

ELAINE REGINA OLIVEIRA DOS SANTOS

**GESTÃO INTEGRADA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS E
ZONA COSTEIRA APLICADA AO SISTEMA ESTUARINO DO
RIO TRAMANDAÍ, RS**

Florianópolis
2007

**Universidade Federal de Santa Catarina
Centro de Filosofia e Ciências Humanas
Programa de Pós-Graduação em Geografia**

Elaine Regina Oliveira dos Santos

**GESTÃO INTEGRADA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS E ZONA
COSTEIRA APLICADA AO SISTEMA ESTUARINO DO RIO
TRAMANDAÍ, RS**

Orientador: Prof. Dr. Jarbas Bonetti Filho

Co-orientador: Prof. Dr. Carlos André Bulhões Mendes

TESE DE DOUTORADO

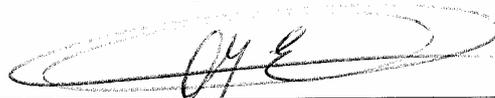
Área de concentração: Utilização e Conservação de Recursos Naturais

Florianópolis/SC, agosto de 2007

“Gestão integrada de bacias hidrográficas e zona costeira aplicada ao sistema estuarino do Rio Tramandai-RS.”

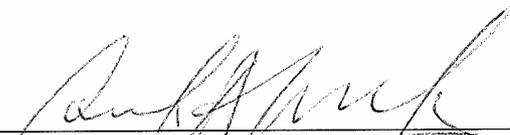
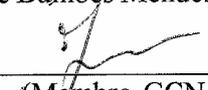
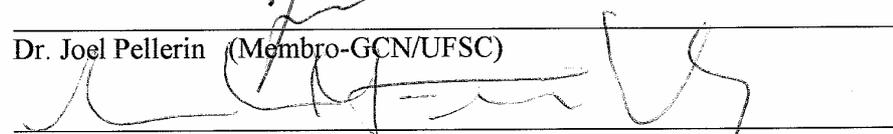
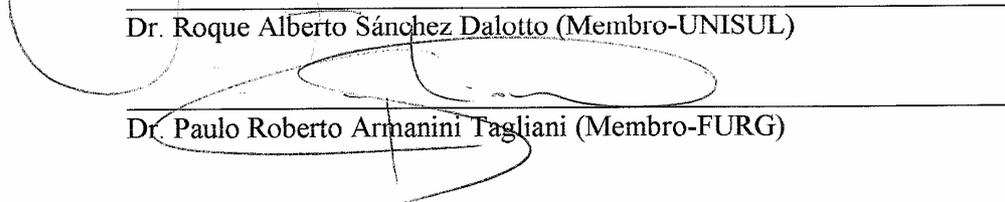
Elaine Regina Oliveira dos Santos

Tese submetida ao Curso de Doutorado em Geografia, área de concentração, Utilização e Conservação de Recursos Naturais, do Programa de Pós-Graduação em Geografia do Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Santa Catarina, em cumprimento aos requisitos necessários à obtenção do grau acadêmico de Doutor em Geografia.



Prof. Dr. Carlos José Espíndola
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Geografia

APROVADA PELA COMISSÃO EXAMINADORA EM: 14/08/2007


Dr. Carlos André Bulhões Mendes (Presidente e Co-orientador-UFRGS)
Dr. Joel Pellerin (Membro-GCN/UFSC)
Dra. Sandra Maria de Arruda Furtado (Membro-PPGG/UFSC)
Dr. Roque Alberto Sánchez Dalotto (Membro-UNISUL)
Dr. Paulo Roberto Armanini Tagliani (Membro-FURG)

Florianópolis - 2007

À memória da minha amada mãe, Alair
Oliveira dos Santos, a maior evidência de
Deus que eu encontrei na Terra.

AGRADECIMENTOS

Terra, uma verdadeira “escola” para a nossa evolução como espíritos imortais. Tribulações, lutas redentoras, rupturas, despedidas dolorosas. A “Fênix” partiu com sua luz e esplendor e a noite surgiu implacável. Escuridão e frio. Quem pode compreender o coração que se esvaziou de alegria? Continuar, resistir, levantar e andar, apesar dos “moinhos de ventos”... Uma Tese no caminho, uma fuga ou um encontro? Seja qual for a resposta uma coisa é certa: é um processo no qual as virtudes da paciência, da coragem e da resignação devem ser exercitadas ao extremo. Mas o Senhor nunca desampara as suas criaturas. Mesmo diante do que é incompreensível ao ser, com o tempo Ele revela a extensão da sua misericórdia. Portanto, é necessário proclamar *“Volta, minha alma, a tua serenidade, porque o Senhor foi bom para contigo”*. A bondade divina não dispensa o recurso humano para a sua ultimação. Assim, agradeço a todos aqueles que contribuíram cada um à sua maneira, para que eu conseguisse alcançar o fim colimado. Ao Professor Jarbas Bonetti Filho (LOC/UFSC) pela oportunidade de fazer um Doutorado, quando a grande maioria dos brasileiros ainda permanece excluída dos bancos universitários e ao Professor Carlos André Bulhões Mendes (IPH/UFRGS) que nunca duvidou da minha capacidade de superar obstáculos e sem o qual eu não teria realizado a tese. A todo o corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Catarina, onde concluí o trabalho, pela solicitude com que se dedicam ao aprimoramento do saber geográfico. Aos Diretores do Departamento de Recursos Hídricos, Secretaria Estadual do Meio Ambiente, RS, Volney Zanardi Júnior, Rogério Dewes e Ivo Mello pela compreensão e fundamental apoio e aos demais colegas de trabalho, em especial a Eduardo Zorrilla (*in memoriam*), Elena Maria Velho, Eva Vilma Delucca e João Manuel Trindade e Silva pelo permanente carinho e atenção. Aos meus pupilos Marcos Stürmer, Eliana Cansan e Graziela Miranda pelo auxílio na coleta de dados. Ao Grupo de Gerenciamento Costeiro da FEPAM/RS, ao Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí e às colônias de pescadores desta bacia pelas valiosas contribuições. Às pesquisadoras Luiza Chomenko (Fundação Zoobotânica/RS), Simone Kapusta (Biociências/UFRGS) e Ivone Fausto (CECLIMAR/UFRGS) pelas inestimáveis informações técnicas e aos geógrafos Rejane Valdameris (GEOFEPAM/RS) e

Henrique Hasenack (Centro de Ecologia/UFRGS) pelas preciosas orientações na área de geoprocessamento. Aos casais amigos Cleci e Vicente, Loni e Otacílio e Eroni e Marcos pelo afeto que dedicaram à minha mãe e do qual eu tenho a felicidade de compartilhar. Ao Irmão Henrique Justo (Unilasalle) e às amigas Dulce e Adda-Nari pelas palavras de encorajamento e incentivo. À Dra. Eliana Gonçalves Lordelo, minha médica querida, pelo cuidado e desvelo. E por fim às minhas companheiras caninas, Suyhê, Vitória, Aiuni e Polyana, pelo amor incondicional que me seguiu e guardou na difícil travessia do “deserto da vida”.

Não fales “não posso” e nem digas “desesperei”. Quando tiveres de pronunciar a palavra “exaustão” deixa que a esperança te refulja em silêncio e sempre que te suponhas na liquidação de todos os sonhos, contempla as flores que desabrocham sobre ruínas.

Meimei

RESUMO

A presente tese teve como objetivo contribuir para a gestão integrada de bacias costeiras, através da avaliação dos fluxos de água doce e salgada, em um sistema estuarino, e da elaboração de cenários que simulem condições hidrológicas extremas. Para tanto, foi aplicado um modelo de balanço de massa para um estuário ideal de diferenças finitas, no contexto da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí, RS. Os resultados produzidos permitiram que se avaliasse a distribuição espaço-temporal da salinidade no sistema simulado. A consistência dos mapas gerados foi examinada por meio de dados existentes na bacia. Os maiores erros foram encontrados no canal da desembocadura do sistema, segmentado em três polígonos, o que gerou uma instabilidade numérica no modelo. Os melhores resultados foram obtidos no subsistema sul, onde se registram os menores aportes de água doce e a hidrodinâmica é menos intensa em comparação ao subsistema norte. Um resultado importante foi encontrado na Lagoa do Passo, onde se pode constatar a propagação de sais no interior do seu segmento mais ao sul. Como este corpo aquoso é muito utilizado para o abastecimento público e para a irrigação do arroz, foram simulados dois cenários, a fim de se testar o potencial da metodologia como ferramenta de apoio à gestão integrada. O primeiro foi estabelecido, inicialmente, pelo aumento simples de 50% nas demandas de água para a orizicultura no canal principal do Rio Tramandaí, o que não alterou a salinidade na lagoa, mas produziu um decréscimo de sua concentração no canal do rio. Isto pode ser conferido a uma maior dispersão de sais na linha de fronteira para a irrigação, o que representará um problema para os irrigantes. Outra modificação feita neste cenário foi a redução das vazões nos segmentos do Rio dos Postes. O resultado provocou um aumento na concentração salina para a Lagoa do Passo de 14,83 ‰ para 15,72 ‰. Para o segundo cenário foi definido um aumento nas vazões ao longo do Rio dos Postes e do Rio Tramandaí, o que diminuiu a concentração na Lagoa do Passo para 0,3 ‰. Apesar das restrições inerentes à modelagem e à qualidade dos dados disponíveis, a metodologia utilizada foi capaz de prever a concentração de salinidade com um erro aceitável na maioria dos segmentos. O trabalho desenvolvido em ambiente de SIG facilitou a elaboração de cálculos e gerou mapas que espacializaram também o erro modelado. Isto favoreceu a identificação de problemas e os ajustes nos polígonos. A segmentação de extensas lagoas representou um avanço para a estimativa das trocas de matéria entre oceano e continente na bacia estudada. Esta divisão possibilitou capturar, à medida do possível, efeitos das descargas dos rios e da retirada de água para o atendimento de usos como abastecimento e irrigação. Como aplicação prática da metodologia se destaca a possibilidade de disponibilizar aos diferentes atores sociais, responsáveis pela gestão de recursos hídricos e costeiros, informações espacializadas que permitam um acompanhamento mais abrangente do fenômeno estudado. Desta forma, a solução de conflitos de uso e a seleção das estratégias a serem adotadas tendem a ser agilizadas.

ABSTRACT

The present thesis has as objective to contribute for the integrated management of coastal basins, through the evaluation of the salty water and fresh water flows, in an estuary system, and elaboration of scenarios that simulate extreme hydrological conditions. For in such a way, a model of mass balance for an ideal estuary of finite differences was applied, in the context of the Tramandaí River Watershed, RS. The produced results had allowed that the distribution of the salinity was evaluated in space and in time in the simulated system. The consistency of the generated maps was examined by means of existing data in the basin. The biggest errors had been found in the mouth of the Tramandaí River as a result of its segmentation, what generated a numerical instability in the model. The best ones resulted had been gotten in the south subsystem, where are observed the minors register in fresh water entrance and the hydrodynamics is less intense in comparison to the north subsystem. An important result was found in the Passo Lagoon, where the propagation of salt in its south segment can evidence. As this watery body is very used for the public water supplying and the irrigation of rice, two scenarios had been simulated, in order to test the potential of the methodology as a tool of support to the integrated management. The first one was established, initially, for the simple increase of 50% in the water demands for the rice in the main channel of Tramandaí River. It did not modify the levels of salt in the lagoon, but produced a decrease of the concentration in the channel of the river. This can be conferred to a bigger dispersion of salts in the frontier line for the irrigation, what it will represent a problem for the farmers. Another modification made in this scenario was the reduction of the outflows in the segments of the River of Postes. The result produced an increase in the salinity concentration for the Passo Lagoon of 14.83 ‰ for 15.72 ‰. For the second scenario an increase in the outflows throughout the River of Postes and Tramandaí River was defined. It diminished the concentration in the Passo Lagoon to 0,3 ‰. Although the inherent restrictions to the modeling and the quality of the available data, the used methodology was capable to predict the concentration of salinity with an acceptable error in the majority of the segments. The work developed in GIS environment facilitated the calculations and generated maps that also show in space the model error. This facilitated the identification of problems and the adjustments in the polygons. The segmentation of extensive lagoons represented an advance for the estimate of the exchanges of substance between ocean and continent in the studied basin. This division made it possible to capture, to the measure of the possible one, effect of the discharges of the rivers and the water demands for the attendance of uses as supplying and irrigation. As practical application of the methodology emphasizes the possibility of disposing to the different scathollers, that are responsible for the management of water and coastal resources, spatial information that allow a more including accompaniment of the studied phenomenon. In such a way, the solution of use conflicts and the election of the strategies to be adopted tend to be sped.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí	21
Figura 2 – Principais componentes espaciais do domínio do ICARM	34
Figura 3 – Esquema de fluxos de um estuário bidimensional	39
Figura 4 – Componentes principais da estrutura de uma modelagem matemática	43
Figura 5 – Modelo conceitual de transporte para um canal unidimensional.....	52
Figura 6 – Esquema de segmentação.....	53
Figura 7 – Exemplo da interação entre os fluxos de um segmento i.....	54
Figura 8 – Estuário representado com segmentos finitos	56
Figura 9 – Baía de Corpus Christi, localização e bacia hidrográfica	58
Figura 10 – Tela típica do balance	61
Figura 11 – Janelas do balance para a mudança de atributos em linhas e em polígonos	62
Figura 12 – Janela do balance para a introdução dos parâmetros de controle.....	63
Figura 13 – Mensagem de informação para dados calculados em polígonos	64
Figura 14 – Modelo de segmentação da Baía de Corpus Christi, EUA.....	64
Figura 15 – Salinidade medida na Baía de Corpus Christi.....	65
Figura 16 – Mapas da salinidade e do erro modelado; em azul a salinidade foi subestimada e em vermelho, superestimada	66
Figura 17 – Salinidade, fluxos de massa e cargas em Corpus Christi	67
Figura 18 – Metodologia para a estimativa da qualidade da água, através do balanço de massa	69
Figura 19 – Sistema estuarino de Ciénaga Grande de Santa Marta.....	72
Figura 20 – Análise sensível do balanço de massa de Ciénaga Grande	74
Figura 21 - Divisão Política da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí, RS.....	77
Figura 22 – Batimetrias realizadas nas lagunas de Tramandaí e do Armazém, na década de 1940 e em 1997	87
Figura 23 – Salinidade medida no canal da Barra do Rio Tramandaí, em outubro/2000 a julho/2002	92
Figura 24 – Padrão de circulação atmosférica no Rio Grande do Sul.....	99
Figura 25 - Frequência e velocidade média dos ventos, Estação de Imbé, RS	100
Figura 26 – Mapa de uso do solo	102
Figura 27 – Gráficos dos valores mensais para as vazões Q_{90} e Q_{95} para os rios Maquiné e Três Forquilhas, Bacia do Rio Tramandaí	104
Figura 28 – Mapa da classificação atual das águas da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí, RS.....	113
Figura 29 – Demandas e cargas anuais, em %, estimadas para 2004, Bacia do Rio Tramandaí, RS	115
Figura 30 – Prognóstico das demandas hídricas superficiais e das cargas orgânicas, em %, para 2012, na Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí, RS.....	116
Figura 31 – Zoneamento ecológico-econômico do Litoral Norte do RS	118
Figura 32 – Enquadramento das águas do Litoral Norte proposto por FEPAM em 1997 ...	120
Figura 33 – Proposta de enquadramento das águas aprovada pelo Comitê da Bacia do Rio Tramandaí	134
Figura 34 – Fluxograma geral da metodologia da tese	137
Figura 35 – Hidrografia original em azul e corrigida em amarelo do delta e do canal do Rio Tramandaí	138
Figura 36 – Mapa das estações climatológicas e pluviométricas utilizadas.....	142
Figura 37 – Mapa das estações fluviométricas e sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí, RS	145
Figura 38 – Diagrama demonstrativo de fluxos em um canal e das aproximações utilizadas para a sua medida	146
Figura 39 – Rede de Monitoramento da Qualidade da Água da FEPAM.....	149

Figura 40 – Gráfico da variação da salinidade em função da distância, campanha verão/ 2005, FEPAM, no qual foram plotadas a linha de tendência e a equação de regressão linear adotada para o cálculo de E	152
Figura 41 – Diagrama demonstrativo da estimativa das distâncias e da salinidade em segmentos utilizados na simulação	152
Figura 42 – Delta do Rio Tramandaí e diagrama ilustrativo da estimativa da salinidade nos respectivos canais	153
Figura 43 – Fluxograma da etapa de preparação dos dados para a modelagem.....	154
Figura 44 – Fluxograma das etapas realizadas para a simulação do balanço de massa ...	158
Figura 45 – Batimetria dos corpos de água utilizados na simulação, em metros, com destaque para as lagoas Itapeva e do Passo.....	160
Figura 46 – Representações das lagoas de Tramandaí e do Armazém preparadas para a simulação.....	161
Figura 47 – Corpos de água segmentados para o balanço de massa, Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí, RS	162
Figura 48 – Representações da evaporação e precipitação média anual, em metros, dos corpos de água simulados.....	167
Figura 49 – Exemplo de interface entre os segmentos sul e norte da Lagoa de Tramandaí, RS.....	168
Figura 50 – Comparação entre os modelos utilizados na tese e no Plano de Bacia do Rio Tramandaí	172
Figura 51 – Volumes totais de chuva e evapotranspiração estimados para a Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí, RS.....	173
Figura 52 – Mapas da salinidade modelada e do erro modelado.....	177
Figura 53 – Salinidade modelada e erro modelado para a Lagoa das Custódias, Rio dos Camarões, Lagoas do Armazém e Tramandaí, Delta e Canal da Barra	178
Figura 54 – Salinidade modelada e erro modelado no canal principal do Rio Tramandaí e Lagoa do Passo.....	179
Figura 55 – Salinidade modelada e erro modelado no Rio dos Postes, lagoas Pinguela, Palmital e Malvas, Canal João Pedro e Lagoa dos Quadros	180
Figura 56 – Salinidade modelada e erro modelado no Rio dos Cornélios e na Lagoa Itapeva	181
Figura 57 – Gráfico dos teores de cloretos encontrados no verão de 2005, estação de captação de água da CORSAN, Lagoa do Passo.....	182
Figura 58 - Cenário 1 simulado para a Lagoa do Passo	184
Figura 59 – Cenário 2 simulado para a Lagoa do Passo	185

