

SELMA CRISTINA DA SILVA

**Custos de Medidas de Redução e Instrumentos de Gestão no
Controle da Poluição Hídrica**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, da Universidade Federal de Campina Grande, para obtenção do Grau de Mestre.

ORIENTADORA: Márcia Maria Rios Ribeiro

Campina Grande – PB
Fevereiro de 2003

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
ÁREA DE ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

**Custos de Medidas de Redução e Instrumentos de Gestão no
Controle da Poluição Hídrica**

Dissertação de Mestrado

Selma Cristina da Silva

Campina Grande - PB

Fevereiro de 2003



S586c Silva, Selma Cristina da.
Custos de medidas de redução e instrumentos de gestão no controle da poluição hídrica / Selma Cristina da Silva. - Campina Grande, 2003.
132 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2003.
"Orientação : Profa. Márcia Maria Rios Ribeiro".
Referências.

1. Tratamento de Água. 2. Gestão de Recursos Hídricos. 3. Dissertação - Engenharia Civil. I. Ribeiro, Márcia Maria Rios. II. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). III. Título

CDU 628.16(043)

**Custos de Medidas de Redução e Instrumentos de Gestão no
Controle da Poluição Hídrica**

Selma Cristina da Silva

BANCA EXAMINADORA:



Profª. Márcia Maria Rios Ribeiro (UFCG)
(Orientadora)



Prof. Tarciso Cabral da Silva (UFPB)
(Examinador externo)



Prof. Beatriz Susana O. de Ceballos (UFCG)
(Examinador interno)

RESUMO

A poluição dos mananciais superficiais acarreta em elevados custos de tratamento da água causando sério impacto econômico. Isso conduz aos órgãos gestores estabelecerem um sistema de controle da poluição com base nos instrumentos de gestão das Políticas Ambiental (Lei nº 6.938/81) e de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/97) que obrigam aos usuários da água utilizarem os mananciais preservando a qualidade das suas águas. Com base na preservação e recuperação dos mananciais superficiais, escolheu-se a bacia hidrográfica do rio Pirapama, localizada na Região Metropolitana do Recife, como caso de estudo. Objetiva-se verificar o nível de poluição hídrica deste rio e definir custos de medida de redução da poluição diante o estabelecimento de cenários de melhoria da qualidade da água (despoluição da bacia) vinculados ao que dispõe o enquadramento dos corpos d'água em Classes de usos preponderantes, através da Resolução CONAMA nº 20/86. Além disto, objetiva-se estabelecer um sistema de cobrança pelo lançamento de efluentes com base na Curva de Custo Marginal de Longo Prazo, como mecanismo de arrecadação de fundos para melhorias ambientais da bacia. As simulações foram realizadas utilizando-se o Sistema de Apoio a Decisão para Controle Integrado de Poluição – SAD-CIP desenvolvido pelo Banco Mundial. Os resultados obtidos indicaram que a qualidade das águas da área a montante da Barragem Pirapama encontra-se em desacordo com a classe do seu enquadramento – Classe 2, devido ao lançamento de águas residuárias sem tratamento. O custo para despoluição desta área do rio fica em torno de US\$ 3.341.012,82 e as agroindústrias deverão realizar em seus efluentes o Tratamento Secundário e Terciário. Na área a jusante, a situação de poluição ainda está controlada porque algumas das fontes potencialmente poluidoras industriais tratam seus efluentes antes do lançamento, o que não alterou a classificação do seu enquadramento – Classe 3. O único parâmetro fora dos padrões é o fósforo. Há necessidade, portanto, de medidas de controle a fim de reduzir a quantidade de fósforo lançada em toda a extensão do rio.

ABSTRACT

The pollution in water surface sources provoke high water treatment costs which bring serious economic impacts. This situation leads management entities to define a pollution control system based on management tools (in Brazil, such management tools are define on the Environmental Policy – Law number 6.938/81 - as well as Water Resources one – Law number 9.433/97). This research selected the Pirapama river basin, located at Recife Metropolitan Region (Pernambuco State, Brazil) as the study case for analysing water pollution levels and defining water pollution measure control costs. Such costs are established considering scenarios of water river quality improvements. Those scenarios are define based on Brazilian CONAMA Resolution number 020/86 which specifies water river quality goals. Besides, the research aims to establish a water effluent system charges based on the long run marginal cost. The Decision Suport System for Integrated Pollution Control (DSS-IPC), developed by the World Bank, was chosen for performing the simulations. The outcomes showed that upstream Pirapama Dam Area is not complied with CONAMA Resolution (Class 2 was established for the main stream in this Area). The pollution treatment cost for this Area is calculated as US\$ 3.341.012,82 and the agricultural industrial sector must perform Secondary and Terciary treatments. The downstream Area situation is much bettter since industrial sector already treat their effluents. In this Area, Phosphurus is the only one parameter which does not obey CONAMA Resolution.

AGRADECIMENTOS

A autora agradece:

- A Deus pela força e saúde que me concedeu;
- A minha família, principalmente aos meus pais, pelo apoio durante estes anos de estudo;
- A Prof^ª Márcia Maria Rios Ribeiro pela orientação e paciência no apoio durante o desenvolvimento desta pesquisa;
- Ao CNPq, pela bolsa concedida;
- Aos professores da área de saneamento em especial a Beatriz Susana O. de Ceballos, Annemarie König e Rui de Oliveira pela atenção, pelas discussões e indicações de bibliografias referentes a saneamento;
- Aos professores da área de Recursos Hídricos pelo conhecimento fornecido durante as aulas ministradas;
- A minha colega Zédna Mara de Castro Lucena e sua família, em especial a D. Maria pelo acolhimento e amizade que me dispensaram durante este período;
- As secretárias do curso de Graduação e pós-graduação em Engenharia Civil, respectivamente, Maria José Ferreira e Josete de Sousa Ramos pela atenção e ajuda nos assuntos burocráticos durante o período da pesquisa;
- A secretária do DEC/DESA, Isabel Cristina de França Paz pelo apoio e empréstimos dos livros;
- Aos funcionários do Laboratório de Hidráulica representados por Alrezinha Dantas Veiga pela atenção e momentos de descontração.

ÍNDICE	Pág.
RESUMO	i
ABSTRACT	ii
AGRADECIMENTOS	iii
ÍNDICE	iv
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE QUADROS	xiii
LISTA DE SIGLAS	xiv
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	01
CAPÍTULO 2 - ÁREA DE ESTUDO	05
2.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS	05
2.2. FONTES POTENCIALMENTE POLUIDORAS NA BACIA	08
2.3. MONITORAMENTO E QUALIDADE DAS ÁGUAS	11
CAPÍTULO 3 – POLUIÇÃO HÍDRICA E INSTRUMENTOS DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS	16
3.1. POLUIÇÃO HÍDRICA	16
3.1.1. PADRÕES DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES	20
3.2. ENQUADRAMENTO DOS CORPOS D'ÁGUA	23
3.2.1. ASPECTOS LEGAIS DO ENQUADRAMENTO	24

3.2.2. RESOLUÇÃO CONAMA Nº 20/86	27
3.2.3. CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS	29
3.2.4. PROCEDIMENTOS PARA ENQUADRAMENTO DOS CORPOS D'ÁGUA	32
3.2.5. SITUAÇÃO DO ENQUADRAMENTO DOS CORPOS D'ÁGUA NO BRASIL	38
3.2.6. NECESSIDADE DE REVISÃO DA RESOLUÇÃO CONAMA Nº 20/86	39
3.2.6.1. ATUAL REVISÃO DA RESOLUÇÃO CONAMA Nº 20/86 (em andamento)	40
3.3. COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA	41
3.3.1. ASPECTOS LEGAIS DA COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA NO BRASIL	43
3.3.2. METODOLOGIAS UTILIZADAS PARA O CÁLCULO DA COBRANÇA	45
3.2.3. EXPERIÊNCIA EM COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA	47
3.2.3.1. No Exterior	47
3.2.3.2. No Brasil	49
 CAPÍTULO 4 - SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA O CONTROLE INTEGRADO DE POLUIÇÃO	 59
4.1. ETAPAS METODOLÓGICAS DO TRABALHO	59
4.2. GENERALIDADES SOBRE SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO	59
4.3. SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA O CONTROLE INTEGRADO DA POLUIÇÃO - SAD-CIP	61
4.3.1. CÁLCULO DA CARGA POLUENTE	64
4.3.2. CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO ANUAL	67
4.3.3. CÁLCULO DO DÉFICIT DE OD	

4.3.4. CÁLCULO DOS CUSTOS	67
CAPÍTULO 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
5.1. ANÁLISE DA CONDIÇÃO DA POLUIÇÃO HÍDRICA E CUSTOS DE MEDIDAS DE CONTROLE - ÁREA A MONTANTE DA BARRAGEM PIRAPAMA	72
5.1.1. CARGA POLUENTE TOTAL E TRATAMENTOS PROPOSTOS PARA A SUA REDUÇÃO	75
5.1.2. CONCENTRAÇÃO MÉDIA ANUAL QUE AS CARGAS LANÇADAS, APÓS TRATAMENTOS PROPOSTOS, PODEM CONFERIR AO RIO.....	75
5.1.3. MELHORES OPÇÕES DE TRATAMENTO, FORNECIDAS PELO SAD-CIP, E SEUS RESPECTIVOS CUSTOS	79
5.1.3.1. Curvas do Custo Marginal de Longo Prazo – Área a montante da barragem Pirapama	81
5.1.4. CARGAS LIMITES QUE DEVEM ATENDER AS CLASSES DO ENQUADRAMENTO DOS CORPOS D'ÁGUA E SEUS RESPECTIVOS CUSTOS MARGINAIS	90
5.2. SIMULAÇÃO DA COBRANÇA PELO LANÇAMENTO DE EFLUENTES NA ÁREA A MONTANTE DA BARRAGEM PIRAPAMA	94
5.2.1. COBRANÇA SEM DEFINIÇÃO DA CLASSE DO ENQUADRAMENTO	98
5.2.1.1. Cobrança considerando o lançamento de toda a carga gerada sem tratamento	99
5.2.1.2. Cobrança considerando o lançamento de parte da carga tratada	99
5.2.2. COBRANÇA VISANDO ATENDER A CLASSE 2 DO ENQUADRAMENTO	99
5.2.2.1. Removendo uma carga superior à exigida	105
5.2.2.2. Removendo a quantidade da carga em excesso para atender ao enquadramento	106

5.3. ANÁLISE DA CONDIÇÃO DA POLUIÇÃO HÍDRICA E CUSTOS DE MEDIDAS DE CONTROLE - ÁREA A JUSANTE DA BARRAGEM PIRAPAMA	107
5.3.1. CARGA POLUENTE TOTAL E TRATAMENTOS PROPOSTOS PARA A SUA REDUÇÃO	108
5.3.2. CONCENTRAÇÃO MÉDIA ANUAL QUE AS CARGAS LANÇADAS, PODEM CONFERIR AO RIO	108
5.3.3. MELHORES OPÇÕES DE TRATAMENTO, FORNECIDAS PELO SAD-CIP, E SEUS RESPECTIVOS CUSTOS	109
5.3.3.1. Curvas de Custo Marginal de Longo Prazo para a área a jusante da barragem Pirapama	110
5.3.4. CARGAS LIMITES QUE DEVEM ATENDER AS CLASSES DO ENQUADRAMENTO DOS CORPOS D'ÁGUA E SEU RESPECTIVO CUSTO MARGINAL	113
5.4. SIMULAÇÃO DA COBRANÇA PELO LANÇAMENTO DE EFLUENTES NA ÁREA A JUSANTE DA BARRAGEM PIRAPAMA	115
CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	117
6.1. CONCLUSÃO	119
6.2. RECOMENDAÇÕES	119
CAPÍTULO 7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	124
	126

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Bacia do rio Pirapama – Pe – Área de drenagem e pontos de lançamentos/ localização das empresas.....	7
Figura 2.2. Bacia do rio Pirapama – Pe – Enquadramento e qualidade das águas – 1994.....	14
Figura 2.3. Bacia do rio Pirapama – Pe – Enquadramento e qualidade das águas – 1998.....	15
Figura 3.1. Alguns diplomas legais relativos ao controle de poluição hídrica no Brasil.....	19
Figura 3.2. Bases jurídicas do enquadramento dos corpos d'água no Brasil.....	26
Figura 3.3. Esquema das fases do enquadramento dos corpos d'água (MACIEL Jr., 2000)	33
Figura 3.4. Órgãos competentes pelo enquadramento dos corpos d'água e suas respectivas atribuições (pós Lei nº 9.433/97).....	37
Figura 3.5. Esquema da cobrança pelo uso dos recursos hídricos.....	45
Figura 4.1. Estrutura típica de um SAD (Segundo Porto, 1997).....	60
Figura 4.2. Características de um SAD (Segundo Turban, 1993 <i>apud</i> Porto, 1997).....	61
Figura 4.3. Estrutura do SAD-CIP (WORLD BANK, 1998).....	63
Figura 5.1. Situação pelo lançamento dos <i>esgotos domésticos</i> (DBO) - Área a montante da barragem Pirapama.....	84
Figura 5.2. Situação pelo lançamento dos <i>efluentes agroindustriais</i> juntamente com <i>os esgotos domésticos</i> (DBO) e custos de tratamento da carga removida - Área a montante da baragem Pirapama.....	85
Figura 5.3. Situação pelo lançamento de Óleo proveniente dos <i>esgotos domésticos</i> e custos de tratamento da carga removida - Área a montante da baragem Pirapama.....	87
Figura 5.4. Cargas totais anuais (ton/ano) de fósforo e nitrogênio - Área a montante da barragem Pirapama.....	88

Figura 5.5. Situação proveniente do lançamento de SS dos <i>esgotos domésticos</i> e custos de tratamento da carga removida - Área a montante da barragem Pirapama.....	89
Figura 5.6. Situação proveniente do lançamento de SS dos <i>efluentes agroindustriais</i> em conjunto com os <i>esgotos domésticos</i> e custos de tratamento da carga removida - Área a montante da barragem Pirapama.....	90
Figura 5.7. Custo Marginal de Longo Prazo para remoção de DBO – Área a montante da barragem Pirapama.....	91
Figura 5.7a. Custo Marginal de Longo Prazo para remoção de DBO – Área a montante da barragem Pirapama.....	91
Figura 5.8. Curva de Custo Marginal de Longo Prazo para remoção de Sólidos Suspensos – Área a montante da barragem Pirapama.....	91
Figura 5.8a. Curva de Custo Marginal de Longo Prazo para remoção de Sólidos Suspensos – Área a montante da barragem Pirapama.....	92
Figura 5.9. Curva de Custo Marginal de Longo Prazo para remoção de DBO e Sólidos Suspensos – Área a montante da barragem Pirapama.....	92
Figura 5.9a. Curva de Custo Marginal de Longo Prazo para remoção de DBO e Sólidos Suspensos – Área a montante da barragem Pirapama.....	92
Figura 10. Custo Marginal de Longo Prazo para remoção de DBO – Área a jusante da barragem, Pirapama.....	114
Figura 10a. Custo Marginal de Longo Prazo para remoção de DBO - Área a jusante da barragem, Pirapama.....	114
Figura 11. Curva de Custo Marginal de Longo Prazo para remoção de Sólidos Suspensos - Área a jusante da barragem, Pirapama.....	114
Figura 11a. Curva de Custo Marginal de Longo Prazo para remoção de Sólidos Suspensos.....	115
Figura 12. Curva de Custo Marginal de Longo Prazo para remoção de DBO e Sólidos Suspensos.....	115

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Valores cobrados pelo uso da água na Alemanha (SANTOS, 2002).....	48
Tabela 3.2. Preços da água por modalidade de uso na bacia do Vaza-Barris (em R\$/m ³ e R\$/kg DBO) (CARRERA-FERNANDEZ 1999).....	51
Tabela 3.3. Preços unitários propostos para a cobrança pelo uso da água no Estado de São Paulo (SRHSO/SP, 2002).....	54
Tabela 3.4. Preços pelo uso da água e receita potencial em algumas bacias do Estado de São Paulo (CARRERA-FERNANDEZ.& GARRIDO, 2000).....	55
Tabela 3.5. Custos Marginais de Longo Prazo de racionamento para a bacia do Pirapama – Pe (CARRERA-FERNANDEZ, 2000).....	55
Tabela 3.6. Determinação dos preços ótimos pelo uso da água para a bacia do rio Pirapama – Pe (CARRERA-FERNANDEZ, 2000).....	56
Tabela 3.7. Preços ótimos restritos à capacidade de pagamento dos usuários para a bacia do rio Pirapama – Pe (CARRERA-FERNANDEZ, 2000).....	57
Tabela 5.1. Estimativas fornecidas pelo SAD-CIP, das cargas totais de cada parâmetro, geradas pelas agroindústrias e esgotos domésticos - Área a montante da barragem Pirapama.....	76
Tabela 5.2. Percentuais de redução da carga total (ton/ano) de cada parâmetro após aplicação de tratamento nos efluentes agroindustriais e esgotos doméstico – Área a montante da barragem Pirapama.....	77
Tabela 5.3. Concentrações médias anuais de cada poluente, conferida ao rio após lançamento das águas residuárias – Área a montante da barragem Pirapama.....	79
Tabela 5.4. Concentrações conferidas ao rio após lançamento das águas residuárias obtidas a partir dos 11 (onze) cenários propostos.....	80
Tabela 5.5. Tratamentos fornecidos pelo SAD-CIP para remoção DBO em <i>esgotos domésticos</i> e seus respectivos custos - Área a montante da barragem	

Pirapama.....	83
Tabela 5.6. Tratamentos fornecidos pelo SAD-CIP para remoção de DBO de <i>efluentes agroindustriais</i> juntamente com <i>esgotos domésticos</i> e seus respectivos custos - Área a montante da barragem Pirapama.....	84
Tabela 5.7. Tratamentos fornecidos pelo SAD-CIP para remoção de Óleo em <i>esgotos domésticos</i> e seus respectivos custos - Área a montante da barragem Pirapama.....	86
Tabela 5.8. Tratamentos fornecidos pelo SAD-CIP para remoção de nutrientes (Nitrogênio e Fósforo) em <i>esgotos domésticos</i> e seus respectivos custos - Área a montante da barragem Pirapama.....	87
Tabela 5.9. Tratamentos fornecidos pelo SAD-CIP para remoção de SS em <i>esgotos domésticos</i> e seus respectivos custos - Área a montante da barragem Pirapama.....	88
Tabela 5.10. Tratamentos fornecidos pelo SAD-CIP para remoção de SS em <i>esgotos domésticos</i> em conjunto com <i>efluentes agroindustriais</i> e seus respectivos custos - Área a montante da barragem Pirapama.....	89
Tabela 5.11. Custos de remoção do excesso de carga poluidora (ton DBO/ano) das águas residuárias, sem tratamento, lançadas na área a montante da barragem Pirapama.....	96
Tabela 5.12. Tratamentos que podem ser realizados nas águas residuárias para remoção de DBO em atendimento as Classes 1, 2 e 3 do enquadramento e seus respectivos custos.....	97
Tabela 5.13. Resumo do sistema de cobrança com valores que podem ser cobrados pelo lançamento de efluentes das fontes potencialmente poluidoras – Área a montante da barragem Pirapama.....	104
Tabela 5.14. Arrecadação total obtida com o sistema de cobrança para cada setor usuário	105
Tabela 5.15. Cargas a serem removidas pelos setores usuários para atender ao enquadramento dos corpos d'água.....	106

Tabela 5.16. Cobrança no valor de US\$ 320.00 /ton para o setor agroindustrial e de US\$ 1,345.00 /ton para o setor doméstico.....	107
Tabela 5.17. Cobrança no valor de US\$ 240.00 /ton para o setor agroindustrial e de US\$ 2,990.00 /ton para o setor doméstico.....	108
Tabela 5.18. Estimativas fornecidas pelo SAD-CIP, das cargas totais de cada parâmetro, geradas pelas indústrias e esgotos domésticos - Área a jusante da barragem Pirapama.....	109
Tabela 5.19. Concentrações médias anuais de cada poluente, conferida ao rio após lançamento das águas residuárias – Área a jusante da barragem Pirapama.....	110
Tabela 5.20. Alternativas de custos, fornecidas pelo SAD-CIP, para remoção da carga poluidora dos efluentes do <i>Esgoto doméstico</i> para cada parâmetro.....	111
Tabela 5.21. Alternativas de custos, fornecidas pelo SAD-CIP, para remoção da carga poluidora dos efluentes da <i>Usina de açúcar</i> para cada parâmetro.....	111
Tabela 5.22. Estimativa do custo do <i>Tratamento Secundário</i> , fornecida pelo SAD-CIP, já realizado pelas <i>indústrias químicas</i> e a quantidade de carga removida de cada parâmetro.....	112
Tabela 5.23. Estimativa do custo do Tratamento Secundário, fornecida pelo SAD-CIP, já realizado pela <i>cervejaria</i> e a quantidade de carga removida de cada parâmetro.....	113
Tabela 5.24. Quantidade de carga removida por parâmetro com o <i>tratamento secundário</i> realizada pela <i>refinações de milho</i> – Custo que o SAD-CIP forneceu para o sistema já implantado.....	113
Tabela 5.25. Custos de remoção do excesso de carga poluidora, para os parâmetros DBO e fósforo - Área a jusante da barragem Pirapama.....	116
Tabela 5.26. Simulação do sistema de cobrança pelo lançamento de efluentes - Área a jusante da barragem Pirapama.....	117

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1. Fontes potencialmente poluidoras localizadas nas áreas a montante e a jusante da barragem Pirapama - excluindo as localidades (CPRH/DFID, 1998c).....	9
Quadro 2.2. Fontes potencialmente poluidoras localizadas na área a montante da barragem Pirapama e suas respectivas cargas potenciais de DBO (CPRH/DFID, 1998c).....	9
Quadro 2.3. Fontes potencialmente poluidoras localizadas na área a jusante da barragem Pirapama e suas respectivas cargas potenciais de DBO (CPRH/DFID, 1998c).....	10
Quadro 2.4. Produção anual das indústrias e agroindústrias, localizadas a jusante da barragem Pirapama.....	11
Quadro 2.5. Valores limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 20/86 para os parâmetros monitorados nos pontos ao longo da extensão do rio Pirapama e em seus afluentes principais	13
Quadro 3.1. Níveis de tratamento das águas residuárias.....	18
Quadro 3.2. Valores máximos de cada parâmetro recomendados pelo Reino Unido, EUA (SILVA, 1998) e Europa (CEC, 1991).....	20
Quadro 3.3. Padrões de lançamentos estaduais para alguns parâmetros de qualidade (NASCIMENTO, 1998).....	22
Quadro 3.4. Classes das águas e seus usos preponderantes – Resolução CONAMA nº 20/86.....	27
Quadro 3.5. Instrumentos legais utilizados para a classificação dos corpos d'água em alguns estados brasileiros com suas respectivas leis que definem os padrões de qualidade e de lançamento de efluentes (NASCIMENTO, 1998).....	30
Quadro 3.6. Classificação das águas estaduais brasileiras	31
Quadro 4.1. Fatores de emissão utilizados pelo SAD-CIP para cada tipo de processo (WORLD BANK, 1998).....	65
Quadro 4.2. Fatores de redução utilizados pelo SAD-CIP para cada processo e tipo de tratamento (WORLD BANK, 1998).....	66

LISTA DE SIGLAS

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente;
SAD-CIP - Sistema de Apoio à Decisão para o Controle Integrado de Poluição;
CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos;
CERH - Conselho Estadual de Recursos Hídricos;
RMR - Região Metropolitana do Recife;
MINTER – Ministério do Interior;
MMA - Ministério do Meio Ambiente;
SNGRH - Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;
IBAMA - Instituto Brasileiro de Meio Ambiente;
ANA - Agência Nacional de Águas
CEEIBH - Comitê Especial de Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas
ACB - Análise Custo Benefício
ACE - Análise Custo Efetividade
CONERH - Conselho Estadual de Recursos Hídricos
COGERH - Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará
CAGECE - Companhia de água e Esgoto do Estado do Ceará
PUB - Preço unitário básico
CPRH – Companhia Pernambuco de Meio Ambiente
COBH - Comitê de Bacia Hidrográfica do rio Pirapama
SAD – Sistema de Apoio a Decisão
SP - Sedimentação primária
TS - Tratamento secundário;
TQ - Tratamento químico.
STR - Sem tratamento
TBS - Tratamento biológico secundário
PL - Processos limpos
TS - Tratamento secundário
TST - Tratamento secundário e terciário
TPQ - Tratamento primário e químico
TBQ - Tratamento biológico e químico
CMLP - Custo Marginal de Longo Prazo
CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

No Brasil, há pouco tempo, não havia uma preocupação com a questão da escassez dos recursos hídricos nas suas componentes quantitativa e qualitativa. Entretanto, hoje o problema de escassez da água é visível, em ambos aspectos, principalmente nos mananciais superficiais que são utilizados para suprimento das demandas nas suas múltiplas modalidades de uso. Estes mananciais vêm sendo poluídos por resíduos sólidos, impurezas do escoamento superficial e também por efluentes industriais, agroindustriais e esgotos domésticos que são lançados sem tratamento em quantidades inadequadas para o corpo d'água. O aproveitamento dos corpos d'água como diluidores de despejos domésticos e industriais inviabiliza seus usos alternativos. Isso ocorre porque a maioria destes usos, especialmente os destinados ao abastecimento humano e a irrigação de lavouras – dependem de água com níveis de poluição muito reduzidos.

A poluição dos mananciais superficiais utilizados para fins de abastecimento humano acarreta em elevados custos de tratamento da água causando sério impacto econômico. A água bruta de má qualidade que chega a estação de tratamento requer uso de maior quantidade de compostos químicos no processo de desinfecção, a fim de garantir um grau adequado de qualidade ao consumo humano. Tal situação onera custos e inviabiliza muitas vezes a utilização do manancial. Sendo assim, este manancial deixa de ser operado e o planejador procura outros mananciais que apresentem melhor qualidade da água e custos de tratamento viáveis. Dependendo da localização do manancial os custos operacionais poderão elevar-se. Os custos adicionais poderão ser evitados se os mananciais em operação forem controlados e monitorados visando à preservação da qualidade das águas. Isso poderá ser alcançado se obedecido os padrões de lançamento estipulados nas legislações nacionais e com a implementação dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos previstos na recente

Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/97), entre os quais, o enquadramento dos corpos d'água em Classes de usos preponderantes e a cobrança pelo uso da água – a serem discutidos neste trabalho.

Para as bacias hidrográficas que estiverem em processo de degradação devido a falta de fiscalização, controle e aplicação dos instrumentos de gestão, deve-se verificar o nível de degradação do manancial e o cumprimento das exigências das legislações ambientais por parte das fontes potencialmente poluidoras em relação ao lançamento de efluentes e ao enquadramento dos corpos d'água.

O nível de contribuição de poluição hídrica pelos setores usuários poderá ser conhecido estimando-se as cargas lançadas e verificando-se o grau de interferência destas cargas na qualidade das águas. Havendo modificação no aspecto qualitativo das águas, deve-se quantificar o excesso da carga e estabelecer o tipo de tratamento capaz de removê-la e o seu respectivo custo de remoção. Isso possibilitará a implantação de medidas de controle eficientes, onde as cargas lançadas estarão atendendo aos padrões de lançamento e/ou ao enquadramento dos corpos d'água nas condições de vazão crítica, objetivando a minimização dos níveis de poluição.

A estimativa de tais custos de remoção é uma tarefa complexa porque envolve particularidades de cada estação de tratamento, do processo produtivo empregado, da matéria-prima usada, do controle de qualidade adotado, dos tipos de poluentes a serem controlados, dos níveis de remoção desejados, do tamanho e da localização da estação de tratamento e do método de controle escolhido. Sendo assim, é recomendável a utilização de ferramentas computacionais como Sistemas de Apoio a Decisões, desenvolvidas com a finalidade de auxiliar na definição de tais custos em situações que não se dispõe de dados suficientes – caso da bacia objeto de estudo.

Para o desenvolvimento deste trabalho, escolheu-se como estudo de caso a bacia do rio Pirapama localizada na Região Metropolitana do Recife em virtude de suas águas serem utilizadas para o atendimento das diversas modalidades de uso, inclusive diluição de poluentes. O objetivo deste trabalho é, portanto, verificar o nível de poluição hídrica do rio e

definir custos de medidas de redução da poluição diante o estabelecimento de cenários de melhoria da qualidade da água (despoluição da bacia) vinculados ao que dispõe o enquadramento dos corpos d'água em Classes de usos preponderantes. Além disto, objetiva-se estabelecer um sistema de cobrança pelo lançamento de efluentes com base na Curva de Custo Marginal de Longo Prazo, como mecanismo de arrecadação de fundos para melhorias ambientais da bacia. Como objetivos específicos apresentam-se:

- estimar a carga poluidora que está sendo lançada no rio;
- estabelecer cenários de melhoria da qualidade dos efluentes a serem lançados com base na classificação do enquadramento dos corpos d'água que segue as classes da Resolução nº 20/86 do CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente;
- definir as cargas que o rio tem capacidade de assimilar com base em cenários de melhoria da qualidade das águas para atendimento às Classes 1, 2 e 3 do enquadramento dos corpos d'água (Resolução CONAMA nº 20/86);
- levantar os custos necessários para a remoção da carga em excesso, ou seja para trazer o rio da qualidade atual para a qualidade desejada;
- estabelecer um sistema de cobrança pelo lançamento de efluentes com base na Curva de Custo Marginal de Longo Prazo, como mecanismo arrecadatório capaz de fazer face aos investimentos necessários para se atingir a meta qualitativa desejada.

Considerando-se as dificuldades de aquisição dos custos de controle de poluição, entre outras informações, nesta pesquisa utilizou-se o modelo SAD-CIP - Sistema de Apoio à Decisão para o Controle Integrado de Poluição, desenvolvido pelo Banco Mundial, que possui um extenso banco de dados e modelos computacionais capazes de estimar percentuais de concentração média do poluente no rio, a carga poluente e seu custo de remoção. Este sistema possibilitou as simulações dos cenários de melhoria da qualidade dos efluentes a serem lançados e os custos para remoção de carga poluidora. Forneceu, também, a curva de Custo Marginal de Longo Prazo para cada parâmetro de qualidade considerado. O sistema de cobrança pelo lançamento de efluentes foi desenvolvido com base nesta Curva de Custo Marginal de Longo Prazo do parâmetro DBO.

No contexto desta pesquisa apresentam-se no **CAPÍTULO 2** as características gerais da área em estudo objetivando o conhecimento da situação de poluição hídrica em que se encontra a bacia.

O **CAPÍTULO 3** apresenta uma revisão bibliográfica sobre enquadramento dos corpos d'água e cobrança pelo uso da água.

No **CAPÍTULO 4** tem-se uma descrição geral do modelo SAD-CIP, selecionado como ferramenta para fornecer o tipo de tratamento realizado nos efluentes e seus respectivos custos de controle de poluição.

No **CAPÍTULO 5** são apresentados e discutidos resultados adquiridos nas simulações realizadas com o SAD-CIP.

O **CAPÍTULO 6** é dedicado à conclusão da pesquisa realizada e suas recomendações.

CAPÍTULO 2 - ÁREA DE ESTUDO

2.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS

A bacia hidrográfica do rio Pirapama (**Figura 2.1**), localiza-se no litoral do Estado de Pernambuco, no extremo sul da Região Metropolitana do Recife (RMR), com latitude de 8°14'00"S e longitude 35°07'30"W. Sua área total é de 600 Km², tendo o rio principal uma extensão de 80 Km o qual nasce a 450 m de altitude, no município de Pombos. O rio Pirapama é o manancial mais importante para abastecimento da RMR situando-se a um raio de 40 km da cidade do Recife (CPRH/DFID, 1998). Esta bacia é contemplada com uma barragem de mesmo nome, com capacidade de 61 milhões de metros cúbicos concluída no final do ano 2001 (FILHO, 2001). A barragem tem como finalidade regularizar uma vazão de 6,33 m³/s, dos quais 5,13 m³/s serão destinados ao abastecimento público da RMR (CPRH/DFID, 1998).

As estruturas geológicas predominantes na bacia são embasamento cristalino e rochas sedimentares das Formações Cabo e Ipojuca. Os solos encontrados são Areias Quartzosas Marinhas, Solos Indiscriminados de Mangue, Terra Rocha, Associação de solos Gleí e Solos Aluviais, Latossolos e Solos Podzólicos. A vegetação é composta de mata atlântica, mata primitiva de restinga e manguezais que se encontram bastante degradados.

A bacia possui clima quente e úmido do tipo As'pseudotropical, da classificação de Koeppen. Possui estações úmidas – de março a agosto; e seca – de setembro a fevereiro. Os totais pluviométricos variam de 2.300 mm anuais – do litoral ao sul da cidade de Cabo; a 1.300 mm no interior da bacia - Zona da Mata. As chuvas anuais ocorrem de

75,0% a 80,0% no período chuvoso e 20,0% a 25,0% no período seco. A temperatura média anual é de 23°C. A maior evaporação ocorre nos meses de setembro a novembro.

A referida bacia é composta por sete municípios dos quais quatro pertencem a RMR e três à Zona da Mata Pernambucana. Possui população total de 103.269 habitantes, onde 38,0% está localizada na zona rural e 62,0% na zona urbana da RMR, representada pela cidade do Cabo. A zona urbana é caracterizada por áreas de uso residencial, industrial, comércio e serviço e de lazer e veraneio. A zona urbana por pequenas propriedades rurais e assentamentos decorrentes do processo de reforma agrária (CPRH/DFID, 1998a).

O município do Cabo é um dos mais importantes pólos industriais da RMR, com 24 grandes indústrias representadas pelos setores químico, de bebidas, de alimentos, de papel, têxteis, minerais não metálicos e mecânicos englobando, também, o setor agroindustrial (álcool e açúcar). Destas indústrias, 79,0% situam-se na zona urbana do Distrito Industrial de Cabo. Além dessas atividades, a bacia sofre uma grande influência do Complexo Industrial Portuário de Suape, localizado ao sul da bacia. Na zona rural da bacia, todos os municípios são produtores de cana-de-açúcar, contudo, a atividade sucroalcooleira tem baixos níveis de produtividade (50 mil kg/ha).

A bacia encontra-se afetada pela insuficiência de tratamento de água; ineficiente drenagem urbana causada pelo inadequado uso do solo; poluição hídrica acentuada; ausência de manejo conservacionista de bacias hidrográficas; por elevadas perdas e altos desperdícios de água; por esgotamento sanitário e limpeza pública precários; além dos problemas sociais como alto índice de mortalidade infantil que em média é de 60 crianças (com até 1 ano de idade) por mil nascidos vivos (IBGE) e de esquistossomose, educação precária e inadequada infra-estrutura sanitária (CPRH/DFID, 1998b). A zona urbana conta com um processo de favelização intenso, no município de Cabo do Santo Agostinho. A zona rural é afetada com um elevado índice de desemprego no período de entressafra da cana de açúcar (março a agosto).

2.2. FONTES POTENCIALMENTE POLUIDORAS NA BACIA

As fontes potencialmente poluidoras localizadas na bacia do rio Pirapama são representadas por:

Agroindústrias:

Estas fontes geram efluentes originados de:

- descarga indireta de vinhaça (fertirrigação): A vinhaça é utilizada no solo como fertirrigação sem nenhum controle de aplicação;
- descarga direta e indireta de águas de lavagem de cana: ocorre imediatamente após o processo, carreando areia, sólidos em suspensão e outras substâncias dissolvidas da própria cana;
- descarga direta de água quente: águas aquecidas acima de 40°C dos sistemas de manutenção de vácuo utilizada pelas usinas/destilarias e águas de refrigeração e de colunas barométricas, ou de lavagem de cana.

Industriais e domésticas:

- Esgotos domésticos sem tratamento lançado nos córregos e nas galerias de águas pluviais;
- Efluentes industriais.

Outros:

- descargas indiretas de despejos líquidos de casas de farinha de mandioca e matadouros clandestinos.

O **Quadro 2.1** lista as fontes potencialmente poluidoras das áreas a montante e a jusante da barragem Pirapama e os **Quadros 2.2 e 2.3** as cargas potenciais de DBO e seus percentuais de contribuição de cada processo (da carga total) para o ano de 1998.

A sub-bacia a montante da barragem Pirapama possui área de 312 km²; população de 33.700 habitantes; profundidade média do rio igual a 2 m; comprimento de 40 m; temperatura média 25°C; e vazão média do rio de 9,41 m³/s. Esta área é caracterizada por fontes poluidoras de origem agroindustrial e doméstica. O **Quadro 2.2** apresenta as cargas potencialmente poluidoras e suas respectivas cargas potenciais de DBO.

Quadro 2.1. Fontes potencialmente poluidoras localizadas nas áreas a montante e a jusante da barragem Pirapama - excluindo as localidades (CPRH/DFID, 1998c).

LOCALIZAÇÃO	INDÚSTRIA	SETOR	ATIVIDADE
MONTANTE	Destilaria Inexpot	Alcool	Produção de álcool etílico a partir da cana de açúcar
	Destilaria JB		Fabricação de álcool e aguardente
	Destilaria Sibéria	Bebidas	Fabricação de aguardente
JUSANTE	Alcooquímica	Químico	Produção de monômero acetato de vinila
	Petroflex		Fabricação de elastômeros
	Rhodia		Produção de filmes e fibras sintéticas
	Brahma		Produção de cerveja e refrigerante
	Cerâmica Porto Rico	Bebidas	Industrialização e comercialização de pisos cerâmicos
	Tubobrás	Mecânico	Fabricação e vendas de móveis tubulares
	Refinações de milho	Alimentos	Industrialização de produtos e subprodutos do milho
Usina Bom Jesus	Fabricação de açúcar e álcool		

Quadro 2.2. Fontes potencialmente poluidoras localizadas na área a montante da barragem Pirapama e suas respectivas cargas potenciais de DBO (CPRH/DFID, 1998c).

