usuário, a vazão demandada é acumulada no trecho em que se encontra e em todos os trechos a jusante deste. Esta abordagem foi adotada em detrimento da ottocodificação, devido à dificuldade do MATLAB em fazer consultas do tipo *string*, necessárias para as consultas em bases ottocodificadas.

Com isso, a versão MATLAB do sistema não possui um banco de dados em que cada usuário outorgado pode ser identificado individualmente. Após a inserção, sua vazão é somada às demandas acumuladas dos trechos afetados a jusante, não sendo mais possível, a partir deste momento, avaliar a vazão alocada a cada usuário individual. Este procedimento tem a vantagem de ser bastante rápido, uma vez que a demanda acumulada já se encontra previamente calculada e armazenada em uma matriz binária de leitura bastante rápida. Entretanto, esta abordagem leva a algumas dificuldades no gerenciamento dos usos outorgados, como por exemplo, na revogação e alteração de outorgas, uma vez que não é possível retirar um usuário individual do balanço hídrico.

Do ponto de vista computacional, o balanço hídrico e a topologia da bacia são armazenados em matrizes em formato binário. O balanço hídrico é armazenado em um matriz denominada *cotejo.bin*, de tamanho *n* linhas por 50 colunas, onde *n* é o número de trechos da bacia. Para cada linha, são armazenados: código do trecho, área de drenagem, 12 valores de vazão de referência, 12 valores de demanda acumulada máxima instantânea, 12 valores de demanda acumulada média diária e 12 valores de demanda acumulada média mensal. As colunas 15 a 50 estão inicialmente zeradas e vão sendo atualizadas a cada inserção de nova outorga. A Tabela 4.1 mostra um exemplo da estrutura desta matriz.

A topologia da bacia é armazenada em uma matriz denominada *vetorjus.bin*, de n linhas por m colunas, onde m é o maior número de trechos de uma nascente até a foz na bacia. Esta matriz armazena, para cada linha, o código do trecho, o código do trecho imediatamente a jusante, o código do trecho a jusante deste, e assim por diante até a foz. Os códigos de trecho foram convertidos para inteiros sequenciais de 1 a n, para permitir formatos mais econômicos de armazenamento de dados. A Tabela 4.2 mostra um exemplo de matriz contendo a topologia descrita.

Tabela 4.1. Exemplo da estrutura da matriz binária contendo o balanço hídrico

Código do trecho	**A_{dren} (km²)**	**Qref (m³/s)**				**DemAc-max. inst (m³/s)**				**DemAc-meddia**				**DemAc-medmes**			
		jan	**fev**	**...**	**dez**	**jan**	**fev**	**...**	**dez**	**jan**	**fev**	**...**	**dez**	**jan**	**fev**	**...**	**dez**
189484	1247	9,2	9,0	,,,	9,5	2,2	2,0	,,,	1,9	1,3	1,1	,,,	1,0	0,3	0,2	,,,	0,1
189077	1286	7,2	6,1	,,,	5,8	1,6	1,6	,,,	1,6	0,8	0,8	,,,	0,8	0,2	0,2	,,,	0,2
188430	1310	9,7	9,1	,,,	8,6	2,1	2,1	,,,	2,1	1,6	1,6	,,,	1,6	1,6	1,5	,,,	1,6
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Tabela 4.2. Exemplo de matriz com a topologia

Trecho	jusante 1	jusante 2	Jusante i	Jusante n-3	Jusante n-2	Jusante n-1	jusante n
18	9834	11233	...	12921	12922	12927	12928
19	11311	11346	...	12928	0	0	0
20	11131	11448	...	12927	12928	0	0

Assim, ao inserir uma demanda, o sistema localiza a linha correspondente na matriz *vetorjus*, identificando com isso todos os trechos a jusante da interferência. A demanda pleiteada é acumulada nas linhas 3 a 14 da matriz *cotejo*, em todas as linhas correspondentes aos trechos afetados.

Retornos de água, tais como lançamentos de esgoto, somente são considerados no balanço hídrico caso sejam explicitamente inseridos na forma de uma outorga para diluição. No caso da irrigação, não é considerado qualquer retorno para fins de outorga, uma vez que este procedimento seria contra a segurança, por aumentar a vazão disponível para captações a jusante. Além disso, em geral se exige alta eficiência dos usuários de irrigação, com umedecimento do solo somente até a capacidade de campo, de forma que pouco ou nenhum retorno por infiltração é esperado.

Similarmente à matriz de demandas consuntivas acumuladas, deve ser gerada uma matriz com as cargas poluentes acumuladas em cada trecho. Esta matriz, de tamanho n por 20, é armazenada em um arquivo binário denominado *qualitativo.bin*. A cada linha, a matriz informa: código do trecho, classe de enquadramento, temperatura natural da água do trecho (na falta de maiores dados adota-se 25ºC), DBO natural do trecho (em geral 1 mg/l), concentração natural de nitrogênio no trecho (adota-se 0,5 mg/l) e concentração natural de fósforo (adota-se 0,01 mg/l). Além disso, armazena 12 valores de carga de DBO acumulada no trecho (um para cada mês) e um valor de nitrogênio e fósforo acumulado. Para acumulação da carga nos trechos a jusante, o procedimento é similar ao caso das captações, somando-se a carga lançada a todos os trechos a jusante identificados em *vetorjus.bin*, porém considerando o decaimento, no caso da DBO.

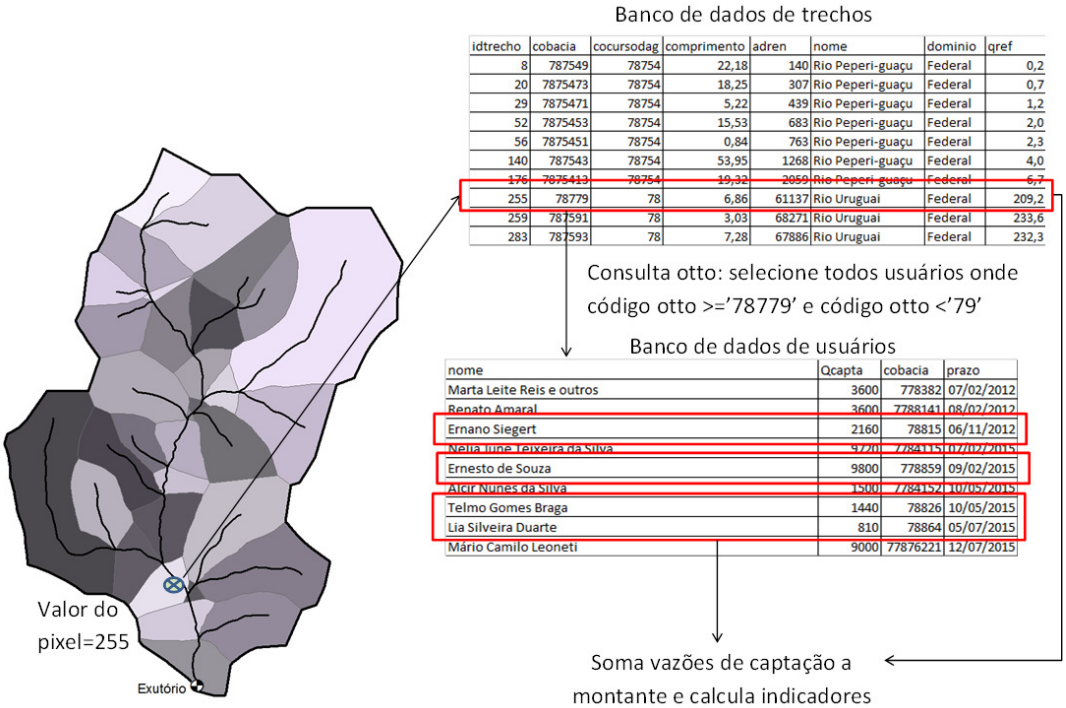
O sistema armazena ainda uma matriz n por m, contendo os comprimentos dos trechos, denominada *compjus.bin*. Esta matriz é similar a *vetorjus.bin*, porém ao invés de armazenar o código dos trechos a jusante, de forma sequencial, armazena o comprimento destes. Esta matriz é usada principalmente no balanço qualitativo, como será visto mais adiante.

Para geração das matrizes binárias, foi desenvolvido um *script* em MATLAB, que lê as bases em formato *shapefile*, processa as informações e salva as matrizes em arquivos binários. As informações sobre topologia (código do trecho, área de drenagem) e as vazões de referência devem constar na tabela de atributos do *shapefile* de origem.

Embora o banco de dados de usuários nesta versão não armazene informação de usuários individuais, o sistema gera um registro (*log*) em formato texto a cada nova outorga inserida, contendo os dados administrativos (nome, número do processo) e técnicos (vazões demandadas e código do trecho), permitindo verificar inconsistências, tais como dupla entrada ou erros na vazão.

4.4.2. Versão PHP

O sistema está vinculado a um banco de dados SQL Server contendo todas as captações, as vazões demandadas, o trecho em que se encontra e o prazo de validade da outorga. Assim, a cada inserção de novo usuário, o sistema consulta os usuários situados nos trechos a montante, por meio da codificação otto, e faz a acumulação no momento da análise. A Figura 4.5 mostra um exemplo esquemático da acumulação em banco de dados.



idtrecho	cobacia	cocursodag	comprimento	adren	nome	dominio	qref
8	787549	78754	22,18	140	Rio Peperi-guaçu	Federal	0,2
20	7875473	78754	18,25	307	Rio Peperi-guaçu	Federal	0,7
29	7875471	78754	5,22	439	Rio Peperi-guaçu	Federal	1,2
52	7875453	78754	15,53	683	Rio Peperi-guaçu	Federal	2,0
56	7875451	78754	0,84	763	Rio Peperi-guaçu	Federal	2,3
140	787543	78754	53,95	1268	Rio Peperi-guaçu	Federal	4,0
176	7875413	78754	19,32	2059	Rio Peperi-guaçu	Federal	6,7
255	78779	78	6,86	61137	Rio Uruguai	Federal	209,2
259	787591	78	3,03	68271	Rio Uruguai	Federal	233,6
283	787593	78	7,28	67886	Rio Uruguai	Federal	232,3

nome	Qcapta	cobacia	prazo
Marta Leite Reis e outros	3600	778382	07/02/2012
Renato Amaral	3600	7788141	08/02/2012
Ernano Siegert	2160	78815	06/11/2012
Nelia June Teixeira da Silva	9720	7784115	07/02/2015
Ernesto de Souza	9800	778859	09/02/2015
Alcir Nunes da Silva	1500	7784152	10/05/2015
Telmo Gomes Braga	1440	78826	10/05/2015
Lia Silveira Duarte	810	78864	05/07/2015
Mário Camilo Leoneti	9000	77876221	12/07/2015

Figura 4.5. Exemplo esquemático de acumulação de demandas em banco de dados

O sistema contabilizar somente usuários com outorga válida, ou seja, aquela em que o campo correspondente ao prazo de validade é superior à data atual. Pelo fato de estar vinculado a um banco de dados, é possível gerenciar informações individuais de usuários outorgados, retirando ou alterando demandas por meio da alteração dos dados individuais armazenados no banco de dados.

No caso de lançamentos, o procedimento é similar, sendo que o sistema faz a consulta em um banco de dados de lançamentos, contendo o nome do usuário e número do processo, código do trecho em que se encontra a interferência, vazão de lançamento, concentração de DBO, nitrogênio, fósforo e temperatura do efluente, e data de validade da outorga.

Exceto pelo fato de que as cargas poluentes a montante não são somadas diretamente, e sim abatidas de acordo com a distância de cada lançamento a montante, conforme equacionamento a ser mostrado mais à frente.

A Figura 4.6 e a Figura 4.7 mostram as diferenças dos dois sistemas em relação à acumulação de demandas.

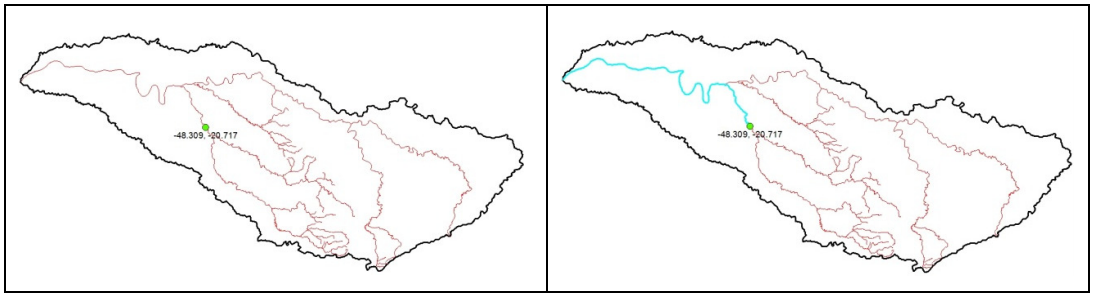


Figura 4.6. Acumulação de uma nova demanda em todos os trechos a jusante (versão MATLAB).

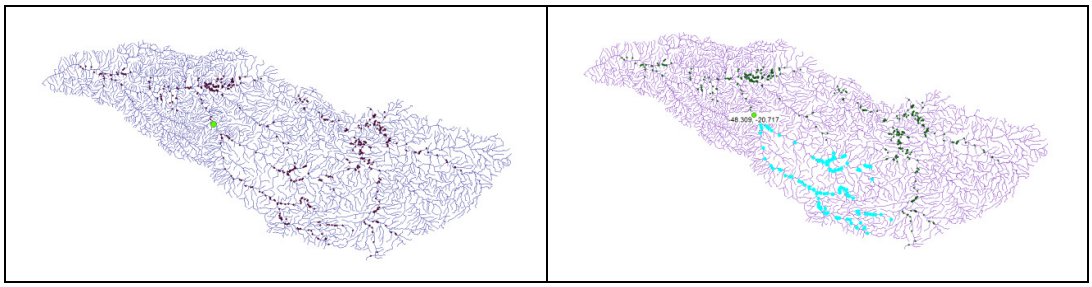


Figura 4.7. Acumulação por meio de consulta às demandas situadas em trechos a montante (versão PHP).

4.5. Disponibilidade hídrica

Conforme mencionado, a cada trecho da base hidrográfica subjacente ao sistema deve ser atribuída uma vazão de referência. Mesmo em uma escala mais grosseira, como a escala ao milionésimo geralmente adotada pela ANA, as bases de uma bacia de maior porte contam com milhares de trechos, não sendo viável atribuir vazões de referência trecho a trecho.

Isso gera a necessidade de atribuir vazões de referência em batelada, a partir de estudos de regionalização existentes, ou outros estudos que permitam extrair vazões de referência específicas, em $l.s^{-1}.km^{-2}$, para áreas maiores.

A vazão de referência adotada pela ANA é a $Q_{95\%}$ (ANA, 2013a). Entretanto, qualquer vazão de referência pode ser atribuída aos trechos de uma dada bacia, respeitando os critérios de outorga do órgão gestor responsável.

Em bacias com forte sazonalidade, a ANA tem favorecido a adoção de vazões de referência sazonais, com vazões de referência maiores nos meses de verão no e vazões de referência menores nos meses de inverno (ANA 2013ª).

A adoção de vazões de referência sazonais é recomendada por Cruz (2001) e Rosa de Oliveira *et al*. (2013) e permite uma melhor utilização do recurso, alocando mais água nos meses de maior disponibilidade e menos nos meses mais críticos. Em muitas regiões, esta abordagem permite o cultivo de uma safra extra nos meses de abril a junho, por exemplo, restringindo-se o uso no trimestre seguinte. Cabe salientar que nestes casos, a vazão de referência sazonal é comparada com a demanda acumulada mês a mês.

Além disso, a adoção de vazões sazonais é importante pois está ligada ao número de dias consecutivos de desatendimento a que o usuário pode estar submetido. Pela própria definição da curva de permanência, a garantia de 95% representa um risco de 5% do tempo. **Em média**, isto significa cerca de 18 dias por ano em que a vazão natural é inferior à Q95%. No entanto, como a variabilidade interanual em geral é grande, a Q95% pode não ocorrer durante dois ou três anos, porém no quarto ano ocorrer um período de, digamos, sessenta dias com vazões abaixo da Q95% anual. Para um usuário de irrigação, o não-atendimento durante um tempo desta magnitude certamente acarretará a perda do cultivo. Com isso, efetivamente ocorre uma perda a cada 4 anos, o que corresponde a um risco muito superior aos 5% que se pretende admitir (ANA, 2013a).

A atribuição de vazões sazonais somente não é feita quando os estudos disponíveis para a bacia não permitem sua estimativa. Estudos de regionalização, em geral, apresentam resultados somente para a curva de permanência anual.

O uso de vazões sazonais também é pouco necessário em bacias em que há pouca irrigação, nas quais o principal foco é gerenciamento de qualidade de água, como a bacia do Paraíba do Sul, por exemplo. Nestes casos, o desatendimento da vazão de referência está ligado a um desatendimento da classe de enquadramento vigente, e não necessariamente a uma restrição hídrica. Com isso, a princípio não faz muita diferença se as falhas ocorrem concentradas no tempo ou distribuídas ao longo dos anos.

Em cada bacia a ser sistematizada, deve-se obter a melhor informação possível para caracterizar as vazões de referência. As principais fontes de informação utilizadas no SCBH são:

- Séries de vazões naturais afluentes às usinas do Sistema Interligado Nacional (SIN), com extensão desde o ano de 1931. Os estudos que levaram à definição destas séries foram supervisionados pela ANEEL e ANA. A vantagem deste dado é que as séries têm extensão longa e permitem a estimativa de vazões sazonais, permitindo estimar vazões específicas nas áreas incrementais entre usinas. Por outro lado, esta informação está restrita a bacias de maior porte, não sendo indicada para trechos de cabeceira;

- Estudos de regionalização: A ANEEL/CPRM realizou uma série de estudos de regionalização no início dos anos 2000 em várias bacias, o que permite atribuir vazões de referência a uma grande quantidade de trechos de uma única vez, por meio da aplicação das equações de regionalização em ambiente SIG. Esta informação possui a desvantagem de nem sempre permitir a atribuição de vazões de referência sazonais, uma vez que alguns dos estudos apresentam equações somente para curva de permanência anual. Além disso, em muitos casos os estudos levaram a equações de regionalização pouco parcimoniosos, que dependem de uma grande quantidade de variáveis explicativas (densidade de drenagem, comprimento de rio principal). Além do uso de equações com essa característica ser pouco recomendado, a atribuição de vazões de referência em massa é dificultada pela quantidade de características fisiográficas que devem ser levantadas. São preferidas equações mais simples, que usem somente a área de drenagem e, eventualmente, a precipitação média anual como variáveis explicativas. O uso de equações de regionalização tem a mesma limitação do dado anterior, a pouca aplicabilidade em bacias de menor porte.

- Vazões específicas a partir de estações fluviométricas: pode-se obter as vazões de referência em uma estação de monitoramento próxima, e extrapolar as vazões para os trechos de interesse próximos. Esta alternativa possui a vantagem de permitir a estimativa de vazões sazonais, porém sua aplicabilidade é limitada a uma área próxima e hidrologicamente homogênea ao local da estação, bem como ao porte das estações devido ao efeito de escala. Dadas as características da rede fluviométrica do país, possivelmente esta alternativa também é pouco útil para aplicação em pequenas bacias;

- Modelo chuva-vazão de pequenas bacias ou Método Silveira (Silveira *et al.* 1998b): esta alternativa vem sendo aplicada pela ANA em bacias de pequeno porte no entorno do Distrito Federal, e consiste no estabelecimento de vazões de referência baseadas em medições de vazão em um mesmo período de estiagem, por meio da aplicação de um modelo chuva-vazão simplificado, descartando-se as vazões geradas no período de chuvas. Esta informação confere maior confiabilidade às vazões de referência em trechos de cabeceira, além de permitir estabelecimento de vazões sazonais. Entretanto, sua aplicabilidade a um número maior de trechos de rio é limitada, só sendo viável sua estimativa em pequenas áreas de maior interesse na bacia.

- outros modelos chuva-vazão, como o MGB-IPH (Collischonn, 2001) ou SMAP (Lopes *et al.* 1981), em aplicações pontuais. Modelos chuva-vazão distribuídos, embora ainda pouco usados nesse contexto, seriam úteis na medida em que já fornecem as vazões características discretizadas por trecho de rio;

Conforme mencionado, a atribuição de vazões de referência a todos os trechos de uma bacia deve procurar colher a melhor informação disponível para caracterização da disponibilidade hídrica. Dadas as limitações de dados no país, certamente haverá trechos aos quais serão atribuídas vazões com grande incerteza associada. Esta não é uma limitação do sistema apresentado nesta tese, e sim do gerenciamento de recursos hídricos como um todo no Brasil. A avaliação sobre a verdadeira garantia que estas vazões possuem possivelmente só será feita *a posteriori*, ou então à medida em que novos estudos forem sendo disponibilizados. Do ponto de vista do sistema, é importante que a cada trecho da base esteja associada uma vazão de referência, ou um vetor de vazões sazonais.

4.6. Reservatórios

A vazão de referência a ser atribuída a um conjunto de trechos deve levar em conta a infraestrutura de armazenamento disponível na bacia, bem como suas regras operativas. Ou seja, não faz sentido estimar vazões de referência com base em curvas de permanência ou estudos de vazão mínima em locais a jusante de reservatórios de regularização, em que a variabilidade hidrológica natural foi afetada pela operação.

4.6.1. Reservatórios de regularização

Em reservatórios de regularização de vazões, o conceito de vazão de referência associado a uma vazão mínima perde o significado, uma vez que as infraestruturas de armazenamento são construídas em geral para aumentar a disponibilidade hídrica que o rio teria naturalmente (ANA, 2013a). Sendo assim, considera-se o potencial de regularização como um valor mais representativo para a disponibilidade hídrica de reservatórios (exceto os reservatórios do setor elétrico).

O potencial de regularização é a vazão que o reservatório pode fornecer a longo prazo, sem que o volume mínimo ou volume morto seja atingido. A estimativa do potencial de regularização é obtida por simulação de balanço hídrico de reservatório, considerando perdas por vertimento e evaporação. Em geral a informação sobre o potencial de regularização está disponível no projeto básico do reservatório, ou em estudos como planos de bacia.

4.6.2. Reservatórios do setor elétrico – com DRDH

Os reservatórios do setor elétrico, embora implantados com o fim específico de geração de energia elétrica, acabam por constituir-se em importantes mananciais para usos consuntivos da água, por inundarem uma extensão significativa de terras e levar água a locais que anteriormente estavam distantes de fontes hídricas (ANA, 2013a).

Somente a partir de 2003 é que a ANA e os órgãos gestores estaduais passaram a ter a atribuição de outorgar estes empreendimentos, com uma visão de uso múltiplo, a partir da normatização do instrumento da Declaração de Reserva de Disponibilidade Hídrica (DRDH).

A outorga de hidrelétricas segue um procedimento diferente da outorga para usos consuntivos em geral. Não faz sentido neste caso comparar a vazão turbinada pelo empreendimento com uma vazão mínima de referência, uma vez que empreendimentos hidrelétricos em geral têm capacidade de turbinamento maior do que a própria vazão média de longo termo para serem

viáveis. Ao invés disso, é alocada para uso do empreendimento hidrelétrico toda a série histórica de vazões naturais, descontada de um limite de usos consuntivos atuais e futuros a montante do empreendimento, previstos para ocorrer ao longo do prazo de outorga. Com isso, vincula-se o uso para geração de energia com os usos múltiplos da bacia, e os usos consuntivos estimados são levados em conta pelo setor elétrico no cálculo da garantia física das usinas.

Em reservatórios de UHEs que contam com outorga formal da ANA ou de algum órgão gestor estadual, a vazão que pode ser outorgada fica vinculada a este limite de usos consuntivos a montante do empreendimento. Automaticamente, ao estabelecer-se limites de consumo nas bacias afluentes a UHEs, o critério de outorga deve aderir a este limite, de forma a manter o consumo de água dentro do que foi previsto e respeitar a disponibilidade hídrica (e consequentemente, a energia) alocada ao empreendimento hidrelétrico.

Do ponto de vista de sistema de apoio à decisão, a existência de uma DRDH a jusante cria uma avaliação adicional a ser feita. Entretanto, são poucos os empreendimentos atualmente operantes que contam com DRDH formal, de forma que esta regra tem aplicação ainda muito limitada.

4.6.3. Reservatórios do setor elétrico – sem DRDH formal

A grande maioria dos reservatórios de UHEs e PCHs atualmente existentes possui concessões antigas, anteriores a 2003, as quais abrigam o instrumento da outorga de direito de uso de recursos hídricos. Assim, não possuem uma DRDH formal, com limites de consumo a montante estabelecidos por um órgão gestor de recursos hídricos. Desta forma, como não há limites formalmente estabelecidos, estes mananciais podem ser gerenciados de forma análoga a outros rios e reservatórios, ou seja, com base em suas vazões de referência.

Para este tipo de reservatório, o conceito de potencial de regularização deixa de fazer sentido. Isto ocorre pelo fato de os reservatórios do setor elétrico serem despachados (ou seja, terem sua operação determinada) pelo Operador Nacional do Sistema, em atendimento às demandas de geração de energia em todo o país. O despacho do ONS não necessariamente obedece a uma lógica de regularizar vazões na própria bacia. Ao invés disso, visa a gerar energia de forma mais barata para o sistema como um todo, de forma que as decisões sobre sua operação extrapolam o espaço da bacia hidrográfica.

Por exemplo, uma dada UHE pode ser despachada a turbinar, para atender à demanda de energia, mesmo que o nível d'água em seu reservatório esteja baixo. Esta operação difere da

de um reservatório de regularização típico, em que a meta é sempre recuperar o armazenamento do reservatório, após satisfeitas as demandas existentes.

Assim, em vista da natureza particular da operação de reservatórios do setor elétrico, o potencial de regularização não pode ser considerado um bom indicador de disponibilidade hídrica destes mananciais. Ao invés disso, considera-se, por simplificação, que a disponibilidade hídrica é dada pela $Q_{95\%}$ das vazões naturais afluentes ao reservatório. Com isto, a abordagem é similar à disponibilidade hídrica de um rio não-barrado, exceto pelo fato de que a vazão $Q_{95\%}$ no local do barramento passa a estar disponível em todo o perímetro do reservatório, e não apenas no trecho barrado. Assim, contempla-se o ganho de disponibilidade hídrica propiciado pela existência do reservatório.

4.6.4. Trechos a jusante de reservatórios

Dado o cenário atual de infra-estrutura de armazenamento nos mananciais do país, é comum a ocorrência de pedidos de outorga em trechos a jusante de reservatórios de regularização ou em trechos de vazão reduzida criados pela implantação de usinas hidrelétricas.

Como mencionado, estes reservatórios alteram o regime hidrológico dos rios a jusante, logo não faz sentido falar em curva de permanência como critério de vazão de referência, uma vez que a variabilidade natural das vazões foi afetada pelo reservatório, em geral com o aumento das vazões mínimas. Em particular a jusante de reservatórios do setor elétrico, a hipótese de estacionariedade não é válida, uma vez que a frequência e magnitude das vazões turbinadas no passado pode não se repetir no futuro, devido a alterações na operação do SIN, aumento da demanda por energia, etc. A vazão de referência deixa de ser um produto unicamente dos fenômenos naturais da bacia.

Naturalmente, há limites definidos para a operação de reservatórios. A ANA estabeleceu regras operativas a serem mantidas em alguns reservatórios, e o próprio ONS divulga anualmente um elenco de restrições hidráulicas de seus reservatórios, com supervisão da ANA. Provavelmente a restrição mais comum é a manutenção de uma vazão mínima, a chamada vazão de restrição, que deve ser mantida a jusante em 100% do tempo.

Assim, adota-se a vazão de restrição como vazão de referência a jusante de reservatórios, uma vez que esta tem uma alta garantia no tempo. À medida em que se avança para jusante, soma-se a esta a vazão $Q_{95\%}$ produzida na área incremental a partir do barramento.

No entanto, a vazão de restrição deve ser mantida independente da demanda existente a montante do reservatório, ou seja, os usos existentes a montante não influenciam o balanço hídrico no trecho incremental. É como se a barragem criasse um novo manancial a jusante, interrompendo a acumulação de demandas.

Esta abordagem é válida para todos os reservatórios de regularização, sejam do setor elétrico ou não. Nas regiões semi-áridas, por exemplo, a vazão de referência é dada pela vazão de perenização a jusante do reservatório, quando estabelecida.

Para contemplar a regra na estrutura do sistema de apoio à decisão, foi criada uma tabela de dados adicional, contendo todos os reservatórios de regularização existentes na bacia, bem como o código do trecho em que se encontram. Ao fazer a acumulação das demandas a montante para cálculo do indicador, o sistema verifica inicialmente se algum dos reservatórios listados encontra-se em trecho situado a montante da interferência analisada. Caso exista, todas as demandas outorgadas a montante deste são desconsideradas no cálculo dos indicadores de comprometimento.

A exceção são os reservatórios do setor elétrico que operem a fio d'água, uma vez que nestes, por definição, a vazão defluente é igual à afluente, portanto as demandas porventura existentes a montante são "propagadas" para jusante.

4.7. Qualidade de água

A avaliação de outorga de diluição de efluentes descrita nesse item refere-se somente a cargas pontuais, não contemplando carreamento de poluentes difusos.

Teoricamente, a avaliação da outorga de lançamento de efluentes deveria contemplar todos os parâmetros de qualidade de água listados na Resolução CONAMA nº 357/2005. Entretanto, um sistema que avaliasse todos estes parâmetros seria excessivamente carregado, levando à necessidade de inserção de uma quantidade muito grande de informações que em geral nem mesmo estão disponíveis.

Além disso, embora problemas localizados com parâmetros específicos como metais pesados possam existir, a grande preocupação em termos de qualidade de água no Brasil é com a carga orgânica, expressa normalmente em termos de demanda bioquímica de oxigênio (DBO). Em menor grau, questões relacionadas à eutrofização de ambientes lênticos, relacionadas a fósforo e nitrogênio, também são relevantes.

A ANA definiu, por meio de resolução, que inicialmente restringiria a avaliação de outorga de diluição de efluentes aos parâmetros DBO, temperatura, nitrogênio e fósforo, estes últimos somente em locais sujeitos à eutrofização. Estes são, portanto, os parâmetros cuja análise foi incorporada ao sistema.

4.7.1. DBO

Conforme mencionado, existe a necessidade de comparar usos consuntivos (captações de água) e não consuntivos (lançamento de efluentes) em uma base única e integrada. No entanto, as captações de água são usos consuntivos, enquanto os lançamentos são usos não-consuntivos. As demandas para captação são expressas em uma vazão retirada (em unidades de m³/h ou l/s, usualmente), enquanto os lançamentos são expressos em cargas poluentes (kg/dia ou toneladas/ano), resultantes do produto da vazão de lançamento pela concentração do efluente).

Para contornar este problema, o SCBH adota o conceito de vazão de diluição, ou seja, a vazão necessária para diluir um poluente até a concentração permitida do poluente (concentração correspondente à classe em que o manancial está enquadrado). Este conceito foi proposto por Kelman (1997) e adaptado por Cardoso da Silva e Monteiro (2004), e é baseado na equação de mistura.

$$Q_{dil} = Q_{ef} \cdot \frac{(C_{ef} - C_{perm})}{(C_{perm} - C_{man})} \tag{4.3}$$

onde Q_{ef} é a vazão do efluente, C_{ef} é a concentração da substância no efluente, C_{perm} é a concentração permitida da substância e C_{man} é a concentração natural da substância no poluente no manancial.

O parâmetro de maior incerteza na equação acima é o termo de concentração natural do poluente no manancial, aquela derivada da decomposição de folhas, animais mortos, matéria orgânica em geral, e que estaria presente mesmo que não houvesse nenhum uso antrópico (captação ou lançamento). De forma geral, adota-se o valor de 1mg/l para a concentração natural de DBO (Cardoso da Silva e Monteiro, 2004).

A vazão da qual o usuário efetivamente se apodera para diluição de efluentes é denominada vazão indisponível, e corresponde à soma da vazão de diluição com a vazão de lançamento, portanto:

$$Q_{indisp} = Q_{dil} + Q_{ef} \quad (4.4)$$

A formulação acima somente leva em conta fontes de poluição pontual, não havendo ainda a consideração de fontes difusas no balanço qualitativo do sistema. Isto se deve, por um lado, à ausência de normativos ou valores de referência de poluição difusa adaptados para a realidade brasileira. Além disso, como as vazões de referência para gerenciamento em geral são vazões de estiagem, espera-se pouca contribuição de fontes difusas, que aportam em geral em períodos chuvosos.

Diferentemente das captações, que retiram uma demanda que se acumula integralmente nos trechos a jusante do manancial, as vazões indisponibilizadas por lançamentos de efluentes tornam-se progressivamente menores, ficando novamente disponíveis para novos usuários. Isto ocorre devido ao fenômeno da autodepuração. Cabe ressaltar que esta afirmação só é válida para lançamentos de poluentes não-conservativos, em que algum decaimento é esperado, notadamente a DBO.

A autodepuração da vazão indisponível (ou carga poluente) é simulada por meio de uma simplificação do modelo de Streeter-Phelps (Von Sperling, 1998, adaptado por Cardoso da Silva e Monteiro, 2004), agrupando-se todos os coeficientes (reaeração, oxigenação, etc) em um único fator de abatimento k. A carga poluente ao longo do rio é estimada como sendo uma função do tempo de trânsito da água ao longo do trecho de rio, conforme formulação abaixo:

$$W_n = W_0 \cdot e^{-k_1 \cdot t} \quad (4.5)$$

onde W_n é a carga no trecho de interesse, W_0 é a carga poluente no trecho 0 a montante, e k_1 é um coeficiente de decaimento que é função da temperatura da água, dado por (Von Sperling, 1998):

$$k_1(Temp) = 0{,}17 \cdot 1{,}047^{(Temp-20)} \quad (4.6)$$

onde Temp é a temperatura da água, em ºC.

Por fim, a variável t corresponde ao tempo de trânsito da água entre os trechos 0 e n, em dias. Este tempo é calculado considerando-se a distância entre os trechos e uma velocidade do

fluxo de 0,5 m/s[7]. A distância entre trechos é obtida por consulta ao banco de dados de trechos, uma vez que o comprimento de cada trecho é uma informação constante neste banco.

4.7.2. Nitrogênio e fósforo

Para os parâmetros nitrogênio e fósforo, a formulação de cálculo da vazão de diluição e da vazão indisponível é igual ao caso da DBO. Entretanto, atualmente não é considerada qualquer autodepuração para estes parâmetros, portanto considera-se como cargas conservativas, a favor da segurança. Embora na realidade estes parâmetros sofram algum abatimento (o nitrogênio via denitrificação e o fósforo via consumo por algas e sedimentação), a modelagem de tais processos exigiria uma simulação mais complexa. Além disso, sua avaliação é mais relevante em sistemas isolados, como reservatórios específicos, e não em escala de bacia hidrográfica.

4.7.3. Temperatura

No caso da vazão de diluição do parâmetro temperatura, há uma verificação prévia do valor absoluto de temperatura do lançamento, uma vez que a resolução CONAMA 357/2005 veda a outorga de lançamentos com temperatura superior a 40ºC.

Além disso, esta resolução estabelece que um lançamento não pode alterar a temperatura do corpo receptor em mais de 3ºC. Com isso, o cálculo da vazão de diluição é modificado para:

$$Q_{dil} = Q_{ef} \cdot \frac{(T_{ef} - T_{man} - 3)}{3} \tag{4.7}$$

onde T_{ef} é a temperatura do efluente e T_{man} é a temperatura natural do manancial.

Cabe notar, portanto, que são calculadas 4 vazões de diluição (uma para cada parâmetro), sendo a maior delas considerada como a vazão da qual o usuário se "apropria", uma vez que, por não se tratar de uso consuntivo, a mesma água que dilui a DBO pode diluir o Nitrogênio total (ou outro parâmetro), de forma que não faz sentido somar as vazões de diluição.

---

[7] A rigor esta velocidade varia de trecho a trecho, de acordo com as características hidráulicas da seção do manancial. No entanto, como estes dados são de difícil obtenção em escala de grandes bacias, adota-se esta velocidade de 0,5m/s. Cabe salientar que esta velocidade é em geral maior do que a velocidade do fluxo em rios na condição de vazões baixas, de forma que o tempo de trânsito é subestimado. Assim o decaimento também é subestimado, de forma que a abordagem é a favor da segurança

O decaimento da vazão indisponibilizada pela temperatura é função das trocas de calor com o ambiente, conforme Thomann e Müller (1987) *apud* Cardoso da Silva e Monteiro (2004):

$$Qindisp_n = \frac{(Q_{ef} + Q_{dil}) \cdot [[(T_{perm} - T_{man}) \cdot e^{-Kr \cdot t} + T_{man}] - T_{man}]}{T_{perm} - T_{man}} \quad (4.8)$$

onde $Kr = \frac{K}{\rho \cdot C_p \cdot H}$, K é o coeficiente de troca de calor (cal.cm^{-2}.dia^{-1}.ºC^{-1}), ρ é a massa específica da água (g.cm^{-3}), C_p é o calor específico da água (cal.g^{-1}.ºC^{-1}) e H é a profundidade média do curso d'água (cm).

Para a profundidade média da água dos rios, arbitrou-se 90cm. Este valor futuramente pode estar vinculado ao trecho e ser lido diretamente do banco de dados, ao invés de ser arbitrado, a exemplo da vazão de referência, comprimento e outras características.

Já o coeficiente de troca de calor é obtido do gráfico mostrado na Figura 4.8. Como se vê, o coeficiente é dependente da temperatura média do ar e da velocidade do vento. Estes valores foram obtidos em normais do INMET, de acordo com a bacia em análise.

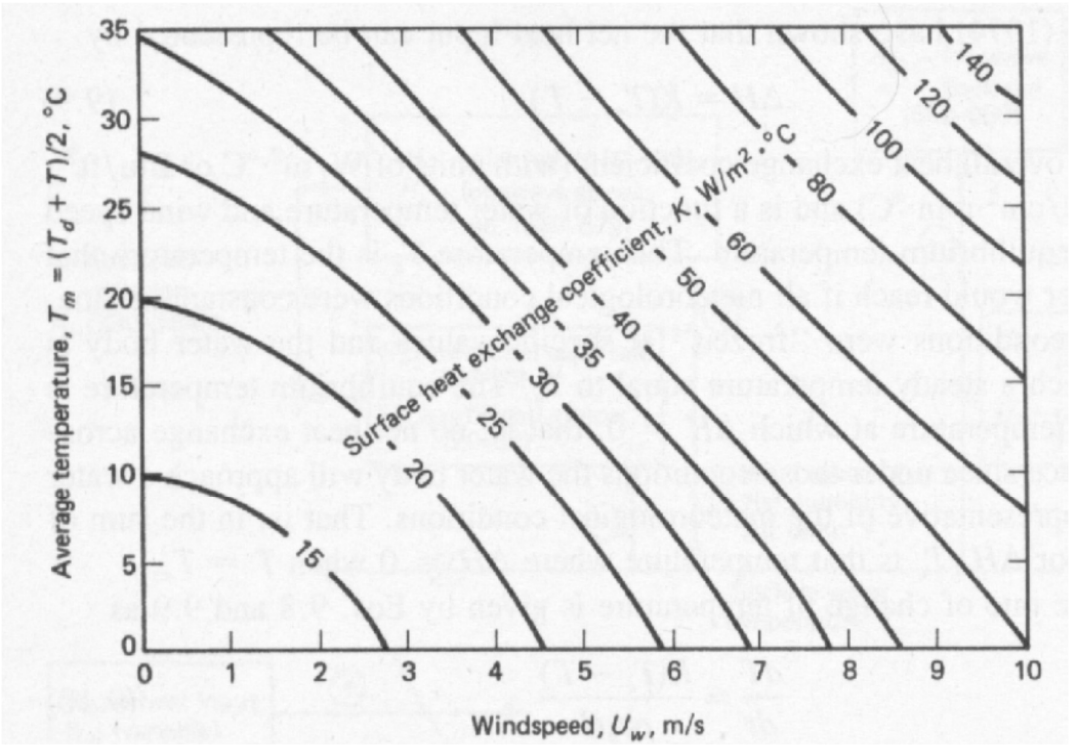


Figura 4.8. Valores de coeficiente de troca de calor (Thomann e Müller (1987) *apud* Cardoso da Silva e Monteiro (2004))

4.8. Indicadores de comprometimento

A formulação genérica dos indicadores de comprometimento já foi apresentada por meio das equações (4.1) e (4.2). Generalizando para contemplar a sazonalidade, os indicadores para uma nova captação de água são:

Indicador de comprometimento individual:

$$ICI_{quant}^{i} = \frac{Q_{cap}^{i}}{Q_{ref}^{i}} \cdot 100\% \tag{4.9}$$

onde Q_{cap} é a vazão captada pelo novo usuário no mês i e Q_{ref} é a vazão de referência no mês i, ambos em m³/s

Indicador de comprometimento coletivo:

$$ICC_{quant}^{i} = \frac{Q_{cap}^{i} + \sum_{1}^{k} Q_{capmon}^{i} - \sum_{1}^{h} Q_{lanmon}^{i}}{Q_{ref}^{i}} \cdot 100\% \tag{4.10}$$

onde Q_{capmon} são as captações situadas a montante do novo ponto de captação, $Q_{lanmmon}$ são os lançamentos situados a montante (ambos em m³/s) e k e h são o número de captações e lançamentos a montante, respectivamente.

Já para o caso de lançamentos, os indicadores são os seguintes:

Indicador de comprometimento individual:

$$ICI_{qual} = \frac{Q_{dil}}{Q_{ref}} \cdot 100\% \tag{4.11}$$

Indicador de comprometimento coletivo (para DBO):

$$ICC_{qual} = \frac{Q_{indisp} + \sum_{1}^{h} k_{dec}^{0,j} \cdot Q_{indispmon}^{j}}{Q_{ref} - \sum_{1}^{k} Q_{capmon} + \sum_{1}^{h} Q_{lanmon}} \cdot 100\% \tag{4.12}$$

onde $Q_{indispmon}$ são as vazões indisponíveis correspondentes aos h lançamentos situados a montante (em m³/s) e $k_{dec}^{0,j}$ é o coeficiente de abatimento do poluente entre o lançamento j e o lançamento em análise.

O termo no denominador da equação (4.12) é a vazão remanescente, representando a diminuição da vazão disponível para diluição de efluentes devido aos consumos existentes a

montante. Desta forma, vinculam-se usos para captação e para lançamento em um mesmo indicador.

Para DBO, o coeficiente k_{dec} é obtido a partir da equação (4.5), considerando uma velocidade de fluxo de 0,5 m/s:

$$k_{dec}^{o,j} = e^{-k1 \cdot \frac{\sum_1^j L_n}{0,5 \cdot 86400}} \tag{4.13}$$

Onde L_n é o comprimento do trecho n, situado entre o lançamento j e o novo ponto de lançamento (em metros), e k1 é o coeficiente dado pela equação (4.6).

Para nitrogênio e fósforo, k_{dec} é igual à unidade, por serem considerados poluentes conservativos. Para temperatura, a formulação segue a formulação apresentada na equação (4.8).

No caso de lançamentos, optou-se por não calcular indicadores sazonais, para não sobrecarregar a visualização da interface gráfica com os resultados, e também pelo fato de que este tipo de interferência normalmente é mais constante ao longo do ano.

Observa-se ainda que a formulação para os indicadores qualitativos não contempla a retirada de cargas devida a captações a montante. Este procedimento faz com que as análises sejam levemente a favor da segurança.

Por fim, os indicadores podem ser calculados considerando diferentes regimes de captação ou lançamento. Isto porque em geral os pedidos de outorga informam uma vazão máxima (em geral função da capacidade da bomba), um número máximo de horas por dia e de dias por mês de funcionamento. Na maior parte dos casos, o bombeamento não ocorre em tempo integral, devido a fatores como custo de energia em horário de pico (tarifa verde) ou superdimensionamento de bombas por parte do usuário. Assim, dependendo do tamanho da bacia, pode ser excessivamente conservador supor que todos os usuários estarão com as bombas ligadas no mesmo instante, e mesmo que o façam, o balanço hídrico da bacia não é afetado de forma tão drástica devido ao amortecimento da vazão e tempo de trânsito nos rios. Este fator é particularmente verdadeiro no caso de reservatórios, em que flutuações diárias ou semanais na demanda são amortecidas pelo armazenamento do reservatório. Em casos como esse, é possível fazer o balanço hídrico não considerando a demanda máxima instantânea, e sim a média diária ou média mensal, amenizando o comprometimento hídrico. Nestes casos, tem-se:

$$Q^i_{capmeddia} = Q^i_{capmax} \cdot \frac{h^i_{dia}}{24} \quad (4.14) \text{ e}$$

$$Q^i_{capmedmes} = Q^i_{capmeddia} \cdot \frac{d^i_{mes}}{d^i_{total}} \quad (4.15)$$

onde $Q_{capmeddia}$ é a vazão de captação média diária do usuário no mês i, Q_{capmax} é a vazão máxima instantânea, h_{dia} é o tempo de captação em horas por dia, $Q_{capmedmes}$ é a vazão média mensal de captação, d_{mes} é o número de dias de captação por mês e d_{total} é o número de dias do mês i (28 a 31).

A mesma formulação se aplica às captações e lançamentos a montante. Os indicadores são calculados considerando o regime escolhido pelo analista.

Em alguns casos, o próprio órgão gestor normatizou em que situação é possível adotar um ou outro regime. Na ANA, estabeleceu-se que o balanço deve ser feito considerando vazão máxima instantânea em bacias com área de drenagem inferior a 10.000 km² (ANA, 2013a) e em média mensal em bacias com área superior a 100.000 km² ou reservatórios de regularização. Na concepção do presente sistema, optou-se por facultar ao analista a escolha do regime de captação/lançamento a ser considerado na análise.

4.9. Sistema de apoio à alocação negociada de água

A metodologia de desenvolvimento deste sistema está descrita à parte, pois seu uso insere em um contexto diferente, embora haja vinculação com o instrumento da outorga. Não há necessidade de representar a topologia hídrica da bacia por meio da ottocodificação, uma vez que os usos estão todos concentrados em um reservatório.

O sistema de apoio à alocação negociada de água foi desenvolvido em Matlab, e concebido para ser usado em reuniões de alocação negociada de água como apoio para realizar em tempo real as simulações de esvaziamento do reservatório e fazer previsões sobre o seu comportamento volumétrico, dado um determinado cenário de uso da água estocada.