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Matriz do Gerenciamento Ambiental	28
Tabela 2 – Instrumentos aplicados às políticas públicas de gestão ambiental no Brasil, com base em Zamboni (2003) e na legislação específica.....	36
Tabela 3 – Parâmetros de controle do Balance	62
Tabela 4 – Níveis de observação do usuário	63
Tabela 5 – Área e demografia dos municípios, Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí, RS ..	80
Tabela 6 – Características gerais das lagoas do subsistema norte	82
Tabela 7 - Características gerais das lagoas do subsistema sul.....	83
Tabela 8 – Valores médios e desvio padrão da temperatura, profundidade e salinidade, campanhas realizadas no ano 2000	91
Tabela 9 - Valores mensais de vazão dos canais com 95% de permanência (m ³ /s)	104
Tabela 10 - Volumes existentes ou superados em 95% do tempo (milhões de m ³)	105
Tabela 11 - Classificação dos parâmetros de qualidade da águas superficiais nos pontos de monitoramento	108
Tabela 12 - Classes e uso das águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí por manancial monitorado	110
Tabela 13 - Disponibilidade para captação (V _{90%} - V _{ECO} em milhões m ³ ou Q _{90%} - Q _{ECO} em m ³ /s) por manancial	125
Tabela 14 - Consumo mensal (m ³), correspondente às demandas de abastecimento, criação animal e irrigação	126
Tabela 15 - Percentual da disponibilidade hídrica utilizado para usos consuntivos.....	130
Tabela 16 – Classe atual das águas e cenários de enquadramento propostos.....	131
Tabela 17 - Intervenções para cada corpo de água conforme a Proposta Final de Enquadramento	132
Tabela 18 – Estações Climatológicas utilizadas.....	140
Tabela 19 – Estações Pluviométricas utilizadas.....	141
Tabela 20 – Estações fluviométricas, Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí, RS.....	144
Tabela 21 – Médias dos dados das estações fluviométricas de Capão dos Querinos, Barra dos Cornélios e João Pedro Montante	147
Tabela 22 – Demandas de água consuntiva nos corpos de água simulados	147
Tabela 23 – Dados da rede de monitoramento da qualidade da água da FEPAM, campanha de 2005.....	150
Tabela 24 – Dados de salinidade (‰) nas campanhas de verão e inverno de 2005, da Rede de Monitoramento da FEPAM	151
Tabela 25 – Dados de salinidade medida (sm) e salinidade inicial (so) utilizadas para a simulação (‰).....	156
Tabela 26 – Segmentação definida para a simulação.....	163
Tabela 27 – Profundidade média, área e volume dos segmentos	164
Tabela 28 – Evaporação e precipitação nos segmentos utilizados.....	165
Tabela 29 – Geometria da interface dos segmentos.....	167
Tabela 30 – Fluxos na interface dos segmentos.....	169
Tabela 31 – Vazões afluentes e derivadas por segmento.....	170
Tabela 32 – Ajustes finais nos fluxos entre as linhas de interface	174
Tabela 33 – Comparação entre salinidade medida e modelada (‰)	175

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
1.1 A RELEVÂNCIA DA TEMÁTICA.....	16
1.1.1 Água, um bem cada vez mais escasso	16
1.1.2 Zona costeira, vulnerabilidades e conflitos	17
1.1.3 O dilema da gestão integrada.....	18
1.2 APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	19
1.3 OBJETIVOS PROPOSTOS	22
1.3.1 Objetivo geral.....	22
1.3.2 Objetivos específicos.....	23
1.4 ESTRUTURA DA TESE.....	23
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	25
2.1 INTRODUÇÃO	25
2.2 GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS COSTEIRAS: O PROCESSO E SUAS INTERFACES	26
2.2.1 A gestão ambiental	26
2.2.2 A gestão das águas e seus princípios orientadores	28
2.2.3 A bacia hidrográfica como unidade de gestão.....	30
2.2.4 Integração gerenciamento de bacias hidrográficas e zona costeira.....	32
2.2.5 Governança costeira e os desafios para o gerenciamento integrado no Brasil....	34
2.2.6 Estuários, a expressão da interface	37
2.3 ESTUDO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS COSTEIRAS E MODELAGEM MATEMÁTICA.....	39
2.3.1 Definição de modelos	40
2.3.2 A seleção do modelo	41
2.3.3 Estrutura de um modelo matemático para a qualidade da água	42
2.3.4 Princípios para aplicação da modelagem em estuários	44
2.3.5 O balanço de massa em sistemas estuarinos	47
2.3.6 Modelando um estuário através das diferenças finitas.....	51
2.4 APLICAÇÕES DA MODELAGEM DO BALANÇO DE MASSA.....	56
2.4.1 Baía de Corpus Christi, Texas, EUA.....	57
2.4.2 Estuário de Ciénaga Grande de Santa Marta, Colômbia.....	71
3 A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TRAMANDAÍ	75
3.1 INTRODUÇÃO	75
3.2 LOCALIZAÇÃO	76
3.3 CARACTERIZAÇÃO GERAL.....	78
3.4 O SISTEMA HÍDRICO DA BACIA E SUA DINÂMICA NATURAL	80
3.4.1 Os subsistemas norte e sul da bacia	81
3.4.2 O sistema estuarino	85
3.4.3 O ambiente fluvial	92
3.4.4 Os ambientes deltáico e paludial	94
3.4.5 Os condicionantes climáticos e seus efeitos	96
3.5 USO DO SOLO NA BACIA	100
3.6 DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUPERFICIAL E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA NA BACIA	101
3.6.1 Disponibilidade hídrica superficial quantitativa	103
3.6.2 Disponibilidade hídrica superficial qualitativa	107
3.6.3 Demandas hídricas da água superficial.....	114
3.6.4 Prognóstico das demandas hídricas.....	115
3.7 OS INSTRUMENTOS DE GESTÃO CONSOLIDADOS	116
3.7.1 O Zoneamento ecológico-econômico e o enquadramento das águas	116

3.7.2 O Plano de Bacia	122
4 METODOLOGIA ADOTADA.....	136
4.1 INTRODUÇÃO	136
4.2 PROCEDIMENTOS PARA O BALANÇO DE MASSA.....	136
4.2.1 Segmentação das principais lagoas e canais da área de estudo.....	136
4.2.2 Cálculo da área e da profundidade média dos segmentos.....	140
4.2.3 Cálculo do volume nos segmentos	140
4.2.4 Cálculo da evaporação nos segmentos.....	140
4.2.5 Cálculo da precipitação nos segmentos	141
4.2.6 Dados da interface dos segmentos	141
4.2.7 As estimativas dos fluxos de entrada e saída para cada segmento.....	143
4.2.8 O cálculo do coeficiente de dispersão (E)	148
4.3 A aplicação do modelo	153
4.3.1 Os parâmetros de entrada do sistema.....	154
4.3.2 Saída do sistema	155
4.3.3 O cálculo de ep.....	155
4.3.4 Calibração do modelo.....	155
4.3.5 Rodando o programa.....	157
5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	159
5.1 INTRODUÇÃO	159
5.2 PREPARAÇÃO DOS DADOS.....	159
5.2.1 Análise dos resultados.....	159
5.2.2 Discussão dos resultados	171
5.3 O BALANÇO DE MASSA	173
5.3.1 Análise dos dados	173
5.3.2 Discussão dos dados.....	176
6 CONCLUSÃO.....	186
6.1 INTRODUÇÃO	186
6.2 SÍNTESE DOS RESULTADOS	188
6.3 A AVALIAÇÃO DO MÉTODO	189
6.4 SUGESTÃO PARA ESTUDOS FUTUROS	192
REFERÊNCIAS	194

INTRODUÇÃO

A ocupação indevida das bacias hidrográficas tem comprometido, de forma inexorável, a manutenção dos recursos hídricos, acentuando, assim, os conflitos pelo uso deste bem. Segundo Tundisi (2000), há cerca de 80 países vivenciando privações pela falta de água, o que representa uma real ameaça à sua agricultura, indústria e saúde pública. O panorama da oferta de água doce em escala planetária é preocupante, tanto que a Assembléia Geral das Nações Unidas, em 2003, proclamou o período de 2005-2015 a Década Internacional para a Ação “Água para Vida”.

A complexidade do quadro em foco se notabiliza na zona costeira, em virtude dos fluxos de matéria e energia que se estabelecem entre os domínios oceânico e continental e das rápidas oscilações que os mesmos experimentam em um período de tempo que pode ser bastante curto, como um ciclo de maré, por exemplo. Desta forma, a dinâmica inerente aos ecossistemas costeiros agrega, por si só, uma série de tensores naturais, que condicionam não somente a sua biota, mas, de maneira particular, a disponibilidade de água doce. De outra parte, o impacto oriundo da pluralidade de formas de exploração, provenientes das atividades humanas, representa mais um importante componente de estresse ambiental para esta zona e, por conseguinte, à conservação dos seus recursos hídricos (RESOURCE ANALYSIS, 1998; ESSINK, 2001; LÓPEZ & MORALES, 2002; e BOWEN & RILEY, 2003).

Neste capítulo, a problemática da gestão das águas interiores em ambientes costeiros é apresentada, bem como a relevância do tema, a fim de se justificar os objetivos propostos no estudo da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí, situada no Litoral Norte do Rio Grande do Sul. Esta bacia foi escolhida por representar a multiplicidade dos usos da água em um sistema hídrico influenciado pelo domínio oceânico e, também, por ter sido contemplada com instrumentos de gestão aplicados a recursos hídricos e à zona costeira, como o plano de bacia e o zoneamento ecológico-econômico. Assim, a referida unidade espacial pode ser considerada de especial interesse para a concepção de um processo integrado de gestão que internalize a dinâmica singular que ocorre na interface continente-mar.

1.1 A RELEVÂNCIA DA TEMÁTICA

A manutenção da grande diversidade de usos e a necessidade de dirimir conflitos pela posse dos bens naturais são desafios inadiáveis para a humanidade. Nos itens a seguir são tecidas considerações sobre o significado disto no que concerne às águas interiores e à zona costeira, bem como o imperativo de se concretizar uma gestão que considere, de forma simultânea, a interface destes dois sistemas.

1.1.1 Água, um bem cada vez mais escasso

A água doce é um bem natural que se distribui de forma irregular no tempo e no espaço. Variações sazonais na distribuição das chuvas e ocorrência de regiões áridas e outras dotadas de abundante umidade, ao longo da superfície terrestre, demonstram o caráter restrito da sua disponibilidade hídrica para atender as demandas sociais. Apesar da sua fragilidade, a água tem sido utilizada de forma inadequada pelas mais diversas comunidades. Drenagem abusiva, poluição de origem urbana e rural, alteração de cursos fluviais, enchentes e aridez, estas últimas acentuadas pela forma desordenada com que o ser humano ocupa as bacias hidrográficas, são alguns dos conflitos gerados pela falta de gestão deste bem.

No cerne dos problemas relativos à redução da disponibilidade das águas interiores está a degradação sócio-ambiental. Isto se constata nos dados de Villiers (2002). Segundo o autor, mais de um bilhão de pessoas, no mundo inteiro, não têm acesso a este bem, enquanto 2,9 bilhões carecem de serviços de saneamento, os quais são imprescindíveis para o controle de muitas doenças de veiculação hídrica. A privação, ainda, tem sido apontada como um fator que favorece a eclosão de conflitos. Em UN Millenium Project (2005) é reportado que sociedades pobres e famélicas são muito mais propensas do que as de alta renda a se envolverem em disputas por recursos vitais escassos, como poços de água, terra cultivável e outros. A migração de refugiados da seca, por exemplo, tende a incrementar a tensão entre grupos sociais como o ocorrido em Darfur, Sudão.

A destruição de habitats naturais também contribui para o agravamento da oferta de água. Barlow e Clarke (2002), referindo-se aos estudos de Michael

Kravicík¹ e sua equipe de cientistas, reforçam que este problema gera uma crise de abastecimento para pessoas e animais, colaborando para a diminuição da atual quantidade de água doce disponível no planeta, através de intervenções provocadas pelo ser humano no ciclo hidrológico (desflorestamento, pavimentação do solo, etc.). O estudo dos especialistas igualmente alerta para uma tendência à salinização das águas interiores.

Além disto, perturbações climáticas, decorrentes do aquecimento global, tendem a recrudescer o déficit hídrico em determinadas áreas do planeta. De acordo com López e Morales (2002), estas mudanças podem acentuar o processo erosivo nas bacias hidrográficas e provocar a elevação do nível do mar na zona costeira. Em IPCC (2007) é confirmada a ampliação de episódios de eventos extremos que concorrem para isto. Neste panorama, é necessário considerar, do mesmo modo, os riscos da intrusão salina e seus efeitos na manutenção de usos nobres da água, como o abastecimento das populações.

1.1.2 Zona costeira, vulnerabilidades e conflitos

A zona costeira também tem se caracterizado por vários embates. Segundo Resource Analysis (1998), as modificações na ocupação deste espaço podem ser muito bruscas, no afã de se atender, por exemplo, as solicitações dos setores do turismo, da urbanização e da aqüicultura. Há, ainda, outras disputas relativas à pesca, à conservação dos ecossistemas e à existência de parques marinhos, bem como entre pescadores artesanais e aqüicultura industrial, entre utilizar a água para o turismo ou para a agricultura, atender a expansão de portos ou ampliar o turismo. Kimmerer (2004) lembra que muitos estuários no mundo inteiro e suas respectivas bacias hidrográficas estão urbanizados e sofrem as pressões inerentes a elevadas demandas de água doce, alimento, transporte, recreação e disposição de resíduos.

É importante reforçar, por outro lado, que os ambientes costeiros, naturalmente, se evidenciam do ponto de vista ecológico e econômico. Eles abrigam uma vasta diversidade biológica e formam verdadeiros berçários para espécies oceânicas. McGinn (1999, p.85) ressalta também outros serviços ambientais realizados nesta zona e que são, na maioria das vezes, subestimados

¹ Engenheiro Hidráulico da *Slovakian NGO People and Water* (BARLOW & CLARKE, 2002, p.10).

como a produção de oxigênio, a reciclagem de nutrientes, a proteção contra tempestades e a regulação climática. O autor ainda lembra que “... **a atividade biológica marinha está concentrada ao longo das linhas costeiras mundiais...**”, tornando-as especialmente valiosas.

Moraes (1999), na sua apreciação sobre a zona costeira, coloca que esta expressa uma situação geográfica singular e de relevante posição estratégica, uma vez que funciona como base dos fluxos de circulação oceânicos, como lugar de lazer, como depositária de recursos naturais ou como suporte de ecossistemas de elevada importância ecológica. Em função disto, o autor enfatiza que a zona costeira afirma-se, na atualidade, como um espaço privilegiado para o planejamento.

Normande e Marques (2001), entretanto, destacam a grande variabilidade espaço-temporal e a falta de entendimento de processos básicos que ocorrem nos ambientes costeiros. Constanza *et al.* (1993 *apud* NORMANDE & MARQUES *op. cit.*, p.170) observam que “... **a imprevisibilidade desses ecossistemas é uma das principais razões pelas quais as experiências de manejo geralmente não têm sido bem sucedidas**”. Sendo assim, viabilizar a gestão da água doce em bacias hidrográficas costeiras, tendo-se em mente a singularidade das suas características naturais e antrópicas manifestas, sobretudo, na interconexão entre os seus ambientes dulcícolas e marinhos é uma questão a ser resolvida na prática.

1.1.3 O dilema da gestão integrada

Para a minimização dos conflitos derivados do uso da água, as estratégias mais recentes têm se pautado na aplicação de instrumentos de gestão que contemplem o caráter finito deste bem e, conseqüentemente, o seu valor econômico, de forma integrada e participativa. De acordo com Lanna (2000, p.21), isto tem levado vários países a reformularem os seus Sistemas de Gestão de Recursos Hídricos, resultando “**na criação de modelos de gestão que abrigam entidades gerenciais organizadas em torno da bacia hidrográfica como unidade geográfica ideal de planejamento, gestão e intervenção**”.

No que diz respeito à zona costeira, as metodologias também se fundamentam em instrumentos aplicados às bacias hidrográficas, quais sejam os

planos de gestão, os sistemas de monitoramento e de informações e o zoneamento ecológico-econômico, conforme se observa em Polette *et al.* (2000). A conexão com a gestão de recursos hídricos, contudo, ainda carece de uma base metodológica para a inserção da problemática da água doce na articulação destas ferramentas.

No Rio Grande do Sul, a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Roessler (FEPAM) buscou viabilizar esta integração. Isso ocorreu durante o processo de consolidação do zoneamento ecológico-econômico² e elaboração da proposta de enquadramento dos corpos de água³ do Litoral Norte do Estado, englobando a Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí em quase toda a sua extensão.

Todavia, não obstante décadas de acúmulo de informações técnico-científicas, enriquecidas pelos debates com a sociedade da região, a abordagem sistêmica, na avaliação dos dados, se manteve incipiente. Além disto, os resultados do zoneamento não foram internalizados pela comunidade, o que restringiu de forma decisiva os efeitos esperados, de acordo com Anele *et al.* (2003). O enquadramento sugerido, por sua vez, tão pouco foi ultimado.

Percebe-se, assim, que são vários os desafios a serem enfrentados para se ultimar a meta da integração. Logo, o aprimoramento de metodologias que promovam um diálogo efetivo entre os diversos agentes responsáveis pelo ordenamento da zona costeira e para a gestão da água será um avanço para se alcançar o fim colimado.

1.2 APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O recorte espacial da presente tese compreendeu um conjunto de lagoas interligadas pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí, definido ao norte pela Lagoa Itapeva e ao sul pela Lagoa das Custódias. A definição deste escopo foi estabelecida com base nos dados disponíveis de batimetria e

² O Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro estabelece o Zoneamento Ecológico-Econômico Costeiro e o Plano de Gestão da Zona Costeira como instrumentos para o gerenciamento ambiental, entre outros.

³ Lanna (2000) explica que o enquadramento dos corpos de água de acordo com seus usos preponderantes, ou seja, o estabelecimento de metas de qualidade da água a serem atingidas e mantidas, é um dos instrumentos gerenciais que vincula a gestão da água com a gestão ambiental.

salinidade, necessários para a avaliação da disponibilidade hídrica, do comportamento da intrusão salina e dos efeitos da ação humana neste contexto.

A bacia em foco situa-se a nordeste do Rio Grande do Sul e drena uma superfície aproximada de 2.697,87 Km², que se estende por uma faixa costeira de cerca de 115 km, de acordo com Profill Engenharia e Ambiente Ltda. (2004.a) (figura 1)⁴. O Rio Tramandaí é considerado o corpo de água receptor do sistema, que se evidencia pela diversidade de ambientes deposicionais representados, sobretudo, pela seqüência de lagoas conectadas por canais naturais e artificiais ao longo da orla. A sua porção setentrional é marcada pela presença de vales fluviais modelados por rios de regime torrencial, que nascem nas escarpas do Planalto Meridional, e que se constituem nos principais alimentadores de água e de sedimentos para o sistema.