FONTE POLUIDORA	DESCRIÇÃO	CARGA POTENCIAL (kg DBO/dia)	% DO PROCESSO
Agroindústrias			
Inexport	Produz álcool etílico a partir da cana de açúcar	56.547,00	27,70
JB	Fabricação de álcool e aguardente	126.000,00	61,70
Sibéria	Fabricação de aguardente	21.600,00	10,58
Total		204.147,00	100,00
Localidades			
Cabo rural	Rural com 26.594 hab.	1436,08	78,92
Escada	Rural com 3.579 hab.	193,27	10,82
Pombos	Rural com 227 hab.	12,26	0,67
Vitória	Rural com 3.300 hab.	178,20	9,79
Total		1.819,81	100,00

Obs: A carga potencial das localidades foi calculada considerando-se um per capita de 54 g DBO/hab.dia.

As agroindústrias possuem uma produção anual de 171.000 ton de álcool e a carga de esgotos domésticos produzida por uma população de 33.700 habitantes, que

contribuindo com um per capita de 54 g DBO/dia geram 1819,81 kg DBO/dia ou seja, 664,23 ton de DBO por ano (**Quadro 2.2**). Uma carga 204.147 kg DBO/dia possui um potencial poluidor (em termos de DBO) equivalente a uma população de 3.780.500 habitantes. Isso significa que as agroindústrias contribuem com uma carga poluidora aproximadamente 112 vezes superior à do esgoto doméstico.

A sub-bacia a jusante da barragem Pirapama possui área de 288 km²; população de aproximadamente 70.000 habitantes; profundidade média do rio igual a 2 m; comprimento de 40 m; temperatura média 25°C; e vazão média do rio de 17,81 m³/s. Esta área é caracterizada por fontes potencialmente poluidoras de origem agroindustrial, industrial e doméstica. O **Quadro 2.3** mostra a carga potencial destas fontes e seus respectivos percentuais de contribuição da carga total de DBO. As atuais produções das indústrias e agroindústrias encontram-se listadas no **Quadro 2.4**.

Quadro 2.3. Fontes potencialmente poluidoras localizadas na área a jusante da barragem Pirapama e suas respectivas cargas potenciais de DBO (CPRH/DFID, 1998c).

FONTE POLUIDORA	DESCRIÇÃO	CARGA POTENCIAL (kg DBO/dia)	% DO PROCESSO
Agroindústrias			
JB açúcar	Usina de açúcar JB	37.125,00	100,00
Total		37.125,00	100,00
Indústrias			
Ref. Milho	Refinações de milho	1.378,00	100,00
Alcoolquímica	Acetato de vinila	967,00	68,05
Petroflex	Elastromeros	32,00	2,25
Rhodia	Filmes e fibras sintéticas	422,00	29,70
Total		1.421,00	100,00
Brahma	Cervejaria	8.640,00	100,00
Localidades			
Cabo urbano	Urbano com 63.986 hab.	3.455,24	91,97
Ipojuca	Rural com 462 hab.	38,18	0,66
Jaboatão	Rural com 707 hab.	24,95	1,03
Moreno	Rural com 4.414 hab.	238,36	6,34
Total		3.756,73	100,00

Obs: A carga potencial das localidades foi calculada considerando-se um per capita de 54 g DBO/hab.dia.

O Quadro 2.3 mostra que as indústrias e agroindústrias localizadas na área a jusante da barragem Pirapama tem um potencial poluir equivalente a uma população de 899.334 habitantes. Tendo, portanto, um potencial poluidor superior ao dos esgotos domésticos.

Quadro 2.4. Produção anual das indústrias e agroindústrias, localizadas a jusante da barragem Pirapama.

FONTE POLUIDORA	Produção anual	Unidade
JB açúcar	45.000	Ton de açúcar
Ref. Milho	65.000	Ton de milho
Alcoolquímica	17.000	Ton produtos químicos
Petroflex		
Rhodia		
Brahma	466.000	m ³ de cerveja

Como visto na Tabela 2.4 a área a jusante da barragem apesar de possuir uma maior quantidade de industria a produção total é inferior à da área a montante. Isso reduz a possibilidade de uma poluição maior na área.

2.3. MONITORAMENTO E QUALIDADE DAS ÁGUAS

O monitoramento da qualidade das águas da bacia do rio Pirapama teve início em 1984 pela Companhia Pernambucana do Meio Ambiente – CPRH em 16 (dezesesseis) pontos de amostragem. Em 1991 este número foi reduzido para 7 (sete), sendo 6 (seis) localizadas no rio Pirapama (PP2-10, PP2-20, PP2-30, PP2-50, PP3-75 e PP3-80) e 1 (um) no rio Gurjaú (PP3-68), um de seus afluentes. Os parâmetros analisados nestes pontos de amostragem são: Temperatura, Turbidez, Cor, pH, Condutividade Elétrica (CE), Cloreto (Cl), Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Coliformes Fecais (ou termotolerantes), Nitrato, Amônia, Fósforo total e Sólidos em Suspensão (SS).

Em 1994, os resultados das análises físico-químicas e bacteriológicas realizadas nas amostras de água coletadas nos 6 (seis) escolhidos revelaram que a qualidade das águas do rio Pirapama encontrava-se fora das Classes do seu enquadramento (**Figura 2.2**) segundo o Decreto Estadual nº 11.385/86 de 29 de maior de 1986. Esse enquadramento

tomou como base os usos preponderantes e foi elaborado a partir da classificação da qualidade da água do Decreto Estadual nº 7269 de 15 de junho de 1981, baseando-se na Portaria GM nº 13, de 15 de janeiro de 1976 do Ministério do Interior. O rio Pirapama encontra-se enquadrado na Classe 1 no trecho da nascente até a captação do engenho Pitu, na Classe 2 no trecho do Engenho Pitu até o Cotonifício José Rufino e na Classe 3 no trecho do Cotonifício José Rufino até a foz (CPRH, 1985). Comparando os resultados das análises com os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 20/86 para as Classes 1, 2 e 3, percebe-se que em todos os pontos há pelo menos dois parâmetros com valores acima dos permissíveis para a Classe 2. Os pontos mais críticos foram os PP2-20, PP3-75 e o PP3-80.

Segundo Gama, 1998 a ocorrência dos níveis elevados de fósforo se verifica nos trechos onde há despejos de vinhaça, carreamento de fertilizantes e despejos industriais e de esgotos domésticos. Os níveis de fósforo são elevados, chegando a atingir até 0,15 mg/l de fósforo em uma das estações monitoradas – Estação de Matapagipe. Este valor é muito superior aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 20/86 que é de 0,025mg/l P, para águas de Classes 1, 2 e 3. Os índices de coliformes fecais também são elevados enquanto as taxas de nitrato encontram-se em ascensão.

Em 1998, a CPRH analisando os resultados dos parâmetros DBO, OD, N total e Coliformes fecais das amostras coletadas nos 6 (seis) pontos constatou que o rio Pirapama encontrava-se impactado com material orgânico indicado pelas altas concentrações de DBO presentes nas amostras de água, os quais estavam contribuindo para os baixos níveis de Oxigênio Dissolvido, e também com material fecal. As concentrações destes parâmetros estavam ultrapassando os limites estabelecidos pela Classe do enquadramento do referido rio (**Figura 2.3**). As concentrações de Coliformes fecais e de fósforo total em todos os pontos encontram-se acima dos limites estabelecidos pelas Classes (1, 2 e 3) do enquadramento. Os valores limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 20/86 dos parâmetros monitorados encontram-se no **Quadro 2.5**.

Quadro 2.5. Valores limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 20/86 para os parâmetros monitorados nos pontos ao longo da extensão do rio Pirapama e em seus afluentes principais.

Parâmetros	Unidades	Limite (resolução CONAMA nº 20/86)		
		CLASSES		
		1	2	3
DBO	(mg/l)	3	5	10
OD	(mg/l)	6	5	4
pH		6-9	6-9	6-9
RT	(mg/l)	500	500	500
NITRATO	(mg/l)	10	10	10
Turb	(NTU)	40	100	100
Coli Fecal	(UFC/100ml)	200	1000	4000
Fosfato total	(mg/l P)	0,025	0,025	0,025

Para minimizar a situação da poluição hídrica da bacia do rio Pirapama, o órgão gestor desenvolveu um programa de investimentos visando o controle da qualidade ambiental da mesma. O custo total do investimento é de R\$ 78.236.241,08 com um custo adicional para operação e manutenção de R\$ 1.869.524,82/ano. Dos custos totais de investimento e de operação e manutenção, 61,2% (47.866.241,08) e 77,3% (1.444.524,82), respectivamente, são destinados ao controle de poluição. O valor destinado à melhoria da qualidade da água é de R\$ 140.000,00 e para o gerenciamento ambiental é de R\$ 5.250.000,00 (CARRERA-FERNANDEZ, 2000). Os recursos arrecadados com um eventual sistema de cobrança deverão cobrir a melhoria da qualidade da água e parte dos gastos com o gerenciamento ambiental.

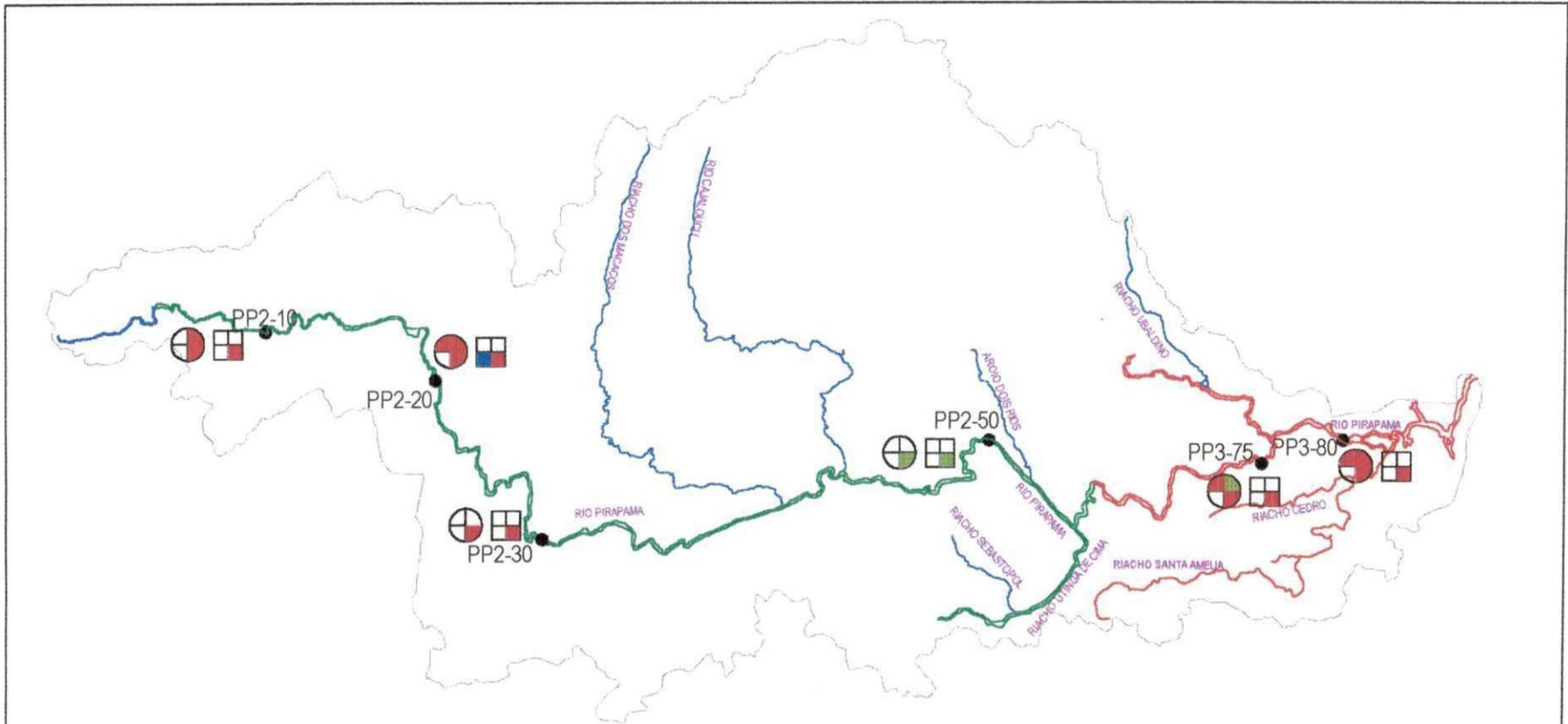
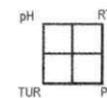
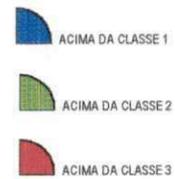
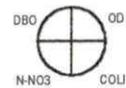
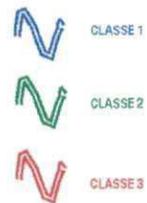


Figura 2.2. Bacia do rio Pirapama - Pe - Enquadramento e qualidade da água - 1994

ESCALA 1:200.000

ENQUADRAMENTO (Decreto nº 11.358/86)



● ESTAÇÃO DE MONITORAMENTO

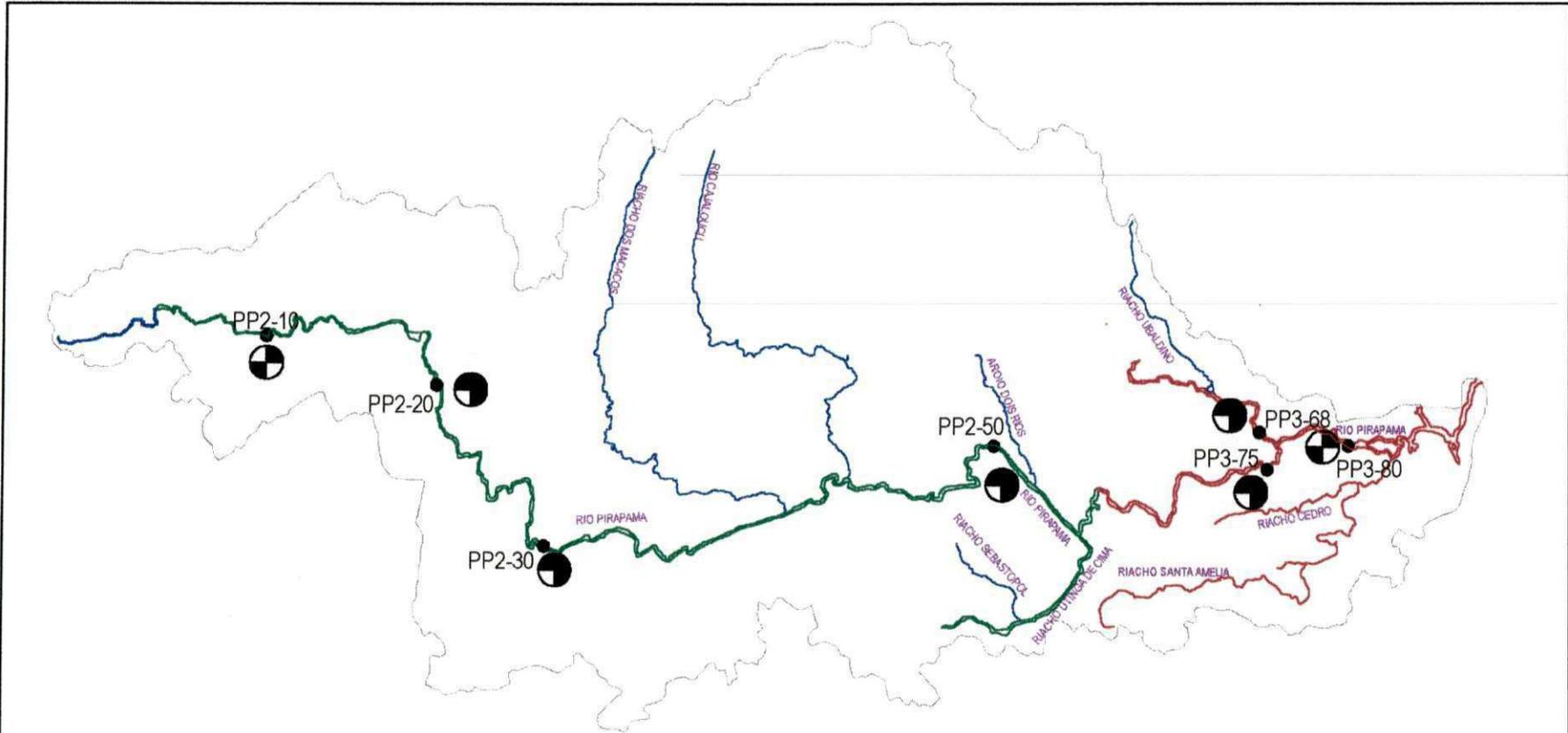


Figura 2.3. Bacia do rio Pirapama - Enquadramento e qualidade da água - 1998

ESCALA 1:200.000

ENQUADRAMENTO (Decreto nº 11.358/86)

-  CLASSE 1
-  CLASSE 2
-  CLASSE 3

PARÂMETROS DE QUALIDADE

- 
 - DBO
 - OD
 - N
 - COLI
-  FORA DE CLASSE
-  DENTRO DE CLASSE
-  ESTAÇÃO DE MONITORAMENTO

CAPÍTULO 3 – POLUIÇÃO HÍDRICA E INSTRUMENTOS DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Para o estabelecimento do controle da poluição hídrica, entre outras atividades, faz-se necessária a implantação de instrumentos de gestão de recursos hídricos. Nesta pesquisa serão abordados dois destes instrumentos: o enquadramento dos corpos d'água e a cobrança pelo uso da água.

3.1. POLUIÇÃO HÍDRICA

A poluição hídrica possui dois aspectos: o sanitário e o ecológico. Na abordagem sanitária, poluição é considerada como qualquer alteração nas propriedades físicas, químicas e/ou biológicas das águas que afetem diretamente o homem ou o impeçam de utilizá-las. No conceito ecológico, poluição é a alteração nas propriedades das águas que provocam ruptura nos ecossistemas naturais, causando ou não danos diretos ao homem ou aos seus usos para a água (SILVEIRA e SANT'ANNA 1990 *apud* MENDES 1994).

A poluição hídrica e a conseqüente alteração das características das águas naturais decorrem de causas naturais e, principalmente, das atividades antrópicas de cunho urbano, industrial e agrícola (DANIEL *et al*, 2001). O crescimento populacional e o conseqüente aumento destas atividades contribuem para a poluição dos mananciais superficiais. As atividades humanas mais freqüentemente poluidoras das águas são os despejos de esgotos domésticos e industriais; o "run-off" agrícola, o "run-off" urbano, as atividades mineradoras e as operações decorrentes de transporte de carga, principalmente petróleo e derivados.

A poluição das águas causa muitos problemas, os quais podem ser agravados devido ao seu uso incorreto e às atividades desenvolvidas em suas margens e na bacia hidrográfica como um todo. Como conseqüências desse tipo de poluição tem-se:

- prejuízos ao abastecimento humano, tornando-se veículo de transmissão de doenças;
- prejuízo a outros usos da água, tais como, industrial, irrigação, pesca, recreação etc;
- agravamento dos problemas de escassez de água de boa qualidade;
- elevação do custo de tratamento da água, refletindo-se no preço a ser pago pela população;
- assoreamento dos mananciais, resultando em problemas de diminuição da oferta de água e de inundações;
- desvalorização das propriedades marginais;
- prejuízos aos peixes e a outros organismos aquáticos; desequilíbrios ecológicos;
- proliferação excessiva de algas e de vegetação aquática, com suas conseqüências negativas (sabor, odor, cor, toxinas, ect na água);
- degradação da paisagem;
- Impactos sobre a qualidade de vida da população.

O controle da poluição hídrica no Brasil é regulado, desde 1890, no Código Penal e se estende até os dias atuais com a Política Nacional de Meio Ambiente (Lei 6.938/81) caracterizada pela abordagem mandato-controle com usos de instrumentos normativos; e com a Política Nacional de Recursos Hídricos – Lei 9.433/97 caracterizada pelo uso de instrumentos econômicos como a cobrança pelo uso da água. A **Figura 3.1** apresenta alguns diplomas legais relacionados com o controle da poluição hídrica no Brasil.

A prevenção da poluição hídrica deverá ser realizada, entre outros mecanismos, com base nos instrumentos de gestão dos recursos hídricos tais como: enquadramento dos corpos d'água, outorga pelo uso da água e cobrança pelo uso da água. Estes instrumentos seguem os procedimentos das suas legislações específicas e devem assegurar água em quantidade e qualidade à população com sustentabilidade. Para atender aos requisitos de qualidade, as fontes potencialmente poluidoras devem lançar seus efluentes com certo nível de tratamento devendo atender ao disposto nos artigos 13, 19, 21 e 23 da Resolução CONAMA nº 20/86, não alterando a Classe na qual o rio encontra-se enquadrado, segundo a

mesma Resolução. O **item 3.2.3** deste trabalho fornece uma abordagem geral da Resolução CONAMA nº 20/86.

Os níveis de tratamentos das águas residuárias visam diminuir a quantidade de poluentes a ser lançada nos corpos d'água e atender aos padrões de lançamento estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 20/86 (**Quadro 3.1**). O nível do tratamento depende das características da água a tratar e da qualidade que se pretende assegurar ao meio. Estes tipos de tratamentos são também chamados de tratamento de "fim de linha" (end-of-pipe), uma vez que reduzem a carga poluente após sua produção.

Quadro 3.1. Níveis de tratamento das águas residuárias.

Nível	Remoção
Preliminar	- Sólidos em suspensão grosseiros (materiais de maiores dimensões e areia)
Primário	- Sólidos em suspensão sedimentáveis; - DBO em suspensão (matéria orgânica facilmente biodegradável componente dos sólidos em suspensão sedimentáveis).
Secundário	- DBO em suspensão (matéria orgânica em suspensão fina, não removida no tratamento primário); - DBO solúvel (matéria orgânica na forma de sólidos dissolvidos); - Eventualmente nutrientes; - Eventualmente microorganismos patogênicos.
Terciário	- Nutrientes; - Microorganismos patogênicos; - Compostos não biodegradáveis; - Metais pesados; - Sólidos inorgânicos dissolvidos; - Sólidos em suspensão remanescentes

Obs: A remoção de nutrientes (por processos biológicos) e de microorganismos patogênicos pode ser considerada como integrante do tratamento secundário, dependendo da concepção de tratamento local.

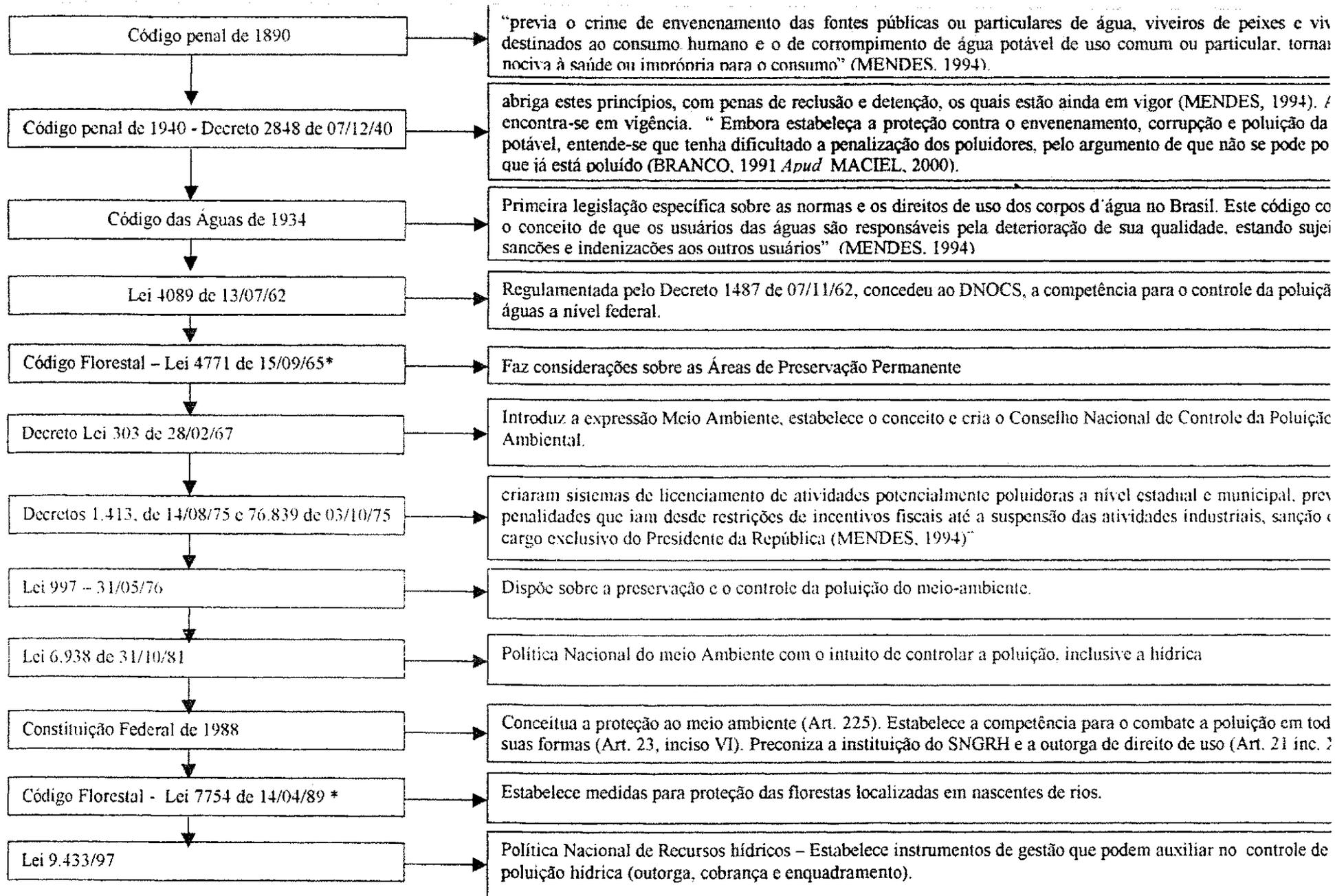


Figura 3.1. Alguns diplomas legais relativos ao controle de poluição hídrica no Brasil.

3.1.1. PADRÕES DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES

Os padrões de lançamento de efluentes constituem-se em meios diretos e gerenciáveis para o controle da poluição, fornecendo uma razoável previsão da qualidade da água superficial. Todavia, existem inconvenientes associados a este tipo de instrumento, tais como: os padrões de lançamento fixos não levam em consideração os requisitos de qualidade da água no local do lançamento. Assim, podem conduzir a uma super proteção em alguns cursos d'água e insuficiente proteção em outros (BERNSTEIN, 1993).

Assegurar os padrões de qualidade da água em locais onde existem numerosos lançamentos é extremamente difícil, independente da regulamentação das várias descargas. Uma desvantagem da utilização de padrões de lançamento é a exigência de uma grande quantidade de documentos administrativos e os elevados custos de fiscalização (BERNSTEIN, 1993).

A nível mundial os valores máximos de lançamento de DBO recomendados no Reino Unido, Estados Unidos e Europa são apresentados no **Quadro 3.2**.

Quadro 3.2. Valores máximos de cada parâmetro para o lançamento de resíduos líquidos recomendados pelo Reino Unido, EUA (SILVA, 1998) e Europa (CEC, 1991).

Parâmetro	Unidade	Reino Unido	Europa	EUA	Observação
DBO ₅	mg/L	20	25	30	
Sólidos suspensos	mg/L	-	Até 150	30	Referindo-se expressamente a efluentes de lagoas, podendo, no entanto, ser estendido a efluentes de processos que lhe sejam similares
Nitrogênio total	mg/L N	-	15	-	População equivalente (10.000 – 100.000) hab.
		-	10	-	População equivalente > 100.000 hab. – com temperatura ≥ 12°C durante a operação do reator biológico da Estação de Tratamento.
Fósforo total	mg/L P	-	2	-	População equivalente (10.000 – 100.000) hab.
		-	1	-	População equivalente > 100.000 hab.

No Brasil, os padrões de lançamento de efluentes são regidos pela Resolução CONAMA nº 20/86. Esta resolução não estabelece valores limites de lançamento de DBO₅, e não deixa claro qual a quantidade de Sólidos Suspensos que o rio poderá receber. Sendo assim, foram estabelecidos para alguns Estados Brasileiros padrões de lançamento de efluentes para os corpos d'água receptores (**Quadro 3.3**).

Quadro 3.3. Padrões de lançamentos estaduais para alguns parâmetros de qualidade no Brasil e em alguns Estados da União (NASCIMENTO, 1998).

Parâmetro	Unidade	Brasil CONAMA Nº 20/86	Alagoas	Ceará	Goiás	Mato Grosso do Sul	Minas Gerais	Paraíba	Rio Grande do Sul	Rondônia	Santa Catarina	P
Cor	mg Pt/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Odor	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Óleos e graxas (minerais)	mg/l	20	20	20	-	20	20	20	10	20	20	
Óleos e graxas (veg/anim)	mg/l	50	20	50	-	50	50	30	30	50	30	
Subst. solúveis em hexana	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Dureza	mg CaCO ₃ /l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
pH	-	5 a 9	5 a 9	5 a 9	5 a 9	5 a 9	6 a 9	5 a 9	6 a 8,5	5,8 a 9,7	6 a 9	
DBO ₅ (Efic. mín. de remoção)	mg/l	-	60	-	60 (80%)	60	60 (85%)	60 (80%)	Variável	-	60 (80%)	(80%)
DQO	mg/l	-	150	-	-	-	90	-	Variável	-	-	
Coliformes fecais	NMP/100ml	-	-	-	-	-	-	-	3.000	-	-	
Sólidos sedimentáveis	ml /l	1	1	1	1	1	1	1	-	1	1	
Sólidos em suspensão	mg/l	-	-	-	-	-	100	-	Variável	-	-	
Cianetos	mg CN/l	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	
Fenóis	mg C ₆ H ₅ OH/l	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,2	0,2	0,1	0,5	0,2	
Fósforo total	mg P/l	-	-	-	-	-	-	1 ⁽¹⁾	1	-	1 ⁽¹⁾	
Nitrogênio total	mg N/l	-	-	-	-	-	-	10 ⁽¹⁾	10	-	10 ⁽¹⁾	

Obs: (1) – serão fixados pelo órgão ambiental para cada caso.

Nota-se no **Quadro 3.3.** que o valor permissível pela Legislação Estadual do Estado de Rondônia é menos restritivo que o valor estabelecido para o mesmo parâmetro pela Legislação Federal – Resolução CONAMA nº 20/86. Isso não deveria ocorrer porque os valores estabelecidos pelas legislações estaduais devem ser mais restritivos ou iguais aos valores da Legislação Federal.

3.2. ENQUADRAMENTO DOS CORPOS D'ÁGUA

O enquadramento dos corpos d'água é um instrumento de planejamento de Recursos Hídricos que objetiva assegurar a qualidade de água correspondente a uma Classe estabelecida de um segmento de corpo hídrico, relacionando a gestão da quantidade com a da qualidade, fortalecendo, assim, a relação entre a gestão dos recursos hídricos e a do meio ambiente. Este instrumento possibilita a integração do controle qualitativo, a proteção e a preservação dos corpos d'água, com o ordenamento dos seus usos econômicos, ambientais e sociais (recreação e lazer).

Segundo PORRECA (1998), o enquadramento visa a preservação dos níveis de qualidade dos mananciais superficiais, considerando que:

- a saúde, o bem-estar da população e o equilíbrio ecológico do ambiente aquático não devem ser afetados em consequência da deterioração da qualidade das águas;
- os custos do controle de poluição podem ser mais bem adequados quando os níveis de qualidade, avaliados por parâmetros e indicadores específicos, asseguram seus usos preponderantes.

O enquadramento não se baseia na classificação atual dos corpos d'água, e sim, estabelece o nível de qualidade que os corpos hídricos devem possuir para atender às demandas humanas. Este instrumento assegura a disponibilidade quantitativa e qualitativa da água nas bacias hidrográficas, sendo de fundamental importância nas bacias onde há conflitos de uso. Com base no enquadramento deverão ser, portanto, realizadas as outorgas de lançamento de efluentes nos corpos d'água e os licenciamentos de atividades que possam alterar o regime qualitativo da água. Quando suas qualidades não atenderem às demandas dos

usos serão igualmente indicadas às metas de despoluição das águas da bacia. Em qualquer caso deverão ser avaliadas as alterações promovidas na qualidade das águas e, como consequência, se os indicadores de água obedecerão às concentrações estipuladas para a Classe em que o corpo de água acha-se enquadrado (PEREIRA & LANNA, 1998).

A classificação do enquadramento estabelecida para um trecho do corpo hídrico deverá seguir a Resolução CONAMA nº 20/86, o que muitas vezes não ocorre no Brasil, como é visto no item 3.2.4. Os procedimentos para o enquadramento deverão seguir a recente resolução nº 12/00 do CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos.

3.2.1. ASPECTOS LEGAIS DO ENQUADRAMENTO

A primeira base jurídica do enquadramento dos corpos d'água no Brasil foi a **Portaria GM nº 013 de 15/01/76**, do Ministério do Interior que estabeleceu a classificação das águas interiores do território nacional de acordo com seus usos preponderantes visando a adequação dos custos do controle de poluição. Posteriormente, a **Portaria nº 536 de 07/17/76** estabeleceu os padrões de qualidade das águas superficiais do território brasileiro. Em 1984, a **Resolução CONAMA nº 03 de 05/06/84** determinou à sua secretaria executiva que promovesse estudos sobre o assunto e apresentasse proposta de Resolução reformulando a Portaria GM nº 013. Então, foi promulgada a Política Nacional de Meio Ambiente - a **Lei nº 6.938 de 31/08/81** que cria o Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, que tem dentre outras competências “estabelecer normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente com vistas ao uso racional dos recursos ambientais, principalmente os hídricos (**Lei nº 6.938, Art. 8º, Inciso VII**)”. Este Conselho então criou a **Resolução CONAMA nº 20, de 18/06/86** que estabelece a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional e fixa diretrizes e parâmetros visando o enquadramento dos corpos d'água. Mais recentemente foi criada a Política Nacional de Recursos Hídricos - **Lei nº 9.433 de 08/01/97** que estabeleceu o enquadramento dos corpos d'água como um dos seus instrumentos de gestão, visando assegurar a qualidade das águas compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas e diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes (**Art 9º, Incisos I e II**). Em 1998 o Decreto nº 2.612 de 03/06/98 que regulamenta o CNRH, define como

competência deste conselho a aprovação do enquadramento dos corpos d'água em classes de uso, em consonância com as diretrizes do CONAMA e de acordo com a estabelecida legislação ambiental. Em 2000, cria a **Resolução nº 12 de 19/07/00**, que estabelece os procedimentos para o enquadramento. A **Figura 3.2** apresenta um resumo dos aspectos legais do enquadramento dos corpos d'água no Brasil.

Diante do histórico legal do enquadramento dos corpos d'água que iniciou em 1976 e se desenvolveu até os dias atuais, percebe-se que quase 30 anos depois a maioria dos corpos d'água não se encontra enquadrado. Só no ano 2000 é que são estabelecidos os procedimentos para o enquadramento dos corpos d'água.

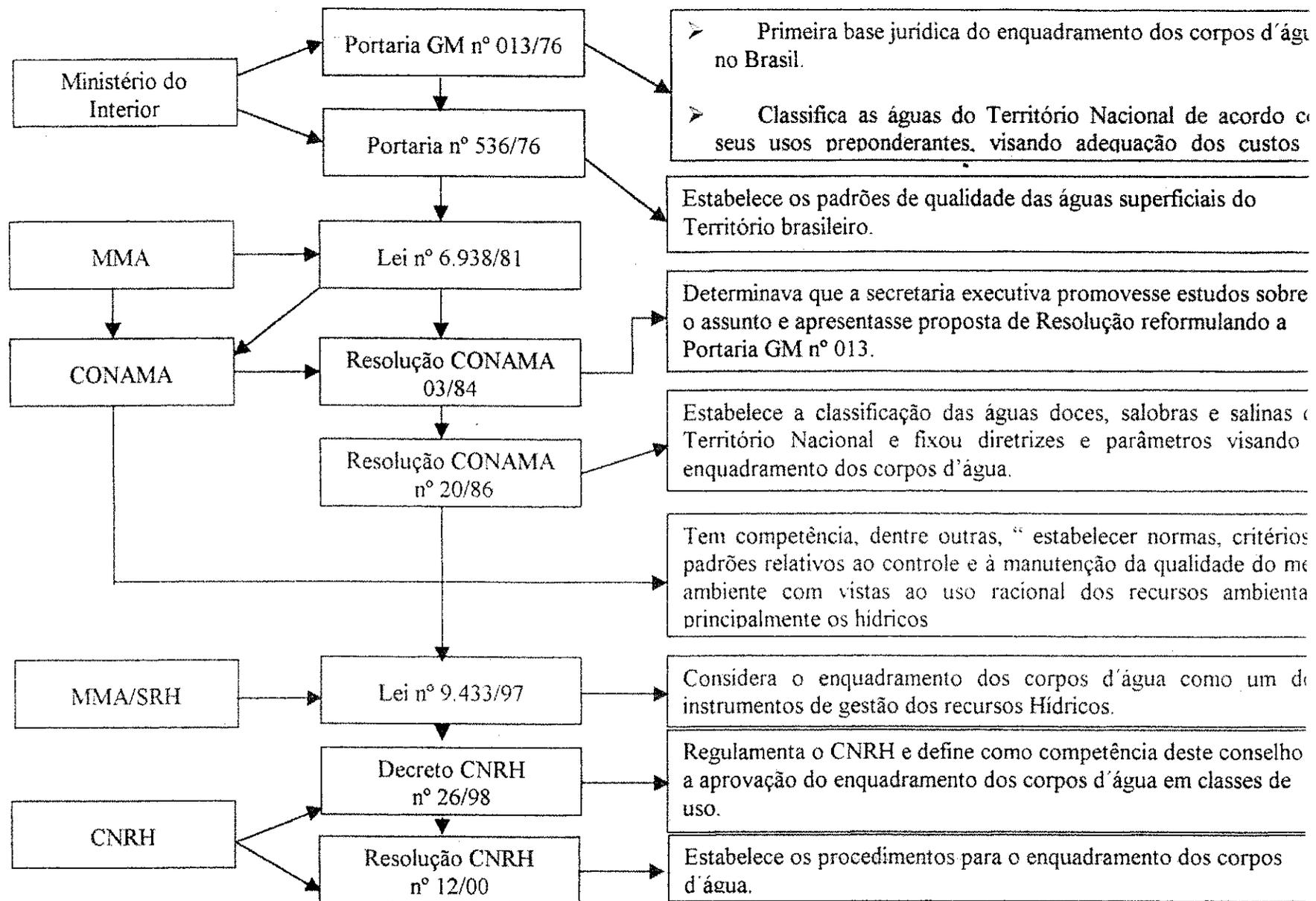


Figura 3.2. Bases jurídicas do enquadramento dos corpos d'água no Brasil.