O balanço hídrico do reservatório é dado pelo seguinte equacionamento, em intervalo mensal:

$$V_{i+1} = V_i + Qafl_i - E_i - \sum_{j=1}^{n} D_i^j \quad (4.16)$$

onde: V_{i+1} é o volume no próximo mês, V_i é o volume no mês atual *i*, $Qafl_i$ é o volume afluente no mês (de acordo com o ano hidrológico previsto), E_i é o volume evaporado, D_i^j é

demanda do usuário j no intervalo atual (com um número *n* máximo de 10 usuários). Demandas para perenização devem ser incluídas neste somatório, considerando ainda eventuais perdas em trânsito.

Ao fim de cada etapa, caso as cotas ainda estejam acima do nível do vertedor, o excesso é "vertido" e o volume é baixado para o máximo acumulado (crista do vertedor). Por outro lado, se ao longo da simulação o volume morto for atingido, as demandas não são mais retiradas, havendo apenas perda por evaporação. A curva cota-área-volume é expressa por meio de uma tabela com discretização de 1cm, armazenada em um arquivo binário.

O vetor de evaporação deve ser obtido da normal do INMET mais próxima ou mais similar com o clima no entorno do reservatório.

A caracterização da afluência permite quatro cenários distintos ou anos hidrológicos-tipo: afluência nula, ano seco, ano médio e ano úmido. Na prática, como em geral a previsibilidade da maior parte do semi-árido é difícil, é temerário optar pela afluência futura de um ano úmido. A definição dos anos-tipo deve partir de uma série histórica de vazões médias mensais. Os anos devem ser ordenados de acordo com o volume escoado em cada ano hidrológico, que em geral vai de outubro a setembro do ano seguinte. O ano seco corresponde a um ano com volume com alta permanência, digamos 90% ou 95%. O ano médio corresponde ao volume mediano (50% de permanência) e o ano úmido tem permanência de 10%. O usuário pode alterar a permanência da afluência, de acordo com eventuais informações sobre previsão climática e com a segurança que se quer obter.

Como a alocação negociada de água visa a um gerenciamento de mais curto prazo, o balanço hídrico é simulado por uma sequência de dois anos, partindo-se do volume atual, lido no reservatório. Maior ênfase é dada ao comportamento volumétrico nos primeiros 12 meses, dada a maior confiabilidade desta previsão. Caso a simulação mostre colapso do manancial ao fim da simulação, em geral restringe-se um ou mais grupos de usuários, até o que o risco de colapso diminua. Não há uma regra definida sobre qual o risco que pode ser assumido, o que depende dos fatores já mencionados (existência de usos prioritários para abastecimento, tolerância ao risco, preço das culturas irrigadas). Entretanto, o coordenador da reunião de alocação deve evitar cenários de risco muito alto, por exemplo, uma política de uso que leve o atingimento do volume morto em um prazo de menos de um ano. Em geral, ao fim do processo de alocação, deve-se chegar a um acordo sobre o risco, ou armazenamento mínimo que se deseja obter ao fim do período de simulação, e sobre a política de operação do manancial, com volumes mensais alocados a cada grupo de usuários.

4.10. Avaliação dos resultados do uso do sistema

Conforme mencionado, cada inserção de novo usuário no balanço hídrico gera um registro (*log*), com o nome, número do processo, vazões/regime de operação e código do trecho. Este registro é armazenado em um arquivo de registro mensal, sendo um para captações e um para lançamento.

Com isto, é possível acompanhar o número de pedidos de outorga analisados mês a mês em cada bacia sistematizada. O número anual de pedidos analisados via SCBH foi comparado com o número de outorgas emitidas pela ANA no mesmo ano, para se ter uma idéia da abrangência do uso do sistema. Quanto a isso, cabe ressaltar que algumas bacias com rios de domínio da União não foram sistematizadas no SCBH, por apresentarem baixa demanda (bacia amazônica, bacia do rio Paraguai e algumas bacias de pequeno porte). Assim, foi possível avaliar que porcentagem das outorgas emitidas pela ANA é avaliada por meio do sistema.

Além disso, foi feita uma estimativa da economia feita pela ANA com o uso do sistema, considerando o tempo que deixou de ser gasto com a análise não-sistematizada. Estima-se em pelo menos 5 horas o tempo necessário para uma análise convencional (definir vazão de referência para o ponto de interesse, acumular vazões outorgadas a montante, calcular indicadores e preparar parecer), considerando sua realização por um hidrólogo relativamente experiente e já familiarizado com a bacia. Levando-se em conta o custo da hora de trabalho de um especialista em recursos hídricos no nível B II (intermediário) da carreira, bem como o número de processos analisados pelo SCBH, é possível estimar a economia proporcionada.

Foi feita também uma estimativa da redução de tempo para resposta ao usuário. Dado que a outorga é necessária para a realização de investimentos produtivos, a agilidade em sua avaliação proporciona ganhos para a economia do país. Assim, embora o tempo para uma análise convencional seja estimado em 5h, um pedido de outorga fica cerca de 15 dias aguardando um parecer a respeito do balanço hídrico. Esta diferença se deve a trâmites internos, despachos, férias do especialista envolvido, priorização de outras atividades, entre outros fatores inerentes à administração pública.

Por fim, foi feita uma pesquisa de opinião entre usuários do sistema, principalmente especialistas e técnicos de órgãos gestores de recursos hídricos, no sentido de avaliar o benefício proporcionado pelo sistema, tanto em termos de procedimentos de outorga quanto em termos de estímulo ao desenvolvimento de novos sistemas de apoio à decisão. Buscou-se

também avaliar deficiências do sistema, na forma de aspectos em que o usuário final enxerga possibilidades de melhoria.

O questionário foi enviado a 27 usuários do sistema, sendo 3 da ADASA/DF, 2 do IEMA/ES, 3 da SEMA/MA e os demais da Agência Nacional de Águas. Nestes órgãos gestores, foram implementadas versões piloto do SCBH adaptadas a bacias com rios estaduais/distritais. As respostas permaneceram anônimas, sendo avaliadas somente as suas estatísticas.

O questionário foi desenvolvido no Google Docs® e consistiu das seguintes perguntas:

1) Em que medida você entende que o uso do SCBH transformou os procedimentos de análise de outorga de direito de uso e outorga preventiva?
    a. Piorou muito
    b. Piorou um pouco
    c. Não alterou
    d. Melhorou um pouco
    e. Melhorou muito
2) Caso a resposta anterior seja (d) ou (e), identifique em que aspectos o SCBH melhorou os procedimentos (pode ser marcada mais de uma alternativa)
    a. Não se aplica
    b. Celeridade da análise
    c. Uniformidade dos resultados
    d. Facilidade de uso
    e. Manutenção de bases de dados
    f. Análises coletivas contemplando vários usuários
    g. Possibilidade de integração com outros órgãos gestores de recursos hídricos em bacias com múltiplos domínios
    h. Outro: _____
3) No que diz respeito a outorga para diluição de efluentes, em que medida você entende que o uso do SCBH transformou os procedimentos?
    a. Não posso avaliar, o órgão gestor ainda não normatizou ou não avalia outorga para diluição de efluentes;
    b. O uso do SCBH piorou os procedimentos;
    c. O uso do SCBH possibilitou realizar análise de outorga de diluição de efluentes, o que não era feito até então;
    d. Já havia outorga de diluição de efluentes antes do uso do SCBH, porém o sistema melhorou a confiabilidade dos resultados e a agilidade dos cálculos
    e. Outro: _____-
4) O uso do SCBH motivou o desenvolvimento de novos sistemas de apoio à decisão para outorga, mais adequados à rotina e procedimentos do órgão?
    a. Não, seguimos usando o SCBH;
    b. Sim, temos um sistema novo ainda em desenvolvimento;
    c. Sim, desenvolvemos um novo sistema que já está em uso;
    d. Outro:_____

5) Na sua opinião, em que aspectos o SCBH ainda pode ser melhorado (mais de uma alternativa pode ser marcada)?
    a. Interface gráfica;
    b. Visualização de resultados por meio de mapas;
    c. Gerenciamento de usos (eliminação de usuários outorgados, alteração de outorga, etc);
    d. Outorga para captação em novos reservatórios
    e. Qualidade de água em reservatórios;
    f. Integração com outorga de águas subterrâneas;
    g. Outorga em pequenos mananciais de cabeceira;
    h. Integração com CNARH;
    i. Incorporação de restrições advindas de DRDH e outros usos não-consuntivos
    j. Outro: _____

As perguntas 1 e 2 visaram a avaliar a satisfação geral dos usuários com o sistema e avaliar seus benefícios. A pergunta 4 visou a avaliar preliminarmente se o uso do sistema induziu a um desenvolvimento de novos sistemas, mais adequado à rotina do órgão gestor. A pergunta 5 visa a coletar subsídios para futuros desenvolvimentos do sistema, e a pergunta 3 refere-se especificamente ao instrumento de outorga para diluição de efluentes, que muitos estados ainda têm dificuldades para operacionalizar.

5. Resultados

5.1. SCBH local

A versão local, desenvolvida em MATLAB, está mais voltada para uso interno da ANA, e foi aplicada às bacias do São Francisco, Paraná (exceto bacia do São Marcos), Piranhas-Açu, Paraíba do Sul, Tocantins e Doce. Para fins de sistema, esta última bacia engloba ainda as bacias dos rios Itabapoana, São Mateus, Pardo, Jequitinhonha, Mucuri, Jucuruçu e Buranhaém, pela proximidade geográfica e para evitar um grande número de arquivos executáveis (um para cada bacia).

Por ser de uso interno, somente foram atribuídas vazões de referência aos trechos de domínio da União de cada bacia. As informações sobre outorgas emitidas pelos órgãos gestores estaduais em cada bacia são obtidas por meio de contato com estes órgãos, quando possível, e inseridas no sistema, para que sejam levadas em conta na demanda acumulada em análises de outorgas nos rios de domínio da União. Entretanto, este tipo de informação frequentemente possui coordenadas e vazões inconsistentes, e não há uma rotina estabelecida de intercâmbio de informações entre ANA e órgãos gestores estaduais, dificultando sobremaneira o gerenciamento integrado.

Internamente, as tabelas de dados contendo o balanço hídrico de cada bacia estão armazenadas em um servidor de acesso comum a todos os analistas, fazendo com que o balanço hídrico seja integrado e em tempo real para análises em rios de domínio da União.

A seguir são apresentados os sistemas para a bacia do rio São Francisco, do Paraíba do Sul e do rio Piranhas-Açu, estes dois últimos com algumas características peculiares. Os sistemas para as demais bacias são idênticos ao da bacia do São Francisco, de forma que não se julgou necessário apresentá-los.

5.1.1. SCBH São Francisco

Para demonstrar o uso do sistema, foi realizada uma análise fictícia da outorga de um ponto de captação no rio São Francisco, situado no município de Pirapora (MG), nas coordenadas 44º 57’ oeste e 17º 27’ sul, com vazão de captação de 1000 $m^3.h^{-1}$, durante 18 horas por dia e 15 dias por mês. A Figura 5.1 mostra a tela inicial do sistema já preenchida com os dados.

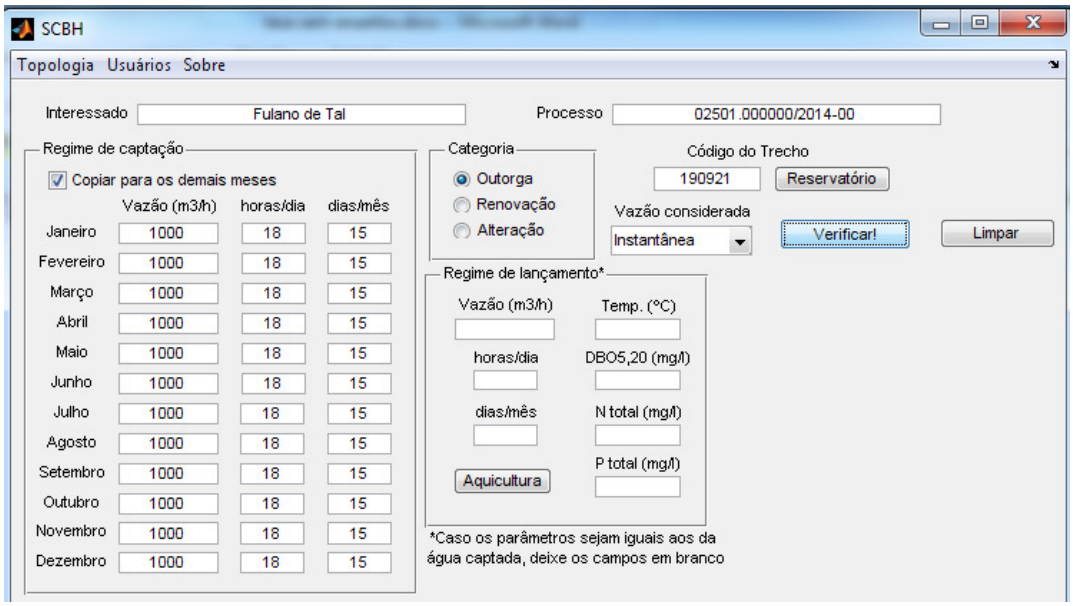


Figura 5.1. Tela inicial do sistema com dados preenchidos para análise de ponto de captação

Há um espaço para preenchimento de dados mais administrativos (nome do requerente e número do processo), os quais não são usados pelo sistema, apenas para identificação e registro. O analista preenche o quadro "regime de captação" com os dados solicitados pelo requerente[8]. Além disso, lança a coordenada em um SIG para identificação do trecho, e informa o código deste no campo correspondente. Uma vez preenchidos os dados do pedido, é possível clicar em "verificar" e o sistema realiza a análise. A Figura 5.2 mostra os resultados desta análise.

O sistema apresenta um novo painel, "Disponibilidade hídrica e indicadores quantitativos", contendo as 12 vazões de referência do trecho[9], o vetor de indicadores de comprometimento individual (ICI_{quant}), a demanda acumulada a montante e o vetor de indicadores de comprometimento coletivo (ICC_{quant}). O sistema avalia os 12 valores de ICC_{quant} de forma a identificar o mês mais crítico, ou seja, aquele com o maior valor do indicador.

[8] Caso não haja sazonalidade na demanda, é possível repetir o valor informado para janeiro nos demais meses, clicando em "copiar para os demais meses", sem necessidade de digitar os valores para os 12 meses.

[9] Este trecho corresponde ao rio São Francisco a jusante da UHE Três Marias, de forma que a vazão de referência é dada pela vazão de restrição desta UHE (350 m³/s) acrescida das vazões $Q_{95\%}$ na área incremental.

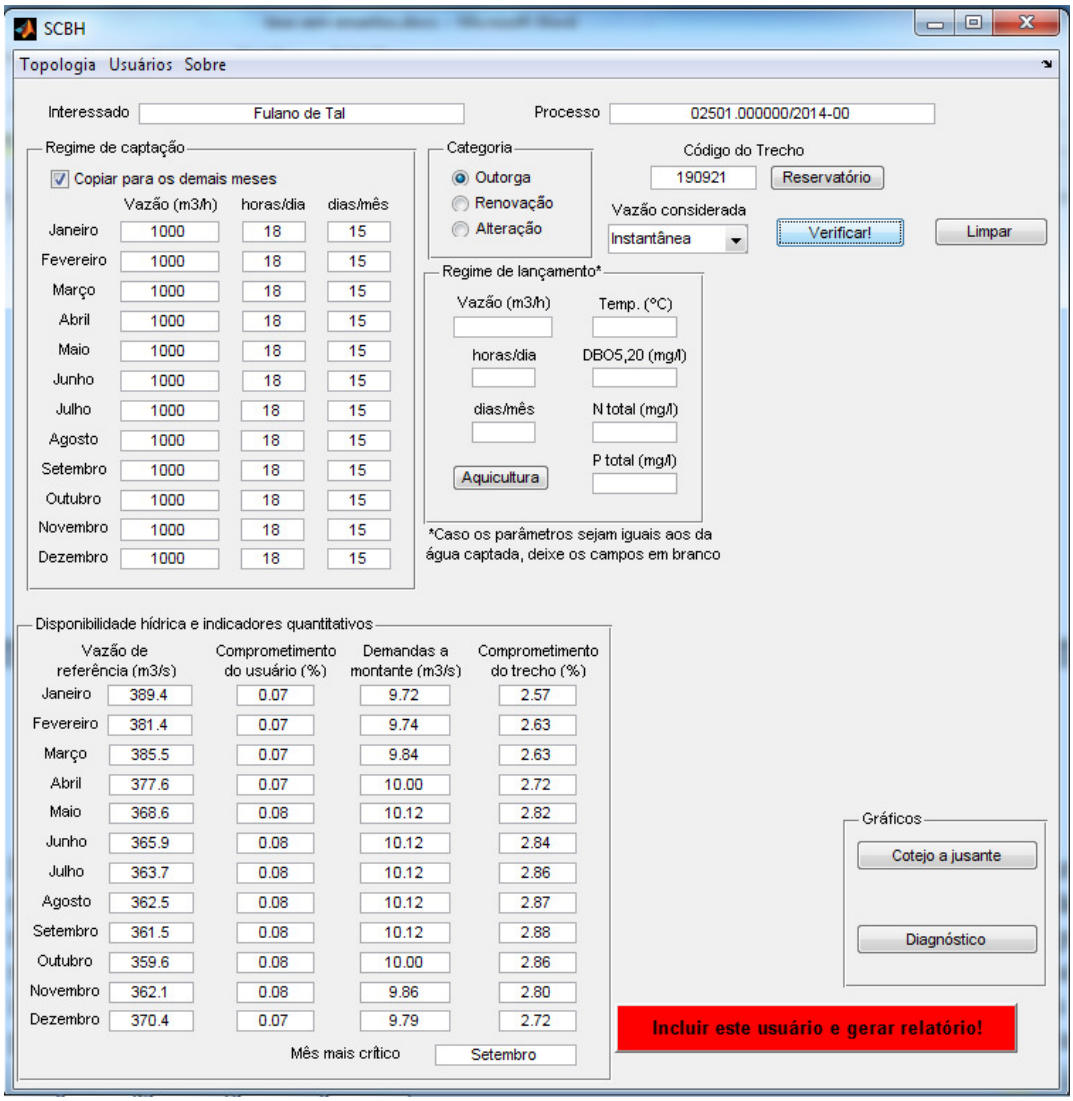


Figura 5.2. Resultados da análise – ponto de captação

No exemplo, o comprometimento hídrico no mês mais crítico (setembro) foi de 2,9%, indicando que somente 2,9% da disponibilidade hídrica já encontra-se alocado. Já o usuário compromete sozinho somente 0,08% da disponibilidade hídrica. Cabe ao analista interpretar os indicadores resultantes à luz dos critérios de outorga do órgão gestor correspondente. Em muitos casos há um critério para alocação individual (um usuário individual só pode se apropriar de, no máximo, 20% da vazão de referência, por exemplo) e um para alocação coletiva (digamos, só se pode outorgar até 50% da vazão de referência).

É possível optar por uma análise considerando as demandas médias diárias ou médias mensais, diluindo a demanda continuamente ao longo do tempo, situação em que os indicadores individual e coletivo devem cair. Para isto, deve-se optar no menu "vazão

considerada" por "média mensal" ou "média diária", ao invés de "instantânea", e repetir a verificação. A Figura 5.3 mostra o resultado considerando média mensal. Observa-se que, nesta situação, o indicador individual reduz para 0,03% e o coletivo para 1,5%, conforme esperado.

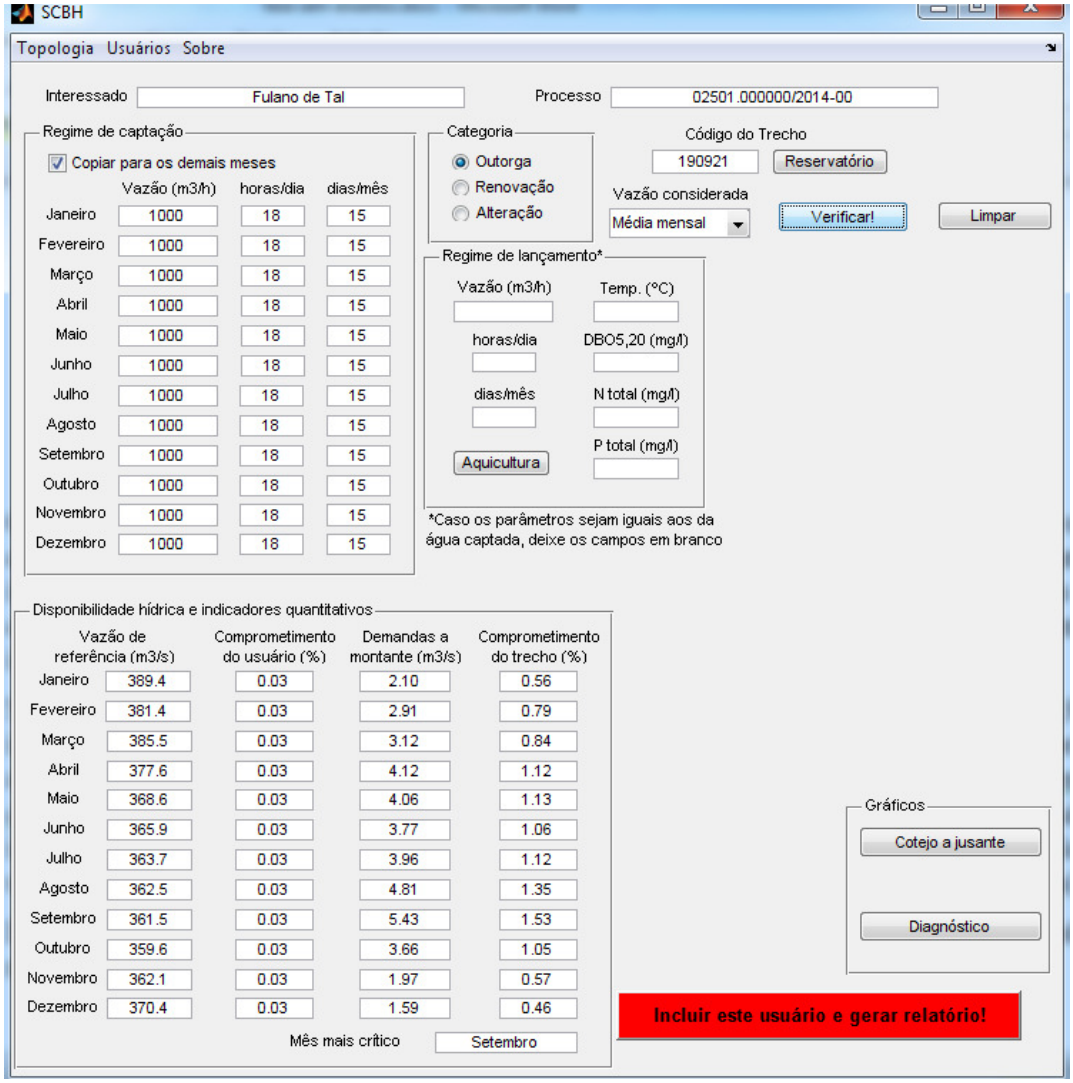


Figura 5.3. Análise considerando demanda média mensal, mostrando redução do comprometimento

Os indicadores de comprometimento expressam somente a situação a montante da interferência analisada. Entretanto, é possível que, mesmo havendo disponibilidade hídrica localmente, o novo ponto de captação prejudique algum usuário já outorgado a jusante, no qual o balanço hídrico já estava no limite antes da nova análise.

Para verificar essa possibilidade, teoricamente a mesma análise deveria ser realizada em todos os trechos a jusante, o que sobrecarregaria a interface com um grande número de resultados e indicadores. Ao invés disso, optou-se por uma análise gráfica expedita, que pode ser acessada por meio do botão "Cotejo a jusante" (Figura 5.4). Este gráfico mostra a evolução da disponibilidade hídrica (em azul) e da demanda acumulada (em vermelho), desde o ponto de análise até a foz do rio[10]. A demanda acumulada vai aumentando devido à existência de outros usuários outorgados a jusante, porém a disponibilidade hídrica também aumenta pela contribuição de afluentes e aumento da área de drenagem. Caso em algum trecho observar-se que a linha vermelha cruza a linha azul, possivelmente algum usuário a jusante está sendo prejudicado, o que não ocorre neste exemplo.

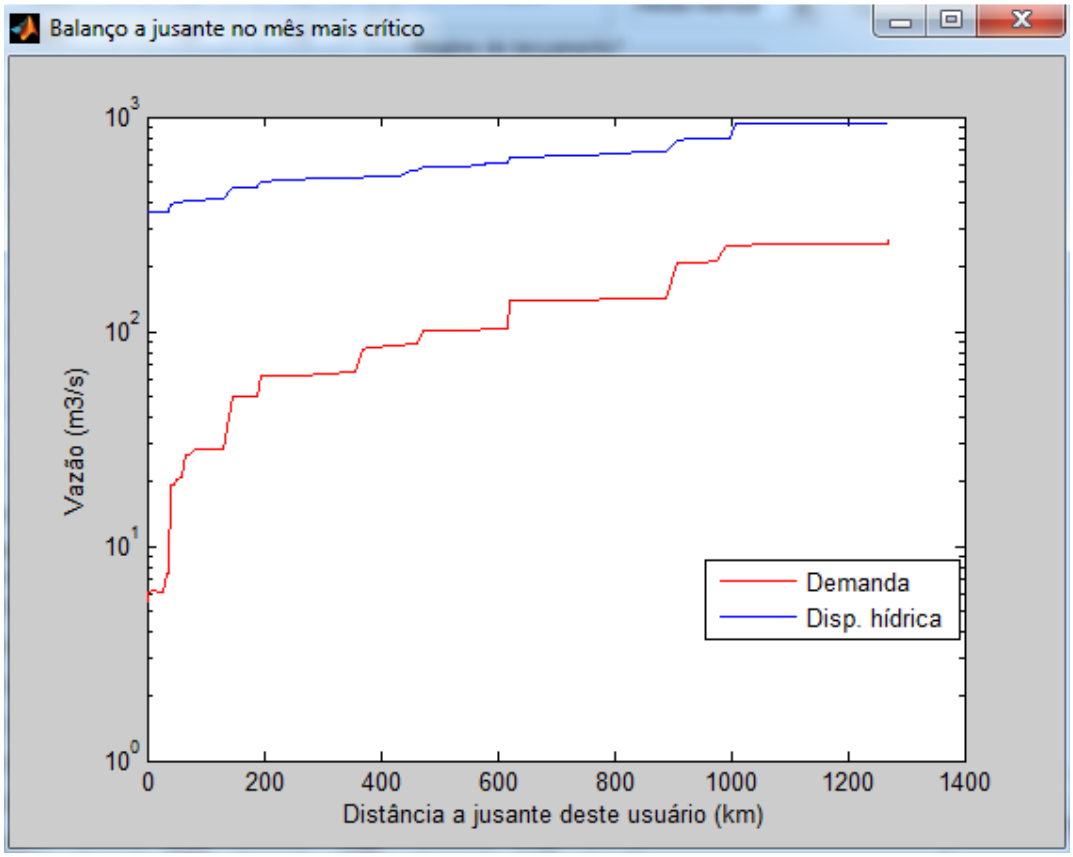


Figura 5.4. Resultados gráficos da análise de jusante

Se, como no exemplo acima, todos os indicadores situarem-se em faixas aceitáveis, o analista pode clicar em "Incluir este usuário e gerar relatório", o que fará com que a demanda analisada seja acumulada no balanço hídrico (matriz *cotejo.bin*). Além disso, o sistema gera

[10] Ou até o próximo reservatório de regularização

um arquivo em formato doc com uma síntese da análise (vazões de referência, demandas acumuladas e indicadores de comprometimento), para impressão e anexação ao processo de outorga. O Anexo A 5 mostra o relatório correspondente ao exemplo mostrado.

Caso, por outro lado, seja inserida uma demanda alta, que supera a disponibilidade hídrica ou o critério de outorga, o sistema apresenta os resultados com sombreado vermelho, para sinalizar que possivelmente a demanda não pode ser atendida. Para exemplificar, é inserida uma vazão extraordinariamente alta, de 1.300.000 m³/h, ao invés dos 1.000 m³/h originais. A Figura 5.5 mostra o resultado dessa análise fictícia.

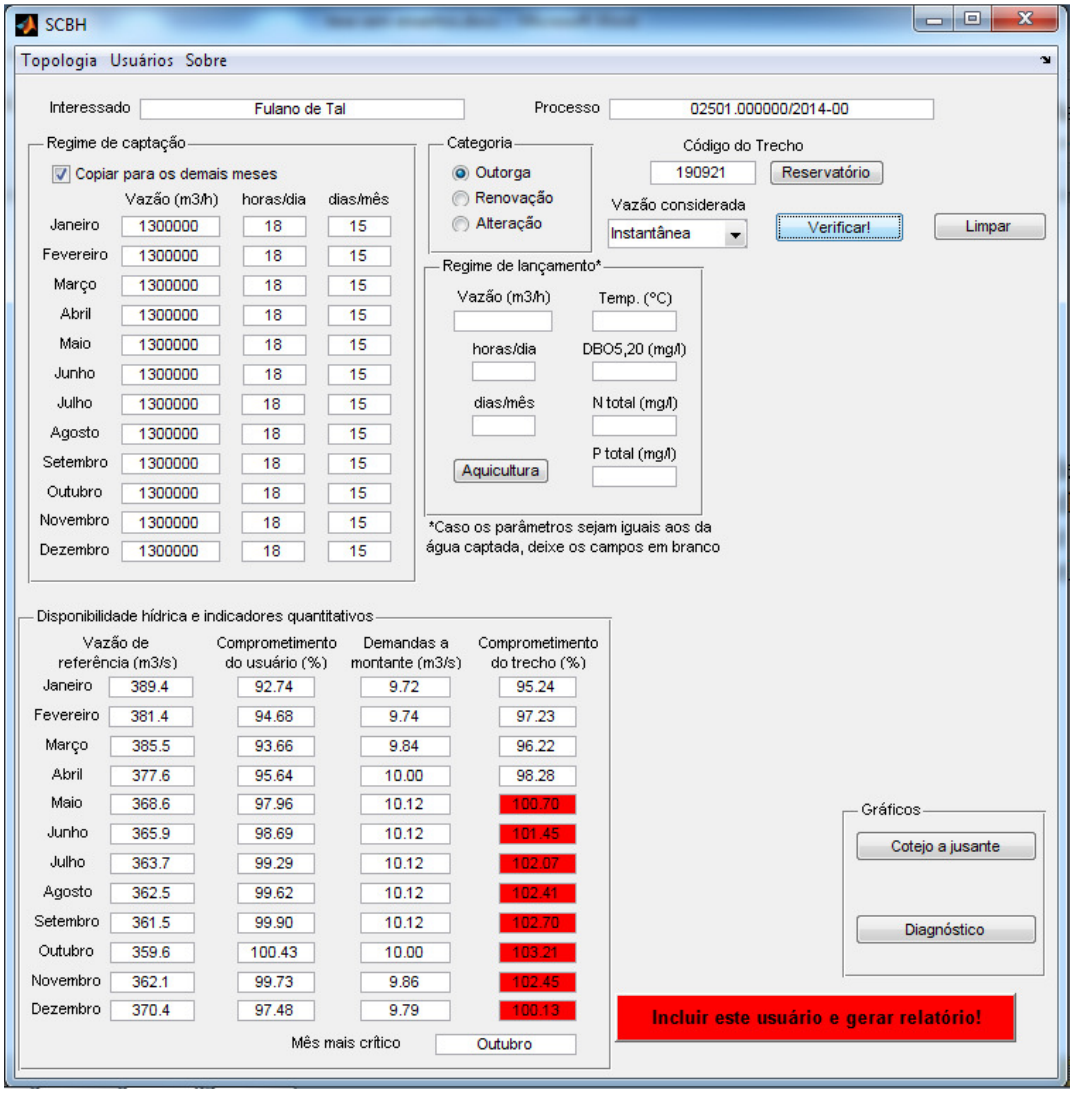


Figura 5.5. Resultado da análise indicando comprometimento excessivo da disponibilidade hídrica na maior parte dos meses

Em geral, em uma situação como essa, entra-se em contato com o usuário para verificar a possibilidade de redução da demanda, ou de captação somente nos meses em que o atendimento à demanda é possível (no caso, nos meses de janeiro a abril). Alternativamente,

pode-se recomendar o indeferimento do pedido, com base nos altos valores resultantes dos indicadores. Entretanto, nada impede que o analista inclua também esta demanda, se tiver justificativa técnica para outorgar o uso (demanda emergencial para uso prioritário, por exemplo). A análise do sistema se resume ao cálculo dos indicadores, cabendo ao analista interpretar seus resultados e dar o encaminhamento adequado.

No caso de análise de outorga para diluição de efluentes, suponhamos que a mesma captação de 1000 m³/h esteja vinculada a um sistema de abastecimento que conta também com um lançamento de efluentes, com vazão de, tipicamente, 800 m³/h, e DBO do efluente de 120 mg/l (tipicamente uma ETE municipal com eficiência de 60% de abatimento). A Figura 5.6 mostra o resultado dessa análise.

O sistema traz o painel "Qualidade do trecho", em que apresenta as características qualitativas do trecho em análise, lidas de *qualitativo.bin* (classe de enquadramento e concentrações naturais de poluentes na água). Já no painel "Vazões de diluição", apresenta as vazões necessárias para diluição do efluente até a concentração dada pelo enquadramento. Por fim, similarmente ao caso de demandas quantitativas, calcula os indicadores individual e coletivo (ICI_{qual} e ICC_{qual}).

No exemplo apresentado, ICC_{qual} resulta em 21,6%, sinalizando que somente esta proporção da vazão remanescente no rio está apropriada por cargas de efluentes. Ressalta-se novamente que, pelo fato de apresentar a vazão remanescente na formulação, este indicador leva em conta o fato de que captações a montante retiram do manancial a capacidade de diluir um dado efluente.

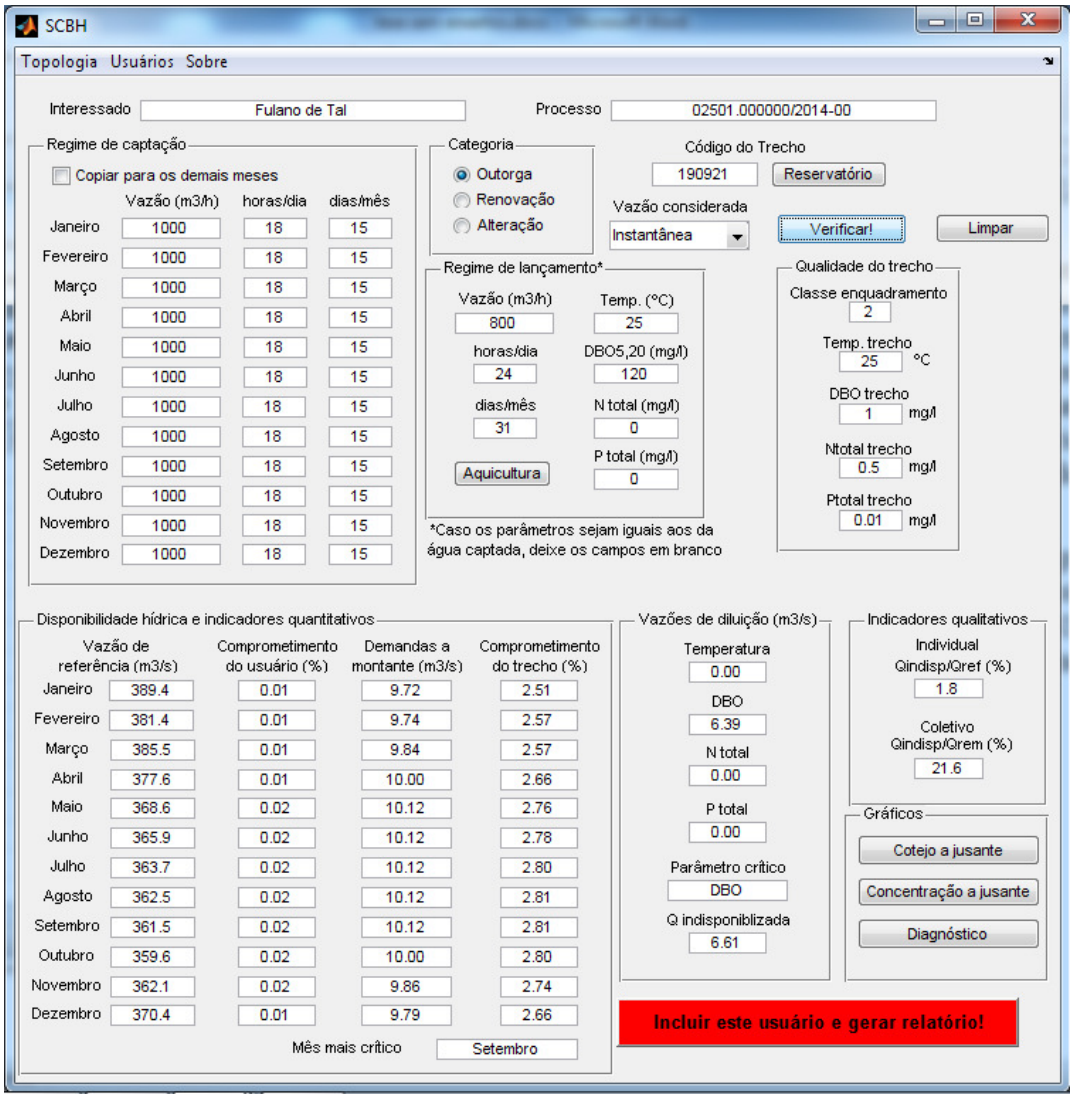


Figura 5.6. Análise de outorga para diluição de efluentes

Similarmente ao caso anterior, é possível que o lançamento em análise esteja provocando desenquadramento do manancial em algum ponto a jusante, a despeito de os indicadores mostrarem que localmente não há problemas. Esta verificação pode ser feita por meio do botão "Concentração a jusante".

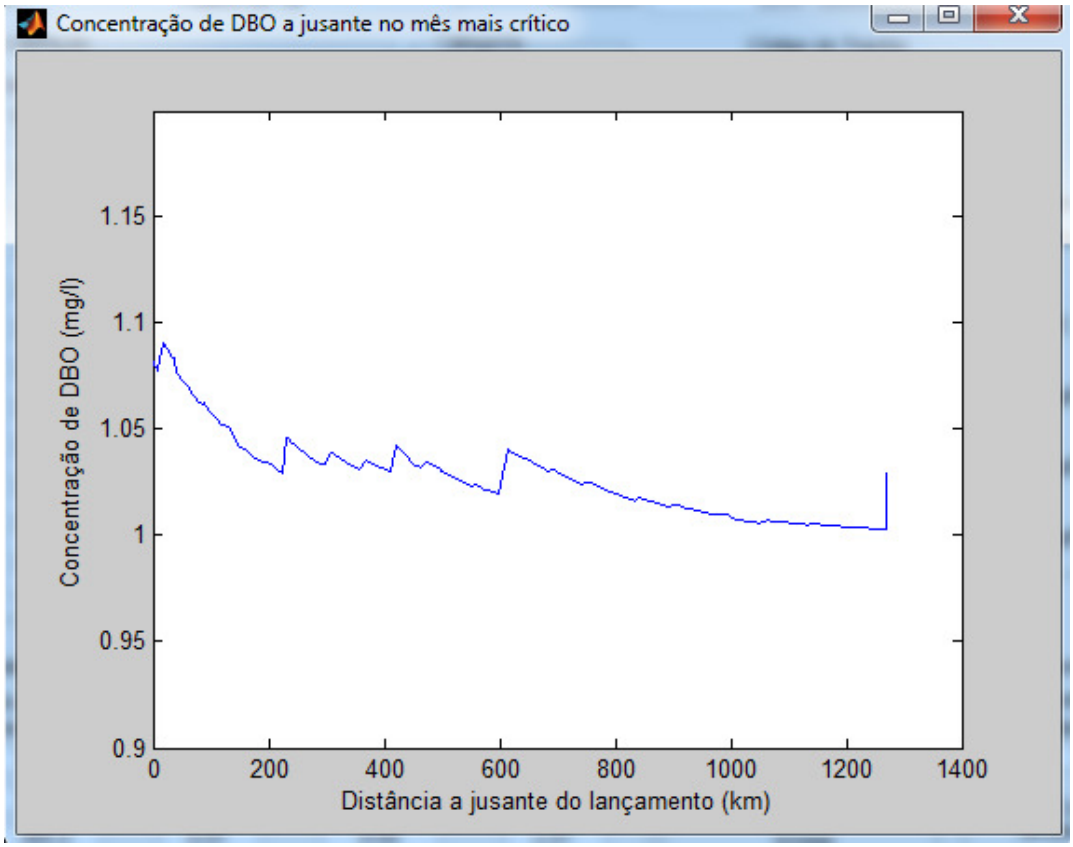


Figura 5.7. Gráfico mostrando a concentração a jusante do ponto de lançamento

O gráfico mostra a evolução da concentração de DBO desde o ponto de lançamento até a foz do rio. Observa-se uma elevação da DBO logo a jusante do km 0, decorrente do lançamento em análise. A seguir, a DBO decresce, fruto da autodepuração e da contribuição de afluentes mais limpos. Outros pequenos aumentos ocorrem, decorrentes de lançamentos existentes a jusante. Caso se observe que a concentração de DBO nunca supera a concentração dada pela classe de enquadramento, não há óbice para a emissão da outorga para diluição de efluentes[11].

Caso se trate de um lançamento industrial, com alteração da temperatura da água e ocorrência de nitrogênio e fósforo no efluente, o sistema avalia cada parâmetro separadamente.

[11] A rigor, o gráfico deveria mostrar também a concentração limite do poluente (dada pelo enquadramento) em cada trecho a jusante, para fins de comparação com a concentração simulada. Entretanto, dado o baixo grau de implantação desse instrumento no país, a maior parte dos rios está enquadrada em Classe 2, cujo limite para DBO é de 5 mg/l. Assim, na prática basta verificar se a DBO concentrada nunca supera esta concentração, de forma que por enquanto não houve preocupação com este aspecto no desenvolvimento do sistema.

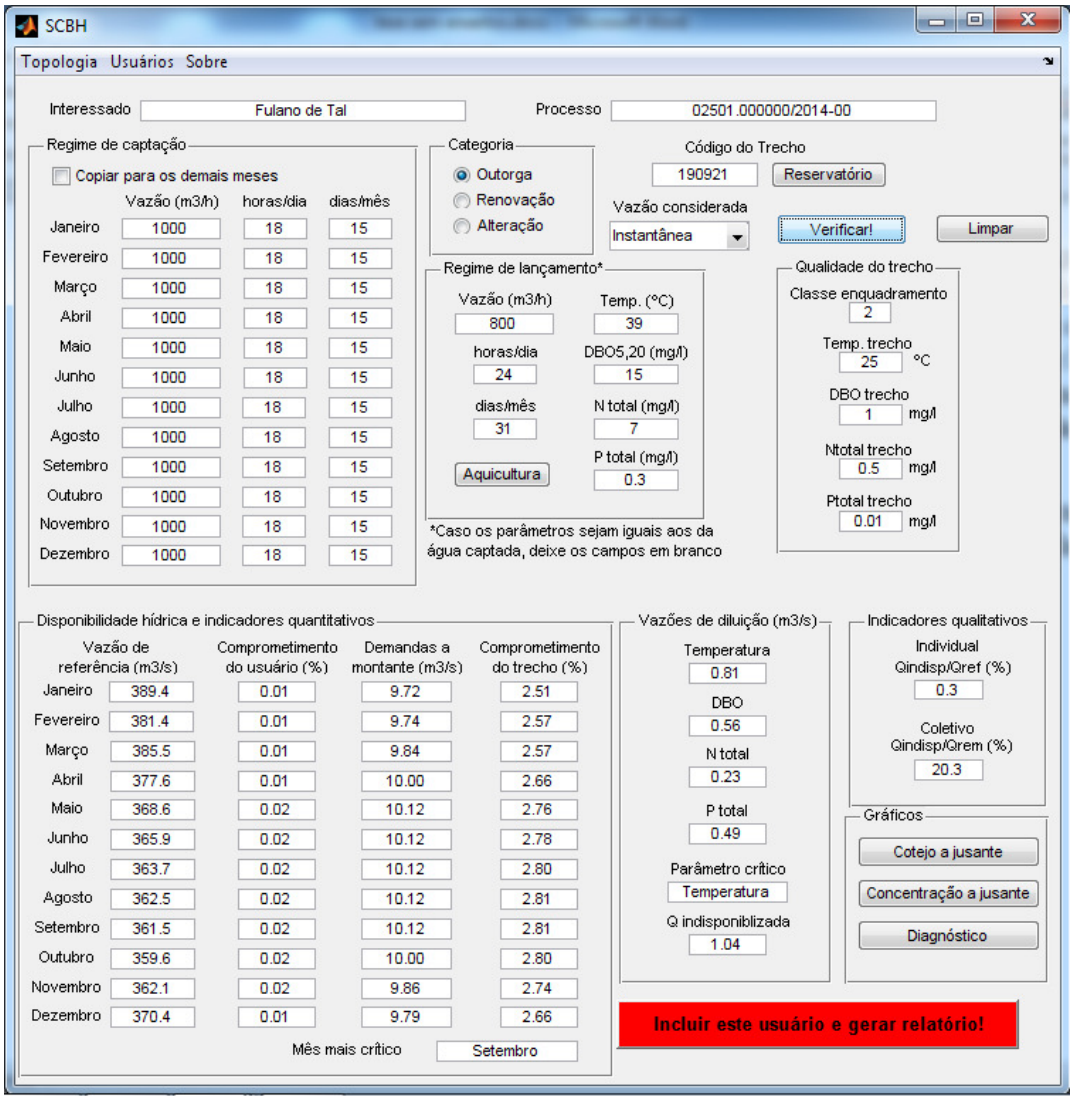


Figura 5.8. Análise de diluição de efluentes contendo N, P e alteração da temperatura

O chamado parâmetro crítico é aquele que gera a maior necessidade de vazão para diluição, valor que será usado no cálculo dos indicadores. As diferentes vazões de diluição não são somadas, uma vez que a mesma vazão que dilui DBO pode diluir também outros parâmetros qualitativos. No caso da temperatura do efluente superar 40ºC, o sistema interrompe a análise e alerta para a impossibilidade de emitir outorga nessas condições, em função da restrição estabelecida na Resolução CONAMA nº 357/2005.

Conforme mencionado, no caso da ANA os nutrientes N e P somente são analisados em locais sujeitos a eutrofização, como reservatórios. Pode-se observar que neste caso a comparação simples da carga de nutrientes com uma vazão de referência concentrada é bastante limitada, não levando em conta questões de circulação e hidrodinâmica em braços de reservatórios, estratificação térmica etc.