Conforme Tomazelli e Villwock (1991, p.16), a Laguna de Tramandaí, **“em conexão livre e permanente com o mar através de um canal de ligação...”**, se comporta como um escoadouro natural da drenagem das lagoas pertencentes ao Litoral Norte do Estado. Tabajara e Dillemburg (1997, p.21) ressaltam que o **“papel de escoadouro da drenagem continental confere à Laguna um caráter de ecossistema frágil às modificações ambientais”**. As maiores intrusões salinas e, por conseguinte, os níveis mais elevados de salinização desta laguna estão relacionados à conjugação de fatores como altos níveis de marés meteorológicas e períodos de estiagem no continente. A diluição de água salgada ocorre, principalmente, pela descarga de água doce oriunda do Rio Tramandaí, que desenvolveu um delta na sua desembocadura no interior da citada laguna. Tomazelli e Villwock (*op. cit.*) afirmam que o crescimento de pequenos deltas, que progradam a partir da foz dos cursos fluviais, tende a promover a colmatagem rápida dos corpos aquáticos deste sistema lagunar holocênico. Os autores explicam que este processo tem sido acelerado pela erosão dos solos, decorrente da remoção da cobertura florestal nativa, pelo rebaixamento do lençol freático, devido às retiradas de água para irrigação e abastecimento das cidades, e pelo aterro direto de lagoas e banhados.

⁴ Trabalho contratado pelo Estado do Rio Grande do Sul para a elaboração da Primeira Etapa do Plano de Bacia do Rio Tramandaí (Contrato 002/2003), compreendendo o diagnóstico e o prognóstico das disponibilidades e demandas hídricas e o conjunto de ações para a sua compatibilização. Estes estudos foram acompanhados e aprovados pelos técnicos do Estado e o comitê de bacia, sendo reconhecidos como fonte oficial para a tomada de decisão.

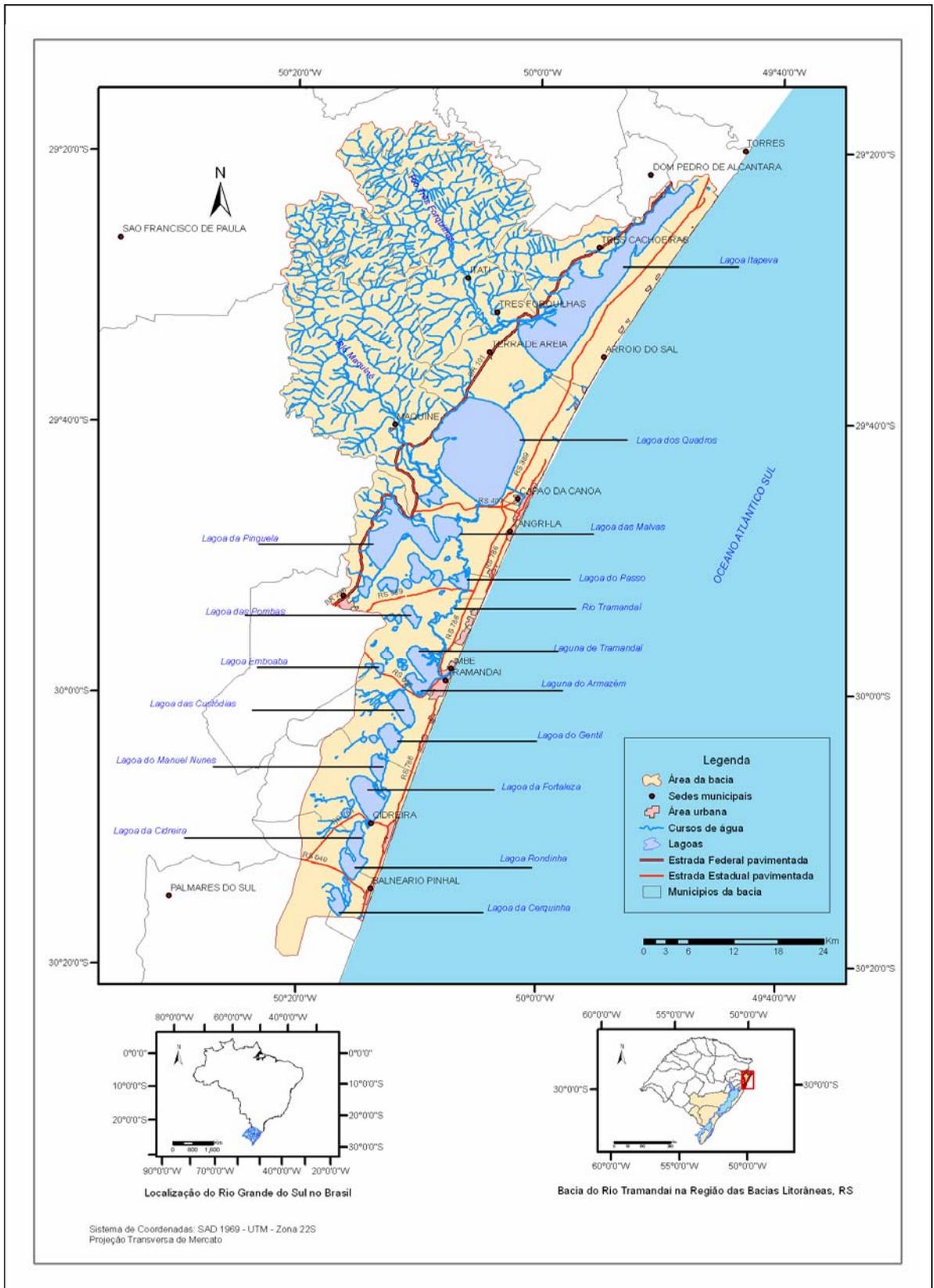


FIGURA 1 – BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TRAMANDAÍ

O entendimento da dinâmica entre os fluxos de água doce e salgada é, pois, uma condição fundamental para a gestão das águas interiores desta bacia, uma vez que a incursão salina influi em usos importantes. Neste particular, o abastecimento público e a agricultura irrigada são os mais vulneráveis. Estes usos são intensificados por ocasião do verão, em face das demandas de água para as lavouras de arroz e para o consumo doméstico, advindo de uma população flutuante, representada pelos veranistas, que procura as praias da bacia para o lazer. É importante lembrar que isto acontece justamente na época do ano em que se elevam as taxas de evaporação, o que tende a reduzir, naturalmente, a disponibilidade hídrica no sistema. Colapsos no abastecimento de água de importantes municípios costeiros já foram registrados e tem sido uma preocupação recorrente para a Companhia Riograndense de Saneamento – CORSAN, principal órgão responsável pelo serviço de abastecimento público na bacia.

As questões acima colocadas atestam a complexa interação estabelecida na interface entre os domínios flúvio-lacustre e lagunar da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí. Além disto, demonstram a suscetibilidade destes ambientes à intervenção humana e como isto pode se refletir na manutenção da disponibilidade e oferta de água nesta bacia, bem como na conservação dos seus recursos costeiros.

1.3 OBJETIVOS PROPOSTOS

A concepção metodológica deste trabalho parte da hipótese de que a água é o elemento integrador por excelência da gestão de bacias hidrográficas e da zona costeira. Assim sendo, é assumido que o padrão espacial de distribuição da qualidade da água é o que melhor reflete a interação entre processos naturais e antrópicos na unidade espacial de gestão adotada, ou seja, a bacia hidrográfica. Com base nisto e considerando a salinidade como o principal descritor da mistura entre as águas marinhas e interiores, a proposta desta tese consiste:

1.3.1 Objetivo geral

Avaliar de forma sistêmica os fluxos de água doce e salgada no sistema estuarino da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí, considerando a sua dinâmica

natural e a intervenção antrópica, através da aplicação de um modelo de balanço de massa.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar a hidrodinâmica e os processos de transporte nos corpos de água considerados para a simulação matemática, através dos dados disponíveis na rede hidrometeorológica regional e na rede hidrológica da ANA – Agência Nacional de Águas, bem como dos dados secundários e demais informações geradas nos relatórios da Primeira Etapa do Plano de Bacia do Rio Tramandaí;
2. Distinguir os principais usos da água e os volumes demandados que afetam o sistema definido para a simulação, mediante avaliação de campo, consultas ao Comitê de Bacia e dados oficiais do Estado, produzidos nos estudos da Primeira Etapa do Plano de Bacia do Rio Tramandaí;
3. Avaliar as mudanças potenciais dos fluxos de água doce e salgada no sistema estuarino por meio da aplicação de um modelo de um balanço de massa;
4. Elaborar cenários a partir da modelagem que ilustrem condições de estresse hídrico na bacia.

1.4 ESTRUTURA DA TESE

No capítulo 1 - Introdução - são traçadas algumas considerações sobre a importância e os dilemas da gestão integrada de recursos hídricos e costeiros. Além disto, é feita a apresentação da área estudada, com uma concisa explanação dos processos naturais e antrópicos que a caracterizam. Em seguida, são explicitados os objetivos geral e específico da presente tese.

O capítulo 2 - Referencial teórico – inicia com uma discussão sobre o processo e a interface da gestão de bacias hidrográficas costeiras, englobando conceitos básicos, o arcabouço legal e metodológico. Em seguida, são avaliadas as vantagens e limitações da modelagem matemática como instrumento para se viabilizar a gestão integrada, com ênfase para o balanço de massa.

Posteriormente, são apresentados dois exemplos da utilização desta metodologia aplicada para o estudo de sistemas estuarinos.

No capítulo 3 - A Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí – é situada e caracterizada a bacia onde está inserida a área de escopo do trabalho, destacando os condicionantes básicos do seu sistema hídrico e da circulação de água doce e salgada no seu interior. Posteriormente, são avaliados os dados de disponibilidade e demanda hídrica diagnosticados para 2004 e prognosticados para um horizonte de oito anos. Por fim, é feita uma avaliação de duas experiências de gestão integrada ocorridas neste âmbito, o zoneamento ecológico-econômico e o plano de bacia, enfocando os seus principais resultados.

O Capítulo 4 – O método adotado – detalha os procedimentos de preparação dos dados para o balanço de massa na Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí. Após, descreve o modelo utilizado para a simulação, destacando os parâmetros utilizados para a entrada do sistema e os resultados computados na saída. Finalizando, é esclarecido o procedimento utilizado para a calibração do modelo.

Capítulo 5 - Análise e discussão dos resultados – sistematiza os dados produzidos na etapa de preparação do modelo e os resultados procedentes do balanço de massa. Termina com um teste, no qual foram gerados dois cenários para a aferição do comportamento do modelo simulado.

Capítulo 6: Conclusão – neste capítulo foram retomadas as discussões sobre a relevância da temática, notadamente para a sua aplicação na Bacia do Rio Tramandaí. Após foram sintetizados os principais resultados obtidos e em seguida tecidas considerações sobre a metodologia aplicada. Por fim, são feitas algumas sugestões para futuros estudos no contexto em pauta, bem como algumas reflexões derradeiras sobre o dilema da integração e o papel dos diferentes atores para a sua ultimação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 INTRODUÇÃO

Representar a dinâmica da natureza tem sido uma constante procura para pesquisadores preocupados com o desenvolvimento de práticas capazes de minimizar impactos e otimizar a exploração dos recursos naturais. Neste sentido, a concepção de modelos que simulem fenômenos do mundo real se tem intensificado, sem prescindir, no entanto, de uma sólida base teórica e da aquisição criteriosa e permanente de dados que possibilitem o seu adequado funcionamento.

Apesar disto, é preciso ter se em conta que modelar a realidade, invariavelmente, implica em reduzir a sua complexidade. Estas limitações, todavia, têm sido reduzidas graças aos avanços das metodologias de representação espaço-temporal associadas aos progressos na área da computação, o que tem facultado a estruturação de banco de dados cada vez mais completos e sistemas computacionais aptos a manipular uma gama considerável de algoritmos.

No estudo de sistemas hídricos, incluindo de forma especial os localizados na zona costeira, a modelagem tem evoluído, produzindo resultados importantes para a avaliação das suas condições quantitativas e qualitativas. A conjugação desta com os Sistemas de Informação Geográfica (*SIGs*), de outra parte, significou um passo decisivo para o refinamento da distribuição espacial dos fenômenos considerados, permitindo, com isto, aperfeiçoar importantes instrumentos para o manejo integrado de bacias hidrográficas.

Neste capítulo foram abordadas questões de caráter teórico, legal e metodológico inerentes à gestão de bacias hidrográficas e da zona costeira, sendo enfocados os principais conceitos envolvidos, a legislação pertinente e as vantagens e restrições relativas ao emprego de modelos matemáticos. Finalizando, se destacou o uso da metodologia do balanço de massa para a avaliação dos intercâmbios entre os fluxos de água doce e salgada, mediante a seleção de dois estudos de casos aplicados a sistemas estuarinos e que foram proveitosos para a construção da metodologia aplicada à presente tese.

2.2 GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS COSTEIRAS: O PROCESSO E SUAS INTERFACES

A gestão da água se insere necessariamente na gestão ambiental, afirma Lanna (2000). Ele explica que a adoção do termo *gestão das águas* teve por fim salientar a gestão do elemento natural e não somente a parcela deste que seja considerada um recurso, ou seja, recurso hídrico. O intento foi não estabelecer uma conotação meramente utilitarista, que desconsidere a proteção do ambiente, o que implica, inclusive, em decisões de não-uso e, por conseguinte, na preservação do estado natural do bem em foco. Não obstante esta preocupação é necessário considerar que a legislação inerente à matéria já consagra como um importante uso da água a proteção de comunidades aquáticas (Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA nº 20/1986, atualmente substituída pela Resolução 357/2005 daquele mesmo órgão).

Mas no que consiste a gestão ambiental? Como se dá a inserção da gestão das águas no seu contexto? Qual a unidade espacial mais apropriada para a gestão? Quais os instrumentos e os métodos para se viabilizar este processo? Que inter-relações podem ser estabelecidas com a zona costeira? Como os arranjos institucionais se articulam para ultimar uma gestão integrada? Estas questões serão discutidas a seguir, a partir da revisão bibliográfica de conceitos básicos e da avaliação da legislação vigente.

2.2.1 A gestão ambiental

Segundo Lanna (2000), Gestão Ambiental é um processo de articulação das ações dos diferentes atores sociais, que interagem em um determinado espaço, com o objetivo de assegurar a conformação das formas de utilização dos recursos ambientais⁵ às especificidades do meio. Para tanto, se baseia em princípios e diretrizes previamente acordados e definidos.

De acordo com Cicin-Sain (1993 *apud* POLETTE *et al.*, 2000, p.222), Gestão Ambiental é **“um processo participativo, contínuo, interativo e adaptativo, que inclui uma série de deveres associados, os quais devem ser desenvolvidos de forma que se possam alcançar metas e objetivos pré-determinados”**. Sendo assim, o processo por si só requer instrumentos capazes

⁵ Naturais, econômicos e sócio-culturais (LANNA, 2000, p.75).

de acompanhar, corrigir e, se for o caso, ampliar as estratégias eleitas para a viabilização das metas estabelecidas.

Lanna (2000) assevera que uma eficiente gestão ambiental precisa ser constituída por uma Política Ambiental, capaz de estabelecer as diretrizes gerais. A existência de um Método de Gerenciamento Ambiental também é imprescindível como orientador das ações, assim como a instituição de um Sistema de Gerenciamento Ambiental, que articule os organismos e as intervenções necessárias à preparação e à execução do Planejamento Ambiental. A parte operacional do processo é executada pelo Gerenciamento Ambiental.

Nesta estrutura, o Método de Gerenciamento Ambiental determina o referencial teórico que orienta os procedimentos, a função e a participação dos atores sociais envolvidos no Sistema de Gerenciamento Ambiental. Este representa o conjunto de organismos, governamentais e não governamentais, que tem por finalidade executar a Política Ambiental, mediante o Método de Gerenciamento adotado e tendo como instrumento o Plano Ambiental⁶. O Plano, a seu turno, é o estudo prospectivo, que tem por fim compatibilizar os usos, o controle e a proteção do ambiente, tendo-se em conta as aspirações sociais e governamentais expressas, de maneira formal ou não, em uma Política Ambiental. O Gerenciamento Ambiental, de outra parte, compreende as ações destinadas a reger a prática operacional do uso, do controle e da proteção do ambiente, bem como avaliar a conformidade da situação considerada com os princípios doutrinários estabelecidos pela Política Ambiental. No seu cerne estão o licenciamento e o monitoramento ambiental, por exemplo.

Lanna (2000) propõe que o Gerenciamento Ambiental seja representado por uma matriz, na qual uma das dimensões aborda o gerenciamento das demandas e outra das ofertas ambientais (tabela 1).

⁶ No texto, o autor designa o *planejamento* como um instrumento para a gestão. Nesta tese se considera planejamento como um processo inserido na gestão, que produz um instrumento importante para tal, ou seja, o plano.

Tabela 1 – Matriz do Gerenciamento Ambiental

Matriz do Gerenciamento Ambiental		Gerenciamento do Uso Setorial dos Recursos Ambientais						
		Serviços públicos	Indústria e comércio	Agropecuária	Transporte	Energia	Cultura e lazer	Outros setores
Gerenciamento da Oferta do Ambiente	Ar							
	Solo							
	Água	Gerenciamento das Águas						
	Minérios							
	Fauna							
	Flora							
	Outros elementos							

Fonte: Lanna (2000, p.78), com modificações.

Nesta matriz, o Gerenciamento das Águas situa-se na intersecção do Gerenciamento da Oferta do Ambiente Hídrico com os distintos setores representativos dos usuários. Gerenciar a oferta significa, pois, antecipar e reduzir conflitos entre os vários setores (inter, intra e supra-setoriais), entre o segmento econômico e as demandas de proteção ambiental e entre as demandas das gerações presentes e futuras.

O autor ainda reitera que, para propiciar a compatibilização entre as diversas demandas sociais e ofertas do ambiente, a sociedade deverá tomar decisões políticas e estabelecer um sistema jurídico-administrativo apropriado. Assim, uma terceira dimensão para o Gerenciamento Ambiental, ao lado do Gerenciamento do Uso Setorial dos Recursos Ambientais e do Gerenciamento da Oferta do Ambiente é ressaltada, o Gerenciamento Institucional, que deve integrar e articular os diversos órgãos e instituições envolvidas no tema.

2.2.2 A gestão das águas e seus princípios orientadores

A gestão das águas, segundo Lanna (1993), compreende um processo analítico e criativo, voltado para a elaboração de princípios e diretrizes, à formulação de documentos orientadores e normativos, à estruturação de sistemas

gerenciais e à tomada de decisão. O objetivo é viabilizar o inventário, os usos, o controle e a proteção deste bem.

O autor também apresenta como elementos da gestão das águas a Política de Recursos Hídricos, o Plano de Recursos Hídricos, o Gerenciamento e o Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos. O Gerenciamento de Recursos Hídricos é definido como o conjunto de ações governamentais designadas para reger o uso, o controle e ponderar sobre a conformidade da situação vigente com os princípios doutrinários firmados pela Política de Recursos Hídricos.