3.2.2. RESOLUÇÃO CONAMA Nº 20/86

A Resolução CONAMA nº 20/86 é o instrumento regulatório que visa o controle de poluição hídrica estabelecendo os valores limites de cada parâmetro de qualidade de acordo com as Classes de uso. Para o caso de DBO, por exemplo, os limites de concentração para lançamento deste parâmetro, das Classes 2 e 3, poderão ser elevados caso o corpo receptor possua capacidade de autodepuração nas condições de vazão crítica ($Q_{7,10}$) não alterando a quantidade mínima de oxigênio dissolvido do rio (Art. 13).

Esta Resolução deve avaliar a evolução dos níveis de qualidade da água (Classe) em relação aos níveis estabelecidos no enquadramento de forma a facilitar a fixação e controle de metas visando atingir gradativamente os objetivos permanentes. Assim, constitui-se uma ferramenta de fundamental importância que versa sobre o enquadramento dos corpos d'água no Brasil.

A Resolução CONAMA nº 20/86 é a base jurídica utilizada na classificação das águas. Esta resolução substituiu a Portaria MINTER nº GM 0013/76 que foi a primeira base jurídica do enquadramento dos corpos d'água no Brasil. A Resolução CONAMA nº 20/86 define classificação e enquadramento como:

CLASSIFICAÇÃO – “qualificação das águas doces, salobras e salinas com base nos usos preponderantes (sistema de Classes de qualidade)” ; e

ENQUADRAMENTO – “estabelecimento do nível de qualidade (Classe) a ser alcançado e/ou mantido em um segmento de corpo d'água ao longo do tempo”.

As águas doce, salobra e salina são classificadas em nove Classes de uso, conforme o **Quadro 3.4**.

Quadro 3.4. Classes das águas e seus usos preponderantes – Resolução CONAMA nº 20/86.

Tipo de água	Classe	Uso preponderante
<p>Doce (com salinidade igual ou inferior a 0,50 ‰)</p>	<p>Especial</p>	<ul style="list-style-type: none"> - abastecimento doméstico sem prévia ou com simples desinfecção; - preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.
	<p>1</p>	<ul style="list-style-type: none"> - abastecimento doméstico após tratamento simplificado; - proteção das comunidades aquáticas; - recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); - irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao Solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; - criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana
	<p>2</p>	<ul style="list-style-type: none"> - abastecimento doméstico, após tratamento convencional; - proteção das comunidades aquáticas; - recreação de contato primário (esqui aquático, natação e mergulho); - irrigação de hortaliças e plantas frutíferas; - criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.
	<p>3</p>	<ul style="list-style-type: none"> - abastecimento doméstico, após tratamento convencional; - irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; - dessedentação de animais.
<p>Salobra (com salinidade igual ou inferior a 0,5 ‰ e 30 ‰)</p>	<p>5</p>	<ul style="list-style-type: none"> - recreação de contato primário; - proteção das comunidades aquáticas; - criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.
	<p>6</p>	<ul style="list-style-type: none"> - navegação comercial; - harmonia paisagística; - recreação de contato secundário.
<p>Salina (com salinidade igual ou superior a 30 ‰)</p>	<p>7</p>	<ul style="list-style-type: none"> - recreação de contato primário; - proteção das comunidades aquáticas; - criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.
	<p>8</p>	<ul style="list-style-type: none"> - navegação comercial; - harmonia paisagística; - recreação de contato secundário.

3.2.3. CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS

No Brasil, a classificação das águas em Classes de uso preponderantes é realizada com base na Resolução CONAMA nº 20, no Índice de Qualidade das Águas – IQA e em Leis Estaduais ou em Deliberações Normativas (NASCIMENTO, 1998). Os **Quadros 3.5 e 3.6** nas páginas seguintes, mostram a utilização desses instrumentos e as classificações adotadas, respectivamente, para alguns Estados Brasileiros que em sua maioria classificam as águas de acordo com a Resolução CONAMA nº 20/86. Para cada Classe são estabelecidos limites para os parâmetros físico-químicos, bacteriológicos e de metais pesados, aceitáveis ou permissíveis nos corpos d'água. Estes limites são comparados com os resultados das análises de água dos pontos amostrados a fim de verificar possíveis alterações da qualidade da água – mudança de classe do rio, naquele ponto amostrado.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente – MMA, a Classe do enquadramento, a ser alcançada no futuro por um dado corpo d'água, deverá ser definida conjuntamente com a sociedade, levando em conta as prioridades de uso, pois a comunidade que desfruta da água do rio, seja para usos consuntivos ou não consuntivos deve estabelecer a Classe a qual o rio deverá ser enquadrado, bem como fiscalizar o cumprimento das exigências do enquadramento, juntamente com o órgão ambiental competente. A participação social no processo de enquadramento dos corpos d'água, é prevista pela Resolução nº 12/00 do CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos.

Quadro 3.5. Instrumentos legais utilizados para a classificação dos corpos d'água em alguns estados brasileiros com suas respectivas leis que definem os padrões de qualidade e de lançamento de efluentes (NASCIMENTO, 1998).

Estado	Instrumento Legal		
	Classificação das águas	Padrões de qualidade	Padrões de lançamento
Alagoas	Decreto Estadual 3.766 de 30/10/78	—	Decreto Estadual 6.200 de 01/03/85
Ceará	Resol. CONAMA nº 20/86	Resol. CONAMA nº 20/86	Portaria SEMACE/CE 097 de 03/04/96
Espírito Santo	Resol. CONAMA nº 20/86	Resol. CONAMA nº 20/86	Resol. CONAMA nº 20/86
Goiás	Lei Estadual 8.544 de 17/10/78	Lei Estadual 8.544 de 17/10/78	Lei Estadual 8.544 de 17/10/78
Mato Grosso do Sul	Deliberação CECA/MS 003 de 20/06/97	Deliberação CECA/MS 003 de 20/06/97	Deliberação CECA/MS 003 de 20/06/97
Minas Gerais	Deliberação Normativa COPAM 010/86	Deliberação Normativa COPAM 010/86	Deliberação Normativa COPAM 010/86
Paraíba	NT 201 de 09/03/88	—	NT 301 de 24/02/88
Paraná	Resol. CONAMA nº 20/86	Resol. CONAMA nº 20/86	Resol. CONAMA nº 20/86
Pernambuco	Resol. CONAMA nº 20/86	Resol. CONAMA nº 20/86	Resol. CONAMA nº 20/86
Rio Grande do Norte	Resol. CONAMA nº 20/86	Resol. CONAMA nº 20/86	Resol. CONAMA nº 20/86
Rio Grande do Sul	Resol. CONAMA nº 20/86	Resol. CONAMA nº 20/86	Portaria 05/89 SSMA
Rondônia	Decreto Estadual 7.903 de 01/07/1997	Decreto Estadual 7.903 de 01/07/1997	Decreto Estadual 7.903 de 01/07/1997
Santa Catarina	Decreto Estadual 14.250 de 05/06/81	Decreto Estadual 14.250 de 05/06/81	Decreto Estadual 14.250 de 05/06/81
São Paulo	Decreto Estadual 8.468 de 08/09/76	Decreto Estadual 8.468 de 08/09/76	Decreto Estadual 8.468 de 08/09/76

Quadro 3.6. Classificação das águas estaduais brasileiras (NASCIMENTO,1998).

USOS PREPONTERANTES	Resolução CONAM A	ESTADOS							
		AL	GO	MS	MG	PB	RO	SC	SP
Abastecimento doméstico, sem prévia ou com simples desinfecção	Classe Especial	Classe 1	Classe 1	Classe Especial	Classe Especial	Classe Especial	Classe Especial	Classe 1	Classe 1
Abastecimento doméstico após tratamento simplificado	Classe 1			Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1		
Abastecimento doméstico após tratamento convencional	Classe 2, 3	Classe 2	Classe 2, 3	Classe 2, 3	Classe 2, 3	Classe 2, 3	Classe 2	Classe 2, 3	Classe 2, 3
Abastecimento doméstico após tratamento avançado			Classe 4					Classe 4	Classe 4
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas	Classe Especial			Classe Especial	Classe Especial	Classe Especial			
Proteção das comunidades aquáticas	Classe 1, 2		Classe 3	Classe 1, 2	Classe 1, 2	Classe 1, 2	Classe Especial, 1	Classe 3	Classe 3
Recreação de contato primário	Classe 1, 2	Classe 2	Classe 2	Classe 1, 2	Classe 1, 2	Classe 1, 2	Classe 1, 2	Classe 2	Classe 2
Irrigação de hortaliças e frutas rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas	Classe 1			Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe Especial, 1		
Irrigação de hortaliças ou plantas frutíferas	Classe 2	Classe 2	Classe 2	Classe 2	Classe 2	Classe 2	Classe 2	Classe 2	Classe 2
Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras	Classe 3			Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3		
Criação de espécies natural e/ou intensiva (aqüicultura) destinadas à alimentação humana	Classe 1, 2			Classe 1, 2	Classe 1, 2	Classe 1, 2	Classe Especial		
Dessedentação de animais	Classe 3		Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3
Navegação	Classe 4		Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4
Harmonia paisagística	Classe 4		Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4
Usos menos exigentes	Classe 4		Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4	Classe 4

Segundo o Quadro 3.6 nos Estados de Alagoas, Goiás, Rondônia, Santa Catarina e São Paulo as águas destinadas ao abastecimento doméstico, sem prévia ou com simples desinfecção são classificadas como Classe 1, enquanto a que Legislação Federal – Resolução nº 20/86 do CONAMA as classifica como Classe especial. Isso poderá afetar o equilíbrio das comunidades aquáticas. Não há uma classificação para a preservação das comunidades aquáticas, portanto as legislações destes Estados não se preocupam com o equilíbrio natural das comunidades aquáticas. Não há preocupação com a proteção das comunidades aquáticas. Os Estados acima citados consideram esse uso como Classe 3, quando existe. Isso possibilitará um desequilíbrio e restringirá os usos da água futuramente. Os Estados de Goiás, Santa Catarina e São Paulo consideram que águas de classe 4 poderão ser utilizadas para abastecimento doméstico após tratamento avançado isso poderá ser grave porque águas de Classe 4 são destinadas a navegação e harmonia paisagística por ser considerada uma água onde o tratamento é inviável economicamente devido ao estado de comprometimento em que se encontra.

3.2.4. PROCEDIMENTOS PARA ENQUADRAMENTO DOS CORPOS D'ÁGUA

Embora os aspectos legais venham explicitando a necessidade do enquadramento dos corpos d'água desde a Portaria GM nº 13/76, este instrumento só foi impulsionado em 1986 com a criação da Resolução CONAMA nº 20/86, fortalecendo-se em 1997 com a criação da Lei nº 9.333/97 conhecida como "Lei das águas".

Com estabelecimento do enquadramento dos corpos d'água como um dos instrumentos de gestão da política Nacional de Recursos Hídricos - Lei nº 9.433/97, atribuiu-se ao CNRH a competência pela aprovação do mesmo em classes de uso. O mesmo conselho criou a Resolução nº 12/00 onde estabelece os procedimentos a serem seguidos. Estes procedimentos foram detalhados pela Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente, no documento orientativo: "Procedimentos Técnicos para Enquadramento de Corpos de Água" (LEEUWESTEIN, 2000) onde foram definidas as seguintes etapas:

- Elaboração do relatório técnico:
 - diagnóstico do uso e da ocupação do solo e dos recursos hídricos na bacia hidrográfica;

- prognóstico do uso e da ocupação do solo e dos recursos hídricos na bacia hidrográfica;
- elaboração da proposta de enquadramento.
- aprovação da proposta de enquadramento e respectivos atos jurídicos;
- efetivação e avaliação do enquadramento de corpos d'água.

Outra forma de proceder ao enquadramento, proposta por MACIEL Jr., 2000, segue o esquema a seguir:

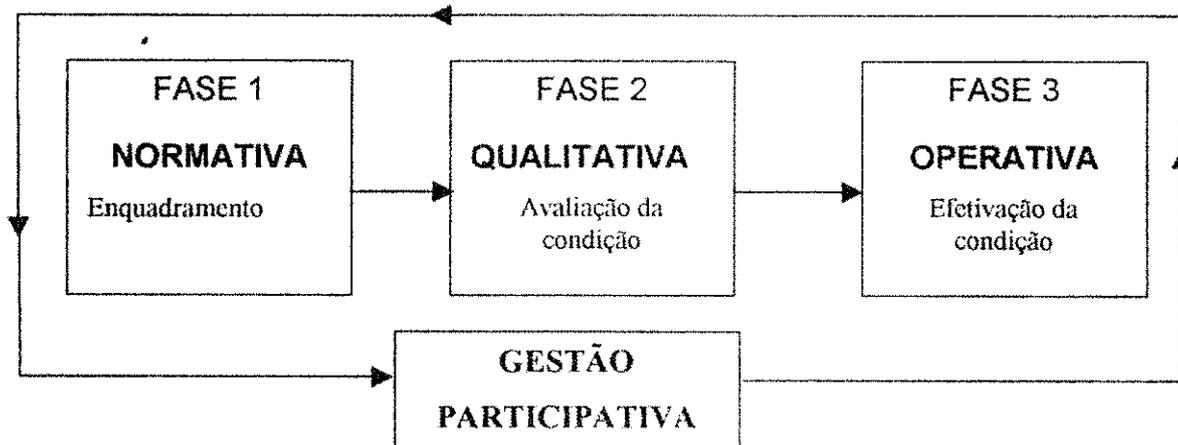


Figura 3.3. Esquema das fases do enquadramento dos corpos d'água (MACIEL Jr., 2000).

Fase 1 – Normativa: define normas específicas, bem como os objetivos de qualidade dos corpos d'água, podendo produzir Deliberações Normativas para a bacia hidrográfica, que podem ser aplicadas pelas instituições nos seguintes pontos:

- no regulamento de lançamento de efluentes;
- no ordenamento da implantação de fontes poluidoras,
- nas outorgas e cobrança para captação/lançamento pelo uso da água;
- na referência ao monitoramento quali-quantitativo das águas;
- no direcionamento dos conflitos pelo uso das águas; e
- nos planos de Recursos Hídricos.

Durante esta fase as águas são classificadas com base nos usos preponderantes e, conseqüentemente, são estabelecidos os padrões de qualidade. A Classe, a destinação dos usos das águas e seus respectivos padrões (parâmetros e

limites), são entendidos como objetivos de qualidade a serem alcançados em um dado trecho do corpo d'água.

Fase 2 – Qualitativa: nesta fase é realizada a avaliação da qualidade das águas dos rios enquadrados, através de análises laboratoriais e utilizando-se parâmetros subjetivos definidos pela norma vigente, comparando a qualidade pré-estabelecida com a atual e identificando as causas das alterações. Esta é a fase mais importante para o monitoramento dos objetivos de qualidade e para possibilitar a correção e ajustes em todo o processo (MACIEL Jr, 2000).

Fase 3 – Operativa: segundo a Resolução CONAMA nº 20/86, “ é o conjunto de medidas necessárias para colocar e/ou manter a condição de um segmento de corpo d'água em correspondência com a sua Classe” . Nesta fase são propostas e executadas as ações para a efetivação do enquadramento, ou seja, correção dos desvios identificados na **Fase 2** e a prevenção de problemas com base no cenário futuro desejado. Esta fase deve ser integrada aos Planos de Recursos Hídricos e aos Planos de Aplicação dos Recursos Arrecadados das Agências de Bacias.

Quando o processo de enquadramento das águas é executado de forma integrada dentro destas três fases, possibilita aos órgãos gestores a obtenção de conhecimento e amadurecimento necessário para iniciar ou conduzir a gestão da bacia.

Após o enquadramento dos corpos d'água cabe aos órgãos gestores de Recursos Hídricos e de Controle Ambiental:

- monitorar, controlar e fiscalizar os corpos d'água, visando avaliar se as metas do enquadramento estão sendo cumpridas;
- encaminhar a cada dois anos, relatório ao respectivo Comitê da Bacia, ao CNRH e/ou CERH, identificando os corpos d'água que não atingirem as metas estabelecidas e as respectivas causas pelas quais não foram alcançadas;
- o CNRH ou CERH em consonância com as Resoluções do CONAMA, deve, avaliar e determinar as providências e intervenções necessárias para atingir as metas estabelecidas, no âmbito do Sistema Nacional de Gerenciamento de

Recursos Hídricos - SNGRH, com base nos relatórios citados no item anterior e nas sugestões encaminhadas pelo respectivo Comitê da bacia.

Segundo PORRÉCA (1998) não há uma metodologia específica para enquadramento dos corpos d'água, pois cada caso deve considerar situações locais. Recentemente, HAASE *et al*, 2001 apresentaram uma metodologia com as seguintes etapas:

- levantamento quali-quantitativo dos usos atuais e futuros do solo e da água;
- levantamento da condição atual da qualidade da água;
- divulgação e identificação dos interesses da sociedade através de diferentes instrumentos (reuniões, questionários, entrevistas, cartazes, folders etc);
- elaboração e discussão de propostas de enquadramento;
- aprovação da proposta de enquadramento pelo Comitê da bacia;
- Encaminhamento da proposta para o órgão ambiental, que dará o parecer e transformará em instrumento legal;
- efetivação do enquadramento – feito através da elaboração e implementação dos Planos de Bacias Hidrográficas.

Esta metodologia é discutida e adaptada para cada bacia, de acordo com suas características.

As propostas do enquadramento em classes de uso são realizadas pelas Agências de Água que as encaminham aos comitês de bacias os quais efetuam a seleção da alternativa que será submetida à avaliação pelos conselhos, CERH ou CNRH, conforme o nível de governo ao qual pertence a bacia hidrográfica, respectivamente, estadual ou federal para sua avaliação e aprovação. Após a aprovação as agências de águas providenciam a efetivação do enquadramento. Na ausência dos comitês de bacias as agências de bacias podem encaminhar as propostas diretamente ao conselho à qual está ligada (CERH ou CNRH). A competência pelo enquadramento no âmbito federal é do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente – IBAMA e a nível Estadual dos órgãos estaduais competentes pela proteção do meio ambiente. A classificação do enquadramento é baseada nas Classes de uso da Resolução CONAMA nº 20/86.

O enquadramento em classes de uso deverá sempre estar em consonância com a Resolução CONAMA nº 20/86 e com as diretrizes estabelecidas nos Planos de Recursos Hídricos, determinando as prioridades de usos dos corpos hídricos para as atividades econômicas compatíveis com a Classe proposta, estabelecendo-se limites para os lançamentos de efluentes domésticos e industriais nos corpos d'água. Não existindo Planos de Recursos Hídricos, ou sendo os mesmos insuficientes, os procedimentos para o enquadramento deverão ser baseados em estudos específicos propostos e aprovados pelas respectivas instituições competentes do sistema de gerenciamento dos recursos hídricos.

A **Figura 3.4** apresenta o fluxograma dos órgãos competentes pelo enquadramento dos corpos d'água e suas respectivas atribuições.

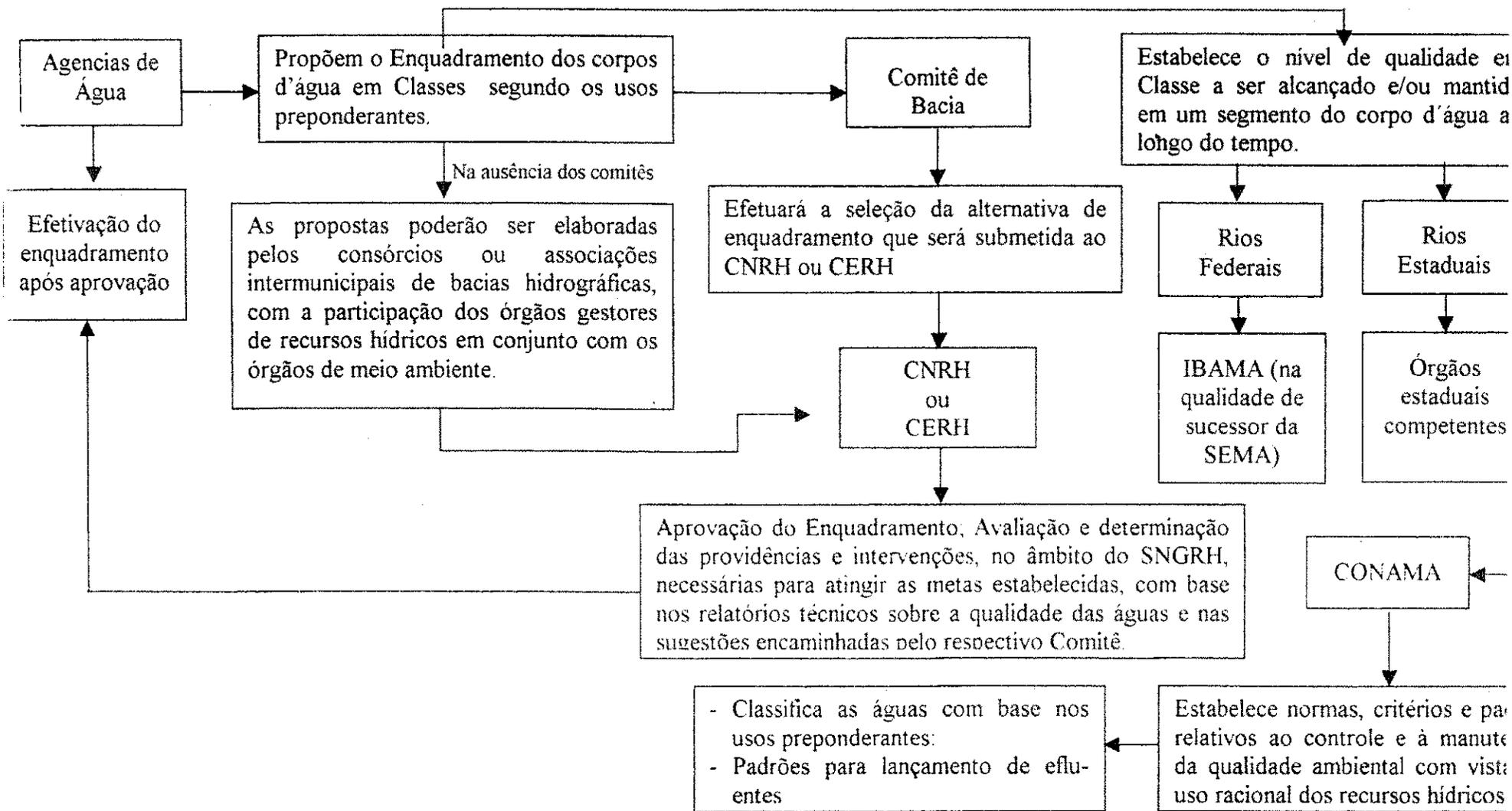


Figura 3.4. Órgãos competentes pelo enquadramento dos corpos d'água e suas respectivas atribuições (pós Lei nº 9.433/97).

3.2.5. SITUAÇÃO DO ENQUADRAMENTO DOS CORPOS D'ÁGUA NO BRASIL

O enquadramento dos corpos d'água no Brasil encontra-se em processo inicial, embora existam normas, que os demandam, disponíveis desde 1976.

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA), até os dias atuais, só existem três rios de domínio federal enquadrados: o Paranapanema, o Paraíba do Sul e o São Francisco. O enquadramento destes rios foi realizado na década de 80 pelo extinto Comitê Especial de Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas - CEEIBH, sendo o rio São Francisco o único enquadrado segundo a Resolução CONAMA nº 20/86. Os outros dois seguiram os procedimentos da Portaria MINTER 13/76.

Segundo MACIEL Jr (2000) o percentual de rios enquadrados deve-se à própria legislação - Resolução CONAMA nº 20/86, quando afirma no seu Art. 20 que enquanto não existirem os enquadramentos as águas de todos os corpos d'água doce são consideradas enquadradas na Classe 2. Isso incorre na não obrigatoriedade da realização do enquadramento, o que predispõe a ocorrência de problemas como:

- inexistência de objetivos de qualidade adequados aos usos das águas e conseqüente falta de padrões de referência para o monitoramento das águas da bacia;
- falta de mecanismos para proteção aos usos que necessitam de água de melhor qualidade;
- unificação de padrões para os projetos de controle de fontes potencialmente poluidoras em processo de licenciamento;
- falta de motivação para a realização do enquadramento das bacias hidrográficas;
- usos das águas economicamente mais fortes acabam preponderando sobre usos de caráter social e ecológico.

Segundo GARRIDO (2002) o enquadramento esteve em voga no final dos anos setenta, após a criação o Comitê Especial de Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas – CEEIBH. Esse comitê tinha a tarefa de promover a classificação e o

enquadramento dos corpos d'água da União. No período de 1989 a 1991, foram enquadrados os rios Paranapanema, o Paraíba do Sul e o São Francisco.

Na década de 90, alguns comitês de bacia do Estado de São Paulo passaram a editar relatórios de situação de seus principais rios, base essencial para o enquadramento. Foram também formuladas algumas propostas mas não se chegou a elaborar qualquer enquadramento tal como estabelecem as normas atuais, ou seja, as resoluções CONAMA nº 20/86 e CNRH nº 12/00 (GARRIDO, 2002). Existe, portanto, uma quantidade mínima de trabalhos sobre enquadramento dos corpos d'água no Brasil. Segundo GARRIDO (2002) “há um expressivo movimento, de parte dos comitês e outros organismos de bacia, e sobretudo uma inclinação das entidades e órgãos gestores de recursos hídricos em colocar na ordem do dia, a implementação do enquadramento dos corpos d'água”.

3.2.6. NECESSIDADE DE REVISÃO DA RESOLUÇÃO CONAMA Nº 20/86

Como base jurídica utilizada há 17 anos no processo de enquadramento, a Resolução CONAMA nº 20/86 vem mostrando necessidade de revisão nos seguintes pontos:

- **Características climáticas:** como na sua criação, houve alguns índices que basearam-se em normas similares aprovadas em alguns países de clima temperados, há equívocos que devem ser corrigidos tendo em vista as características climáticas do nosso país (RIBEIRO & LANNA, 2001).
- **Padrões estabelecidos:** estudos recentes realizados por VON SPERLING (1998) indicaram que uma ampla gama de tecnologias de tratamento de esgotos domésticos não seria capaz de garantir o atendimento aos padrões estabelecidos, para lançamentos de efluentes, de forma que se torna impraticável o atendimento à Resolução em todos os aspectos, situação essa que se agrava quando se considera o alto custo de tratamento dos esgotos.
- **Planejamento ambiental:** o reduzido número de Classes considerando água doce, salobra e salina, torna a resolução muito inflexível e inadequada ao processo de planejamento da recuperação ambiental em rios que apresentam intensa ação antrópica em suas bacias de drenagem visto que dificilmente será encontrada alternativa técnica

factível para melhorar a Classe de enquadramento faltando, por exemplo, padrões intermediários entre as Classes 3 e 4, em situações, onde poderia ser adequado o uso da água para abastecimento humano, irrigação e dessedentação animal, com algum tratamento prévio (PEREIRA e LANNA, 1998).

- **Quantidade de parâmetros elevada:** o atendimento à quantidade de parâmetros solicitada pela Resolução CONAMA nº 20/86, torna-se impraticável pelo alto custo das análises.

3.2.6.1. ATUAL REVISÃO DA RESOLUÇÃO CONAMA Nº 20/86 (em andamento)

A Resolução CONAMA nº 20/86 encontra-se em processo de atualização. No último arquivo de revisão que foi disponibilizado na Internet no site do Ministério do Meio Ambiente, percebe-se que há uma preocupação por parte dos técnicos em acrescentar alguns parâmetros químicos (fósforo total e nitrogênio total) e biológicos (densidade de cianobactérias) importantes para avaliação da qualidade da água quanto a eutrofização e possíveis presença de cianotoxinas (neurotóxicas e hepatofóxicas).

O número de classes aumentará para 11 (onze). As duas novas classes criadas contemplaram a classificação das águas salobras e salinas que receberam uma classe especial ambas “destinadas à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas e dos ecossistemas em unidades de conservação”. Até a presente data, não foram criadas classes intermediárias como sugerido por PEREIRA e LANNA (1998). Os limites de vários parâmetros da referida resolução sofrerão alterações em seus valores sendo menos exigentes que os atuais. Para a Classe 1, por exemplo, o limite de Amônia não ionizável passará de 0,02 mg/L NH_3^- para 1,5 mg/l NH_3 , sulfeto de 0,002 mg/L S para 0,05 mg/L, zinco de 0,18 mg/L Zn para 5 mg/L Zn. Outras substâncias químicas inorgânicas que tornar-se-ão mais restritivas, são Arsênio passa de 0,05 mg/L As para 0,01 mg/L; bário de 1,0 mg/L Ba para 0,7 mg/L; cádmio passa de 0,001 mg/L Cd para 0,005 mg/L. Para a Classe 2 os limites existentes não sofrerão alteração, somente foi acrescentado os parâmetros biológicos. Na Classe 3 somente foram alterados os valores de dois dos parâmetros: Sólidos dissolvidos totais que passará de 500 mg/l para 1000 mg/L e Cobre alterando o limite de 0,5 mg/L Cu para 2 mg/L.

No que se refere ao controle da qualidade dos corpos receptores de efluentes deixa de ser exigida a investigação somente das substâncias potencialmente prejudiciais e passa a exigir a avaliação do conjunto de parâmetros de qualidade de água selecionado para subsidiar a proposta de enquadramento e aqueles para os quais haja suspeita da sua presença ou não conformidade. Passa a ser considerado, também, que os organismos e comunidades aquáticas poderão ser usados como indicadores da qualidade da água. Os limites estabelecidos para os parâmetros relacionados em cada uma das classes do enquadramento deverão ser obedecidos e as metas de qualidade da água deverão ser atingidas nas condições de vazão de referência (Art. 13) – que deverá ser estabelecida pelo respectivo comitê de bacia ou, em sua ausência, pelo órgão gestor de recursos hídricos em conjunto com o órgão ambiental competente. Essa nova resolução, exige que o enquadramento atenda aos procedimentos da Resolução CNRH nº 12/00 (Art. 20) e especifica que: “o conjunto de parâmetros selecionado para subsidiar a proposta de enquadramento do corpo de água deverá ser representativo dos impactos ocorrentes e que afetam os usos pretendidos (Art. 20 §3º)”.

Em relação ao lançamento de efluentes serão tolerados na zona de mistura valores em desacordo com os previstos na respectiva classe do enquadramento desde que não comprometa a integridade do corpo d'água, não causem efeitos tóxicos aos organismos aquáticos, não causem risco significativo à saúde humana e “ não gerem cor, odor ou depósitos objetáveis”

Nota-se, portanto que a revisão da referida Resolução está mais fortalecida para o controle da poluição hídrica.

3.3. COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA

A cobrança é definida por Rui Barbosa Nogueira e Paulo Cabral Nogueira como preço público que é a “parte das receitas originárias, assim denominadas porque sua fonte é a exploração do patrimônio público ou a prestação do serviço público. Por isso, são também chamadas Receitas industriais ou patrimoniais, porque são provenientes da exploração de serviços, bens, empresas ou industriais do próprio Estado” (POMPEU, 1997).

A cobrança pelo uso da água é um instrumento econômico importante para atingir o equilíbrio na relação disponibilidade-demanda. Pode ser entendido como uma retribuição dos prejuízos causados à sociedade pelo uso indiscriminado dos recursos hídricos. Atua na internalização dos custos ambientais que a utilização de um recurso natural sempre acarreta.

A cobrança pelo uso da água, segundo a Lei nº 9.433/97 da Política Nacional de Recursos Hídricos, objetiva:

- reconhecer a água como um bem econômico;
- incentivar a racionalização do uso da água;
- obter recursos financeiros para os programas e intervenções dos planos de recursos hídricos.

Sendo assim, a cobrança pelo uso da água tem por finalidade garantir aos usuários um uso eficiente dos recursos hídricos, na medida em que corrige as distorções no uso. Ela não objetiva incrementar a arrecadação do Estado, e nem reforçar o caixa dos governos, mas sim internalizar os efeitos externos e corrigir as distorções entre o custo social e custo privado, ao tempo em que financia os investimentos necessários ao bom funcionamento do setor (CARRERA-FERNANDEZ, 2000).

Para a implantação da cobrança é necessário o estabelecimento dos valores a serem cobrados aos usuários dos recursos hídricos e isto não é uma tarefa fácil porque as informações de oferta e demanda não são completas e as interações com os ecossistemas e com as atividades econômicas não são totalmente conhecidas, além da quantidade e qualidade variarem ao longo do tempo e do espaço (RIBEIRO, 2000). A definição dos valores da cobrança leva em conta os seguintes critérios: volume capitado, disponibilidade hídrica, grau de regularização, classe de uso, tipo e localização do usuário, sazonalidade, tipo de manancial, eficiência do usuário, quantidade de carga lançada, tipo de poluente e do corpo d'água receptor.

3.3.1. ASPECTOS LEGAIS DA COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA NO BRASIL

No Brasil, a cobrança pelo uso da água já estava implícita no Código Civil quando, no seu art. 68, afirma que o “uso comum dos bens públicos pode ser gratuito ou retribuído conforme as leis da União, dos Estados ou Municípios a cuja administração pertencerem”. É prevista desde 1934, no Código das Águas que foi promulgado pelo Decreto Lei nº 24.643/34, quando determina em seu Art. 36, § 2º que “o uso comum das águas pode ser gratuito ou retribuído, conforme as leis e regulamentos da circunscrição administrativa a que pertencerem”, e ressalva que “a ninguém é lícito conspurcar ou contaminar as águas que não consome, com prejuízo de terceiros” (Art. 109). Esta mesma lei institui o chamado atualmente princípio poluidor-pagador no seu artigo 110 quando estabelece que “os trabalhos para a salubridade das águas serão executados à custa dos infratores que, além da responsabilidade criminal, se houver, responderão pelas perdas e danos que causarem e pelas multas que lhes forem impostas nos regulamentos administrativos”.

A Política Nacional de Meio Ambiente, Lei nº 6.938/81 no seu Art. 4º, VII, em 1981 estabelece como um dos seus objetivos, a imposição ao “poluidor e ao predador, a obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados e ao usuário, da contribuição pela utilização dos recursos ambientais com fins econômicos”

O Art. 21 do Decreto nº 89.496 de 1984, que regulamenta a Lei nº 6.662/79 da Política Nacional de Irrigação afirma que o uso de águas públicas para fins de irrigação e atividades decorrentes dependerá de remuneração.

A Lei nº 7.990 de 1989 que regulamenta o artigo 20, parágrafo 1 da Constituição Federal, dispõe sobre a compensação financeira pelo aproveitamento de recursos hídricos para fins de geração de energia elétrica, justificada pela perda econômica decorrente da inundação. Em 1990, a Lei 8.001 definiu os percentuais da distribuição dessa compensação financeira entre os Estados, Municípios e órgãos da administração direta da União.

A aplicação da cobrança atende ao princípio 16 da Declaração do Rio de Janeiro da Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento realizada em 1992 afirma que: “As autoridades nacionais devem esforçar-se para promover a internalização dos custos de proteção do meio ambiente e o uso dos instrumentos econômicos, levando-se em conta o conceito de que o poluidor deve, em princípio, assumir o custo da poluição, tendo em vista o interesse do público sem desvirtuar o comércio e os investimentos internacionais”.

A Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/97), estabeleceu a cobrança pelo uso dos recursos hídricos como um dos instrumentos de gestão, determinando que os usuários sujeitos à outorga devem pagar pelo uso da água (Art. 20) e em quais circunstâncias os valores serão cobrados (Art. 21). Esta associação impede que sejam cobrados de atividades clandestinas ou cujos usos não tenham sido outorgados. Os usos não sujeitos a outorga não estão sujeitos a cobrança e no período em que a outorga estiver suspensa, não poderá haver a cobrança. Também determina que os valores arrecadados sejam aplicados nos planos e programas aprovados no Plano Diretores de Recursos Hídricos pelo respectivo Comitê da Bacia Hidrográfica onde foram arrecadados os recursos, prioritariamente na bacia hidrográfica onde foram gerados (Art. 22).

A arrecadação financiará estudos, programas, projetos e obras incluídas nos Planos de Recursos hídricos que alterem, de modo considerado benéfico à coletividade, a qualidade, a quantidade e o regime de vazão ao longo do corpo d'água (Lei 9.433/97 Art. 22 parágrafo 2) ou pagará, no caso da cobrança em rios federais, despesas de implantação e custo administrativo dos órgãos e entidades do SNGRH – Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

A implantação da cobrança no âmbito federal será realizada pela Agência Nacional da Água (ANA), em articulação com os Comitês de Bacia Hidrográfica. A ANA também terá competência para arrecadar, distribuir e aplicar receitas auferidas por intermédio da cobrança pelo uso de recursos hídricos de domínio da União. A nível estadual será realizada pelas agências locais de bacias. A **Figura 3.5** apresenta o esquema da estrutura da cobrança pelo uso da água no Brasil.