5.1.2. Operações gerenciais

As análises mostradas até agora correspondem ao uso primordial do sistema, usadas comumente pela maior parte dos analistas para avaliar os pedidos de outorga diariamente encaminhados à ANA. Entretanto, na concepção deste sistema, foram incluídas algumas funções de caráter mais gerencial, operadas primordialmente pelo desenvolvedor do sistema.

Uma destas operações encontra-se no menu "Topologia/Modificar disponibilidades". Esta operação possibilita a leitura de uma planilha excel, contendo um número qualquer de trechos cuja vazão de referência se quer modificar. A planilha deve ter 13 colunas: código do trecho e 12 vazões de referência. Esta opção é usada tipicamente quando se constata alguma alteração na vazão de referência, oriunda por exemplo de um estudo mais atualizado, ou da implantação de um novo reservatório, etc. Esta operação atualiza a matriz *cotejo.bin*, de forma que análises posteriores levarão a nova vazão de referência em conta.

Outra opção disponível é "Topologia/cortar propagação em reservatórios". Esta operação altera a estrutura da matriz *vetorjus.bin*, de forma a contemplar a regra de não-acumulação das demandas a montante de reservatórios de regularização, descrita no item 4.7. A operação solicita a leitura de uma planilha do excel contendo, para cada linha, o nome do reservatório e o código do trecho do barramento, a jusante do qual a demanda acumulada é zerada (Figura 5.9).

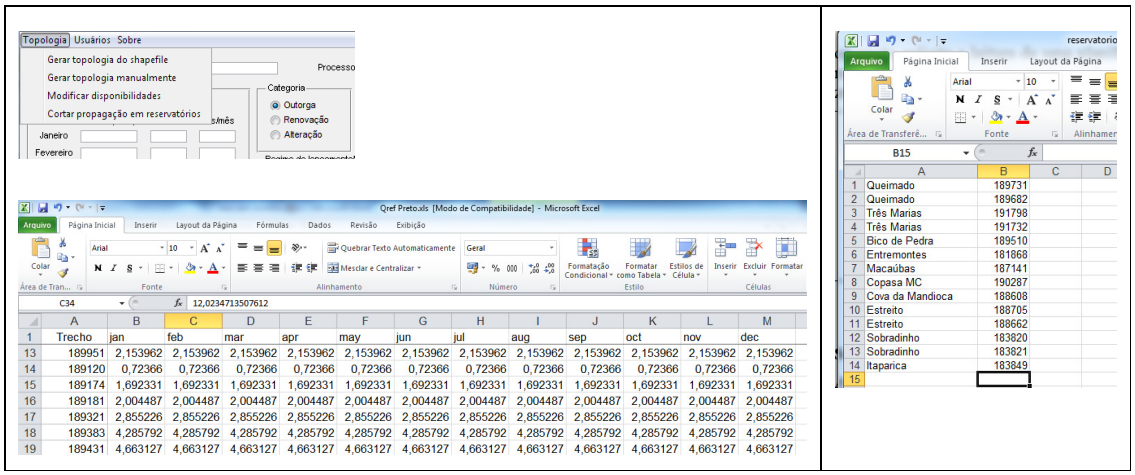


Figura 5.9. Operações de alteração de vazão de referência (planilha modelo à esquerda) e corte da propagação em reservatórios (à direita)

Outra operação de caráter mais gerencial é o chamado diagnóstico da bacia. Esta opção permite a leitura de um shapefile com trechos de alguma sub-bacia, ou de todos os trechos da bacia sistematizada, e gera um *shapefile* de saída denominado *comp.shp*, contendo na tabela de atributos os indicadores de comprometimento de cada trecho, baseado no balanço quali-

quantitativo armazenado nas matrizes binárias do sistema. Este *shapefile* pode ser aberto em um SIG qualquer, permitindo uma visualização em escala de bacia do comprometimento hídrico dos trechos, ao invés da visão mais local proporcionada por análises individuais.

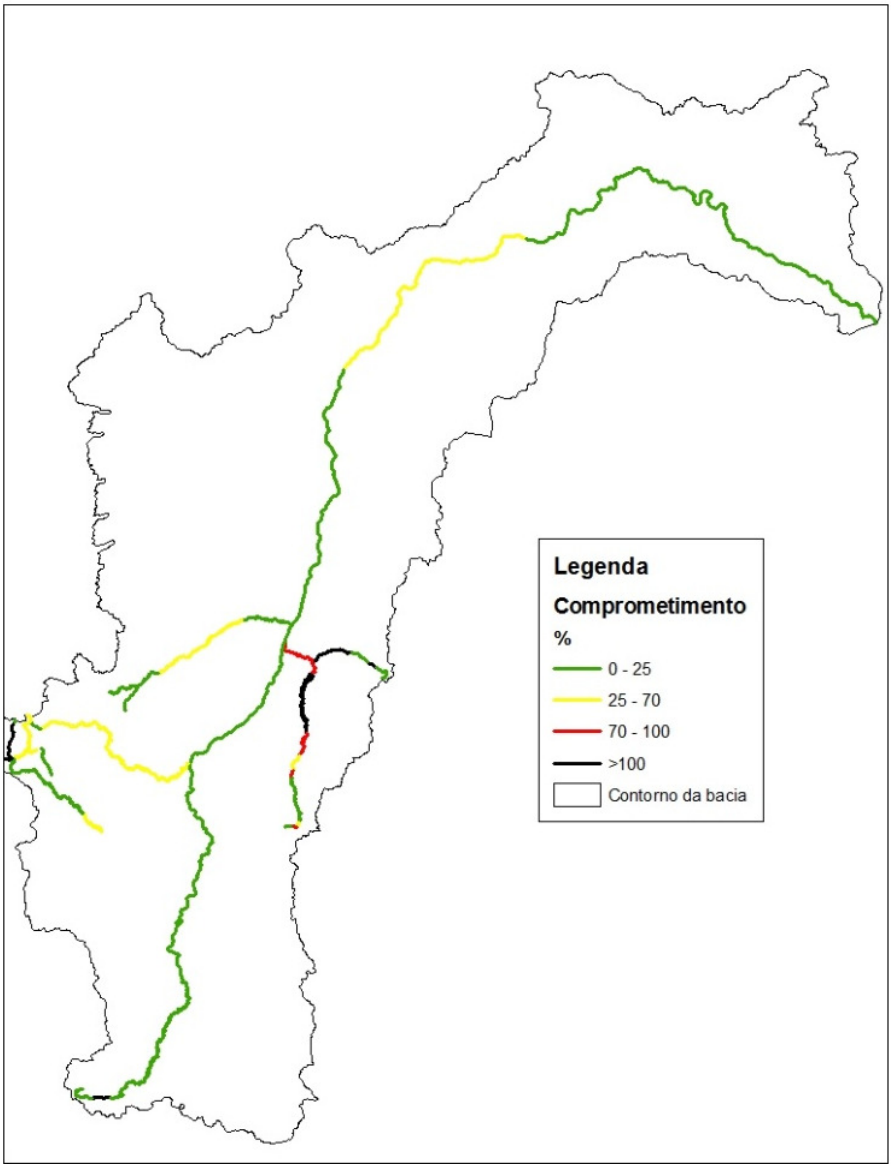


Figura 5.10. Resultado do diagnóstico quantitativo dos rios federais da bacia do São Francisco, dadas as outorgas atuais

Esta operação de diagnóstico geralmente constitui uma etapa de um plano de bacia. Quando o sistema foi concebido, a idéia é que essa ferramenta fosse usada para permitir uma avaliação esporádica da evolução do comprometimento hídrico da bacia. Entretanto, outra utilização possível desta operação é a análise de um grande número de pedidos de outorga

simultaneamente, e a avaliação em termos de comprometimento da bacia, ao invés da análise individual.

Deve-se mencionar um pouco a respeito do gerenciamento das informações de outorgas inseridas no sistema. Como se pode observar, o sistema permite facilmente a inclusão de novos usuários no balanço hídrico. Entretanto, não há a possibilidade de retirada de usuários de forma amigável, decorrente, por exemplo, de revogação, desistência, expiração do prazo da outorga ou mesmo de erros materiais, tal como a inclusão duplicada de um usuário. Isto porque esta versão do sistema não possui bancos de dados com as informações individuais de cada usuário, e sim somente um acumulado de vazões por trecho, conforme já mencionado.

Algumas opções foram incorporadas ao sistema para contornar estes problemas. No caso de renovação de outorgas, este problema geraria uma duplicação da mesma demanda no balanço hídrico, uma vez que a outorga anterior não foi retirada. Entretanto, ao clicar em "Renovação" no painel "Categoria" (ao invés de "Nova outorga"), o sistema interpreta que uma demanda com as mesmas características (vazões e regime de operação) já se encontra acumulada no balanço hídrico, e retira uma vazão com a mesma magnitude do acumulado de demandas[12].

Similarmente, há a possibilidade de analisar considerando que se trata de uma alteração de outorga (por exemplo, quando da ampliação de uma área irrigada). Neste caso, o sistema interpreta que já existe uma vazão alocada no balanço hídrico, porém diferente da que está sendo inserida. O analista é solicitado a informar as vazões e regime de operação da outorga original, para que o sistema possa debitar adequadamente a vazão já alocada. A Figura 5.11 mostra um exemplo de análise de alteração de outorga, em que se solicita um aumento da vazão originalmente outorgada, de 800 m³/h para 1000 m³/h.

[12] Formalmente, uma renovação de outorga só pode ser denominada como tal se solicitada com prazo mínimo de 90 dias antes do vencimento. Entretanto, para fins de controle no sistema, neste caso se considera renovação sempre que houver uma demanda igual acumulada no balanço hídrico, mesmo que já vencida, devido às dificuldades de retirada de usuários.

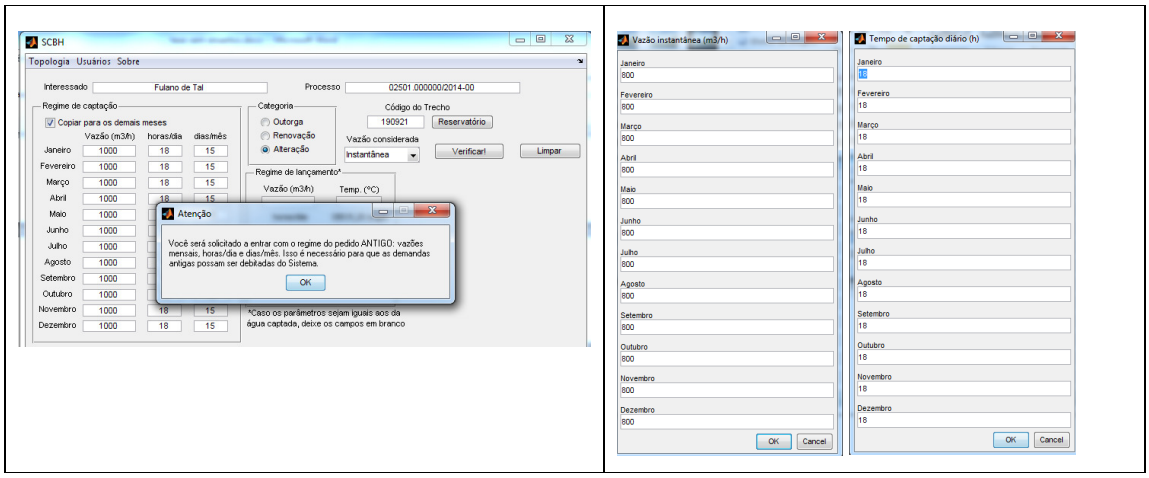


Figura 5.11. Procedimento para alteração de outorga

Esta solução, embora contorne o problema da duplicidade de acumulação de uma mesma demanda, é pouco amigável, pois exige do analista a inserção de uma quantidade grande de informações antigas, que têm pouca relação com a outorga a ser emitida.

Conforme mencionado, cada inserção de usuário no sistema gera uma entrada em um arquivo de regitro em formato *ascii*, contendo o nome do usuário/número do processo, vazões e regime de operação, código do trecho e um *flag* para identificar se se trata de uma nova outorga ou de uma renovação/alteração. A cada mês, um novo arquivo de registro é iniciado, de forma que no início de cada mês o desenvolvedor do sistema deve conferir as inserções realizadas.

Por meio desta conferência, é possível checar erros materiais, como cliques duplos no botão de inserção etc. Em paralelo, deve ser mantida uma planilha contendo todos os usuários válidos inseridos no sistema, que deve ser atualizada com a consolidação dos registros do mês anterior. Assim, caso se identifiquem outorgas a serem revogadas, desistências ou outorgas cujo prazo expirou sem que tenha havido solicitação de renovação, estas podem ser excluídas da planilha. Da mesma forma, caso o registro do mês anterior identifique renovações ou alterações, deverá haver um registro antigo na planilha com o mesmo nome de usuário e número do processo, o qual também deve ser excluído.

Uma vez consolidada e atualizada a planilha contendo todos os usuários válidos, o balanço hídrico do sistema pode ser “re-setado” para contemplar somente os usos constantes nessa planilha. Isto é feito por meio do menu “Usuários/zerar usuários”. O balanço quali-quantitativo armazenado nas matrizes binárias será zerado e a seguir reacumulado

considerando os usos lidos das planilhas contendo as captações e lançamentos. Com isso, caso a planilha esteja consolidada, serão eliminadas as outorgas revogadas, vencidas e desistências.

Com isso, o gerenciamento das demandas inseridas no sistema é pouco amigável, e acaba gerando uma sobrecarga no desenvolvedor. Por outro lado, a possibilidade de inserção de um grande número de usuários via planilha do excel favorece a realização de análises mais elaboradas, como cenários de abatimento de esgoto em toda a bacia ou análise de outorgas em lote.

5.1.3. SCBH Paraíba do Sul

Em linhas gerais, este sistema é similar ao já apresentado para a bacia do São Francisco. Entretanto, como se dispunha de uma base hidrográfica digital codificada em escala 1:250.000, optou-se por adotar esta escala para maior precisão.

Outra diferença neste sistema é que foi feita uma alteração no código relativo ao balanço quali-quantitativo, de forma que captações de água retirem carga de DBO do manancial, na mesma proporção em que se apropriam da disponibilidade hídrica local. Por exemplo, caso a captação de um usuário se aproprie de 1% da vazão de referência em um dado trecho, deve ser retirado 1% da carga de DBO naquele trecho, sendo esta redução abatida nos trechos a jusante.

Na concepção do sistema, não houve preocupação com este aspecto, uma vez que em geral o efeito individual de captações sobre a retirada de cargas poluentes é pequeno, como no exemplo mostrado. Além disso, a implementação computacional deste fenômeno é relativamente trabalhosa. Entretanto, na bacia do Paraíba do Sul há uma retirada significativa por parte do Complexo de Lajes na estação elevatória de Santa Cecília, que retira vazões médias de 119 m^3/s e máximas de até 160 m^3/s para geração de energia e abastecimento da região metropolitana do Rio de Janeiro. O comprometimento causado pela captação da elevatória em uma situação de baixas vazões é de mais de 30% da vazão de referência. A montante de Santa Cecília existem diversos lançamentos de efluentes da região industrial nos municípios de Volta Redonda, Barra Mansa e Resende. Caso o sistema não considere a retirada das cargas poluentes devido à captação, a mesma carga passa a ser diluída em uma vazão remanescente bem menor, criando uma inconsistência no balanço quali-quantitativo. De fato, caso este fenômeno não fosse considerado, haveria um aumento na DBO simulada de 3,7 mg/l (classe 2) a montante de Santa Cecília para 5,2 mg/l (classe 3) a jusante, sem que nenhum lançamento ocorra no trecho.

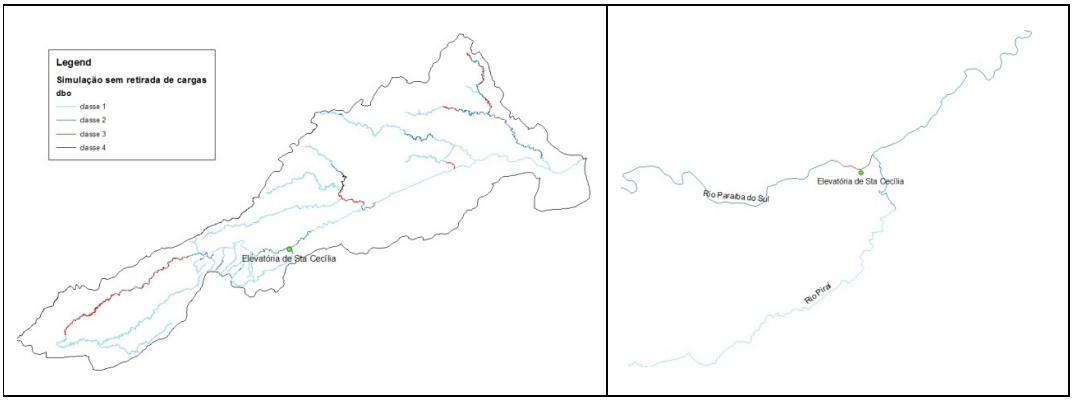


Figura 5.12. Resultados da simulação quali-quantitativa do Paraíba do Sul sem considerar a retirada de cargas através de captações (esquerda) e detalhe para o trecho da elevatória de Santa Cecília

Para contornar o problema, o código do SCBH foi alterado da seguinte forma:

a. O sistema calcula inicialmente a carga de DBO armazenada em cada trecho, decorrente dos lançamentos existentes, devidamente decaídos;

b. Para cada captação, de montante para jusante, é calculado o comprometimento individual causado pelo regime médio mensal da captação;

c. Na mesma proporção em que a captação retira disponibilidade hídrica quantitativa, ela retira da carga existente naquele trecho;

d. A carga retirada é decaída ao longo de todos os trechos a jusante e subtraída da carga original em cada trecho correspondente (a Figura 5.13 exemplifica este cálculo).

Observa-se que, devido ao fato da carga retirada ser decaída, as duas linhas de decaimento convergem. Isto é bastante auto-intuitivo, uma vez que o efeito de uma captação sobre a retirada das cargas deve ir diminuindo à medida em que se avança para jusante.

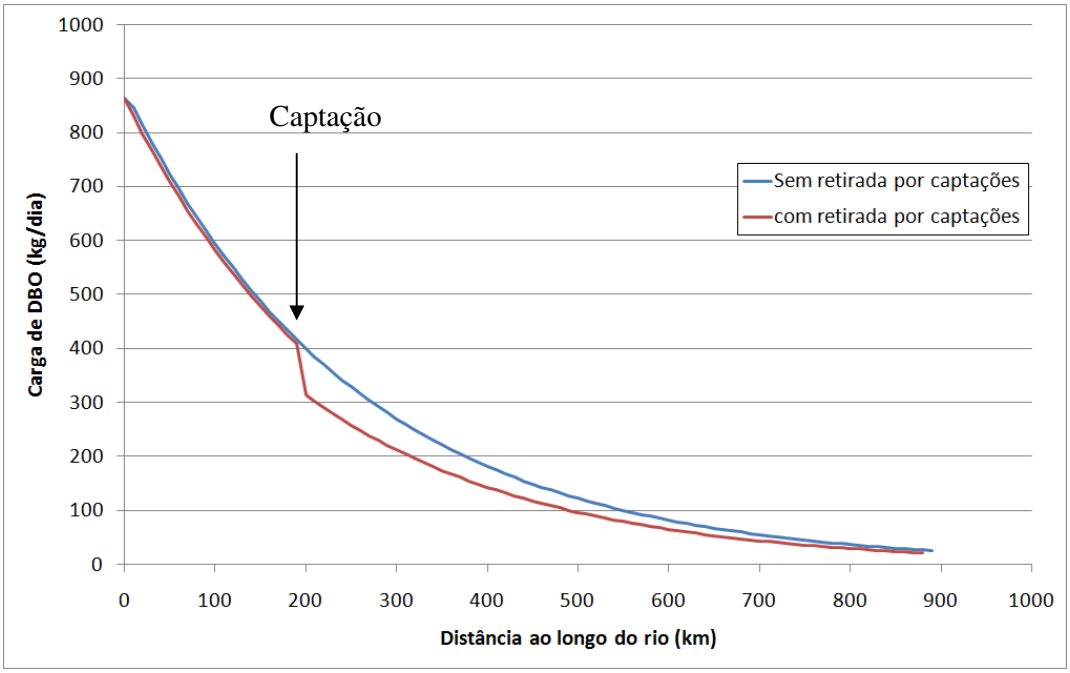


Figura 5.13. Representação do decaimento de cargas poluentes considerando a retirada por captações

Com isso, no caso de Santa Cecília, a inconsistência foi sanada.

Outro ponto a destacar sobre o SCBH do Paraíba do Sul é que este foi utilizado de uma forma diferente do usual, analisando-se diferentes cenários de tratamento de esgoto para fins de regularização dos usuários na bacia (Collischonn *et al*, 2013). A cada novo cenário, foi feito um diagnóstico, conforme mostrado anteriormente, de forma a visualizar o comprometimento quali-quantitativo em arquivos *shapefile*.

A base para este trabalho foi a realização de um cadastro de usuários realizado em 2002 e que vem sendo atualizado desde então (Figura 5.14).

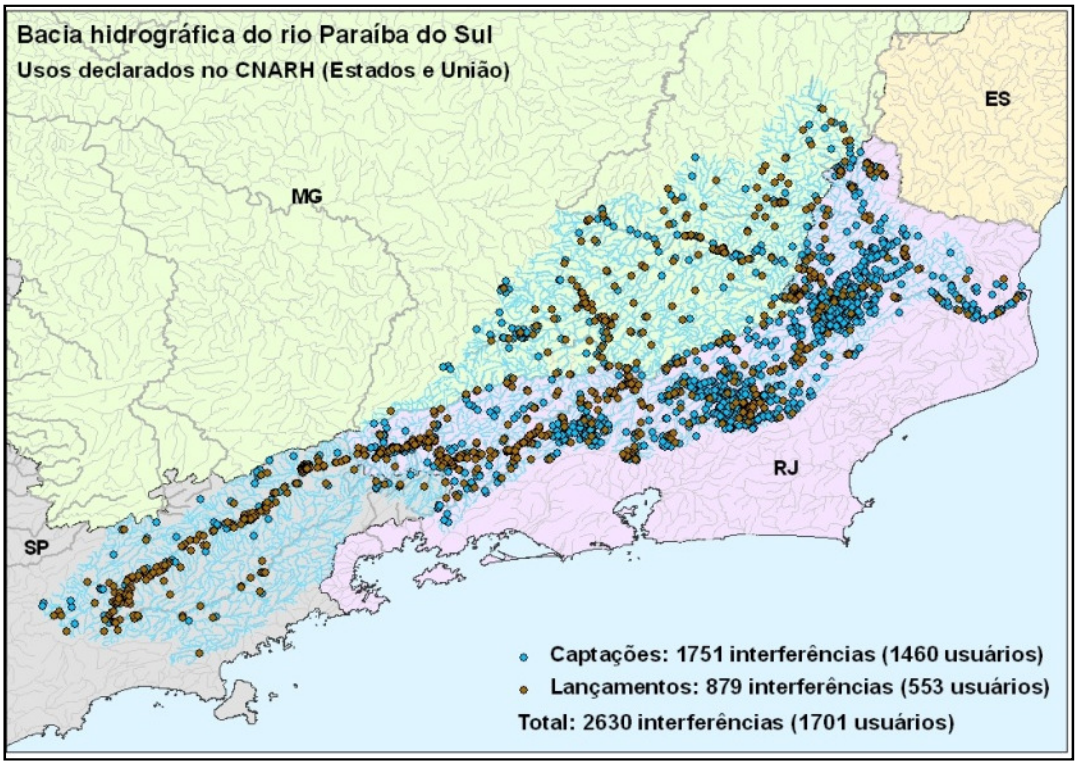


Figura 5.14. Localização das interferências cadastradas na bacia do Paraíba do Sul e levadas em conta na simulação.

A Figura 5.15 mostra os resultados da simulação quali-quantitativa inicial, que retrata a condição simulada do rio para as interferências atualmente existentes. Por questões legais, referentes aos diferentes domínios da água, a atuação da ANA ficou limitada aos rios de domínio da União, razão pela qual apenas estes são mostrados daqui em diante. Já a Figura 5.16 mostra o enquadramento dos corpos d'água da bacia do Paraíba do Sul.

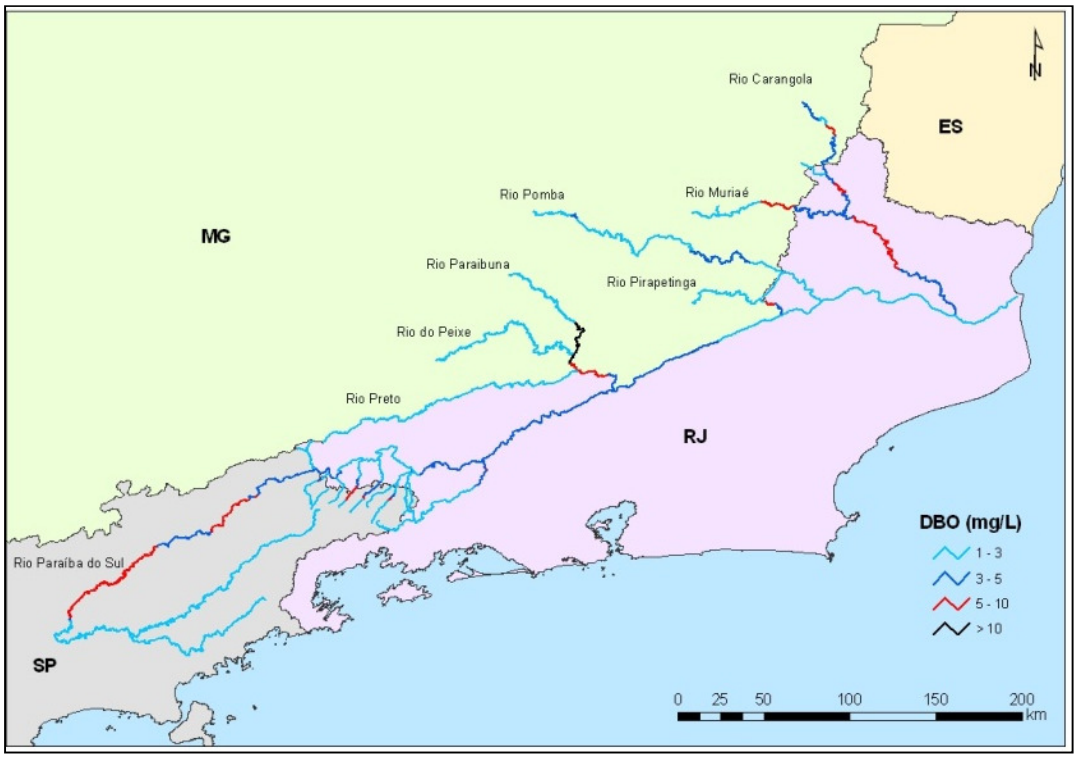


Figura 5.15. Concentração de $DBO_{5,20}$ nos cursos de água de domínio da União situados na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul. A escala de cores representa as classes estabelecidas na Resolução CONAMA nº 357/2005.

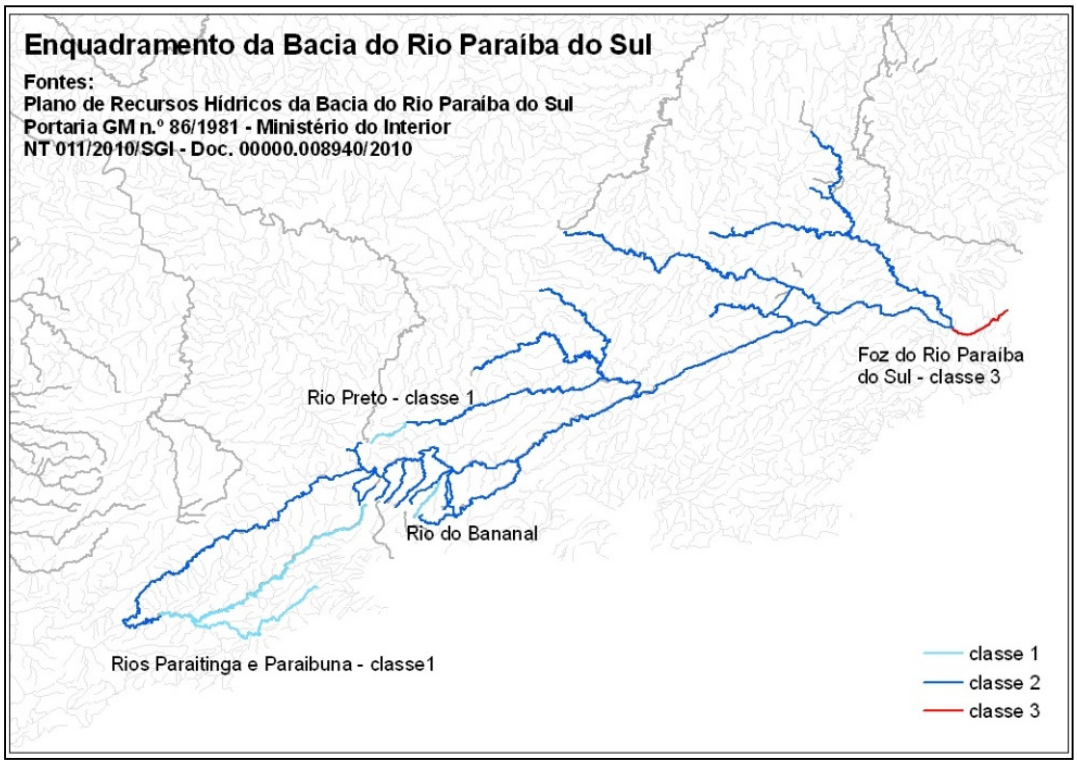


Figura 5.16. Enquadramento dos corpos d'água de domínio da União.

Observa-se que diversos trechos resultaram em concentrações acima do permitido pelo enquadramento. Isto implica legalmente que as interferências que causam esta desconformidade não podem ser outorgadas, por força do Art. 13 da Lei nº 9433/1997.

Dado o número de interferências mostrado na Figura 5.14 e a caracterização quali-quantitativa mostrada na Figura 5.15, existiria um número elevado de combinações de aumento de eficiência no tratamento de esgoto que resultariam no atendimento ao enquadramento, resultando em um problema de potencialmente mais trabalhoso.

Ao invés disso, optou-se por um procedimento simplificado. Tendo em vista que os usuários do setor de saneamento são os principais responsáveis pelo aporte de carga orgânica nos corpos hídricos, buscou-se, inicialmente, identificar os municípios cujos esgotos são lançados *in natura*, direta ou indiretamente, em trechos críticos de corpos hídricos de domínio da União. Essa seleção foi realizada com o objetivo de identificar os principais usuários contribuintes para a carga de poluentes, a fim de se avaliar a possibilidade de emissão de outorgas com compromisso de redução de cargas orgânicas.

Uma vez identificados estes municípios, foram feitas simulações considerado diversos cenários de tratamento de esgoto nos respectivos lançamentos. Um cenário de abatimento de 80% da carga de DBO foi testado, situação em que o enquadramento seria atendido com bastante folga, onerando demasiadamente o custo com implantação de ETEs. Assim, considerou-se o compromisso de substituição dos lançamentos *in natura* por lançamentos de efluentes tratados com $DBO_{5,20}$ igual a, pelo menos, 120 mg/L (60% de eficiência), em compatibilidade com a Resolução CONAMA n.º 430/2011. A Figura 5.17 apresenta os resultados dessa nova simulação.

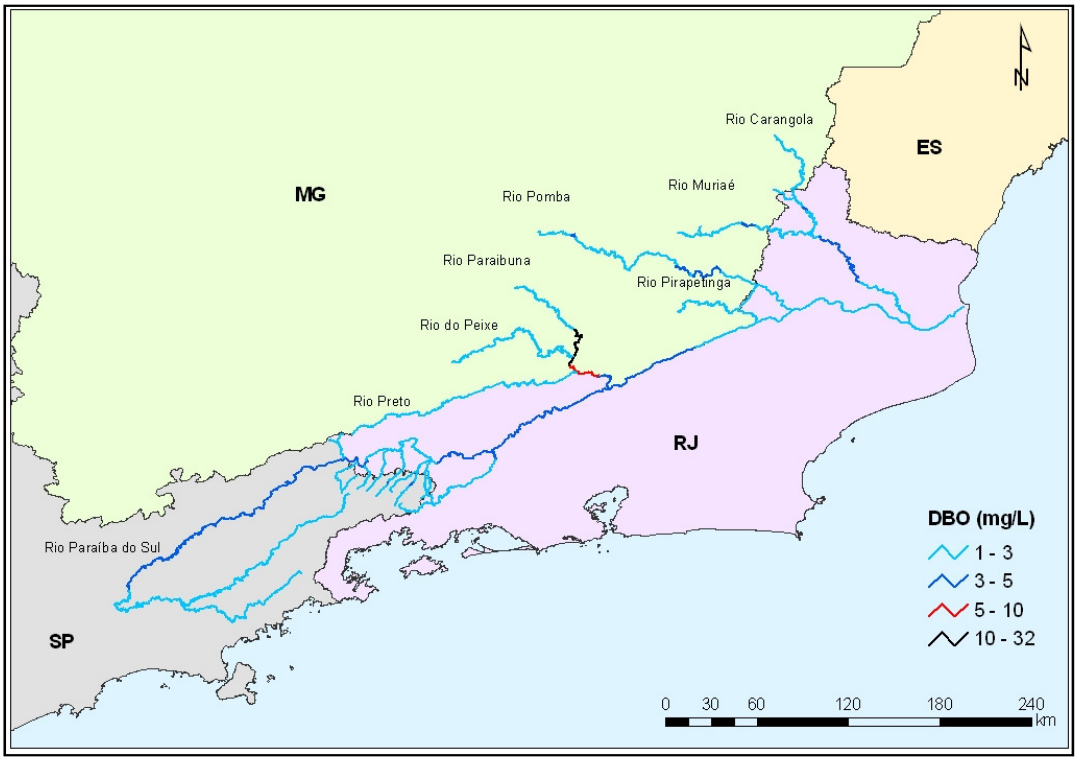


Figura 5.17. Concentração de $DBO_{5,20}$ nos cursos de água de domínio da União situados na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul (compromisso de abatimento de cargas)

De acordo com a Figura 5.17, verifica-se que as ações previstas para melhoria dos sistemas de esgotamento sanitário dos municípios, bem como os compromissos propostos para os municípios em que não há previsão ampliação da cobertura de tratamento de esgotos, seriam suficientes para permitir o lançamento de seus efluentes em conformidade com o limite de $DBO_{5,20}$ estabelecidos pelos enquadramentos (levando-se em consideração apenas os corpos hídricos de domínio da União).

Cabe salientar que, nos trechos em que o enquadramento não foi atendido, a concentração de DBO é resultado de lançamentos em rios de domínio estadual a montante, sobre os quais a ANA não tem atribuição legal de gerenciamento, pelo menos por meio da outorga. Estes lançamentos repercutem por vários quilômetros a jusante, acabando por comprometer totalmente os rios de domínio da União dos quais os rios receptores são tributários.

Estas simulações levaram à emissão de outorgas em lote para todos os demais usuários, aqueles com pouco ou nenhum efeito sobre o desenquadramento. No caso dos municípios com lançamento *in natura* que causavam o desenquadramento, foram emitidas outorgas vinculadas a protocolos de compromisso, com metas progressivas de abatimento de cargas poluentes, que vêm sendo fiscalizadas regularmente.

Outra consequência desta ação foi a destinação de recursos da cobrança pelo uso da água, aprovada no comitê de bacia, para a elaboração de planos de saneamento em municípios de menor porte, onde a capacidade técnica para sua elaboração era insuficiente. Isto foi fundamental para o atendimento das metas de abatimento, dada a necessidade de planos municipais para a obtenção de recursos federais para saneamento. Assim, conseguiu-se nortear um pouco o investimento público em coleta e tratamento de esgoto, por um critério eminentemente técnico e buscando o atendimento das metas de enquadramento estabelecidas.

5.1.4. SCBH Piranhas-Açu

O sistema de controle de balanço hídrico da bacia do Piranhas-Açu (RN/PB) possui uma versão específica adaptada para contemplar a verificação de alguns normativos, adicionalmente à verificação da disponibilidade hídrica.

Estes normativos foram estabelecidos por uma Resolução ANA do ano de 2004, mencionada no item 2.2, em que foi feita uma alocação da disponibilidade hídrica da bacia entre os dois estados envolvidos. Neste sentido, trata-se de uma experiência interessante de pactuação e descentralização, que a princípio tem potencial para melhorar bastante os procedimentos de outorga, embora neste caso o domínio múltiplo da água seja pouco relevante, já que os mananciais estaduais em sua grande maioria são intermitentes e não permitem uso expressivo da água. De fato, os principais mananciais nessa bacia são de domínio da União, fazendo com que a alocação da água entre os estados, na prática, dê comando e estabeleça diretrizes somente para a atuação da ANA na bacia.

Além de dividir a vazão de referência entre a Paraíba e o Rio Grande do Norte, o normativo estabeleceu também limites máximos de vazão (quotas) a serem outorgados a cada setor usuário, ao longo de seis macrotrechos nos quais a bacia foi dividida. Assim, a verificação a ser feita no sistema deveria contemplar também o atendimento a essas quotas, além da verificação convencional da existência de disponibilidade hídrica para atendimento à outorga. A Figura 5.18 mostra a bacia do rio Piranhas-Açu e a divisão em macrotrechos para alocação de água, e o quadro apresentado na Figura 5.19 mostra as quotas de vazão alocadas a cada finalidade em cada macrotrecho.

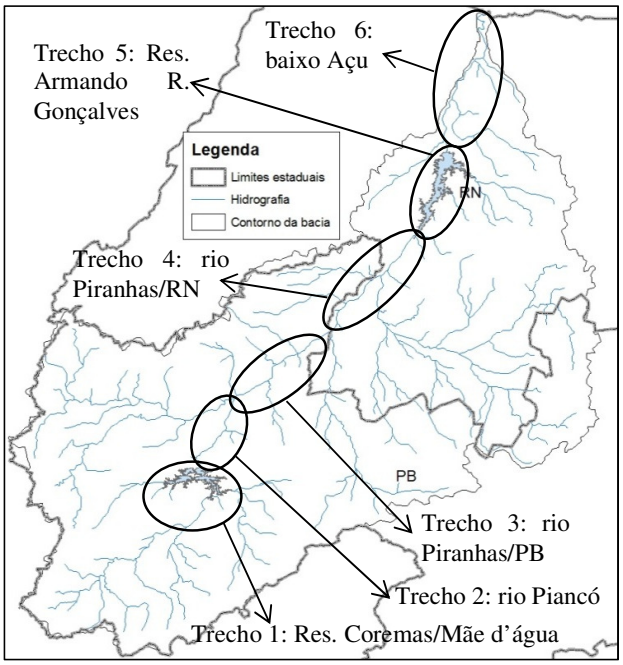


Figura 5.18. Bacia do Piranhas-Açu e macrotrechos para alocação de água.

TRECHO	FINALIDADE	Vazão máxima disponível (m^3/s)	TRECHO	FINALIDADE	Vazão máxima disponível (m^3/s)
Curema (n° 1)	Abastecimento difuso	0,010	Rio Piranhas – RN (n° 4)	Abastecimento difuso	0,115
	Adutoras	0,099		Adutoras	0,155
	Irrigação difusa	0,096		Irrigação difusa	1,214
	Irrigação em perímetros	1,875		Irrigação em perímetros	0,000
	Indústria	0,000		Indústria	0,005
	Piscicultura	0,013		Piscicultura	0,010
	Carcinicultura	0,000		Carcinicultura	0,000
	Total Trecho 1	2,093		Turismo e Lazer	0,001
Rio Piancó (n° 2)	Abastecimento difuso	0,024		Total Trecho 4	1,500
	Adutoras	0,717	Armando Ribeiro Gonçalves (n° 5)	Abastecimento difuso	0,149
	Irrigação difusa	0,900		Adutoras	0,328
	Irrigação em perímetros	0,500		Irrigação difusa	0,066
	Indústria	0,000		Irrigação em perímetros	0,920
	Piscicultura	0,020		Indústria	0,002
	Carcinicultura	0,000		Piscicultura	0,010
	Total Trecho 2	2,161		Carcinicultura	0,000
Rio Piranhas – PB (n° 3)	Abastecimento difuso	0,024		Total Trecho 5	1,475
	Adutoras	0,254	Rio Açu (n° 6)	Abastecimento difuso	0,360
	Irrigação difusa	1,839		Adutoras	0,708
	Irrigação em perímetros	0,000		Irrigação difusa (atual)	2,000
	Indústria	0,004		Irrigação em perímetros	6,523
	Piscicultura	0,025		Indústria	0,250
	Carcinicultura	0,000		Piscicultura	0,298
	Total Trecho 3	2,146		Carcinicultura	4,400
Total Paraíba		6,400		Perenização Piató/Panon	1,336
				Canal do Pataxó (abastecimento)	0,050
				Canal do Pataxó (irrigação difusa)	1,000
				Ecológica - Foz	1,000
				Total Trecho 6	17,925
			Total Rio Grande do Norte		20,900
Total do Sistema Curema-Açu					27,300

Figura 5.19. Quadro da alocação de água por finalidade e macrotrecho na bacia do rio Piranhas-Açu, definida pela Resolução ANA nº 687/2004

A interface do sistema de forma geral é a mesma das demais bacias. Entretanto, neste caso, além de informar as vazões, o regime de operação (número de horas por dia e dias por mês de uso) e o código do trecho, o analista deve informar também a finalidade de uso, a qual deve ser escolhida de uma *list box* disponível ao clicar no botão "Finalidade" (Figura 5.20). Para fins de exemplo, suponhamos um pedido de outorga para captação no rio Açu no município de Alto do Rodrigues (RN), com a finalidade de irrigação e vazão de 1000 m³/h.

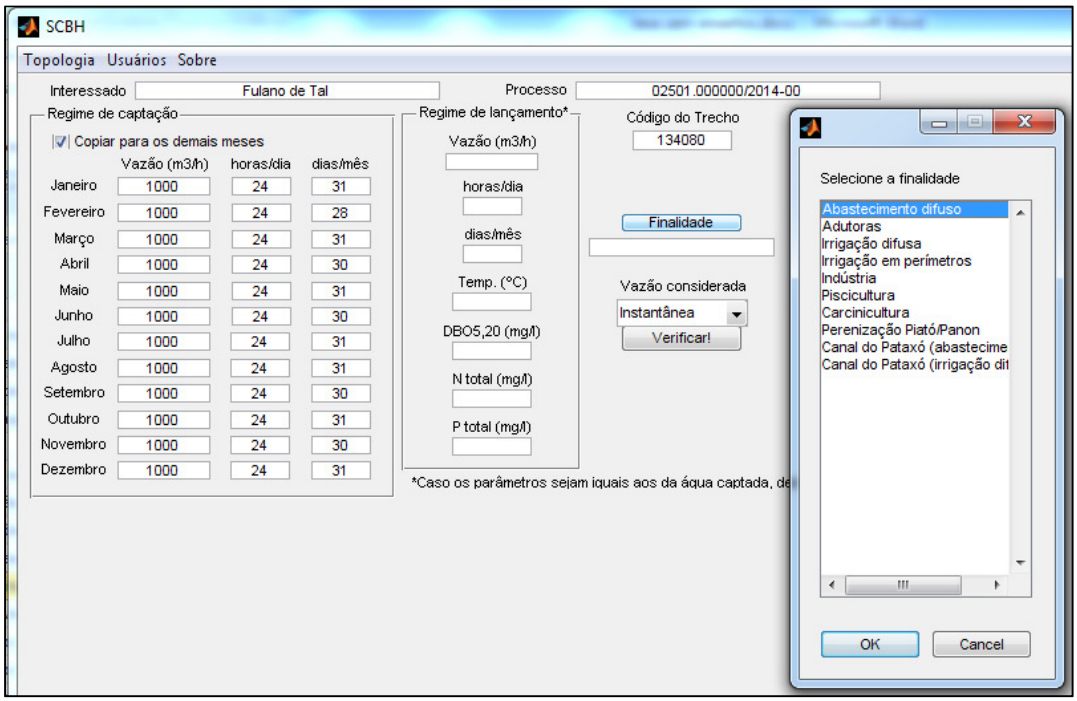


Figura 5.20. Tela inicial do SCBH Piranhas-Açu, com menu para escolha da finalidade

Por meio de uma verificação da área de drenagem do trecho, o sistema identifica o macrotrecho da bacia (de 1 a 6) em que a interferência se encontra, e disponibiliza essa informação em uma célula abaixo do código do trecho. A análise hidrológica e o cálculo dos indicadores é similar ao sistema para as demais bacias. Adicionalmente, o sistema traz um painel denominado "Verificação de limites por finalidade", em que verifica se o pedido atende à quota prevista para a finalidade, considerando os demais usuários já outorgados.