Como princípios orientadores da gestão das águas, Cunha *et al.* (1980 *apud* LANNA, 1993) destacam os seguintes:

1. A avaliação dos benefícios para a sociedade, decorrentes da utilização da água, precisa levar em conta os componentes da qualidade de vida, ou seja, nível e condições de vida e qualidade do ambiente.
2. A unidade básica para a gestão dos recursos hídricos deve ser a bacia hidrográfica⁷.
3. Precisa considerar a capacidade de autodepuração dos corpos de água como um recurso natural, sendo legítima a sua utilização, devendo, no entanto, os benefícios resultantes deste uso ser revertido para a sociedade. Os ciclos ecológicos que garantem esta capacidade não devem ser rompidos.
4. Deve compreender tanto as águas interiores superficiais e subterrâneas quanto às águas costeiras.
5. Necessita ter em conta a estreita relação entre os problemas de quantidade e de qualidade das águas.
6. Precisa processar-se no quadro do ordenamento do território, com vistas à compatibilização, nos contextos regional, nacional e internacional, do desenvolvimento econômico e social com os valores do ambiente.

⁷ A bacia hidrográfica, mediante a rede de drenagem, integra grande parte das relações de causa-efeito que não podem ser esquecidas na gestão. A existência de unidades político-administrativas como municípios, estados, regiões e países não refletem necessariamente o caráter integrador facultado pela bacia hidrográfica, tornando **“a gestão parcial e ineficiente caso fossem adotadas”**, atesta Lanna (1993).

7. A gestão das águas é incompatível com a sua propriedade privada.
8. Todo uso da água que não for de caráter individual, destinado à satisfação das necessidades básicas, deve estar sujeito à autorização do Estado.
9. A participação da sociedade é primordial para a prática da política de gestão das águas.
10. Ao Estado pertence a autoridade para a gestão dos recursos hídricos.
11. No estabelecimento de uma política para a gestão das águas precisam participar todas as entidades representativas dos usuários da água.

A totalidade destes princípios foi contemplada na atual legislação de recursos hídricos do país, conforme se observa na Lei 9.433/1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e a Lei 10.350/1994, que estabeleceu a Política Estadual de Recursos Hídricos para o Rio Grande do Sul.

2.2.3 A bacia hidrográfica como unidade de gestão

De acordo com o exposto anteriormente, a unidade espacial definida para a gestão é a bacia hidrográfica. Torna-se imperativo, pois, compreender este conceito e internalizá-lo nas ações do gerenciamento.

Silveira (1997) explica que a bacia hidrográfica compreende uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, ou seja, seu exutório. Ela pode ser considerada um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, admitindo-se como perdas intermediárias os volumes evaporados, os transpirados e, do mesmo modo, os infiltrados profundamente. Para o autor, o papel hidrológico de uma bacia é transformar uma entrada de volume concentrada no tempo (a precipitação) em uma saída de água (o escoamento) mais distribuída no tempo.

É importante ressaltar que o exutório da bacia pode ser representado por corpos de água bastante diversificados. No conceito encontrado em EPA (2005), infere-se que este tanto pode ser um curso fluvial, um lago, um estuário, um pântano ou o oceano.

Mendes (1996) traz uma abordagem interessante para a conceituação em pauta. No seu trabalho, ele coloca que uma bacia hidrográfica pode ser entendida como sendo a composição de inúmeros (infinitos) pontos onde precipitação, infiltração, evaporação e escoamento formam um balanço hídrico local. Assim, cada ponto nesta superfície contínua pode ser associado a uma área na qual os valores médios podem ser obtidos. Para o autor, esta área média atua como a menor informação discernível capaz de representar a bacia hidrográfica.

Odum (1983) elucida que bacias hidrográficas são sistemas abertos nos quais campos, florestas, massas de água e cidades estão interligados por uma rede de riachos e rios ou, às vezes, por uma rede subterrânea de drenagem, interagindo como uma unidade prática para o estudo e para o gerenciamento. Segundo ele, o conceito de bacia hidrográfica contribui para que se coloquem em perspectiva problemas e conflitos, como os pertinentes à poluição hídrica.

O'Sullivan (1981 *apud* POLETTE *et al.*, 2000) destaca que a bacia hidrográfica contém o conceito de integração, tornando basilar seu aproveitamento para os estudos de problemas ambientais. Logo, as informações físicas, biológicas e sócio-econômicas presentes no seu âmbito devem ser consideradas em conjunto. O equacionamento de vários dilemas relativos à pressão ambiental está, pois, vinculado com os esforços que visam à manutenção deste sistema.

Lanna (2000, p.79), focalizando a necessidade de uma **“delimitação geográfica mais restrita, que contenha a maioria das relações de causa-efeito”** para a gestão ambiental, enfatiza a tendência da adoção da bacia hidrográfica como **“unidade ideal de planejamento e intervenção, devido ao papel integrador das águas, nos aspectos físico, bioquímico e sócio-econômico”**. Postel e Carpenter (1997, *apud* SCHUBART, 2000, p.157) também salientam que a água se constitui em um **“denominador comum”** na análise e avaliação ambiental. Isto significa que a gestão deste bem precisa ser conduzida de forma sistêmica no âmbito das bacias hidrográficas, tendo-se em conta as intervenções humanas e o meio natural.

O Gerenciamento de Bacia Hidrográfica, no entanto, é distinto do Gerenciamento dos Recursos Hídricos, uma vez que este representa apenas o

gerenciamento do recurso água, explica Schubart (2000). Neste particular, Lanna (2000, p.79) esclarece que

Gerenciamento de Bacia Hidrográfica é o instrumento orientador das ações do Poder Público e da sociedade, no longo prazo, no controle do uso dos recursos ambientais – naturais, econômicos e sócio-culturais – pelo homem, na área de abrangência de uma bacia hidrográfica, com vistas ao desenvolvimento sustentável.

É no âmbito desta unidade espacial, portanto, que os condicionantes e as conexões entre os elementos naturais e antrópicos, bem como seus efeitos podem ser mais facilmente observados. Isto é muito importante para que o monitoramento e o controle de medidas estruturais (reflorestamento de matas-ciliares, instalação de estações de coleta e tratamento de esgoto, construção de barragens para irrigação, instalação de redes hidrometeorológicas etc.) e não estruturais (programas de educação ambiental formal e não formal) possam ser empreendidos, colaborando, assim, com a ultimação dos objetivos preconizados pela gestão.

2.2.4 Integração gerenciamento de bacias hidrográficas e zona costeira

De acordo com Ipsen *et al.* (2002), desde a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, ocorrida na cidade do Rio de Janeiro em 1992, foi assumido que as bacias hidrográficas e as zonas costeiras estão intimamente ligadas, através da sua estrutura física e ecológica. Elas abrangem uma diversidade de ambientes que são intensivamente utilizados pela humanidade. Suportam uma variedade de funções sócio-econômicas, à medida que provêm espaços, suprem recursos e absorvem produtos indesejáveis. As atividades econômicas a jusante, por exemplo, são favorecidas pelos recursos provenientes das terras elevadas, como água doce e madeira. As áreas costeiras, por sua vez, fornecem espaço para os assentamentos, para as atividades industriais e turísticas que trazem benefícios para extensas áreas da bacia hidrográfica.

Estas duas unidades espaciais se conectam, mediante fluxos naturais de matéria e energia e dos resíduos e demandas oriundos da ação antrópica. As bacias causam impactos na zona costeira, através de modificações na descarga dos rios, na qualidade das águas, no transporte de sedimentos e enchentes. A

zona costeira compromete as bacias por meio das correntes de marés, tempestades e sedimentação costeira (IPSEN *et al.*, 2002).

A despeito disto, até então as bacias hidrográficas foram gerenciadas, essencialmente, em termos da disponibilidade hídrica, com pouca ênfase às relações de causa-efeito provenientes da forma de ocupação do solo. Já as tentativas de gerenciamento da zona costeira, em decorrência da sua intensiva utilização, têm se fundamentado em dois aspectos: recursos marinhos e planejamento do uso do solo. A problemática da água doce não aparece com a devida atenção (UNEP/MAP/PAP, 1999).

Ipsen *et al.* (*op. cit.*) afirmam que o desenvolvimento de novas abordagens, tanto para a gestão das águas interiores quanto para a zona costeira, tem-se efetivado em ramos distintos da ciência ambiental, sendo tradicionalmente assumido por diferentes instituições. Os autores reforçam que os recursos hídricos desempenham uma importante função nos ambientes costeiros, tornando-se, pois, imprescindível esclarecer e harmonizar as duas abordagens, tendo-se em conta a importância dos intercâmbios que ocorrem na sua interface.

Tendo-se isto em conta, a UNEP (United Nations Environment Programme) trabalhou na elaboração de uma base conceitual e na definição de instrumentos que, de forma apropriada, considerem os processos que ocorrem na interconexão das bacias hidrográficas com a zona costeira denominado *Integrated Coastal Area and River Basin Management* (ICARM). Os princípios básicos deste modelo de gestão integrada são:

1. Respeito à integridade dos ecossistemas, bem como aos limites de uso dos seus recursos naturais.
2. Garantia da importância estratégica dos recursos renováveis para o desenvolvimento sócio-econômico.
3. Manutenção dos usos múltiplos dos recursos, integrando atividades complementares e regulando conflitos.
4. Resguardo à integração multi-setorial em vários níveis decisórios, unindo escalas abrangentes de gestão com a intervenção local.

5. Participação de todos os atores, com ênfase para a população local, incorporada no processo de planejamento para assegurar a efetiva gestão.

A figura 2 ilustra os principais domínios da gestão das águas interiores e costeiras e a sua transição para o gerenciamento integrado dos seus recursos naturais até a evolução para o ICARM.

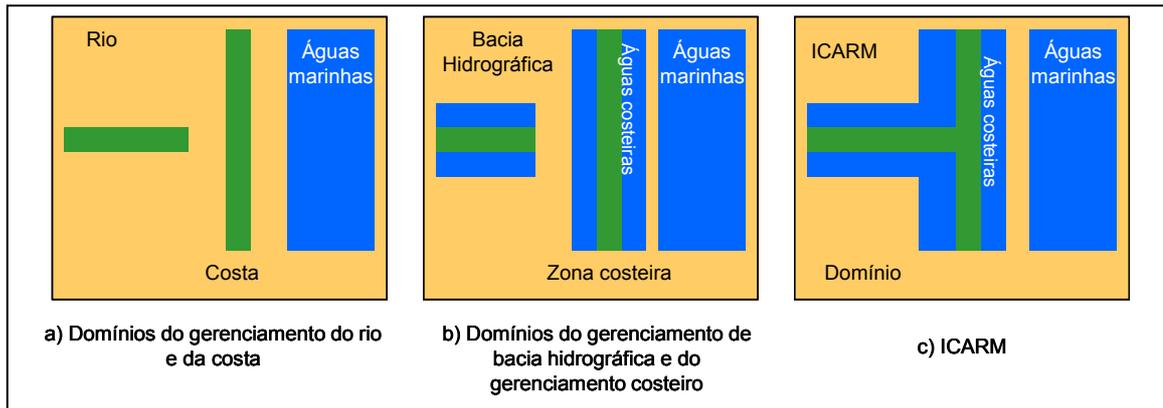


FIGURA 2 – PRINCIPAIS COMPONENTES ESPACIAIS DO DOMÍNIO DO ICARM
Segundo PAP (2004)

Ipsen *et al.* (2002) enfatizam que o principal objetivo do ICARM é assegurar a estabilidade e a produtividade dos ecossistemas aquáticos, em uma determinada região costeira, mediante uma economia sustentável e um desenvolvimento social conexo com a sua respectiva bacia hidrográfica. Os autores ainda ressaltam que este modelo de gestão não seria propriamente um novo paradigma, quando comparado ao gerenciamento integrado de recursos hídricos e ao gerenciamento costeiro integrado. Para eles é mais um meio de focalizar questões ou lacunas que aparecem, historicamente, em face do arranjo institucional que divide as responsabilidades da gestão de uma forma não sistêmica. O ICARM, então, naturalmente tende a promover a introdução e a implementação de ambos os processos de gerenciamento. Além disto, acrescenta um foco específico ao promover e facilitar o diálogo entre o tema águas interiores e marinhas e facultar soluções específicas para as questões de manejo desta interface.

2.2.5 Governança costeira e os desafios para o gerenciamento integrado no Brasil

Filet e Sena (2000) registram que a manutenção de culturas próprias de administração dos recursos hídricos e dos recursos costeiros, no âmbito do setor

público brasileiro, tem sido um empecilho para uma maior conexão de ações voltadas para o seu gerenciamento. Isto deriva da origem diversa de formação dos órgãos públicos, que se manifesta na dificuldade de trabalhar conjuntamente o gerenciamento ambiental.

Kelman (2004)⁸, avaliando os dilemas da governança costeira no país, coloca que esta se encontra submetida a uma complexa legislação. Para ele existem superposições que envolvem, no mínimo, quatro campos:

1. A gestão ambiental: Lei nº 6.938, de 1981;
2. Os recursos hídricos: Lei nº 9.433, de 1997;
3. O gerenciamento costeiro: Lei nº 7.661, de 1981; e
4. O uso de bens imóveis de domínio da União: Decreto-Lei nº 9.760, de 1946.

A Política Nacional de Meio Ambiente foi instituída pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. No seu artigo 9º foram previstos instrumentos de gestão que se aplicam tanto à gestão das águas quanto à gestão dos recursos costeiros, explicou Kelman (*op. cit.*). Na tabela 2 são referidas algumas destas analogias. Buscou-se agregar os instrumentos afins, de acordo com o explícito na legislação pertinente. Quando isto não foi possível, procurou-se identificar no âmbito desta as similitudes cabíveis.

Outra questão interessante de se considerar refere-se ao que está definido como zona costeira e quais são os seus limites. A Lei 7.661, artigo 2º, parágrafo único, de 16 de maio de 1988, que instituiu o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro, a considera como **“o espaço geográfico de interação do ar, do mar e da terra, incluindo seus recursos renováveis ou não, abrangendo uma faixa marítima e outra terrestre”**. Neste conceito se apreende o dinamismo desta zona, na qual as trocas de matéria e energia entre o domínio continental e oceânico se evidenciam.

⁸ Palestra proferida em outubro de 2004, por ocasião do I Fórum Nacional sobre Governança Costeira, realizado no Forte de Copacabana, Rio de Janeiro, intitulada *Governança costeira, a integração da gestão de recursos hídricos com o gerenciamento costeiro*. Na época, Jerson Kelman era Diretor-Presidente da Agência Nacional de Águas e representava a Ministra do Meio Ambiente, Marina Silva.

Tabela 2 – Instrumentos aplicados às políticas públicas de gestão ambiental no Brasil, com base em Zamboni (2003)⁹ e na legislação específica

Correlações entre os instrumentos de gestão das Políticas Nacionais		
Meio Ambiente	Gerenciamento Costeiro	Recursos Hídricos
Zoneamento ambiental	Zoneamento ecológico-econômico	Enquadramento dos corpos de água
Avaliação de impactos ambientais	Relatório da qualidade ambiental	Relatórios sobre a situação dos recursos hídricos ⁽¹⁾
Licenciamento ambiental	Licenciamento de empreendimentos na zona costeira ⁽²⁾	Outorga do uso da água
Sistema Nacional de Informações sobre o Meio Ambiente	Sistema de Informações do Gerenciamento Costeiro	Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos
Fiscalização	Fiscalização ⁽³⁾	Fiscalização ⁽⁴⁾
Analogias entre outros instrumentos de caráter operacional e institucional		
De correlação	Planos de gestão da zona costeira (nacional, de ação federal, estaduais e municipais) e macrodiagnóstico da zona costeira	Planos de Recursos Hídricos e Planos de Bacias
De articulação	Colegiados costeiros	Comitês de gerenciamento de bacias
De complementaridade	Monitoramento ambiental da zona costeira	Monitoramento quali-quantitativo dos recursos hídricos

(1) Embora não explicitados na Lei 9.433/1997, fazem parte das estratégias adotadas para o acompanhamento e a publicização das condições quali-quantitativas das águas de domínio federal e estadual. (2) e (3) Inseridos na Seção V, Das Competências, do Decreto 5.300/2004; (4) A Lei 9.984, de 17 de julho de 2000, estabeleceu que, nas águas de domínio da União, a fiscalização é atribuída à Agência Nacional de Águas. Cabe salientar, ainda, que a legislação de recursos hídricos estabelece a cobrança pelo uso da água como outro importante instrumento de gestão das águas.

O Decreto 5.300, de 7 de dezembro de 2004, regulamentou a Lei do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro, estabelecendo as normas gerais para a gestão ambiental da zona costeira brasileira. No seu artigo 3º e 4º, define que a faixa marítima se estende por 12 milhas náuticas, contadas a partir da linha de base, compreendendo a totalidade do mar territorial. A faixa terrestre é formada pelos limites dos municípios que estão submetidos diretamente aos fenômenos que ocorrem na zona costeira. Eles compreendem:

1. Os defrontantes com o mar de acordo com o definido pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística);
2. Os defrontantes com o mar que fazem parte de regiões metropolitanas litorâneas;

⁹ Palestra proferida em 2003, durante do Workshop Aspectos Legais da Qualidade da Água, Impactos dos Usos Múltiplos e Implicações na Portaria MS N° 1.469, intitulada *Integração da Gestão das Águas Interiores e Costeiras e as Interfaces com as Agendas Setoriais*. Ademilson Zamboni palestrou como representante do Ministério do Meio Ambiente, da Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos, Projeto de Gestão Integrada dos Ambientes Costeiro e Marinho.

3. Os adjacentes às grandes cidades e às capitais litorâneas que apresentem conurbação;
4. Os contíguos ao litoral, distantes até 50 km da costa, que registram em seu território atividades ou infra-estruturas de grande impacto ambiental sobre a zona costeira ou ecossistemas considerados de elevada importância;
5. Os estuarino-lagunares ainda que não diretamente defrontantes com o mar;
6. Aqueles que, embora não defrontantes com o mar, apresentam todos os seus limites estabelecidos com os enquadrados acima;
7. Os que foram desmembrados dos já inseridos na zona costeira.

Consoante Zamboni (2003), esta delimitação representa um universo de 395 municípios, distribuídos em aproximadamente 8.500 km de linha de costa, em uma área de 324 mil Km², compreendendo 4 % da área do país. O contexto abrangido abriga uma população de cerca de 39 milhões de habitantes e uma densidade média de 120 hab/Km². Sendo assim, fica notório que são as fronteiras político-administrativas municipais que definem a unidade espacial zona costeira, na sua porção emersa.

2.2.6 Estuários, a expressão da interface

Na sua exposição o autor mencionado acima lembra a importância dos estuários para a gestão integrada das águas interiores e costeiras. Para ele nestes sistemas, onde as políticas públicas de recursos hídricos, turismo, aquíicultura, pesca, atividades portuárias e industriais ou implantação de unidades de conservação convergem, estaria a interseção.

Kimmerer (2004) reitera que as regiões estuarinas são ambientes de intensa e conflituosa atividade humana. No mundo inteiro se observa a intensa urbanização de muitos dos estuários e suas bacias hidrográficas. Isto tem acarretado sérias demandas por água doce, alimento, transporte, recreação e disposição de resíduos. O autor salienta, ainda, que as bacias hidrográficas de diversos estuários também suportam uma agricultura extensiva, necessitando, do

mesmo modo, água, transporte e local para dispor seus resíduos. O entendimento da dinâmica estuarina é, pois, outro ponto de relevância para o tema desta tese.