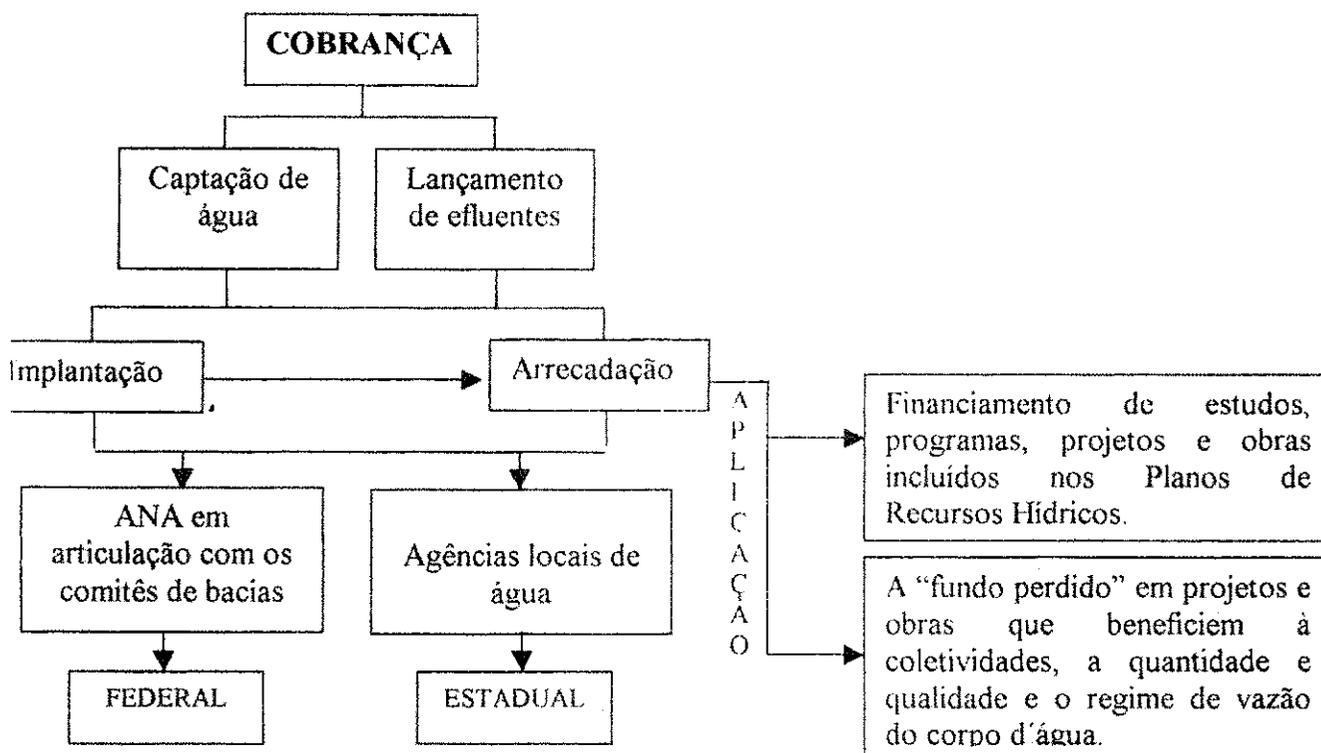


Figura 3.5. Esquema da cobrança pelo uso dos recursos hídricos.

3.3.2. METODOLOGIAS UTILIZADAS PARA O CÁLCULO DA COBRANÇA

O valor a ser cobrado pelo uso da água pode ser definido segundo as seguintes abordagens: Análise Custo Benefício (ACB) e Análise Custo Efetividade (ACE).

Na ACB tem-se a determinação do valor econômico da água através da construção da curva dos benefícios que representa a curva de disposição agregada a pagar da sociedade, enquanto na ACE não se busca o nível ótimo de utilização dos recursos ou no caso da poluição, a sua remoção da carga poluidora, mas o alcance de uma meta pré-acordada ao menor custo para a sociedade. Não se busca a máxima eficiência econômica no uso dos recursos, mas o atendimento de certas metas previamente negociadas.

As curvas de custos e benefícios de remoção da carga poluidora podem definir os valores a serem cobrados pelos lançamentos de efluentes na bacia. Para isto é preciso maximizar o benefício social líquido (diferença entre o benefício total e o custo

total). Isso ocorre na intercessão das curvas de custos e benefícios marginais que indica o nível ótimo de remoção da carga poluidora (nível ótimo de utilização do recurso).

Como não há informações sobre os benefícios para a bacia caso de estudo não será possível utilizar-se da abordagem do tipo Análise Custo Benefício (ACB) neste trabalho, e portanto, utilizar-se-á Análise Custo Efetividade (ACE), sendo os custos definidos por meio da curva de Custo Marginal.

O Custo Marginal é uma das bases de cálculo mais discutidas na definição do valor a ser cobrado pela água bruta. Para alcançar as eficiências econômica e ambiental, foi proposto o Custo Marginal de Longo Prazo que indica aos usuários os custos futuros dos investimentos no setor. No setor hídrico, o Custo Marginal é o custo adicional para se expandir a oferta de água em uma bacia hidrográfica em um metro cúbico a mais independente do uso a que se dê a água, ou o custo incremental necessário para reduzir (em uma unidade) a carga orgânica ou concentração de poluentes nos recursos hídricos. O Custo Marginal indica a mudança nos custos se for considerada a produção de uma unidade a mais do produto.

O Custo Marginal de Longo Prazo ou incremental médio pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$CIM = \frac{\sum_{t=1}^T \frac{(It + Rt)}{(1+d)^t}}{\sum_{t=1}^T \frac{Qt}{(1+d)^t}} \quad (3.1.)$$

Onde,

CIM – custo incremental médio;

T – horizonte de planejamento;

t – ano para o qual o custo marginal está sendo calculado;

It – custos de investimento no ano t;

Rt – Custos de operação e manutenção no ano t;

Qt – quantidade incremental de água disponibilizada (ou de efluentes tratados);

d – taxa de desconto ou custo de oportunidade de capital.

O numerador da **Equação 3.1** indica o somatório dos custos associados impostos pelas retiradas de água ou tratamento de efluentes e o denominador o somatório dos benefícios, suposto proporcional à retirada de água ou ao tratamento de efluentes.

3.2.3. EXPERIÊNCIA EM COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA

Este item fornece uma abordagem geral sobre a situação da cobrança no exterior e em alguns Estados brasileiros.

A cobrança pelo uso da água já é praticada em alguns países: França e Holanda - desde a década de 60; Alemanha - no início de 80; Inglaterra e México - início de 90; País de Gales; Portugal, Espanha e Estados Unidos. Em outros países, esta questão encontra-se em discussão. No Brasil já existem estudos sobre cobrança pelo uso da em alguns Estados e o Ceará é o primeiro Estado brasileiro a cobrar pela utilização da água.

3.2.3.1. No Exterior

➤ Alemanha

Na Alemanha a cobrança pelo uso da água é um dos instrumentos econômicos que complementam os instrumentos de comando e controle. A cobrança pelo lançamento de efluentes está subordinada aos padrões ambientais, ou seja, não se pode lançar carga poluidora acima dos limites estabelecidos na lei. Esta cobrança parte do princípio de que as quantidades reduzidas de poluentes causam externalidades aos usuários que precisam ser ressarcidos.

Os tipos de cobrança são: para captação de água superficial e subterrânea (praticada em alguns Estados), pela poluição - instituída pela lei da Taxa de Esgoto e pelo tratamento da água de chuva. A Taxa de Esgotos é regulada por lei e usada na aplicação do princípio poluidor-pagador. Esta taxa foi fixada em função da carga tóxica do efluente e é cobrada pelos Estados e destinada exclusivamente a financiar medidas de melhoria da qualidade da água. Os usuários que emitem concentrações e cargas anuais inferiores aos limites tabelados são isentos do pagamento da taxa.

Os valores cobrados pelo uso da água na Alemanha são apresentados na **Tabela 3.1**.

Tabela 3.1. Valores cobrados pelo uso da água na Alemanha (SANTOS, 2002).

Usos	Valores da cobrança (US\$/m ³) ¹
Captação de águas superficiais para abastecimento doméstico e industrial	0,015 a 0,09
Lançamento de efluentes	0,6 (US\$/kg de DQO)

1. Valores deduzidos pela autora com base em BUCKLAND & ZABEL (1998) e OCDE (1999a), referentes ao início da década de 90

➤ França

A França é um dos países precursores na aplicação da cobrança pelo uso da água associada a uma gestão participativa e integrada por bacia hidrográfica. A cobrança é aplicada em todo o país e apresenta-se em dois tipos: captação e consumo de águas superficiais e subterrâneas e diluição de efluentes. O valor unitário básico fixado pela Agência do Rhin-Meuse no período de 1997 a 2001 era de 0,1 FF/m³ (US\$0,016/m³). Considerando que este valor é afetado por diversos coeficientes, dentre eles o de uso, em 2001 a cobrança equivalente por consumo era da ordem de 0,5 FF/ m³ (US\$0,07/m³).

➤ Reino Unido

No Reino Unido a cobrança para lançamento de efluentes foi introduzida em 1991, antes da de captação de água superficial e subterrânea que se deu em 1993. Estas cobranças tinham o objetivo de cobrir os custos administrativos, de gestão e de monitoramento do órgão competente. Uma parcela desta cobrança é fixa, cobrada no momento da emissão da outorga, e outra variável em função do uso e cobrada anualmente.

Na cobrança para a captação o valor da parcela fixa é de 100£ e incide sobre qualquer novo pedido de outorga. O valor arrecadado destina-se a cobrir os custos administrativos do processo. A outra parcela, cobrada anualmente, é o produto entre a cobrança unitária e o volume outorgado e se destina a cobrir os custos de gestão e monitoramento. Dados de 1993/94 indicam que os preços cobrados variavam entre

£4,92/1000 m³ (US\$8/1000 m³) a £16,42/1000 m³ (US\$26/1000 m³) (BUCKLAND & ZABEL, 1998).

➤ Holanda

Na Holanda existem dois tipos de cobrança: para o lançamento de efluentes e para a captação da água subterrânea.

Os recursos hídricos superficiais são abundantes e sua captação per capita é de 520 m³/hab.ano, representando apenas 8,6% dos recursos hídricos superficiais disponíveis (OCDE, 1998). Por esta razão não foi instituída a cobrança para captação de águas superficiais. As cobranças foram instituídas visando arrecadar recursos e induzir o tratamento de efluentes domésticos e industriais e proteger os recursos hídricos subterrâneos, que estão ameaçados pela intrusão salina e pela poluição. Os valores da cobrança por captação de água na Holanda são de US\$ 0,005 a 0,14 /m³ (provincial) e US\$ 0,05 a 0,08 (federal).

➤ Estados Unidos

Nos Estados Unidos a aplicação de instrumentos econômicos, como a cobrança pelo uso da água ainda é muito restrita. O sistema de gestão é do tipo “comando controle” e é embasado em várias leis e regulamentos de proteção ambiental que são aplicados e controlados pelas instituições públicas competentes.

3.2.3.2. No Brasil

No Brasil já existem estudos da cobrança pelo uso da água em bacias hidrográficas de domínio estadual e federal. Entre estes Estados podem ser citados: Rio Grande do Sul, São Paulo, Bahia, Paraíba e Pernambuco. Nas bacias de domínio da União, há exemplos como a bacia do rio Paraíba do Sul e Vaza Barris.

No âmbito estadual apesar do avanço no processo de instalação de Comitês de Bacias, a cobrança pelo uso da água ainda está sendo discutida e o único Estado que já cobra pelo uso da água é o Ceará, contemplando somente a cobrança pela captação de água bruta. No Estado de São Paulo, o Projeto de Lei sobre a cobrança encontra-se em análise pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos.

No âmbito federal já existem seis comitês de bacias instalados. O Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul - CEIVAP já poderá estabelecer a cobrança para a bacia do Rio Paraíba do Sul e dos seus afluentes que drenam os Estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro. Esta cobrança deveria ser iniciada em dezembro de 2002, mas foi transferida para março de 2003 (HI-TEC, 2002).

Uma breve abordagem sobre a situação da cobrança pelo uso da água no Brasil é descrita a seguir.

➤ **Nível federal**

Rio Paraíba do Sul

A cobrança para a bacia do Paraíba do Sul foi aprovada em 06 de dezembro de 2001 e contempla os setores industrial e de saneamento.

O CEIVAP aprovou a cobrança da taxa de R\$ 0,008/m³ (US\$0,003/m³) de água retirado do rio. Se for consumida e devolvida ao rio sem tratamento, o preço subirá para R\$ 0,02/m³ (US\$0,009/m³). A cobrança deve atingir cerca de 8 mil indústrias e 180 cidades de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. Dados da ANA revelam que o rio Paraíba do Sul e seus afluentes recebem 1 bilhão de litros de esgoto não tratado todos os dias. (HI-TEC, 2002).

Para a cobrança entrar em vigor foram feitas simplificações a fim de viabilizar a cobrança pelo uso da água em uma bacia onde não existia cadastro de usuários e nem de outorga implantados. Sendo assim, a cobrança está prevista para vigorar por um

período de três anos. No final deste período serão feitas as modificações necessárias devido as suas simplificações

A metodologia proposta visa estimular a aplicação de tecnologias de tratamento mais eficientes, pois será cobrado um valor maior para os efluentes que são lançados sem tratamento. Logo a cobrança independe da DBO lançada.

Rio Vaza-Barris

A secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente (SRH/MMA) realizou estudo sobre a cobrança pelo uso da água na Bacia do Vaza-Barris, que drena parte dos Estados da Bahia e Sergipe. Neste estudo utilizou-se a metodologia de preços ótimos. Esta metodologia restringe o órgão gestor dos recursos hídricos a cobrir todos os seus custos nessa atividade de gerenciamento e estabelece a autosustentabilidade para o setor dos recursos hídricos.

Para a determinação de preços ótimos são necessárias as demandas de águas nas diversas modalidades de uso e as elasticidades-preço de demanda com suas respectivas funções de demandas ordinárias também para as várias modalidades de uso que são encontradas pelo método de demanda “tudo ou nada”.

Os valores encontrados com a simulação estão apresentados na **Tabela 3.2**.

Tabela 3.2. Preços da água por modalidade de uso na bacia do Vaza-Barris (em R\$/m³ e R\$/kg DBO) (CARRERA-FERNANDEZ 1999).

USOS	Preço de demanda	Preço Ótimo		Preço de reserva
		Sem restrição	Com restrição	
Abastecimento humano	0,247	$6,14 \times 10^{-1}$	$1,90 \times 10^{-1}$	0,49
Abastecimento industrial	1,300	$1,75 \times 10^{-1}$	$2,32 \times 10^{-1}$	2,74
Irrigação	0,005	$1,73 \times 10^{-1}$	$9,54 \times 10^{-3}$	$9,54 \times 10^{-3}$
Esgotamento sanitário	0,020	$1,05 \times 10^{-2}$	$3,72 \times 10^{-2}$	0,004
Efluentes industriais	0,205	$2,5 \times 10^{-2}$	$4,58 \times 10^{-2}$	0,41

➤ **Nível estadual**

Ceará

A cobrança já foi implantada no Estado do Ceará por meio do Decreto 24.264 de 12 de novembro de 1996, complementado pela Deliberação nº 3/97 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CONERH que incide sobre o volume de água bruta “livre ou aduzida por canais” captado/fornecido ao usuário. O órgão responsável pela cobrança é a COGERH (Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará). Os usuários, CAGECE (Companhia de água e Esgoto do Estado do Ceará) e as indústrias pagarão, respectivamente, 0,01 R\$/m³ e 0,67 R\$/m³.

Os valores cobrados para as indústrias pela captação e consumo da água no Ceará são bastante altos quando comparados aos propostos para São Paulo (**Tabela 3.3**). Isso se deve principalmente às características específicas da disponibilidade hídrica no Estado. Mesmo assim, a aceitação da cobrança pelos setores doméstico e industrial é boa. No Setor industrial a cobrança representa apenas 50,0% do que era cobrado pela CAGECE antes da criação da COGERH. O setor doméstico representa 50,0% do que é cobrado pela CAGECE porque incide, em sua maior parte, sobre a mesma que é uma companhia estadual que está obrigada a repassar os recursos definidos em lei/portarias para a COGERH.

O setor de irrigação é o mais resistente à cobrança em virtude da sua baixa capacidade de pagamento e também por questão cultural. Atualmente, a cobrança atinge principalmente os irrigantes do Vale do Acaraú (R\$0,004/m³), do Vale do Jaguaribe e demais usuários do Canal do Trabalhador (R\$0,01/m³) (SANTOS, 2002).

Rio Grande do Sul

No Rio Grande do Sul a cobrança pelo uso da água está prevista para o ano de 2003. O processo de cobrança pelo uso da água começa a ser estruturado em bacias pilotos, como a do Rio Santa Maria, onde os Comitês estão se organizando, para a efetivação do processo de Cobrança pelo uso da Água. O sistema de cobrança pelo uso da

água originado do Comitê de Gerenciamento da Bahia Hidrográfica do rio Santa Maria passou a ser conhecido como Sistema de Tarifação da Água (STÁgua).

O STÁgua é um instrumento de gestão destinado a modelar a cobrança pelo uso da água em bacias hidrográficas, mediante distribuição dos custos das intervenções visando racionalizar seu uso e manutenção, adotando os conceitos "usuário-pagador" e "poluidor-pagador". Tem como forma de cobrança a aplicação das quotas sobre os custos das intervenções (programadas e decididas no âmbito do Comitê de Bacia) e objetiva a garantia do processo de indução ao uso racional da água na bacia (BALARINE, 2002).

São Paulo

Todas as bacias hidrográficas do Estado de São Paulo já possuem comitês instalados. O Projeto de Lei nº 20, de 1998 que dispõe sobre a cobrança pela utilização dos recursos hídricos do domínio do Estado de São Paulo já passou por audiências públicas e está no Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CERH. O processo de cobrança será iniciado nas bacias mais críticas, tais como: Alto Tietê, Piracicaba-Capivari-Jundiaí e Baixada Santista. Os comitês de bacias propõem as cotas para cada setor usuário (doméstico – abastecimento público, industrial - abastecimento industrial e agrícola – irrigação), e encaminharão para o CERH onde os mesmos serão avaliados e adotados. Os usuários que reduzirem as cargas a serem lançadas nos corpos d'água serão bonificados.

A taxa a ser cobrada será fixada pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH) e caberá aos Comitês determinar os setores que pagarão e os valores a serem pagos. Os comitês terão autonomia para isentar ou taxar um determinado setor. Podem ainda cobrar somente por uma modalidade: captação, consumo ou a quantidade de poluentes lançados nos corpos d'água. O preço poderá variar também conforme o tipo de manancial e a época do ano.

A metodologia da cobrança para o Estado de São Paulo prevê a definição dos preços unitários básicos (PUB) para cada fator de cobrança de forma uniforme para todas as bacias hidrográficas.

Na cobrança pelo lançamento de efluentes, foram adotados no estudo do CERH de São Paulo os seguintes parâmetros: DBO --Demanda Bioquímica de Oxigênio, DQO – Demanda Química de Oxigênio, RS – Resíduos Sedimentáveis e CI - Carga inorgânica: metais, cianetos e fluoretos. Pela metodologia proposta, a cobrança por poluição é cumulativa e incide sobre diversos fatores de carga poluente. A cobrança por carga orgânica será cobrada duplamente porque incide sobre os parâmetros DBO e DQO.

Para os dois tipos de cobrança (retirada e lançamento) foram propostos preços unitários: básico e máximo. A **Tabela 3.3** apresenta os valores propostos para a cobrança pelo uso da água no Estado de São Paulo. Com a implantação da cobrança pelo uso da água poderão ser arrecadados, cerca de 420 milhões de reais.

Nas simulações realizadas por CARRERA-FERNANDEZ & GARRIDO (2000) para 4 bacias hidrográficas do Estado de São Paulo e para todo o Estado foram encontrados valores variando de R\$ 1,00/1000 m³ a R\$ 7,00/1000m³ (**Tabela 3.4**)

Tabela 3.3. Preços unitários propostos para a cobrança pelo uso da água no Estado de São Paulo (SRHISO/SP, 2002).

Item	Unidade	Lançamento (R\$)		Retirada (R\$)	
		Básico	Máximo	Básico	Máximo
Captação	m ³	-	-	0,01	0,05
Consumo	m ³	-	-	0,02	0,10
DBO	kg	0,10	1,00	-	-
DQO	kg	0,05	0,50	-	-
RS	litro	0,01	0,10	-	-
CI	kg	1,00	10,00	-	-

Tabela 3.4. Preços pelo uso da água e receita potencial em algumas bacias do Estado de São Paulo (CARRERA-FERNANDEZ & GARRIDO, 2000).

Bacias	Captação (RS/1.000 m ³)	Consumo (RS/1.000 m ³)	E. Elétrica (RS/MWh)	Poluição (RS/ton DBO)	Receita* (RS/1000)
Alto Tiêê	7,00	31,00	4,00	320,00	145.561
Piracicaba, Capivari e Jundiá	3,00	17,00	4,00	193,00	31.111
Baixada Santista	1,00	6,00	0,10	228,00	9.421
Estado de São Paulo	3,00	13,00	0,10	278,00	-

* Exatamente igual a 30,0% do plano decenal de investimento desejável para a bacia.

Pernambuco

A CPRH já realizou um estudo sobre a cobrança pelo uso da água para o rio Pirapama, onde foram estimados alguns valores para os diversos usos com diferentes metodologias. O Comitê de Bacia Hidrográfica do rio Pirapama – COBH já encaminhou a proposta de cobrança pelo uso da água ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos que só está aguardando a decisão do Conselho para implantá-la. Entretanto, esse processo poderá demorar um pouco mais, pois ainda será necessária a implantação da outorga pelo uso da água que antecede a cobrança, bem como a regulamentação da cobrança por meio de um Decreto lei constando os procedimentos para efetua-la.

A metodologia empregada no estudo para a obtenção dos valores a serem cobrados privilegiou a política do sistema de preços ótimos, que propicia a alocação eficiente dos recursos hídricos na economia, ao maximizar a diferença entre os benefícios e custos sociais e minimizar os impactos distributivos negativos. No estudo foram calculados, também, custos marginais de longo prazo para o período normal e o de racionamento. Os valores dos custos marginais encontrados são apresentados na **Tabela 3.5.**

Tabela 3.5. Custos Marginais de Longo Prazo de racionamento para a bacia do Pirapama
 – Pe (CARRERA-FERNANDEZ, 2000)

Usos	CMgLP	
	Racionamento	Normal
Captação de água ⁽¹⁾	0,24	$1,81 \times 10^{-2}$
Diluição de efluentes ⁽²⁾	0,40	1,37

Obs: ⁽¹⁾ R\$/m³; ⁽²⁾ R\$/kgDBO

O custo marginal de racionamento para a captação da água bruta foi bem maior que o custo marginal de longo prazo. Isso deve-se ao fato do custo marginal de longo prazo ser igual ao custo operacional do sistema que é pequeno em relação ao de racionamento. Já para a diluição de efluentes houve uma inversão, o custo marginal de racionamento foi menor que o custo marginal de longo prazo.

Os valores encontrados com base na política de preços ótimos são apresentados nas **Tabelas 3.6 e 3.7**.

Tabela 3.6. Determinação dos preços ótimos pelo uso da água para a bacia do rio Pirapama – Pe (CARRERA-FERNANDEZ, 2000).

Usos	Preço ótimo (R\$)
Abastecimento humano ⁽¹⁾	$1,52 \times 10^{-2}$
Abastecimento industrial ⁽¹⁾	$8,39 \times 10^{-2}$
Irrigação ⁽¹⁾	$8,07 \times 10^{-2}$
Geração de energia elétrica (1)	$3,06 \times 10^{-2}$
Fertirrigação ⁽²⁾	$3,95 \times 10^{-2}$
Diluição de esgotos sanitários ⁽²⁾	$6,62 \times 10^{-2}$
Diluição de esgotos industriais ⁽²⁾	$1,98 \times 10^{-2}$

Obs: ⁽¹⁾ R\$/m³; ⁽²⁾ R\$/kgDBO

Segundo os dados apresentados na Tabela 3.12, os valores a serem cobrados pela retirada de água do manancial a ser utilizada para irrigação e abastecimento industrial são superiores ao valor a ser cobrado pelo uso da água para a geração de energia elétrica porque os dois primeiros usos são consuntivos, ou seja, só devolvem parte da água ao rio e com grau de qualidade inferior e a geração de energia elétrica é um uso não consuntivo devolvendo toda a água ao rio.

Tabela 3.7. Preços ótimos restritos à capacidade de pagamento dos usuários para a bacia do rio Pirapama – Pe (CARRERA-FERNANDEZ, 2000).

Usos	Preço ótimo (R\$)
Abastecimento humano ⁽¹⁾	$2,35 \times 10^{-2}$
Abastecimento industrial ⁽¹⁾	$1,17 \times 10^{-1}$
Irrigação ⁽¹⁾	$9,54 \times 10^{-3}$
Geração de energia elétrica (1)	$2,27 \times 10^{-3}$
Fertirrigação ⁽²⁾	$5,97 \times 10^{-2}$
Diluição de esgotos sanitários ⁽²⁾	$9,63 \times 10^{-2}$
Diluição de esgotos industriais ⁽²⁾	$3,08 \times 10^{-2}$

Obs: ⁽¹⁾ R\$/m³; ⁽²⁾ R\$/kgDBO

Os valores a serem adotados na bacia devem estar situados dentro da capacidade de pagamento dos usuários. Estão previstas duas etapas para cobrança, a primeira contemplará a captação da água superficial e subterrânea para os diversos usos (abastecimento humano e industrial, irrigação e geração de energia elétrica) e a segunda o lançamento de efluentes (fertirrigação e diluição de efluentes industriais e esgotos domésticos), que deverá ocorrer dois anos após a cobrança para captação da água.

A arrecadação prevista para o início do processo é de R\$ 1,2 milhões por ano. Este valor corresponde à cerca de 95,0% do total previsto quando a implantação atingir todos os usuários. Os recursos arrecadados serão investidos em ações de gerenciamento ambiental e dos recursos hídricos (SRH/MMA, 2001).

Bahia

Na Bahia, a Lei 6.855/95 que prevê a cobrança pelo uso da água ainda não foi regulamentada. A cobrança é similar a prevista em São Paulo e também prevê taxas sobre a devolução da água inclusive com valores diferenciados para as indústrias que tratam seus efluentes antes do lançamento nos corpos d'água.

Os estudos sobre a cobrança pelo uso da água no Estado da Bahia foram iniciados em 1993, mas somente em 1996 foi contratada consultoria para o desenvolvimento do estudo para as bacias do Alto Paraguaçu e Itapicuru e em 1997 outras bacias foram contempladas com estudos de cobrança pelo uso da água. A metodologia

utilizada nos estudo de cobrança pelo uso da água no Estado da Bahia foi a política de preços ótimos.

Para a bacia do Itapicuru o melhor valor encontrado nas simulações para a cobrança pelo lançamento de efluentes e derivados de minerações foi de: US\$ 0,0152 por tonelada de cromo produzida, que está dentro da capacidade de pagamento dos usuários e representando um acréscimo de 0,1% no custo de extração do mineral (CARRERA-FERNANDEZ, 2000).

Para a bacia do rio Salitre, as simulações foram realizadas com base na metodologia do custo de oportunidade ou preços de reserva para abastecimento humano. Os valores encontrados foram de R\$ 0,65/m³ (alternativa de abastecimento por poços artesianos) e de R\$ 0,66/m³ (alternativa de abastecimento por carros-pipas). O valor máximo encontrado que os usuários estariam dispostos a pagar por água para irrigação foi de R\$ 0,02/m³ (MEDEIROS *et al*, 2001). Os resultados favorecem aos usuários do setor agrícola desfavorecendo os do setor doméstico. A autora afirma que esta metodologia superestima a capacidade de pagamento dos consumidores por atribuir o valor a ser cobrado ao máximo valor que os usuários estariam dispostos a pagar.

Minas Gerais

Em simulações realizadas para a bacia do rio Paraopeba por SCHVARTZMAN *et al* (2002), foram atribuídos os seguintes valores para a cobrança:

US\$ 0,20 /m³ – Abastecimento doméstico;

US\$ 0,030 /m³ – Consumo industrial;

US\$ 0,005 /m³ – Dessedentação de animais e irrigação da agricultura.

US\$ 1,50 / hab.mês – Lançamento de efluentes

O valor a ser cobrado pelo abastecimento doméstico é maior devido a disposição a pagar do setor doméstico é maior que a do setor industrial.

A arrecadação anual obtida com os valores cobrados pelo consumo de água seria de US\$ 6,936,343.20. Este valor deverá ser investido em melhorias ambientais da

bacia. O valor da cobrança pelo lançamento de efluentes deverá cobrir o restante dos custos de investimentos nos sistemas de tratamento de esgoto dos municípios com sede na bacia do rio Paraopeba que é de US\$ 21,026,528.00 anuais.

CAPÍTULO 4 - SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA O CONTROLE INTEGRADO DE POLUIÇÃO

4.1. ETAPAS METODOLÓGICAS DO TRABALHO

Apoiando-se em simulações realizadas com o Sistema de Apoio à Decisão para o Controle Integrado de Poluição (SAD-CIP) desenvolvido pelo Banco Mundial, esta pesquisa contemplou as seguintes etapas metodológicas:

- análise da condição de poluição hídrica na bacia por meio da estimativa da carga poluidora lançada no rio;
- simulação de cenários de melhoria da qualidade dos efluentes a serem lançados;
- definição da carga que o rio tem capacidade de assimilar para atender às Classes 1, 2 e 3 do enquadramento dos corpos d'água (CONAMA nº 20/86);
- levantamento dos custos necessários para trazer o rio da qualidade atual para a qualidade desejada;
- confecção da Curva de Custo Marginal de Longo Prazo, para o estabelecimento da cobrança pelo uso da água (lançamento de efluentes).

A descrição do SAD-CIP é apresentada neste capítulo. Os resultados e discussão das simulações com o referido modelo, os quais contemplam as etapas metodológicas citadas acima estão apresentadas no **Capítulo 5**.

4.2. GENERALIDADES SOBRE SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO

Sistemas de Apoio às Decisões - SAD's ou Sistemas de Suporte às Decisões - SSD's "são sistemas computacionais que têm por objetivo ajudar indivíduos que tomam decisões na solução de problemas não estruturados (ou parcialmente estruturados), ou seja,

aqueles que não apresentam soluções através de algoritmos bem definidos e podem não ser facilmente tratados por computador” (PORTO, 1997).

Os SAD's vêm sendo aplicados, com sucesso, em diversas áreas da atividade humana em que o problema de decisão é muito complexo, a exemplo do gerenciamento e do planejamento de sistemas de recursos hídricos. Salienta-se que os SAD's não servem para tomar decisões, e sim para auxiliar ao planejador em sua missão de decidir (PORTO, 1997).

A estrutura típica de um SAD possui como principais componentes: a base de dados, a base de modelos e a interface de diálogo (Figura 4.1). Suas características são apresentadas na Figura 4.2.

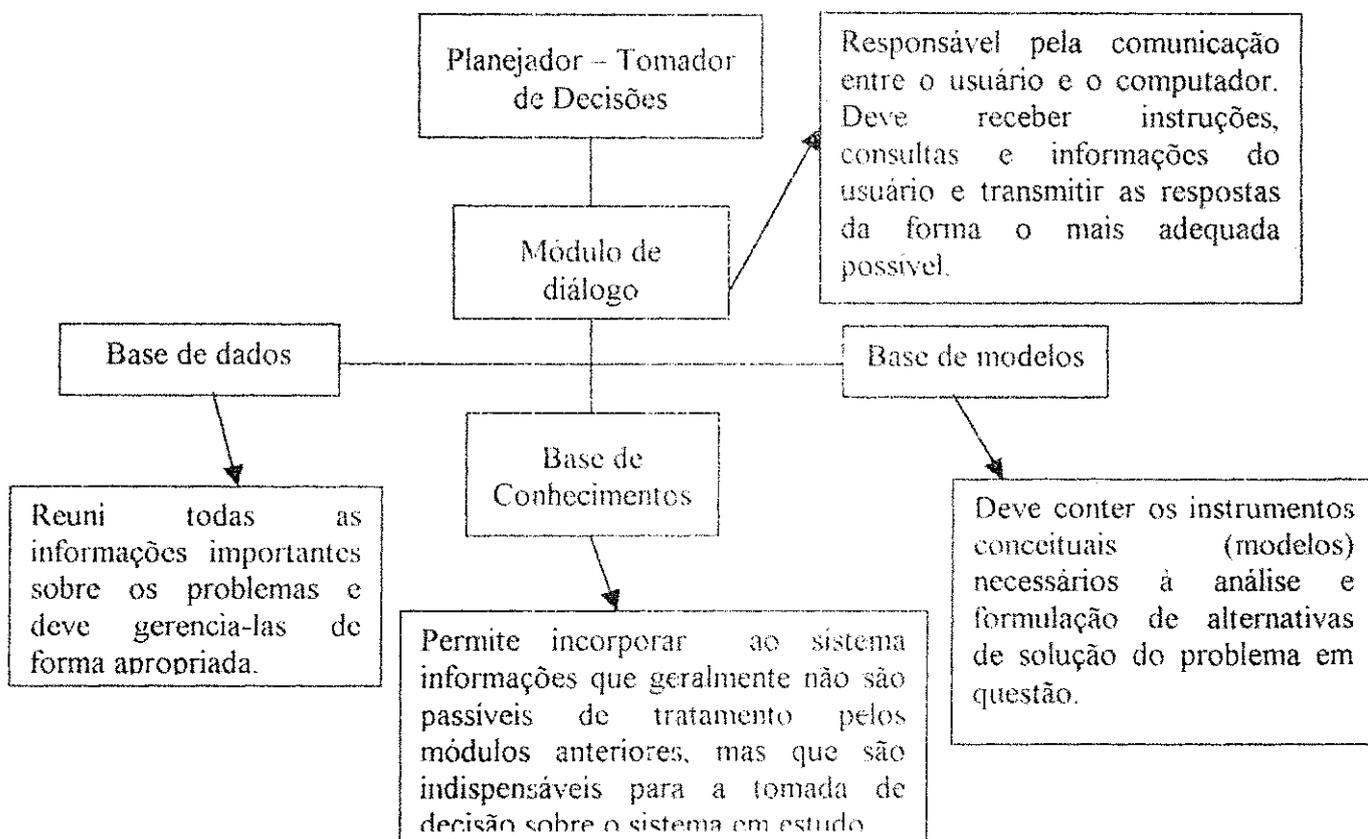


Figura 4.1. Estrutura típica de um SAD (Segundo Porto, 1997).

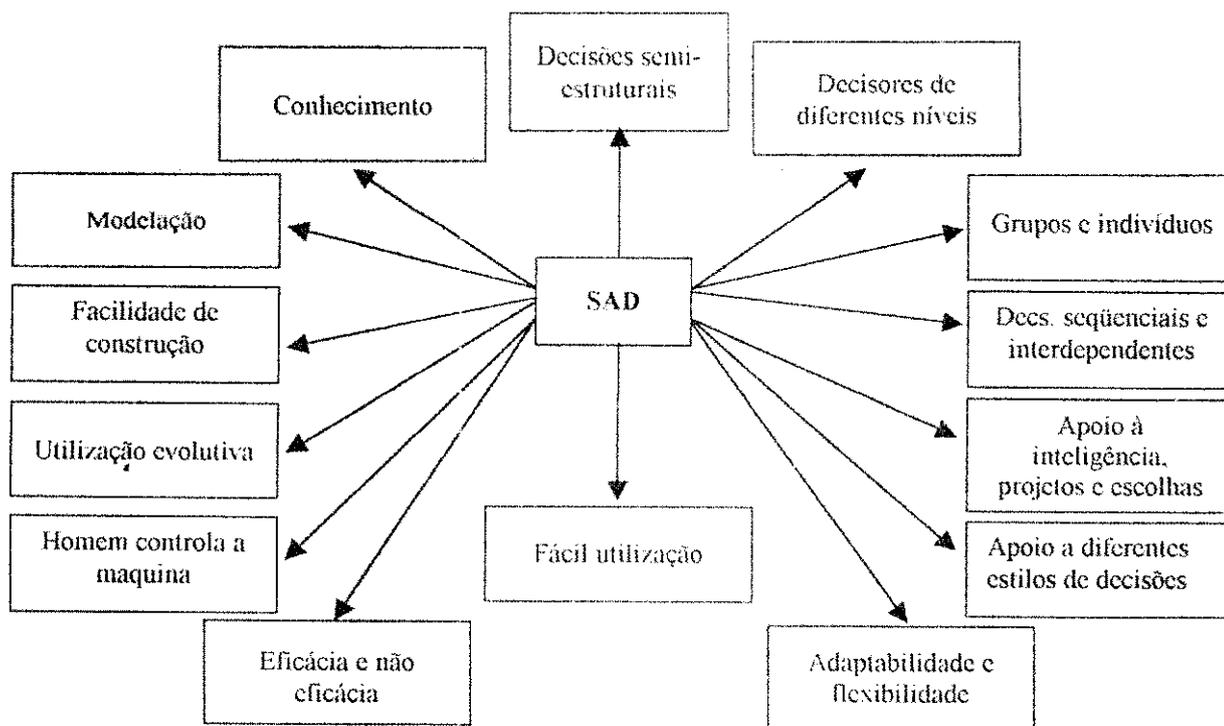


Figura 4.2. Características de um SAD (Segundo Turban, 1993 *apud* Porto, 1997).

4.3. SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA O CONTROLE INTEGRADO DA POLUIÇÃO - SAD-CIP

Nesta pesquisa foi utilizado o SAD-CIP desenvolvido pelo Banco Mundial com a colaboração da Organização Mundial de Saúde e da Organização Panamericana de Saúde (WHIO – World Health Organization/PAHO – Pan American Health Organization). O SAD-CIP possibilita acessar rapidamente a situação da poluição (hídrica, do ar ou por resíduos sólidos) em uma localização geográfica específica, como uma bacia hidrográfica e analisar alternativas para o controle de poluição, estratégias e políticas. Este sistema já foi aplicado para analisar opções de tratamento de águas residuárias em Colombo - Sri Lanka para avaliar o controle de poluição da água na bacia hidrográfica do rio Kelani Ganga e para levantar custos e benefícios do controle de emissões industriais de particulados no Rio de Janeiro – Brasil (WORLD BANK, 1998). O SAD-CIP também já foi aplicado à Bacia do rio Pirapama – Pe – Brasil (RIBEIRO, 2000).

O SAD-CIP é formado por um Banco de Dados extensivo (organizados para três meios: água, ar e resíduos sólidos) e modelos computacionais.