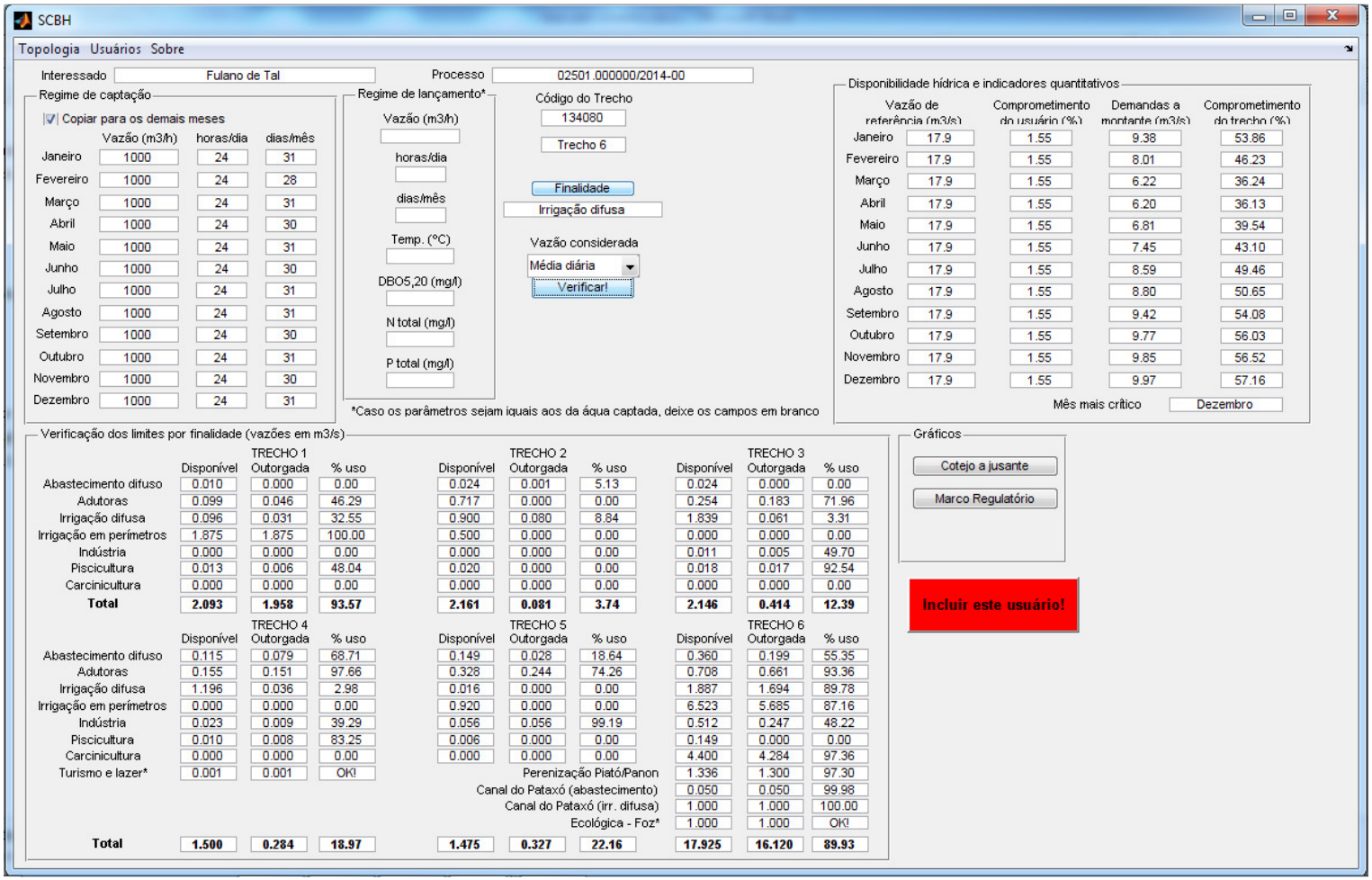


Figura 5.21. Tela de resultados do SCBH Piranhas-Açu.

Para esta verificação, foi criada uma matriz binária adicional, denominada “finalidade.bin”, de dimensão 6x44, onde 6 é o número de macrobacias e o número de colunas corresponde a 11 valores de quota hídrica (um para cada finalidade prevista na resolução), 11 de demanda acumulada máxima instantânea, 11 de demanda acumulada média diária, 11 de demanda acumulada média mensal.

Em cada análise, deve-se identificar no painel o balanço hídrico no macrotrecho e finalidade correspondentes. No exemplo, a quota hídrica para irrigação difusa no macrotrecho 6 é de 6,523m³/s, dos quais 5,685 m³/s já se encontram outorgados (incluindo o novo uso), de forma que não haveria óbice para a emissão da outorga, do ponto de vista da Resolução.

Este sistema vem sendo usado para fazer uma reavaliação da Resolução que definiu a alocação de água na bacia. Embora a divisão da água entre os dois estados tenha sido um precedente interessante, a avaliação é que a divisão da disponibilidade hídrica em quotas por setor usuário engessou excessivamente o gerenciamento de recursos hídricos, não se adaptando à dinâmica econômica da bacia. À época da edição da resolução, havia temores de que o crescimento da carcinicultura monopolizasse o uso da água, razão pela qual se optou pelo estabelecimento das quotas. Entretanto, esse crescimento não se verificou posteriormente, e novos setores usuários não previstos na época, como a mineração e o setor têxtil, ganharam força, sem que houvesse quotas suficientes alocadas para tal. É comum ocorrer de haver disponibilidade hídrica no local para atendimento a novos pedidos, porém não haver quota disponível para a finalidade, levando a uma situação paradoxal.

Esta avaliação levou a uma revisão por parte da ANA da Resolução de alocação de água, permitindo flexibilizar e realocar quotas não utilizadas de um setor estagnado (por exemplo, setores para os quais não foi solicitada outorga nos últimos dois anos) para outro mais dinâmico (setores que não foram considerados na época da alocação inicial mas apresentam crescimento nos últimos anos).

5.2. SCBH *Web*

Conforme mencionado, o desenvolvimento do SCBH evoluiu a partir da versão local em Matlab para uma versão em linguagem *web*, com as diversas vantagens que essa plataforma proporciona. A principal motivação para esse desenvolvimento foi a possibilidade de criar sistemas integrados, funcionando nos diversos órgãos gestores de recursos hídricos atuantes

em uma mesma bacia hidrográfica, permitindo uma efetiva integração do gerenciamento entre demanda e disponibilidade hídrica.

Naturalmente, esta integração depende da adesão dos diferentes órgãos gestores, e de um trabalho em conjunto destes órgãos para adaptação do sistema à bacia em questão: definição de bases hidrográficas e vazões de referência, critérios de segurança para bancos de dados, etc. Assim, alguns dos sistemas que serão descritos a seguir já vem operando de forma integrada, em cooperação entre ANA e órgãos gestores estaduais. Já outros dependem de entendimentos adicionais entre os órgãos gestores, ou de bases de informação mais consistentes, por exemplo bases hidrográficas digitais em escala adequada.

Outra motivação foi a possibilidade de disponibilizar uma versão de uso externo do sistema para o público em geral, permitindo análises prévias da possibilidade de obtenção de outorga.

A linguagem PHP (acrônimo recursivo de *Hypertext Preprocessor*) é totalmente voltada para internet, possibilitando o desenvolvimento de *sites* dinâmicos e interativos a partir de sites estáticos em HTML (Niederauer, 2004).

A versão *web* do SCBH está disponível para a bacia do rio Uruguai, em conjunto com a bacia da Lagoa Mirim, bacia do rio São Marcos (DF/GO/MG), bacia do rio Preto (DF/GO/MG), bacia do Itapecuru (MA), além de um sistema dedicado aos reservatórios de domínio da União no semi-árido nordestino. O sistema do rio Preto vem sendo operado em conjunto pela ANA e ADASA/DF, e o sistema do rio Itapecuru é operado pela SEMA/MA. O endereço para acesso é http://scbh.ana.gov.br.

Previamente à análise propriamente dita, o analista é solicitado a informar se se trata de um usuário interno ou externo do sistema. Por usuário interno entende-se um analista de algum órgão gestor que use o SCBH e que possua permissões de acesso para tal (*user* e senha). Já o usuário externo é o público em geral, notadamente potenciais usuários de água ou profissionais da área. A Figura 5.22 mostra a tela inicial do sistema, que possui um texto introdutório e os links para os módulos interno e externo.

Figura 5.22. Tela inicial do SCBH *web*.

Para fins do presente exemplo, a análise considerará uso interno do sistema. A seguir o analista é solicitado a escolher a bacia de análise (Figura 5.23).

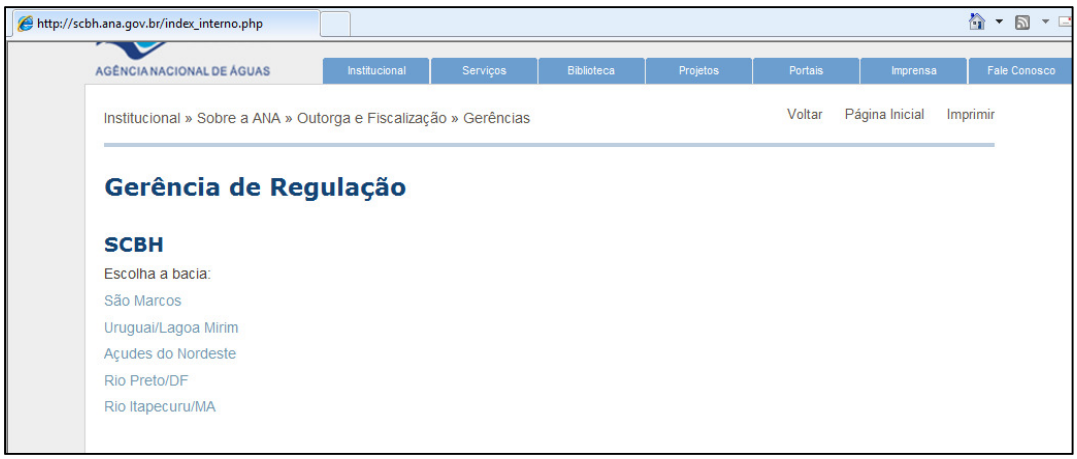


Figura 5.23. Escolha da bacia de análise.

Este ponto já representa uma vantagem em relação ao sistema em Matlab, que é o fato dos sistemas para todas as bacias estarem armazenados em um único sistema *web*. No caso do sistema local, cada bacia possui seu executável individual, aumentando o número de programas à medida em que se sistematizam mais bacias.

O analista é solicitado então a informar seu *login* e senha (Figura 5.24). Para ter permissão de acesso, os analistas devem se cadastrar junto ao desenvolvedor do sistema, que alimenta uma tabela de dados de analistas, contendo *login*, senha e instituição a que pertence.

Figura 5.24. Tela de *login*.

O usuário logado, *geout*, consta no banco de dados como pertencendo à ANA, logo só poderá analisar interferências em mananciais de domínio da União.

5.2.1. Bacias do rio Uruguai e Lagoa Mirim

As bacias do rio Uruguai e da Lagoa Mirim foram sistematizadas na escala ao milionésimo. O uso do sistema atualmente é restrito à ANA nos rios federais. Esporadicamente são obtidas as outorgas emitidas nos rios estaduais da bacia, junto aos órgãos gestores de recursos hídricos de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul, e inseridas no sistema para que possam ser contabilizadas no balanço hídrico dos rios federais.

Supondo que tenha sido escolhida a bacia do rio Uruguai/Lagoa Mirim, o analista é solicitado a entrar com as coordenadas da interferência, vazão máxima e regime de operação, nome do usuário e número do processo (Figura 5.25).

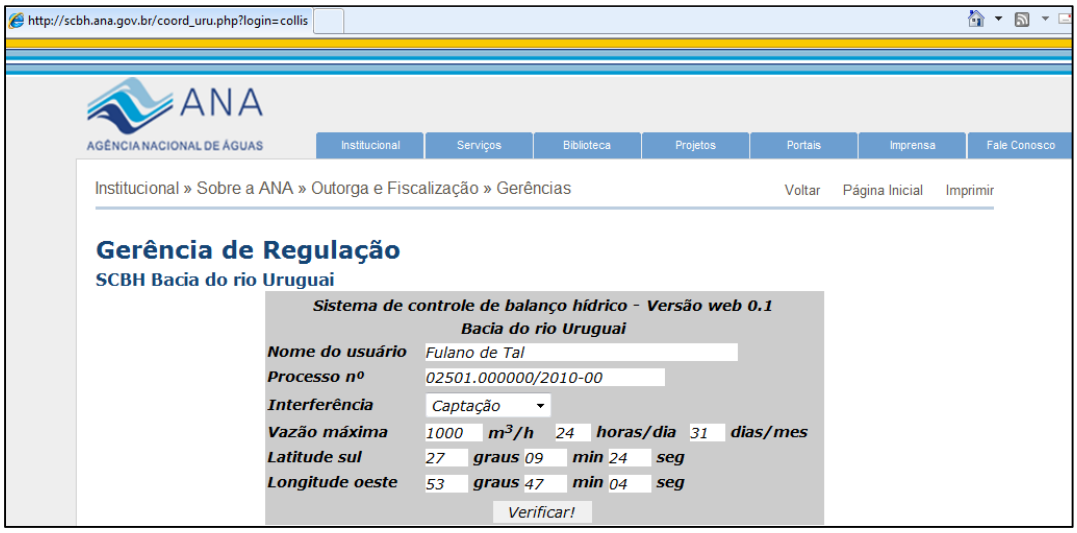


Figura 5.25. Tela para inserção de informações do uso de água.

Nesta tela, o analisa pode optar entre captação e lançamento. Para fins de exemplo, supõe-se a solicitação de uma outorga para captação de 1000 m³/h no rio Uruguai, no município de Barra do Guarita (RS), nas coordenadas 27º09º24” sul e 53º47’04” oeste. Clicando em “Verificar”, o sistema lança a coordenada sobre os *rasters* de ottobacias e municípios, obtendo códigos numéricos para ambos. Consultando os códigos nos respectivos bancos de dados, o sistema obtém o município em que se localiza, bem como a ottobacia e consequentemente o nome e domínio do manancial (Figura 5.26). Este ponto constitui-se em uma evolução em relação ao sistema anterior, em que a localização do trecho devia ser feita externamente ao sistema.

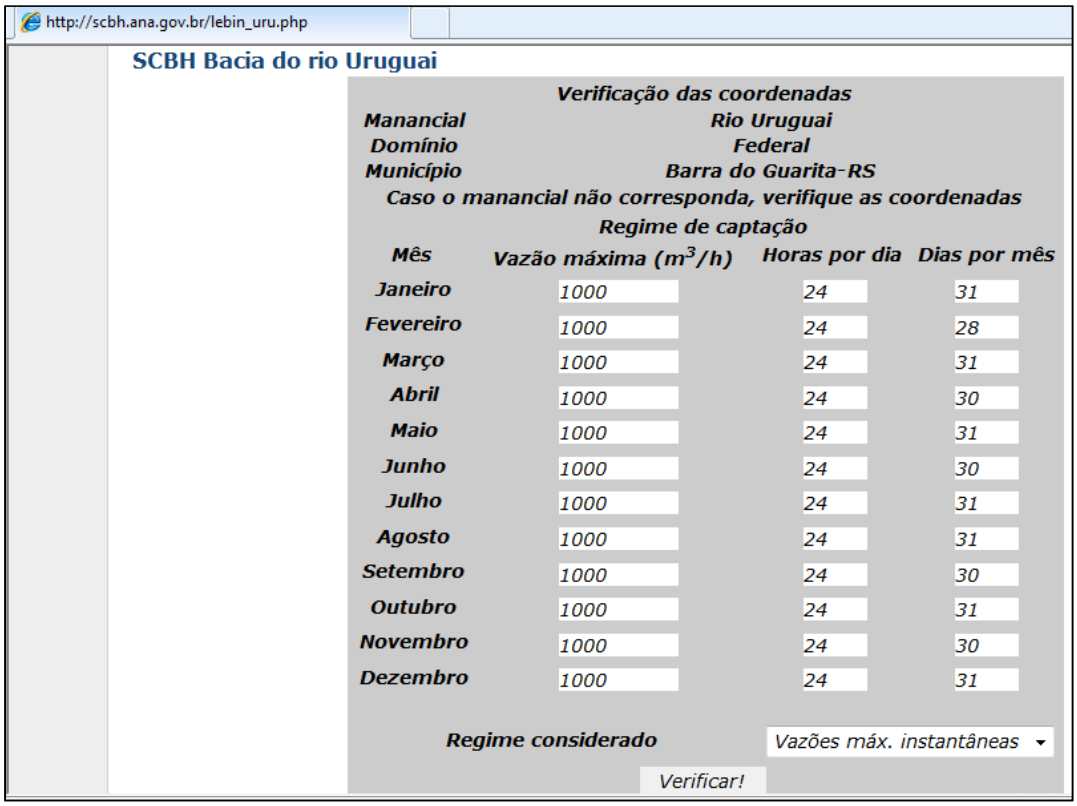


Figura 5.26. Tela de identificação do manancial e município e detalhamento da demanda.

Neste ponto, o analista deve confirmar se as informações sobre o manancial e o município conferem com o que foi informado. Devido à resolução dos *rasters* e à precisão dos limites entre municípios, eventualmente pode ocorrer de o sistema identificar uma localização diferente da realidade. Isto ocorre principalmente no caso da localização do município, uma vez que os rios normalmente fazem a divisa entre municípios. Pode ocorrer também devido à própria divisão das ottobacias, em locais próximos a confluências, conforme exemplo abaixo (Figura 5.27).

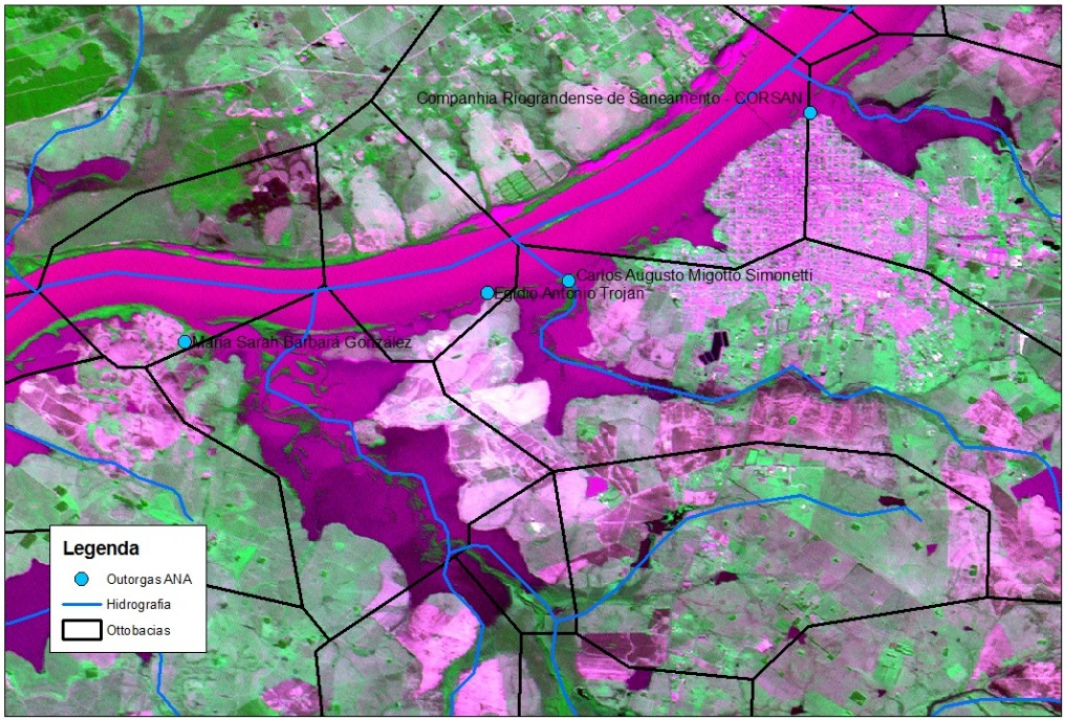


Figura 5.27. Usuário Carlos Simonetti, outorgado no rio Uruguai, cuja localização se insere dentro da ottobacia de pequeno afluente.

Nestes casos, o analista deve ajustar sutilmente a coordenada para coincidir com o manancial e município informado.

Esta tela também permite ajustes na sazonalidade da demanda. No caso da bacia do rio Uruguai, este aspecto tem pouca importância, dada a pouca sazonalidade do regime hidrológico natural.

Tendo feito os ajustes necessários, o analista clica em "Verificar". A partir daí é feito o balanço hídrico com as demais demandas da bacia e o cálculo dos indicadores de comprometimento (Figura 5.28).

http://scbh.ana.gov.br/result_uru.php?cotrecho=...

SCBH Bacia do rio Uruguai

Sistema de controle de balanço hídrico - Versão web 0.1				
Resultados da análise - Fulano de Tal				
Mês	Vazão de referência (m^3/s)	Comprometimento individual (%)	Demandas a montante (m^3/s)	Comprometimento coletivo (%)
Janeiro	254,7	0,11%	8,50	3,45%
Fevereiro	254,7	0,11%	8,50	3,45%
Março	254,7	0,11%	8,50	3,45%
Abril	254,7	0,11%	8,50	3,45%
Maio	254,7	0,11%	8,50	3,45%
Junho	254,7	0,11%	8,50	3,45%
Julho	254,7	0,11%	8,50	3,45%
Agosto	254,7	0,11%	8,50	3,45%
Setembro	254,7	0,11%	8,50	3,45%
Outubro	254,7	0,11%	8,50	3,45%
Novembro	254,7	0,11%	8,50	3,45%
Dezembro	254,7	0,11%	8,50	3,45%
Mês mais crítico		Dezembro		
O comprometimento coletivo de 3,45% indica que o pleito pode ser atendido.				
Prazo sugerido 29 / 4 / 2024				
Ver balanço hídrico a jusante				
Incluir!				
Ver lista de usuários				

Figura 5.28. Tela com os resultados da análise.

O sistema faz uma consulta no banco de usuários a todos aqueles que estejam situados em trechos a montante, por meio da codificação de otto. Similarmente ao sistema MATLAB, a tela de resultados traz a vazão de referência para o trecho, o indicador de comprometimento individual (ICI_{quant}), as vazões outorgadas a montante e o indicador de comprometimento coletivo (ICC_{quant}). Em função dos indicadores, o sistema já emite um parecer prévio, indicando que o pedido pode ou não ser atendido.

Se estiver de acordo com a análise, o analista pode clicar em "incluir". Com isso, o novo usuário será incluído no banco de usuários, e futuras análises o levarão em conta. O sistema também gera um relatório com um extrato da análise, a exemplo do sistema em MATLAB.

Previamente à inserção do uso no balanço hídrico, o analista pode ainda informar qual é o prazo de vigência da outorga. Por *default*, o sistema sugere um prazo de 10 anos a contar do dia atual, entretanto esta data pode ser alterada pelo analista em função da natureza do uso, tempo de trâmite posterior até a deliberação final, etc. O sistema somente leva em conta no balanço hídrico usuários cuja outorga ainda esteja vigente, ou seja, quando a data informada tiver sido superada, o uso automaticamente deixará de ser contabilizado. Este aspecto representa um avanço em relação ao sistema MATLAB, em que a retirada de usuários com outorgas vencidas é feita de forma pouco amigável.

O analista, ao informar sua senha, somente pode acessar mananciais gerenciados pela instituição a que pertence. No exemplo acima, o analista "geout" está cadastrado como sendo vinculado à ANA. Caso este informe equivocadamente uma coordenada de um rio estadual, o sistema identifica o manancial, emite um alerta e retorna à tela de inserção de coordenadas, conforme exemplo abaixo (Figura 5.29), em que o analista "geout" informou uma coordenada correspondente ao rio Ibicuí:

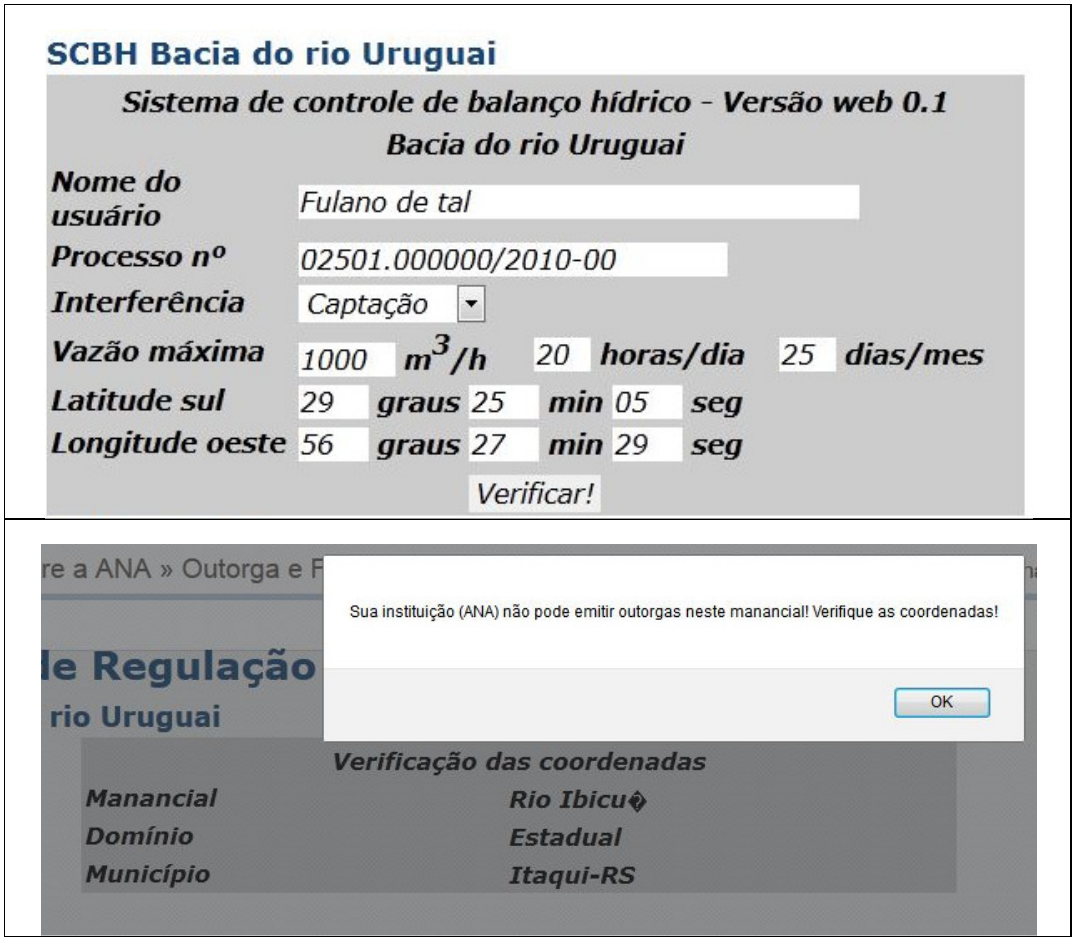


Figura 5.29. Inserção de uma coordenada correspondente a um manancial não gerenciado pela instituição do analista logado.

No caso de análise de lançamento de efluentes, o analista deve escolher a opção "lançamento" no campo "Interferência", na tela inicial. A Figura 5.30 mostra um exemplo de análise de lançamento, na mesma coordenada usada no exemplo anterior.

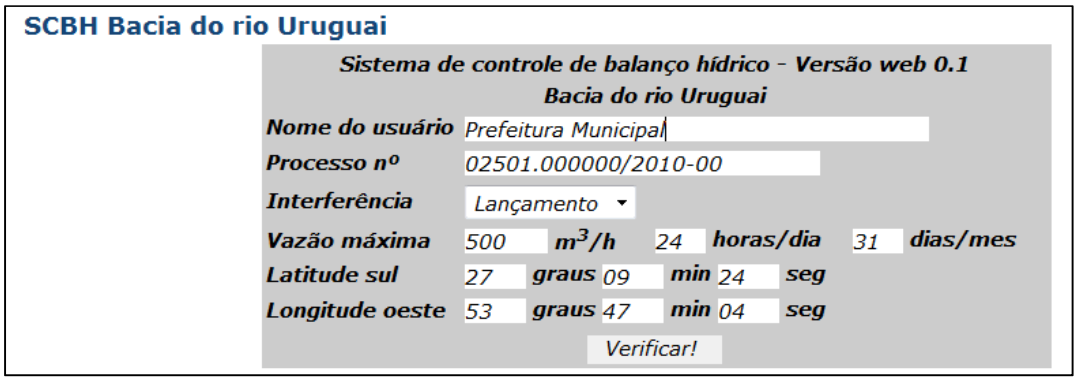


Figura 5.30. Tela inicial para análise de lançamento de efluentes.

Na tela seguinte, o sistema identificou o rio e município, a exemplo do caso para lançamentos, porém o detalhamento dos dados é um pouco diferente. Ao invés da sazonalidade da interferência, são solicitadas as concentrações dos poluentes a serem avaliados.

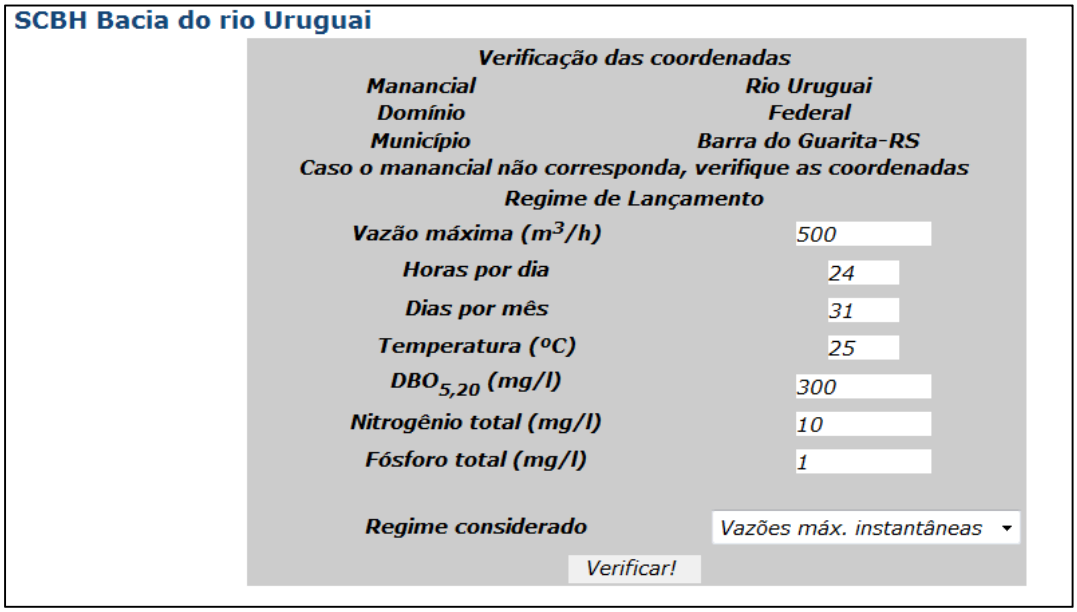


Figura 5.31. Identificação do rio e município e detalhamento dos dados do lançamento de efluentes.

Ao clicar em "verificar", o sistema calcula as vazões indisponibilizadas pelo lançamento e busca do banco de dados de lançamentos as vazões indisponibilizadas a montante, e apresenta os indicadores, conforme Figura 5.32:

SCBH Bacia do rio Uruguai

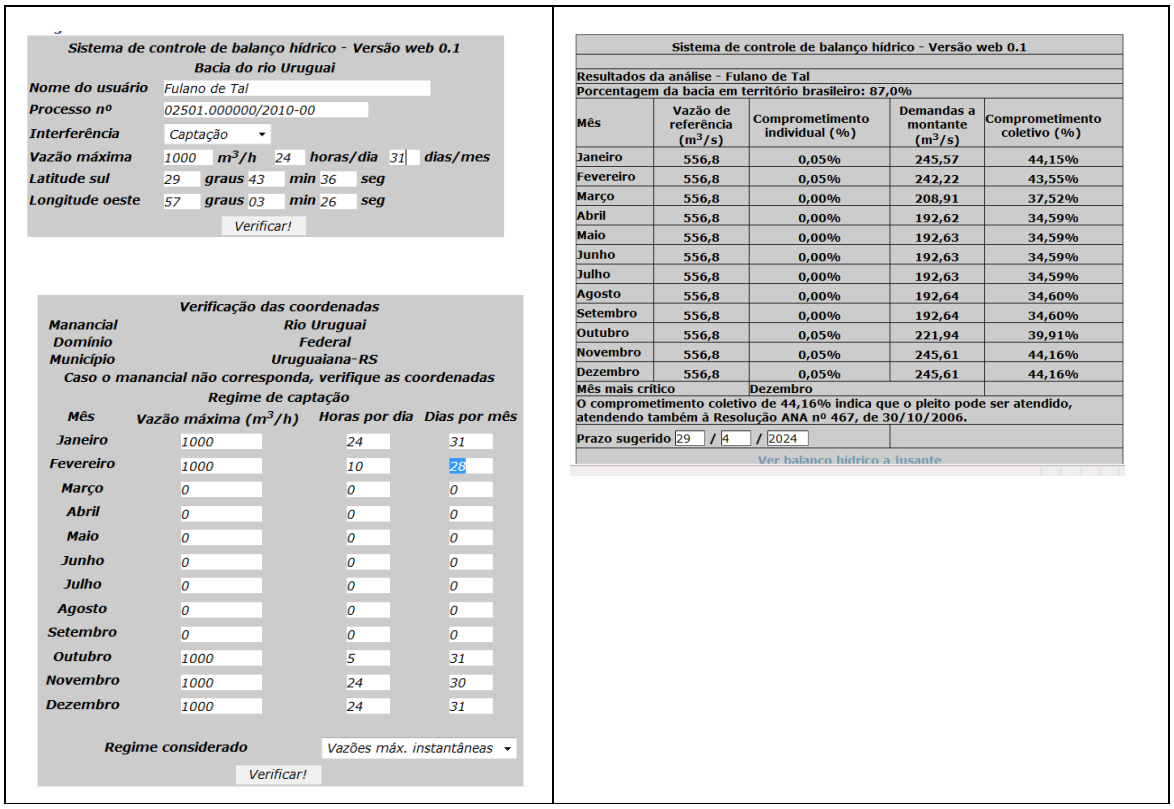
Sistema de controle de balanço hídrico - Versão web 0.1			
Resultados da análise - Prefeitura Municipal			
Vazões de diluição do usuário (m^3/s)			
Temperatura	0,093	DBO	10,243
N total	0,273	P total	1,389
Parâmetro crítico do usuário			DBO
Vazão indisponibilizada pelo usuário (m^3/s)			10,382
Comprometimento individual			4,08%
Vazões indisponibilizadas no trecho (m^3/s)			
Temperatura	0,355	DBO	11,620
N total	1,378	P total	12,381
Parâmetro crítico do trecho			Fósforo total
Vazão remanescente (m^3/s)			246,2
Comprometimento coletivo			5,03%
O comprometimento coletivo de 5,0% indica que o pleito pode ser atendido.			
Prazo sugerido 14 / 5 / 2024			
Ver balanço hídrico a jusante			
Incluir!			
Ver lista de lançamentos			

Figura 5.32. Vazões indisponibilizadas e indicadores de comprometimento qualitativo.

A exemplo do sistema em Matlab, o sistema calcula as vazões de diluição e indisponíveis para os diferentes parâmetros de qualidade de água e identifica o parâmetro crítico, que requer a maior quantidade de água para sua diluição. Comparando as vazões indisponibilizadas totais com a vazão remanescente (vazão de referência descontada dos consumos a montante), o sistema calcula o comprometimento hídrico e emite um parecer prévio. Ao incluir, o banco de dados de lançamentos será atualizado com a inserção do lançamento analisado, e um relatório em formato .doc é salvo.

O sistema das bacias do Uruguai e Lagoa Mirim incorpora ainda uma particularidade decorrente do normativo estabelecido para a ANA para mananciais fronteiriços e transfronteiriços. A Resolução ANA nº 467/2006 definiu que, na falta de acordos internacionais que definam a alocação destes mananciais, a ANA reservará uma porção da vazão de referência ao país vizinho. Operacionalmente, as vazões de referência devem ser reduzidas por um fator correspondente à proporção da área em território brasileiro, e a resolução estabelece ainda que só será outorgado no máximo 70% da vazão resultante. Assim, no caso do sistema do Uruguai, o banco de dados de trechos possui um campo adicional, que é a proporção da área da bacia em território brasileiro, naquele trecho. Sempre que esta for menor do que um (rio Peperi-Guaçu e rio Uruguai a jusante da foz do rio Peperi-guaçu), os resultados levarão em conta o disposto nesta resolução.

Para exemplificar, mostra-se uma análise no rio Uruguai em Uruguaiana, nas coordenadas 29º43’36” sul e 57º 03’26” oeste (Figura 5.33).



Sistema de controle de balanço hídrico - Versão web 0.1
Bacia do rio Uruguai

Nome do usuário: Fulano de Tal
Processo nº: 02501.000000/2010-00
Interferência: Captação
Vazão máxima: 1000 m³/h 24 horas/dia 31 dias/mes
Latitude sul: 29 graus 43 min 36 seg
Longitude oeste: 57 graus 03 min 26 seg
Verificar!

Verificação das coordenadas
Manancial: Rio Uruguai
Domínio: Federal
Município: Uruguaiana-RS
Caso o manancial não corresponda, verifique as coordenadas
Regime de captação

Mês	Vazão máxima (m^3/h)	Horas por dia	Dias por mês
Janeiro	1000	24	31
Fevereiro	1000	10	26
Março	0	0	0
Abril	0	0	0
Maio	0	0	0
Junho	0	0	0
Julho	0	0	0
Agosto	0	0	0
Setembro	0	0	0
Outubro	1000	5	31
Novembro	1000	24	30
Dezembro	1000	24	31

Regime considerado: Vazões máx. instantâneas
Verificar!

Sistema de controle de balanço hídrico - Versão web 0.1

Resultados da análise - Fulano de Tal
Porcentagem da bacia em território brasileiro: 87,0%

Mês	Vazão de referência (m^3/s)	Comprometimento individual (%)	Demandas a montante (m^3/s)	Comprometimento coletivo (%)
Janeiro	556,8	0,05%	245,57	44,15%
Fevereiro	556,8	0,05%	242,22	43,55%
Março	556,8	0,00%	208,91	37,52%
Abril	556,8	0,00%	192,62	34,59%
Maio	556,8	0,00%	192,63	34,59%
Junho	556,8	0,00%	192,63	34,59%
Julho	556,8	0,00%	192,63	34,59%
Agosto	556,8	0,00%	192,64	34,60%
Setembro	556,8	0,00%	192,64	34,60%
Outubro	556,8	0,05%	221,94	39,91%
Novembro	556,8	0,05%	245,61	44,16%
Dezembro	556,8	0,05%	245,61	44,16%

Mês mais crítico: Dezembro
O comprometimento coletivo de 44,16% indica que o pleito pode ser atendido, atendendo também à Resolução ANA nº 467, de 30/10/2006.
Prazo sugerido 29 / 4 / 2024
Ver balanço hídrico a jusante

Figura 5.33. Análise em porção fronteiriça do rio Uruguai, levando em conta o normativo da ANA referente a rios fronteiriços e transfronteiriços.

Deve-se mencionar também a respeito do gerenciamento das demandas inseridas no sistema. A tela final com os resultados (Figura 5.28) apresenta um link denominado “Ver lista de usuários”. Este link faz uma consulta ao banco de usuários e apresenta todos os usuários com outorgas válidas na tela, bem como suas vazões, nome do rio e vigência da outorga (Figura 5.34).

Lista de usuários outorgados

	Processo	Usuário	Vazão máxima(m^3/h)	Rio	Vencimento
☐	2501/	Prefeitura Municipal de Pinheirinho do Vale	8	Rio Uruguai	23/04/2027
☐	2501.0002/	Companhia Riograndense de Saneamento - CORSAN	527	Rio Uruguai	27/04/2027
☐	2501.0001/	Companhia Riograndense de Saneamento - CORSANB	775	Rio Uruguai	27/09/2015
☐	02501.002162/2008-22	Alfredo Rogério de Souza Martini	5.616	Rio Uruguai	01/07/2014
☐	02501.000999/2009-18	Alvimar Klaus	1.900	Rio Uruguai	01/07/2014
☐	02501.000076/2009-66	Alvise Eduardo Martins	3.600	Rio Uruguai	01/07/2014
☐	02501.000489/2009-41	Antônio Carlos Moro	2.000	Rio Uruguai	01/07/2014
☐	02501.000741/2008-31	Ceolin Agropecuária LTDA	6.372	Rio Uruguai	01/07/2014
☐	02501.000375/2008-10	Condomíno Agropecuário Ceolin	3.132	Rio Uruguai	01/07/2014
☐	02501.000970/2008-55	Cooperativa dos Produtores de Cana Porto Xavier LTDA	50	Rio Uruguai	01/07/2014
☐	02501.002246/2004-32	Juraci José Tonial	500	Rio Uruguai	16/03/2015
☐	02501.000471/2010-82	Laudir José Reck Júnior	1.920	Rio Uruguai	27/04/2015

Figura 5.34. Lista de usuários outorgados nas bacias do rio Uruguai e Lagoa Mirim (a lista real foi reduzida para visualização).

☐	02501.000269/2014-84	Luciano Correa Morrone	1.800	L. Mirim/Can. S. Gonçalo/R. Jaguarão (remanso)	10/02/2024
☐	02501.001656/2005-47	Luiz Jairton Miletto Gindri e CondomÃ-nio AgropecuÃirio Ceolin	1.085	Rio Uruguai	12/02/2024
☐	02501.000673/2006-48	JosÃ© SÃ©rgio Pegorer e Outros	11.205	Rio Uruguai	13/02/2024
☐	02501.000008/2014-64	Eslly Coimbra Fernandes Junior	68		/2024
☐	02501.000009/2014-17	Joel Morato Fernandes	68		/2024
☐	02501.000143/2011-67	Eleonora Maria Santos SantÂ´anna	3.6		/2024
☐	02501.000011/2014-88	JAIRO MORATO FERNANDES	68		/2024
☐	02501.000037/2007	Angelo Doviggi	3.6		/2024
☐	02501.000010/2014-33	JOSE ADROGIRES MENDONÃ?A	7		/2024
☐	02501.000706/2010-36	CLOVIS RENATO BOTELHO AGUIAR	2.1		/2024
☐	02501.000817/2006-66	Ernesto de Souza/Leila Rosane de Souza Fraga	9.800	L. Mirim/Can. S. Gonçalo/R. Jaguarão (remanso)	14/03/2024
☑	02501.000000/2010-00	Fulano de Tal	1.000	Rio Uruguai	29/04/2024

Deletar selecionados

Mensagem da página da web

Usuário deletado com sucesso!!

OK

Figura 5.35. Exclusão de um usuário do banco de dados.

Por meio da visualização da lista de usuários, o próprio analista pode fazer a verificação de informações duplicadas e consistência de valores informados. Além disso, é possível deletar usuários do banco de dados, conforme mostrado na figura. Com isso, é possível fazer alterações e atualizar o banco de dados de forma mais amigável, sem necessidade de recalcular o balanço hídrico da bacia, como no sistema em Matlab.

Conforme mencionado, o sistema para estas bacias é usado somente pela ANA no gerenciamento dos rios de domínio da União, não havendo um entendimento com os estados envolvidos para um uso integrado. Possivelmente, esta integração dependa de um refinamento da base hidrográfica, uma vez que o sistema atual é baseado na hidrografia ao milionésimo. Além disso, somente os grandes reservatórios do setor elétrico estão incorporados na disponibilidade hídrica do sistema. Algum mecanismo de consideração dos pequenos

reservatórios existentes em partes da bacia, como a sub-bacia do rio Santa Maria, por exemplo, seria importante para adaptar o uso a todos os órgãos envolvidos no gerenciamento da bacia do Uruguai.

5.2.2. Uso externo

Conforme mencionado, a versão *web* do SCBH possibilitou o desenvolvimento de um módulo de análise externo, voltado para o público em geral avaliar preliminarmente a possibilidade de obtenção de outorga em um dado manancial.

Neste caso, deve-se clicar em "externo" na tela inicial (Figura 5.22) e escolher a bacia de análise. Neste módulo, o sistema não solicita qualquer senha de acesso.

Supondo que a análise considere o mesmo ponto de captação do exemplo anterior, no rio Uruguai em Barra do Guarita (RS), as telas seguintes são as mesmas, exceto pela tela final de resultados (Figura 5.36).

SCBH Bacia do rio Uruguai

Sistema de controle de balanço hídrico - Versão web 0.1				
Resultados da análise - Fulano de Tal				
Mês	Vazão de referência (m^3/s)	Comprometimento individual (%)	Demandas a montante (m^3/s)	Comprometimento coletivo (%)
Janeiro	254,7	0,11%	8,50	3,45%
Fevereiro	254,7	0,11%	8,50	3,45%
Março	254,7	0,11%	8,50	3,45%
Abril	254,7	0,11%	8,50	3,45%
Maio	254,7	0,11%	8,50	3,45%
Junho	254,7	0,11%	8,50	3,45%
Julho	254,7	0,11%	8,50	3,45%
Agosto	254,7	0,11%	8,50	3,45%
Setembro	254,7	0,11%	8,50	3,45%
Outubro	254,7	0,11%	8,50	3,45%
Novembro	254,7	0,11%	8,50	3,45%
Dezembro	254,7	0,11%	8,50	3,45%
Mês mais crítico		Dezembro		
O comprometimento coletivo de 3,45% indica que o pleito provavelmente pode ser atendido.				
Consulte o órgão gestor de recursos hídricos competente (ANA) para formalizar seu pedido em definitivo.				
ESTA VERIFICAÇÃO É PRELIMINAR, NÃO TEM VALOR LEGAL E NÃO AUTORIZA O USO DOS RECURSOS HÍDRICOS				

Figura 5.36. Tela de resultados para análise no módulo externo.

Como se pode observar, a tela de resultados do módulo externo não possui botão de inclusão, nem tampouco o link para a lista de usuários. Trata-se de uma análise apenas para consulta, não permitindo modificação do banco de dados. Porém, é integrada, visto que realiza as consultas a partir dos mesmos bancos de dados usados pelo órgão gestor.

Além disto, a tela de resultados emite duas mensagens adicionais. A primeira orienta o usuário a entrar em contato com o respectivo órgão gestor de recursos hídricos para formalizar o pedido de outorga. A segunda ressalta que a verificação é preliminar e não possui caráter legal.

A disponibilização de um sistema como esse para o público em geral confere transparência ao gerenciamento de recursos hídricos, uma vez que permite ao cidadão ter maior conhecimento sobre os critérios para uma determinada tomada de decisão quanto à outorga de uso da água.

Além disso, permite ao usuário certo grau de planejamento quanto à tomada de decisão sobre o uso da terra, como compra de fazendas, pré-dimensionamento de empreendimentos, etc., evitando preventivamente conflitos futuros.

Por fim, é comum que o órgão gestor seja consultado informalmente por usuários a respeito de vazões de referência, critérios de outorga e possibilidades de atendimento a outorgas. Em geral, esse tipo de consulta gera a necessidade de uma análise. Assim, a disponibilização de um módulo externo evita a sobrecarga do analista, deixando ao próprio usuário a possibilidade de consulta.

5.2.3. Bacia do rio Preto

O rio Preto é um afluente do rio Paracatu, que por sua vez contribui ao rio São Francisco. Em sua porção superior, o rio Preto faz a divisa entre o Distrito Federal e Goiás, e posteriormente adentra o estado de Minas Gerais. A bacia é historicamente ocupada pela agricultura, primeiramente por meio do Plano de Assentamento Dirigido do Distrito Federal (PAD-DF), que visava a produzir alimentos para a nova capital. Hoje em dia predomina o uso da água para irrigação por pivô central.