Kjerfve (1989, *apud* BONETTI FILHO, 1995) elaborou uma definição sistêmica para estuários, na qual os seus segmentos são discriminados em três zonas:

1. Zona de Maré do Rio (ZR): que inclui o trecho fluvial e contém água doce que está sujeita às oscilações da maré.
2. Zona de Mistura (ZM): que representa o estuário propriamente dito e se diferencia pela combinação das diversas massas de água (interiores e marinhas) e, portanto, pela elevada variabilidade espaço-temporal das suas propriedades físico-químicas.
3. Zona Costeira (ZC): que equivale à região costeira do entorno, caracterizada por uma maior turbidez e menores valores de salinidade, quando comparadas ao ambiente próximo.

Bonetti Filho (*op. cit.*) adverte para o imperativo de se considerar a dinamicidade dos limites entre as zonas propostas por Kjerfve, que podem variar em um simples ciclo completo de maré. Além do mais, estas zonas não ocorrem necessariamente ao mesmo tempo. Por exemplo, os sistemas submetidos à pequena amplitude de maré, situados em regiões áridas ou semi-áridas podem não apresentar a ZR. Por ocasião das cheias, em rios de vales estreitos, a ZM pode desaparecer temporariamente no interior do canal, ficando todo o processo de mistura na ZC. Já em épocas de seca, quando o aporte fluvial é baixo, a ZC se reduz, podendo praticamente desaparecer.

O entendimento do padrão de circulação estuarina é outro fator importante a ser considerado para a gestão das águas em bacias hidrográficas costeiras. Consoante o referido autor, em um estuário típico a água levemente salobra flui pela camada superficial no sentido do mar, enquanto a água marinha se introduz pelas camadas inferiores no sentido contrário àquela, provocando a mistura e modificando as propriedades físico-químicas do ambiente. Na figura 3 se tem um diagrama do comportamento destes fluxos.

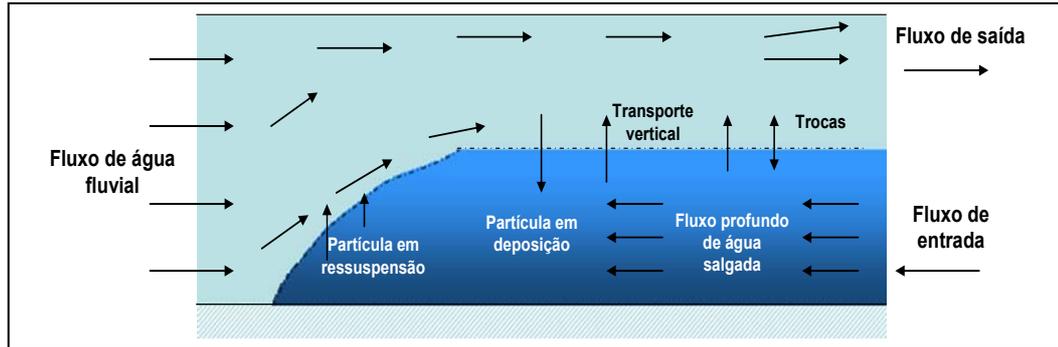


FIGURA 3 – ESQUEMA DE FLUXOS DE UM ESTUÁRIO BIDIMENSIONAL
Modificado de Thomann e Mueller (1987, p.103)

Os processos de sedimentação e propagação salina neste ambientes são suscetíveis de serem alterados pelos diferentes usos da água. Bonetti Filho (1995) explica que os sedimentos são controlados, sobretudo, pelo aporte fluvial, pela oscilação da maré e, também, por condicionamentos meteorológicos. Conforme o autor, a descarga dos rios fornece importante parcela sedimentar em muitos estuários e é responsável pela manutenção dos gradientes longitudinal e vertical de salinidade, os quais promovem a circulação estuarina e a dispersão parcial de sedimentos. A maré, relacionada às forças astronômicas e dependente da geometria da bacia, representa a principal fonte de energia para a mistura das águas doce e salgada na maior parte dos estuários. A sua amplitude, de outra parte, tem influência decisiva nos processos de transporte e sedimentação destes sistemas.

Montagna *et al.* (2002, *apud* KIMMERER, 2004) observam que a resposta destes sistemas à variação dos fluxos das águas interiores tem recebido considerável atenção na literatura científica, notadamente nos estudos realizados nos estuários dos rios Nilo, no Egito, e São Francisco, EUA. No entanto, compreender e modelar a interação entre fluxo de maré, estratificação e transporte permanece um dos maiores desafios para a física dos estuários, atesta Kimmerer (*op. cit.*).

2.3 ESTUDO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS COSTEIRAS E MODELAGEM MATEMÁTICA

A variedade de processos físicos, químicos e biológicos considerados na modelagem da água é representada matematicamente, por meio de relações empíricas que se estabelecem entre as denominadas *funções de força* e as variáveis que caracterizam o corpo de água considerado. As primeiras são

representadas, por exemplo, pelas fontes pontuais e não pontuais de efluentes, fluxo do rio, temperatura, maré, precipitação, vento e radiação solar. As últimas, a seu turno, pelos níveis de oxigênio dissolvido e concentrações de nitrogênio e fósforo (JORGENSEN, 1995 *apud* HASHIM, 2001).

Modelos que avaliam o comportamento da água podem ser agrupados em duas classes: hidrodinâmicos e de qualidade. Os hidrodinâmicos simulam a dinâmica e as variações no transporte da água ao longo do tempo, incluindo o volume e a velocidade do fluxo. Para tanto, empregam soluções numéricas de equações fundamentais, com a finalidade de predizer o movimento da água baseado na topografia de fundo, geometria da orla e condições externas na fronteira do corpo hídrico. Modelos de qualidade da água podem simular processos químicos e biológicos que afetam o sistema aquático, tendo em conta entradas externas e internas e suas reações. Eles também podem ser utilizados na simulação de constituintes tóxicos e suas transformações nos corpos de água. Modelos hidrodinâmicos têm a propriedade, ainda, de serem agrupados interna ou externamente aos de qualidade para representarem a dinâmica dos sistemas hídricos (HASHIM, *op. cit.*).

Nesta seção serão apresentadas algumas definições, critérios para seleção e estrutura básica de modelos aplicados aos estudos de bacias hidrográficas. Além disto, serão discutidos os princípios fundamentais para a modelagem de sistemas estuarinos.

2.3.1 Definição de modelos

Thomann e Mueller (1987) definem modelo como uma construção teórica, junto à qual são atribuídos valores numéricos destinados a modelar parâmetros. Para tanto, devem incorporar prioritariamente observações adquiridas em campo e dados obtidos em laboratório, conectando entradas externas ou *funções de força* para variar as respostas do sistema estudado.

De acordo com EPA (2005), no contexto de uma bacia hidrográfica um modelo matemático pode ser definido como um conjunto de equações utilizadas para descrever processos naturais e antrópicos. Mediante a formulação de relações de causa-efeito, os modelos podem ser aplicados para prognosticar cenários futuros. São capazes de ser altamente sofisticados, ao incluírem

processos específicos como infiltração e evapotranspiração. Por outro lado, podem ser bastante generalizados ao estimarem, através de uma simples relação empírica, o escoamento superficial baseado na precipitação. Eles igualmente aliam procedimentos minuciosos, como os destinados a representarem processos de precipitação, de transporte e práticas de manejo. Têm a capacidade, ainda, de ser adaptados a condições locais, ao isolarem etapas do processo, tornando a simulação mais sensível às atividades de uso do solo e às suas eventuais mudanças.

No tocante especificamente à qualidade da água, Thomann e Mueller (1987) já atestavam que um modelo matemático do sistema aquático é apto para fornecer a relação básica entre entrada de substâncias e a sua conseqüente resposta. Para Eiger (1991), os modelos matemáticos facultam uma ampla avaliação de impactos ambientais gerados pela ação humana nos recursos hídricos. Segundo ele, projetos de estações de tratamento de esgotos, determinação da influência de obras hidráulicas, vazamentos acidentais de resíduos tóxicos, aumento da temperatura da água provocado pela geração de energia termelétrica, previsão de modificações aquáticas derivadas da forma de utilização do solo em bacias hidrográficas e outras situações podem ser avaliadas por meio da aplicação criteriosa da modelagem.

2.3.2 A seleção do modelo

Fried (1991) enfatiza que a modelagem é uma ferramenta metodológica que tem imprimido progresso ao estudo do comportamento de contaminantes em águas superficiais, especialmente ao permitir a transferência do conhecimento do laboratório para o campo. Adverte, contudo, que não existem regras automáticas para o seu uso. Do mesmo modo, assevera que o indispensável na escolha de modelos reside na definição dos objetivos do estudo, no estabelecimento dos condicionantes financeiros, técnicos e de tempo, bem como na disponibilidade de dados, envolvendo questões como escassez e acuidade dos mesmos. Ele igualmente considerou que a problemática do conhecimento de múltiplos mecanismos e fenômenos avaliados, assim como o tempo requerido para prover uma solução não pode ser negligenciado. Ao concluir, ratifica que modelos são apenas ferramentas e, se o produto de saída reflete a qualidade destas, depende principalmente da competência do pesquisador na sua utilização.

Eiger (1991), a seu turno, reitera que a escolha de um modelo deve ser apropriada ao estudo que será realizado, de maneira que se possa efetuar uma avaliação crítica da sua aplicabilidade. Ele lembra que os modelos têm a possibilidade, em virtude da sua precisão, de representar uma situação real ou ainda de serem empregados apenas para uma primeira aproximação da realidade, em virtude de estarem restritos à magnitude dos erros resultantes de simplificações a priori assumidas. De outra parte, alerta quanto à formulação de conclusões duvidosas, oriundas da distância entre a complexidade do mundo real e a abrangência das hipóteses aceitas na formulação de um modelo matemático.

Segundo EPA (2005), a seleção do modelo adequado ou de uma aproximação¹⁰ para um estudo específico requer o entendimento de uma série complexa de técnicas analíticas e uma nítida percepção das perguntas a serem respondidas por meio da análise. Decidir-se sobre qual modelo seguir significa estabelecer os dados necessários e a precisão desejada para os resultados da modelagem. Questões como relevância, credibilidade e aplicabilidade do modelo no contexto estudado também devem ser refletidas pelo pesquisador.

2.3.3 Estrutura de um modelo matemático para a qualidade da água

Thomann e Mueller (1987) elaboraram um diagrama contendo os principais componentes da estrutura de uma modelagem matemática (figura 4). O modelo em si está representado acima pelo conjunto “construção teórica” e “especificação numérica”.

Os autores destacam as seguintes definições nos componentes de uma modelagem:

1. Calibração do modelo: compreende o primeiro estágio no teste de um modelo para um conjunto de dados de campo, os quais, preferencialmente, não foram utilizados na construção original do modelo. Cada teste inclui um conjunto consistente e racional de entradas e parâmetros teóricos.

¹⁰ Uma aproximação pode incluir um ou mais modelos, procedimentos de análise múltipla e uma variedade de entrada de dados para atender às necessidades de um projeto (EPA, 2005).

2. Validação do modelo: é o teste subsequente ao modelo calibrado, através de dados de campo adicionais, preferencialmente sob novas condições externas para examinar a sua eficácia¹¹.
3. Modelo pós-auditoria: consiste no posterior exame e verificação do desempenho do modelo em realizar previsões seguintes à implementação de um programa de controle ambiental.

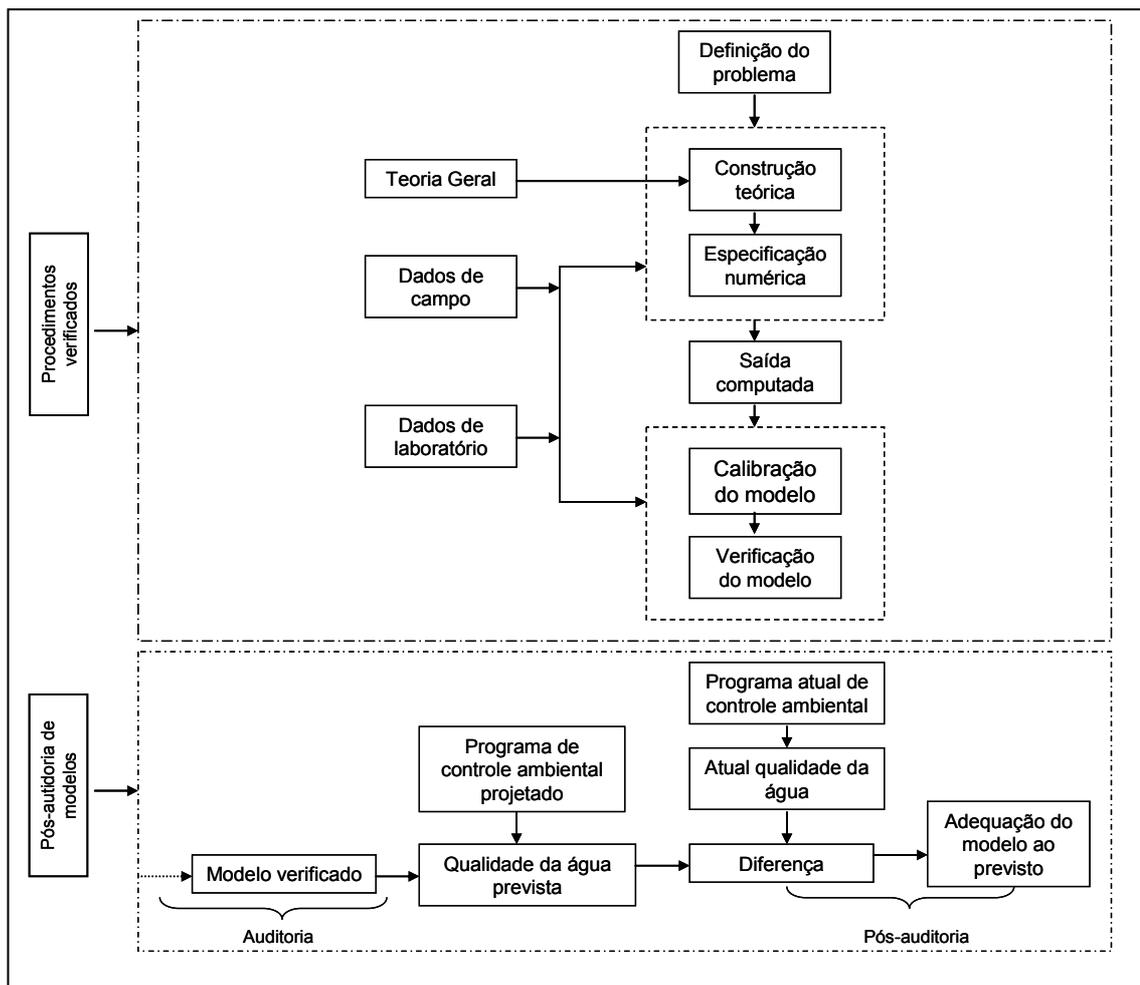


FIGURA 4 – COMPONENTES PRINCIPAIS DA ESTRUTURA DE UMA MODELAGEM MATEMÁTICA
Modificado de Thomann e Muller (1987, p.8)

¹¹ Calibração e validação são, pois, dois procedimentos separados no desenvolvimento e teste de modelos. Dados de monitoramento disponíveis são separados em dois momentos distintos para o teste. A calibração dos parâmetros é ajustada de forma razoável, mediante o uso de um conjunto de dados até que o melhor ajuste seja alcançado. O segundo conjunto de dados permite a validação, por meio da manutenção da constância dos parâmetros e verificação do grau de refinamento do modelo. O período de tempo para calibrar e validar deve ser cuidadosamente definido, a fim de que uma gama de condições hidrológicas seja abrangida (EPA, 2005).

Thomann e Mueller (1987) ressaltam que o modelo calibrado não deve ser apenas o resultado de um exercício de ajuste, mas precisa refletir, sempre que possível, a consolidação de novos parâmetros e fundamentos teóricos. Logo, modelos que apresentam uma extensa variação nos coeficientes para um mero ajuste nos dados observados não são considerados calibrados.

Os autores também destacam que, posterior à verificação do modelo, este é freqüentemente aplicado para o prognóstico da qualidade esperada da água, tendo-se em conta a diversidade potencial de cenários. Nesta fase, a pós-auditoria, de acordo com o colocado anteriormente, é realizada com a finalidade de se avaliar a capacidade do modelo em antecipar respostas relativas às condições qualitativas dos recursos hídricos.

EPA (2005) lembra que os produtos da modelagem carecem de uma checagem realista antes de serem utilizados como apoio para o diagnóstico e manejo de cenários. O modelo, então, será calibrado se houver dados disponíveis para assegurar a representação mais exata dos processos que ocorrem em uma bacia hidrográfica. No entanto, quando os dados são muito limitados, a revisão da integridade do modelo será baseada, primeiramente, na comparação dos valores da literatura, com estudos similares provenientes de bacias próximas e, também, com a alternativa da utilização de técnicas de cálculo.

2.3.4 Princípios para aplicação da modelagem em estuários

Segundo Kimmerer (2004), esforços substanciais têm sido dedicados para desenvolver e aplicar modelos representativos dos movimentos e dos processos de troca em sistemas estuarinos. De acordo com o autor, estes modelos podem ser muito úteis no exame de teorias, no entendimento da circulação, na interpolação de escassos dados de campo e, mais recentemente, antevendo respostas físicas a novas condições.

Thomann e Mueller (1987) sublinham que o movimento das marés dentro e fora dos estuários e os efeitos de densidade criados pela incursão da salinidade são particularmente relevantes para a descrição da qualidade da água nestes sistemas. Tal característica, entretanto, acentua a dificuldade em se estimar o comportamento qualitativo das águas estuarinas, ao longo do tempo e do espaço. Em face disto, a modelagem recorre a simplificações que, mesmo reduzindo a

representação do mundo real, podem trazer resultados úteis. Neste particular, Thomann e Mueller (1987) sintetizam as mais usuais:

1. O estuário é unidimensional;
2. A qualidade da água é descrita como uma condição média em número de ciclos de marés;
3. A área da seção transversal, fluxo e taxas de reações são constantes com a distância;
4. O estuário está em uma condição de estado estacionário.

A primeira e a última simplificação serão detalhadas a seguir, visto que as demais estão relacionadas a estas duas condições.

Assim e segundo Thomann e Mueller (*op. cit.*), um corpo de água é considerado unidimensional quando, submetido a correntes reversas, apenas o gradiente longitudinal de um determinado parâmetro de qualidade da água é assumido como dominante. Runkel (1998) esclarece que, neste caso, a primeira simplificação da análise admite que a massa de um soluto é uniformemente distribuída na área de uma seção transversal do corpo de água. Em função disto, a concentração da substância varia somente na direção longitudinal, independentemente da profundidade ou da largura da seção. Ele complementa explicando que esta situação, ainda que raramente ocorra na natureza, é tida como razoável para muitos ambientes.