O banco de dados é composto por:

- processos tecnológicos poluidores (associados aos respectivos setores da atividade econômica, incluindo o setor doméstico) agrupados de acordo com a UN International Standard Industrial Classification (ISIC);
- fatores de emissão de poluição dos processos tecnológicos (por unidade de produto gerado);
- opções de controle (tratamentos para redução de carga poluidora, ou seja, medidas de redução da poluição) disponíveis para cada processo, incluindo programas de prevenção à poluição;
- parâmetros para posterior cálculo dos custos associados a cada opção de controle da poluição;
- padrões de qualidade da água e do ar considerados aceitáveis em termos de saúde humana.

Os modelos auxiliam o usuário a estimar:

- a carga potencial gerada pelas atividades econômicas, incluindo o setor doméstico;
- a situação atual da bacia hidrográfica ou área estudada (por exemplo, uma cidade) quanto a poluição nos corpos receptores através dos modelos de dispersão;
- as possíveis medidas de redução de poluição e cálculo da carga abatida por cada uma das medidas para cada processo tecnológico;
- os custos associados a cada medida de redução de poluição considerada.

A estrutura do SAD-CIP é apresentada conforme a **Figura 4.3**.

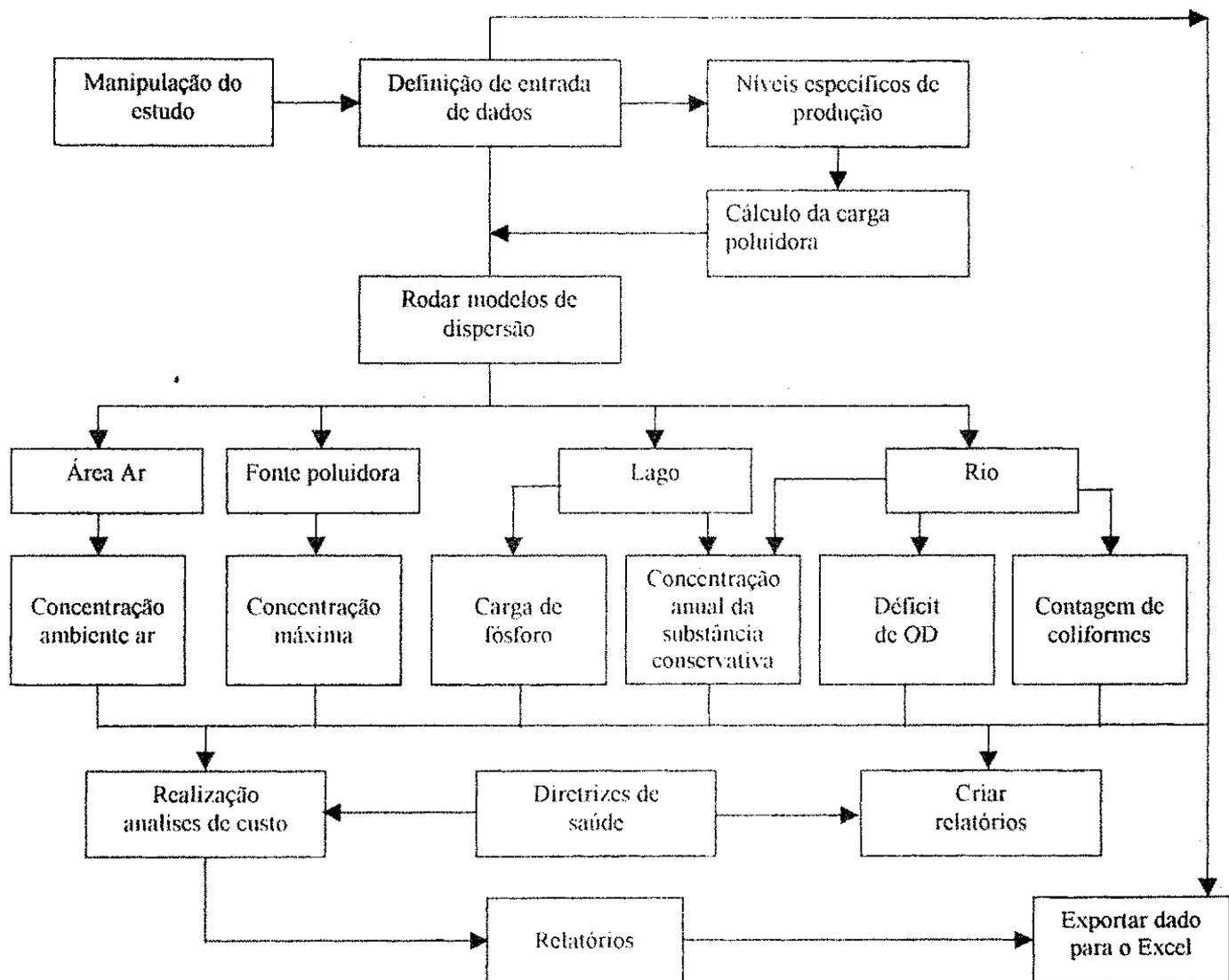


Figura 4.3. Estrutura do SAD-CIP (WORLD BANK, 1998).

Para esta pesquisa o SAD-CIP permitiu a estimativa dos cálculos:

- da carga poluente gerada por cada fonte poluidora;
- da concentração média anual das substâncias conservativas;
- do déficit de oxigênio dissolvido no ponto de lançamento;
- dos custos total, médio e marginal de sistemas de tratamentos de efluentes.

4.3.1. CÁLCULO DA CARGA POLUIDORA

Para a estimativa da carga poluente foi necessário o inventário das fontes de poluição, suas produções e os níveis adotados de controle (medida de redução). O cálculo da carga poluente depende da produção; do fator de emissão (quantidade de poluente emitida por unidade de produção de matéria prima utilizada na indústria). Sua unidade de medida é kg/unidade de produção, e do fator de redução (valor que associa cada medida de redução). Estes fatores representam uma parte da descarga dos efluentes no ambiente após a aplicação de uma medida de redução de cada poluente, quando existir.

O SAD-CIP possui armazenado, em seu banco de dados, valores padrões do fator de emissão e de redução para cada parâmetro poluente pertencente ao processo referente a cada ISIC (International Standard Industrial Classification) e para cada controle tecnológico adotado.

A carga poluente é calculada como se segue:

$$\text{Carga poluente} = (\text{nível de produção}) \times (\text{fator de emissão para o processo e poluente}) \times (\text{fator de redução para o poluente e controle tecnológico adotado} - \text{Medida de redução}) - \text{quando houver.}$$

O **Quadro 4.1** mostra os fatores de emissão utilizados no cálculo da carga poluente dos esgotos domésticos e agroindústrias de cada parâmetro envolvido no processo.

Como mostra o **Quadro 4.1**, o banco de dados do SAD-CIP possui processos bases ou não controlados (U) e limpos ou controlados (X) sendo estes somente para processos das indústrias.

Processos bases ou não controlados (U): não possuem medidas de prevenção de resíduos, utilizam-se apenas de controles "end-of-pipe" (tratamento de fim-de-linha).

Quadro 4.1. Fatores de emissão utilizados pelo SAD-CIP para cada tipo de processo (WORLD BANK, 1998).

Processo	Tipo de processo	Poluente	Fator de emissão (Kg/unidade de produção)
Esgoto doméstico	U	Fósforo total	0,93
		Nitrogênio total	3,30
		Oleo	7,30
		DBO	19,60
		Sólidos Suspensos	28,50
Agroindustrial	U	DBO	216,00
		Sólidos Suspensos	257,00
	X	DBO	151,20
		Sólidos Suspensos	179,90

Processos limpos ou controlados (X): são alternativas limpas para os processos não controlados (bases). Inclui Programas de Prevenção de Resíduos (Waste Prevention Programs - WPP) e Boas Medidas Operacionais (Good Housekeeping Measures - HG). Referem-se a alternativas com melhor tecnologia disponível na produção com controles "end-of-pipe". As alternativas limpas pretendem integrar os objetivos ambientais aos processos de produção a fim de reduzir os resíduos e as emissões em termos de quantidade e periculosidade. São procedimentos que utilizam menos recursos naturais que as tecnologias convencionais, reduzindo a geração de efluentes e que minimizam a utilização de substâncias tóxicas potencialmente prejudiciais.

Os fatores de emissão são menores para o esgoto doméstico do que para as agroindústrias devido a menor quantidade de carga gerada. O mesmo acontece quando se utilizam tecnologias limpas nos processos produtivos.

O **Quadro 4.2** lista os fatores de redução para cada processo e medida de redução utilizados pelo SAD-CIP.

Quadro 4.2. Fatores de redução utilizados pelo SAD-CIP para cada processo e tipo de tratamento (WORLD BANK, 1998).

Processos	Tipo de tratamento	Poluente	Fator de redução
Agroindustrial	Sedimentação Primária (SP)	DBO	0,70
		SS	0,40
	Trat. Primário e Químico (TPQ)	DBO	0,40
		SS	0,15
	Trat. Secundário (TS)	DBO	0,10
		SS	0,10
	Trat. Secundário e Terciário (TST)	DBO	0,05
		SS	0,05
Esgoto doméstico	Sedimentação Primária (SP)	DBO	0,70
		Nitrogênio	0,85
		Oleo	0,80
		Fósforo	0,85
		S. suspenso	0,50
	Trat. Biológico Secundário (TBS)	DBO	0,10
		Nitrogênio	0,75
		Oleo	0,05
		Fósforo	0,70
		S. suspenso	0,10
	Trat. Biológico e Químico (TBQ)	DBO	0,05
		Nitrogênio	0,65
		Oleo	0,025
		Fósforo	0,05
		S. suspenso	0,05

Estes fatores de emissão indicam a eficiência de cada medida de redução na remoção dos poluentes. Por exemplo, a sedimentação primária só tem eficiência de 30,0% na remoção de DBO, então o fator de emissão será de 0,7.

4.3.2. CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO ANUAL

A concentração anual é a quantidade de carga da substância expressa em mg/L da carga potencial (kg do poluente/ano) que é lançada nos corpos d'água. Esta concentração é calculada a partir do modelo conservativo disponível no SAD-CIP através da seguinte fórmula:

$$C = C_o + \left(\frac{B}{Q} \right) \quad (1)$$

$$B = \left(\frac{L_j \times 10^6}{365 \times 24 \times 3600} \right) \quad (2)$$

Onde: C – concentração média anual do poluente no rio (mg/L);

C_o – concentração inicial da substância conservativa (mg/L);

B – vazão da carga da substância conservativa (g/s);

L_j – carga programada de uma substância (ton/ano);

Q – vazão média do rio (m³/s).

4.3.3. CÁLCULO DO DÉFICIT DE OD

O déficit crítico de OD depois do ponto de descarga é calculado pela seguinte equação:

$$D_c = \frac{K_r}{K_2} \cdot L_a \cdot e^{-\left(\frac{K_r}{K_2} \cdot X_m \right)} \quad (3)$$

Onde:

K_r – é a razão constante de DBO removida (por dia) a uma temperatura T(°C)

$$K_r = 0.23 \cdot e^{0.046(T - 20)} \quad (4)$$

K₂ – é a constante de reaeração (por dia) a uma temperatura T (°C)

$$K_2 = 5 \cdot \frac{V^{0.67}}{H^{1.85}} \cdot e^{0.024(t - 20)} \quad (5)$$

Onde:

H – é a profundidade do rio (em metros);

V – é a velocidade da água (em m/s)

$$V = \frac{Q}{B \cdot H} \quad (6)$$

Onde:

B – é a largura do rio (em metros);

Q – é a vazão média do rio (em m³/s).

O valor de L_a usado na equação ..., é a concentração de BOD_a, após o ponto de descarga.

$$L_a = \frac{1}{\left(1 - e^{-0.23(T_o - T_o)}\right) \left(1 + 0.02(T_o - 20)\right)} \left(L_o + \frac{L_q}{Q}\right) \quad (7)$$

Onde:

L_a – concentração de DBO no rio, em mg/L (Concentração antes do ponto de descarga, determinada na análise da DBO)

T_o – temperatura da análise da DBO (°C);

t_o – número de dias da análise de DBO

L_q – carga de DBO no rio (g/s).

Finalmente, X_m – Distância do ponto de descarga onde ocorre o déficit crítico de OD.

$$X_m = \frac{V}{K_2 - K_r} \ln \left(\frac{K_2}{K_r} - \frac{K_2 \cdot (K_2 - K_r)}{K_r^2} \cdot \frac{D_a}{L_a} \right) \quad (8)$$

Onde:

D_a – déficit inicial de OD ($D_a = C_s - C_d$);

C_a – concentração inicial de oxigênio no rio (em mg/L);

C_s – concentração da saturação do oxigênio a uma temperatura T (em mg/L).

$$C_s = 9.1 \cdot e^{-0.023(T-20)} \quad (9)$$

4.3.4. CÁLCULO DOS CUSTOS

O SAD-CIP fornece opções de tratamento e seus respectivos custos para os efluentes industriais, agroindustriais e residenciais (presentes no município de Pirapâmia) considerando processos do tipo base (não controlados) e limpos (controlados). A opção é selecionada de acordo com o processo que apresentar menor custo marginal, geralmente os processos limpos (controlados). Caso a carga removida do processo limpo seja menor que a dos processos base, as opções são descartadas, sendo estabelecido, então, o custo marginal para as opções que permanecerem. Isso porque o importante é obter a maior remoção possível com o menor custo.

➤ Cálculo do Custo Total

A fórmula de custo é aplicada para ambos os controladores: processos e medidas de redução. Os cálculos dos custos fornecem somente estimativa de potencial custo relativo. Ainda existem esforços a fim de incorporar todos os parâmetros relevantes aos processos, desde águas residuárias ou volumes de resíduos por hora; número de fontes para que o controle seja aplicado e horas de produção anual. Condições locais econômicas, tais como mão-de-obra, e custos de energia são incorporados nos cálculos dos custos e podem ser variados pelo usuário para refletir características regionais ou temporais. A fórmula geral utilizada pelo SAD-CIP para cálculo dos custos é:

$$\text{Costi(I, V)} = \text{UNIT} * R * \{A + B * ([F,P]/N)^C + D * ([F,P]/N) * T + E * \text{POL} * [F,P]/N\} \quad (10)$$

Esse formato pode ser usado tanto para custos de investimento/capital (I) como para custos de operação e manutenção (V). O formato geral pode ser usado para custos que são dependentes do volume de águas residuárias (F), tal como para custos que dependem do valor de produção (P).

Quando o modelo precisa calcular custos baseados em "F" (m³/h), "F" é calculado da seguinte forma:

$$F = V' * P/T$$

Onde:

F – volume de águas residuárias por hora (m³/h);

V' - volume de águas residuárias por unidade de produção (m³/unidade);

P – produção anual (unidades de produção/ano);

T – horas de produção anual (h/ano).

O banco de dados possui valores padrões para V' e T. Estes valores podem ser trocados pelo usuário na entrada de dados.

A – é usado para preencher uma quantidade fixa em dólares americanos.

B * ([F,P]/N)^C – é usado para ajustar dados (com B e C) de custos que mudam com a capacidade do processo, o formato P, ou o volume de resíduos, o formato F.

D * ([F,P]/N) * T – é aplicável para formato tipo F em que "D" significa o custo por metro cúbico de resíduo.

E * POL * [F,P]/N} – é relevante para fórmula tipo P em que "E" significa o custo por kg de poluente a que se diz respeito.

N – na fórmula geral significa o número de fontes poluentes do processo. Então, muitas fórmulas de custo não são lineares em relação a capacidade do processo, o número de fontes é um parâmetro importante para levar em conta o efeito da escala econômica. "N" tem um valor padrão igual a 1.

➤ Cálculo do Custo Médio

É o quociente que se obtém ao dividir o custo total de produção de um bem, produto ou resultado pelo número de unidades produzidas ou serviços prestados.

O valor do custo médio é obtido dividindo-se o custo total pela carga removida. Por exemplo, suponha-se que o custo total de um sistema de tratamento de efluentes seja de US\$ 3.093.956,38; o tipo de tratamento seja o tratamento secundário removendo uma carga de 20.610,29 ton/ano de DBO, então o custo médio será:

$$C_{méd} = \frac{3.093.956,38 \text{ (US\$)}}{20.610,29 \text{ (ton)}} = 150,12 \text{ US\$/ton}$$

➤ Cálculo do Custo Marginal

É o custo adicional que se seria necessário para reduzir (em alguma unidade) a carga orgânica ou a concentração de poluentes nos recursos hídricos, ou seja, é a mudança do custo total resultante do incremento da produção de mais de uma unidade do produto.

O cálculo do custo marginal realizado pelo SAD-CIP segue as seguintes etapas:

Etapas 1 e 2

- Separar os dados por grupo de processo;
- colocar em ordem crescente de carga removida;
- considerar os Custos Marginais para as maiores cargas poluentes removidas e para aquelas cujos valores são iguais, considera-se a opção de menor custo.

Obs: Para o mesmo parâmetro, devem-se analisar as cargas removidas como um todo, ou seja, de todo o grupo do processo, verificando qual a opção de maior

valor de carga removida e quando as cargas removidas possuírem o mesmo valor, considerar a de menor custo.

Etapa 3

- Considerar cada grupo de processo;
- o Custo Marginal da menor carga removida e conseqüentemente menor custo total é igual ao custo médio da correspondente carga removida;
- o próximo Custo Marginal é calculado da seguinte maneira:
 1. subtrair o custo total da alternativa em análise do custo total da alternativa anterior;
 2. subtrair a carga removida em análise da carga removida anterior;
 3. o Custo Marginal é o resultado da divisão do valor encontrado em 1 pelo valor encontrado em 2.

Etapa 4

Se, nos resultados dos cálculos de custo marginal, existir uma alternativa que tenha Custo Marginal maior do que o Custo Marginal da alternativa seguinte (em ordem crescente de carga removida), essa alternativa deve ser excluída do conjunto e o Custo Marginal recalculado conforme a Etapa 3.

Exemplo de cálculo do custo marginal (Cmg).

Custo Total da alternativa		Carga removida da alternativa	
Em análise	Anterior	Em análise	Anterior
3.093.956,38	15.000,00	20.610,29	6.6648,48

$$Cmg = \frac{3.093.956,38(\text{US\$}) - 15.000,00(\text{US\$})}{20.610,29(\text{ton}) - 6.648,48(\text{ton})} = 220,53 \text{ US\$ / ton}$$

CAPÍTULO 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A condição da poluição hídrica da bacia do rio Pirapama e o levantamento dos custos necessários para a remoção da carga poluidora nas águas residuárias foram avaliados com a aplicação do SAD-CIP desenvolvido pelo Banco Mundial. Para tanto, a bacia foi dividida em duas áreas: 1) a montante da barragem do rio Pirapama; e 2) a jusante da barragem. Foram feitas as seguintes considerações:

- Operação anual: 2.000 horas/ano para as agroindústrias
5.000 horas/ano para as indústrias
8.000 horas/ano para as localidades
- Custo de mão-de-obra: US\$ 10 /hora pó operário (Ribeiro, 2000);
- Percentual de contribuição de carga para o rio: 60,0% das agroindústrias e de 100,0% das indústrias e dos esgotos domésticos (Ribeiro, 2000).

Com o fornecimento dos dados de população, área, profundidade média, comprimento do rio, temperatura média, vazão, produção das agroindústrias, indústrias e esgoto doméstico referentes a bacia do rio Pirapama, foi possível calcular:

- carga poluente total ou potencial;
- carga poluidora lançada no rio;
- concentração média anual que a carga poluidora está impondo ao rio;
- custos para diferentes tipos de tratamentos de águas residuárias.

Após o cálculo das cargas, verificou-se que as concentrações médias impostas ao rio após o lançamento da carga na área a montante da barragem Pirapama ultrapassavam os limites estabelecidos pela classe do enquadramento (Classe 2). Escolheu-

se, portanto, 2 (dois) parâmetros de qualidade que possuíssem limites estabelecidos na Resolução CONAMA nº 20/86 com o objetivo de obter:

- carga crítica – carga limite que o rio pode receber para não alterar a sua qualidade;
- carga em excesso – carga que ultrapassa a carga limite que o rio pode receber;
- custos totais, médios e marginais para remoção da carga poluidora em excesso.

Estas mesmas informações foram obtidas também visando atender às classes 1 e 3 do enquadramento.

Para a área a jusante, a estimativa da carga lançada indicou o atual lançamento que não estar interferindo na classe do enquadramento (Classe 3), procedeu-se, então, ao cálculo das cargas críticas e em excesso para atender as classes 1 e 2 visando obter os custos de melhoria da qualidade da água futuramente.

Foram escolhidos, portanto, dois dos parâmetros importantes para avaliar a qualidade final das águas em relação ao lançamento de material orgânico (DBO) e de nutrientes (fósforo total). Os cálculos destas cargas foram realizados fornecendo-se o valor da concentração inicial (mg/L) dos parâmetros (DBO e fósforo total), com o auxílio do modelo conservativo.

Este capítulo, portanto, apresenta os resultados das diversas simulações realizadas com base nos procedimentos metodológicos, assim como a discussão dos mesmos e encontra-se estruturado da seguinte forma:

- análise da condição da poluição hídrica e custos de medidas de controle para as áreas a montante e jusante da barragem Pirapama;
- simulação de um sistema de Cobrança pelo lançamento de efluentes para as áreas a montante e a jusante da barragem Pirapama.

5.1. ANÁLISE DA CONDIÇÃO DA POLUIÇÃO HÍDRICA E CUSTOS DE MEDIDAS DE CONTROLE - ÁREA A MONTANTE DA BARRAGEM PIRAPAMA

A análise da poluição hídrica desta área do rio foi realizada com o cálculo das cargas geradas pelas fontes e a respectiva quantidade que está chegando ao rio. Diante do **Quadro** de poluição apresentado, foram simulados 11 (onze) cenários de melhoria da qualidade das águas residuárias lançadas nos corpos d'água considerando vários tipos de tratamento. As simulações forneceram o percentual de redução da carga poluidora a ser lançada no rio Pirapama após o tratamento considerado. Para quantificar a carga em excesso que o rio está recebendo e seu custo de remoção, foram construídos mais três cenários com base nos limites estabelecidos para as Classes 1, 2 e 3 da Resolução CONAMA nº 20/86. Ambas as simulações objetivam o atendimento ao enquadramento dos corpos d'água e padrões de lançamento das legislações ambientais.

5.1.1. CARGA POLUENTE TOTAL E TRATAMENTOS PROPOSTOS PARA A SUA REDUÇÃO

Para estimar a quantidade de carga poluidora a ser lançada no rio foi necessário obter o inventário das fontes de poluição, suas produções e os níveis adotados de controle. Após o levantamento destas atividades poluidoras, foram calculadas as cargas totais geradas de cada fonte potencialmente poluidora (**Tabela 5.1**). Posteriormente procedeu-se às simulações dos 11 (onze) cenários de melhoria da qualidade das águas residuárias, obtendo-se as cargas totais de cada parâmetro para os setores agroindustrial e doméstico. Nas simulações, foram consideradas ou não alternativas de tratamento para os efluentes industriais e esgotos domésticos com a finalidade de obter maior eficiência na remoção da carga poluidora (**Tabela 5.2**). As 11 (onze) simulações, cada uma relativa a um cenário, estão descritas a seguir:

A primeira letra indica o tipo do processo:

B - Base (Não controlado);

L - Limpo (controlado);

D - Destilarias;

E - Esgoto doméstico

As duas últimas letras indicam o tipo de tratamento:

- SP - Sedimentação primária
- TS - Tratamento secundário;
- TQ - Tratamento químico.
- STR - Sem tratamento

Para as simulações foram escolhidos alguns tipos de tratamento que poderiam ser realizados na melhoria da qualidade do efluente utilizando ou não tecnologias limpas nos processos produtivos das agroindústrias e tratando ou não o esgoto doméstico. Estes cenários foram concebidos para o tratamento conjunto dos esgotos. Os cenários foram os seguintes:

- Cenário 1 - STR
- Cenário 2 - BSP (D+E)
- Cenário 3 - LSP-D + STR-E
- Cenário 4 - BSP-D + STR-E
- Cenário 5 - LSP-D + BSP-E
- Cenário 6 - BTS-D + STR-E
- Cenário 7 - LTS-D + STR-E
- Cenário 8 - BTS (D+E)
- Cenário 9 - LTS-D + BTS-E
- Cenário 10 - BTQ-D + STR-E
- Cenário 11 - LTQ-D + STR-E

Tabela 5.1. Estimativas fornecidas pelo SAD-CIP, das cargas totais de cada parâmetro, geradas pelas agroindústrias e esgotos domésticos - Área a montante da barragem Pirapama.

Carga gerada (ton/ano)						
Destilarias - D		Esgoto doméstico - E				
DBO	SS	DBO	SS	N total	Óleos	P total
36.936,00	43.947,00	666,40	969,00	112,20	248,20	31,62

A **Tabela 5.1** mostra que as fontes potencialmente poluidoras da área a montante da barragem Pirapama geram, anualmente, efluentes que contêm em sua composição os poluentes: DBO, óleos, sólidos suspensos, nitrogênio e fósforo totais. As agroindústrias (destilarias) são responsáveis somente pela contribuição de DBO e Sólidos

Suspensos com percentuais de 98,2% e 97,2% respectivamente das cargas geradas nos processos produtivos. O percentual de contribuição dos esgotos domésticos para estes poluentes em relação à carga total gerada é insignificante (1,8% e 2,2% respectivamente). Entretanto, o esgoto doméstico é responsável por 100,0% das cargas de nutrientes (fósforo total e nitrogênio total) e óleos.

As simulações, cujos resultados encontram-se apresentados na **Tabela 5.2**, foram realizadas a fim de se conhecer em quanto a carga poluidora seria reduzida considerando o tratamento conjunto dos efluentes agroindustriais e esgotos domésticos com as agroindústrias utilizando processos controlados (limpos) ou não controlados (bases).

Tabela 5.2. Percentuais de redução da carga total (ton/ano) de cada parâmetro após aplicação de tratamento nos efluentes agroindustriais e esgotos doméstico – Área a montante da barragem Pirapama.

Parâmetro	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3		Cenário 4		Cenário 5		Cenário 6	
	STR	%	BSP(D+E)	%	LSP-D + STR-E	%	BSP-D + STR-E	%	LSP-D + BSP-E	%	BTS-D + STR-E	%
DBO	37.602,00	0	26.321,68	30	18.765,04	51	26.521,6	30	18.565,12	51	4.360,00	89
N total	112,00	0	95,37	15	112,2	0	112,2	0	95,37	15	112,2	0
Óleos	248,20	0	198,56	20	248,2	0	248,2	0	198,56	20	248,2	0
P total	31,62	0	26,88	15	31,62	0	31,62	0	26,9	15	31,62	0
SS	44.916,00	0	18.063,30	60	11.274,16	65	18.547,8	59	12.789,665	72	5.363,7	86

Parâmetro	Cenário 7		Cenário 8		Cenário 9		Cenário 10		Cenário 11	
	LTS-D + STR-E	%	BTS(D+E)	%	LTS-D + BTS-E	%	BIQ-D + STR-E	%	LTQ-D + STR-E	%
DBO	3.251,92	91	3.760,24	90	2.652,16	93	15.440,80	59	11.008,48	71
N total	112,2	0	84,15	25	84,15	25	112,2	0	112,2	0
Óleos	248,2	0	12,41	95	12,41	95	248,2	0	248,2	0
P total	31,62	0	22,13	30	22,13	30	31,62	0	31,62	0
SS	4.045,29	89	4.491,60	90	3.173,19	93	7.564,05	80	5.583,44	85

Obs: D – Destilarias, E- Esgoto doméstico

O tratamento que apresentou maior eficiência na remoção da carga poluidora foi o secundário, com o percentual de redução da carga de DBO e SS das águas residuárias de 90,0%, quando considerados processos não controlados. Quando adotadas medidas de controle nos processos produtivos das agroindústrias este percentual aumenta para 93,0%. O óleo sofre uma redução de 95,0% (Tabela 5.2).

O tipo de tratamento que deverá ser adotado para redução das cargas poluidoras, tanto nos efluentes industriais como nos esgotos domésticos, deverá basear-se nos custos de implantação, operação e manutenção das estações de tratamento bem como na capacidade de autodepuração do corpo d'água receptor.

Uma sedimentação primária fornece uma boa redução na carga poluidora de cada parâmetro com maior eficiência para os sólidos suspensos, onde os percentuais variarão entre 59,0% e 72,0%. Com as agroindústrias controlando seus processos produtivos e com os esgotos domésticos sem nenhum tratamento, a carga de sólidos suspensos sofrerá uma redução de 65,0%. Esse percentual aumenta para 72,0% quando realizada sedimentação primária para os esgotos domésticos (**Tabela 5.2**). Se este tipo de tratamento for aplicado nos efluentes agroindustriais e esgotos domésticos conjuntamente, considerando os processos *não controlados*, há uma redução de 30% da carga total gerada de DBO e de aproximadamente 60% na carga de SS. Os nutrientes (nitrogênio e fósforo) sofrem uma redução de 15% e o óleo 20%. A eficiência da sedimentação primária é, portanto, maior para os poluentes SS, DBO e Óleos. O percentual de redução do óleo deve-se ao fato de sua agregação às partículas em suspensão na água.

Nota-se, então, que quando as agroindústrias utilizam processos controlados a eficiência do tratamento é maior. Realizando-se sedimentação primária com processos controlados somente para os efluentes industriais, obtém-se uma redução de respectivamente 51,0% e 65,0% nas cargas de DBO e SS. Essa redução será maior se for realizada sedimentação primária com processos não controlados para os esgotos domésticos. Estes percentuais mostram que a implantação de tecnologias limpas nos processos produtivos tem uma eficiência maior na remoção de poluentes.

Incorporados a cada tipo de tratamento (primário, secundário, secundário e terciário e químico) há vários sistemas de tratamento das águas residuárias para cada tipo de tratamento e a eficiência do tratamento varia de acordo com o sistema utilizado. No caso desta pesquisa a ferramenta utilizada para as simulações – o SAD-CIP não fornece opções para os diversos tipos de tratamento. Os cálculos são realizados com base em sistemas mais avançados.

5.1.2. CONCENTRAÇÃO MÉDIA ANUAL QUE AS CARGAS LANÇADAS, APÓS TRATAMENTOS PROPOSTOS, PODEM CONFERIR AO RIO

Para o cálculo da concentração média anual que a carga de cada parâmetro confere ao corpo d'água receptor após o lançamento da carga poluidora, considerou-se a partir de discussões com técnicos da CPRH que 40,0% dos efluentes agroindustriais são aproveitados na fertirrigação de forma adequada não contribuindo, portanto, para a poluição do rio (RIBEIRO, 2000). A Tabela 5.3 apresenta os resultados estimados das cargas que chegam ao rio e suas concentrações médias, considerando os diversos cenários de melhoria da qualidade dos efluentes. Nota-se que a carga de DBO lançada no rio hoje, é de 22.828,00 ton/ano e confere ao mesmo uma concentração média anual de 79,52 mg/L de DBO.

As concentrações médias anuais dos parâmetros DBO e fósforo total estão ultrapassando àquela conferida ao rio em relação às Classes 1, 2 e 3 da Resolução CONAMA nº 20/86 que estabelece seus limites para DBO de 3 mg/L, 5 mg/L e 10 mg/L respectivamente e fósforo total de 0,025 mg/L para as três Classes. Quanto aos parâmetros nitrogênio total (nitrogênio orgânico + amoniacal) e sólidos suspensos, a referida Resolução, não estabelece limites gerais e sim para cada uma das formas de nitrogênio (nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato). Para os sólidos suspensos não foi possível efetuar esta análise porque a Resolução só estabelece limites para sólidos dissolvidos totais.

Tabela 5.3. Concentrações médias anuais de cada poluente, conferida ao rio após lançamento das águas residuárias – Área a montante da barragem Pirapama.

Parâmetro	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3		Cenário 4	
	STR		BSP(D + E)		LSP-D + STR-E		BSP-D + STR-E	
	Conc. média anual (mg/L)	Carga lançada (ton/ano)	Conc. média anual (mg/L)	Carga lançada (ton/ano)	Conc. média anual (mg/L)	Carga lançada (ton/ano)	Conc. média anual (mg/L)	Carga lançada (ton/ano)
DBO	79,53	22.828,00	56,45	15.979,60	41,44	11.525,58	57,12	16.179,52
N total	0,38	112,00	0,32	95,37	0,38	112,20	0,38	112,20
Óleos	0,84	248,20	0,67	198,56	0,83	248,20	0,83	248,20
P total	0,13	31,62	0,16	26,88	0,17	31,620	0,17	31,62
SS	92,12	27.337,20	37,17	11.031,78	28,14	8.352,10	38,81	11.516,28

Parâmetro	Cenário 5		Cenário 6		Cenário 7		Cenário 8	
	LSP-D + BSP-E		BTS-D + STR-E		LTS-D + STR-E		BTS(D + E)	
	Conc. média anual (mg/L)	Carga lançada (ton/ano)	Conc. média anual (mg/L)	Carga lançada (ton/ano)	Conc. média anual (mg/L)	Carga lançada (ton/ano)	Conc. média anual (mg/L)	Carga lançada (ton/ano)
DBO	40,76	11.325,66	12,31	2.882,56	10,07	2.217,71	10,29	2.282,80
N total	0,32	95,37	0,38	112,20	0,38	112,20	0,28	84,15
Óleos	0,67	198,56	0,83	248,20	0,83	248,20	0,04	12,41
P total	0,16	26,88	0,17	31,62	0,17	31,62	0,14	22,13
SS	26,51	7.867,60	12,15	3.605,82	9,48	2.814,74	9,21	2.733,72

Parâmetro	Cenário 9		Cenário 10		Cenário 11	
	LTS-D + BTS-E		BTQ-D + STR-E		LTQ-D + STR-E	
	Conc. média anual (mg/L)	Carga lançada (ton/ano)	Conc. média anual (mg/L)	Carga lançada (ton/ano)	Conc. média anual (mg/L)	Carga lançada (ton/ano)
DBO	8,05	1.617,95	34,72	9.531,04	25,76	6.871,65
N total	0,28	84,15	0,38	112,20	0,38	112,20
Óleos	0,04	12,41	0,83	248,20	0,83	248,20
P total	0,14	22,13	0,17	31,62	0,17	31,62
SS	6,55	1.942,67	16,59	4.924,23	12,59	3.737,66

Os diversos cenários de melhoria da qualidade dos efluentes mostram que para atender a Classe 3 do enquadramento dos corpos d'água cuja concentração de DBO é de 10 mg/L, no ponto de lançamento das águas residuárias, será necessário estabelecer um tratamento secundário para os efluentes agroindustriais e esgotos domésticos, com a implantação de melhores tecnologias nos processos produtivos das agroindústrias. O tratamento secundário foi o único que mostrou eficiência na remoção da carga poluidora com valores da concentração de DBO próximos ou inferiores as concentrações limites da Classe 3 do enquadramento. As concentrações de DBO conferidas ao rio variaram entre 8,05 mg/L e 10,3 mg/L quando as indústrias utilizam processos limpos, ou seja, controlados.

A **Tabela 5.4** resume as concentrações de todos os parâmetros que o lançamento das águas residuárias conferem ao rio após lançamento das cargas considerando ou não alternativa de tratamento.

Tabela 5.4. Concentrações de DBO conferidas ao rio após lançamento das águas residuárias obtidas a partir dos 11 (onze) cenários propostos – área a montante da barragem Pirapama.

Cenário Nº	Tratamento	Conc. média (mg/L)	Classes da Resolução CONAMA nº 20/86 / (Limite)		
			1 / (3 mg/L)	2 / (5 mg/L)	3 / (10 mg/L)
1	STR	79,53	FR	FR	FR
2	BSP(D + E)	56,45	FR	FR	FR
3	LSP-D + STR-E	41,44	FR	FR	FR
4	BSP-D + STR-E	57,12	FR	FR	FR
5	LSP-D + BSP-E	40,76	FR	FR	FR
6	BTS-D + STR-E	12,31	FR	FR	FR
7	LTS-D + STR-E	10,07	FR	FR	DR*
8	BTS(D + E)	10,29	FR	FR	DR*
9	LTS-D + BTS-E	8,05	FR	FR	DR
10	BTQ-D + STR-E	34,72	FR	FR	FR
11	LTQ-D + STR-E	25,76	FR	FR	FR

* Valores ultrapassam pouco muito pouco os limites estabelecidos para a Classe 3 pela Resolução CONAMA nº 20/86 que é de 10 mg/L.

FR – Fora da Classe; DR – Dentro da Classe.

Ressalta-se que a condição estabelecida nos cenários acima, considera o lançamento de todas as fontes potencialmente poluidoras conjuntamente, o que não ocorre na realidade, pois o lançamento é difuso e as vazões diárias de lançamento variam de empresa a empresa.

5.1.3. MELHORES OPÇÕES DE TRATAMENTO FORNECIDAS PELO SAD-CIP E SEUS RESPECTIVOS CUSTOS

Com a finalidade de obter os custos para diferentes tipos de tratamentos e a quantidade de carga que poderá ser removida por cada um destes tratamentos, visando minimizar o impacto causado na qualidade das águas da área a montante da barragem

Pirapama, procederam-se as simulações dos custos das medidas de redução da poluição e selecionaram-se as melhores opções, fornecidas pelo SAD-CIP, de tratamento das águas residuárias e seus respectivos custos.

O SAD-CIP analisou 12 (doze) medidas de redução da poluição, sendo 9 (nove) para o setor agroindustrial (4 (quatro) com processos bases e 5 (cinco) com processos limpos) e 3 (três) para o setor doméstico. As **Tabelas 5.5. a 5.10** apresentam como resultados as cargas lançadas e em excesso e os custos: total, médio e marginal de remoção de cargas poluidoras considerando diferentes tipos de tratamento, para as opções que não foram descartadas no cálculo do custo marginal. Estas opções são consideradas pelo SAD-CIP como a melhor opção de custos de tratamento das águas residuárias.