O rio Preto, em suas cabeceiras denominado Ribeirão Santa Rita, é de domínio da União, enquanto que a maior parte de seus afluentes é de domínio do Distrito Federal. Em 2010, a ANA delegou à ADASA a atribuição de emitir outorgas em todos os rios de domínio da União no território do DF. De forma geral, a delegação permitiu que a ADASA permanecesse aplicando nos rios federais delegados o mesmo critério adotado nos rios distritais que já gerenciava, ou seja, outorga de até 80% das vazões mínimas médias mensais. Esse critério foi considerado suficiente nos casos de rios que nascem no DF e correm para um outro estado, como o rio São Bartolomeu, por exemplo. Porém, nos rios que servem de divisa entre esta unidade da federação e outras, como é o caso do rio Preto, este critério não podia ser aplicado, pois uma parte da vazão de referência deveria ser reservada para que a ANA pudesse emitir

outorgas na margem oposta, situada em outro estado. Assim, definiu-se preliminarmente que a ADASA poderia outorgar somente até o limite de 40% da vazão de referência.

O SCBH da bacia do rio Preto vem sendo usado conjuntamente entre ADASA e ANA, com ênfase na porção superior da bacia onde os rios federais foram delegados (até a UHE Queimado). A base hidrográfica para sistematização foi a base do Sistema de Cadastramento de Uso do Solo do DF (SICAD), na escala 1:10.000, para os trechos em território do DF. Nas porções goiana e mineira da bacia, foi adotada a escala ao milionésimo.

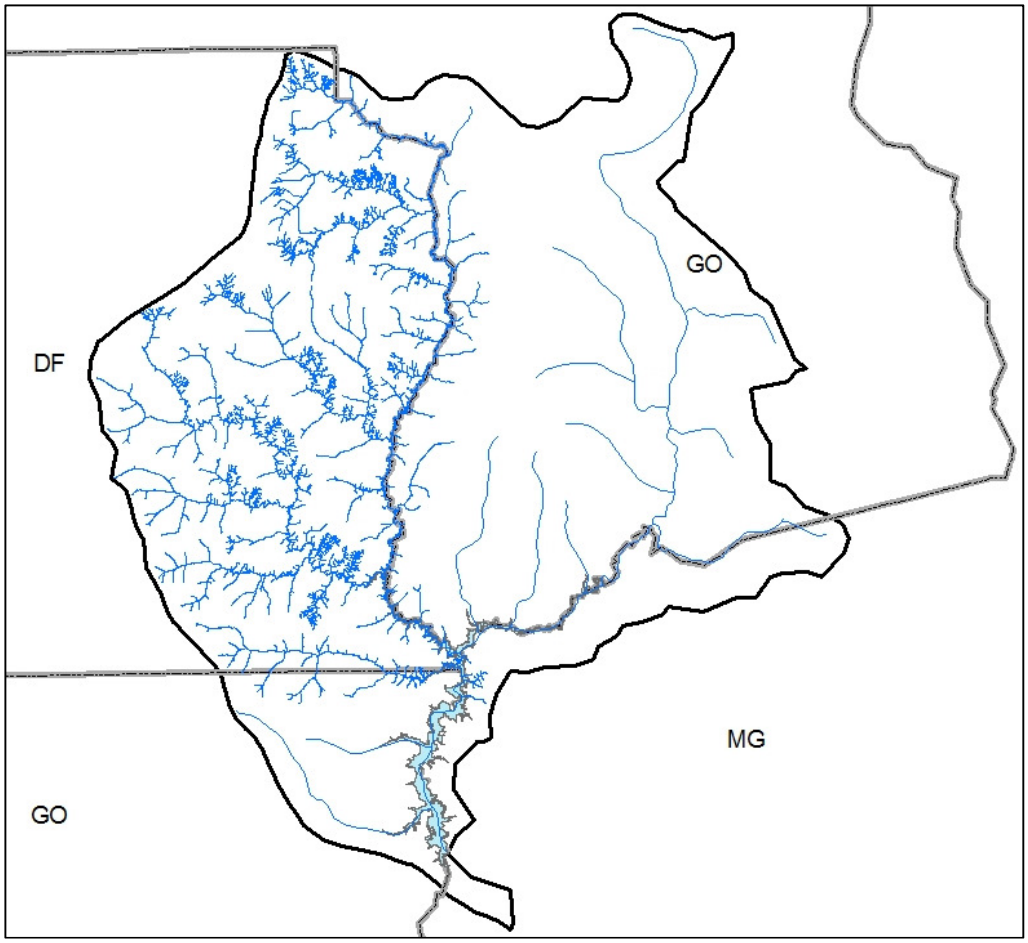


Figura 5.37. Bacia do rio Preto até a UHE Queimado e hidrografia do sistema, com melhor escala no território do DF

A Figura 5.38 mostra a tela de inserção de coordenadas deste sistema.

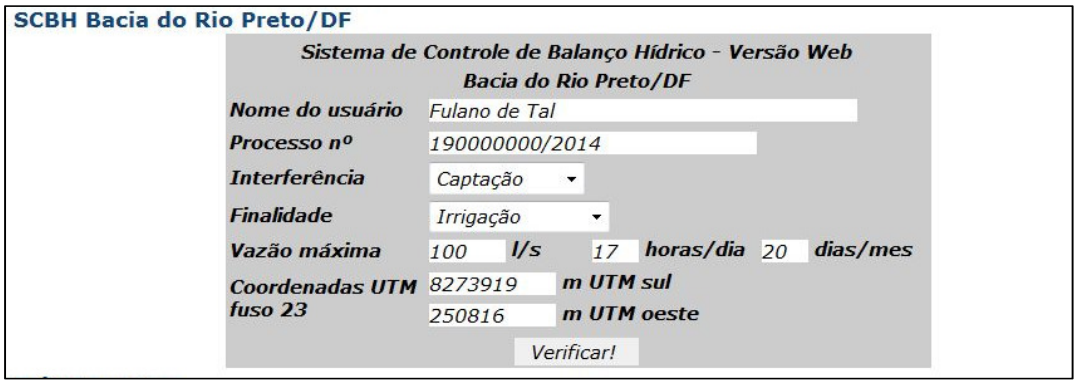


Figura 5.38. Tela de inserção de coordenadas do SCBH bacia do rio Preto.

Neste exemplo, o analista logado está vinculado à ADASA, portanto somente pode outorgar em rios distritais ou em rios federais delegados ao DF. Pelo fato do usuário logado pertencer à ADASA, as unidades de inserção da vazão e das coordenadas da interferência foram adaptadas para as unidades usualmente usadas por esta instituição. As respectivas conversões de unidade são realizadas internamente no sistema. A Figura 5.39 mostra uma análise de um novo ponto de captação no Córrego Retiro do Meio, de domínio distrital.

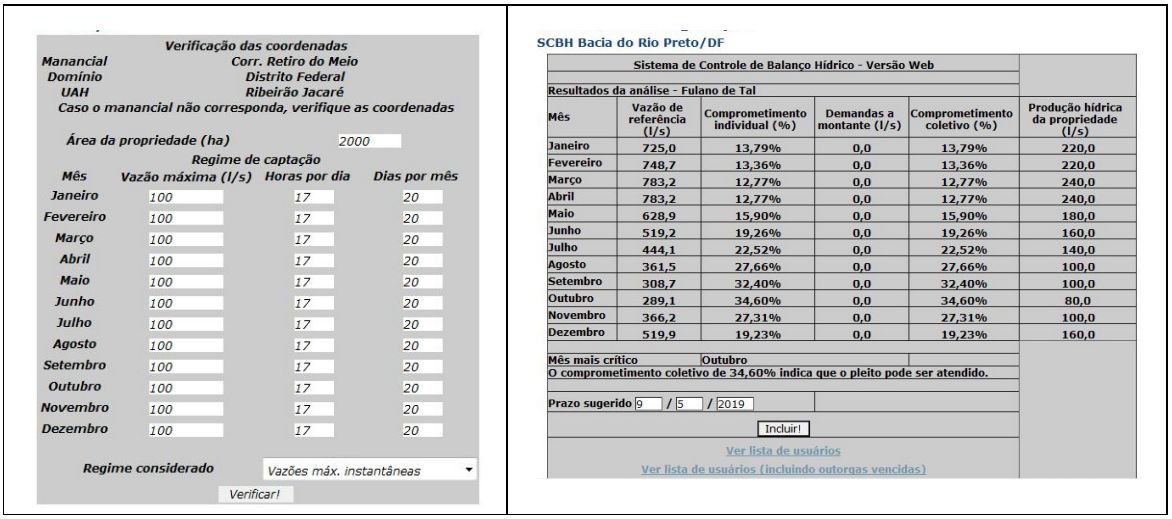


Figura 5.39. Análise de um ponto de captação em rio distrital.

De forma geral, a tela de resultados é similar à dos demais sistemas. A ADASA incorpora uma análise adicional, que avalia se a área total da propriedade é capaz de "produzir" uma vazão similar à que está sendo demandada, considerando uma vazão de referência específica

em $l.s^{-2}.km^{-2}$. Por este motivo, a tela de detalhamento da demanda solicita que o analista informe também a área total da propriedade[13].

Caso o analista da ADASA entre com uma coordenada correspondente ao ribeirão Santa Rita, o sistema identifica este como sendo um trecho de domínio da União, porém delegado ao DF, e permite que a análise prossiga.

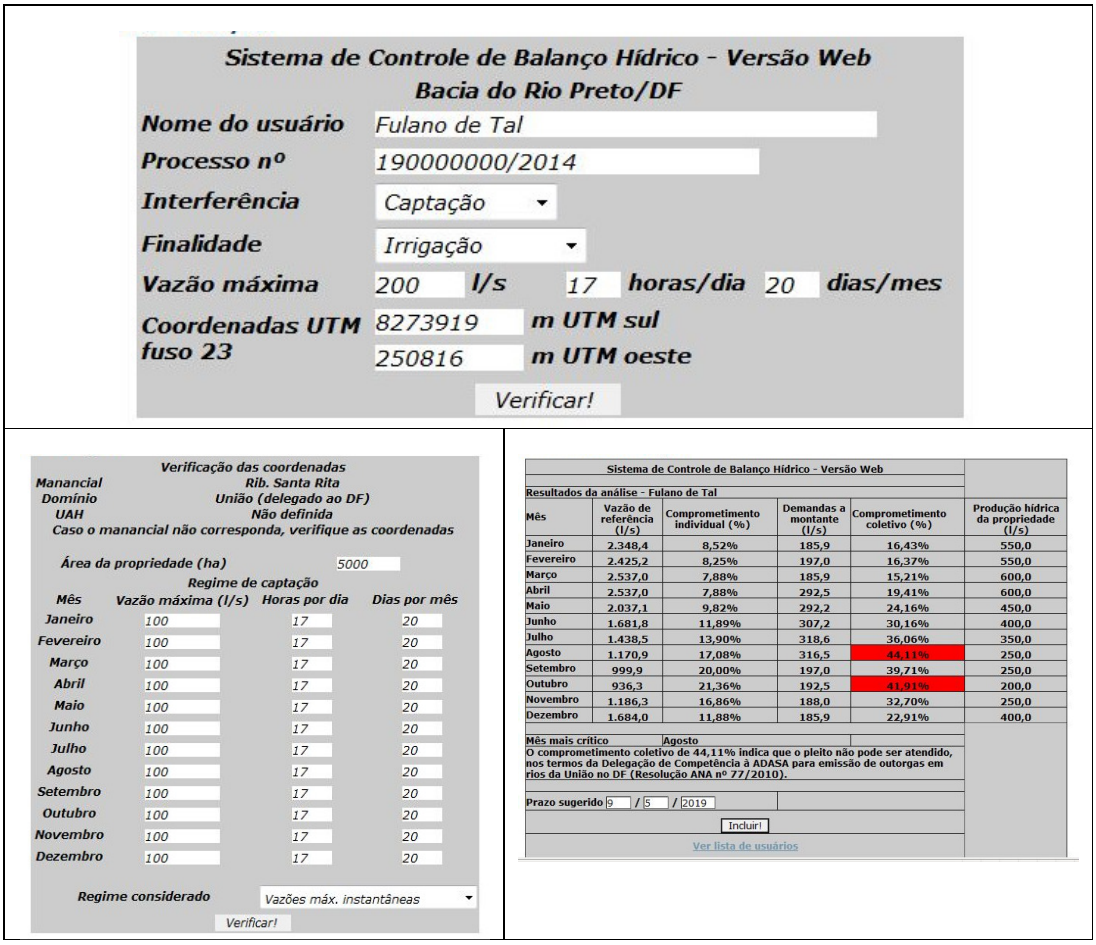


Figura 5.40. Análise realizada em manancial de domínio da União, delegado ao DF, sinalizando para o não-atendimento das condições de delegação.

No exemplo acima, o sistema apontou que o pedido não poderia ser atendido nos meses de agosto e outubro, uma vez que o comprometimento coletivo superou 40% nestes meses. Por

[13] O fato da produção hídrica ser inferior à vazão demandada não enseja um indeferimento da outorga, porém em situações de escassez, o usuário pode ser requerido a captar somente uma vazão equivalente à que é "produzida".

se tratar de manancial na divisa estadual, metade da vazão de referência é reservada ao estado de Goiás.

5.2.4. Bacia do São Marcos

O desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão para outorga na bacia do São Marcos teve um duplo objetivo. Além de municiar os órgãos gestores envolvidos com um sistema para facilitar e integrar as análises na bacia, pretendeu-se possibilitar o acompanhamento de um normativo adicional estabelecido por meio da ANA para compatibilizar os usos de irrigação e geração de energia na bacia.

A necessidade de compatibilização entre estes usos deu-se a partir da outorga da Usina Hidrelétrica (UHE) Batalha, no rio São Marcos, entre os municípios de Paracatu e Cristalina. Conforme mencionado, a outorga de empreendimentos hidrelétricos segue um procedimento distinto da outorga de usos consuntivos. Ao invés de basear-se em uma vazão característica de referência, aloca-se para geração de energia toda a série histórica de vazões, descontada de uma projeção dos usos consuntivos atuais e futuros a montante. Estes não estarão disponíveis para geração e seu montante é abatido no cálculo da garantia física de energia das usinas, previamente ao leilão.

Esta projeção é feita com base em dados censitários, extrapolando-se as tendências de anos recentes para o horizonte da outorga. Em geral, esta projeção é feita de forma conservadora, para dar folga aos órgãos gestores e não engessar o gerenciamento dos usos a montante.

Entretanto, na bacia do São Marcos, especificamente a montante da UHE Batalha, houve uma forte expansão da agricultura irrigada nas últimas duas décadas, levando à necessidade de dividir o limite alocado de usos consuntivos entre os entes envolvidos (estados de Minas Gerais e Goiás, Distrito Federal e União), para evitar que ocorresse uma superalocação e consequentemente o desatendimento à vazão alocada à usina.

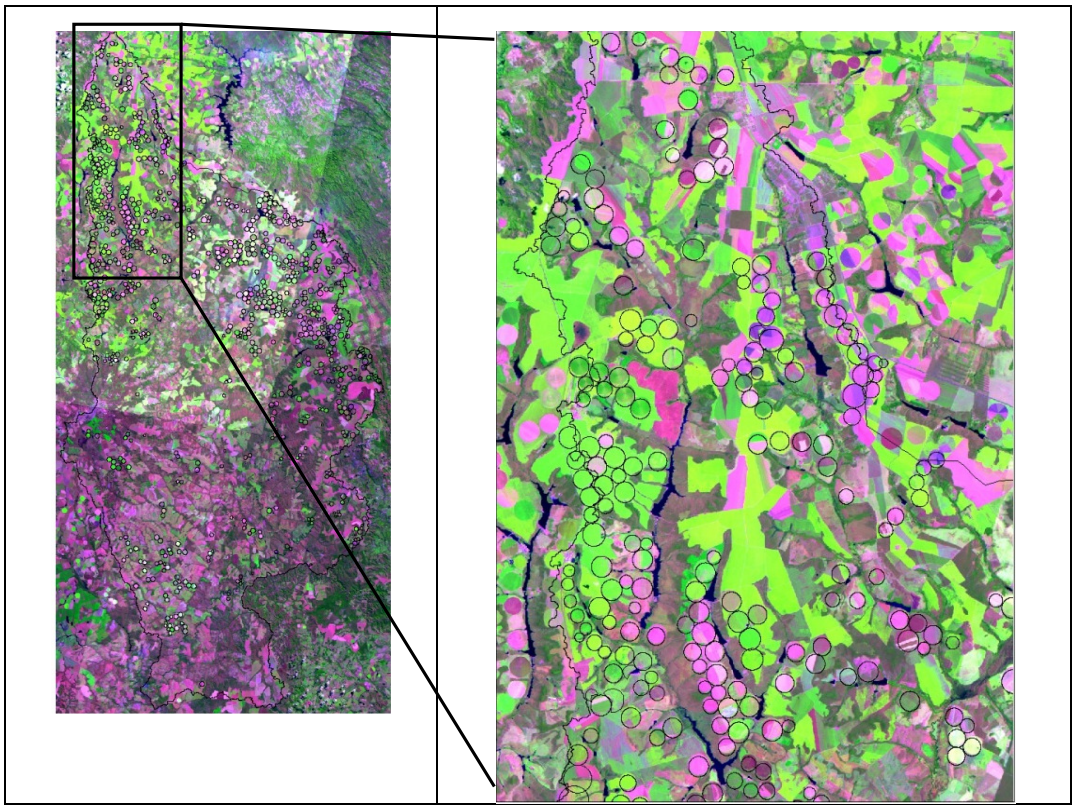


Figura 5.41. Composição de imagens LANDSAT da bacia do São Marcos, e detalhe para a sub-bacia do ribeirão Samambaia, com grande densidade de pivôs centrais

Este limite foi estabelecido pela ANA por meio da Resolução nº567, de outubro de 2010. Ao invés de dividir diretamente a vazão de consumo máxima entre os entes, optou-se por converter esta para uma área irrigável equivalente máxima por pivô central (AIEPC), método que predomina na bacia, dividindo-se a vazão total por um consumo específico em $l.s^{-1}.ha^{-1}$, definido por balanço hídrico das culturas mais comuns na bacia (Tabela 5.1). O estabelecimento dos limites em termos de área irrigada visou a facilitar o acompanhamento do cumprimento do normativo por meio de imagens de satélite.

A definição deste limite por meio de Resolução ANA baseou-se no Decreto nº3692/2000, que permite à ANA definir requisitos de vazão mínima na transição entre corpos d'água de domínio Estadual para os de domínio da União.

Tabela 5.1. Limite de área irrigável por pivô central na bacia do São Marcos, definidos por meio da Resolução ANA nº567/2010

Estado	AIEPC (ha)
Goiás	33.500
Minas Gerais	30.000
Total	**63.500**

Observa-se que não foi alocado limite de área para a União, de forma a reduzir o número de entes entre os quais o limite deveria ser dividido e com isso evitar eventuais desotimizações. No caso de outorgas em rios federais, a ANA deveria abater a área outorgada do limite disponível no estado em que se encontra o empreendimento, contabilizando as outorgas em rios estaduais e verificando se a área limite para o estado correspondente não foi superada.

O estabelecimento deste normativo por parte da ANA não foi bem aceito pela maioria dos envolvidos, tanto os órgãos gestores quanto os setores usuários. Em especial os estados de Goiás e Minas Gerais questionaram o fato de a ANA ter estabelecido limites de área irrigada em seu território, uma vez que o Decreto prevê a possibilidade somente de estabelecimento de vazões mínimas de entrega.

A contextualização acima foi feita para demonstrar que este normativo criou uma necessidade adicional de análise no contexto de tomada de decisão para outorga. Além da verificação convencional da disponibilidade hídrica local, o sistema deveria avaliar também se a área irrigada limite no Estado correspondente está sendo respeitada. Além disso, o sistema deveria proporcionar um intercâmbio de informações entre os entes, para avaliar a par e a passo o cumprimento dos limites de área irrigável por Estado.

Assim, o acesso ao sistema foi disponibilizado aos órgãos gestores envolvidos na bacia, cada um com acesso aos mananciais de seu domínio e utilizando seus respectivos critérios de outorga.

As telas iniciais do sistema são similares à das demais bacias já mostradas (Figura 5.42). Ressalta-se que neste caso o analista deve ter especial atenção sobre a correta localização do município por parte do sistema, devido ao fato dos limites de área irrigável terem sido definidos por estado. O sistema solicita também que seja informada a área a ser irrigada pelo empreendimento, o que não era necessário no caso das outras bacias.

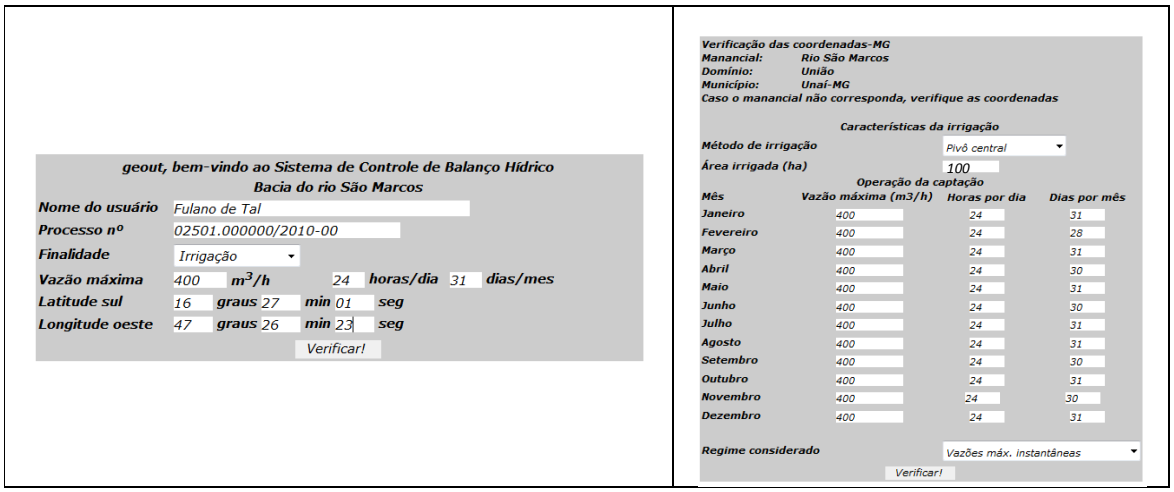


Figura 5.42. Telas iniciais do SCBH São Marcos.

A Figura 5.43 mostra a tela de resultados do sistema. Além da avaliação do balanço hídrico, o sistema avalia também o cumprimento do limite de área irrigável para compatibilização com a outorga da UHE Batalha.

Sistema de controle de balanço hídrico - Versão web 0.1				
Usuário: Fulano de Tal				
Atendimento ao Marco Regulatório- Áreas equivalentes - MG (detalhamento)				
	Este pedido (ha)	Já outorgado (ha)	Disponível (ha)	% ocupação
Total	100	1.872	30.000	6,2%
O percentual de ocupação de 6,2% da AIPEC disponível indica que o pedido de outorga pode ser deferido nos termos do Marco Regulatório do rio São Marcos				
Verificação da disponibilidade hídrica local				
Mês	Vazão de referência (m^3/s)	Comprometimento individual (%)	Demandas a montante (m^3/s)	Comprometimento coletivo (%)
Janeiro	8,10	1,37%	0,72	10,22%
Fevereiro	6,71	1,66%	0,72	12,33%
Março	8,42	1,32%	0,72	9,83%
Abril	6,66	1,67%	0,72	12,42%
Maio	5,35	2,08%	0,72	15,46%
Junho	4,40	2,53%	0,72	18,83%
Julho	3,64	3,05%	0,72	22,76%
Agosto	2,90	3,83%	0,72	28,56%
Setembro	2,78	4,00%	0,72	29,81%
Outubro	3,10	3,59%	0,72	26,71%
Novembro	4,25	2,61%	0,72	19,46%
Dezembro	6,36	1,75%	0,72	13,03%
Mês mais crítico		Setembro		
O comprometimento coletivo de 29,81% indica que o pleito pode ser atendido.				
Prazo sugerido 29 / 4 / 2019			Incluir!	
voltar para SCBH São Marcos				

Figura 5.43. Tela de resultados do SCBH São Marcos, com destaque para a avaliação dos limites de área irrigável.

Além do código do trecho, o banco de dados de usuários nesta versão contém um campo adicional com o estado em que se encontra o usuário, bem como a área irrigada equivalente. Assim, a cada análise, o sistema consulta todos os usuários outorgados que se encontram no mesmo estado, somando suas áreas irrigadas e comparando com o limite de área irrigável.

No exemplo acima, embora se tratando de captação em rio de domínio da União, o empreendimento situa-se em território de Minas Gerais, para o qual a área irrigável alocada é de 30.000 hectares, dos quais 1872 hectares já se encontram outorgados.

Ao clicar-se em "detalhamento", o sistema mostra um resumo das áreas irrigadas já outorgadas, de acordo com o método de irrigação, o estado em que se encontra e o domínio do rio (Figura 5.44). Para fins dessa comparação, outros setores usuários que eventualmente surgirem na bacia também têm sua demanda convertida para uma área irrigada equivalente por pivô central.

SCBH São Marcos

Sistema de controle de balanço hídrico - Versão web 0.1 - Atendimento ao Marco Regulatório do rio São Marcos					
Áreas equivalentes em pivô central (hectares) - ESTADO DE GOIÁS					
	Em rios Estaduais		Em rios da União		Equivalente total
	Área outorgada	Área equivalente	Área outorgada	Área equivalente	
Irrigação - Pivô central	7.286	7.286	8.002	8.002	15.288
Irrigação - Microaspersão	0	0	0	0	0
Irrigação - Gotejamento	0	0	0	0	0
Irrigação - Aspersão conv.	0	0	0	0	0
Abastecimento público		0		0	0
Indústria		0		0	0
TOTAL		7.286		8.002	15.288
				AIEPC disponível	33.500
				Porcentagem de ocupação	46%

Áreas equivalentes em pivô central (hectares) - ESTADO DE MINAS GERAIS					
	Em rios Estaduais		Em rios da União		Equivalente total
	Área outorgada	Área equivalente	Área outorgada	Área equivalente	
Irrigação - Pivô central	0	0	1.872	1.872	1.872
Irrigação - Microaspersão	0	0	0	0	0
Irrigação - Gotejamento	0	0	0	0	0
Irrigação - Aspersão conv.	0	0	0	0	0
Abastecimento público		0		0	0
Indústria		0		0	0
TOTAL		0		1.872	1.872
				AIEPC disponível	30.000
				Porcentagem de ocupação	6%

Figura 5.44. Detalhamento das áreas irrigadas outorgadas na bacia do São Marcos

As dificuldades de entendimento entre os envolvidos no gerenciamento de recursos hídricos da bacia ainda têm limitado um uso mais amplo deste sistema. De qualquer forma, mesmo que

os valores alocados e os termos de um eventual acordo sejam alterados, a ferramenta está disponível e se mostra útil em um contexto de uso integrado na bacia.

5.3. Comparação entre vantagens e desvantagens das duas versões

A sistematização da tomada de decisão em ambiente *web* tem diversas vantagens, a saber:

a. Não requer ao técnico o lançamento das coordenadas em um SIG previamente à utilização do sistema;

b. a manutenção do sistema é mais ágil, pois não requer que novas versões sejam constantemente reinstaladas nos computadores dos técnicos; ao invés disso o sistema é acessível em qualquer computador conectado à internet;

c. mantém um banco de dados de usuários individuais, facilitando o gerenciamento das demandas outorgadas. No sistema em MATLAB, por questões de processamento, o sistema armazena apenas somatórios de vazões, perdendo a informação de cada usuário individualmente. Assim, caso algum usuário fosse inserido indevidamente, todo o sistema deveria ser "re-setado";

d. permite o gerenciamento de recursos hídricos integrado entre a ANA e os órgãos gestores estaduais, todos alimentando o mesmo banco de dados. Isto resolve dois problemas simultaneamente: a demanda por sistemas de apoio à decisão para balanço hídrico nos Estados, que necessitam de sistemas similares, e a atualização do balanço hídrico em bacias com vários domínios, que é um problema recorrente nas análises de outorga na ANA;

e. permite o acesso a uma interface apenas de consulta externa, acessível através de sítio na *web*, para potenciais usuários verificarem preliminarmente a possibilidade de atendimento a uma determinada demanda, sem possibilidade de inclusão. Isto confere grande transparência ao gerenciamento de recursos hídricos, além de aliviar uma demanda aos técnicos da ANA, que são constantemente procurados informalmente por usuários para atendimento a estas consultas prévias.

Por outro lado, algumas desvantagens foram identificadas no sistema PHP em relação ao sistema anterior

a. A versão PHP é pouco gráfica, devido a limitações da linguagem de programação. Há dificuldade de lidar com mapas, arquivos shapefile, planilhas do excel e gráficos de forma geral. Isto limita a geração de resultados a formulários com os indicadores de comprometimento resultantes de análises individuais;

b. Não é possível analisar um grande número de pedidos de outorga em batelada, também devido à dificuldade do PHP em lidar com tabelas. Assim, análises de cenários de uso da bacia como um todo não são feitos de forma amigável.

5.4. Sistema de apoio à decisão para alocação negociada de água

O sistema de apoio à decisão para alocação negociada de água foi desenvolvido para os reservatórios de Mirorós e Luiz Vieira (Brumado), ambos na Bahia, e para os reservatórios Estreito e Cova da Mandioca (MG/BA), que funcionam de forma integrada. Os sistemas para os dois últimos serão apresentados aqui. Todos os sistemas realizam a simulação em intervalo mensal.

5.4.1. Luiz Vieira (Brumado)

O açude Luiz Vieira ou Brumado situa-se no rio Brumado, no município de Rio de Contas (BA) e teve sua construção concluída em 1983, com a finalidade inicial de atender ao Distrito de Irrigação do Brumado – DIB, mantido pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS). O volume armazenado é de 105 hm^3 e a vazão regularizada é de cerca de 1,3 $m^3.s^{-1}$ (http://www.dnocs.gov.br). A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** mostra uma composição de imagens de satélite do açude, bem como da sua bacia hidrográfica e da área do perímetro irrigado.

Para reforço da disponibilidade hídrica da região, o DNOCS construiu também o açude Riacho do Paulo, em um afluente do rio Brumado, que pode ser visto no canto inferior direito da **Erro! Fonte de referência não encontrada.**. Como a utilização das águas de ambos os açudes é integrada, o sistema desenvolvido aqui leva em conta também a possibilidade de alocação de água do açude Riacho do Paulo. Entretanto, o açude Riacho do Paulo não tem funcionado a contento, pois, embora tendo uma área de drenagem bem superior (1500 km^2) e um volume armazenado inferior (54 hm^3) ao de Luiz Vieira, nunca foi completamente enchido. Desta forma, o que tem acontecido na prática é que apenas o volume armazenado no

açude Luiz Vieira é alocado nas reuniões, uma vez que a disponibilidade hídrica de Riacho do Paulo é, efetivamente, nula.

O rio Brumado é um rio perene, devido ao fato de suas nascentes situarem-se na região da Chapada Diamantina, em cotas bastante altas. Existia uma estação fluviométrica no local da barragem, que operou de 1939 a 1963, com um longo período de falha entre 1952 e 1962. A partir desses dados, Collischonn e Cardoso da Silva (2010) aplicaram um modelo chuva-vazão, de forma a estender a série de vazões para um período mais representativo.

Além do DIB, o açude Luiz Vieira atende também a algumas áreas irrigadas privadas no município de Dom Basílio, a jusante do perímetro, bem como a uma série de usuários ribeirinhos, que se organizam coletivamente para a negociação. Adicionalmente, em geral existe uma exigência de manutenção de uma vazão mínima no rio. Os usuários do perímetro são ainda divididos em três blocos, de acordo com a divisão do próprio perímetro irrigado. A Tabela 5.2 mostra o resumo das demandas pleiteadas por cada usuário existente.

Cabe salientar que as demandas apresentadas na Tabela 5.2 correspondem à demanda "ideal" de cada usuário, ou seja, aquela que ele requer para atendimento pleno de suas necessidades hídricas. No entanto, é fácil observar que estas não podem ser atendidas em todo o tempo, visto que a vazão média anual demandada é muito superior à vazão regularizada do açude. Praticamente em todos os anos estas demandas têm que ser parcialmente diminuídas, sob pena de colapso hídrico do reservatório. Assim, as demandas mostradas na tabela 1 são meramente um ponto de partida para a negociação.

Tabela 5.2. Demandas pleiteadas inicialmente por cada usuário do açude Luiz Vieira, em hm^3.

Mês	Ribeiri-nhos	Dom Basílio	DIB bloco I	DIB Bloco II	DIB Bloco III	Vazão ecológica	Volume total (hm^3)	Vazão média mensal ($m^3.s^{-1}$)
Jan	0,93	0,35	2,11	1,53	4,27	0,40	9,58	**3,578**
Fev	1,06	0,35	2,75	2,11	4,60	0,40	11,26	**4,655**
Mar	0,87	0,35	2,45	1,80	3,44	0,38	9,28	**3,465**
Abr	0,98	0,35	2,92	2,23	4,07	0,40	10,95	**4,224**
Mai	0,89	0,35	2,55	2,07	3,94	0,39	10,18	**3,802**
Jun	0,79	0,35	2,04	1,89	3,61	0,40	9,08	**3,501**
Jul	0,75	0,78	2,15	1,85	3,43	0,39	9,35	**3,490**
Ago	0,84	0,78	2,51	1,97	3,74	0,40	10,25	**3,826**
Set	1,06	0,86	3,16	2,47	4,66	0,40	12,62	**4,868**
Out	1,15	0,78	3,11	2,47	5,02	0,39	12,91	**4,819**
Nov	1,17	0,52	2,75	2,15	5,25	0,40	12,25	**4,726**
Dez	0,72	0,26	1,58	1,09	3,24	0,39	7,28	**2,717**
Total	**11,21**	**6,05**	**30,06**	**23,63**	**49,29**	**4,74**	**124,98**	

A tela inicial do sistema desenvolvido é mostrada na Figura 5.45.

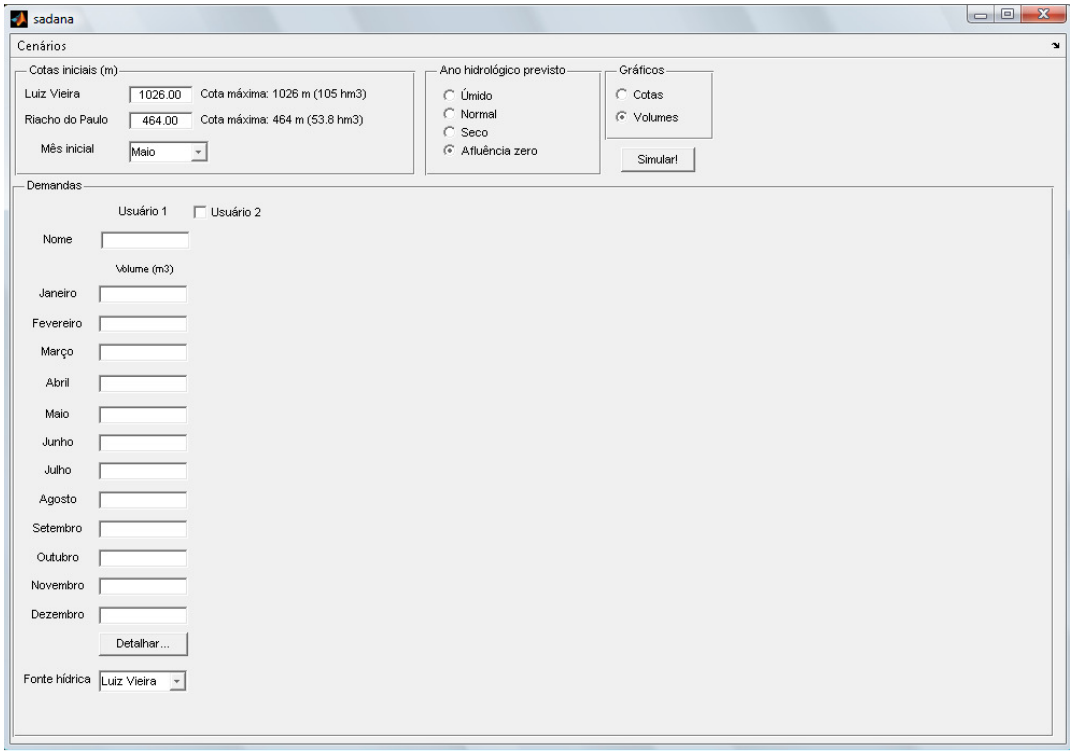


Figura 5.45. Tela inicial do sistema desenvolvido

O usuário (idealmente um técnico responsável pela coordenação da negociação) deve entrar com a informação da cota lida no reservatório em data recente anterior ao dia em que a negociação é realizada (o *default* é a cota 1026m para o açude Luiz Vieira e 464m para Riacho do Paulo, correspondente à acumulação máxima de cada açude). Deve selecionar também o mês inicial da simulação (menu "Mês inicial"), para o qual são facultados os meses de maio, junho, julho e agosto, período em que normalmente se realizam as reuniões. O sistema pode ser simulado com 1 a 10 grupos de usuários. Ao preencher as demandas mensais do primeiro usuário, um segundo usuário pode ser adicionado ao dar-se um *check* em "Usuário 2", quando abre-se a possibilidade de adicionar um terceiro usuário e assim por diante.

As demandas são expressas em volume total mensal, em m^3, que deve ser inserido nas células correspondentes. Alternativamente, estas podem ser inseridas através do botão "Detalhar", que permite que este volume seja obtido entrando-se a vazão máxima (em m^3/s), número de horas por dia e número de dias por mês em janelas auxiliares, conforme Figura 5.46.

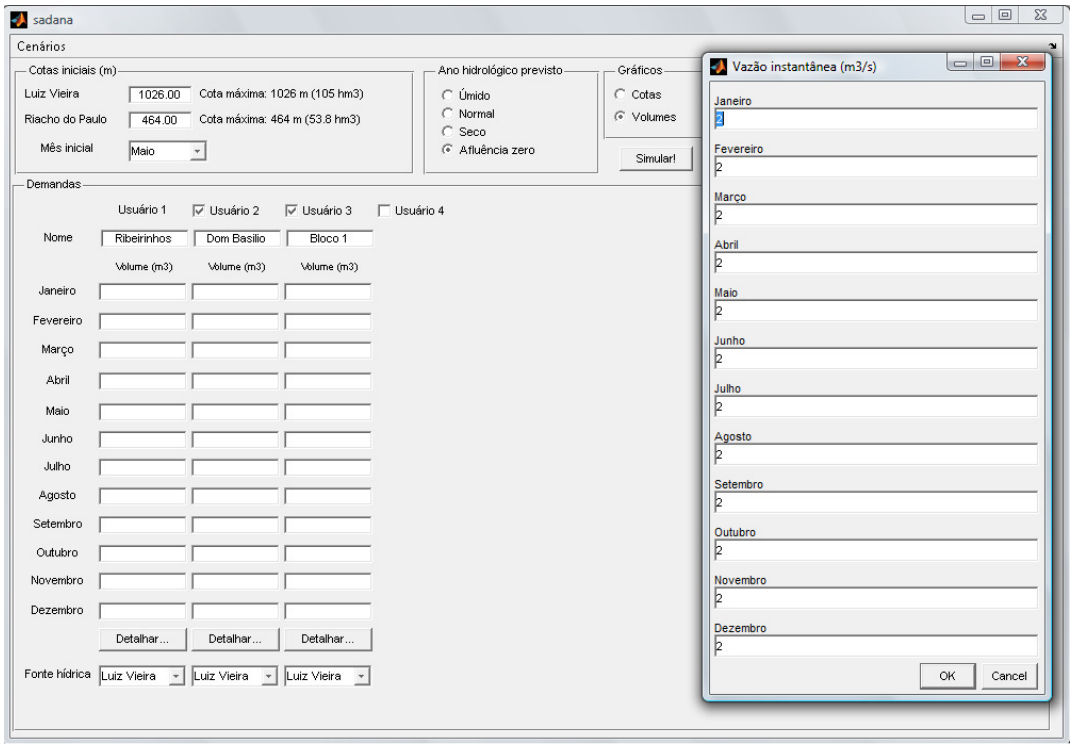


Figura 5.46. Adição de novos usuários e detalhamento dos volumes mensais

Devem ser preenchidas as demandas de tantos usuários quanto se queira simular. A Figura 5.47 mostra a tela do sistema preenchida com as demandas levantadas no item anterior.

Além das demandas, o usuário deve identificar de qual reservatório cada usuário retira sua água. Adicionalmente, deve informar se o próximo ano hidrológico previsto será úmido, médio ou seco. Alternativamente, o usuário pode simular o sistema considerando nenhuma afluência (bastante conservador neste caso). Por fim, o usuário deve informar se os gráficos de saída serão em termos de cota ou volume acumulado. Esta última opção só tem efeito no tipo de gráfico de saída, e a escolha dependerá de qual grandeza os usuários estão mais familiarizados.

O resultado da simulação, o qual efetivamente se constitui no parâmetro para tomada de decisão, é o comportamento volumétrico de ambos os açudes ao longo do(s) ano(s) hidrológico(s) previstos. O sistema plota a série prevista de volumes com previsão de 12/24 meses à frente, conforme Figura 5.48.

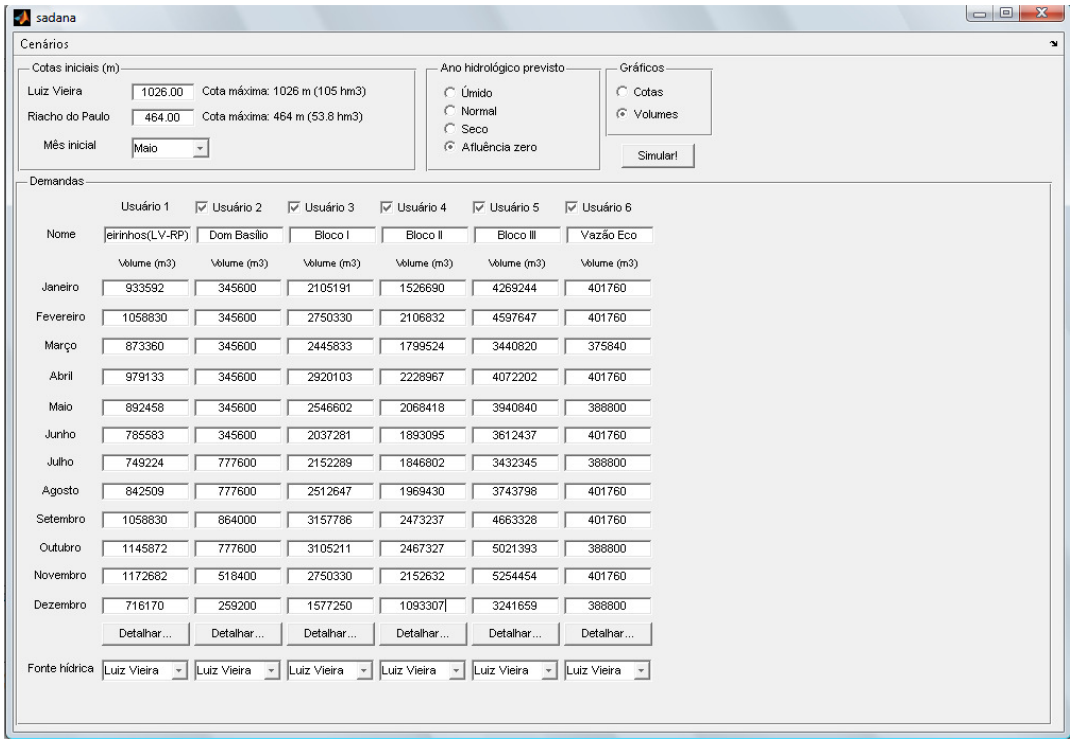


Figura 5.47. Sistema preenchido com as demandas pleitadas por cada usuário do açude Luiz Vieira.

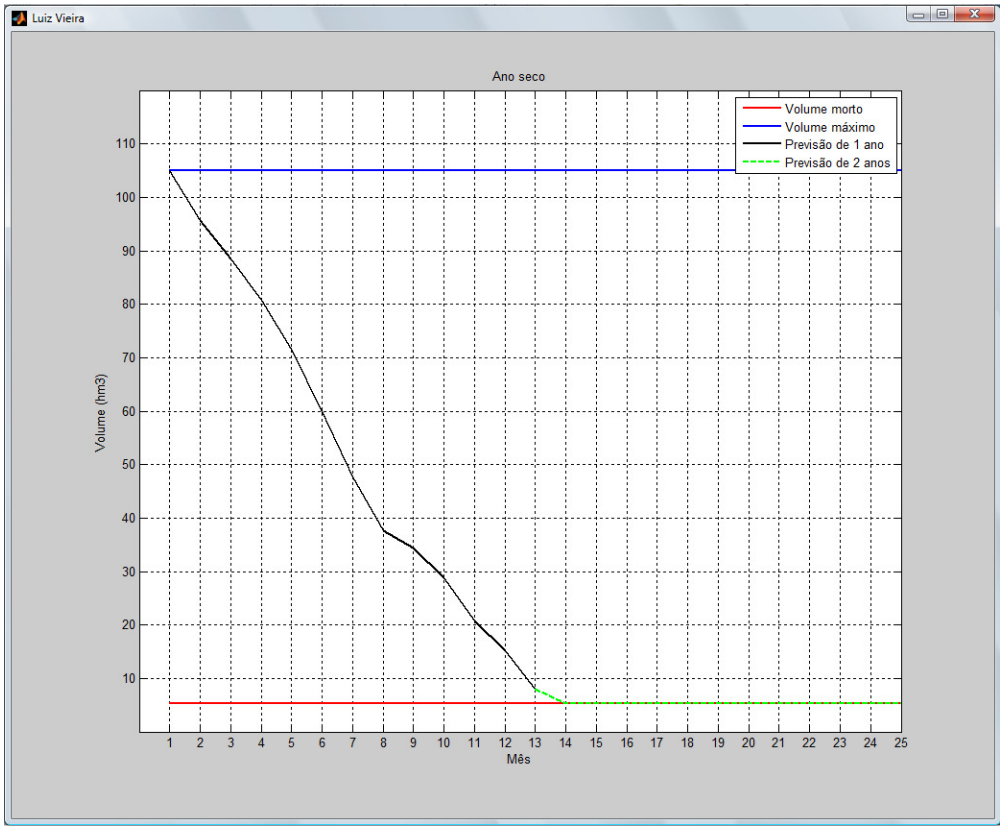


Figura 5.48. Comportamento volumétrico do açude Luiz Vieira, considerando as demandas informadas, supondo um ano hidrológico seco e partindo de reservatório cheio.

Os gráficos resultantes mostram a variação de volume, o volume máximo e o volume morto em cada açude, na hipótese de ocorrência dos anos hidrológicos previstos. Como se vê, para o cenário de demandas "ideais", em um ano mais seco, o açude secaria ao fim do primeiro ano, mesmo partindo da acumulação máxima, o que ressalta a necessidade de uma alocação mais restritiva da água.