No Estuário da Baía de São Francisco, Califórnia, EUA, por exemplo, vários modelos unidimensionais têm sido desenvolvidos e aplicados. De acordo com Kimmerer (2004), eles são amplamente utilizados para regulação e outros propósitos, sendo de grande valor para ilustrar a relativa influência da maré e dos fluxos na área do delta daquele rio.

O estado estacionário – *steady state* – é a condição assumida na qual não há modificações de fluxo pela entrada de efluentes ou tributários. O fluxo dentro e fora do corpo de água devido a efeitos da água subterrânea é excluído. Magnitudes de entradas de resíduos e fluxos são temporariamente admitidas como invariáveis (THOMANN & MUELLER, 1987).

A qualidade de estado estacionário permite uma simplificação do controle de equações diferenciais e as correspondentes soluções numéricas. Esta situação é obtida quando os parâmetros do modelo, variáveis de fluxo e condições de fronteira são mantidas constantes por um tempo indefinido. O sistema, então, alcança um estado de equilíbrio no qual a concentração não muda com o tempo (RUNKEL, 1998).

Modelos em estado estacionário são modelos matemáticos que adotam valores constantes para variáveis de entrada, predizendo valores estáveis de concentração na qualidade da água dos corpos hídricos simulados. São tipicamente aplicados para a avaliação de baixas condições de fluxo (EPA, 2005).

Existem outros modelos mais refinados que incorporam, até mesmo, modificações de hora em hora. Como o modelo bidimensional MIKE 21, desenvolvido pelo DHI - Danish Hydraulic Institute, da Dinamarca, aplicável em simulações de fenômenos hidráulicos e ambientais em lagos, estuários, baías, áreas costeiras e mares em que seja possível negligenciar a estratificação. Este modelo emprega na sua formulação as equações dependentes do tempo, da continuidade e da conservação da quantidade de movimento e foi aplicado no sistema lagunar compreendido pelas lagunas de Santo Antônio, do Imaruí e do Mirim, no sul catarinense. Mediante o seu módulo HD, foram geradas as velocidades das correntes utilizadas para simular a dispersão de poluentes no mencionado sistema lagunar (DNER/IME, 2000).

Há também a integração de modelos, como a do hidrodinâmico tridimensional – MARS, que foi agregado a um modelo biogeoquímico para simular as condições ecológicas e a pluma de sais no Estuário do Rio da Prata, situado na costa sudeste da América do Sul. Esta metodologia foi testada com as condições climáticas do ano de 1999 e reproduziu satisfatoriamente as amplitudes de marés naquele estuário, bem como a maioria dos padrões observados da distribuição horizontal e vertical da salinidade. Além disto, foi capaz de simular adequadamente as variações da produção primária e de nutrientes dentro e fora do referido sistema estuarino (HURET *et al.*, 2005).

A aplicação de modelos bidimensionais e tridimensionais, todavia, demanda uma considerável quantidade de dados confiáveis para o seu funcionamento. Modelos unidimensionais em estado estacionário, não obstante

as simplificações inerentes à sua aplicação, representam alternativas viáveis para a modelagem de estuários que carecem de uma base consistente de dados. Neste particular, aqueles baseados no princípio da conservação de massa são efetivamente úteis. A fundamentação teórica deste método será apresentada no próximo item.

2.3.5 O balanço de massa em sistemas estuarinos

Para Jönsson (2005), o fator mais importante a ser estimado em um estuário está ligado às trocas entre este e as massas de água adjacentes, a partir das quais o tempo de modificação no referido sistema pode ser deduzido. Tal peculiaridade é freqüentemente empregada na discussão dos processos estuarinos e suas propriedades bioquímicas. Isto é geralmente útil para a especificação do estado típico do sistema.

O autor coloca que, quando a evolução no tempo é significativa ela está relacionada às modificações no estado do estuário, sendo na maioria das vezes induzidas pela eutrofização de origem antrópica ou uma alteração no regime hidrológico. Nestes casos, um simples balanço de massa oferece uma aproximação adequada. Este método é baseado no princípio da conservação de massa.

De acordo com Eiger (1991), qualquer estudo atinente à distribuição espaço-temporal de um constituinte¹² em um meio fluido tem como ponto de partida uma lei de conservação. Esta lei é estabelecida em conformidade com leis físicas e, após, é descrita em uma forma matemática apropriada. Ele esclarece que um constituinte, ao ser incorporado a um fluido, sofre processos de transporte por advecção e difusão¹³, geração e extinção, por meio de reações com outras grandezas ou com o próprio fluido. Neste processo podem ocorrer também injeções e retiradas deste constituinte em relação ao fluido. Isto é muito

¹² Constituinte é a propriedade que caracteriza de alguma maneira o estado da qualidade do meio em que se insere. Exemplos: oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, temperatura, sais nutrientes, metais pesados, coliformes fecais (EIGLER, 1991).

¹³ Advecção é o processo que compreende o transporte de um constituinte pelo campo de velocidades do meio fluido que o contém. Difusão molecular decorre do movimento oriundo da agitação térmica das partículas de um fluido, que provoca o espalhamento das partículas do constituinte, mesmo que o meio apresente velocidade média nula. Difusão turbulenta é causada por movimento turbulento nos fluidos, provocando um intenso espalhamento de constituintes (EIGLER, 1991).

importante de ser considerado nos estudos de bacias hidrográficas, tendo-se em conta a rede de drenagem propriamente dita e os usos da água preponderantes. Em sistemas estuarinos a complexidade é maior, conforme será explicado adiante.

Para o entendimento da formulação matemática da lei de conservação de massa de um constituinte é imprescindível diferir um constituinte conservativo de um não conservativo.

1. Constituinte conservativo: é aquele cuja distribuição espaço-temporal não é afetada por reações com outros constituintes ou com o meio fluido (EIGLER, 1991). A sua distribuição é influenciada apenas por processos físicos de transporte. Thomann e Mueller (1987, p.55) esclarecerem que a substância é **“conservada, isto é, não há perdas devido a reações químicas ou degradação bioquímica”**. Estas substâncias incluem, por exemplo, os sais.
2. Constituinte não conservativo: é aquele que sofre um decaimento com o passar do tempo, devido a reações químicas, degradação biológica ou radiativa ou, ainda, pelo depósito de partículas fora da coluna de água. Muitas substâncias apresentam este comportamento, incluindo a oxidação da matéria orgânica, nutrientes, volatilização química e bacteriana (THOMANN & MUELLER, 1987).

Em face das propriedades inerentes aos compostos químicos que constituem o sal marinho, processos naturais não “produzem” ou “consomem” salinidade afirma Jönsson (2005). Consoante o autor, uma vez que os íons não evaporam em extensão significativa, a salinidade de um estuário pode ser explicada em termos de advecção para e a partir dos corpos de água. Caso seja conhecida a entrada do fluxo de água doce, é possível utilizar a salinidade como descritor para se ponderar sobre as trocas de fluxos que afetam o sistema estuarino. Ele salienta, porém, que os modelos de balanço de massa são aplicáveis em certos sistemas e requerem simplificações auxiliares, tais como:

1. Estado estacionário: o balanço de massa geralmente pressupõe um volume constante de água no sistema. A melhor maneira de se alcançar esta condição é calcular a média dos dados, considerando um período

que exceda a escala temporal dos processos dominantes. As concentrações de sais e nutrientes são também assumidas como constantes. O interesse principal na formulação do balanço é examinar as modificações em longo prazo e as dinâmicas que caracterizam o sistema, reduzindo, assim, a importância de flutuações rápidas de volume e salinidade. Para estas extrapolações é fundamental que se determinem, primeiramente, as tendências do conjunto de dados. Gordon *et al.* (1996 *apud* JÖNSSON, 2005) atestam inclusive que, se estas tendências forem bem descritas, sob certas condições, poderão formular um balanço não-estacionário.

2. Estuário bem misturado: as concentrações de sais e nutrientes são igualmente invariáveis no espaço, implicando que o sistema deve estar bem-misturado.
3. Quantificação dos fluxos de água doce: os efeitos das entradas de água doce para e a partir do sistema podem ser descritos como

$$dV/dt = Q_p - Q_e + Q_r + Q_m + Q_d + Q_i + Q_o \quad \text{Equação 1}$$

Onde Q_p é a precipitação; Q_e , a evaporação; Q_r , a vazão do rio; Q_m , a entrada de água subterrânea; Q_d , o fluxo oriundo de fontes antrópicas; Q_i e Q_o , os fluxos de entrada e saída do sistema. Por conveniência, o fluxo total de água doce resulta na combinação de todos os fluxos das águas interiores dado por Q_f . A partir de então, os volumes que entram ou saem do sistema, Q_i e Q_o , respectivamente, em conjunto com os níveis de salinidade interna e externa, ou seja, S_i e S_o , podem ser usados para formular o balanço de sais.

Segundo Jönsson (2005), desde que os fluxos de água doce e a salinidade tenham sido estabelecidos, é possível calcular os fluxos entre o estuário e as massas de água adjacentes, por meio da equação

$$V(dS_i/dt) = S_f Q_f + S_o Q_i - S_i Q_o \quad \text{Equação 2}$$

Assumindo-se que tanto o volume V e a salinidade S_i são estacionários e que, por definição, a salinidade da água doce S_f é zero, as equações anteriores são simplificadas na expressão

$$Q_i = S_f Q_f / S_o - S_i \quad \text{e} \quad Q_o = S_o Q_f / S_o - S_i \quad \text{Equação 3}$$

Thomann e Mueller (1987), todavia, ressaltam que o principal parâmetro adicional introduzido na equação da qualidade da água em estuários é o coeficiente de dispersão, *E*. Trata-se de um coeficiente de mistura que incorpora a oscilação dos fluxos de maré, efeitos de densidade e outros gradientes lateral e vertical de velocidade.

Vallino e Hopkinson Jr. (1998) salientam que os processos de mistura têm um grande impacto na ecologia e na qualidade da água dos sistemas estuarinos, em face da sua elevada complexidade que decorre, sobretudo, das variações na sua geometria, batimetria e densidade, do estresse produzido pelos ventos, da entrada de água doce e da força da maré. Estas distinções, por sua vez, não ocorrem somente entre os estuários, mas também no seu interior, ao longo do tempo e do espaço.

Para os referidos autores, o fenômeno de mistura nos estuários que carecem de estudos extensivos é freqüentemente aproximado por meio de um coeficiente de dispersão longitudinal ou de dispersão de maré. Este coeficiente não abrange somente a mistura devido ao transporte difusivo. Ele inclui a dispersão lateral e vertical, o deslocamento e a inversão da maré. O seu uso simplifica os esforços da modelagem que é necessária para capturar, por exemplo, o transporte geral de nutrientes e plâncton e o tempo de residência de poluentes no sistema.

Consoante Vallino e Hopkinson Jr. (1998), o coeficiente de dispersão é usado como uma quantidade macroscópica que representa, em larga escala, os processos de mistura nos estuários. Sendo assim, a sua estimação exata é crítica para a simulação do fenômeno de transporte nestes sistemas. No entanto, este parâmetro depende de muitos fatores que são únicos para cada estuário. Isto, a seu turno, se reflete na sua modificação espaço-temporal, em resposta às mudanças na morfologia do canal, na descarga de água doce, na corrente de maré e estresse produzido pelo vento (FISCHER *et al.*, 1979, *apud* VALLINO & HOPKINSON JR., *op. cit.*).

Há vários métodos para se estimar este parâmetro. Thomann e Mueller (1987) apontam três: o uso da salinidade estuarina como um traçador da mistura da maré; a utilização da descarga de uma substância corante ou radiativa como um traçador para a zona de maré do rio; e o uso da teoria da hidrodinâmica,

através da incorporação da velocidade de cisalhamento e dos mecanismos de difusão.

O primeiro método é o mais comumente seguido e assume a distribuição da substância conservativa, observada ao longo do estuário, como em estado estacionário (OFFICER, 1978 *apud* VALLINO & HOPKINSON Jr., 1998). Neste caso, segundo Thomann e Mueller (1987), o balanço de massa é dado pela seguinte equação

$$E (d^2s/dx^2) - U (ds/dx) = 0 \quad \text{Equação 4}$$

Onde E é o coeficiente de dispersão [L^2/T], s é a concentração [M/T], U [L/T] é a velocidade do fluxo dada por Q/A (vazão/área) e x a distância longitudinal em direção ao fluxo [L].

Para o cálculo de E , a partir dos dados conhecidos de salinidade e de velocidade, tem-se

$$E = U (x_2 - x_1) / \ln (s_2 - s_1) \quad \text{Equação 5}$$

Onde s_1 e s_2 correspondem à salinidade obtida em várias distâncias, estuário acima. Estas se referem a um ponto x_1 , sempre o mais próximo do oceano, e um determinado ponto x_2 . Os cálculos devem ser processados até s_2 ser nula. A distância x será positiva na direção do fluxo, isto é, em direção ao oceano.

As simplificações, anteriormente colocadas, caracterizam uma condição ideal, ou seja, um estuário com uma constante área seccional, fluxo, profundidade e taxas de reações (unidimensional). Para minimizar os efeitos desta simplificação, o estuário é dividido em um número finito de segmentos (diferenças finitas). Desta maneira, o balanço de massa é calculado para cada segmento, assumindo-se que o gradiente, dentro deste, não é significativo (THOMANN & MUELLER, 1987).

2.3.6 Modelando um estuário através das diferenças finitas

A metodologia das diferenças finitas é explicada por Runkel (1998). No seu modelo conceitual aplicado a um canal unidimensional, o autor descreve os processos que afetam a concentração de um soluto ao longo deste e da zona de acumulação. Dentro do canal principal a substância é transportada corrente

abaixo por advecção e dispersão. Na zona de acumulação, onde o transporte da corrente é negligenciável, a advecção e a dispersão não estão incluídas. Os fluxos laterais representam entrada adicional de água no canal principal, juntamente com o escoamento superficial e descarga de água subterrânea. As saídas laterais representam as descargas provenientes do canal para a bacia hidrográfica. O canal e a zona de acumulação são unidos, por meio de processos transitórios de armazenamento. As trocas entre a massa do soluto, o canal e a zona de acumulação são modeladas como um processo de transferência de massa de primeira ordem. As reações químicas, por sua vez, acontecem dentro do canal principal e da zona de acumulação (figura 5).

As equações utilizadas na modelagem descrevem processos físicos que afetam os solutos no sistema aquático, podendo ser aplicado para substância conservativa (soluto não reativo) e não conservativa (soluto reativo). A implementação de uma solução numérica requer a definição do sistema físico. Para tal, o referido autor descreve um sistema idealizado, no qual o curso de água é dividido num número discreto de segmentos. Cada segmento representa um volume de controle, em cujo interior a massa é conservada. As equações, portanto, são aplicadas para cada segmento no sistema modelado.

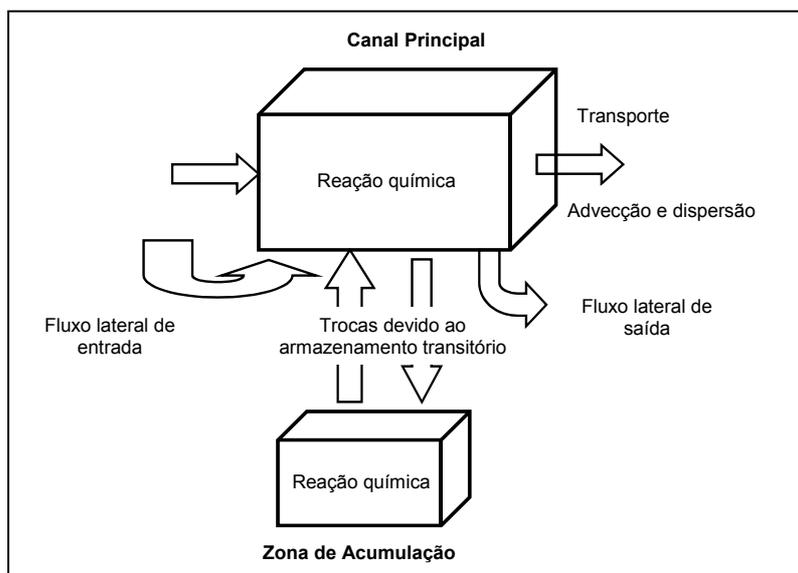


FIGURA 5 – MODELO CONCEITUAL DE TRANSPORTE PARA UM CANAL UNIDIMENSIONAL
Modificado de Runkel (1998, p.5)

As interações entre os segmentos foram descritas pelo autor e podem ser observadas na figura 6. Assim, no esquema de segmentação utilizada para a aplicação da solução numérica, i , $i-1$, e $i+1$ indicam as concentrações e parâmetros no centro de cada segmento, enquanto $(i-1,i)$ e $(i,i+1)$ definem valores na interface destes. O comprimento de cada segmento, Δx , é também destacado no esquema.

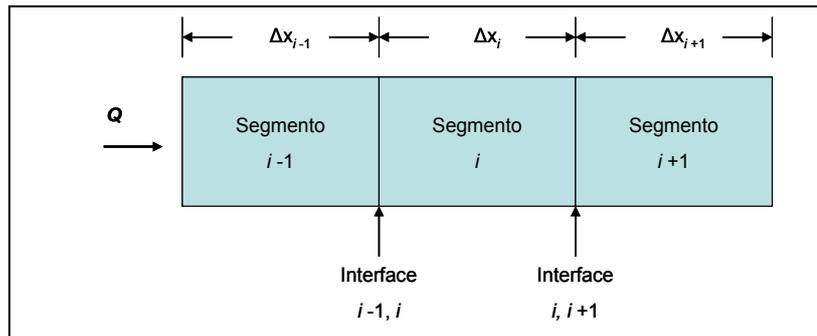


FIGURA 6 – ESQUEMA DE SEGMENTAÇÃO
Conforme Runkel (1998, p.9)

Nesta metodologia é igualmente importante avaliar as trocas nas bordas do sistema. Isto implica considerar a variação da concentração do soluto nas fronteiras a montante e a jusante.

Em Thomann e Mueller (1987) é possível encontrar exemplos da aplicação da metodologia das diferenças finitas para um estuário unidimensional. Eles lembram que a profundidade média dos sistemas estuarinos varia ao longo do mesmo com a ocorrência eventual de pontos de elevada profundidade e áreas rasas. Para a modelagem, no entanto, é assumido que o sistema é bem misturado. Logo, os gradientes são registrados somente no eixo do estuário.

Nas condições acima descritas, os autores explicam que para modelar o estuário é necessário dividi-lo em uma série de segmentos finitos. Assim, a concentração de uma substância s será calculada no centro de cada segmento. Não há um rigor maior quanto ao comprimento, mas geralmente se aceita que segmentos em torno de 2 km conferem uma boa representação ao sistema estuarino. A extensão destes, contudo, precisa capturar o gradiente principal de s . O número de segmentos também não é um problema, devido ao avanço computacional, e a sua segmentação não necessita ser constante. Por fim, eles

são numerados de 1 a n com os segmentos internos designados $i - 1$, i , e $i + 1$ (figura 7).