As siglas indicadas na coluna de medidas de redução nas **Tabelas de 5.5-5.10** referem-se ao tipo de tratamento realizado e indicam:

STR - Sem tratamento

TBS - Tratamento biológico secundário

PL - Processos limpos

TS - Tratamento secundário

TST - Tratamento secundário e terciário

TPQ - Tratamento primário e químico

TBQ - Tratamento biológico e químico

Os custos marginais de remoção de matéria orgânica são menos elevados que os custos dos outros poluentes, devido a sua maior quantidade de carga removida. As agroindústrias têm um custo total de US\$ 3,093,956.38 quando removem uma carga de DBO de 21.385,94 ton/ano a um custo marginal de US\$ 318.51 /ton. A remoção de 599,76 ton/ano de DBO dos esgotos domésticos custará anualmente as Companhias de Saneamento US\$ 806,865.78 e seu custo marginal será de US\$ 1,345.31 /ton (**Tabela 5.5**). Com este mesmo custo marginal poder-se-ia tratar uma carga de DBO de 21.985,70 ton/ano (21.385.94 + 599,76 - referentes ao tratamento conjunto dos efluentes industriais e esgotos domésticos) a um custo total de US\$ 4.147.878.60 (**Tabela 5.6**) efetuando-se um tratamento biológico secundário. Essa situação ocorre também para os sólidos suspensos (**Tabelas 5.9 e 5.10**). A integração dos despejos industriais com os esgotos domésticos na

rede coletora para posterior tratamento conjunto, é considerada uma prática que surte bons resultados. A eficiência dessa prática depende da remoção prévia dos contaminantes que possam causar problemas tais como toxidez no tratamento biológico e no tratamento do lodo; riscos à segurança e problemas de operacionalidade. Isso implica em custos extras para as empresas, entretanto podem recuperar alguns resíduos e fazer a reciclagem minimizando o custo de aquisição da matéria prima.

Os custos marginais para remoção do material sólido (sólidos suspensos) são inferiores aos de remoção da matéria orgânica (DBO), tendo a mesma eficiência. Isso ocorre porque a quantidade de carga dos sólidos suspensos é superior à de DBO e portanto o custo médio é menor, refletindo no custo marginal.

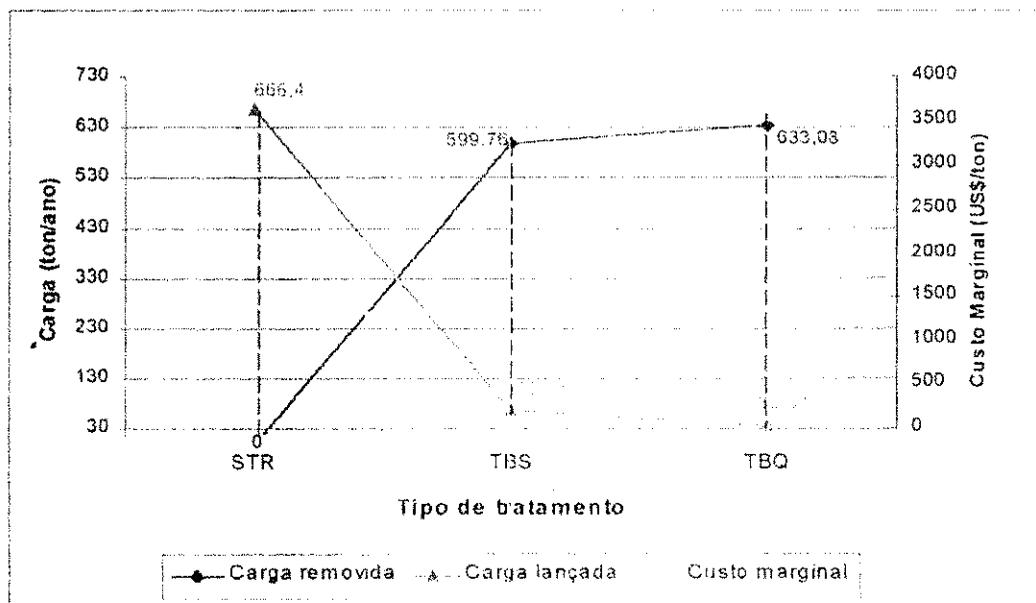
Os resultados mostraram que os custos para remoção de nutrientes (fósforo e nitrogênio) bem como para óleos são elevados inviabilizando economicamente a remoção dos mesmos (Tabelas 5.7 e 5.8).

As análises dos custos foram realizadas para cada tipo de parâmetro em virtude do SAD-CIP não possuir opção para confecção de uma curva considerando vários tipos de poluentes. No entanto, sabe-se que qualquer tipo de tratamento leva em consideração a remoção de vários poluentes, o que conduz a um custo total de remoção de carga inferior ao apresentado pelo referido sistema. Logo, removendo-se uma quantidade de vários e diferentes poluentes, o custo por tonelada de remoção de poluentes diminuirá. Segundo o WORLD BANK (1998) o custo poderá não ser econômico se for considerada somente a quantidade de toneladas removidas de um único poluente, mas isto poderá ser extremamente eficaz se o analista entender as características da poluição afetada pela medida proposta.

Tabela 5.5. Tratamentos fornecidos pelo SAD-CIP para remoção DBO em *esgotos domésticos* e seus respectivos custos - Area a montante da barragem Pirapama.

Parâmetro	Medida de Redução	Cargas (ton/ano)		Custos		
		Lançada	Removida	Total (US\$)	Médio (US\$/ton)	Marginal (US\$/ton)
DBO	STR	666,4	0	0	0	-
	TBS	66,64	599,76	806865,78	1345,31	1345,31
	TBQ	33,32	633,08	925457,03	1461,83	3559,16

A **Figura 5.1** ilustra a situação pelo lançamento dos esgotos domésticos (DBO) na área a montante da barragem Pirapama.



STR – Sem tratamento; TBS – Tratamento Biológico Secundário; TBQ – Tratamento Biológico

Figura 5.1. Situação pelo lançamento dos esgotos domésticos (DBO) - Área a montante da barragem Pirapama.

Tabela 5.6. Tratamentos fornecidos pelo SAD-CIP para remoção de DBO de efluentes agroindustriais juntamente com esgotos domésticos e seus respectivos custos - Área a montante da barragem Pirapama.

Parâmetro	Medida de redução	Cargas (ton/ano)		Custos		
		Lançada	Removida	Total (US\$)	Médio (US\$/ton)	Marginal (US\$/ton)
DBO	STR	22161,60	0	0	0	
	PL	15513,12	6648,48	15000,00	2,26	2,26
	TS	1551,31	20610,29	3093956,38	150,12	220,53
	TST	775,66	21385,94	3341012,82	156,22	318,51
	TBS*	842,30	21985,70	4147878,60	188,66	1345,31
	TBQ*	808,98	22019,02	4266469,80	193,76	3559,16

* Considerando as cargas das agroindustrias e esgotos domésticos conjuntamente

Se for analisada a quantidade de oxigênio existente no rio para depurar a carga orgânica recebida, de 5 mg/L, a melhor opção para redução da carga de DBO das águas residuárias a ser lançada nesta área do rio Pirapama é realizar o Tratamento Secundário e Terciário (TST) para os efluentes industriais removendo uma carga de DBO de 21.385,94 ton/ano, tendo um custo total de US\$ 3.341.012,82 e um custo de US\$ 318,51 /ton removida. As 775,66 ton/ ano, restante da carga, juntamente com toda a carga de DBO

dos esgotos domésticos (666,4 ton/ano) seriam lançadas sem tratamento. O total da carga lançada seria de 1442,00 ton/ano. Esta carga é aproximadamente 0,05 vezes maior que a aceitável (1.435,26 ton/ano) para o rio permanecer na Classe 2 do enquadramento o que não afetaria seus usos (**Sub-item 5.1.4. – Tabela 5.11**)

Considerando-se os padrões de lançamento de efluentes segundo algumas legislações estaduais brasileira a concentração média de DBO que um rio tem capacidade de receber é de 60 mg/L (NASCIMENTO, 1998). O lançamento de uma carga de 16.179,52 (15.513,12 + 666,40) ton/ano conferirá ao rio uma concentração de 56,4 mg/L, superior a carga limite que o rio Pirapama teria capacidade, pois se após a diluição o rio possui uma concentração de 56,4 mg/L é porque está recebendo uma carga muito superior a 60 mg/L. Isso considerando o lançamento de todas as fontes potencialmente poluidoras conjuntamente. Obviamente que na situação real os lançamentos são individuais e algumas empresas podem estar obedecendo à legislação. Mas, esse não é o caso das agroindústrias localizadas nesta área da bacia, cujos lançamentos conferem ao rio concentrações acima da Classe 2. Os lançamentos individuais das agroindústrias, Inexporte, JB e Sibéria estão conferindo ao rio concentrações de DBO de, respectivamente, 21,40 mg/L; 47,60 mg/L e 8,18 mg/L. Os esgotos domésticos contribuem apenas com 2,33 mg/L.

A **Figura 5.2** ilustra a situação pelo lançamento dos esgotos domésticos e efluentes agroindustriais (DBO) na área a montante da barragem Pirapama.

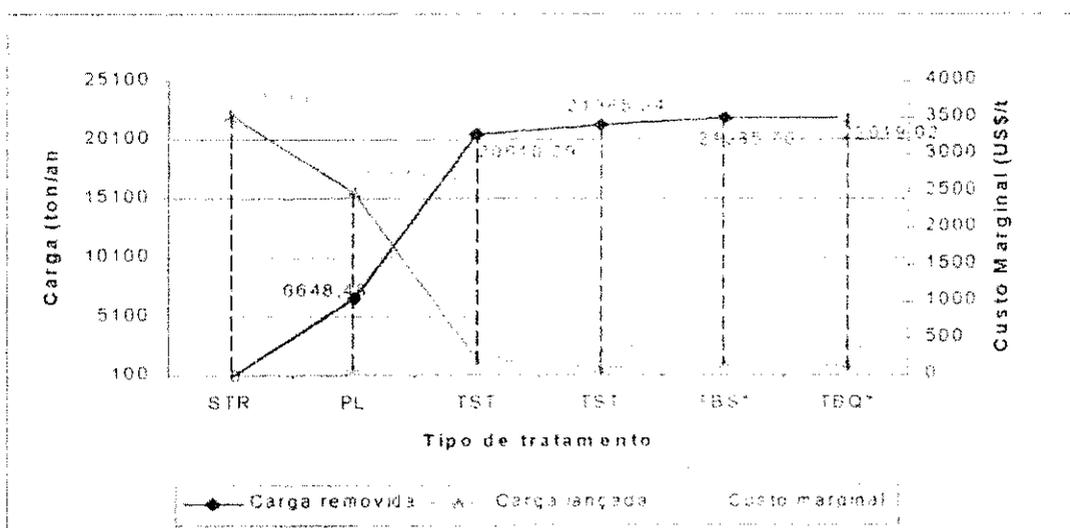


Figura 5.2. Situação pelo lançamento dos efluentes agroindustriais juntamente com as esgotos domésticos (DBO) e custos de tratamento da carga removida - Área a montante da barragem

Sendo necessário realizar tratamento nos esgotos domésticos com o objetivo de remover, também, nutriente e óleos provenientes dos mesmos, bem como organismos patogênicos que podem estar presentes, é economicamente viável realizar Tratamento Biológico Secundário nos efluentes agroindustriais juntamente com os esgotos domésticos. Essa opção tem eficiência na remoção de 96,3% (21.985,70 ton/ano) da carga total de DBO (22.828,00 ton/ano) a um custo marginal de US\$ 1.345,31 /ton (Tabela 5.6) igual ao custo de tratar somente as 599,76 ton/ano de DBO dos esgotos domésticos. É economicamente viável, portanto, o tratamento conjunto dos efluentes agroindustriais e dos esgotos domésticos. O tratamento isolado dos esgotos domésticos onera muito o orçamento das companhias de saneamento (Tabela 5.5)

Tabela 5.7. Tratamentos fornecidos pelo SAD-CIP para remoção de Óleo em *esgotos domésticos* e seus respectivos custos - Área a montante da barragem Pirapama.

Parâmetro	Tipo de Tratamento	Cargas (ton/ano)		Custos		
		Lançada	Removida	Total (US\$)	Médio (US\$/ton)	Marginal (US\$/ton)
Óleos	STR	248,20	0	0	0	-
	TBS	12,41	235,79	806865,78	3421,97	3421,97
	TBQ	6,21	241,99	925457,03	3824,28	19112,21

Os tratamentos selecionados para o parâmetro óleo foram o biológico secundário removendo 95,0% da carga gerada a um custo de US\$ 3,421.97 /ton e o biológico e químico que remove 97,4% a um custo de US\$ 19,112.21 /ton (Tabela 5.7). Estes custos seriam para a remoção do óleo isoladamente. Entretanto, como visto anteriormente, o Tratamento Biológico Secundário (TBS) também possui boa eficiência na remoção de material orgânico e nutriente. O custo para remoção de uma carga de 235,79 ton/ano de óleo está incluído no custo do mesmo tipo de tratamento para o parâmetro DBO que é de US\$ 1.345,31 /ton.

A **Figura 5.3** ilustra a situação pelo lançamento de Óleo dos esgotos domésticos na área a montante da barragem Pirapama considerando tratamento isolado.

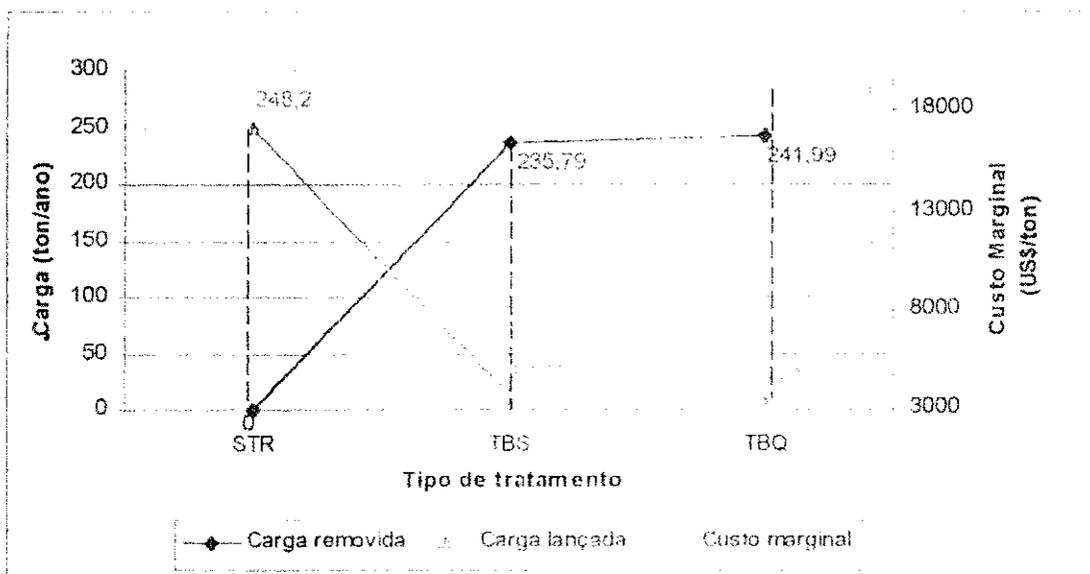


Figura 5.3. Situação pelo lançamento de Óleo proveniente dos *esgotos domésticos* e custos de tratamento da carga removida - Área a montante da barragem Pirapama.

Tabela 5.8. Tratamentos fornecidos pelo SAD-CIP para remoção nutrientes (Nitrogênio e Fósforo) em *esgotos domésticos* e seus respectivos custos - Área a montante da barragem Pirapama.

Parâmetro	Tipo de Tratamento	Cargas (ton/ano)		Custos		
		Lançada	Removida	Total (US\$)	Médio (US\$/ton)	Marginal (US\$/ton)
N total	STR	112,20	0	0	0	-
	TBQ	72,93	39,27	925457,03	23566,51	23566,51
P Total	STR	31,62	0	0	0	-
	TBQ	1,58	30,04	925457,03	30808,52	30808,52

A única opção de tratamento que não foi descartada pelo SAD para a remoção dos nutrientes N (nitrogênio total) e P (fósforo total) nos esgotos domésticos foi o Tratamento Químico e Biológico. Este tratamento apresenta eficiência de 35,0% na remoção da carga de nitrogênio a um custo de US\$ 23,566.51 /ton; e de 95,0% na remoção de fósforo total a um custo de US\$ 30.0808.52 /ton (**Tabela 5.8**). Custos bastante elevados, o que inviabiliza economicamente o tratamento. Quando considerado a remoção

dos vários poluentes conjuntamente (DBO, óleos, fósforo, nitrogênio e SS) o custo poderá ser de US\$ 3,599.16 /ton.

A **Figura 5.4** apresenta as cargas totais, lançada e removida dos nutrientes (fósforo e nitrogênio) - Área a montante da barragem Pirapama.

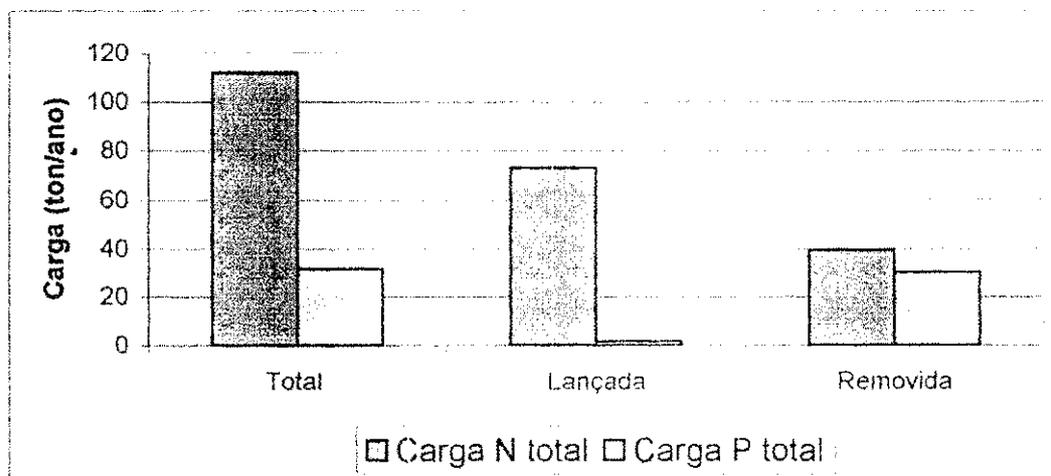


Figura 5.4. Cargas totais anuais (ton/ano) de fósforo e nitrogênio - Área a montante da barragem Pirapama.

Os resultados apresentados na **Figura 5.4** mostram que o Tratamento Biológico e Químico é mais eficiente na remoção de nitrogênio do que de fósforo.

Tabela 5.9. Tratamentos fornecidos pelo SAD-CIP para remoção de SS em *esgotos domésticos* e seus respectivos custos - Área a montante da barragem Pirapama.

Parâmetro	Tipo de Tratamento	Cargas (ton/ano)		Custos		
		Lançada	Removida	Total (US\$)	Médio (US\$/ton)	Marginal (US\$/ton)
SS	STR	969,00	0	0	0	
	TBS	96,90	872,10	806865,78	925,20	925,20
	TBQ	48,45	929,55	925457,03	1005,33	2447,70

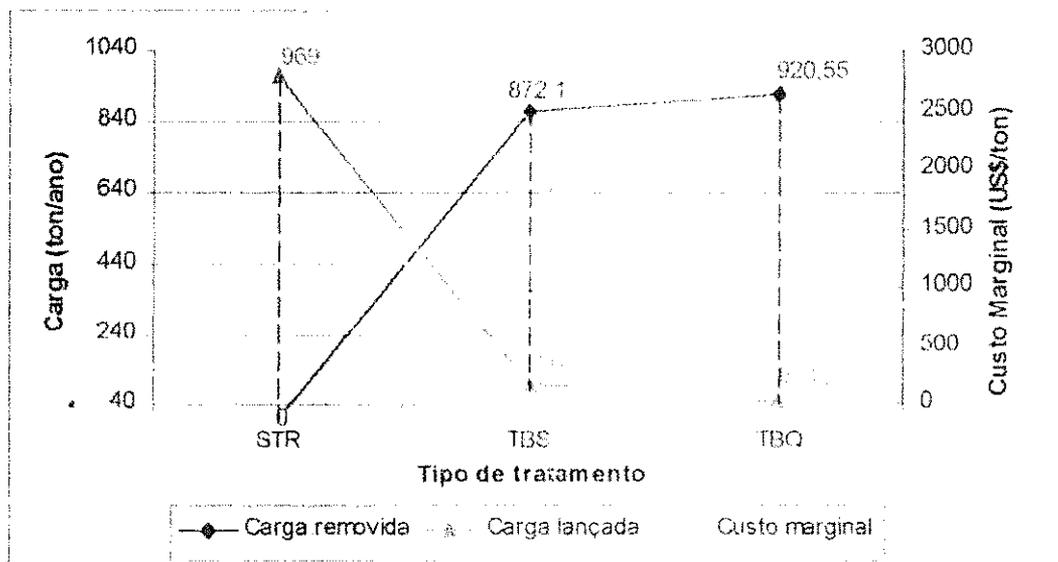


Figura 5.5. Situação proveniente do lançamento de SS dos *esgotos domésticos* e custos de tratamento da carga removida - Área a montante da barragem Pirapama.

Tabela 5.10. Tratamentos fornecidos pelo SAD-CIP para remoção SS em *esgotos domésticos* em conjunto com *efluentes agroindustriais* e seus respectivos custos - Área a montante da barragem Pirapama.

Parâmetro	Tipo de Tratamento	Cargas (ton/ano)		Custos		
		Lançada	Removida	Total (US\$)	Médio (US\$/ton)	Marginal (US\$/ton)
SS	STR	26368,2	0	0	0	
	PL	18457,74	7910,46	15000,00	1,90	1,90
	TPQ	2768,66	23599,54	2874611,30	121,81	182,27
	TS	1845,77	24522,43	3093956,4	126,17	237,67
	TST	922,89	25445,31	3341012,80	131,30	267,70
	TBS*	1019,79	26317,41	4147878,50	157,61	925,20
	TBQ*	971,34	26365,86	4266469,80	161,82	2447,70

* Considerando as cargas das agroindustrias e esgotos domésticos conjuntamente
Carga total de SS para * = 27337,20 ton/ano

Para os Sólidos Suspensos (SS) é válida a mesma análise realizada para o parâmetro DBO.

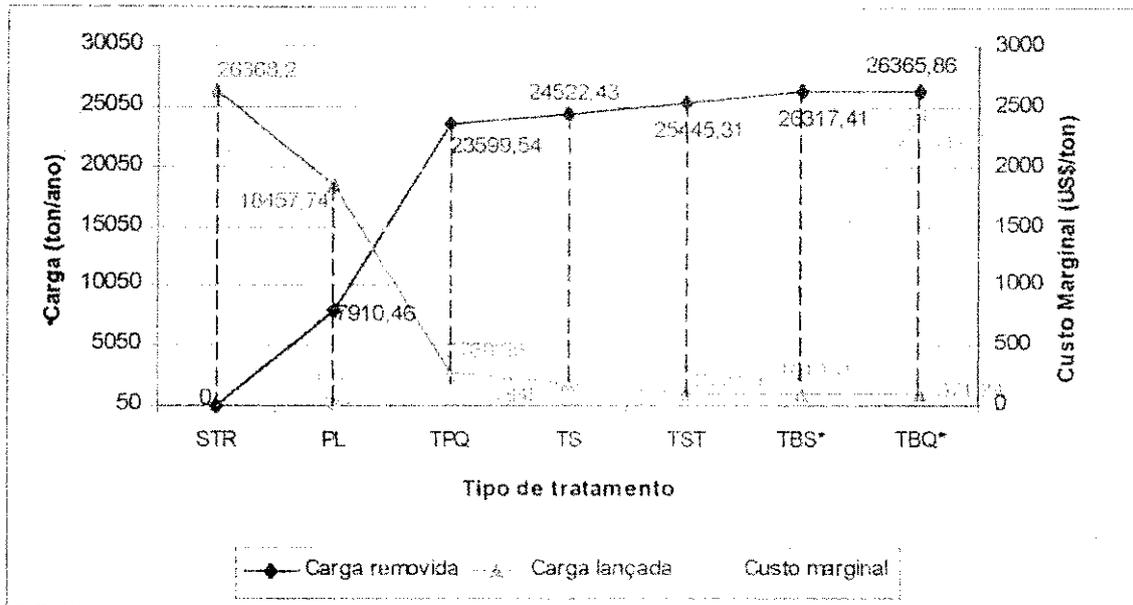


Figura 5.6. Situação proveniente do lançamento de SS dos efluentes agroindustriais em conjunto com os esgotos domésticos e custos de tratamento da carga removida - Área a montante da barragem Pirapama.

Os resultados mostraram que a melhor opção de tratamento para as águas residuárias geradas pelas fontes poluidoras localizadas na área a montante da barragem Pirapama (agroindústrias e esgotos domésticos) é o Tratamento Secundário e Terciário (TST). Este tratamento remove resíduos orgânicos, formas de nitrogênio e fósforo e substâncias coloidais, estas últimas por adsorção no carvão ativado. O efluente é frequentemente tratado com cloro, ozônio e Ultra Violeta (UV) para destruir organismos patogênicos antes de serem lançados nos corpos d'água receptores.

Maiores comentários sobre os custos marginais serão feitos a seguir.

5.1.3.1. Curvas do Custo Marginal de Longo Prazo – Área a montante da barragem Pirapama

Os custos de remoção de carga poluidora através de tratamentos do tipo fim de linha (“end-of-pipe”) nos dois setores são marginalmente crescentes (Figura 5.7-5.9). Os custos marginais crescem exponencialmente à medida que aumentam os níveis de remoção. Estes custos são de extremo interesse para aplicação de políticas de controle de

poluição, pois a curva de custo marginal fornece o custo incremental ou adicional que seria necessário para reduzir (em alguma unidade) a carga orgânica ou concentração de poluentes nos corpos d'água. Essa curva também pode ser utilizada como metodologia para o estabelecimento da cobrança pelo uso da água (para lançamento de efluentes), mediante alguns critérios. Nota-se na **Figura 5.7** que após 20.000,00 ton/ano de carga orgânica de DBO, a remoção de carga aumentará os custos significativamente. O mesmo ocorre na remoção de um carga de Sólidos Suspensos acima de 25.000,00 ton/ano (**Figura 5.8**). Portanto, não é interessante o lançamento de uma carga maior destes dois poluentes acima destes valores.

As **Figuras 5.7 e 5.8** mostraram que quanto menor o acréscimo na quantidade de carga de DBO e SS a ser removida, os custos marginais se elevam de tal forma que inviabiliza sua remoção.

A partir da Curva de Custo Marginal de Longo Prazo é possível obter custos para várias quantidades de carga a serem removidas. Logo, o custo de remoção da carga de DBO em excesso que está sendo lançada no rio Pirapama poderá ser conhecido por interpolação da sua Curva de Custo Marginal de Longo Prazo.

Tendo em vista que o lançamento dos efluentes após os tratamentos simulados nos cenários da **Tabela 5.3**, não satisfizeram a condição do enquadramento dos corpos d'água para o trecho desta área do rio - Classe 2, foram realizados novos cenários visando o conhecimento da carga limite e do excesso de carga que o rio está recebendo. A partir da quantidade de carga que deverá ser removida verifica-se qual o tratamento capaz de removê-la com base nos resultados deste item (5.1.3). Os resultados das simulações para obtenção das cargas limite e em excesso e encontram-se no **item 5.1.4**

As **Figuras 5.7 – 5.9** a seguir e já comentadas, fornecem custos para diferentes quantidades de cargas de DBO e Sólidos Suspensos a serem removidas.

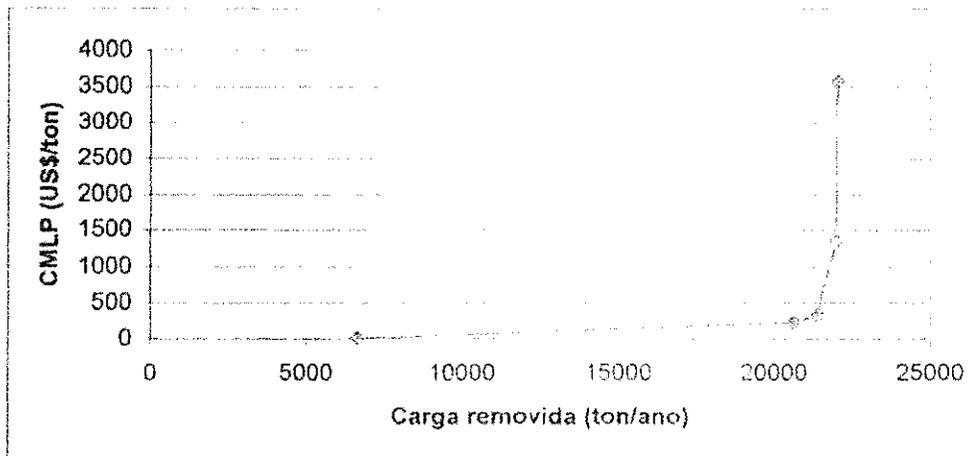


Figura 5.7. Custo Marginal de Longo Prazo para remoção de DBO – Área a montante da barragem Pirapama.

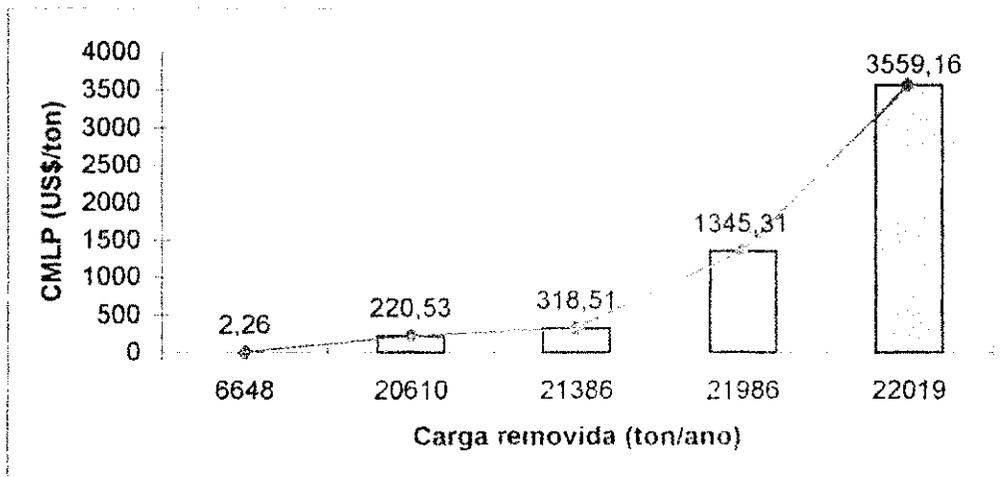


Figura 5.7a. Custo Marginal de Longo Prazo para remoção de DBO – Área a montante da barragem Pirapama.

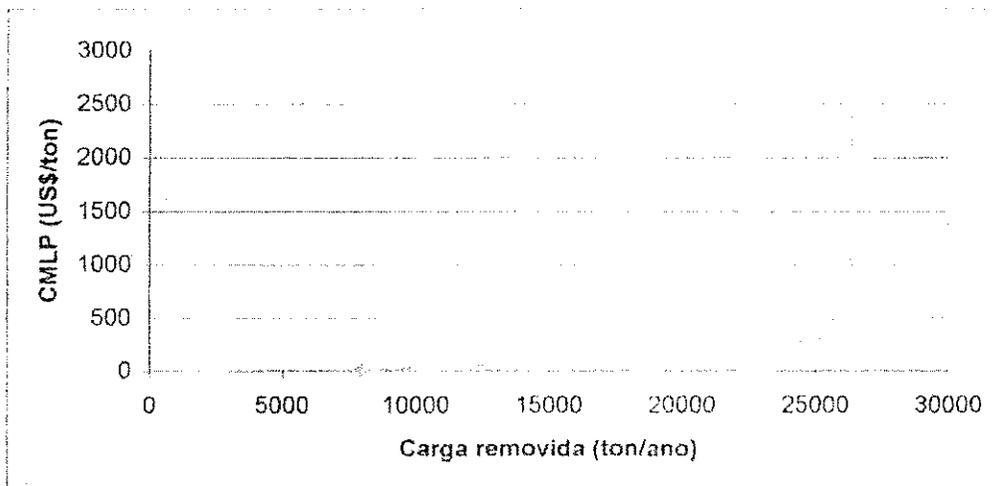


Figura 5.8. Curva de Custo Marginal de Longo Prazo para remoção de Sólidos Suspensos – Área a montante da barragem Pirapama.

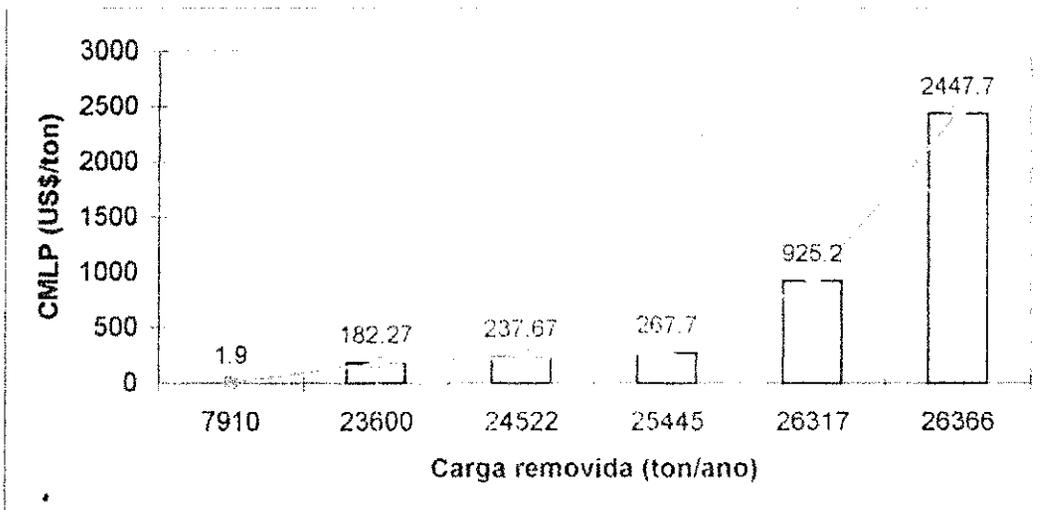


Figura 5.8a. Curva de Custo Marginal de Longo Prazo para remoção de Sólidos Suspensos – Área a montante da barragem Pirapama.

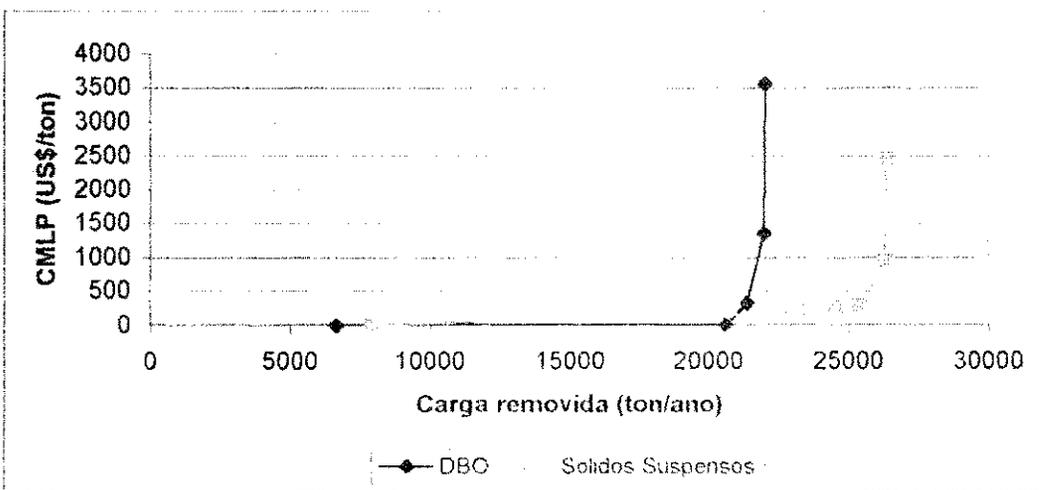


Figura 5.9. Curva de Custo Marginal de Longo Prazo para remoção de DBO e Sólidos Suspensos – Área a montante da barragem Pirapama.

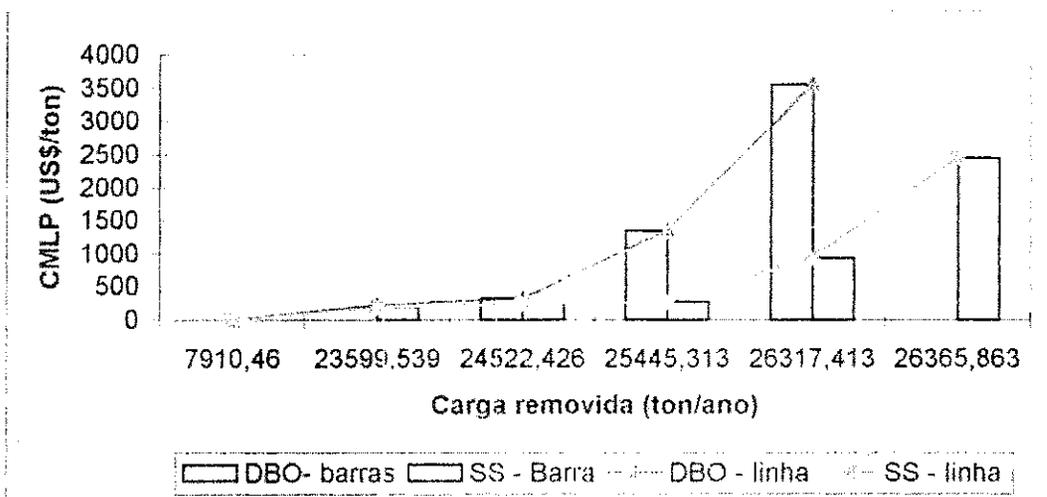


Figura 5.9^a. Curva de Custo Marginal de Longo Prazo para remoção de DBO e Sólidos Suspensos – Área a montante da barragem Pirapama.

5.1.4. CARGAS LIMITES QUE DEVEM ATENDER AS CLASSES DO ENQUADRAMENTO DOS CORPOS D'ÁGUA E SEUS RESPECTIVOS CUSTOS MARGINAIS

Após a simulação dos 11 (onze) cenários de melhoria da qualidade dos efluentes, percebeu-se que efetuando o tratamento secundário para toda a água residuária, o lançamento estaria impondo ao rio concentrações de DBO variando entre 8,05 mg/L a 10,29 mg/L sendo o valor menor encontrado quando as agroindústrias utilizam processos limpos. Esse valor indica que o lançamento deixaria o trecho do rio referente a área a montante da barragem Pirapama na Classe 3 o que estaria em desacordo com seu o enquadramento que é Classe 2. Como o objetivo é obter a quantidade de carga a ser removida antes do lançamento no corpo d'água para atender a classe do enquadramento (Classe 2) e também as Classes 1 e Classe 3 no caso de se desejar elevar ou diminuir o nível de qualidade da água do rio no referido trecho, procedeu-se à análise de mais três cenários.