Mesmo supondo uma sequência de dois anos médios, o açude acabaria por secar, conforme Figura 5.49.

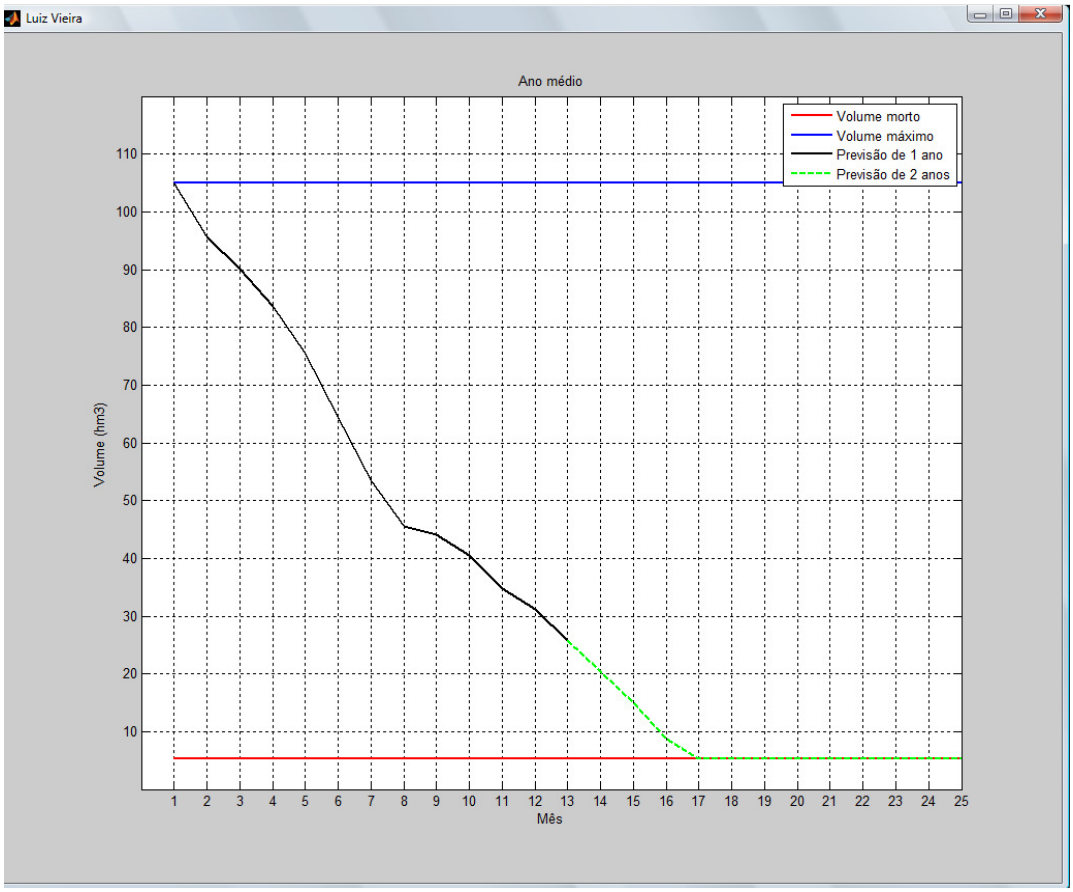


Figura 5.49. Comportamento volumétrico considerando as demandas informadas e supondo um ano hidrológico médio

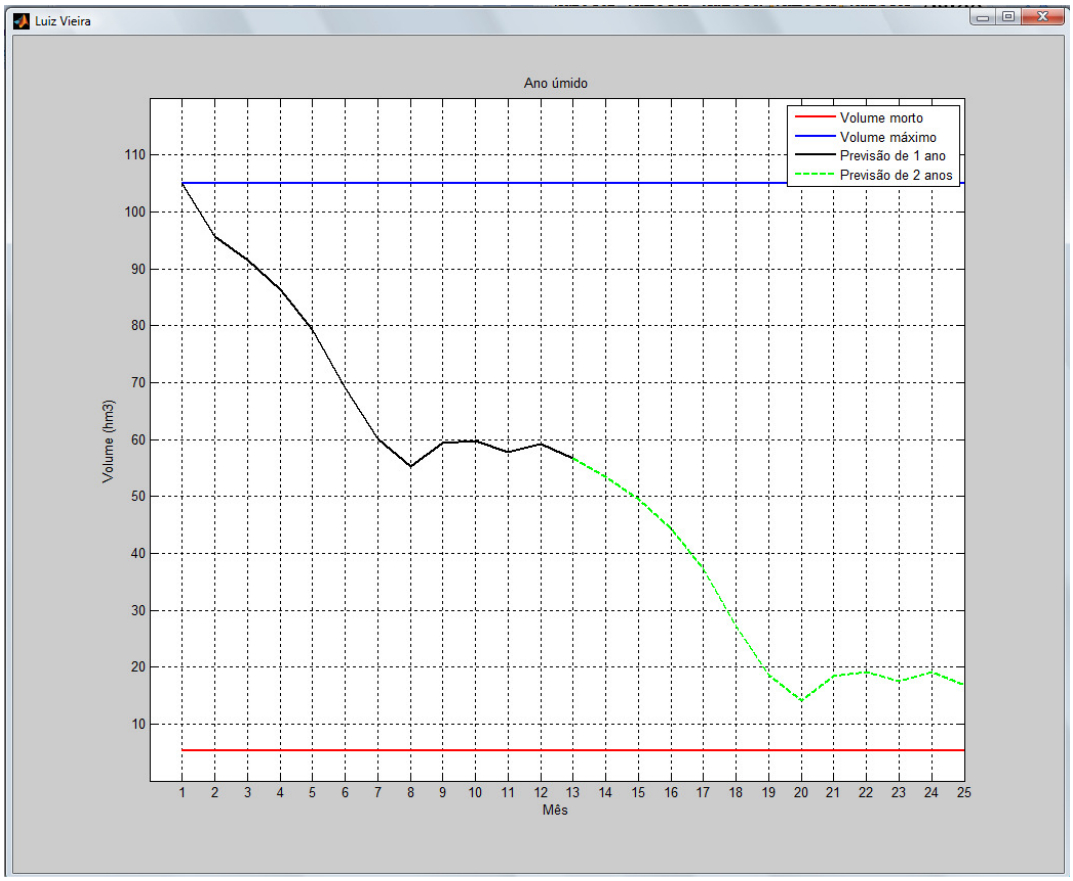


Figura 5.50. Comportamento volumétrico considerando as demandas informadas e supondo um ano hidrológico úmido.

Adicionalmente aos gráficos, um pequeno painel é visualizado após a simulação, contendo os resultados em termos de cota, volume e volume relativo, ao fim dos anos de simulação 1 e 2, para ambos açudes.

A partir da simulação inicial, começa o processo de negociação propriamente dito. Normalmente, a coletiva de usuários não tolera um nível de armazenamento tão baixo como mostrado na Figura 5.48 e na Figura 5.49, de forma que é necessário restringir um ou mais usuários. Por exemplo, o distrito de irrigação pode abrir mão de determinada área de culturas anuais, ou optar por obter menos produtividade das culturas perenes. Ou então os irrigantes em Dom Basílio abrem mão de uma área irrigada por um método menos eficiente. A cada alteração nos volumes demandados, o sistema é simulado novamente, verificando-se o armazenamento do açude ao fim do período de dois anos, até que se obtenha um nível que seja tolerado por todos os usuários.

Uma facilidade adicional implementada no sistema é a leitura dos volumes mensais demandados a partir de uma planilha MS Excel, em formato pré-definido. Isto é feito ao

clicar-se no menu “Cenários/Abrir Cenário”, e navegando-se até a planilha já preenchida, conforme Figura 5.51.

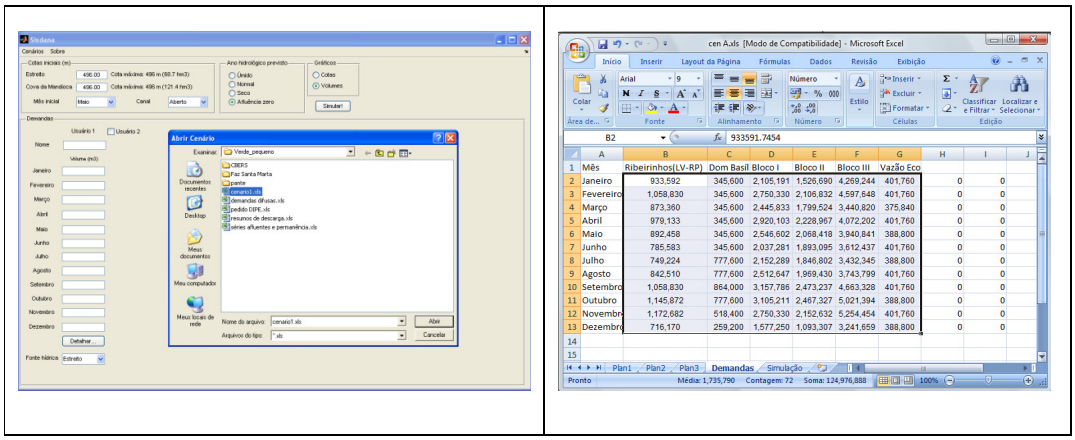


Figura 5.51. Leitura de planilha de demandas e formato das demandas em MS Excel®

A leitura de planilhas de demanda externas agiliza o processo de negociação, uma vez que estas não precisam ser digitadas uma a uma na tela do sistema, podendo ser calculados vários cenários de demanda previamente à negociação propriamente dita. Da mesma forma, ao final da negociação, o cenário aprovado pode ser salvo em “Cenários/Salvar Cenário”. Esta opção salva, além do quadro de demandas, uma segunda planilha com a série volumétrica simulada para cada açude.

Como mencionado, o sistema apresentado já foi utilizado nas reuniões de alocação negociada de água do açude Luiz Vieira em anos recentes. Nestas, houve um acompanhamento por parte do órgão gestor, que coordenou as reuniões e fez as simulações no sistema, apresentando os gráficos ao fim de cada iteração.

Em alguns casos, a tolerância ao risco pode ser bastante alta. Por exemplo, no ano de 2010, optou-se por utilizar mais água e correr o risco nos próximos anos, uma vez que o preço da manga atingiu níveis bastante bons no mercado. Os usuários de água fazem, portanto, um *trade-off* entre suas necessidades hídricas, a perspectiva de renda imediata e futura. Desta forma, ao fim de intensa negociação, chega-se a um volume de consenso.

Ao fim da negociação de 2010, houve uma redução de mais de 40% na demanda de todos os usuários. Ainda assim, na hipótese de ocorrência de dois anos secos em sequência, o reservatório deverá chegar a um armazenamento de apenas 10%, mostrando que os usuários estão assumindo um risco alto, porém justificado, devido às altas cotações recentes das culturas irrigadas (manga e maracujá para exportação).

Além da reunião em si, o processo de alocação negociada é acompanhado mensalmente por todos os interessados. A curva de armazenamento gerada constitui-se em uma curva-guia, sendo que o reservatório deve ser operado de forma a manter-se sempre acima desta curva. Idealmente, essa curva deveria ser reavaliada mensalmente, à medida em que o volume efetivamente observado se afasta do que foi previsto. Entretanto, devido a dificuldades de articulação e mobilização dos interessados, na prática a alocação é feita somente uma vez por ano.

5.4.2. Estreito/Cova da Mandioca

O Distrito de Irrigação do Projeto de Estreito foi estabelecido em 1971, com a construção da Barragem de Estreito e assentamento inicial de produtores. Este primeiro reservatório se mostrou insuficiente para atender à demanda projetada, de forma que em 1975, se concluiu o reservatório de Cova da Mandioca, que complementa as afluências hídricas a Estreito e aumenta significativamente a capacidade de armazenamento do sistema, por meio de um canal que interliga ambos os reservatórios.

Foram previstas 4 etapas de implantação do perímetro, abastecido por canais (gravidade) a partir dos reservatórios, inicialmente adotando-se irrigação por sulcos em boa parte da área de 8.500 ha. Em virtude da baixa eficiência deste método e da grande área inicialmente prevista, a maior parte do perímetro não chegou a receber água efetivamente, com uma parcela significativa das áreas em sequeiro ou não produtiva. A Figura 5.52 mostra a localização relativa dos reservatórios e do projeto de irrigação, onde se vê que boa parte da etapa IV ainda não se encontra instalada.

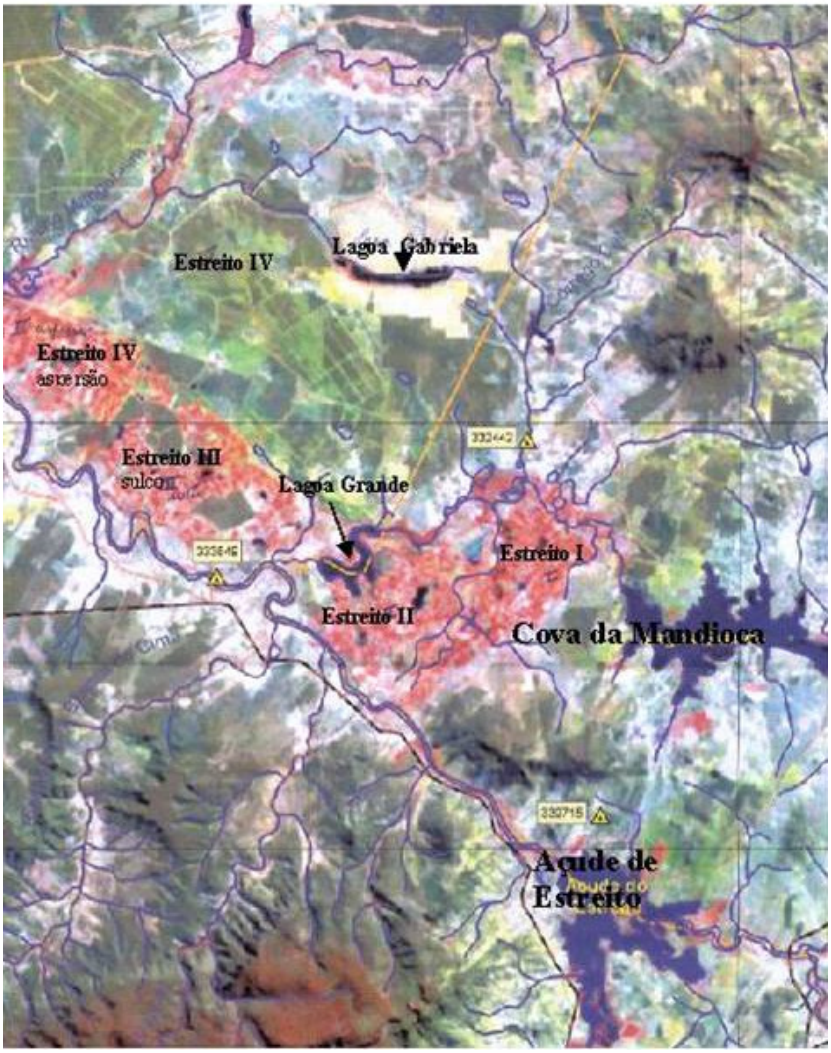


Figura 5.52. Sistema Estreito-Cova da Mandioca e perímetro de irrigação a jusante

Adicionalmente, um número significativo de usuários passou a se instalar no entorno dos reservatórios, gerando efetivamente um conflito pelo uso de água. Atualmente, a irrigação por sulcos no perímetro vem sendo pouco a pouco substituída por métodos mais eficientes, e a CODEVASF tenciona elevar a cota do vertedor de Estreito, de forma a aumentar a sua capacidade de acumulação. Mesmo assim, a capacidade do sistema é atualmente insuficiente para atendimento de todas as demandas existentes.

As demandas hídricas pleitadas por cada usuário são mostradas na Tabela 5.3.

Tabela 5.3. Síntese de todas as demandas levantadas nos açudes Estreito e Cova da Mandioca.

Demanda	Área irrigada (ha)	Vazão ($l.s^{-1}$)
Estreito I sulco	178	249
Estreito I aspersão	382	306
Estreito II aspersão	458	366
Estreito III sulco	566	792
Estreito III aspersão	567	454
Estreito IV	550	440
Ampliação Estreito IV	5294	4235
Usuários Cova	328	64
Usuários Estreito	334	230
Usuários perenização	96	202
COPASA		59
Total		**7397**
Total sem ampliação		**3162**

Assim, tem-se uma demanda total atualmente instalada de 3,16 $m^3.s^{-1}$. Se for levada em conta a demanda para ampliação do perímetro, a demanda total chega a 7,4 $m^3.s^{-1}$, cerca de 4 vezes superior à disponibilidade hídrica estimada.

O algoritmo de balanço hídrico neste sistema teve de ser adaptado para contemplar a interligação entre os reservatórios. Para isso, o analista pode optar por manter as comportas do canal de interligação abertas (situação em que ocorre intercâmbio de água) ou fechadas (situação em que o balanço hídrico é feito individualmente para cada reservatório).

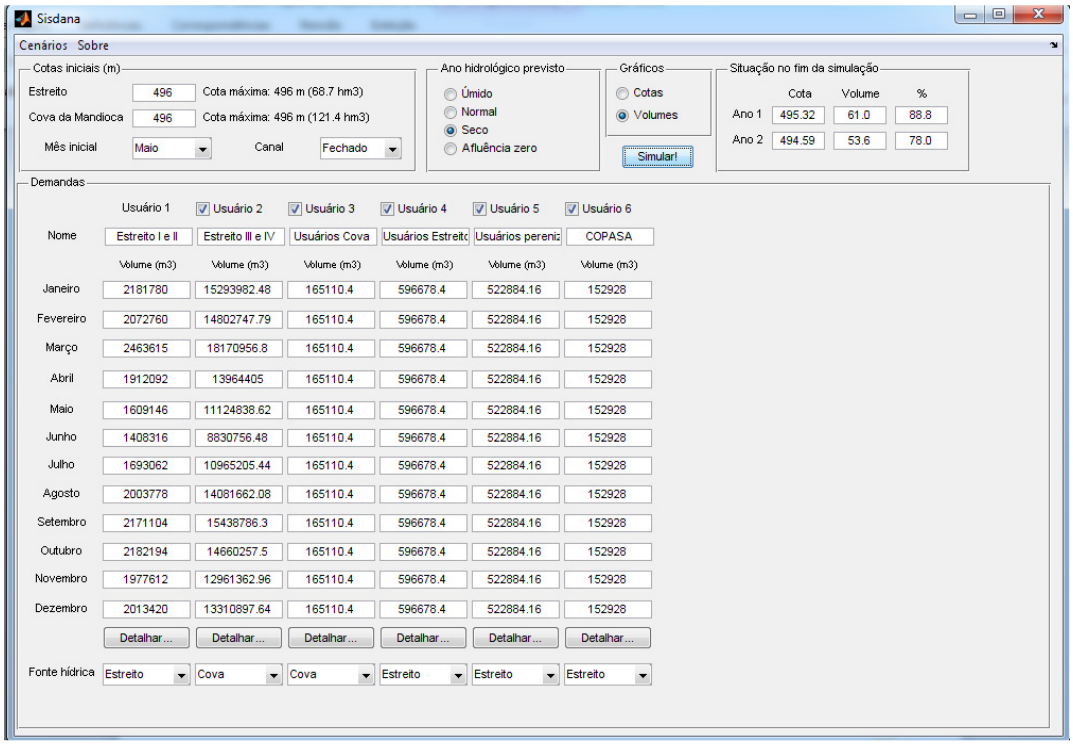


Figura 5.53. Tela inicial do sistema, preenchida com as demandas pleiteadas pelos diferentes usuários

Inicialmente, o balanço hídrico é feito de forma individual para cada reservatório, por meio da eq. (16). Ao fim da primeira fase de cálculo, resulta um volume armazenado para cada reservatório[14]. O sistema identifica as cotas correspondentes para cada açude. Caso o usuário tenha optado por comportas abertas durante a simulação, as seguintes situações podem ocorrer:

a. Cotas iguais nos dois reservatórios: não há transferência de água entre ambos;
b. Cotas abaixo da cota de fundo do canal: não há transferência de água entre ambos;
c. Cota em Estreito mais alta do que em Cova e acima da cota de fundo do canal: transferência de água de Estreito para Cova, até que haja equilíbrio hidrostático (cotas iguais em ambos) ou até que o nível baixe da cota de fundo do canal;
d. Cota em Cova mais alta do que em Estreito e acima da cota de fundo: transferência de água de Cova para Estreito, até que haja equilíbrio hidrostático (cotas iguais em ambos) ou até que o nível baixe da de fundo;

O resultado da simulação para a política de uso expressa nas demandas da Tabela 5.3 é mostrado na Figura 5.54.

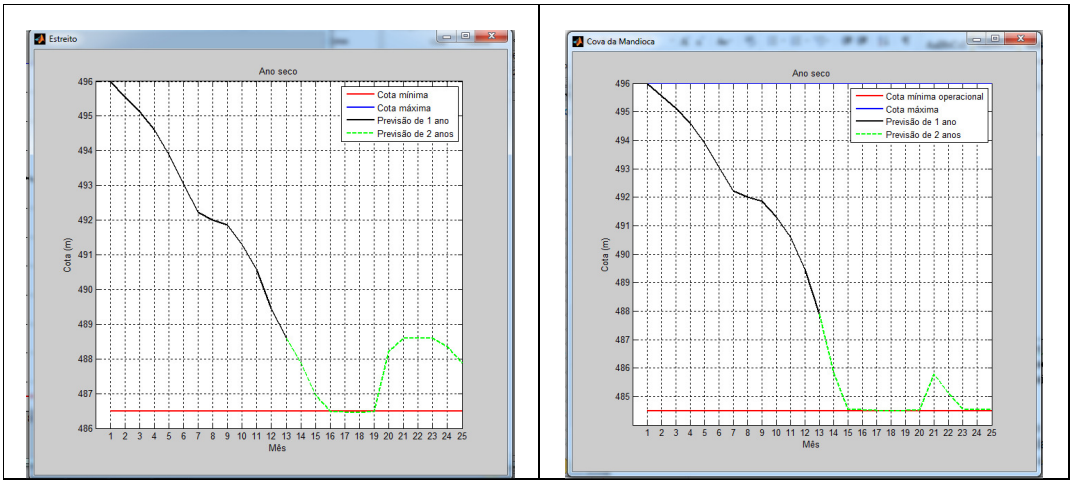


Figura 5.54. Comportamento volumétrico dos açudes Estreito (esquerda) e Cova da Mandioca (direita), considerando as demandas informadas e supondo um ano hidrológico seco e partindo de reservatório cheio.

[14] Para simulações de longo prazo, este conjunto de reservatórios deve ser simulado em intervalo diário, devido à baixa capacidade do canal de interligação, sob pena do intervalo mensal mascarar a capacidade de transferência e de acumulação do reservatório equivalente. Entretanto, como as simulações no contexto dessa tese sempre contemplam baixa afluência e baixo armazenamento, a simulação em intervalo mensal não traz maiores consequências.

Os gráficos resultantes mostram a variação de volume, o volume máximo e o volume morto em cada açude. Como se vê, para o cenário de demandas exemplificado, ambos os açudes secariam ao longo do segundo ano, mesmo partindo da acumulação máxima.

Apenas a título de exemplo, mostram-se os gráficos considerando as comportas fechadas, ou seja, não há transferência de água entre açudes ao longo de toda a simulação (Figura 5.55).

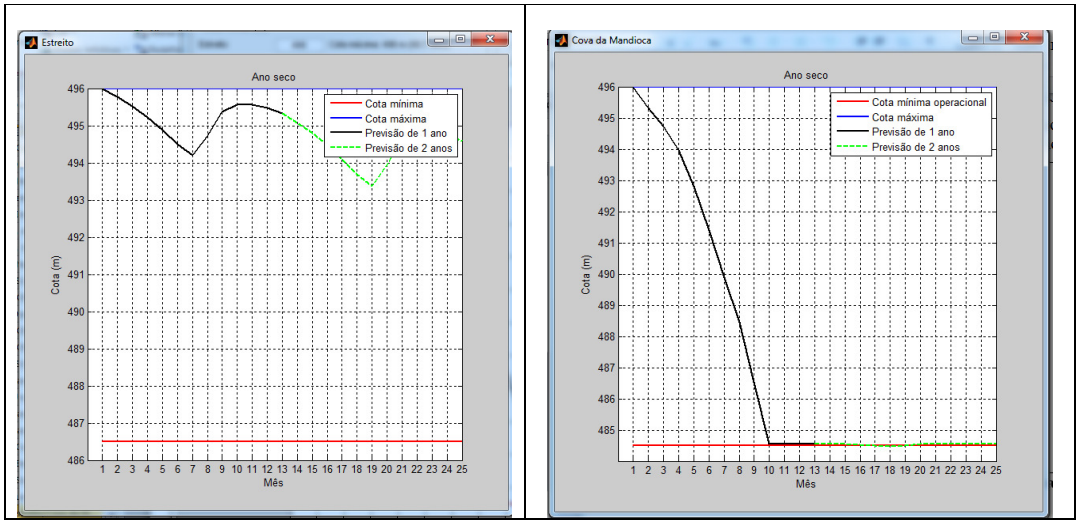


Figura 5.55. Comportamento volumétrico considerando as comportas fechadas, ano médio.

Como se vê, no caso de comportas fechadas, o açude Cova da Mandioca seca muito mais rapidamente, por não haver o aporte do Açude Estreito através do canal. A transferência de água se dá preferencialmente neste sentido, visto que a área de drenagem e a afluência a Estreito são muito maiores do que em Cova da Mandioca.

Adicionalmente aos gráficos, um pequeno painel é visualizado após a simulação, contendo os resultados em termos de cota, volume e volume relativo, ao fim dos anos de simulação 1 e 2, para ambos açudes.

Em 2011, este sistema foi usado para realizar alocação negociada de água dos açudes, levando à necessidade de restrições de 10 a 15% em todos os usuários de irrigação a montante e a jusante. Além disso, o sistema demonstrou que o impacto dos usuários do entorno é pequeno frente às demais demandas existentes, ao contrário do que vinha sendo apontado por alguns usuários, que identificavam naqueles o motivo da implementação apenas parcial do perímetro de irrigação.

5.5. Benefícios do uso do sistema

Os resultados do número de outorgas analisadas pelo sistema em uso na ANA são coletados desde o ano de 2008, em que as primeiras bacias foram sistematizadas. Esta avaliação não inclui o sistema de apoio à alocação negociada. A Tabela 5.4 mostra os resultados ano a ano, de acordo com o tipo de interferência (captação ou lançamento).

Tabela 5.4. Número de interferências avaliados por meio do SCBH na ANA, de 2008 a 2013.

	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	Cap	Lan	Cap	Lan	Cap	Lan	Cap	Lan	Cap	Lan	Cap	Lan
São Francisco	226	44	244	11	217	16	280	9	248	16	370	13
Paraná	130	30	183	10	191	32	207	44	363	28	451	43
Doce	0	0	40	5	48	5	66	34	71	26	148	42
Tocantins	0	0	0	0	32	7	37	17	32	12	64	18
Piranhas-Açu	5	7	0	0	18	6	5	1	13	1	37	0
Paraíba do Sul	2	0	27	11	31	7	291	41	74	52	92	86
Uruguai	0	0	0	0	1	0	31	3	33	0	29	3
São Marcos	0	0	0	0	0	0	41	0	11	0	18	0
Açudes NE	0	0	0	0	6	0	33	0	32	0	218	0
Total	**444**		**531**		**617**		**1140**		**1012**		**1632**	

O gráfico na Figura 5.56 mostra a evolução temporal do número de interferências (pontos de captação e lançamento) analisadas em cada bacia.

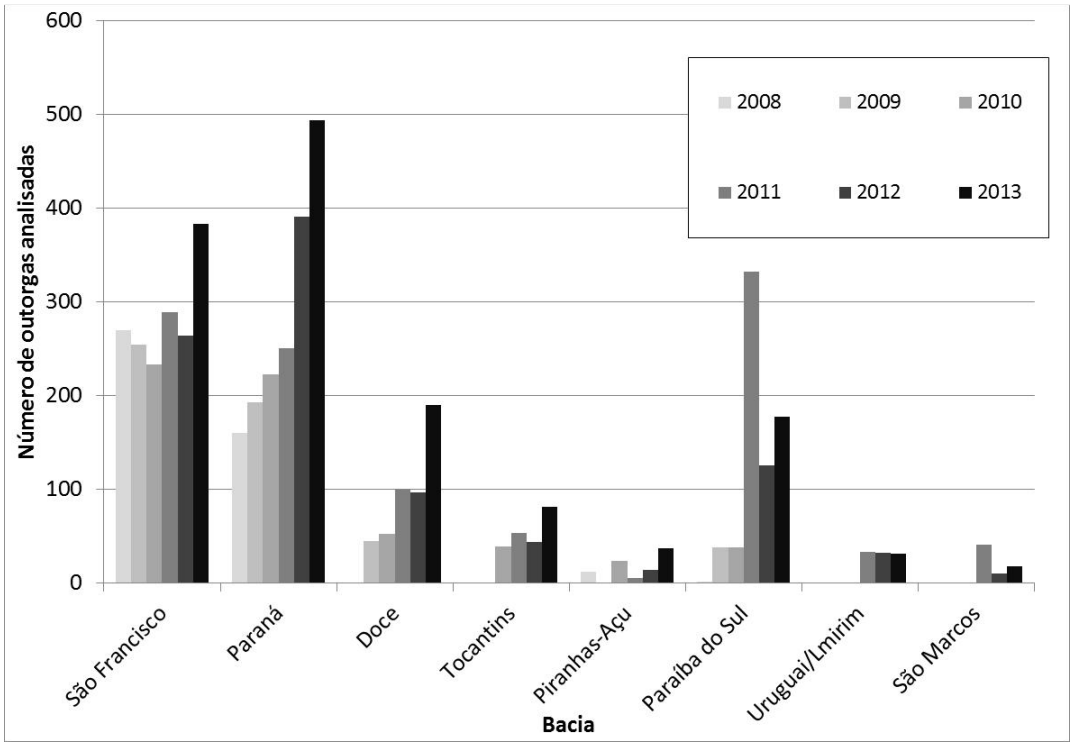


Figura 5.56. Número de interferências analisadas ano a ano

O aumento do número de outorgas analisadas é consequência da sistematização de um maior número de bacias ao longo do tempo e também do aumento no número de pedidos de outorga. Em algumas das bacias sistematizadas, houve introdução da cobrança pelo uso de recursos hídricos no período, fazendo com que diversos usuários ajustassem sua outorga para um valor mais realista, visando a diminuir o valor pago. Além disso, a capacidade de fiscalização da ANA também aumentou no período, com aumento do número de servidores e campanhas de campo, o que ensejou diversos pedidos de outorga e alteração de outorga em função de autos de infração. Por fim, o próprio crescimento econômico do Brasil, a disponibilidade de verbas da União para saneamento, o bom preço recente das culturas irrigadas e fomentos da nova política nacional de irrigação (lei nº12787, de 11 de janeiro de 2013) levaram a um aumento natural da procura pela outorga.

O número de interferências analisadas foi comparado com o número total de outorgas emitidas pela ANA a cada ano, de forma a avaliar a abrangência do SCBH. A comparação é mostrada na Tabela 5.5.

Tabela 5.5. Relação entre número de análises do SCBH e número total de outorgas emitidas pela ANA

Ano	Análises SCBH	Outorgas ANA	Proporção
2008	444	1414	31%
2009	531	1228	43%
2010	617	781	79%
2011	1107	1324	84%
2012	1012	983	103%
2013	1632	1715	95%

A rigor, a proporção está um pouco superestimada, uma vez que o levantamento do número de outorgas emitidas pela ANA contempla o número de atos de outorga emitidos, enquanto que as estatísticas do SCBH referem-se ao número de interferências analisadas. Porém, uma mesma outorga pode contemplar várias interferências (por exemplo uma concessionária de saneamento que possui um ponto de captação e um ponto de lançamento, ou empreendimentos de irrigação de maior porte com vários pontos de captação). Isto explica em parte o fato de a proporção superar 100% no ano de 2012. Entretanto, a grande maioria das outorgas emitidas contempla apenas uma interferência.

Outro fator que explica a diferença é o fato de que algumas outorgas cuja análise é realizada em um dado ano só são aprovadas no ano seguinte, devido aos trâmites administrativos para

ultimar resoluções, deliberação etc. De qualquer modo, observa-se que o SCBH é responsável pela grande maioria das análises atualmente realizadas pela ANA. A análise convencional, sem o uso do sistema, ainda permanece sendo feita para pedidos de outorga na bacia amazônica e do Paraguai, que, embora representativas em termos de território, têm pouca demanda de água atualmente. Além destas, não estão sistematizadas a bacia do Parnaíba, a bacia do Ribeira (PR/SP) e outras pequenas vertentes litorâneas.

A estimativa da economia proporcionada pelo sistema levou em conta que uma análise convencional, sem o uso do SCBH, leva pelo menos 5 horas, se for realizada por um especialista relativamente experiente e familiarizado com a bacia. Considerando que a hora de trabalho de um especialista em recursos hídricos em um nível intermediário da carreira é de cerca de R$ 85, a economia proporcionada pelo sistema ao longo dos últimos anos é mostrada na Tabela 5.6.

Tabela 5.6. Economia proporcionada pelo SCBH de 2008 a 2013.

Ano	Análises	Economia
2008	444	R$ 188.700,00
2009	531	R$ 225.675,00
2010	617	R$ 262.225,00
2011	1107	R$ 470.475,00
2012	1012	R$ 430.100,00
2013	1632	R$ 693.600,00
Total	**5343**	**R$ 2.270.775,00**

Esta economia se dá na forma de outros serviços realizados pelos especialistas antes alocados na análise convencional de balanço hídrico, descrita no item 4.1.

Embor o tempo de análise seja estimado em 5 horas, estima-se que o SCBH reduziu em cerca de 15 dias o tempo total de trâmite de um processo de outorga na ANA. Isto porque a análise de disponibilidade hídrica e a condução administrativa do processo são feitas em gerências diferentes, fazendo com que haja protelação devido a fatores administrativos como trâmites internos, despachos, férias do especialista envolvido, priorização de outras atividades, entre outros fatores inerentes à administração pública. Como idealmente o prazo para manifestação da ANA é de 60 dias, estima-se que o usuário pode ter sua resposta em um tempo até 25% menor, gerando benefícios para a economia do país como um todo.

Há um fator adicional de economia que não é facilmente mensurável, que é o fato de o sistema propiciar maior continuidade no fluxo processual como um todo, não exigindo que o especialista responsável pela condução administrativa interrompa a análise para envio a uma

outra unidade. Com isso, é possível manter o foco em uma mesma solicitação, ganhando familiaridade com o processo.

Outra vantagem não-mensurável é a garantia de que todas as análises foram realizadas através de uma metodologia uniforme, garantindo consistência entre análises distintas em uma mesma bacia hidrográfica.

5.6. Avaliação do uso do sistema pelos usuários (analistas)

O questionário de avaliação do uso do SCBH foi respondido por 24 dos 27 analistas para o qual foi enviado, sendo 18 da ANA e 6 de órgãos gestores estaduais. As respostas foram anônimas, entretanto o questionário foi enviado em momentos diferentes aos analistas da ANA e dos órgãos estaduais, permitindo avaliar diferenças na percepção de cada órgão. As respostas que não se encaixaram em nenhuma das alternativas pré-definidas são listadas no Anexo A 6. O sistema de apoio à alocação negociada não foi incluído nesta avaliação.

Com relação à primeira pergunta "*Em que medida você entende que o uso do SCBH transformou os procedimentos de análise de outorga de direito de uso e outorga preventiva?*", os resultados foram os seguintes (Figura 5.57):

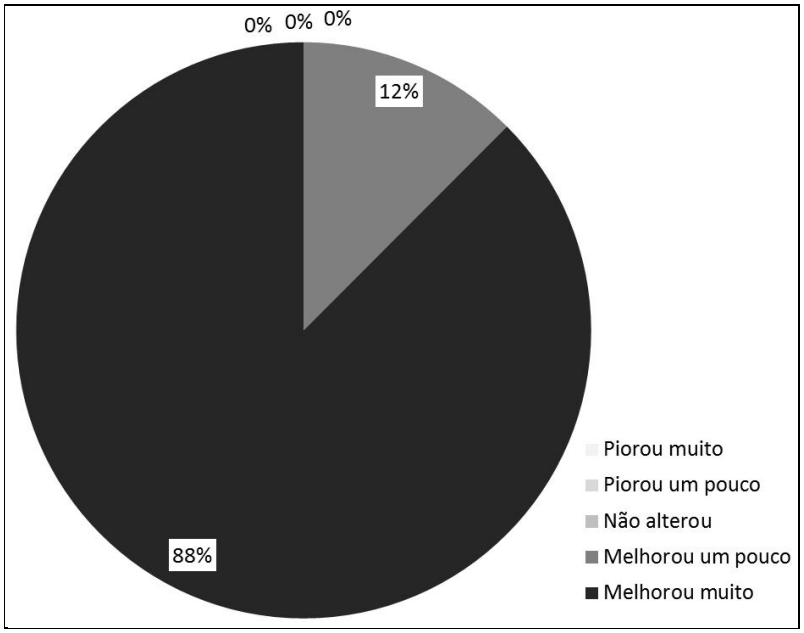


Figura 5.57. Grau de satisfação dos analistas com o uso do SCBH em relação aos procedimentos de análise de outorga

Observa-se que a totalidade dos entrevistados entende que o sistema desenvolvido melhorou, em alguma medida, os procedimentos de análise de outorga nos órgãos em que trabalham. A grande maioria (88%) afirma que que o sistema melhorou muito as análises.

Na pergunta nº 2 "*Caso a resposta anterior seja (d-melhorou um pouco) ou (e-melhorou muito), identifique em que aspectos o SCBH melhorou os procedimentos*", os entrevistados podiam identificar mais do que um aspecto. As respostas foram as seguintes (Tabela 5.7):

Tabela 5.7. Aspectos em que o sistema melhorou os procedimentos, na avaliação dos analistas entrevistados.

Aspecto	nº	Frequência
Celeridade na análise	22	96%
Facilidade de uso	18	78%
Uniformidade dos resultados	16	70%
Análises coletivas contemplando vários usuários	12	52%
Mautenção de bases de dados	7	30%
Possibilidade de integração com outros órgãos gestores em bacias com vários domínios	5	22%
Outro	2	9%

Como se vê, o aspecto positivo mais mencionado pelos analistas foi a celeridade na análise, visto que o sistema de fato fornece uma avaliação hidrológica praticamente instantânea. Curiosamente, a possibilidade de uso integrado do sistema em bacias com rios de vários domínios foi um aspecto relativamente pouco mencionado, embora este trabalho tenha dado bastante ênfase a este aspecto. Possivelmente o fato de haver poucas bacias onde esta integração já é efetiva tenha contribuído para este resultado.

A pergunta 3 questionou em que medida se entende que o uso do SCBH transformou os procedimentos de análise especificamente para outorga de diluição de efluentes. Nesta questão, eventualmente por falta de clareza das alternativas de resposta, muitos dos entrevistados responderam a opção "outro", porém informaram não usar o sistema para outorga de diluição de efluentes (ver Anexo A 6). As oito respostas que se encaixaram neste caso foram agrupadas na categoria "não posso avaliar". Além disso, um dos entrevistados usou a opção "outro" para detalhar as melhorias identificadas. Esta resposta foi agrupada na categoria "Já havia outorga de diluição de efluentes, porém o sistema melhorou as análises".

Com esse reagrupamento, os resultados foram as seguintes (Figura 5.58):

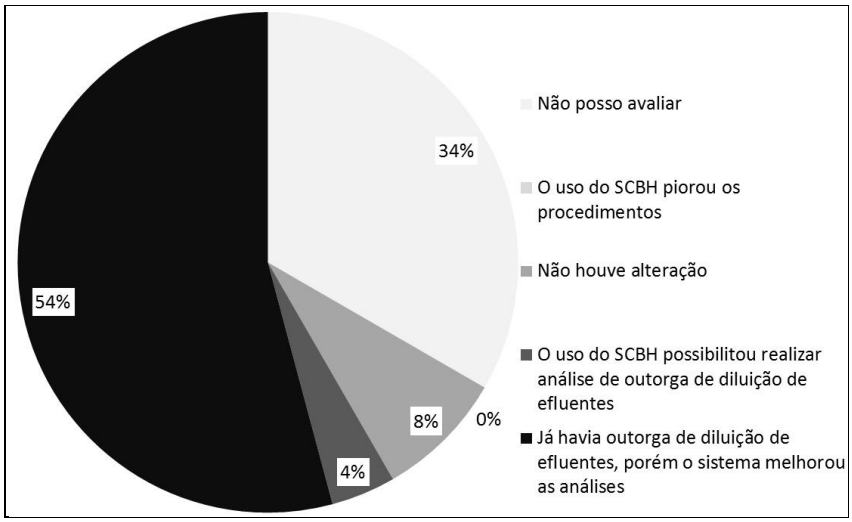


Figura 5.58. Grau de satisfação dos entrevistados com o uso do SCBH para análise de diluição de efluentes.

Como pode ser visto, a maioria dos usuários entende que o sistema de apoio à decisão representou melhorias também no aspecto de outorga para lançamento de efluentes. Se forem desconsideradas as respostas de entrevistados que não lidam com esse tipo de análise ("não posso avaliar"), o percentual de entrevistados que entende que o sistema melhorou as análises sobe para 88%, somando as duas últimas respostas.

A quarta pergunta visou a avaliar em que medida o uso do SCBH levou ao desenvolvimento de novos sistemas de apoio à decisão, eventualmente mais adaptados à rotina e procedimentos do órgão gestor. As respostas foram as seguintes:

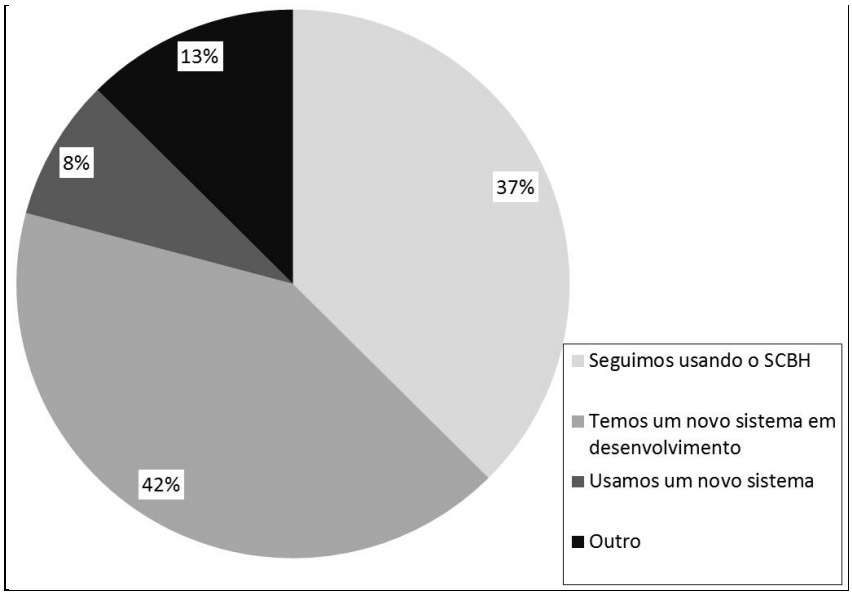


Figura 5.59. Respostas referentes ao desenvolvimento de novos sistemas

Observa-se que na grande maioria dos casos, o uso do SCBH tem motivado o desenvolvimento de novos sistemas. Alguns órgãos estaduais já substituíram por completo o SCBH por um sistema mais adaptado à realidade e normativos do órgão.

Por fim, a última pergunta visa avaliar quais as principais melhorias que se identifica serem necessárias para um uso mais amplo e confiável do sistema. As respostas foram as seguintes (Tabela 5.8):

Tabela 5.8. Melhorias necessárias para um uso mais amplo e confiável do sistema, na avaliação dos analistas entrevistados.

Aspecto	nº	Frequência
Integração com CNARH	17	74%
Gerenciamento de usos	15	65%
Outorga em pequenos mananciais de cabeceira	12	52%
Qualidade de água em reservatórios	11	48%
Visualização de resultados por meio de mapas	9	39%
Integração com outorga de águas subterrâneas	8	35%
Incorporação de restrições advindas de DRDH e outros usos não-consuntivos	8	35%
Interface gráfica	7	30%
Outorga para captação em novos reservatórios	7	30%
Outro	7	30%

Como visto, o aspecto mais lembrado entre as possíveis melhorias foi a integração do sistema de apoio à decisão com o CNARH, o cadastro de usuários desenvolvido e utilizado pela ANA. Essa resposta foi mais frequente entre os entrevistados da ANA, onde o CNARH tem sido crescentemente incorporado nos procedimentos de outorga.

Sem dúvida, uma das limitações do sistema é o uso de um banco de dados de usuários à parte, próprio do sistema. Isso favorece uma proliferação de bancos de dados de usuários em uma mesma instituição, o que dificulta o gerenciamento de informações e pode levar a inconsistências. Por outro lado, encontra-se em desenvolvimento na ANA uma evolução do SCBH, denominada SDO, que deverá estar integrada ao CNARH, consistindo na ferramenta corporativa da agência para apoio à decisão em balanço hídrico de outorgas.

De forma geral, constata-se um alto grau de satisfação entre os usuários finais do sistema de apoio à decisão, que consideram que este melhorou os procedimentos de outorga em seus respectivos órgãos.

6. Considerações finais

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e uso de um sistema de apoio à decisão para outorga de uso de recursos hídricos. Este sistema foi aplicado a diversas bacias brasileiras e tem sido usado para tomar decisões de fato a respeito do gerenciamento de recursos hídricos em alguns órgãos gestores. O sistema contemplou a possibilidade de integração do balanço hídrico e do gerenciamento de recursos hídricos em bacias com múltiplos domínios.

Para avaliar quais as conclusões podem ser tiradas do presente trabalho, retomam-se inicialmente os objetivos propostos, a fim de avaliar em que medida foram atingidos. A seguir são apresentadas as principais conclusões obtidas ao longo da pesquisa, bem como das principais deficiências identificadas. Num segundo momento, são feitas recomendações de melhorias, tanto do sistema de apoio à decisão quanto do sistema de gerenciamento de recursos hídricos no Brasil, apoiado em algumas reflexões surgidas ao longo do desenvolvimento.

6.1. Conclusões

Os objetivos principais do trabalho foram (1) propor e desenvolver um sistema de apoio à decisão para efetivar a integração do gerenciamento de recursos hídricos, em um contexto de múltiplos domínios da água, e (2) proporcionar celeridade e economia à tomada de decisão sobre outorga.