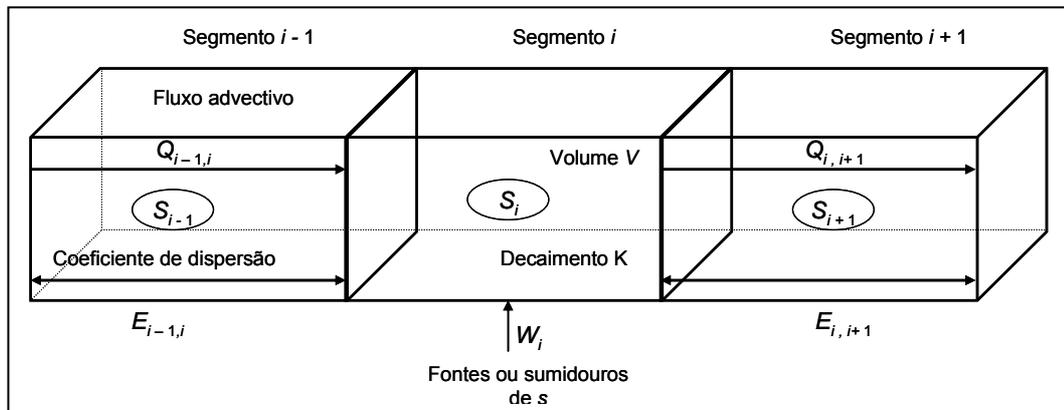


FIGURA 7 – EXEMPLO DA INTERAÇÃO ENTRE OS FLUXOS DE UM SEGMENTO I
Modificado de Thomann e Mueller (1987, p 127)

Considerando a figura acima, em torno do segmento i , a massa s , por unidade de tempo, é transferida dentro e fora do respectivo segmento, graças ao fluxo advectivo. A entrada de massa $[M/T]$, a partir da corrente do segmento a montante, é meramente dada por

$$(+Q_{i-1,i} s_{i-1,i}) = (+Q_{i-1,i} s_{i-1}) \quad \text{Equação 6}$$

Onde $s_{i-1,i}$ é a concentração na interface entre $i - 1$ e i . Os autores elucidam que esta concentração pode ser aproximada de forma mais simples, mediante a utilização da concentração no centro do segmento $i - 1$, ou seja, s_{i-1} . Do mesmo modo, o transporte advectivo de massa deixando o segmento i , caracterizado pelo sinal negativo, é

$$(-Q_{i,i+1} s_{i,i+1}) = (-Q_{i,i+1} s_i) \quad \text{Equação 7}$$

O intercâmbio de massa, provocado pela dispersão e pelo processo de mistura, demonstra que o transporte é diretamente proporcional à diferença de concentração entre os segmentos adjacentes. Assim, para a troca dispersiva de massa com o fluxo do segmento a montante se tem

$$+ E'_{i,i-1} (s_{i-1} - s_i) \quad \text{Equação 8}$$

Onde $E'_{i-1,i}$ é o volume do coeficiente de dispersão $[L^3/T]$. Thomann e Mueller (1987) também colocam uma expressão similar que é empregada para jusante, ou seja

$$+ E'_{i,i+1} (s_{i+1} - s_i) \quad \text{Equação 9}$$

De acordo com os autores, nestas quantidades dispersivas, se as concentrações a montante s_{i-1} forem maiores que s_i a massa será transferida de $i - 1$ para i . Do contrário, a massa será deslocada corrente acima pelo processo de mistura de i para $i - 1$, e assim por diante. Caso as concentrações sejam iguais, as trocas de massa não ocorrem.

A estimativa do volume do coeficiente de dispersão é dada pela seguinte fórmula, conforme Thomann e Mueller (1987)

$$E'_{i,i-1} = [(E'_{i,i-1} A_{i,i-1}) / \Delta x_{i,i-1}] \quad \text{Equação 10}$$

Onde $A_{i,i-1}$ representa a área da seção transversal entre i e $i - 1$ e $\Delta x_{i,i-1}$, o comprimento médio dos segmentos adjacentes. Expressão análoga é utilizada para $i, i + 1$. Importante lembrar que nestas aproximações o volume do segmento i não varia com o tempo, o que é considerado uma boa simplificação para a maioria dos estuários.

Então, o balanço de massa completo será fornecido por uma equação linear diferencial de primeira ordem, que agrega os quatros componentes do transporte de massa ao redor do segmento i : transportes advectivo e difusivo; perdas por decaimento, no caso de substância não conservativa; e fontes de entrada ou sumidouros. Esta expressão é dada por

$$V_t (ds_i/dt) = Q_{i-1,i} s_{i-1} - Q_{i,i+1} s_i + E'_{i-1,i} (s_{i-1} - s_i) + E'_{i+1} (s_{i+1} - s_i) \quad \text{Equação 11}$$

Os autores citados também ressaltam que existe uma quantidade infindável (n) de equações, uma para cada segmento. Assim, para um estuário com diversidade espacial de área, profundidade, fluxo e coeficientes de reação, o cálculo da concentração de s nos segmentos é considerado, puramente, a solução simultânea de incontáveis (n) equações algébricas lineares.

Contudo, especial atenção deve ser dada ao primeiro e ao último segmento, pois representam as fronteiras do sistema. Neste particular, Thomann e Mueller (*op. cit.*) propõem para o primeiro segmento, considerando-se uma condição de estado estacionário

$$0 = Q_{n1} s_n - Q_{12} s_1 + E'_{21} (s_2 - s_1) - V_1 K_1 s_1 \pm W_1 \quad \text{Equação 12}$$

Onde Q_{n1} é o fluxo a montante descarregando para o primeiro segmento e s_n é a concentração deste fluxo, aceito como conhecido. Esta equação assume

que não acontecem permutas entre o primeiro segmento e o fluxo a montante entrando no estuário.

Para o último segmento, o balanço de massa é dado por

$$0 = Q_{n-1, n} s_{n-1} - Q_{nb} s_n + E'_{n-1, n} (s_{n-1} - s_n) - E'_{nb} (s_b - s_n) - V_n K_n s_n \pm W_n \quad \text{Equação 13}$$

Onde Q_{nb} é o fluxo resultante a partir do segmento n para a baía ou oceano e s_b é a concentração nesta fronteira, admitindo-se que este parâmetro é conhecido. A representação de um estuário com finitos segmentos pode ser conferida na figura 8.

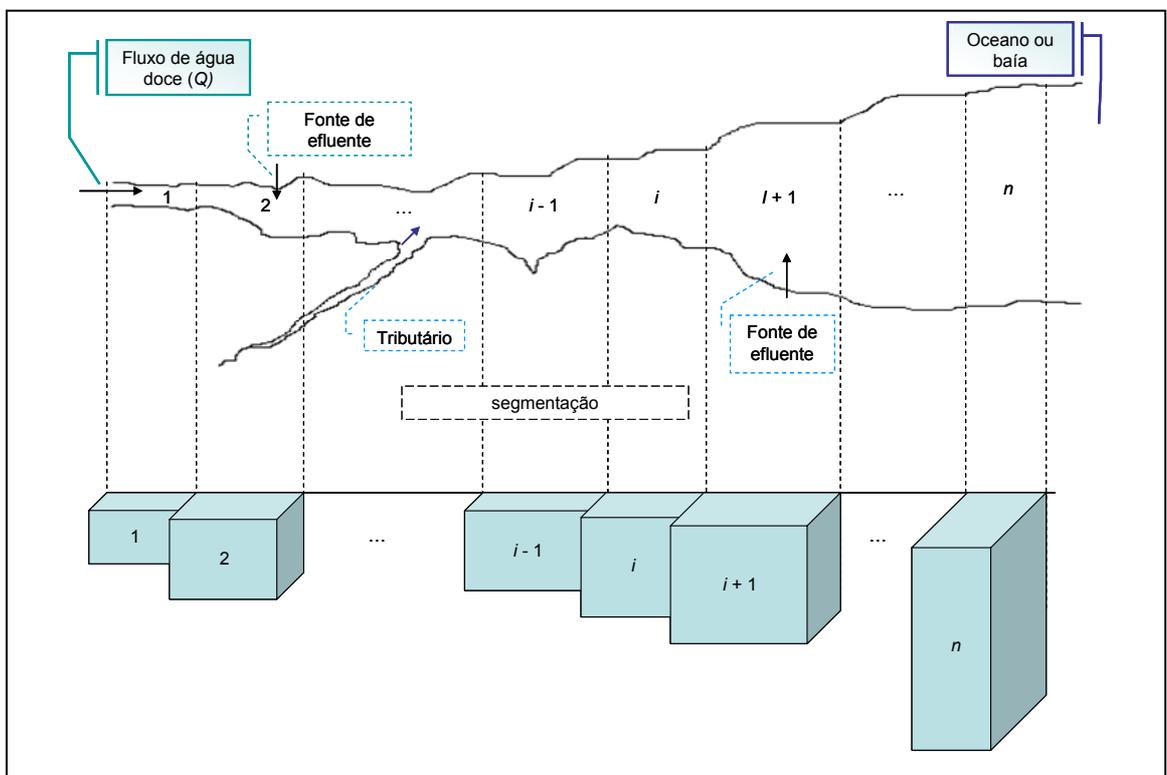


FIGURA 8 – ESTUÁRIO REPRESENTADO COM SEGMENTOS FINITOS
Modificado de Thomann e Mueller (1987, p.126)

2.4 APLICAÇÕES DA MODELAGEM DO BALANÇO DE MASSA

A metodologia do balanço de massa tem sido empregada em vários estudos de bacias hidrográficas situadas na zona costeira. Particularmente, a avaliação dos intercâmbios entre os fluxos de água doce e salgada, que caracterizam o seu setor estuarino, tem sido favorecida com este método.

A integração com Sistemas de Informações Geográficas, de outra parte, tem facilitado as simulações, permitindo uma melhor representação da distribuição espacial dos resultados. Estes avanços contribuem para viabilizar

uma tomada de decisão mais rápida e eficiente, requisitos cada vez mais necessários em um processo de gestão.

A literatura é rica em trabalhos que reportam o emprego do balanço de massa, destacando seus benefícios e restrições. Hashim (2001), por exemplo, utilizou para a formulação do modelo de qualidade da água na Baía de St. Louis, inserida na zona costeira da Bacia Hidrográfica do Rio Mississippi, EUA. Abell (2003) aplicou amplamente esta metodologia para a estimativa do ciclo de nutrientes no oceano Pacífico Norte subtropical. Kimmerer (2004) discorreu sobre dezenas de aplicações desta modelagem no Estuário do Rio São Francisco, Califórnia, EUA. Para ilustrar as aplicações desta metodologia, a seguir são apresentados dois estudos de caso relevantes para o tema focado nesta tese.

2.4.1 Baía de Corpus Christi, Texas, EUA

Em 1992, a Baía de Corpus Christi foi inserida oficialmente no Programa Nacional para Estuários, que foi estabelecido nos EUA pelo Ato Federal da Qualidade da Água, no final da década de 1980. Este programa tem como objetivo identificar e proteger significantes sistemas estuarinos naquele país. Os estudos são financiados e administrados pela United States Environmental Protection Agency (EPA). Neste contexto, o Programa Nacional do Estuário da Baía de Corpus Christi foi encarregado de coordenar as atividades de acesso às informações científicas sobre o sistema estuarino, formular o plano de manejo e divulgar os problemas ambientais desta baía (QUENZER, 1998).

A Baía de Corpus Christi se localiza ao longo da zona costeira centro-sul do Texas, EUA, em uma superfície de 1.554 Km², compreendida entre as baías de Aransas e Copano, ao norte, e Baía de Baffin e Upper Laguna Madre, ao sul (figura 9). Sua bacia hidrográfica abrange uma área de aproximadamente 28.490 Km², cujo interior é semi-árido. A média anual de chuvas para a área da baía é de 609,6 mm a 914,4 mm, enquanto a evaporação média anual está em torno de 1524 mm (NATIONAL ESTUARY PROGRAM, 2004).

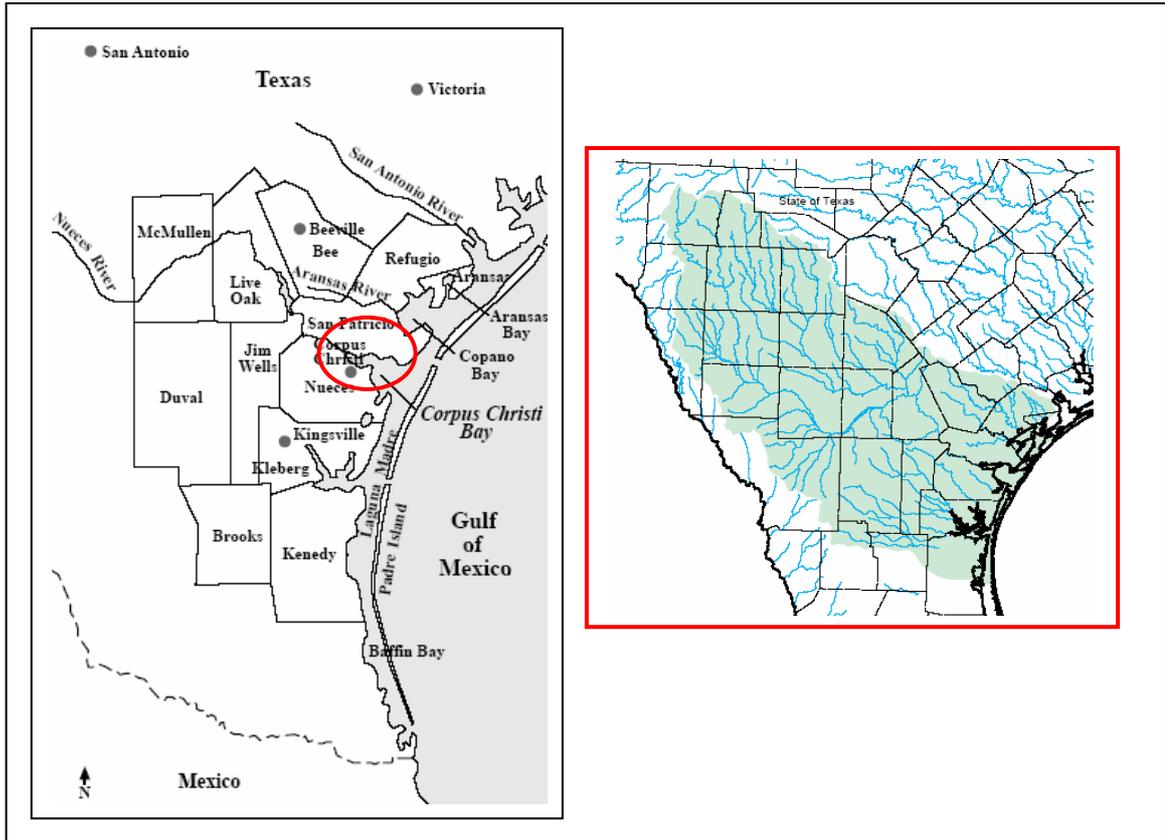


FIGURA 9 – BAIJA DE CORPUS CHRISTI, LOCALIZAÇÃO E BACIA HIDROGRÁFICA

Fonte: National Estuary Program (2004, p.89-90)

As águas da baía são relativamente rasas, tanto que sua profundidade média se encontra em torno de 0,9 a 2,4 metros. As suas principais fontes de água doce provêm dos rios San Antonio, Mission, Aransas e Nueces. Os últimos anos registraram um declínio destes fluxos para a baía, decorrentes do aumento das demandas para o abastecimento público, industrial e agrícola. As mudanças resultaram em um aumento dos níveis de salinidade no estuário, acarretando sérios prejuízos para a pesca e outros recursos aquáticos (NATIONAL ESTUARY PROGRAM, 2004).

Um dos trabalhos importantes realizados neste sistema foi o da modelagem da salinidade. Hellweger (1997) desenvolveu um programa de computador, denominado *Balance*, para ser aplicado em um projeto de pesquisa intitulado “Estimativa da carga total de constituintes da Baía de Corpus Christi”. Este trabalho fez parte do Programa Nacional do Estuário da Baía de Corpus Christi, sendo vinculado à Universidade do Texas, Austin, EUA.

O *Balance* foi fundamentado no modelo de qualidade da água superficial e roda em ambiente de SIG – Sistema de Informações Geográficas, calculando o

balanço de massa no sistema estuarino. O algoritmo utilizado foi escrito na linguagem Avenue do ArcView (HELLWEGER, 1997).

O cálculo realizado pelo programa requer que o sistema estuarino esteja segmentado. Em cada segmento é necessária a determinação de alguns parâmetros como coeficiente de dispersão e volume. No final, o programa plota os fluxos das massas de água (difusivo e advectivo) e as cargas que estes conduzem em um mapa (HELLWEGER & MAIDMENT, 1997).

A metodologia desenvolvida por Hellweger (*op. cit.*) estabelece como variáveis:

_deltat = tempo [T]

S = concentração [M/V]

Sb = concentração na borda (fronteira entre os polígonos) [M/V]

q = fluxo [V/T]

ep = coeficiente de dispersão [V/T]

fad = fluxo advectivo de massa [M/T]

fdi = fluxo difusivo de massa [M/T]

v = volume [V]

k = taxa de decaimento [1/T]

wnp = carga de efluente de fonte não pontual [M/T]

wat = carga de efluente atmosférico [M/T]

wot = outras cargas [M/T]

wse = carga de sedimentos [M/T]

wad = carga líquida advectiva [M/T]

wdi = carga líquida difusiva [M/T]

wd = decaimento da carga de efluente [M/T]

A entrada no sistema é feita através de linhas e polígonos que formam os segmentos do corpo de água avaliado, em formato compatível com ARC/INFO. Este conjunto de dados precisa estar topologicamente conectado.

Inicialmente, os procedimentos para cada polígono implicam em zerar as cargas líquidas advectiva e dispersiva, ou seja, $wad = 0$ e $wdi = 0$. Em cada linha é calculado o transporte advectivo e difusivo de massa através da linha. Para o transporte advectivo, s é obtida a partir do polígono localizado fluxo acima ou sb se este fluxo vem de uma fronteira. Assim, $fad = q.s$, juntando fad com wad do polígono corrente abaixo. Para o transporte difusivo, são obtidos sl (concentração do polígono à esquerda) e sr (concentração do polígono à direita) ou sb se o polígono adjacente é uma fronteira. Neste caso $fdi = ep(sl - sr)$, adicionando ou subtraindo fdi para ou a partir da wdi dos polígonos adjacentes.