As simulações para atender ao enquadramento dos corpos d'água foram realizadas somente considerando dois parâmetros a DBO – de origem orgânica e o fósforo total – de natureza inorgânica, obtendo-se as cargas: lançada, crítica e em excesso com seu respectivo custo de remoção. A partir das curvas de custos marginais confeccionadas para cada parâmetro, foram encontrados os custos marginais de remoção da carga em excesso para os dois parâmetros.

Estes dois parâmetros foram utilizados porque a poluição orgânica é de grande importância para a qualidade final da água em virtude do consumo de oxigênio dissolvido no seu processo de decomposição, o que eventualmente pode prejudicar e até impedir o desenvolvimento de várias formas de vida aquática (MENDES, 1994), principalmente as anaeróbias, e provocando no rio processos anaeróbios de putrefação e fermentação com produção de substâncias tóxicas, mau cheiro e aspecto desagradável. O fósforo é um parâmetro essencial utilizado para avaliar a possibilidade de eutrofização dos corpos d'água, fenômeno este que, ao longo do tempo, tem as mesmas conseqüências que o excesso de DBO dos esgotos.

Os cenários foram estabelecidos com base nas diretrizes de saúde de cada uma das Classes do enquadramento dos corpos d'água, quais sejam:

Cenário A – Custo de melhoria da qualidade atual da água para a Classe 1.

Cenário B – Custo de melhoria da qualidade atual da água para a Classe 2.

Cenário C – Custo de melhoria da qualidade atual da água para a Classe 3.

As cargas críticas e em excesso dos parâmetros DBO e fósforo foram calculados fornecendo ao SAD-CIP os valores determinantes dos padrões de saúde, estabelecidos pela resolução CONAMA nº 20/86 para atendimento às Classes 1, 2 e 3 (**Tabela 5.11**) que são respectivamente de 3 mg/L, 5 mg/L e 10 mg/L. As cargas críticas foram geradas admitindo-se uma carga média inicial de 2,6 mg/L para a DBO e de 0,07 mg/L para o fósforo.

Os custos marginais do excesso de carga poluidora foram retirados por interpolação da curva de custo marginal do parâmetro DBO. Para o fósforo total, como só existia uma opção de custo, o valor foi encontrado com uma simples regra de três.

A carga de 22.828,00 ton/ano é a demanda anual de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica. Se esta carga for lançada no rio gerar-se-á uma concentração média anual de 79,53 mg/L de DBO. Para atendimento às Classes 1, 2 e 3 do enquadramento só poderão ser lançadas, respectivamente, 861,15 ton/ano, 1435,26 ton/ano e 2870,51 ton/ano de DBO as quais estarão atendendo as concentrações do rio de 3, 5 e 10 mg/L. Para atender ao enquadramento dos corpos d'água na Classe 2 – na qual está enquadrado o rio Pirapama na área a montante da barragem, será necessário remover uma carga de 21.392,74 ton/ano a um custo de US\$ 330,15 por tonelada (**Tabela 5.11**).

Tabela 5.11. Custos de remoção do excesso de carga poluidora (ton DBO/ano) das águas residuárias, sem tratamento, lançadas na área a montante da barragem Pirapama.

Parâmetro	Cenário - Classe enquadramento (CONAMA Nº 20/86)	Carga lançada (ton/ano)	Carga (ton/ano)		Custo marginal para tratamento da carga poluidora (US\$/ton)
			Limite/crítica	Excesso	
DBO (mg O ₂ /L)	A - 1	22.828,00	861,15	21.966,85	1.313,04
	B - 2		1.435,26	21.392,74	330,15
	C - 3		2.870,51	19.957,49	210,32
Fósforo (mg P/L)	A-1, B-2 e C-3	31,62	4,48	27,14	27.834,33

O rio, entretanto, poderá receber uma maior carga e possuir capacidade para depurá-la não alterando sua classificação. A quantidade de carga a ser lançada deverá obedecer aos padrões de lançamento da legislação ambiental.

De acordo com o Custo Marginal de Longo Prazo para o parâmetro DBO, é viável que o trecho onde o rio Pirapama foi enquadrado na Classe 2 permaneça nesta Classe, pois o custo de melhoria da qualidade da água para a Classe 1 é muito elevado e as atividades econômicas presentes na área não necessitam de água de melhor qualidade. Essa melhoria de Classe poderia ser revista caso fossem instaladas novas atividades econômicas que fornecessem um desenvolvimento maior para a região e que necessitassem de água de melhor qualidade. E, não é interessante elevar o enquadramento para a Classe 3, onde o custo de remoção da carga poluidora é menor, porque haverá uma restrição de uso. Deve-se considerar que a Classe na qual o rio deverá ser enquadrado será definida pela Agência de bacias com a participação dos usuários da água e de representantes da sociedade civil através do respectivo comitê de bacia.

Quanto ao parâmetro fósforo, o excesso da carga lançada no rio é de 27,14 ton/ano (aproximadamente 6 vezes maior que a aceitável para atendimento às Classes 1, 2 e 3) cujo limite para as 3 (três) classes é de 0,025 mg/L. O custo de remoção da carga fósforo é de US\$ 27.834,33 por tonelada. Este custo é extremamente elevado

tendo em vista que a carga a ser removida é muito pequena, tornando inviável economicamente a remoção deste poluente. Sendo assim, as cargas de fósforo lançadas no rio podem chegar ao reservatório e acumular-se podendo causar a eutrofização artificial do lago. Essa eutrofização é rápida e altera o equilíbrio dos ecossistemas aquático pelo aumento de nutrientes, causando um crescimento exagerado do fitoplâncton e das macófitas. Esse crescimento leva a um aumento da concentração de oxigênio durante o dia mas há uma queda brusca durante a noite, pela respiração dos vegetais e das próprias algas. A matéria orgânica acumula-se quando os organismos morrem e, conseqüentemente, o metabolismo dos decompositores consome muito mais oxigênio, tornando impossível a vida de organismos adaptados a um teor maior de oxigênio. Essas alterações metabólicas mudam profundamente a qualidade da água em tempos mais ou menos longos, o qual impede os usos originais desta água.

Com relação ao parâmetro DBO, para atender a Classe 2 deverá ser realizado o Tratamento Secundário e Terciário em apenas os efluentes agroindustriais e para a Classe 1 é necessário realizar Tratamento Biológico Secundário tanto nos efluentes agroindustriais como nos esgotos domésticos. Para atender a Classe 3 é preciso realizar o tratamento secundário (Tabela 5.12).

Tabela 5.12. Tratamentos que podem ser realizados nas águas residuárias para remoção de DBO em atendimento as Classes 1, 2 e 3 do enquadramento e seus respectivos custos.

Classe	Carga (ton/ano)		Tratamento	Carga (ton/ano)		Custo total US\$
	Total	Excesso		Remover	Lançar	
1	22.828,00	21.966,85	TBS	21.985,70	842,30	4,147,878.60
2		21.392,74	TST	21.385,94	775,66	3,341,012.82
3		19.957,49	TS	20.610,29	1.551,31	3,093,956.38

É aconselhável, portanto, que os esgotos domésticos que possuem em sua composição nutrientes sejam reutilizados em processos que necessitem dos mesmos para seu desenvolvimento. Estes esgotos após tratamento simplificado, que possui um menor custo, poderão ser reutilizados na irrigação ou na piscicultura.

5.2. SIMULAÇÃO DA COBRANÇA PELO LANÇAMENTO DE EFLUENTES NA ÁREA A MONTANTE DA BARRAGEM PIRAPAMA

A cobrança pelo lançamento de efluentes será estabelecida com base na curva de Custo Marginal de Longo Prazo (CMLP) obtida pelo SAD-CIP para o parâmetro DBO por ser um dos mais relevantes para a avaliação da qualidade ambiental dos corpos d'água. Esta curva fornece valores de custo para diferentes quantidades de cargas a serem removidas, o que não seria possível obter com a aplicação da **Equação 3.1** a qual exige o conhecimento dos investimentos a serem realizados e da respectiva vazão incremental em cada ano do período de planejamento. Todos os setores usuários da água (agroindustrial, industrial e doméstico) sujeitos a outorga da vazão de diluição serão passíveis de cobrança.

Nas propostas, os valores de cobrança são estipulados e calcula-se o valor da arrecadação total com os usuários lançando os efluentes sem tratamento ou tratando parte da carga poluidora. Duas situações são analisadas:

1. Cobrança sem definição da Classe do enquadramento: nesta situação serão analisadas duas opções:

- cobrança considerando o lançamento de toda a carga gerada sem tratamento;
- cobrança considerando lançamento de parte da carga tratada.

2. Cobrança com base na Classe 2 do Enquadramento do rio Pirapama: Serão analisadas as seguintes condições:

- cobrança para remover uma quantidade de carga superior à exigida;
- cobrança com a finalidade de remover a quantidade de carga em excesso para atender ao enquadramento.

5.2.1. COBRANÇA SEM DEFINIÇÃO DA CLASSE DO ENQUADRAMENTO

5.2.1.1. Cobrança considerando o lançamento de toda a carga gerada sem tratamento

Segundo a curva de custo marginal, o lançamento de toda a carga sem tratamento sugere uma cobrança com valor inferior a US\$ 2.30 /ton que foi o custo marginal de remoção da menor quantidade de carga (6.648,00 ton/ano) que o tratamento mais simplificado indicado pelo SAD-CIP teria capacidade de remover. Um valor inferior a US\$ 2.30 favoreceria, portanto, aos dois setores usuários (agroindustrial e doméstico) o lançamento de toda a carga gerada sem qualquer tratamento no rio. Como a carga de DBO dos efluentes agroindustriais (22.161,60 ton/ano) gera uma concentração de 77,21 mg/L, no corpo d'água receptor, essa carga não poderia ser lançada sem tratamento porque ultrapassaria os limites de lançamento estabelecidos pelas legislações estaduais que é de 60 mg/L e está em desacordo com os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 20/86 para as Classe 2 do enquadramento. As agroindústrias, portanto, deverão tratar cargas acima de 6.648,00 ton/ano de DBO. Já a carga de DBO dos esgotos domésticos (666,40 ton/ano) poderá ser lançada pois sua concentração é menor que a exigida por lei para o lançamento e não alterará a classificação da água.

5.2.1.2. Cobrança considerando o lançamento de parte da carga tratada

Nesta análise foram consideradas duas opções:

1. lançando parte da carga do setor agroindustrial tratada e a carga total do esgoto doméstico sem tratamento.
2. lançando a carga dos dois setores após tratamento.

Opção 1: Lançando parte da carga do setor agroindustrial tratada e carga total do esgoto doméstico sem tratamento

O SAD-CIP forneceu três opções de tratamento para o setor agroindustrial com eficiências na remoção de 30,0%; 93,0% e 96,5% a um custo marginal de, respectivamente, US\$ 2.30; 220.00 e 320.00 /ton. O custo marginal para o setor

doméstico foi muito elevado. Sendo assim, nestas simulações o setor doméstico pagará pelo lançamento de toda a carga sem tratamento (Tabela 5.13), já que a concentração encontra-se dentro dos limites permissíveis de lançamento.

➤ **Cobrando um valor de US\$ 2.30/ton**

A cobrança de um valor de US\$ 2.30 /ton de carga de DBO a ser lançada induziria o setor agroindustrial a tratar 30,0% da carga de DBO (6.648,00 ton/ano) e o doméstico lançar toda a carga de DBO (666,4 ton/ano) sem tratamento.

O lançamento de 16,172.52 (15,513,12 + 666,4) ton/ano gera uma concentração média anual no rio de 71 mg/L. Esta concentração não é aceitável pelas Classes 1, 2 e 3 do enquadramento e seu valor informa que o lançamento das águas residuárias está ultrapassando os limites admissíveis para o lançamento de efluentes nos corpos d'água estabelecidos para alguns Estados brasileiros que é de 60 mg/L (NASCIMENTO, 1998) buscando uma diluição de 10 vezes no rio, para ficar entre a classe 2 e 3. Devido a este fato e, também, a sua pequena arrecadação anual (US\$ 37,012.98) que não pagaria as melhorias ambientais na bacia essa opção não deverá ser aceita pelo sistema de cobrança, principalmente por desrespeitar os padrões ambientais.

➤ **Cobrando um valor de US\$ 220.00/ton**

Cobrando-se este valor o setor agroindustrial poderia tratar 93,0% da carga de DBO (20.610,29 ton/ano) e o setor doméstico lançar toda a carga (666,40 ton/ano) sem tratamento.

Esta opção é atrativa do ponto de vista econômico para os setores usuários e também para o órgão gestor. O rio estaria recebendo uma carga de 2.217,71 (1.551,31 + 666,40) ton/ano de DBO. Esta carga é considerada pequena e ter-se-ia uma arrecadação no valor de US\$ 487,896.20 para financiar estudos e projetos para melhoria ambiental ou preservação das condições ambientais da bacia. Com o lançamento dessa carga o rio ficaria mais na Classe 3 com qualidade inferior a desejada que seria a Classe 2.

➤ Cobrando um valor de US\$ 320.00/ton

Cobrando-se este valor o setor agroindustrial trataria 96,5% da carga de DBO (21.385,94 ton/ano) e o doméstico lançaria toda a carga (666,4 ton/ano) sem tratamento.

Um valor de cobrança de US\$ 320.00 implicaria em uma arrecadação menor (US\$ 461,459.20) e custo de tratamento maior (US\$ 3,341,012.82) que um valor de US\$ 220.00 cuja arrecadação seria de US\$ 487,896.20 e tratamento US\$ 3,093,956.38 (**Tabela 5.13**). Com este valor poderia ser lançada uma carga de 1.442,06 ton/ano. O lançamento desta carga não alteraria a qualidade da água nesta área da bacia e portanto estaria obedecendo a Classe a qual o rio encontra-se enquadrado – Classe 2.

Este valor também está bastante próximo do valor estabelecido por CARRERA-FERNANDEZ (2000) para a cobrança pelo lançamento de efluentes na bacia deste mesmo rio utilizando a metodologia de custo marginal com base nos benefícios. O valor encontrado pelo referido autor foi de R\$ 1,37 /Kg de DBO, equivalente a US\$ 381.00 (com a cotação do dólar em R\$ 3,6).

Opção 2: Lançando a carga dos dois setores após tratamento

Para o setor doméstico o SAD-CIP forneceu opções de tratamento com remoção de 90,0% (599,76 ton/ano) e 95,0% (633,08 ton/ano) da carga de DBO gerada com custos de, respectivamente, US\$ 1,345.00 e US\$ 3,559.16 por tonelada removida. Estes custos seriam os mesmos quando considerado o tratamento adicional de 96,5% (21.385,94 ton/ano) da carga dos efluentes agroindustriais. Considerando estes percentuais de remoção realizaram-se simulações com valores de cobrança iguais e intermediários ao custo marginal de remoção da carga para os esgotos domésticos.

➤ **Cobrando um valor de US\$ 1,345.00/ton**

Cobrando-se um valor de US\$ 1,345.00 /ton pode-se remover 90,0% (599,76 ton/ano) da carga do setor doméstico e 96,5% (21.385,94 ton/ano) do agroindustrial.

Essa é a alternativa mais atrativa do ponto de vista ambiental e econômico para o órgão gestor. Neste caso tem-se o lançamento de um efluente tratado que não impactará negativamente a qualidade ambiental das águas e cuja arrecadação é aproximadamente 2,5 vezes superior à obtida com uma cobrança de US\$ 320,00. Para as companhias de saneamento este valor seria muito alto devido à pequena quantidade de carga a ser removida. O custo de vertimento da carga de 775,66 ton/ano do setor agroindustrial seria mais elevado o que poderia causar conflito, ou seja, a agroindústrias poderiam não estar dispostos a pagar um valor superior a US\$ 320,00 que seria um valor razoável para o vertimento da mesma quantidade de carga.

Lançando-se uma carga de 842,30 (775,66 + 66,64) ton/ano de DBO o nível de qualidade da água melhoraria passando a ser Classe 1.

➤ **Cobrando um valor de US\$ 2,000.00/ton**

Cobrando-se um valor intermediário pode-se remover de 90,0% e 96,5% da carga de DBO, respectivamente, dos esgotos domésticos e efluentes agroindustriais.

O custo para tratar 96,5% da carga (21.385,94 ton/ano) dos efluentes agroindustriais seria de US\$ 3,341,012.82 e o pagamento pelo lançamento das 775,66 ton/ano restantes seria de US\$ 1,551,312.00. O custo total para as agroindústrias seria de US\$ 4,892,324.82. O setor doméstico gastaria US\$ 806,865.78 para tratar 90,0% da sua carga (599,76 ton/ano) e pagaria US\$ 133,280.00 pelo lançamento das 66,64 ton/ano restante. O custo total para as concessionárias de saneamento seria de US\$ 940,145.78.

O custo do sistema de cobrança com tratamento de 96,5% da carga do setor agroindustrial e 90,0% da carga do setor doméstico seria de US\$ 5,832,470.60 (US\$

4,892,324.82 + US\$ 940,145.78) e a arrecadação de US\$ 1,684,592.00. Lançando o esgoto doméstico sem tratamento, o custo do sistema seria de US\$ 6,225,124.80 (US\$ 4,892,324.82 + US\$ 1,332,800.00) e a arrecadação de US\$ 2,884,112.00 (US\$ 1,551,312.00 + US\$ 1,332,800.00). O custo para o setor doméstico será menor se o mesmo optar pelo tratamento.

➤ **Cobrando um valor de US\$ 3,560.00/ton**

Com este valor poder-se-ia tratar 95,0% (633,08 ton/ano) da carga do setor doméstico e 96,5% (21.385,94 ton/ano) da carga do setor agroindustrial conjuntamente.

A cobrança com valor de US\$ 3,560.00 por tonelada não seria a mais indicada devido ao elevado custo total do sistema (**Tabela 5.13**).

A **Tabela 5.13** apresenta o resultado das simulações para a cobrança pelo lançamento de efluentes, custos para remoção de determinadas quantidades de cargas e as arrecadações que cada valor a ser cobrado podem gerar para o Fundo de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

As simulações indicaram que quando cobrado um valor de US\$ 320.00 por tonelada pode-se tratar 96,5% da carga do setor agroindustrial e lançar toda a carga do esgoto doméstico sem tratamento a um custo total de US\$ 3,802,472.00; obtendo-se uma arrecadação anual de US\$ 461,459.20. Com um valor de cobrança de US\$ 1,345.00 por tonelada tem-se eficiência nos tratamentos de 90,0% e 96,5%, respectivamente para os esgotos domésticos e efluentes agroindustriais e o sistema teria um custo total de US\$ 5,280,772.10; e a arrecadação anual seria de US\$ 1,132,893.50 (**Tabela 5.13**).

Tabela 5.13. Resumo do sistema de cobrança com valores que podem ser cobrados pelo lançamento de efluentes das fontes potencialmente poluidoras – Área a montante da barragem Pirapama.

Opção	Valor a ser Cobrado (US\$)	Setor	Carga (ton/ano)		Custo (US\$)		
			Tratar	Lançar	Tratar	Lançar	TOTAL
1	2.30	Agroindustrial	6.648,48	15.513,12	15.000,00	35.680,18	50.680,18
		Doméstico	0,00	666,40	0,00	1.332,80	1.332,80
		Total	6.648,48	16.179,52	15.000,00	37.012,98	52.012,98
	220.00	Agroindustrial	20.610,29	1.551,31	3.093.956,38	341.288,20	3.435.244,50
		Doméstico	0,00	666,40	0,00	146.608,00	146.608,00
		Total	20.610,29	2.217,71	3.093.956,38	487.896,20	3.581.852,50
	320.00	Agroindustrial	21.385,94	775,66	3.341.012,82	248.211,20	3.589.224,00
		Doméstico	0,00	666,40	0,00	213.248,00	213.248,00
		Total	21.385,94	1.442,06	3.341.012,82	461.459,20	3.802.472,00
2	1,345.00	Agroindustrial	21.385,94	775,66	3.341.012,82	1.043.262,70	4.384.275,50
		Doméstico	599,76	66,64	806.865,78	89.630,80	896.496,58
		Total	21.985,70	842,30	4.147.878,60	1.132.893,50	5.280.772,10
	2,000.00	Agroindustrial	21.385,94	775,66	3.341.012,82	1.551.312,00	4.892.324,82
		Doméstico	599,76	66,64	806.865,78	133.280,00	940.145,78
		Total	21.985,70	842,30	4.147.878,60	1.684.592,00	5.832.470,60
	3,590.00	Agroindustrial	21.385,94	775,66	3.341.012,82	2.761.349,60	6.102.362,40
		Doméstico	633,08	33,32	925.457,03	118.619,20	1.044.076,20
		Total	22.019,02	808,98	4.266.469,80	2.879.968,80	7.146.438,60

A diferença entre estabelecer, para os dois setores, uma cobrança no valor de US\$ 320,00 por tonelada sem o tratamento do esgoto doméstico e uma cobrança no valor de US\$ 1,345,00 tratando 90,0% da água é de US\$ 1,478,300,10 (US\$ 5,280,772,10 – US\$ 3,802,472,10). O acréscimo no custo do sistema das agroindústrias seria de US\$ 795,051,50 e no do setor doméstico de US\$ 683,248,58. A opção de cobrança no valor de US\$ 1,345,00 seria mais atrativa do ponto de vista econômico e ambiental para o órgão gestor, devido a sua arrecadação e porque o tratamento biológico secundário sugerido pelo SAD-CIP, além de remover, materiais orgânicos, nutrientes e sólidos em suspensão, tem capacidade de remover microrganismos patogênicos. Para os usuários, a melhor opção de cobrança é a de US\$ 320,00 porque requer um investimento menor.

Nota-se, então, que uma cobrança com um valor abaixo de US\$ 2,26 por tonelada não é eficiente para o sistema de cobrança de um Programa de Gerenciamento de Recursos Hídricos e que a melhor opção seria estipular o valor da cobrança em US\$ 320,00 /ton de DBO a ser removida.

Segundo o sistema de cobrança da **Tabela 5.13** o valor da cobrança em:

US\$ 220.00 /ton atende a Classe 3 do enquadramento

US\$ 320.00 /ton atende a Classe 2 do enquadramento

US\$ 1,345.00 /ton; US\$ 2000.00 /ton; US\$ 3,590.00 /ton - atendem a Classe 1 do enquadramento

A **Tabela 5.14** resume os possíveis valores de arrecadação encontrados com as simulações para os diferentes valores sugeridos para a cobrança pelo lançamento de efluentes na área a montante da bacia do rio Pirapama.

Tabela 5.14. Arrecadação total obtida para cada do sistema de cobrança.

Opção	Valor da cobrança (US\$)	Arrecadação Total (US\$)
1. Lançando a carga do setor agroindustrial tratada e a do esgoto doméstico sem tratamento	2.30	37,012,98
	220.00	487,896.20
	320.00	461,459.20
2. Lançando a carga dos dois setores tratada	1,345.00	1,132,893.50
	2,000.00	1,684,592.00
	3,560.00	2,879,968.80

O montante arrecadado com o sistema de cobrança deverá ser depositado no Fundo de Recursos Hídricos para financiar os investimentos necessários para atender aos requisitos dos programas de controle de poluição hídrica com base nas medidas de prevenção especificados no plano diretor da bacia em questão.

5.2.2. COBRANÇA VISANDO ATENDER A CLASSE 2 DO ENQUADRAMENTO

Para atender a Classe 2 do enquadramento dos corpos d'água a área a montante da barragem Pirapama, tem condições de receber, no máximo, uma carga de DBO igual a 1.435,26 ton/ano. O rio está recebendo uma carga de 22.828,00 ton/ano, superior a desejada. Com o objetivo de trazer o rio para a Classe 2, há necessidade das fontes poluidoras, que lançam seus efluentes nesta área, abaterem 21.392,74 ton/ano (**Tabela 5.15**), o correspondente a 93,7% da carga total lançada. Este será o percentual da carga a ser removida por cada setor usuário.

Para o rio Pirapama retornar à Classe 2, o setor agroindustrial deverá remover 20.768,24 ton/ano de DBO e o setor doméstico 624,50 ton/ano de DBO (**Tabela 5.15**). O usuário tem duas opções:

1. remover uma carga superior à exigida; ou
2. remover a carga em excesso para atender ao enquadramento. A opção escolhida pelo usuário será a de menor custo.

5.2.2.1. Removendo uma carga superior à exigida

A **Tabela 5.15** apresenta a carga total lançada atualmente, a removida e a que deverá ser lançada após a remoção da carga em excesso para cada setor usuário.

Tabela 5.15. Cargas a serem removidas pelos setores usuários para atender ao enquadramento dos corpos d'água.

Setor	Carga (ton/ano)		
	Lançada atualmente	Removida	Lançada após remoção da carga em excesso
Agroindustrial	22.161,60	20.768,24	1.393,36
Doméstico	666,40	624,50	41,90
TOTAL	22.828,00	21.392,74	1.435,26

Neste caso a cobrança deverá ter valor diferenciado para cada setor. Sendo que para o setor agroindustrial o valor a ser cobrado será de US\$ 320,00 /ton e para o setor doméstico de US\$ 1,345,00 ou US\$ 3,560,00 /ton. O valor a ser cobrado pelo setor doméstico dependerá do percentual de carga a se tratada. Como o valor para tratar 95,0% da carga do setor doméstico é muito elevado, essa opção está descartada.

Com valores diferenciados de cobrança remover-se-á uma carga maior do que a necessária para atender ao enquadramento (**Tabela 5.16**). Sugere-se, então, que o setor agroindustrial trate parte da carga do setor doméstico.

Tabela 5.16. Cobrança no valor de US\$ 320.00 /ton para o setor agroindustrial e de US\$ 1,345.00 /ton para o setor doméstico.

Setor	% de tratamento	Carga (ton/ano)		Custo (US\$)		
		Remover	Lançar	Remover	lançar	Total
Agroindustrial	96,5	21.385,94	775,66	3,341,012.82	248,211.20	3,589,224.02
Doméstico	90,0	599,76	66,64	806,865.78	89,630.80	896,496.58
T O T A L		21.985,70	1.375,42	4,147,878.60	337,842.10	4,485,720.70

Segundo os resultados fornecidos pelo SAD-CIP a cobrança de US\$ 320.00 induziria o tratamento de 21.385,94 ton/ano, superior a exigida, com um custo de US\$ 3,341,012.82. O órgão gestor arrecadaria US\$ 248,211.20 pelo lançamento das 775.66 ton/ano restante. O custo total do sistema agroindustrial seria de US\$ 3,589,224.02 (US\$ 3,341,012.82 + US\$ 248,211.20).

O setor doméstico teria um custo de US\$ 806,865.78 para tratar uma carga de 599,76 ton/ano de DBO, inferior a exigida, e de US\$ 89,630.80 para lançar as 66,64 ton/ano restantes. O custo total do sistema doméstico seria de US\$ 896,496.58 (US\$ 806,865.78 + US\$ 89,630.80).

5.2.2.2. Removendo a quantidade da carga em excesso para atender ao enquadramento

Para o setor agroindustrial remover as 20.768,24 ton/ano deverá pagar US\$ 240 /ton, logo o custo do tratamento desta carga em excesso seria de US\$ 3,056,048.30. O lançamento anual das 1.393,36 ton restantes seria de US\$ 334,406.40. O custo do sistema seria de US\$ 3,390,454.70 (US\$ 3,056,048.30 + US\$ 334,406.40).

Para remover a carga de 624,50 ton/ano o setor doméstico deverá pagar US\$ 2,990.00 por tonelada. O custo do tratamento dessa carga seria de US\$ 880,815.87. O lançamento das 41,90 ton/ano restante custaria US\$ 125,281.00 (41.90 x 2,990). O custo total do sistema seria de US\$ 1,006,096.90 (US\$ 880,815.87 + US\$ 125,281.00).

Tabela 5.17. Cobrança no valor de US\$ 240,00 /ton para o setor agroindustrial e de US\$ 2,990.00 /ton para o setor doméstico.

Setor	Carga (ton/ano)		Custo (US\$)		
	Remover	Lançar	Remover	lançar	Total
Agroindustrial	20.768,24	1 393,36	3,056,048.30	334,406.40	3,390,454.70
Doméstico	624,50	41,90	880,815.87	125,281.00	1,006,096.90
TOTAL	21.392,74	1.435,26	3,936,864.20	459,687.40	4,396,551.60

O setor doméstico teria um custo menor optando por remover 90,0% da carga (599,76 ton/ano) e lançar o restante 66,64 ton/ano que seria pago pelo setor agroindustrial se removesse uma carga superior (21.385,94 ton/ano) a exigida (20.765,24 ton/ano) para atender ao enquadramento.

5.3. ANÁLISE DA CONDIÇÃO DA POLUIÇÃO HÍDRICA E CUSTOS DE MEDIDAS DE CONTROLE - ÁREA A JUSANTE DA BARRAGEM PIRAPAMA

Nesta área do rio se encontra a maior quantidade de fontes potencialmente poluidoras. Estas fontes, porém, apresentam uma pequena produção e três delas possuem sistemas de tratamento de efluentes, o que minimiza a carga a ser lançada no rio. A simulação, então, foi realizada para o conhecimento da carga que está sendo lançada a fim de conferir se o tratamento está satisfazendo a condição do enquadramento do rio. Para aquelas fontes que não possuíam nenhum tipo de tratamento foram realizadas simulações visando obter a melhor opção de tratamento para suas águas residuárias.

5.3.1. CARGA POLUENTE TOTAL E TRATAMENTOS PROPOSTOS PARA A SUA REDUÇÃO

Os efluentes lançados na área a jusante da barragem Pirapama têm em sua composição poluentes do tipo matéria orgânica biodegradável (DBO, DQO, fenóis – de difícil biodegradação e tóxico), cianeto, metais pesados, óleos; nutrientes (nitrogênio total e fósforo total) e materiais sólidos (sólidos suspensos). As empresas químicas são

responsáveis por 100,0% das cargas dos metais pesados, DQO, cianeto e fenóis. Os esgotos domésticos e a cervejaria são as únicas responsáveis pelos nutrientes com percentuais de contribuição de, respectivamente, 30,2% e 19,8% de nitrogênio e 96,1% e 3,8% de fósforo. Todas as fontes potencialmente poluidoras contribuem com a produção de DBO e SS. Da carga total de DBO gerada, os esgotos domésticos são responsáveis por 70,6%; a cervejaria, 17,7%; a usina de açúcar, 6,7%; as empresas químicas, 2,7%; e as refinações de milho, 2,4%.

A **Tabela 5.18** apresenta a carga total estimada de cada parâmetro.

Tabela 5.18. Estimativas fornecidas pelo SAD-CIP, das cargas totais de cada parâmetro, geradas pelas indústrias e esgotos domésticos - Área a jusante da barragem Pirapama.

Parâmetro	Carga total lançada (ton/ano)	Parâmetro	Carga total lançada (ton/ano)
DBO	1.944,23	Óleo	512,39
Cianetos	1,95	Fenóis	0,002
DQO	36,41	Fósforo total	67,79
Metais Pesados	370,33	Sólidos Suspensos	2.455,20
Nitrogênio total	288,09		

5.3.2. CONCENTRAÇÃO MÉDIA ANUAL QUE AS CARGAS LANÇADAS PODEM CONFERIR AO RIO

As concentrações médias anuais geradas pelas fontes poluidoras nesta área da bacia são consideravelmente menores que às da área a montante da barragem Pirapama (**Tabela 5.19**). Esta área, apesar de possuir uma maior quantidade de indústria, é menos impactada. Isso acontece devido a menor produção das indústrias, ao tratamento já realizado por três indústrias usuárias das águas localizadas nesta área e pela vazão média do rio ser duas vezes superior à da área a montante da barragem Pirapama.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 20/86, nesta área da bacia, os parâmetros cianeto, fósforo e fenóis encontram-se dentro dos padrões estabelecidos para a Classe 2. O parâmetro DBO está ultrapassando em somente 0,4 mg/L. Essa carga pode ser facilmente depurada pelo rio, não interferindo na classificação. Como o enquadramento classificou essa área do rio como Classe 3, o único parâmetro que poderá estar interferindo nesta classificação é o fósforo. Em relação aos metais pesados (em conjunto) a Resolução nº 20/86 do CONAMA não fornece valores portanto não foi possível fazer uma análise da poluição com base na concentração que estes poluentes estão impondo ao rio.

Tabela 5.19. Concentrações médias anuais de cada poluente, conferida ao rio após lançamento das águas residuárias – Área a jusante da barragem Pirapama.

Parâmetros	Conc. méd. anual (mg/L)	Carga lançada (ton/ano)	Parâmetros	Conc. méd. anual (mg/L)	Carga lançada (ton/ano)
DBO	5,37	1.892,02	Óleo	0,912	512,39
Cianeto	0,003	1,94	Fenóis	0	0,002
DQO	0,065	36,41	Fósforo total	0,121	67,71
Metais pesados	0,659	370,33	Sol. suspensos	4,15	2.331,80
Nitrogênio	0,513	288,09			

5.3.3. MELHORES OPÇÕES DE TRATAMENTO FORNECIDAS PELO SAD-CIP E SEUS RESPECTIVOS CUSTOS

Para a Usina de açúcar e os esgotos domésticos que não possuíam nenhum tipo de tratamento, o SAD-CIP forneceu opções de tratamento com suas respectivas cargas e custos de remoção (Tabelas 5.20 e 5.21).

Os custos da Tabela 5.20 foram estimados considerando os Tratamentos Biológico e Secundário (TBS) e Biológico e Químico (TBQ) com processos não controlados. Os custos totais foram: TBS = US\$ 1,946,593.52 e TBQ = US\$ 2,227,028.96.

Para os esgotos domésticos, caso fosse necessário o tratamento, a melhor opção seria o Tratamento Biológico Secundário que trata 90,0% da carga de DBO com o menor custo marginal.

Tabela 5.20. Alternativas, fornecidas pelo SAD-CIP, de custos para remoção da carga poluidora dos efluentes da *Esgoto doméstico* para cada parâmetro.

Parâmetro	Medida redução	Carga (ton/ano)			Custo (US\$)	
		Total	Lançada	Removida	Médio (/ton)	Marginal (/ton)
DBO	TBS	1.372,00	137,20	1.234,80	1,576.44	1,576.44
	TBQ		68,60	1.303.40	1,708.63	4,087.98
N total	TBQ	231,00	150,15	80,85	27,545.19	27,545.19
Óleo	TBS	511,00	25,55	485,45	4,009.87	4,009.87
	TBQ		12,77	498,23	4,469.93	21,951.89
P total	TBQ	65,10	3,26	61,84	36,009.85	36,009.85
SS	TBS	1.995,00	199,50	1.795,50	1,084.15	1,084.15
	TBQ		99,75	1.895,25	1,175.06	2,811.38

TBS – Tratamento Biológico Secundário; TBQ – Tratamento Biológico e Químico

A carga gerada pelas usinas de açúcar é muito pequena e não há necessidade de implantar sistema de tratamento, haja vista o custo ser muito alto (Tabela 5.21). Esses efluentes poderão ser utilizados de maneira adequada na fertirrigação o que minimizaria os custos com o tratamento e com a compra de adubos para tal finalidade.

Tabela 5.21. Alternativas fornecidas pelo SAD-CIP, de custos para remoção da carga poluidora dos efluentes da *Usina de açúcar* para cada parâmetro.

Parâmetro	Medida redução	Carga (ton/ano)			Custo (US\$/ton)	
		Total	Lançada	Removida	Médio	Marginal
DBO	PL	78,30	62,64	15,66	1,915.71	1,915.71
	TS		6,26	72,04	38,788.00	49,030.30
SS	PL	170,10	136,08	34,02	881.83	881,83
	TPQ		20,41	149,69	17,355.04	22,200.10
	TS		13,61	156,49	17,854.79	28,849.36

Obs: Essas alternativas estão considerando os Tratamentos com processos controlados

PL – Processos limpos; TS – Tratamento Secundário; TPQ – Tratamento Primário Químico

O custo total por tratamento foi de: PL = US\$ 30.000,00; TS = US\$ 2,794,132,00;

TPQ = US\$ 2,597,840,99

Para as fontes potencialmente poluidoras que utilizam medidas de redução da poluição, o SAD-CIP estimou o custo do tratamento realizado por cada indústria para remover suas cargas poluentes e também forneceu outras opções de tratamento que podem remover uma maior quantidade de carga. Estas opções não serão mostradas porque o tratamento realizado está atendendo aos limites estabelecidos pelas legislações ambientais não somente para a Classe que o trecho dessa área do rio encontra-se enquadrado – Classe 3, mas também à Classe 2. As Tabelas 5.22 – 5.24 apresentam as cargas totais, lançadas e removidas de cada parâmetro e o custo do sistema de tratamento secundário realizado pelas fontes potencialmente poluidoras locais.

De acordo com os resultados obtidos pelo SAD-CIP, nota-se que a unidade de tratamento utilizada pelas indústrias químicas (Tabela 5.22) tem uma eficiência na remoção de DBO e SS de 90,0%. A menor eficiência é de 70,0% na remoção de cianeto. O sistema é satisfatório e não é necessário nenhuma outra medida para reduzir a carga a ser lançada.

Tabela 5.22. Estimativa, fornecida pelo SAD-CIP, do custo do *Tratamento Secundário* já realizado pelas *indústrias químicas* e a quantidade de carga removida de cada parâmetro.