Entende-se que estes objetivos foram atingidos. Em primeiro lugar, o sistema desenvolvido configura um Sistema de Apoio à Decisão, pois é caracterizado pela forte interação com o usuário (analista), além de traduzir análises relativamente complexas em um pequeno número de indicadores de fácil interpretação. As análises realizadas, embora relativamente triviais do ponto de vista hidrológico, podem ser consideradas complexas dadas as deficiências de capacitação de muitos órgãos gestores de recursos hídricos no Brasil, bem como a complexidades oriundas da própria administração de bancos de dados de gerenciamento de recursos hídricos.

Com relação à celeridade e economia, os resultados são bastante satisfatórios. Cerca de 90% das outorgas emitidas pela ANA atualmente são analisadas por meio do sistema, com uma redução estimada de 25% em média no tempo de resposta ao usuário de água. A economia

proporcionada à administração pública, de 2008 a 2013, é estimada em cerca de R$ 2,2 milhões, além de outros benefícios de mais difícil quantificação.

O sistema de apoio à decisão é um reflexo do próprio sistema de gerenciamento de recursos hídricos no Brasil, visto que se encontra em estruturação e contínuo desenvolvimento. De forma que possui algumas vantagens e diversas deficiências.

Particularmente, o sistema desenvolvido tem a vantagem de estar sendo usado efetivamente na tomada de decisão quanto ao uso da água, na ANA e em alguns órgãos gestores estaduais, em contraponto ao grande número de sistemas encontrados na literatura cuja aplicação em situações reais raramente é efetivada. A avaliação feita por meio de questionário aos usuários (analistas) do SCBH mostrou a satisfação com o uso do sistema, e os levantamentos de número de outorgas analisadas e benefícios decorrentes reforça o bom resultado obtido.

A pesquisa na literatura a respeito do assunto mostrou que sistemas de apoio à decisão para outorga como o desenvolvido nesta tese são uma particularidade brasileira, tendo sido encontrados poucos trabalhos similares em outros países. A opinião do autor do presente trabalho é que isto se deve a um conjunto de fatores, principalmente à dinâmica do uso da água no Brasil, com existência de grandes áreas de potencial expansão do uso da água, e ao quadro institucional e legal de recursos hídricos no país, com um sistema em um estágio intermediário de estruturação e um instrumento operacional de comando-e-controle (a outorga) com um viés bastante técnico. Como visto, a comparação traçada com a abordagem adotada nos estados do oeste americano mostrou que estes têm pouca ênfase no comando, com pouca ou nenhuma avaliação do comprometimento hídrico causado por novos usos da água, deixando ao próprio usuário a quantificação do risco hídrico a que estarão submetidos.

O sucesso de sistemas de apoio à decisão para outorga de direito de uso de água é definido por três fatores indispensáveis: (a) conhecimento de hidrologia; (b) conhecimento de programação ou tecnologia de informação, em particular de linguagens visuais; e (c) profundo conhecimento do problema a ser resolvido ou da decisão a ser apoiada. Sistemas que não aliam estes três requisitos têm dificuldade em dar o passo seguinte, ou seja, o uso em aplicações reais. Em particular o requisito (c) é por vezes negligenciado, levando a sistemas complexos e interativos, porém que não respondem à pergunta principal, ou o fazem de maneira difícil de ser interpretada.

No que diz respeito à integração do gerenciamento de recursos hídricos em bacias de múltiplos domínios, entende-se que o sistema desenvolvido também oferece condições para

uma efetiva integração, bastando que haja entendimentos entre os entes envolvidos para seu uso efetivo, o que já ocorre em alguns casos pontuais. Em particular a versão *web* do SCBH possibilita uma integração bastante interessante, em que cada órgão gestor emite outorgas nos rios de seu domínio, respeitando seus critérios de outorga e demais normativos, porém todos lançando informações em um mesmo banco de dados, fazendo com que o balanço hídrico da bacia seja avaliado praticamente em tempo real.

Esta integração, embora preconizada na lei, ainda é muito incipiente, não havendo intercâmbio frequente de informações entre órgãos gestores de uma mesma bacia sobre as outorgas emitidas em cada domínio. Neste sentido o sistema integrado consiste em um avanço, pois evita eventuais superalocações do mesmo volume de água em dois domínios distintos.

Adicionalmente, em algumas das bacias sistematizadas já se dispõe de uma versão externa do sistema, para que potenciais usuários de água possam verificar preliminarmente sobre a disponibilidade hídrica de um dado manancial e com isso se planejar. Isto confere transparência ao gerenciamento de recursos hídricos, pois permite ao usuário se familiarizar com os critérios para tomada de decisão, além de antecipar e evitar conflitos futuros. Esta versão externa também evita uma sobrecarga aos próprios analistas, que frequentemente têm que responder a este tipo de consulta informal.

Da forma como é concebido, o SCBH é uma ferramenta bastante útil no gerenciamento de recursos hídricos em condições de ausência de conflito, em que ainda há disponibilidade hídrica para novos usos. Em outras palavras, é um bom sistema para deferir ou conceder outorgas, e acompanhar a evolução do balanço disponibilidade/demanda. Entretanto, o sistema não dá nenhum tipo de encaminhamento ou apoio à decisão em situações de escassez, em que a disponibilidade hídrica está esgotada. Nesta situação, necessariamente novas soluções além do sistema devem ser propostas e a engenhosidade do gestor deve ser colocada em prática. O sistema pode até fornecer alguns subsídios para a definição destas soluções, como foi o caso da bacia do Paraíba do Sul, entretanto não gerará estas soluções automaticamente.

No caso de sistemas de apoio à decisão para outorga, é fundamental que o subsistema de modelos, que abriga as metodologias para balanço quali-quantitativo, contenha modelos relativamente simples ou de rápida execução, pela agilidade que o instrumento da outorga demanda e pela visão de bacia que é necessária para sua aplicação. Este fator limita a incorporação de modelos hidrodinâmicos ou de qualidade de água mais complexos, tanto pelo

tempo de processamento quanto pelo fato destes se aplicarem em geral a trechos ou porções específicas de uma bacia (um reservatório, por exemplo). Esta característica leva a um dilema: como tomar uma decisão correta se meu modelo não é suficientemente complexo? Como tomar a decisão no prazo requerido se o modelo correto não pode ser aplicado?

Em alguns casos, procurou-se contornar esse dilema no sistema por meio de modelos de compromisso ou intermediários, cuja simplicidade é suficiente para incorporação em um sistema de apoio à decisão, porém cuja resposta possui um mínimo de precisão para fins de outorga de uso da água. É o caso da abordagem de vazão de diluição e do modelo de decaimento de poluentes, cuja formulação é bastante simples e pressupõe mistura completa do efluente no manancial. De fato, este modelo é na prática uma metodologia para divisão e alocação de responsabilidades pelo tratamento de efluentes, e não propriamente uma simulação de qualidade de água. Entretanto, procura respeitar em linhas gerais o comportamento e as características do uso da água para diluição de efluentes. Ainda assim, a limitação dessa abordagem deve ser enfatizada, uma vez que devido à sua simplicidade, provavelmente os processos quali-quantitativos são mal representados. Por essa razão, adotou-se uma velocidade de fluxo relativamente alta na formulação, de forma a diminuir o tempo de trânsito e consequentemente reduzir as taxas de autodepuração de um trecho a outro.

Outra simplificação é o balanço hídrico considerando diferentes regimes temporais para contabilização da demanda: média mensal, média diária ou máxima instantânea. Com isso, representa-se de forma simplificada a atenuação da vazão em trânsito, sem a necessidade de modelos hidrodinâmicos.

Em muitos casos não se encontrou ainda um modelo de compromisso aceitável para incorporação em sistemas de apoio à decisão para outorga, no sentido de que dêem a resposta no tempo requerido e com um mínimo de precisão. É o caso, por exemplo, da integração do gerenciamento com água subterrânea e do balanço quali-quantitativo em reservatórios, que serão comentados em itens específicos a seguir.

De qualquer forma, estas deficiências, assim como outras identificadas ao longo deste trabalho e pelos entrevistados do questionário, em muitos casos são deficiências estruturais do instrumento da outorga de direito de uso de recursos hídricos, e não especificamente do sistema de apoio à decisão. Ou seja, mesmo que o sistema não fosse usado e se permanecesse analisando pedidos de outorga da forma convencional, estes problemas persistiriam. Este fato foi identificado também nos comentários feitos por alguns dos entrevistados (ver Anexo A 6). De certa forma, considera-se que um dos méritos do sistema é justamente tornar evidentes as

limitações do instrumento da outorga, por meio de resultados de fácil interpretação e acessíveis por todo o público, que de outra forma estariam mais restritas a pareceres internos do próprio órgão gestor.

6.2. Recomendações

Um segundo objetivo foi levantar questionamentos sobre limitações atuais do instrumento da outorga e do gerenciamento de recursos hídricos, propondo possibilidades de melhoria. Nos itens a seguir, serão discutidos algumas inquietações que surgiram ao longo do desenvolvimento e uso do sistema aqui descrito, com propostas de como contornar esses problemas em um ambiente de sistema de apoio à decisão.

As principais reflexões dizem respeito (a) à integração do gerenciamento de águas subterrâneas e superficiais em um mesmo sistema; (b) à inserção dinâmica de novos reservatórios no sistema de apoio à decisão; (c) ao balanço quali-quantitativo em reservatórios; (d) à incorporação de demandas ambientais ou vazões ecológicas no sistema; (e) à melhorias gerais no sistema de apoio à alocação negociada de água e (d) à definição de vazões de entrega entre rios de diferentes domínios.

6.2.1. Outorga de águas subterrâneas

A questão da integração entre outorga de águas subterrâneas e superficiais é frequentemente colocada no âmbito de sistemas de apoio à decisão para outorga. Vários analistas entrevistados (30 %) colocaram esta como uma melhoria relevante a ser implementada no sistema.

Como mencionado, este é um tipo de problema que não é propriamente ligado ao sistema de apoio à decisão em si, mas sim a deficiências do próprio instrumento da outorga[15]. Em um primeiro momento, o senso comum seria de que todas as outorgas, sejam de água superficial ou subterrânea, sejam debitadas de uma mesma vazão de referência. Intuitivamente, este seria o procedimento mais correto, dada a interligação das componentes do ciclo hidrológico.

[15] E de outros instrumentos de gestão: em geral os planos de bacia tratam águas superficiais e subterrâneas em capítulos distintos, com pouca integração

Entretanto, há alguns fatores que demandam uma abordagem mais complexa para o assunto, quais sejam:

a) Não necessariamente existe correspondência entre divisores de águas superficiais e subterrâneos, fazendo com que captações de água subterrânea em um dado ponto do território podem se fazer sentir em bacias superficiais vizinhas. As bacias cársticas são um exemplo, assim como porções da chapada no oeste da Bahia, cuja água subterrânea em grande parte escoa para a bacia do Tocantins. Porém, não há um mapeamento muito claro destes divisores em escala de bacias no país, para permitir uma sistematização destas divisões;
b) Há uma diferença de escala na compreensão dos fenômenos de hidrologia superficial e subterrânea. Enquanto a primeira lida com bacias em geral de milhares de km², a segunda trata de aquíferos que são modelados em escala de hectares ou poucos km², sendo que características como condutividade hidráulica em geral são avaliadas de forma bastante localizada. A compatibilização de escalas é um desafio para a sistematização de balanço hídrico disponibilidade/demanda em escala de bacia;
c) A captação de água subterrânea tem diferentes efeitos sobre o rio adjacente dependendo se o poço capta do aquífero livre ou do aquífero confinado. No segundo caso, o efeito sobre as vazões do rio pode ser muito pequeno ou inexistir, situação em que se está "minerando" ou consumindo recursos da chamada reserva permanente. É o caso de poços profundos captando do Aquífero Guarani na região dos derrames basálticos da bacia do Paraná;
d) Em geral o tempo para que uma captação de água subterrânea tenha efeito sobre a vazão do rio adjacente é várias ordens de grandeza maior do que este tempo para captações de água superficial, cujo efeito é praticamente instantâneo. É pouco razoável reservar a um usuário de água subterrânea uma vazão que só deixará de estar disponível no rio adjacente em um prazo de alguns milhares de anos (e com isso deixar de atender um usuário de água superficial). Idealmente só deveriam ser contabilizadas captações que terão efeito no prazo da outorga ou do plano de bacia, em geral 10 a 30 anos.

Em que pesem essas questões, algumas proposições são feitas de como incorporar o gerenciamento de águas subterrâneas no sistema apresentado neste trabalho.

Em primeiro lugar, um caminho interessante é a definição de regras distintas para aquíferos livres (tributários) e confinados (não tributários), a exemplo dos normativos existentes no

estado americano do Colorado. Naquele estado, o gerenciamento dos aquíferos confinados (não-tributários) deve ser tal que não esgote a reserva permanente em um prazo menor do que 100 anos. Algum critério similar, eventualmente mais conservador, deve ser definido para as bacias brasileiras, digamos 20% da reserva permanente em um prazo de 50 anos, o que resultaria em uma vazão outorgável no aquífero confinado.

Uma vez definido o critério para aquíferos confinados, a profundidade do aquífero deve ser mapeada em toda a área da bacia a sistematizar, bem como o volume de água disponível. A profundidade do topo do aquífero confinado deve constituir um plano de informação adicional do sistema. Sempre que uma outorga de água subterrânea for avaliada, o sistema deverá solicitar ao analista a profundidade do poço pretendido e compará-la com a profundidade do aquífero confinado no local.

Sendo captação do aquífero confinado, a demanda de água é acumulada às demais existentes no mesmo aquífero, e comparada com os critérios definidos para sua utilização. Entretanto, não é contabilizada no acumulado de demandas na bacia sobrejacente nem comparada às vazões do rio adjacente, uma vez que, por definição, se trata de um aquífero não-tributário.

No caso de captações de água subterrânea a partir do aquífero livre, estas devem ser contabilizadas no balanço hídrico juntamente com as demandas de água superficial e comparadas à vazão de referência do rio adjacente. Entretanto, de alguma forma deve ser considerado o tempo necessário para que estas captações tenham efeito no rio. Duas possíveis formas de considerar esse efeito são propostas aqui.

Uma delas, mais simples de implementar em um sistema de apoio à decisão, é debitar a demanda diluída em um espaço de tempo maior, por exemplo a demanda média anual, uma vez que pode se considerar que o meio poroso atenua qualquer flutuação intraanual na demanda até que esta se manifeste no rio mais próximo. Com isso, captações para irrigação concentradas no período mais seco do ano, por exemplo, ficariam bastante diluídas.

A segunda abordagem seria definir isócronas de tempo de propagação da água subterrânea em toda a bacia, por meio da equação de Darcy, por exemplo. Em cada ponto, a isócrona informa qual o tempo para que uma eventual captação tenha efeito no rio mais próximo. O mapeamento dessas isócronas dependeria de um trabalho prévio de simulação em escala de bacia, com alguma complexidade.

O uso simultâneo das isócronas e de vazões de referência sazonais poderia levar a otimizações do uso da água na bacia. Idealmente, as isócronas constituiriam um plano de informação

adicional do sistema de apoio à decisão. Supondo que uma determinada outorga preveja um poço em uma coordenada cuja isócrona é de 2 meses, por exemplo, a demanda correspondente deve ser abatida da vazão de referência do mês i+2. Com isso, captações de água subterrânea concentradas nos meses mais secos (setembro) seriam eventualmente comparadas a vazões de meses mais úmidos (novembro).

Novamente, essas sugestões simplificadas partem do princípio que há pouca margem para acoplamento de modelos complexos de água subterrânea à tomada de decisão quotidiana sobre outorgas de recursos hídricos. Eventualmente, modelos mais complexos poderiam ser adotados para definição da condição de contorno das simplificações aqui propostas, ou para áreas bastante específicas em que as simplificações não são aceitáveis (aquíferos cársticos, por exemplo)

A sistematização da tomada de decisão como proposto aqui dependeria não somente de implementação computacional, mas principalmente de um amplo entendimento com órgãos gestores de recursos hídricos estaduais, dado que o domínio da água subterrânea é dos estados. Dependeria também de várias adaptações em critérios de outorga, visto que poucos estados adotam vazões de referência sazonais.

Além disso, a integração do gerenciamento de águas subterrâneas e águas superficiais esbarra no fato de que nem mesmo o gerenciamento de águas superficiais (em diferentes domínios) encontra-se integrado, conforme ressaltado diversas vezes neste trabalho. Ou seja, ainda há, de certa forma, uma etapa anterior a ser cumprida.

6.2.2. Novos reservatórios

Uma limitação importante do sistema desenvolvido e apresentado nesta tese diz respeito à inserção de novos reservatórios. Como visto, o sistema considera o efeito de reservatórios no potencial de regularização e no consequente aumento da disponibilidade hídrica, notadamente para captações a montante do reservatório, bem como a incorporação de regras operativas, principalmente a vazão mínima defluente ou vazão de restrição, para captações a jusante. Entretanto, a vazão de referência a montante e a jusante de reservatórios deve ser incorporada previamente ao uso propriamente dito do sistema, no chamado pré-processamento, etapa em que se definem as vazões de referência de cada trecho da hidrografia. Não existe mecanismo no sistema para incluir interativamente novos reservatórios na hidrografia, sendo para isso necessária a realização prévia do estudo e a intervenção do desenvolvedor do sistema no banco de dados.

Do ponto de vista do uso do sistema na Agência Nacional de Águas, esta limitação tem pouca relevância, uma vez que os rios de domínio da União, gerenciados por ela, em geral têm maior porte, de forma que a inserção de novos reservatórios é muito esporádica para justificar o desenvolvimento de interfaces e módulos exclusivamente para esse fim no sistema de apoio à decisão.

Entretanto, algumas bacias brasileiras apresentam forte dinâmica de aumento da infra-estrutura de armazenamento por parte de entes privados, como a bacia do São Marcos ou do Quaraí. A construção de reservatórios ocorre majoritariamente em cursos d'água de cabeceira e de pequeno porte, que em geral não teriam capacidade de atendimento às demandas pretendidas a fio d'água e que, via de regra, são de domínio dos Estados. Esses reservatórios alteram bastante a disponibilidade hídrica localmente, o que pode levar a uma tomada de decisão equivocada caso a infra-estrutura de armazenamento e o potencial de regularização associado não sejam considerados.

Assim, para viabilizar o uso em órgãos gestores estaduais de recursos hídricos e para tornar o sistema amigável, sem necessidade de intervenção no banco de dados a cada nova outorga de reservatório, a inserção de novos reservatórios deveria ser feita por meio de uma interface do próprio sistema. A seguir é feita uma proposta de como isso poderia ser implementado computacionalmente.

O banco de dados de hidrografia deveria ser complementado com parâmetros de uma equação de regionalização da curva de regularização. Em geral os estudos deste tipo relacionam o desempenho do reservatório (percentual da média de longo período que se pode regularizar) com a relação entre volume do reservatório e volume afluente anual. Com isso, seria necessário também complementar o banco de dados de hidrografia com os parâmetros da equação regional para a vazão média de longo período.

Nas telas iniciais do sistema, ao invés de informar diretamente a vazão a ser captada e as coordenadas da interferência, o analista teria a possibilidade de inserir um reservatório. Para isso, o sistema solicitaria a coordenada do eixo do barramento e o volume a ser armazenado pelo reservatório. O sistema localizaria o trecho no banco de dados, e por meio dos parâmetros das equações regionais existentes para aquele trecho, calcularia o potencial de regularização do reservatório.

Em uma tela seguinte, o analista poderia visualizar este resultado e informar qual a vazão remanescente mínima que deverá ser mantida pelo reservatório. Eventualmente o próprio

sistema pode sugerir um valor, caso o critério do órgão para este caso esteja bem definido (por exemplo a vazão remanescente deve ser igual a 50% da vazão de referência). A vazão de referência a montante do reservatório passa a ser o potencial de regularização descontado da vazão remanescente. Eventualmente o sistema poderia solicitar ainda que o analista informasse a extensão do reservatório, para estimar quantos trechos a montante seriam inundados e passariam a dispor da mesma vazão de referência.

Já para jusante, a consulta otto por código do curso d'água identifica os trechos situados a jusante do novo reservatório. Nestes, a vazão de referência passa a ser a vazão remanescente do novo reservatório, acrescida da vazão de referência incremental. Esta vazão incremental pode ser calculada pela diferença entre as vazões de referência do trecho do barramento e dos trechos a jusante, disponíveis no banco de dados. À medida em que se avança para jusante, a vazão incremental passa a ser muito maior do que a vazão remanescente, de forma que esta última pode ser negligenciada. Poderia ser definido um limar na relação entre área de drenagem a jusante e área no local do barramento (digamos, 50 vezes), acima do qual se consideraria que o reservatório deixa de influenciar as vazões a jusante. Assim, não haveria necessidade de alterar as vazões de referência em todos os trechos a jusante do novo reservatório, melhorando o desempenho do sistema.

Uma vez calculadas as novas vazões de referência a jusante e a montante, o banco de dados de hidrografia seria atualizado com estes valores, bem como o banco de dados de reservatórios incorporaria um novo registro para que seja levado em conta nas regras de balanço hídrico.

Este procedimento teria uma série de limitações. Em primeiro lugar, cabe mencionar as restrições ao uso de equações de regionalização em pequenas bacias. Uma série de situações não-previstas pode ocorrer pelo fato de usar-se a equação com áreas de drenagem muito pequenas. Não é incomum, por exemplo, que o potencial de regularização resulte negativo ou inferior à vazão mínima para o mesmo trecho.

Outra limitação é a existência de muitos reservatórios em cascata, situação em que nem toda a vazão natural aflui aos reservatórios mais de jusante e as equações de regionalização deixam de ter validade. Este erro se dá contra a segurança, uma vez que o potencial de regularização é superestimado nessa situação. A forma de contornar esse problema exigiria uma reestruturação completa do sistema, que levasse em conta simulações contínuas de balanço hídrico usando as séries de vazões naturais, e não somente vazões de referência.

Além disso, a estrutura do sistema, em que o balanço hídrico é feito por trechos, exige que a relação entre o reservatório e o trecho de rio em que se encontra deve ser biunívoca. Isto significa que um mesmo reservatório pode até abranger vários trechos de rio, porém um mesmo trecho de rio somente poderá conter um reservatório. Assim, não seria possível outorgar dois ou mais reservatórios em um mesmo trecho de rio. Este problema ocorreu em alguns trechos da bacia do São Marcos, na escala 1:100.000 (Figura 6.1). No entanto, de forma geral, se a rede hidrográfica for suficientemente detalhada e os reservatórios relativamente grandes, este problema deverá ocorrer com pouca frequência.

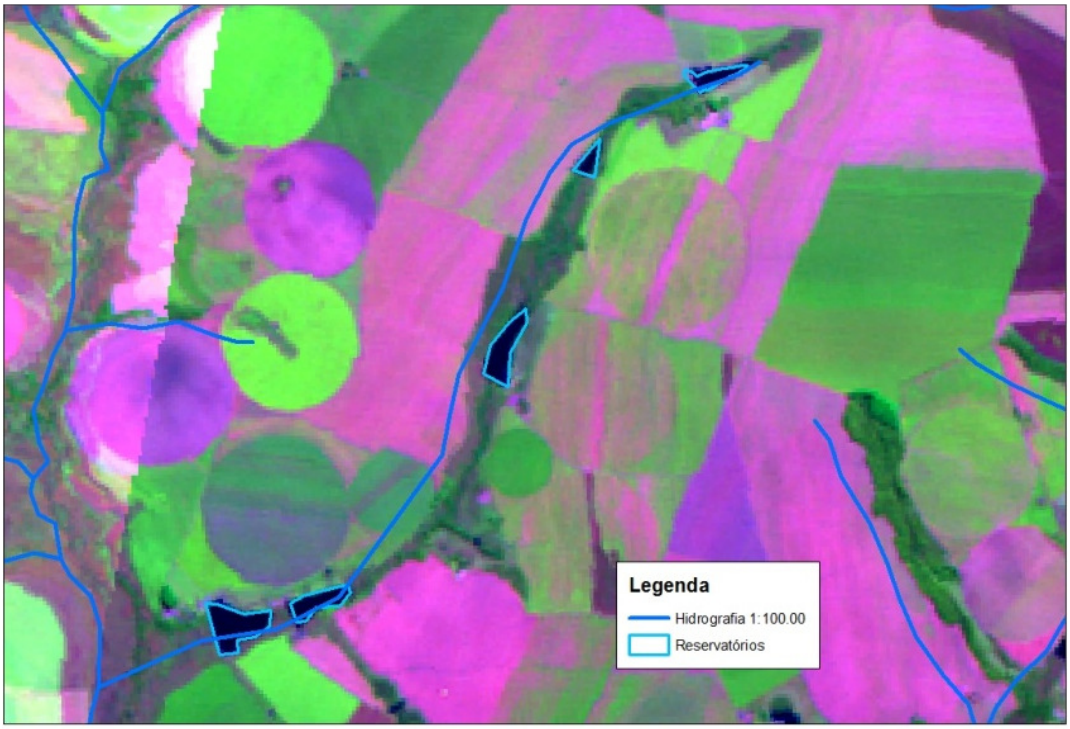


Figura 6.1. Composição de imagens LANDSAT da bacia do São Marcos mostrando trecho da hidrografia na escala 1:100.000 com vários reservatórios

Outra alternativa neste caso seria somar os volumes de todos os reservatórios em um mesmo trecho, e aplicar a equação de regionalização ao reservatório equivalente, de forma simplifica. Este procedimento seria pouco conservador, pois a evaporação do reservatório seria subestimada neste procedimento.

6.2.3. Qualidade de água em reservatórios

Conforme já mencionado, o sistema desenvolvido possui uma lacuna em termos de balanço quali-quantitativo no que diz respeito à qualidade de água em reservatórios. Toda a abordagem usada na sistematização, referente a vazões de diluição, pressupõe que o efluente

sofre mistura por completo na vazão de referência do manancial, o que é relativamente razoável de supor em rios de pequeno e médio porte. Entretanto, no caso de reservatórios, a velocidade de fluxo é mais baixa e as dimensões para mistura completa são muito maiores, fazendo com que o poluente em muitos casos fique concentrado em braços isolados e não seja diluído em toda a vazão de referência do reservatório.

Voltando ao dilema entre simplicidade e precisão nos sistemas de apoio à decisão, este é um caso em que o modelo atualmente adotado é bastante simples, mas demasiadamente pouco preciso e provavelmente errado.

Novamente, esta limitação não é exclusiva do sistema apresentado nesta tese. De fato, trata-se de um dos principais desafios do instrumento de outorga, uma vez que os modelos de qualidade de água para reservatórios bidimensionais ou tridimensionais não são facilmente implementáveis em ambiente de tomada de decisão.

É importante destacar que este aspecto tem sombreamento entre as áreas ambiental e de recursos hídricos, com algumas diferenças de ênfase. Uma diferenciação comumente feita é que o instrumento da outorga neste caso tem uma visão mais abrangente, em escala de bacia hidrográfica, avaliando se o lançamento de efluentes não terá consequências sobre outros usos antrópicos da água na bacia. Já o licenciamento ambiental tem um foco mais detalhado sobre o entorno do lançamento (área de influência direta e indireta), entrando em outros aspectos como impactos sobre meio biótico e área de preservação permanente (Cardoso da Silva, 2008).

Entretanto, em alguma medida a outorga deve se debruçar também sobre a qualidade de água localmente no entorno do lançamento, sob pena de afetar outros usos antrópicos da água. Um exemplo são parques aquícolas nas proximidades de pontos de captação para abastecimento.

De forma geral, o balanço quali-quantitativo em reservatórios tem ainda outras complexidades, como a carga poluente difusa, derivada de escoamento superficial em áreas de agricultura e pecuária. Esta não é tão importante no caso de rios, uma vez que ocorre geralmente em períodos de chuva, em condições distintas da considerada para vazão de referência. Entretanto, em reservatórios este componente passa a ter importância, devido ao fato da carga poluente ficar retida.

Do ponto de vista computacional, a grande dificuldade é que a representação dos corpos d'água no sistema é toda unifilar, ou seja, os trechos de rio têm somente uma dimensão,

mesmo em se tratando de reservatórios, devido aos pré-requisitos da codificação de otto. Já os fenômenos de qualidade de água em reservatórios são fortemente bi ou tridimensionais.

Assim, uma recomendação para futuros desenvolvimentos do sistema é melhorar a representação do balanço quali-quantitativo em reservatórios, sempre levando em conta a visão da bacia hidrográfica e a necessidade de tomar decisões de forma ágil. Eventualmente a representação simplificada do balanço quali-quantitativo por braços, por meio de uma série de parâmetros que podem ser armazenados em banco de dados, como profundidade e largura da seção, velocidade média do fluxo, já seria um avanço em relação ao que é praticado atualmente.

Tais desenvolvimentos devem levar em conta ainda a integração com a outorga de lançamentos de efluentes não-líquidos, tais como os provenientes de empreendimentos de aquicultura, levando em conta a quantidade de ração fornecida diariamente, teor de fósforo na ração, consumo de ração por peixes, etc. Estas análises atualmente são feitas de forma separada, sem integração com os demais usos existentes.

O sistema de apoio à decisão tem limitações também no que diz respeito à qualidade de água a jusante de reservatórios. Conforme mencionado, a vazão de referência logo a jusante é dada pela operação do reservatório (vazão remanescente ou de restrição). Entretanto, devido à estrutura atual do sistema, considera-se que a concentração de poluentes nesta vazão corresponde à concentração natural, mesmo que haja lançamentos a montante do reservatório. É como se o reservatório agisse como uma espécie de lagoa de estabilização, liberando água praticamente sem carga poluente.

Ora, dependendo da carga lançada a montante, da capacidade do reservatório e da sua operação, é de se esperar que uma parte da carga seja propagada para jusante, mesmo que a maior parcela acabe sendo decomposta ou sedimentada no próprio reservatório.

Uma possível saída neste caso seria estimar uma relação média entre tempo de residência e percentual de abatimento, calculada para vários reservatórios, por meio de dados de qualidade a montante e a jusante. O tempo de residência poderia ser um parâmetro adicional no banco de dados, e em função dele se estimaria a carga poluente descarregada para jusante. Esta melhoria, embora ainda corresponda a uma simplificação bastante grande, já se constituiria em uma evolução em relação ao que é feito atualmente.

6.2.4. Vazões mínimas

Uma das consequências do gerenciamento de recursos hídricos em função de vazões de referência é que, ao definir seu critério de outorga, o órgão gestor automaticamente define a "vazão ecológica" que é mantida no manancial, para manutenção dos ecossistemas. Diversas críticas já foram feitas a esta abordagem, uma vez que não necessariamente a melhor vazão para a manutenção da vida aquática tenha relação com estatísticas da série histórica (Benetti *et al*. 2004). Ainda assim, essa abordagem tem prevalecido, muito por conta dos poucos avanços em anos recentes na quantificação de vazões para atendimento dos ecossistemas.

Neste sentido, pode parecer preocupante, do ponto de vista ambiental, que o sistema desenvolvido neste trabalho não emita qualquer alerta até que se outorgue 100% da vazão de referência. Estamos tomando a decisão de "secar" o rio?

Novamente, esta é uma questão que extrapola o sistema de apoio à decisão em si, e tem raízes nas deficiências do próprio instrumento da outorga. O sistema não impede que se outorgue a totalidade da vazão de referência simplesmente porque não existe vazão ecológica definida para a grande maioria dos rios brasileiros. Certamente, caso esta estivesse definida, esta verificação seria de fácil implementação no sistema de apoio à decisão.

Outra alternativa seria de que o próprio uso para manutenção dos ecossistemas obtivesse uma outorga, por exemplo por meio de alguma organização que o represente. Esta abordagem tem sido usada no oeste dos EUA, em que grupos ambientalistas ou de recreação já são reconhecidos como usuários de água e obtêm direitos de uso submetidos à priorização juntamente com outros usos consuntivos.

Também deve ser ressaltado que a adoção de um critério de outorga correspondente a um percentual de uma vazão com alta garantia não significa que não se possa "secar" o rio. Dadas as características da curva de permanência, é usual que 50% da $Q_{90\%}$ represente algo em torno da $Q_{95\%}$, ou 50% da $Q_{95\%}$ algo em torno da $Q_{98\%}$. Ou seja, mesmo estabelecendo-se uma "vazão ecológica" por meio de um percentual da vazão de referência, o gerenciamento de recursos hídricos acabará levando a que o rio seque, somente em um percentual de tempo menor.

Mais importante do que a definição de vazões ditas ecológicas por meio de percentuais da vazão de referência é a definição de como agir quando estas vazões não estiverem disponíveis. Quem são os usos prioritários da água? A vazão para manutenção dos ecossistemas deve ter precedência sempre? Como alertar e fiscalizar?

Como visto, no oeste dos EUA pode-se secar o rio com frequência muito maior, uma vez que as vazões totais outorgadas têm garantias bem mais baixas do que as adotadas no Brasil. Ainda assim, há uma definição clara de como agir em situações em que a vazão do manancial não é suficiente para atendimento de todos usuários, inclusive com preservação de vazões ecológicas, caso estas tenham precedência.

A adoção de vazões de referência sazonais, defendida neste trabalho, é importante nesta linha. Por um lado, guarda mais similaridade com o regime hidrológico natural, o que tem sido defendido como um aspecto importante na definição de vazões ecológicas (Collischonn *et al*. 2005). Além disso, restringe mais o uso em meses mais secos, o que faz com que o percentual de falha total diminua.

Outro avanço que seria importante é a adoção de vazões de referência menos conservadoras, principalmente em bacias com vocação para usos consuntivos ou com pouca relevância ecológica. O que se observa é que em muitos casos, o usuário toleraria um risco hídrico bem maior do que usualmente arbitrado pelo órgão gestor. Naturalmente, nesta situação a outorga deveria ser acompanhada de regras claras de como agir em situação de escassez, e necessariamente de uma intensificação do controle dos usos da água, seja por fiscalização ou por regulação dos próprios usuários. Algumas experiências da ANA na bacia do rio Quaraí (RS) e do Verde Grande (RS) têm vinculado o direito de uso da água à vazão ou nível atual do rio, com necessidade de reduções graduais à medida em que este vai diminuindo (Collischonn *et al*. 2014). O instrumento da alocação negociada de água, para o qual também foi desenvolvido um sistema de apoio à decisão mostrado neste trabalho, também é um instrumento para lidar com mais dinamismo em um ambiente de variabilidade e incerteza hidrológica.

Na prática, o gerenciamento proposto neste item conteria uma dinâmica que exigiria uma reestruturação completa do sistema de apoio à decisão apresentado, que é mais voltado para a situação estática de uma vazão de referência fixa.

6.2.5. Melhorias no sistema de apoio à alocação negociada de água

Como visto, foi desenvolvido um sistema em separado para apoiar decisões no âmbito do processo de alocação negociada de água. A formulação incorporada ao sistema é bastante simples, consistindo em um modelo de balanço hídrico sequencial com intervalo mensal.

Entretanto, as decisões tomadas com base nesse sistema se dão unicamente em função do risco do colapso do reservatório, para um dado conjunto de demandas. Caso esse risco exista,

um ou mais grupos de usuários têm suas demandas reduzidas. Na maior parte dos casos, como há pouca informação que permita distinguir os benefícios de racionar de forma diferenciada os diferentes usuários, o que ocorre é que um corte linear é aplicado a todos. Entretanto, nenhuma consideração sobre a racionalidade econômica de um dado cenário de uso é incorporada na tomada de decisão.

Nessa linha, diversos melhoramentos poderiam ser feitas nesse sistema, no sentido de incorporar a variável retorno econômico ou otimizar seu resultado. Com algumas informações sobre o custo de diferentes cultivos, sua produtividade sob irrigação e sob sequeiro e o preço das culturas irrigadas, seria possível avaliar, juntamente com o comportamento volumétrico do açude, o retorno econômico obtido dos diferentes cenários de uso, permitindo tomar a decisão com base em um critério mais objetivo. A incorporação de curvas de produtividade de irrigação sob déficit também agregaria uma maior variedade de soluções. Por fim, poderia ser associado um modelo de otimização ao sistema. Marques et al. (2005) têm contribuições que se alinham a essas recomendações.

6.2.6. Vazões de entrega

Como visto, o sistema de apoio à decisão para outorga desenvolvido tem potencial para melhorar alguns aspectos de difícil implementação em um sistema de múltiplos domínios da água como o brasileiro. O principal deles é o uso conjunto do sistema pelos vários órgãos gestores atuantes em uma mesma bacia, fazendo com que o gerenciamento seja integrado e tornando desnecessária a troca constante de informações a respeito de quanto foi outorgado em cada rio/domínio.

Entretanto, este pode ser considerado um ganho mais relacionado com tecnologia de informação, e não propriamente de gestão de recursos hídricos. Caso não haja acordo entre os entes sobre a alocação de água na bacia, ou haja desconfiança mútua, a existência de um sistema integrado não pode impedir que o ente de jusante outorgue toda a água e limite a emissão de outorgas nos rios do ente de montante (ditadura de jusante). Ou que o ente de montante esgote seus rios e não deixe vazão para o ente de jusante (ditadura de montante).

Neste sentido, é urgente a implementação de pactos de alocação entre os estados brasileiros, a exemplo dos EUA, onde todas as principais bacias federais já possuem acordos entre os estados envolvidos, definindo a vazão a ser alocada para cada estado. Acordos como esse permitiriam uma descentralização do gerenciamento, uma vez que cada estado ou ente

envolvido outorgaria em seu domínio, respeitando o limite estabelecido no pacto e sob a supervisão da ANA.

No momento em que se escreve esta tese, os meios de comunicação têm noticiado sobre a controvérsia entre os estados do Rio de Janeiro e São Paulo devido ao possível aproveitamento da água da bacia do Paraíba do Sul para abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), por meio de uma transposição de vazões. Este é um exemplo típico de como os múltiplos domínios da água e a falta de pactos de alocação de agua podem levar a conflitos entre entes federados. Por um lado, o Rio de Janeiro teme que este novo uso nas cabeceiras da bacia venha a prejudicar seu desenvolvimento, uma vez que este estado depende ele mesmo de uma transposição desta bacia para a região da baía de Guanabara. Por outro lado, como a eventual captação para a RMSP se dará no rio Jaguari, afluente cujo domínio é do estado de São Paulo, a governança sobre seu aproveitamento está inteiramente nas mãos deste estado.

Um possível entrave para os pactos de alocação de água tentados no Brasil é que estes eventualmente tenham sido muito restritivos, alocando somente vazões de referência com alta garantia, como é o caso da bacia do São Francisco, cuja proposta de alocação não foi aprovada pelo comitê[16]. A alocação de vazões muito restritivas cria resistência dos estados envolvidos, dada a forte vinculação entre uso da água e desenvolvimento econômico. No caso do pacto da bacia do Colorado, nos EUA, a vazão alocada entre os estados corresponde à vazão média de longo período, cabendo a cada estado regularizar esta média para usufruir de sua parcela[17].

Neste sentido, o texto do decreto nº3692/2000, que possibilita à ANA a definição de requisitos de vazão mínima entre rios de diferentes domínios, parece ser insuficiente. Em primeiro lugar, a definição de entregas somente de vazões mínimas padece de enormes dificuldades operacionais, a saber:

- em geral as bacias brasileiras contém um rio principal de domínio da União, ao qual afluem dezenas de rios de pequeno e médio porte de domínio estadual. A definição das vazões

---

[16] A proposta de alocação dividia uma vazão de cerca de 380 $m^3.s^{-1}$ entre os estados, enquanto a média de longo período na bacia é de cerca de 2800 $m^3.s^{-1}$

[17] Embora posteriormente à assinatura do pacto tenha sido constatado que a média alocada correspondeu a um período um pouco mais úmido do histórico, podendo estar superestimada.

mínimas de entrega é virtualmente impossível, pois a maioria destes afluentes não é monitorada;

- pelo mesmo motivo (ausência de monitoramento) não é possível monitorar se as vazões mínimas estão sendo cumpridas. Mesmo que a rede de monitoramento tivesse uma ampliação significativa, é difícil imaginar pontos de monitoramento na transição de todos os corpos hídricos de diferentes domínios;

- a definição de vazões mínimas de entrega por meio de equações de regionalização leva a grandes incertezas, visto que o erro e a variabilidade das equações em geral é bem maior para vazões mínimas do que para vazões médias;

- a auditagem do cumprimento das vazões mínimas de entrega possui outras complexidades, devido à variabilidade hidrológica natural; caso em um dado momento se constate, por meio de monitoramento, que a vazão mínima de entrega (digamos, a $Q_{95\%}$) não seja respeitada, ainda assim pode-se alegar que se trata de um ano hidrológico ainda mais seco;

Além das dificuldades de operacionalização, deve-se levar em conta que existem usos que não dependem somente de vazões mínimas, mas sim de volumes de entrega. O exemplo mais típico são os reservatórios de regularização. Caso seja definida somente uma vazão mínima de entrega, o ente de montante poderia em tese regularizar toda a vazão excedente, fazendo com que o reservatório a jusante deixe de ter função. As usinas hidrelétricas, mesmo as que operam a fio d'água, também dependem da ocorrência de vazões maiores do que a média, mesmo que com baixa frequência, sob pena de não conseguir gerar em média a garantia física que lhes foi atribuída.

Por esses motivos, eventuais pactos de alocação de água entre estados, em bacias de múltiplo domínio da água, deveriam ir além da definição unicamente de vazões mínimas. Idealmente, a definição deveria ser em termos de um regime de operação, contendo não só as vazões mínimas, mas também consumos máximos a serem permitidos em cada estado.

Outra alternativa seria a definição de vazões médias de entrega, a exemplo do acordo entre as porções superior e inferior da bacia do Colorado. Embora permaneçam algumas dificuldades operacionais para seu acompanhamento, a vazão média em geral tem variabilidade menor do que as vazões mínimas, e o cumprimento de um acordo como esse garantiria o atendimento a usos que dependem de volumes e não somente vazões mínimas, como reservatórios de regularização e usinas hidrelétricas.

Neste sentido, a definição de volumes máximos de reservação por Estado, conforme alocação feita na bacia dos rios Poti-Longá, consiste em um exemplo interessante. Na alocação feita na bacia do São Marcos, também procurou-se ir um pouco além da mera definição de vazões mínimas, definindo-se consumos máximos por estado, convertidos para a área irrigável correspondente.

A verificação do cumprimento de normativos adicionais ao próprio critério de outorga, advindos de pactos como esses, seria facilmente implementável em um sistema de apoio à decisão como o desenvolvido neste trabalho, como pôde ser observado no exemplo do sistema da bacia do Piranhas-Açu ou do rio Preto.

7. Bibliografia

Agência Nacional de Águas (2006) *Topologia hídrica: método de construção e modelagem da base hidrográfica para suporte à gestão de recursos hídricos*. Versão 1.11, 17 de novembro, Superintendência de Gestão da Informação.

Agência Nacional de Águas (2013a): *Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos da Agência Nacional de Águas*. 237p.

Agência Nacional de Águas (2013b) *Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos*, 366p, anexos.

Amorim Teixeira, A. (2012): *Ottocodificação Estendida e Inteligência Hidrográfica em Banco de Dados Geográficos*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 126p.

Andreu, J; Capilla J. Sanchis (1996). *AQUATOOL, a generalized decision support system for water-resources planning and management*. Journal of Hydrology 177, 269-291.

Associação Brasileira de Recursos Hídricos (2013). *Carta de Bento Gonçalves*. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves, 17 a 22 de novembro.

Azevedo, L. G. T. Rego, M. Baltar, A. e Porto, R. (2003) *Sistemas de suporte à decisão para a outorga de direitos de uso da água no Brasil: uma análise da situação brasileira em alguns estados.* Revista Bahia Análise & Dados, v. 13, nº especial, p. 481-496, Salvador.

Braga, B., Barbosa, P. S. F. , Nakayama, P. T. (1998) *Sistemas de suporte à decisão em recursos hídricos*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos vol. 3, nº 3, pp. 73-95.

Benetti, A. Lanna, A. Cobalchini, S. (2003) *Metodologias para determinação de vazões ecológicas em rios*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 8 No. 2, p. 149-160.

Cabral, B. e Kelman, J. (2003). *Quem é o responsável pela administração dos nossos rios.* Revista Justiça e Cidadania, nº36, Rio de Janeiro.

Campos, J. D. (2007) *Os domínios hídricos do Brasil.* Editora da COPPE/UFRJ, 233p.

Cardoso da Silva, L. M. e Monteiro, R. (2004). *Outorga de direito de uso de recursos hídricos: uma das possíveis abordagens*. IN: Machado, C. J. S (Org.) Gestão de águas doces. Rio de Janeiro: Interciência, cap. 5, p. 135-178.

Cardoso da Silva, L. (2008) *Vazão ambiental no Brasil*. Apresentação feita na Oficina "Vazão Ambiental" – IUCN/SRHU-MMA. Disponível em http://www.eflownet.org/downloads/documents/vazao_ambiental_no_brasil.pdf

Cech, T. (2010) *Principles of Water Resources*. John Wiley & Sons, 546p, 3a ed.

Coase, Ronald (1960). *The Problem of Social Cost*. Journal of Law and Economics 3 (1): 1–44. In: *Classic Papers in Natural Resource Economics*, Palgrave Macmillan.

CODEVASF/IPH (1999): *Análise da Sustentabilidade Hídrica do Sistema Estreito/Cova da Mandioca.* Relatório, Brasília..

Collischonn, B. e Lopes, A.V (2009). *Sistema de Apoio à decisão para outorga na bacia do Paraná*. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, novembro

Collischonn, B. e Cardoso da Silva (2010). *Sistema de apoio à alocação negociada de água.* X Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Fortaleza.

Collischonn, B.; Gabrieli de Souza, W.; Cardoso da Silva, L.; Thomas, P.; Ambrozevicius, A. (2013) *Simulação quali-quantitativa e uso de instrumentos de comando-e-controle para efetiva indução do enquadramento dos corpos d'água*. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Bento Gonçalves.

Collischonn, B. Pante, A. Lopes. A (2014) *Dealing with variability in water availability: the case of the Verde Grande river basin, Brazil.* In. Evolving Water Resources Systems – understanding, predicting and managing water – society interactions.IAHS Red books.

Collischonn, W.; Agra, S.; Kimura de Freitas, G.; Priante, G.; Tassi, R.; Freire Souza, C. (2005) *Em busca do hidrograma ecológico*. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa.

Collischonn, W. *Simulação hidrológica de grandes bacias*. Tese de Doutorado, IPH-UFRGS, 106p.

Cruz, J. (2001) *Disponibilidade hídrica para outorga: aspectos técnicos e conceituais.* Tese de Doutorado, IPH-UFRGS, 189p.