Parâmetro	Carga (ton/ano)			Custo total (US\$)
	Total	Lançada	Removida	
DBO	518,67	51,87	466,80	235,371.60
Cianeto	6,48	1,94	4,54	
DQO	182,05	36,41	145,64	
Metais pesados	1.851,65	370,33	1.481,32	
Hidrocarboneto clorado (CHC)	4,32	0,00	0,00	
Óleo	27,73	1,39	26,34	
Fenóis	0,017	0,0017	0,016	
SS	57,57	5,76	51,81	

O custo estimado pelo SAD-CIP para o sistema de tratamento secundário da cervejaria (Tabela 5.23) é superior ao das indústrias químicas devido à maior quantidade de carga de DBO e SS. A eficiência da em termos de DBO e SS da unidade utilizada é de 93,0% indicando que o sistema de tratamento poderá ser todos ativados convencionais. Atualmente o tratamento que está sendo realizado é satisfatório e não há necessidade de

melhorias nos tratamentos utilizados. Ocorre o mesmo para as refinações de milho (Tabela 5.24).

Tabela 5.23. Estimativa fornecida pelo SAD-CIP do custo do Tratamento Secundário já realizado pela *cervejaria* e a quantidade de carga removida de cada parâmetro.

Parâmetro	Carga (ton/ano)			Custo total (US\$)
	Total	Lançada	Removida	
DBO	4.893,00	342,51	4.550,49	1,026,891.76
N total	116,50	57,08	59,41	
P total	18,64	2,60	16,03	
SS	1.817,40	127,22	1.690,18	

Tabela 5.24. Quantidade de carga removida por parâmetro com o *tratamento secundário* realizada pela *refinações de milho* -- Custo que o SAD-CIP forneceu para o sistema já implantado.

Parâmetro	Carga (ton/ano)			Custo total (US\$)
	Total	Lançada	Removida	
DBO	473,48	47,35	426,13	665,715.92
SS	337,27	33,72	303,54	

5.3.3.1. Curvas de Custo Marginal de Longo Prazo para a área a jusante da barragem Pirapama

As Curvas de Custo Marginal de Longo Prazo confeccionadas contemplam somente os parâmetros DBO e Sólidos Suspensos.

Nota-se que nesta área onde a carga lançada é pequena, os custos marginais são elevados. Isto induzirá um valor a ser cobrado superior ao estabelecido para a área a montante. Caso se utilize desta metodologia para estabelecer o valor a ser cobrado gerar-se-á conflitos entre os usuários.

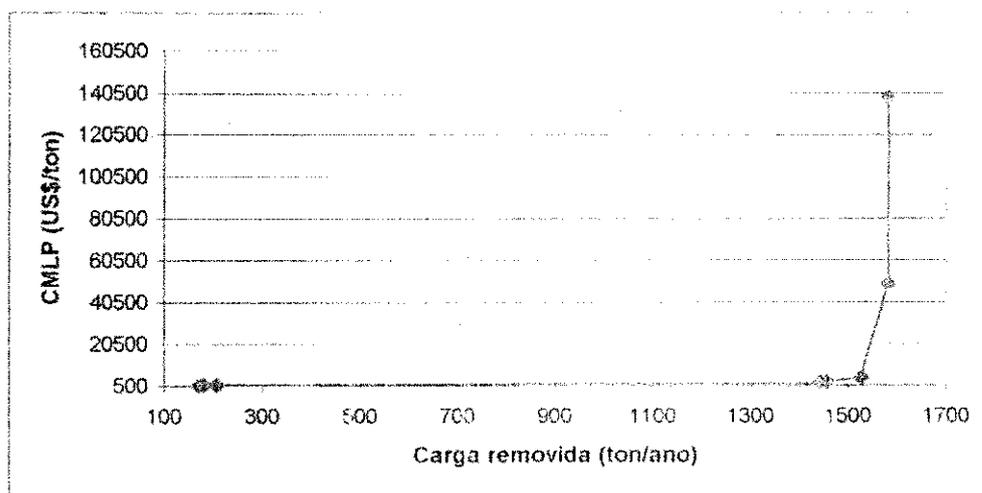


Figura 10. Custo Marginal de Longo Prazo para remoção de DBO – Area a jusante da barragem, Pirapama.

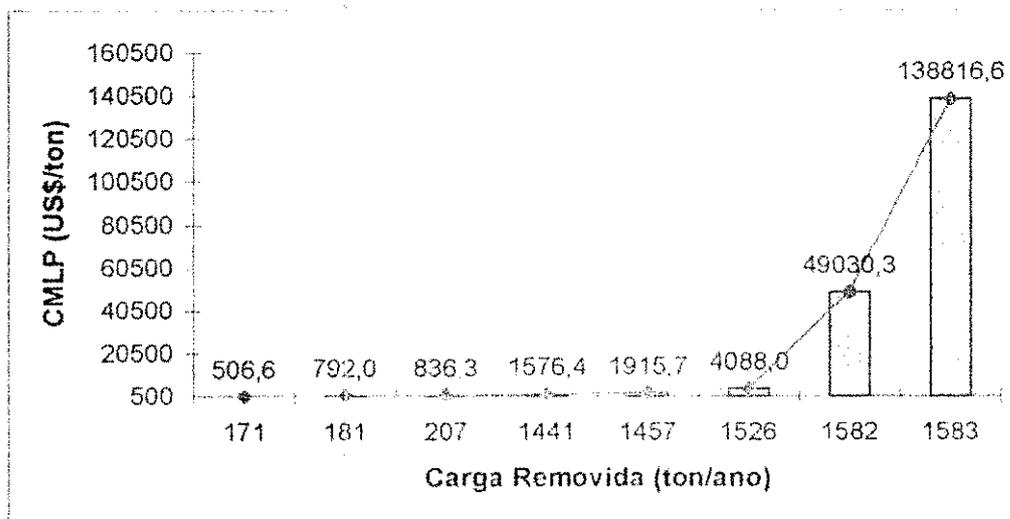


Figura 10". Custo Marginal de Longo Prazo para remoção de DBO - Área a jusante da barragem, Pirapama.

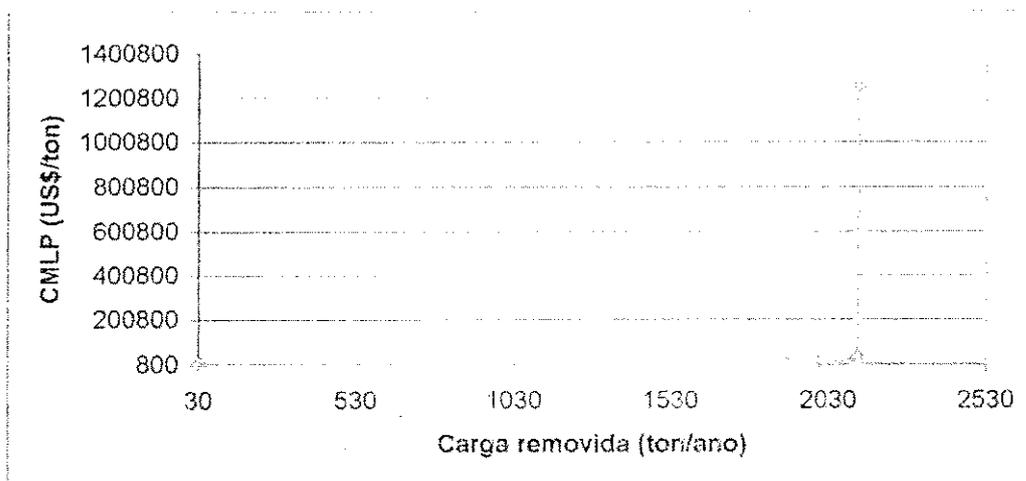


Figura 11. Curva de Custo Marginal de Longo Prazo para remoção de Sólidos Suspensos - Área a jusante da barragem, Pirapama.

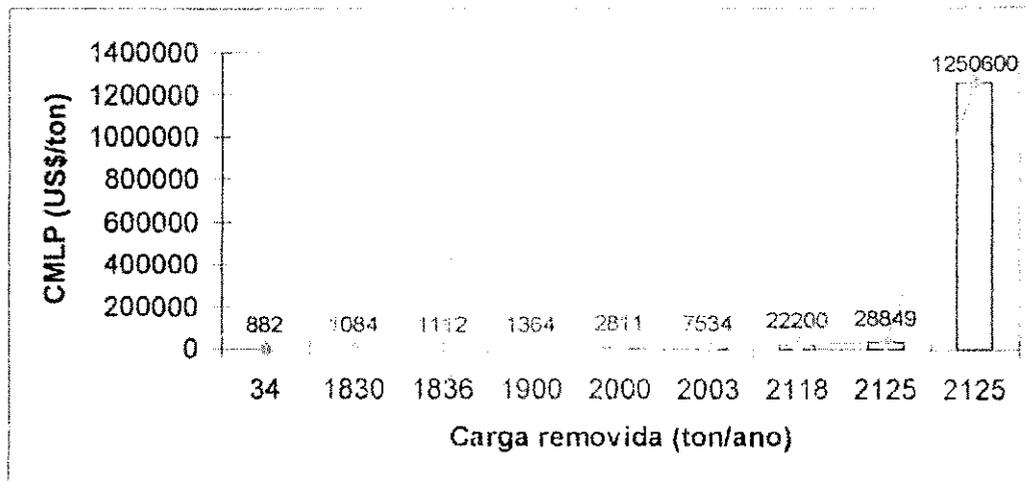


Figura 11^a. Curva de Custo Marginal de Longo Prazo para remoção de Sólidos Suspensos.

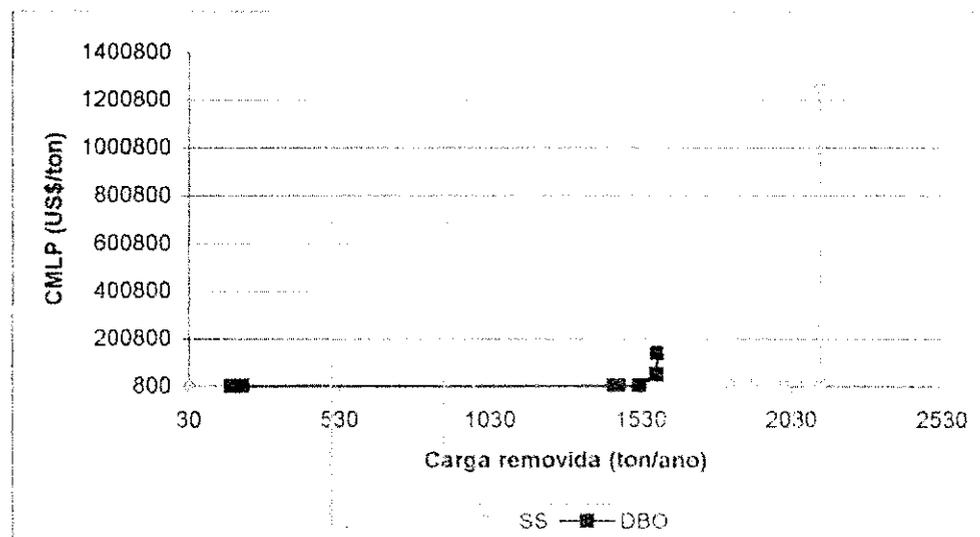


Figura 12. Curva de Custo Marginal de Longo Prazo para remoção de DBO e Sólidos Suspensos

5.3.4. CARGAS LIMITES QUE DEVEM ATENDER AS CLASSES DO ENQUADRAMENTO DOS CORPOS D'ÁGUA E SEU RESPECTIVO CUSTO MARGINAL

Para obtenção das cargas limites que devem atender as Classes 3, a qual o trecho do rio na área a jusante da barragem Pirapama encontra-se enquadrado, e também a fim de verificar a carga a ser removida e os custos para trazer o rio para as Classes 1 e 2, seguiu-se o mesmo procedimento adotado para a área a montante. As simulações realizadas para as classes 1 e 2 foram realizadas prevendo-se que futuramente os usos das águas desta área podem requerer um nível de qualidade mais exigente.

A **Tabela 5.25** apresenta a estimativa das cargas críticas e em excesso para os parâmetros DBO e fósforo total, bem como o custo marginal de remoção do excesso de carga, visando atender a Classe 3 do enquadramento dos corpos d'água e saber quanto custaria para trazer o rio para a Classe 2 ou 1.

Os resultados mostram que a situação atual de lançamento nesta área da bacia é favorável e atende a Classe 3 a qual o rio encontra-se enquadrado. Nota-se que o lançamento de DBO está atendendo, também a Classe 2, haja vista o valor do excesso de carga ser pequeno, ou seja, só ultrapassa 0,4 mg/L da concentração limite que é de 5 mg/L para a referida Classe. Essa concentração é pequena e poderá ser facilmente depurada e não comprometer a qualidade da água. O parâmetro fósforo é um fator preocupante pois o excesso de carga é elevado e caso o rio não tenha capacidade para depurá-lo, será inviável de ser removido devido ao elevado custo de remoção.

Tabela 5.25. Custos de remoção do excesso de carga poluidora, para os parâmetros DBO e fósforo - Área a jusante da barragem Pirapama.

Parâmetro	Classe enquadramento	Carga lançada (ton/ano)	Carga (ton/ano)		Custo marginal para tratamento da carga poluidora (US\$/ton)
			Limite/ Crítica	Excesso	
DBO (mg O ₂ /L)	1	1.892,02	1.057,23	834,79	1.212,79
	2		1.762,15	129,87	671,82
	3		-	-	-
Fósforo (mg P/L)	1, 2 e 3	67,71	8,88	58,83	21.368,33

Obs: - indica que toda se o rio estiver enquadrado na Classe 3 toda a carga poderá ser lançada

5.4. SIMULAÇÃO DA COBRANÇA PELO LANÇAMENTO DE EFLUENTES NA ÁREA A JUSANTE DA BARRAGEM PIRAPAMA

Tento em vista que nesta área da bacia a quantidade de efluentes gerados é pequena e que algumas indústrias já realizam tratamento nos seus efluentes, e sabendo-se que os custos marginais são elevados devido à pequena quantidade de carga gerada, a cobrança será estabelecida tomando-se um valor médio aproximado dos custos marginais encontrados para a remoção de DBO dos efluentes industriais. Não foram considerados os custos marginais encontrados pelo SAD-CIP, para os esgotos domésticos e para a usina de açúcar porque estas fontes potencialmente poluidoras não possuem nenhum tipo de medida de redução e por apresentarem custos marginais muito elevados. O valor a ser cobrando, então, foi estabelecido em US\$ 700.00. Este valor é superior ao melhor valor a ser cobrado encontrado pelo sistema de cobrança estabelecido para a área a montante da barragem que foi de US\$ 320.00

Como a área a montante tem potencial poluidor superior à área de jusante e a metodologia utilizada indica um valor a ser cobrado maior para a área com potencial poluidor menor, é recomendável que o valor a ser cobrado para a área de jusante seja estabelecido por meio de outra metodologia.

Tabela 5.26. Simulação do sistema de cobrança pelo lançamento de efluentes - Área a jusante da barragem Pirapama.

Fonte	Carga (ton/ano)		Custo (US\$)		
	Tratar	Lançar	Tratar	Lançar	Total
Indústrias químicas	466,80	51,87	235,371.60	36,309.00	271,680.60
Cerverjaria	4.550,49	342,51	1,026,891.76	239,757.00	1,266,648.70
Ref. Milho	426,13	47,35	665,715.92	33,145.00	698,860.92
Usina de açúcar	0,00	78,30	0.00	54,810.00	54,810.00
Esgoto doméstico	0,00	1.372,00	0.00	960,400.00	960,400.00
TOTAL	5.443,42	1.892,03	1,927,979.20	1.324,421.00	3.252,400.22

Sendo estabelecido um valor de US\$ 700.00 para a cobrança, a arrecadação anual para o Programa de Gestão de Recursos Hídricos seria de US\$ 1,324,421.00. O

montante arrecadado deverá ser utilizado em melhorias ambientais para o controle e a conservação dos recursos hídricos. Esse sistema de cobrança favorecerá tanto ao órgão gestor como ao setor de saneamento que até o momento não precisa efetuar tratamento nos esgotos domésticos. O setor doméstico então pagaria ao órgão gestor pelo lançamento de toda a carga gerada (1.372,00 ton/ano) um valor de US\$ 960,400.00. Esse valor é inferior ao do tratamento de 90,0% da carga anual (1.234,80 ton/ano) que custaria a companhia de saneamento US\$ 1,946,593.52. O lançamento das 137,20 ton/ano restante custaria US\$ 96,040.00. O custo total do sistema (tratamento e lançamento) seria de US\$ 2,042,633.52.

CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1. CONCLUSÃO

- Quanto a condições de poluição hídrica da bacia

Os resultados das análises físico-químicas e bacteriológicas realizada em 1994 nos 6 (seis) pontos de amostragem do rio Pirapama identificaram que a água encontrava-se fora da classificação do seu enquadramento. Em 1998, a CPRH analisou os parâmetros DBO, OD, N total e Coliformes fecais (ou termotolerantes) e verificou que o rio estava sendo impactado com material orgânico e fecal e que estes parâmetros e o oxigênio dissolvido, em todos os pontos de amostragem, encontravam-se fora das Classes do seu enquadramento.

Com o resultado das simulações realizadas com o SAD-CIP foi possível confirmar a alteração da qualidade da água na área a montante da barragem Pirapama devido aos lançamentos diretos de esgotos domésticos e efluentes industriais e agroindustriais. A condição de poluição hídrica da bacia do rio Pirapama poderá ser minimizada com a implantação de instrumentos de gestão ambiental e de recursos hídricos como o enquadramento dos corpos d'água e a cobrança pelo uso da água.

Os resultados das simulações mostraram que a área a montante da barragem Pirapama está recebendo uma carga de DBO 15 vezes maior que a aceitável para a Classe 2, na qual encontra-se enquadrado. Esta carga está causando um déficit crítico de OD de 3,30 mg/L no ponto de lançamento, indicando que há uma intensa atividade biológica,

consequência do lançamento de águas residuárias predominantemente orgânica no corpo d'água. Isso poderá está afetando a vida aquática neste ponto.

De forma geral, o rio requer cerca de pelo menos 50,0% da concentração de saturação OD – que é função da temperatura e da altitude – para o desenvolvimento de peixes de melhor qualidade. Isso significa manter em média uma concentração mínima de OD em torno de 4 mg/L. Os valores médios de OD ao longo da extensão do rio na área a montante, encontram-se abaixo deste valor

Para que as águas da área a montante da barragem do rio Pirapama retornem a Classe 2 é preciso estabelecer um Tratamento Secundário e Terciário nos efluentes agroindustriais e induzir as agroindústrias a utilizarem tecnologias limpas em seus processos produtivos. Esse sistema teria um custo total de US\$ 3.341.012,82 com um custo incremental de US\$ 318,51/ton.

Na área a jusante da barragem Pirapama o lançamento das águas residuárias não está alterando a sua qualidade, portanto o trecho dessa área do rio encontra-se na classe do seu enquadramento - Classe 3. Nota-se que o lançamento de DBO está atendendo, também a Classe 2. A carga de fósforo lançada no rio é superior a que o rio suportaria para atender as classes 1, 2 e 3 e seu custo de remoção é muito elevado o que poderá inviabilizar a sua remoção levando a longo prazo à morte do rio.

A implantação dos instrumentos de gestão possibilitará o controle das fontes diretas de lançamento de resíduos, minimizando os impactos negativos que estes podem causar a qualidade das águas.

- Quanto aos tratamentos propostos

Os cenários propostos de melhoria da qualidade dos efluentes para a área a montante da barragem Pirapama mostram que o tratamento secundário é o único dos tratamentos considerados neste trabalho que possui eficiência na remoção da carga poluidora com valores da concentração de DBO próximos ou inferiores as concentrações limites da Classe 3 do enquadramento que é de 10 mg/L. As concentrações de DBO

conferidas ao rio variaram entre 8,05 mg/L e 10,3 mg/L quando as indústrias utilizam processos limpos/controlados. Para que o lançamento não altere a classificação do rio – Classe 2 é necessário que se estabeleça o Tratamento Secundário e Terciário e as agroindústrias utilizem em seus processos produtivos tecnologias limpas.

As simulações mostraram que a opção mais favorável economicamente e ambientalmente é o tratamento conjunto de todas as águas residuárias da área (indústrias, agroindústrias e esgotos domésticos). Do ponto de vista Econômico quanto maior a quantidade de carga a ser removida menor o custo unitário do sistema. Essa opção favoreceria as companhias de saneamento que geram uma carga pequena a não tratarem seus efluentes.

Foi possível verificar, também, que com a implantação de melhorias ambientais nos processos produtivos (técnicas limpas) das agroindústrias, ou seja, aquelas que utilizam compostos não agressivos e de baixo custo, exigem menor consumo de reagentes, produzem pouco ou nenhum resíduo e permitem controle mais simples e eficaz de sua eliminação, a carga polidora diminui e conseqüentemente o custo diminuirá.

Com base nas curvas de Custo Marginal para os poluentes DBO e SS (Figuras 5.9) pode-se concluir que é mais caro tratar uma carga de DBO do que de Sólidos em Suspensão. Ou seja, aplicando um tratamento às águas residuárias consegue-se remover uma maior carga de Sólidos Suspensos a um custo inferior ao de remoção de uma menor carga de DBO.

- Sobre a Resolução CONAMA e Padrões de lançamento

Como visto neste trabalho, no Brasil, o enquadramento dos corpos d'água é baseado na Resolução CONAMA nº 20/86, em Leis Estaduais, em Deliberações Normativas e no Índice de Qualidade da Água desenvolvido pela National Sanitation Foundation e adaptado pela CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Nota-se que apesar da Lei nº 9.433/97 estabelecer no Art. 10 que a classificação dos corpos d'água deve ser realizada pela legislação ambiental (Resolução CONAMA nº 20/86), há alguns Estados brasileiros que adotaram outras normas no

processo de enquadramento dos seus rios. Isto pode dever-se ao fato do enquadramento ter sido realizado antes da publicação da lei, com exceção do Estado de Rondônia, no qual o Decreto utilizado foi publicado posteriormente à resolução CONAMA nº 20/86. Ou porque as outras bases jurídicas atendem melhor às expectativas técnicas que a Resolução CONAMA nº 20/86.

A legislação ambiental (Resolução CONAMA nº 20/86) utilizada para atender ao enquadramento dos corpos d'água, necessita de revisão em vários aspectos. Dentre estes aspectos, o que provavelmente tem maior relevância é a redução da quantidade de parâmetros, a fim de possibilitar a redução nos custos das análises ou estabelecer um conjunto de parâmetros básicos de enquadramento fundamentado nas atividades da bacia e conseqüentemente o aumento do número de rios a serem monitorados. Existem parâmetros como o nitrogênio total e os sólidos suspensos, importantes para a avaliação da qualidade final das águas que não possuem limites estabelecidos para as Classes da referida Resolução e que deveriam ser incorporados na Resolução CONAMA nº 20/86 na sua revisão.

Quanto aos padrões de lançamento a Resolução CONAMA nº 20/86 não define a concentração de sólidos suspensos e não estipula o valor da concentração de DBO que poderá ser lançada no corpo d'água sem alterar sua qualidade. Não estabelece as concentrações de fósforo total e nitrogênio total que poderiam ser lançadas. Isso pode ser considerado uma falha porque estes dois parâmetros são de grande importância no controle e avaliação do estado trófico do lago.

Os padrões de lançamento mundiais para o parâmetro DBO são mais restritivos que os padrões brasileiros e estão bem definidos: 20 mg/L e 30 mg/L, visto o fator de diluição de 10 vezes de diluição no corpo d'água receptor.

- Quanto ao modelo SAD-CIP

Após a realização deste estudo conclui-se que utilização do SAD-CIP para a avaliação da poluição hídrica é satisfatória quando se deseja um planejamento dos investimentos e medidas globais necessários na bacia como comentado no início deste

capítulo – as simulações efetuadas com o modelo confirmaram a situação de poluição hídrica já identificadas pelo órgão ambiental. Este sistema fornece ao planejador os gastos anuais com um sistema de tratamento de águas residuárias, o tipo de tratamento adequado para remoção da carga poluente de cada indústria isoladamente, a carga imposta ao rio após o lançamento e, também, os custos do tratamento conjunto de todos os efluentes da área, considerando a convergência das águas residuárias para uma única estação de tratamento.

Entretanto, não é ferramenta de análise aprofundada no caso da avaliação do controle da poluição hídrica pois esse sistema não considera o lançamento das águas residuárias diariamente, que seria a situação real, e sim anualmente. O procedimento desta análise leva ao usuário simular a condição de cada fonte potencialmente poluidora não sendo muito conveniente quando o número destas fontes na área for elevado.

Quando são consideradas todas as fontes potencialmente poluidoras conjuntamente, obtém-se valores médios o que não permite uma avaliação ao longo da extensão do rio do comportamento qualitativo do mesmo. Essa foi a situação estabelecida neste trabalho.

O sistema não avalia a condição de poluição utilizando a vazão crítica do corpo d'água e sim uma vazão média. Nos pontos de lançamentos deve-se avaliar a vazão crítica para que nos períodos de estiagem o corpo d'água não seja comprometido com lançamentos de águas residuárias. O sistema (SAD-CIP) não possui os diferentes sistemas de tratamento para cada tipo (primário, secundário e terciário) e sim fornece informações considerando o tipo de tratamento mais avançado com o objetivo de garantir a maior eficiência possível. Portanto, os custos estimados pelo SAD-CIP são custos não são fixos, podendo variar de acordo com o sistema de tratamento utilizado.

- Quanto à cobrança pelo lançamento de efluentes

Das simulações da cobrança para a área a montante da barragem Pirapama pode-se concluir que o valor mais adequado a ser cobrado pelo uso da água para lançamento de efluentes seria US\$ 320 /ton. Com este valor a arrecadação total para o

órgão gestor seria de US\$ 461,459.20. Essa arrecadação cobriria os custos de operação e manutenção (R\$ 1.444.524,82) e o de melhoria da qualidade da água (R\$ 140.000,00) do programa de controle de poluição hídrica. Isso com o dólar cotado a US\$ 3,6 reais. Esse valor induziria as agroindústrias a tratarem 96,5% da sua carga de DBO e os esgotos domésticos a serem lançados sem tratamento devido à pequena carga gerada. A carga lançada estaria dentro da capacidade de assimilação do rio, não alterando a quantidade de oxigênio dissolvido requerido para a classe 2 na qual está enquadrado.

Nota-se, então, que para a área a montante da barragem Pirapama cobrar um valor abaixo de US\$ 2.26 /ton não é eficiente para o sistema de cobrança de um Programa de Gerenciamento de Recursos Hídricos e que a melhor opção seria estipular o valor da cobrança em US\$ 320.00 /ton de DBO a ser removida porque requer um investimento menor por parte dos usuários.

A metodologia utilizada torna-se ineficiente para a área a jusante da barragem Pirapama porque os usuários desta área que estão contribuindo menos para a poluição pagarão um valor maior que os usuários da área a montante que tem uma capacidade maior de poluir.

6.2. RECOMENDAÇÕES

- Para estudos futuros

- Adaptar o SAD-CIP para a realidade do Brasil com fatores de emissões coerentes com as características das indústrias brasileiras e outras adaptações que se fizerem necessárias, ou até mesmo, criar um Sistema de Apoio a Decisão, próprio para a realidade local.
- Modificar a estrutura do SAD-CIP a fim de avaliar a qualidade da água com maiores detalhes, incluindo-se modelos que permitam uma avaliação mais detalhada da situação local e uma estrutura que permita a avaliação separada de cada fonte potencialmente poluidora isoladamente sem que necessite realizar várias simulações para esta finalidade;

- Realizar um estudo de viabilidade econômica a fim de verificar a possibilidade da realização do tratamento conjunto de todas as águas residuárias da área da bacia visando o lançamento em um único ponto. Essa medida afetará a condição da qualidade da água em um único ponto gerando menores problemas para a vida aquática;
- Realizar estudos sobre o impacto da cobrança nos usuários pagantes.

- Para o órgão ambiental e gestor de Recursos Hídricos

- Analisar as diferentes normas utilizadas no processo de enquadramento, e após efetuar as alterações da Resolução CONAMA nº 20/86, base jurídica estabelecida pela Lei 6.938/81, para o enquadramento dos corpos d'água de todo o território nacional re-enquadrar o rio Pirapama com base na Resolução CONAMA Revisada;
- Estabelecer um limite pelo qual os padrões possam ser ultrapassados sem causar danos à saúde pública para que a água não seja classificada em uma Classe superior devido somente a um percentual insignificante do mesmo que poderá não interferir na sua qualidade;
- Incentivar as indústrias implantarem em seus processos produtivos, técnicas limpas a fim de minimizarem seus resíduos e lançarem efluentes com melhor qualidade nos corpos hídricos;
- Exercer uma prática de reuso dos esgotos domésticos na agricultura ou piscicultura devido a alta concentração de nutrientes, minimizando assim os custos de tratamento que em função de sua pequena carga são bastante onerosos;
- Utilizar ferramentas que simulem custos totais anuais que as empresas teriam para tratar seus efluentes indicando o custo e o tipo do tratamento e quanto pagariam pelo lançamento. E possuir informações, também, sobre a capacidade de assimilação da carga lançada pelo corpo receptor. Sabe-se que níveis de poluição acima da capacidade assimilativa do meio desencadeiam efeitos cumulativos de poluentes, implicando custos externos marginais da poluição crescentes, e que, portanto devem ser evitados.

CAPÍTULO 7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALARINE, O. F. O e NETO P. B. S. *O Processo de Construção do Modelo de Cobrança pelo Uso da Água na Bacia do Rio Santa Maria (Modelo STÁgua)*. IV Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, 2001. Disponível em: <http://nepam.unicamp.br/ecoeco/iv_en/mesa3/6.pdf> 02 out, 2002

BERNSTEIN, Janis D. *Alternative approaches to pollution control and waste management: regulatory and economic instruments* Urban management and the environment, USA, 1993.

BUCKLAND, J. e ZABEL, T. 1998, "Economic and Financial Aspects of Water Management Policies". In: F. N. Correa (Ed) *Selected Issues in Water Resources Management in Europe 2*. A. A. Balkema, Rotterdam, pp. 261 - 352.

BRASIL. *Resolução CONAMA nº 20, de 18 de junho de 1986. Estabelece a classificação de águas doces, salobras e salinas*. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, p. 11.356, 30 jul. 1986

BRASIL. *Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências*. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília - DF, 1981.

BRASIL, 1997. *Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei*

8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 1997.

CARRERA-FERNANDEZ, J. Estudo de cobrança pelo uso da água na bacia hidrográfica do Vaza-Barriz. Relatório Final. Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente (SRH/MMA). Brasília, 1999

CARRERA-FERNANDEZ, J. *Estudo de Cobrança pelo uso da Água na bacia hidrográfica do rio Pirapama*. Relatório Final. Companhia Pernambucana de Meio Ambiente (CPRH)/Department for International Development (DEFID)/Environment Resources Management (ERM). Recife, 2000a. 243p.

CARRERA-FERNANDEZ, J. e GARRIDO, R. J. *O Instrumento de cobrança pelo uso da água em bacias hidrográficas: Uma análise dos Estudos no Brasil*. Fórum Banco do Nordeste de desenvolvimento. Anais do V encontro regional de Economia da ANPEC. Revista Econômica do Nordeste, v. 30, n. especial, p.604-628, 2000.

CEC - COUNCIL OF EUROPEAN COMMUNITIES. Council Directive of 21 May 1991 Concerning Urban Wastewater Treatment (91/271/EEC). *Official Journal of the European Communities*, L135/40-52, 30 May 1991.

CPRH. *Enquadramento das bacias hidrográficas dos rios Jaboatão e Pirapama*. Pernambuco – Recife. Companhia Pernambucana do Meio Ambiente, 1985.

CPRH/DFID. *Estudo dos Recursos Hídricos da Bacia do Rio Pirapama*. Recife: Companhia Pernambucana do Meio Ambiente/Department for International Development (Publicações Projeto Pirapama), 1998.

CPRH/DFID. *Diagnóstico do uso e ocupação do solo – bacia do rio Pirapama*, Recife: Companhia Pernambucana do Meio Ambiente/Department for International Development (Publicações Projeto Pirapama), 1998a.

CPRH/DFID. *Estudo Sócio-Econômico da Bacia do Rio Pirapama*. Recife: Companhia Pernambucana do Meio Ambiente/Department for International Development (Publicações Projeto Pirapama), 1998b

CPRH/DFID. *Avaliação da poluição Ambiental na bacia do Rio Pirapama*. Recife: Companhia Pernambucana do Meio Ambiente/Department for International Development (Publicações Projeto Pirapama), 1998c.

DANIÉL, L. A. *Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável*. Rio de Janeiro, PROSAB – Rede Cooperativa de Pesquisas. 1ª Ed. 2001, 155p

FILHO, C. N. *Pirapama – Uso será Pago. Cobrança pela água tem por propósito melhorar a qualidade do rio e da vida dos habitantes da região*. Em Pauta - Revista Águas do Brasil da Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF. Ano 2, n. 5, p. 28-31, Outubro/Dezembro, 2001.

GAMA, A. M. C., CAVALCANTI, D. J e FARIAS, V. *O enquadramento e a classificação dos rios da bacia do Pirapama - Pe*. Simpósio Internacional sobre Gestão de Recursos Hídricos. IPH – Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Gramado - RS, 1998.

GARRIDO, R. *O que é enquadramento de um rio?* Em Pauta – Revista Folha do Meio Ambiente. Brasília/DF, Ano 12, n. 124, mar de 2002. Disponível em: <<http://www.folhadomeioambiente.com.br/jsp/fma-124/garrido.jsp>> 20 dez, 2002.

HAASE, J., COELHO, M. L., COBALCHINI, M. S. *Evolução do processo de enquadramento na Gestão de Recursos Hídricos – Experiência no rio grande do sul*. FEPAM, 2001.

HY-TEC The Development Company. *Cobrança do rio Paraíba do Sul deve ser adiada*. Em Pauta – Jornal o Estado de São Paulo, São Paulo, p. C2, [1X23,5], 08 dez, 2001 . Disponível em: <<http://www.saneamentobasico.com.br>>, 22 out, 2002

- LEEUWESTEIN, J. M. e MONTEIRO, R. A. BRASILIA. Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Recursos Hídricos (MMA/SRH). Gerência de Implantação dos Instrumentos da Política. *Procedimentos Técnicos para Enquadramento de Corpos de Água*: Documento Orientativo, Brasília, 2000. 47p.
- MACIEL, Jr. Zoneamento das Águas: *Um Instrumento de gestão dos Recursos Hídricos*. Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM. 1ª Ed. Belo Horizonte - MG, 2000. 112p.
- MEDEIROS, Y. D. P., PINTO, E. C. L. e LEAL, Y. M. S. *Cobrança pelo Uso da Água: uma simulação na bacia do rio salitre - Bahia - Brasil*. IV Diálogo Interamericano de Gerenciamento de Águas, Foz do Iguaçu, Paraná, set. 2001
- MENDES, F. E. *Uma Avaliação dos Custos de Controle da Poluição Hídrica de Origem Industrial no Brasil*. 1994, 213 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Nuclear e Planejamento Energético) – Instituto de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro.
- NASCIMENTO, L. V. *Análise dos Padrões de Qualidade das Águas e de Lançamento de efluentes líquidos estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 20/1986. Uma abordagem para águas doces*. 1998, 123 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- OCDE, 1998, *Water Management Performance and Challenges in OECD Countries*.
- PEREIRA, J. S. e LANNA, A. E. L. *O Enquadramento dos Corpos D'água em Classe de Uso como Instrumento de Gestão e a Necessidade de Revisão da Resolução CONAMA Nº 20/86*. Simpósio Internacional sobre Gestão de Recursos Hídricos – SINGREH, out, 1998.

- POMPEU, C. T. Fundamentos jurídicos do anteprojeto de cobrança pela utilização das águas do domínio do Estado de São Paulo. In. *Audiência Pública sobre Anteprojeto de Lei de Cobrança pelo Uso da Água*. São Paulo, agosto, 1997.
- PORRÉCA, L. M. *Enquadramento dos corpos d'água: Instrumento de Gestão Ambiental e de Gestão dos Recursos Hídricos*. Orientações. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Brasília-DF, 1998. 24p.
- PORTO, R. L., LANNA, A. E., BRAGA Jr, B. P. F., CIRILO, J. A., FILHO, K. Z., AZEVEDO, L. G. T., CALVO L., BARROS, M. T. L. e BARBOSA. P. S. F. UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos. *Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Porto Alegre, 1997. p. 43-95.
- RIBEIRO, M. M. R. e LANNA, A. E. L. *Instrumentos regulatórios e econômicos: Aplicabilidade à gestão das Águas e à Bacia do rio Pirapama-Pe*. RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos Porto Alegre. vol. 06, n.04, Out/Dez 2001, pp. 41-70.
- RIBEIRO, M. M. R. *Alternativas para a outorga e a cobrança pelo uso da água: simulação de um caso*. 2000, 200 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Rio Grande do Sul - Porto Alegre.
- SANTOS, M. O. R. M. *O Impacto da Cobrança pelo Uso da Água no Comportamento do Usuário*. 2000, 241p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.
- SCHVARTZAMN, A. S., NASCIMENTO, N. O. e VON-SPERLING. M. *Outorga e Cobrança pelo uso de Recursos Hídricos: Aplicação à Bacia do rio Paraopeba-MG*. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre. Vol. 07, n.01, Jan?Mar 2002, pp. 103-122.
- SILVA, J. B. P. *Remoção de Coliformes Fecais e matéria orgânica em Reservatório profundo de Estabilização de Tratamento de águas Residuárias Domésticas*. 1998.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Meio Ambiente) – Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

SRH/MMA – Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente. *Em Pauta* - Revista Águas no Brasil, Brasília, DF, Ano 2. n. 5, p. 28-31, out/dez. 2001.

SRHSO/SP - SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS, SANEAMENTO E OBRAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. In: _____. *Relatório Cobrança pelo Uso da Água*. São Paulo, 2002. Disponível em: <<http://www.recursoshidricos.sp.gov.br/cobran.htm>>. Acesso em: 20 ago, 2002.

VON SPERLING, M. Análise dos padrões brasileiros de qualidade de corpos d'água e de lançamento de efluentes líquidos. *RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Porto Alegre. vol. 3, n.1, pp. 111-132, Jan/Mar 1998.

WORLD BANK. *Decision Support System for Integrated Pollution Control. A software for education and analysis in pollution management. Software for education and analysis in pollution management*. User guide. Washigton DC, USA, 1998, 132p.