Demsetz, H. (1967) *Toward a theory of property rights* (1967) American Economic Review 57, 347-359. In: *Classic Papers in Natural Resource Economics*, Palgrave Macmillan.

Dunn, S. M. Mackay, R. Adams, R. Oglethorpe, D. R. (1996) *The hydrological component of the NELUP decision-support system: an appraisal*. Journal of Hydrology 177, 213-235.

Feitosa da Silva, G. e Cordeiro Netto, O. (2013): *Requisitos de concentração máxima de poluentes nas transições de corpos d'água de domínios diferentes: experiências internacionais e a necessidade de definições no Brasil*. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves (RS), 23 a 27 de novembro.

Ferraz, A. e Braga, B. (1998) *Modelo decisório para a outorga de direito de uso da água no estado de São Paulo*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 3, nº 1, 5-19.

Figueiredo, L. C. C e Rubert, O. A. (2000) *Codificação das bacias hidrográficas brasileiras – Método Otto Pfaffstetter.* Nota Técnica, Agência Nacional de Águas.

Galvão, W. S. & Meneses, P. R. (2005) *Avaliação dos sistemas de classificação e codificação das bacias hidrográficas brasileiras para fins de planejamento de redes hidrométricas*. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, 16 a 21 de abril.

Hardin. G. (1968): *The tragedy of the commons*. Science, New Series, vol. 162, nº 3859, 1243-1248.

Jamieson, D. G. e Fedra, K. (1996) *The 'WaterWare' decision-support system for river-basin planning. 1. Conceptual Design*. Journal of Hydrology 177, 163-175.

Jones, P. A. & Cech, T. (2011) *Colorado Water Law for non-lawyers*. University Press of Colorado, 1º edition, 352p. Kindle Edition (livro digital).

Kelman, J. (1997) *Gerenciamento de Recursos Hídricos: Parte I: Outorga*. In: XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Vitória, 1997.

Kelman, J (2009) *Desafios do Regulador*. Editora Synergia, 291p.

Labadie, J. e Sullivan, C. (1986) *Computerized decision support systems for water managers*. Journal of Water Resources Planning and Management, 112, 299-307.

Lopes, A. V. e Freitas, M. (2007) *A alocação de água como instrumento de gestão de recursos hídricos: experiências brasileiras*. Revista de Gestão de Água da América Latina (REGA), vol 4, nº 1, p. 5-28.

Lopes, A. V. (2014) Comunicação pessoal.

Lopes, J.; Braga, B.; Lotufo Conejo, J. (1981) *Simulação hidrológica: aplicações de um modelo simplificado*. IV Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, Fortaleza.

Loucks, D.; van Beek, E.; Stedinger, J.; Dijkman, J.; Villars, M. (2005) *Water Resources Systems Planning and Management: an Introduction to Methods, Models and Applications.* UNESCO, Paris.

Marques, G. F. (2005) *Modelling irrigated agricultural production and water use decisions under water supply uncertainty*. Water Resources Research, vol 41, nº8, W08423.

Marques, F. A. (2006) *Sistema multi-usuário de gestão de recursos hídricos*. Dissertação de mestrado, UFV, 112p.

McCintosh, B. Jeffrey, P. Lemon, M. Winder, N. *On the design of computer-based models for integrated environmental science*. Environmental Management vol. 35 nº 6, pp. 741-752.

Mysiak, J. Giupponi, C. Rosato, P. (2005) *Towards the development of a decision support system for water resource management*. Environmental Modelling & Software 20, 203-214.

Niederauer, J. (2004): *Desenvolvendo websites com PHP*. Editora Novatec, 269p.

Niederauer, J. (2008): *PHP para quem conhece PHP*. Editora Novatec, 527p.

Pante, A. R.; Pozzebon, E. J.; Cardoso da Silva, L.M. (2005). *Estimativa de vazões de referência ótimas para outorga de direito de uso de recursos hídricos para irrigação – estudo de caso*. Simpósio de Recursos Hídricos do Sul, Santa Maria.

Pereira Pessoa, M. (2010) *Integração de modelos hidrológicos e sistemas de informação geográfica na análise de processos de outorga quantitativa de uso da água: Aplicação na bacia do rio dos Sinos – RS*. Dissertação de mestrado, IPH-UFRGS, 90p.

Pereira, M.; Kayser, R. e Collischonn, W. (2012) *Integração do modelo hidrológico para grandes bacias MGB-IPH e sistemas de informação geográfica para suporte à decisão de outorga de direito de uso da água.* Revista Rega, vol. 9, nº 2, 21-33.

Pinheiro, M. Campos. J. Studart, T. (2011) *Conflitos por águas e alocação negociada: o caso do vale dos Carás no Ceará*. Revista Administração Pública (RAP) 45(6), 1655-72.

Pinker, S. (2011). *The better angels of our nature*. Penguin Books (Kindle Edition).

Porto, R. L. e Azevedo, L G. T. (1997) *Sistemas de Suporte à Decisões aplicados a problemas de recursos Hídricos*. In. Técnicas Quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos. ABRH, Editora da UFRGS, pp. 43-95.

Porto, R. Mello Jr., A. Roberto, A. Palos, J. (2005) *AcquaNet: arquitetura, estratégias e ferramentas*. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa

Ravanello, M. (2007) *Análise técnica, legal e social para subsídios à outorga de direito de uso de recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Ibicuí-RS*. Dissertação de mestrado, UFSM, 123p.

Reitsma, R. F. (1996) *Structure and support of water-resources management and decison-making*. Journal of Hydrology 177, 253-268

Roberto, A. N. (2002) *Modelos de rede de fluxo para alocação da água entre múltiplos usos em uma bacia hidrográfica.* Dissertação de Mestrado, USP, 105p.

Rodrigues, R. B. (2005) *SSD RB – Sistema de Suporte à decisão proposto para a gestão quali-quantitativa dos processos de outorga e cobrança da água.* Tese de doutorado, USP, 155p.

Rosa de Oliveira, J., Pruski, F. e Araújo Nunes, A. (2013) *Otimização do aproveitamento da disponibilidade de águas superficiais do ribeirão Entre Ribeiros*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 18, nº4, 157-172.

Santana, A. G; Cardoso, E. Fernandes da Silva, F. Santos Pereira, J. (2002) *Metodologia para controle das outorgas de uso da água em bacias hidrográficas*. Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Maceió, 3 a 6 de dezembro.

Silveira, G. L. Robaina, A., Giotto, E., Dewes, R. (1998a) *Outorga para uso dos recursos hídricos: aspectos práticos e conceituais para o estabelecimento de um sistema informatizado*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, volume 3, nº 3 jul/set, p 5-16.

Silveira, G. L. Tucci, C. Silveira, A. (1998b) *Quantificação de vazão em pequenas bacias sem dados.* Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 3, nº3, 111-131.

Triana, E.; Labadie, J. (2012) *GIS-based decision support system for improved operations and efficiency conservation in large-scale irrigation systems*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 138:857-86, ASCE.

Von Sperling, M. (1998) *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 2a ed. Belo Horizonte, UFMG, 243p.

Wurbs, R. e Walls, B. (1989) *Water Rights modeling and analysis*. Journal of Water Resources Planning and Management 115, 416-430.

Wurbs, R. (1995). *Water Rights in Texas*. Journal of Water Resources Planning and Management 121, 447-454.

Wurbs, R. (2001). *Assessing water availability under a water rights priority system*. Journal of Water Resources Planning and Management 127, 235-243.

Wurbs, R. A. (2005) *Modelling river/reservoir system management, water allocation, and supply reliability*. Journal of Hydrology 300, 100-113.

Zeng, Y. Cai, Y. Jia, P. Jee, H. (2012) *Development of a web-based decision support system for supporting integrated water resources management in Daegu City, South Korea*. Expert Systems With Applications 39, 10091-10102.

Anexos

Anexo A 1. Exercícios de Teoria dos Jogos

Exemplo 1 – usos consuntivos

Pode-se imaginar a situação de um rio ou reservatório cujo uso é compartilhado por dois irrigantes. Cada um deles pode irrigar áreas de até 100 hectares. Entretanto, o manancial só comporta o atendimento a uma demanda equivalente a 100 hectares no total. Caso ambos plantem em conjunto 100 hectares, não haverá racionamento. Caso ambos plantem toda área (200 hectares) haverá uma quebra aguda de 60%. Caso um plante 100 hectares e o outro 50 há, ainda assim haverá uma quebra de 40%.

A rentabilidade bruta de ambos, em condições normais (sem quebra), é de 10 moedas por 50 hectares cultivados. O custo de produção é de uma moeda a cada 50 hectares. Há ainda um custo fixo (administração, tributos etc), de 6 moedas, independente da área cultivada.

Caso ambos resolvam plantar a área toda (100 hectares), a renda bruta de cada um será 10 x 2 x 40%=8 moedas, e o custo de produção será 1x2+6=8 moedas. Assim, neste cenário ambos apenas pagarão seus custos de produção, sem lucro.

Caso ambos resolvam cultivar 50 há, a renda bruta de cada um será 10 x 1 = 10 moedas, e o custo de produção será 1 x 1 +6=7 moedas. Assim, a renda líquida será de 3 moedas por safra.

Caso um dos usuários resolva cultivar 100 hectares e o outro 50 hectares, a renda líquida do primeiro será 2x10x60%-2x1-6=4 moedas. Já a renda do segundo será de 1x10x(1-0,4)-1x1-6=-1 moedas.

O quadro com as escolhas e resultados de cada cenário é mostrado na tabela A1 abaixo, e representa um dilema do prisioneiro. Em cada cenário, o primeiro número entre parênteses representa a renda obtida pelo usuário 1 e o segundo, pelo usuário 2.

		Usuário 2	
		Plantar 50 ha	Plantar 100 ha
Usuário 1	Plantar 50 ha	(3,3)	(-1,4)
	Plantar 100 ha	(4,-1)	(0,0)

Do ponto de vista do usuário 1, não importa qual a decisão tomada pelo usuário 2, sempre será mais vantajoso plantar 100 hectares. Se 2 optar por plantar 100 ha, 1 terá um prejuízo menor (0 moedas) plantando 100 ha do que plantando 50 ha (-1 moeda).

Se 2 optar por plantar 50 ha, 1 terá um lucro maior plantando 100 ha (4 moedas) do que plantando 50 ha (3 moedas).

O mesmo valerá para 2, ou seja, sempre será mais vantajoso para este usuário plantar 100 ha, independentemente da escolha do usuário 1. Assim, a escolha racional de ambos será por plantar 100 ha cada um, embora esta não seja a melhor alternativa para a bacia. Pode-se observar que a soma das rendas de ambos ("PIB" da bacia) neste cenário é zero. Caso ambos tivessem optado por cultivar somente 50ha, o "PIB" seria de 6 moedas.

O exemplo acima é uma variante da Tragédia do Bem Comum ou do Dilema do Prisioneiro, aplicada a uma situação real e comumente observada no contexto de recursos hídricos. A ausência de regulação leva a uma super-utilização do recurso, com um resultado desotomizado para o coletivo. O exercício poderia ser ampliado para um número maior de usuários.

Para cada usuário, a estratégia de plantar 100 ha é dita *estritamente dominante*, o que significa que esta estratégia é sempre melhor para cada usuário individualmente, independentemente da estratégia adotada pelo outro.

O propósito da outorga de direito de uso, assim como o de todos os demais instrumentos de gestão, é de alterar a estrutura do quadro de renda dos usuários, de forma a atrair ambos os usuários para a célula superior esquerda (a que maximiza a renda da bacia), ao invés o resultado atual.

Caso ambos recebam outorga para cultivar somente 50 ha, com direitos de uso bem definidos, é possível alterar a estrutura do quadro. O risco de receber uma multa ou penalidade por desrespeitar a outorga representa um custo adicional na estratégia de plantar 100 ha. Digamos que este risco representa um custo médio de 1 moeda. Além disso, o fato de estar irregular perante a legislação possivelmente cause um constrangimento do usuário frente aos demais usuários, comunidade, comitê de bacia e potenciais compradores. Eventualmente, o usuário tenha uma disposição a pagar para evitar esse constrangimento. Digamos que esta seja de uma moeda.

Assim, o quadro com as escolhas e resultados altera-se para a tabela A2 abaixo.

		Usuário 2	
		Plantar 100 ha	Plantar 50 ha
Usuário 1	Plantar 100 ha	(-2,-2)	(2,-1)
	Plantar 50 ha	(-1,2)	(3,3)

A estrutura do quadro deixou de representar um dilema do prisioneiro, uma vez que passa a ser mais vantajoso para ambos plantar 50ha, independentemente da estratégia adotada pelo outro. Consegue-se uma convergência das escolhas individuais para um resultado que maximiza o retorno da bacia.

Naturalmente, a outorga só tem força como instrumento de indução se acompanhada de fiscalização. Do contrário, os usuários não contabilizarão o risco de penalidades em sua tomada de decisão, por considerá-lo muito baixo. O estímulo do constrangimento também será menor, pelo fato de os demais usuários também estarem irregulares.

Exemplo 2 – uso não consuntivo

Pode-se imaginar duas cidades separadas por um rio que lançam esgoto *in natura* em um rio qualquer. A jusante da cidade 1 (montante) o rio encontra-se desenquadrado, o que implica custos no tratamento de água da cidade 2 (jusante).

O custo de tratamento da água em ambas é de 2 moedas para água bruta em classe adequada e 6 moedas para água bruta em classe inadequada. Já o custo para um eventual tratamento de esgoto seria de 3 moedas.

O desenquadramento do rio acarreta perdas em recreação e lazer, perda de biodiversidade, redução de receita com a pesca e custos de tratamento com doenças de veiculação hídrica.. Esta perda conjunta foi valorada em 4 moedas. Digamos que estes prejuízos são divididos igualmente entre ambas as cidades.

Caso ambas as cidades permaneçam sem tratar esgoto, a situação é a seguinte:

- a cidade de montante gasta 2 moedas com tratamento de água e tem perdas de 2 moedas com recreação, biodiversidade, pesca e saúde– prejuízo de 4 moedas;

- a cidade de jusante gasta 6 moedas com tratamento de água e tem perdas de 2 moeda com recreação, biodiversidade, pesca e saúde – prejuízo de 8 moedas;

Caso ambas passem a tratar esgoto, a situação é a seguinte:

- ambas as cidades gastam (cada uma) 2 moedas com tratamento de água, 3 moedas com tratamento de esgoto, porém não têm perdas com recreação, biodiversidade, pesca e saúde – prejuízo de 5 moedas;

Caso **montante** trate esgoto e jusante não, a situação é a seguinte

- a cidade de montante gasta 2 moedas com tratamento de água, 3 moedas com tratamento de esgoto e tem perdas de 2 moeda com recreação, biodiversidade, pesca e saúde– prejuízo de 7 moedas

- a cidade de jusante gasta 2 moedas com tratamento de água e tem perdas de 2 moedas com recreação, biodiversidade, pesca e saúde – prejuízo de 4 moedas

Por fim, caso **jusante** trate esgoto e montante não, a situação é a seguinte:

- a cidade de montante gasta 2 moedas com tratamento de água e tem perdas de 2 moedas com recreação, biodiversidade, pesca e saúde – prejuízo de 4 moedas;

- a cidade de jusante gasta 6 moedas com tratamento de água, 3 moedas com tratamento de esgoto, e tem perdas de 2 moedas com recreação, biodiversidade, pesca e saúde – prejuízo de 11 moedas

O quadro final é mostrado na tabela A3 abaixo.

		cidade jusante	
		não tratar	tratar
Cidade montante	não tratar	-4,-8	-4,-11
	tratar	-7,-4	-5,-5

Trata-se de um dilema do prisioneiro, pois a estratégia dominante para ambos é não tratar o esgoto. Observa-se que ambas as cidades sempre têm prejuízo menor quando optam por não tratar, independememente da estratégia do outro. Entretanto, para o conjunto de cidades (a bacia), a melhor estratégia seria que ambos tratassem o esgoto, visto que isto levaria ao menor prejuízo em conjunto.

O instrumento da outorga para diluição de efluentes visa a alocar água suficiente para que cada cidade possa diluir seu esgoto até que o rio atinja a concentração permitida/desejável. Caso a outorga esteja bem definida, cada cidade passa a contabilizar o risco de sofrer penalidades, constrangimento perante aos demais usuários, risco de ação do ministério público etc. Digamos que este risco seja quantificado em 4 moedas. Isto alteraria a estrutura do quadro:

		cidade jusante	
		não tratar	tratar
Cidade montante	não tratar	-8,-12	-8,-11
	tratar	-7,-8	-5,-5

Novamente, a estratégia dominante foi deslocada para a opção (tratar,tratar) no quadrante inferior direito. Pode-se observar que a teoria dos jogos é útil neste caso para calibrar o valor de eventuais penalidades, visto que multas de até duas moedas por não tratar esgoto não teriam alterado a estratégia dominante.

A dificuldade no exemplo acima é a internalização dos benefícios e prejuízos globais em uma economia setorial. Por simplificação, todos os serviços foram agrupados em um ente centralizado (a cidade). Entretanto, em situações reais, os custos de tratamento de esgoto são arcados pelas companhias de saneamento, enquanto que benefícios com a pesca são auferidos por uma parcela específica da população, e aumento de biodiversidade, recreação e saúde são internalizados de forma difusa pela sociedade. O dilema do prisioneiro passa a ser dividido em sub-dilemas nos quais o equilíbrio pode não ser atingido caso o ente centralizado não redistribua os benefícios adequadamente (por exemplo destinando parte do investimento originalmente alocado para saúde em saneamento).

Observa-se que neste ponto o exemplo difere do anterior, em que todos os benefícios e custos eram internalizados pelos irrigantes 1 e 2.

Observa-se também que uma regulação inadequada pode até piorar o resultado para a bacia como um todo. Caso o órgão gestor determine, por meio da outorga, o tratamento de esgoto somente da cidade de jusante, porém falhe em regular a cidade de montante, o prejuízo para o

conjunto seria de 15 moedas, mais do que o prejuízo de ambas lançando *in natura*, que é de 12 moedas[18].

[18] Este exemplo não corresponde à versão mais pura do Dilema do Prisioneiro, visto que a estratégia (não tratar, não tratar) não corresponde ao pior resultado para a bacia, que seria obtido caso somente a cidade de jusante tratasse esgoto. No entanto, o exemplo é válido.

Anexo A 2. Exemplo de resolução de outorga remetendo decisões ao processo de alocação negociada de água

Art. 1º Outorgar a Associação do Distrito de Irrigação do Brumado - ADIB - CNPJ nº 63.170.625/0001-11, doravante denominada Outorgada, o direito de uso de recursos hídricos para captação de água na caixa de derivação a jusante do Açude Luis Vieira, situado no rio Brumado, com a finalidade de irrigação, em uma área de dois mil seiscentos e sessenta e sete hectares e setenta e oito ares, no lugar denominado Perímetro Irrigado do Brumado – Bloco III, Município de Livramento de Nossa Senhora, Estado da Bahia, com as seguintes características:

I - coordenadas geográficas do ponto de captação: 13° 36' 56" de Latitude Sul e 41° 49' 08" de Longitude Oeste; e

II - vazão máxima mensal de captação variando conforme Tabela abaixo:

Mês	Vazão de captação		Tempo	Período	Volume (m^3)	
	(m^3/h)	(L/s)	(h/dia)	(dias/mês)	Diário[1]	Mensal[2]
Janeiro	9.500,0	2.638,89	20	12	190.000,0	2.280.000,0
Fevereiro	9.500,0	2.638,89	20	13	190.000,0	2.470.000,0
Março	9.500,0	2.638,89	20	12	190.000,0	2.280.000,0
Abril	11.000,0	3.055,56	20	12	220.000,0	2.640.000,0
Maio	12.000,0	3.333,33	20	12	240.000,0	2.880.000,0
Junho	11.000,0	3.055,56	20	12	220.000,0	2.640.000,0
Julho	11.000,0	3.055,56	20	12	220.000,0	2.640.000,0
Agosto	14.000,0	3.888,89	20	12	280.000,0	3.360.000,0
Setembro	15.000,0	4.166,67	20	12	300.000,0	3.600.000,0
Outubro	14.000,0	3.888,89	20	12	280.000,0	3.360.000,0
Novembro	7.200,0	2.000,00	17	12	122.400,0	1.468.800,0
Dezembro	7.200,0	2.000,00	18	12	129.600,0	1.555.200,0
Máximo mensal	**15.000,0**	4.166,67	**20**	**13**	**300.000,0**	**3.600.000,0**
Média mensal (considerando todo o ano)						**2.597.833,3**
Média mensal (considerando o período de irrigação)						**2.597.833,3**
Total máximo anual						**31.174.000,0**

[1]Volume diário (m^3) = Vazão (m^3/h) x Tempo(h/dia)
[2]Volume mensal (m^3) = Vazão (m^3/h) x Tempo(h/dia) x Período (dias/mês)

§ 1º A Alocação Negociada de Água, anualmente realizada pela ANA, DNOCS e pelas entidades representantes dos usuários, definirá os percentuais de uso dos valores de vazão máxima de captação e dos volumes totais captados definidos no inciso II deste artigo, sendo que estes percentuais não podem ser superiores a 100%.

Figura 0.1. Exemplo de resolução de outorga submetendo o uso às decisões da Alocação Negociada de Água (disponível em http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2008/462-2008.pdf)

Anexo A 3. Exemplo de ottocodificação e de consulta geográfica.

A Figura 0.2 mostra um exemplo da ottocodificação da bacia do rio Una (BA), na escala ao milionésimo:

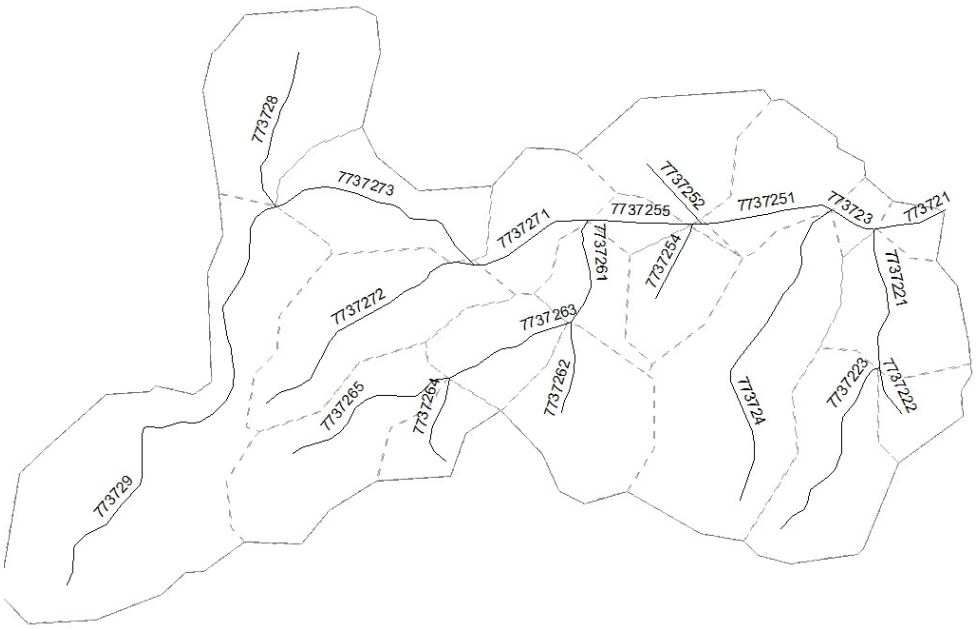


Figura 0.2. Ottocodificação da bacia do rio Una

O mesmo código atribuído à ottobacia pode ser atribuído ao trecho (ou **ottotrecho**) correspondente. Para avaliar a posição de um trecho em relação à outro, é necessário fazer uma comparação dos seus códigos otto em formato texto (*string*). No exemplo acima, o código 7737**28** tem valor maior do que 7737**251** em *string*, portanto o primeiro está a montante do segundo (embora numericamente o segundo seja maior do que o primeiro).

Para identificar todos os trechos situados a montante de um determinado trecho (trecho de jusante), basta percorrer o código otto no sentido inverso, eliminando-se os algarismos ímpares até encontrar o primeiro algarismo par. Ao código resultante soma-se uma unidade (trecho de montante). A consulta deve ser do tipo:

Selecione trechos sendo que (trecho de jusante>= trechos>trecho de montante)

No exemplo acima, digamos que se pretenda fazer uma consulta de todos os trechos a montante do trecho 7737251. Em termos de banco de dados, a consulta deveria procurar todos

os trechos com código maior ou igual a 7737251 e menor do que 77373, sempre comparando os valores *string* de cada código.

Outra característica útil do método é a codificação de cursos d'água. O código do curso d'água deriva do próprio código do trecho, porém eliminando-se os últimos algarismos ímpares, até o próximo número par (ANA, 2007). A Figura 0.3 mostra a codificação de cursos d'água da bacia do rio Una.

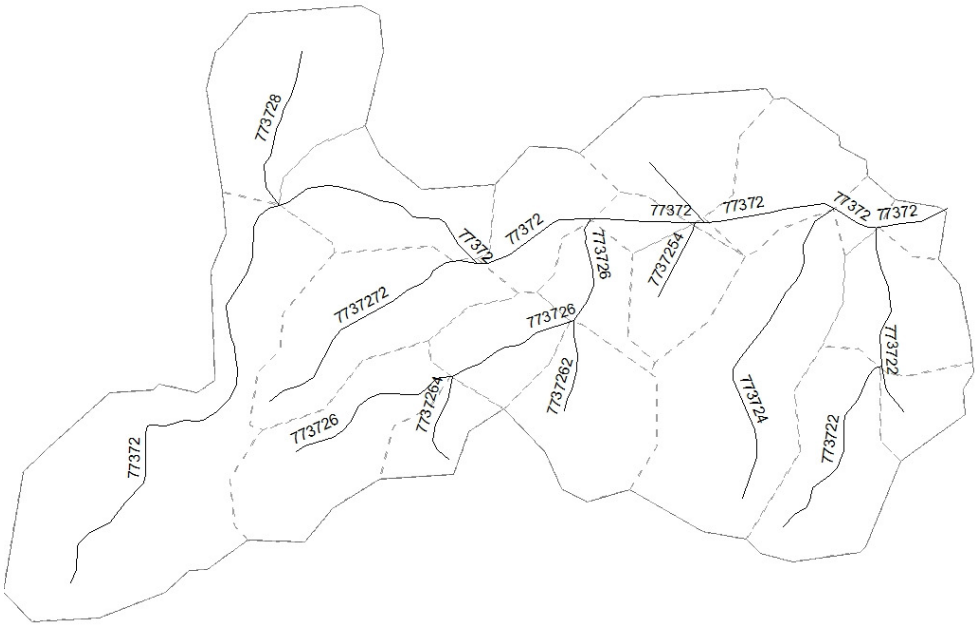


Figura 0.3. Códigos de cursos d'água da bacia do rio Una

A codificação de cursos d'água é útil para navegar sobre uma topologia de montante para jusante. Por exemplo, é possível selecionar todos os trechos cujo código de curso d'água é 773726, e ordená-los por área de drenagem acumulada. Chegando à foz deste curso d'água, passa-se para o curso d'água de jusante, cujo código resulta da eliminação do último algarismo (77372) e assim por diante. Este tipo de consulta pode ser usado na simulação do decaimento de poluentes ao longo da bacia.

Anexo A 4. Base hidrográfica e ottocodificação.

A base hidrográfica para desenvolvimento do SCBH consiste em uma hidrografia digital, normalmente em formato *shapefile*. Esta hidrografia pode ser obtida por meio da digitalização de cartas ou processamento de modelos digitais de elevação, devendo atender . às condições para ottocodificação definidas por ANA (2007), a saber:

- representação por meio de estrutura lógica encadeada em que haja somente um ponto de saída (foz);

- possuir formato de grafo (árvore), em que cada trecho representa o único caminho entre dois pontos;

- conectividade: todos os trechos devem estar conectados, não podendo haver drenagens endorreicas;

- margens duplas e massas d'água devem ser representados por uma linha artificial, única de centro.

Portanto, a resolução, e consequentemente a qualidade das análises do sistema de apoio à decisão, vai depender diretamente da escala da base hidrográfica adotada.

Na maior parte das aplicações, foi usada a base integrada na escala ao milionésimo, digitalizada e codificada pela ANA. O uso desta base possui a vantagem de que esta já se encontra ottocodificada, simplificando as etapas seguintes.

Por outro lado, dentro da lógica do SCBH, a base ao milionésimo pode ser insuficiente para o gerenciamento de recursos hídricos em bacias de menor porte. As possíveis deficiências são:

- ausência de trechos: o trecho em que se encontra o pedido de outorga não aparece na hidrografia, levando o sistema a identificar o trecho mais próximo, muitas vezes com área de drenagem superior;

- resolução do trecho: o trecho em que se encontra o pedido de outorga aparece na base, porém sua resolução é demasiadamente grosseira para se possa assumir a simplificação de balanço hídrico no exutório. Este problema é comum em trechos de cabeceira.

- imprecisão: sinuosidades do trecho são simplificadas por linhas retas, levando a imprecisões na localização do trecho e em seu comprimento.

As deficiências listadas têm pouco impacto nos sistemas desenvolvidos com foco nos rios de domínio da União, visto que estes costumam ser de maior porte, de forma que eventuais erros na digitalização acabam se compensando. Entretanto, no caso de órgãos gestores estaduais, as deficiências inviabilizam o uso de um sistema de apoio à decisão baseado na escala ao milionésimo.

Assim, em muitos casos foi necessário obter bases hidrográficas mais detalhadas. No caso da bacia do rio São Marcos, por exemplo, foi obtida a hidrografia em escala 1:100.000 do estado de Goiás, a partir de http://www.sieg.go.gov.br, sendo que a porção mineira da bacia teve sua hidrografia digitalizada a partir das cartas Serra da Tiririca, Ribeirão Arrojado e Cabeceira Grande (SE-23-V-C-II, SE-23-V-A-V e SE-23-V-A-II). Já no caso da bacia do rio Preto, foi obtida a hidrografia em escala 1:10.000 do sistema de informações geográficas do Distrito Federal (SICAD).

A partir das bases consolidadas, foi necessário definir a área de drenagem acumulada e codificar os trechos. Para acumulação da área de drenagem, inicialmente é necessário definir a área acumulada de cada ottobacia. Isto foi feito em ambiente ArcGis®, da seguinte forma:

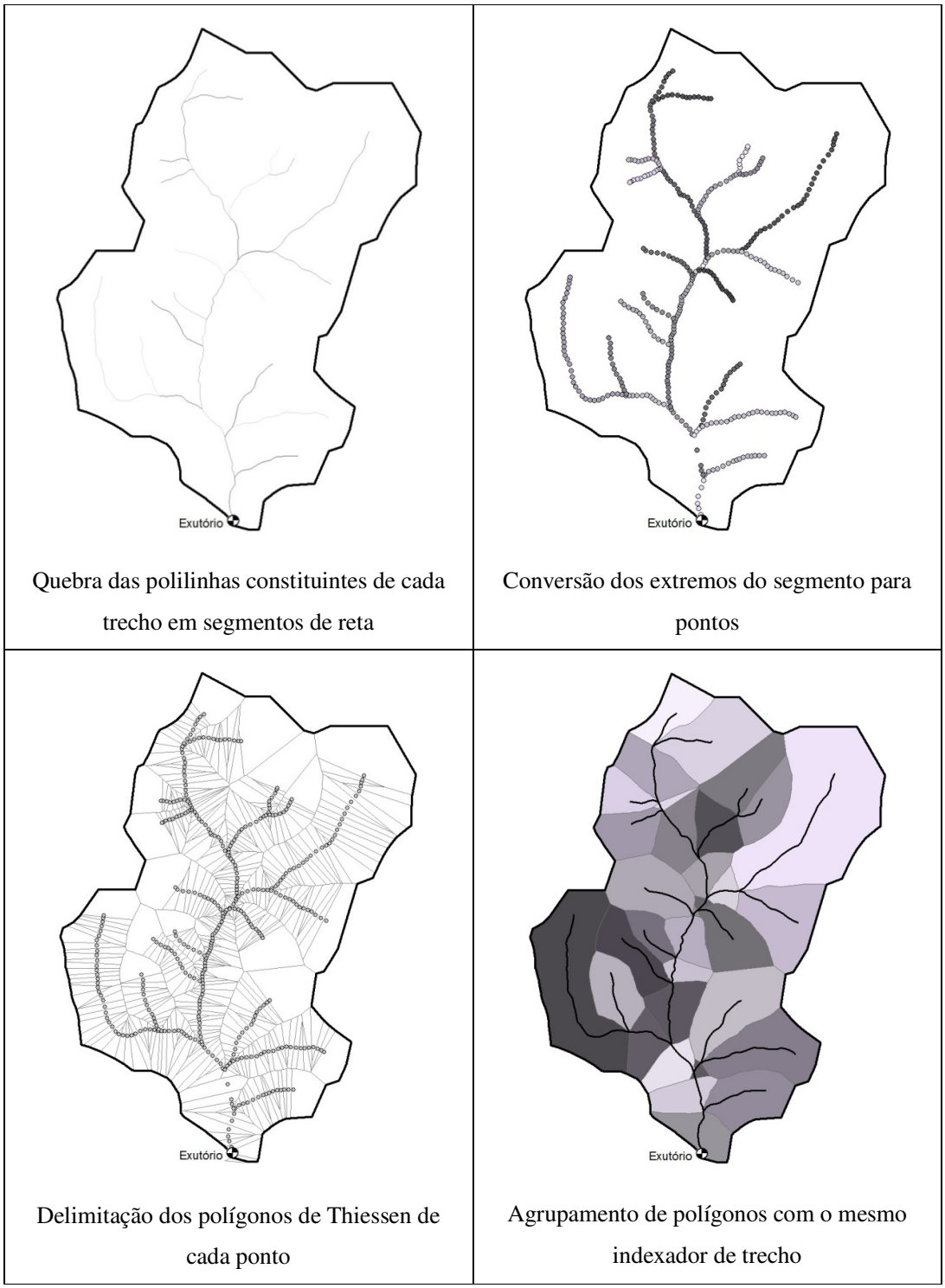
- cada trecho (polilinha) foi dividido em subtrechos (linhas retas);

- cada subtrecho foi convertido para pontos, sendo um em cada extremidade, mantendo um código identificador (inteiro sequencial) do trecho original;

- a área de influência de cada subtrecho foi definida por meio da delimitação de polígonos de Thiessen (equidistância) entre os pontos;

- a área de contribuição de cada trecho foi obtida, agrupando-se as áreas de influência dos subtrechos com mesmo código;

A Figura 0.4 mostra o processo de delimitação das áreas de drenagem individuais.



Quebra das polilinhas constituintes de cada trecho em segmentos de reta

Conversão dos extremos do segmento para pontos

Delimitação dos polígonos de Thiessen de cada ponto

Agrupamento de polígonos com o mesmo indexador de trecho

Figura 0.4. Delimitação da área de drenagem das ottobacias individuais

A delimitação por equidistância (polígonos de Thiessen) não é topograficamente consistente, de forma que os contornos das ottobacias não necessariamente coincidem com os divisores de água reais. Entretanto, se a hidrografia é suficientemente detalhada para o fim a que se

propõe, estes erros passam a ser pouco representativos. Além disso, há compensação de erros à medida em que se acumulam as ottobacias para jusante.

Para acumulação da área de drenagem, foi desenvolvido um *script* em Matlab, que consiste no seguinte:

- abertura do arquivo *shapefile*, com leitura da área de contribuição de cada trecho e das coordenadas dos extremos do trecho;

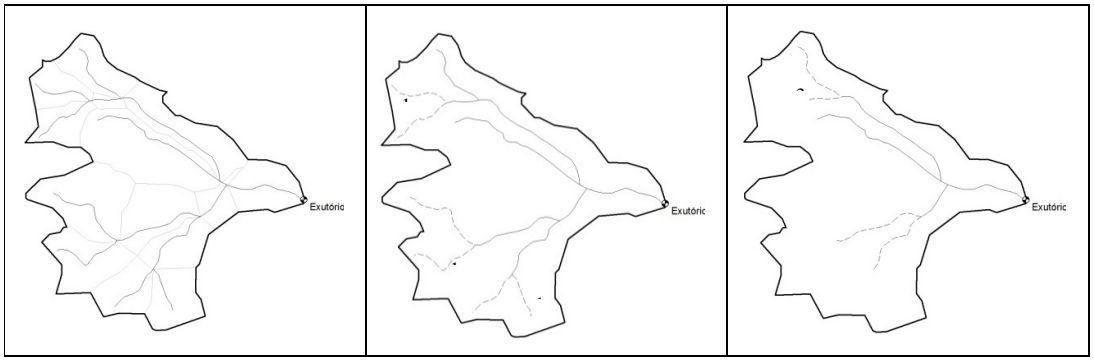
- para cada trecho, o *script* compara as coordenadas de seus extremos com as coordenadas de todos os outros trechos. Caso só existam dois outros trechos com extremos em comum, trata-se de um trecho de cabeceira;

- da mesma forma, o *script* identifica se um dos dois trechos conectados também é de cabeceira. Caso seja, a área de drenagem de ambos é acumulada no terceiro (trecho de jusante), e os dois trechos de cabeceira são "eliminados" da varredura;

- o mesmo procedimento é feito para todos os demais trechos, até que todos os trechos de cabeceira originais tenham sido eliminados. O programa repete o mesmo procedimento de forma subsequente, eliminando os novos trechos de cabeceira e acumulando no trecho a jusante, até atingir a foz do rio;

- para cada trecho, o *script* cria ainda um vetor com os códigos inteiros sequenciais de todos os trechos a jusante, a ser usado posteriormente na ottocodificação;

A Figura 0.5 mostra um exemplo da sequência do algoritmo de acumulação de área de drenagem, supondo que área individual de cada ottobacia seja 1 km², por simplificação.



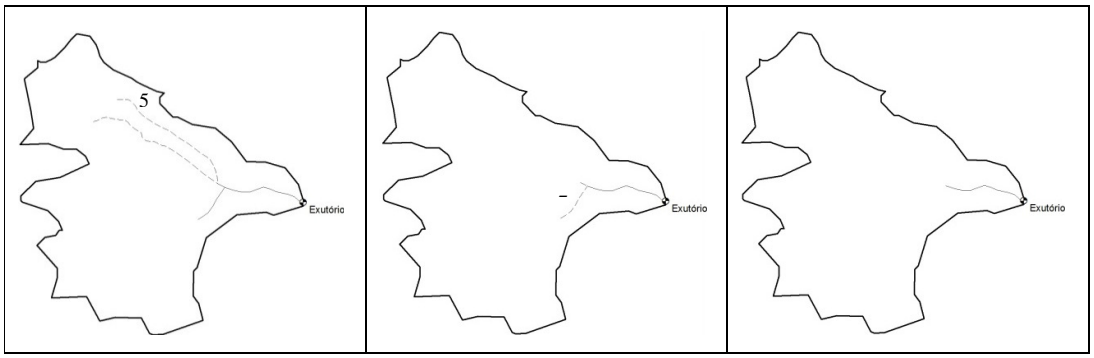


Figura 0.5. Acumulação da área de drenagem por meio da eliminação sequencial de confluências de cabeceira

Assim, obtém-se uma base com a área de contribuição individual de cada trecho e a área de drenagem acumulada em cada trecho. O procedimento para ottocodificar a base também foi sistematizado em um *script* do Matlab, da seguinte forma:

- a partir do trecho exutório, o *script* identifica o rio principal. Para isso, identifica inicialmente os trechos a montante do trecho exutório (pela comparação de coordenadas dos extremos) e identifica qual deles possui maior área de drenagem acumulada. O mesmo procedimento é feito subsequentemente, de jusante para montante;

- ao percorrer o canal principal, o *script* armazena também as áreas de drenagem acumuladas dos tributários. Ao chegar à nascente, o programa classifica os tributários de acordo com a área de drenagem, identificando os quatro maiores.

- cada um dos principais tributários tem um trecho no qual este se conecta ao rio principal. O programa faz uma varredura nos vetores contendo os trechos a jusante de cada trecho, identificando aqueles que contêm o trecho tributário. A estes serão atribuídos os algarismos pares (2,4,6 e 8);

- da mesma forma, os trechos de rio principal conectados aos principais tributários são identificados por meio do vetor de jusante, e a eles são atribuídos os algarismos ímpares (1,3,5,7 e 9).

- ao fim deste processo, todos os trechos têm um código otto de nível 1, com apenas um algarismo. O script então repete o procedimento em todos trechos de nível 1, posteriormente em todos de nível 2, etc, até o nível 9. Tem-se então todos os trechos codificados em nível 2. O procedimento é repetido em todos os níveis de 11 a 99, depois de 111 a 999 e assim por diante.

Observa-se que o tempo de processamento cresce exponencialmente a cada novo nível adicionado. Atualmente, o programa executa a codificação até o nível 9.

Anexo A 5. Exemplo de relatório de análise do SCBH.

Analise de disponibilidade hidrica

Análise realizada pelo Sistema de Controle de Balanço Hídrico (SCBH)
Sistema desenvolvido pela GEREG/SOF, conforme documento PROTON 5111/2008

Processo: 02501.000000/2014-00
Interessado: Fulano de Tal

Código do trecho de demanda na base: 190921
Área de drenagem a montante: 61056 km2

Considerando as demandas instantâneas

	Disp. hidrica (m3/s)	Cons. montante (m3/s)
Janeiro:	389.4	9.7
Fevereiro:	381.4	9.7
Marco:	385.5	9.8
Abril:	377.6	10.0
Maio :	368.6	10.1
Junho:	365.9	10.1
Julho:	363.7	10.1
Agosto:	362.5	10.1
Setembro:	361.5	10.1
Outubro:	359.6	10.0
Novembro:	362.1	9.9
Dezembro:	370.4	9.8

Comprometimento quantitativo

	Demanda (m3/s)	Comprom. individual (%)	Comprom. coletivo (%)
Janeiro:	0.278	0.07	2.57
Fevereiro:	0.278	0.07	2.63
Março:	0.278	0.07	2.63
Abril:	0.278	0.07	2.72
Maio:	0.278	0.08	2.82
Junho:	0.278	0.08	2.84
Julho:	0.278	0.08	2.86
Agosto:	0.278	0.08	2.87
Setembro:	0.278	0.08	2.88
Outubro:	0.278	0.08	2.86
Novembro:	0.278	0.08	2.80
Dezembro:	0.278	0.07	2.72

Mês mais Crítico: Setembro

O comprometimento coletivo de 2.9% indica que há disponibilidade hídrica para atendimento ao pleito.

Anexo A 6. Respostas ao questionário.

A seguir são listadas as respostas do questionário de avaliação do SCBH que não se enquadraram nas alternativas pré-definidas.

Questão 1 – Em que medida você entende que o uso do SCBH transformou os procedimentos de análise de outorga de direito de uso e outorga preventiva?

Questão 2 – Caso a resposta anterior seja (d- melhorou um pouco) ou (e – melhorou muito), identifique em que aspectos o SCBH melhorou os procedimentos:

a análise de um novo usuário de água não restringe ao local da captação / lançamento, mas também para jusante

maior segurança e confiabilidade na análise

Questão 3 – No que diz respeito a outorga para diluição de efluentes, em que medida você entende que o uso do SCBH transformou os procedimentos?

antes da sistematização proporcionada pelo SCBH, a análise de lançamento era feita anteriormente de forma bastante simplificada, sem considerar decaimentos dos poluentes não conservativos orinudos dos lançamentos de montante, além de não se analisar o impacto de um novo lançamreno nos trechos a jusante do lançamento.

Não tenho condições de avaliar

Não posso avaliar. Não o utilizo para esta finalidade.

Não tenho conhecimento

Trabalho com outorga para irrigação, que não possui lançamento

Não trabalho com diluição de efluentes

Não posso responder, pois meu trabalho com o SCBH foi completamente voltado para análises quantitativas.

para outorga de efluente não utilizamos o SCBH

não utilizamos ainda

Questão 4 - O uso do SCBH motivou o desenvolvimento de novos sistemas de apoio à decisão para outorga, mais adequados à rotina e procedimentos do órgão?

o SDO da ANA foi baseado no SCBH

Sim, uma evolução do próprio SCBH

Não sei responder a essa pergunta

Questão 5 - Na sua opinião, em que aspectos o SCBH ainda pode ser melhorado (mais de uma alternativa pode ser marcada)?

Colocar na internet para acesso público para fins de simulação.

Possibilitar a Outorga para aquicultura em tanques-rede

Facilitar o preenchimento dos dados. Emssão de relatório mais detalhado e compacto.

poderia ser incorporado um dispositivo de consulta, que permitisse ao usuário consultar os usos já inseridos na base das demandas

internalização dos regimes operacionais (horas de uso) nos resultados referentes a comprometimentos hídricos

Acredito que o SCBH poderia estar disponível para que o empreendedor fizesse consulta preliminar, sobre o impacto da captação na disponibilidade hídrica da bacia, antes de encaminhar formalmente a solicitação de outorga para avaliação da ANA.

Por favor, adicione aqui qualquer comentário que gostaria de fazer sobre o uso do sistema SCBH

poderia se pensar futuramente no SCBH como um sistema de apoio a decisão para investimentos em despoluição, por exemplo. Um otimizador que avaliasse diferentes níveis de tratamento dos diversos poluidores de uma bacia para atingir uma classe de enquadramento, ao menor custo para a bacia, por exemplo., baseando a otimização nos custos de abatimento

de carga. Um sistema assim poderia ser usado para os planos de investimentos dos planos de bacia, pelas agências de água e consórcios das bacias, pelo PRODES, etc..

O sistema por sí, não garante a qualidade das ínformações. Deve ser mais valorizada a qualidade das informações tanto da disponibilidade quanto das quanto das demandas. Esses dados devem permitir comparações mensais, para a emissão de outorgas de qualidade.

Pelo menos por enquanto, só há uma pessoa capaz de gerenciar o sistema.

Atualmente o SCBH é de fundamental importância para outorga de Recursos hídricos na ANA. Mas entendo que ainda há espaço para melhorias.

Considero o SCBH imprescindível. Cheguei à ANA depois de sua existência e não consigo imaginar como se analisava pedidos de outorga sem o SCBH.

1 - Os dados de disponibilidade hídrica poderiam ser diários ou semanais, com isto poderia facilitar o atendimento de mais usuários. 2 - Não deveria utilizar a vazão instantânea por hora para avaliar a disponibilidade hídrica em corpos hídricos localizados nas cabeceiras e sim um sistema que considerasse a integração do o período de tempo, incluindo os dias.

ampliação para trechos no domínio dos estados.

nada a adicionar