Desta forma, para cada polígono é computada uma concentração onde:

$$\mathbf{sold} = \mathbf{s}$$

$$\mathbf{wt} = \mathbf{wnp} + \mathbf{wat} + \mathbf{wot} + \mathbf{wse} - (\mathbf{k} \cdot \mathbf{v} \cdot \mathbf{sold}) + \mathbf{wad} + \mathbf{wdi} \quad \text{Equação 14}$$

$$\mathbf{snew} = \mathbf{sold} + [\mathbf{wt} \cdot (_deltat / \mathbf{v})] \quad \text{Equação 15}$$

$$\mathbf{s} = \mathbf{snew}$$

A entrada no sistema requer a especificação de determinados atributos para linhas e para polígonos. Para linhas é necessário:

q = fluxo

ep = coeficiente de dispersão

sb = concentração na fronteira (somente para as linhas de fronteira)

Os atributos para polígonos são:

v = volume

k = taxa de decaimento

wnp = escoamento de carga não pontual

wat = carga atmosférica

wse = carga de sedimentos

wot = outras cargas

so = concentração inicial

A saída do sistema consiste no balanço de massa. Este dado é armazenado em uma tabela de atributos de polígonos e linhas. Para linhas são armazenados fad - transporte de massa advectivo – e fdi – transporte de massa

difusivo; para polígonos, s – concentração, wad – carga líquida advectiva, wdi – carga líquida difusiva – e wd – carga de decaimento.

O sistema desenvolvido por Hellweger está na forma de um projeto do ArcView, podendo ser aberto neste SIG como um arquivo (figura 10).

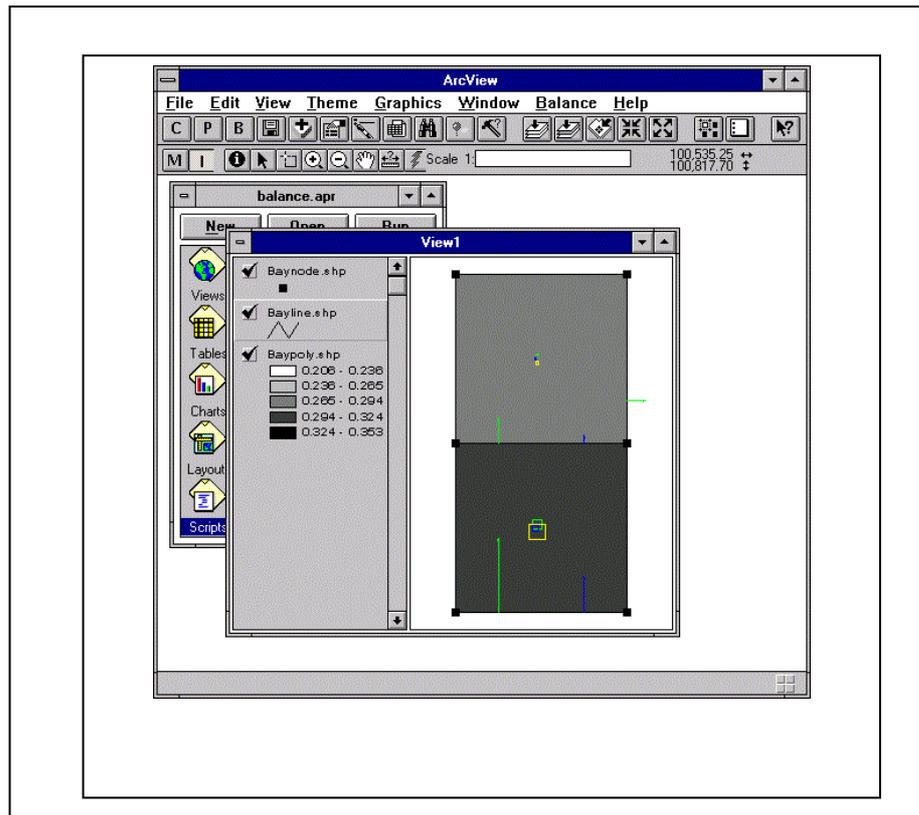


FIGURA 10 – TELA TÍPICA DO BALANCE

Fonte: Hellweger (1997, p.4)

O programa possui ferramentas que permitem a configuração de unidades em três sistemas: o Internacional, o Inglês e o Genérico. Também possibilita a entrada e a modificação de atributos em linhas e polígonos, tais como fluxo, coeficiente de dispersão, volume e outros (figura 11).

O cálculo do balanço de massa ainda exige que sejam especificados os parâmetros de controle (tabelas 3 e 4). Na figura 12 se tem um exemplo da visualização de uma janela do *Balance* para esta finalidade.

The figure shows two screenshots of the 'BALANCE' dialog boxes. The top screenshot is for 'Enter line attributes' and contains the following fields: 'Flow, q (+ = see black arrow) [m³/s]' with a value of -0.462963, and 'Bulk Dispersion Coefficient, ep [m³/s]' with a value of 0.347222. The bottom screenshot is for 'Enter polygon attributes' and contains the following fields: 'Volume, v [m³]' with a value of 1.2e+006, 'Decay Rate, k [1/day]' with a value of 0.1, 'Nonpoint Runoff Load, wnp [kg/day]' with a value of 0, 'Atmospheric Load, wat[kg/day]' with a value of 0, 'Sediment Load, wse [kg/day]' with a value of 0, 'Other Load, wot [kg/day]' with a value of 0, and 'Initial Concentration, so [mg/L]' with a value of 0. Both dialog boxes have 'OK' and 'Cancel' buttons.

FIGURA 11 – JANELAS DO BALANCE PARA A MUDANÇA DE ATRIBUTOS EM LINHAS E EM POLÍGONOS

Fonte: Hellweger (1997, p.6)

Tabela 3 – Parâmetros de controle do Balance

Parâmetro	Descrição
Delta t	Etapa de tempo definida
Converge delta s	Se o máximo de mudança na concentração, de uma simulação a outra, é menor que o valor referido, o sistema assume a condição de <i>estado estacionário</i> e a computação cessa.
Diverge delta s	Se o máximo de mudança na concentração, de uma simulação a outra, é maior que o valor referido, o sistema assume uma condição instável e interrompe a computação.
Max t	Tempo máximo para a computação.
Nível de observação do usuário	Especifica a quantidade de informação introduzida pelo usuário, durante a computação.

Fonte: Hellweger (1997, p.7)

Tabela 4 – Níveis de observação do usuário

Nível	Descrição
0	Não utilizado ainda.
1	A barra de ferramentas do ArcView é atualizada periodicamente. Informação exibida na tela inclui tempo, máxima mudança na concentração, a partir da última etapa computada, e o percentual do tempo máximo.
2	Adicionalmente ao nível 1, a legenda é atualizada periodicamente, o que facilita quando, por exemplo, os polígonos são coloridos com base na concentração.
3	Adicionalmente ao nível 2, as variáveis do balanço de massa são plotadas.
4	Adicionalmente ao nível 3, o sistema faz um intervalo, depois de cada etapa computada, e exibe na tela o tempo e a máxima mudança na concentração, a partir do último procedimento realizado pelo programa.

Fonte: Hellweger (1997, p.7)

FIGURA 12 – JANELA DO BALANCE PARA A INTRODUÇÃO DOS PARÂMETROS DE CONTROLE

Fonte: Hellweger (1997, p.7)

Ainda que os resultados da computação do balanço de massa sejam armazenados em uma tabela de dados, eles poderão ser examinados individualmente para cada feição (segmento de linha ou polígono). Para tanto, basta manter o tema desejado ativo na janela do ArcView e clicar no correspondente comando do *Balance* (figura 13).

Para a modelagem da salinidade na Baía de Corpus Christi, Texas, EUA, Hellweger (1997) adotou a segmentação do sistema em 20 polígonos. Os arquivos foram gerados em formato shapefile, constando de pontos, linhas e polígonos (figura 14).

do escoamento superficial. Para fechar o balanço de massa, foi considerado que parte do sistema recebe um fluxo de água salgada, a partir dos segmentos adjacentes, o que o torna hiperhalino, ou seja, a salinidade medida é maior que a do oceano.

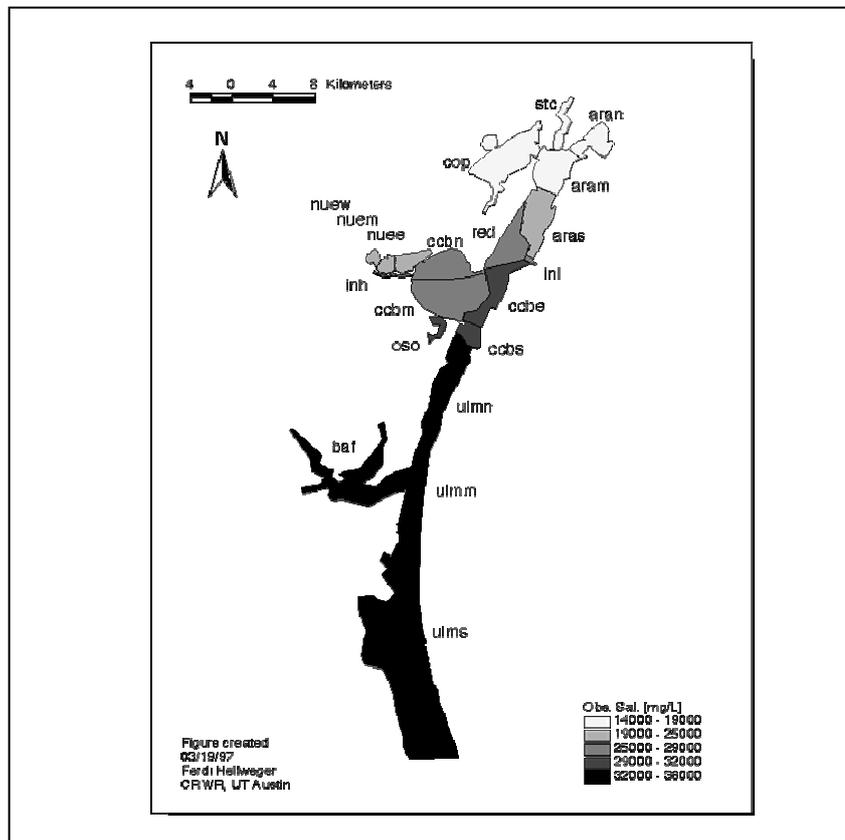


FIGURA 15 – SALINIDADE MEDIDA NA BAÍA DE CORPUS CHRISTI

Fonte: Hellweger (1997, P.6)

Após configurar a unidade desejada e testar o programa, o autor selecionou os seguintes parâmetros de controle para gerar o mapa da distribuição espacial da salinidade modelada (s):

$$\Delta t \text{ [h]} = 12$$

$$\text{Converge delta } s \text{ [mg/L]} = 0,1$$

$$\text{Diverge delta } s \text{ [mg/L]} = 50000$$

$$\text{Max } t \text{ [h]} = 100000$$

$$\text{Nível de observação do usuário (0-4)} = 1$$

Hellweger (1997) explica que uma boa maneira de comparar a salinidade modelada (s) com a medida (sm) é criar um mapa do “erro modelado”. Este

procedimento foi realizado na tabela de atributos, mediante a criação de um novo campo que foi preenchido com a diferença entre $s - sm$ (figura 16).

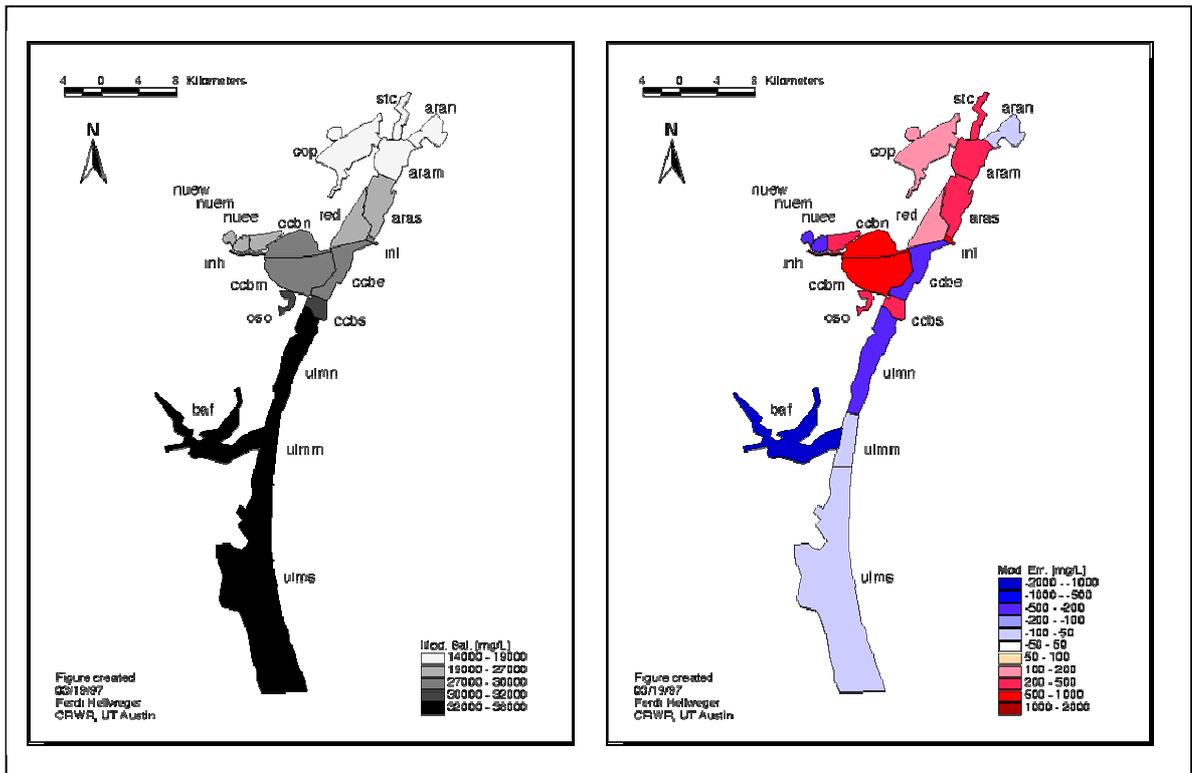


FIGURA 16 – MAPAS DA SALINIDADE E DO ERRO MODELADO; EM AZUL A SALINIDADE FOI SUBESTIMADA E EM VERMELHO, SUPERESTIMADA

Fonte: Hellweger (1997, p.6-7)

O autor também demonstra outras utilidades do programa como a visualização dos fluxos de massa advectivo e dispersivo, através de vetores plotados no mapa (figura 17). Além disto, a possibilidade de modificar os atributos de linhas e polígonos faculta a geração de cenários com maior ou menor fluxo de água doce, por exemplo. Desta forma, novos balanços são estimados e podem ser comparados espacialmente. Isto é muito interessante em um processo de gestão integrada de bacias hidrográficas situadas em zona costeira.

É necessário salientar, todavia, que os parâmetros que alimentam o *Balance* foram obtidos a partir de médias anuais. Helweger e Maidment (1997) explicam com detalhe o processo de obtenção destes dados. Neste trabalho são descritos os critérios adotados para a escolha do modelo de segmentação da baía. Também são discriminados os procedimentos para a obtenção da profundidade média e área de cada segmento, através da aplicação de software específico chamado *Surface Water Modeling System* e do script *calcarea program*

do *Balance*. O volume dos segmentos, por sua vez, foi calculado através da multiplicação da área (m^2) e profundidade média (m) de cada segmento.

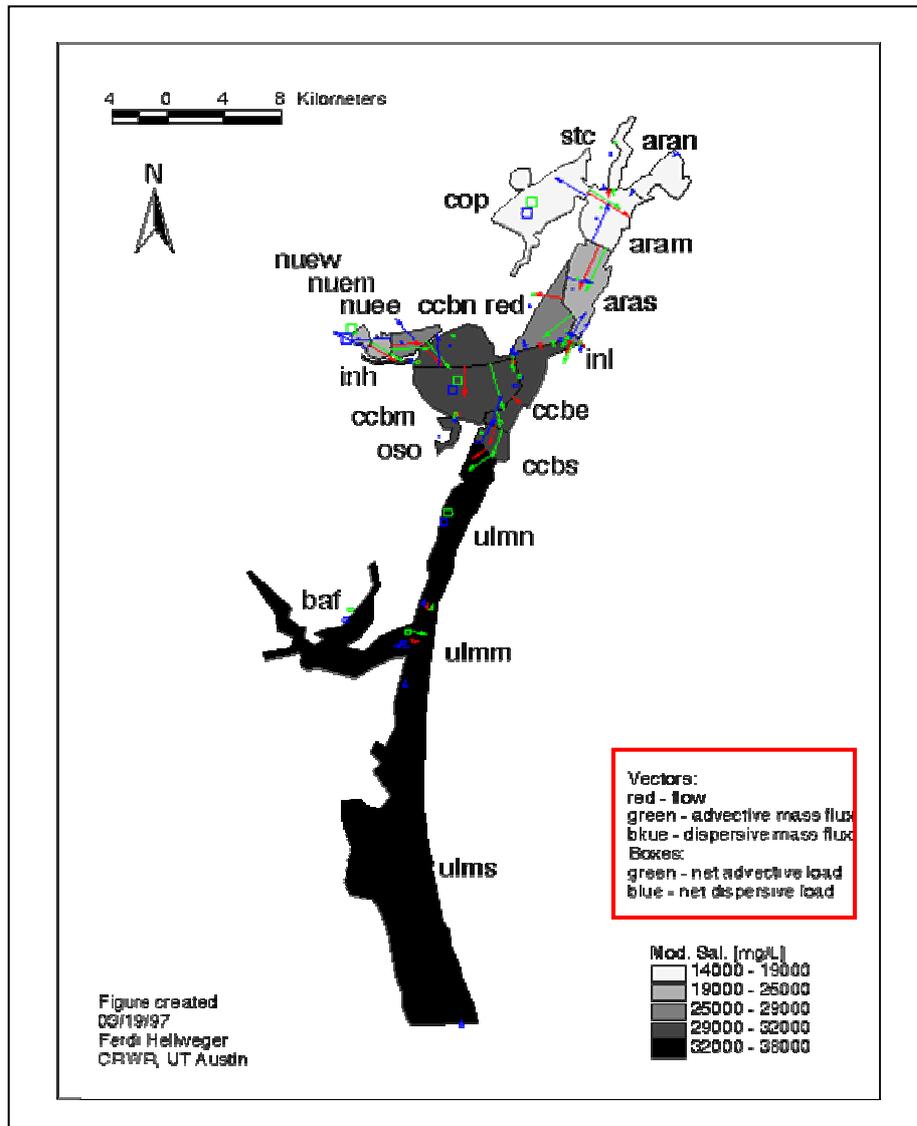


FIGURA 17 – SALINIDADE, FLUXOS DE MASSA E CARGAS EM CORPUS CHRISTI

Fonte: Hellweger (1997, P.8)

Outro dado importante gerado foi a definição da linha de fronteira, ou seja, a linha horizontal que representa a interface entre os segmentos. Conforme os autores isto é fundamental para a avaliação da transferência de massa por dispersão. Esta linha, no entanto, nem sempre representa a interface em toda a sua extensão. Ela é definida pelos pontos de maior profundidade. A geometria da interface dos segmentos da Baía de Corpus Christi foi estabelecida através do comprimento da linha de fronteira, calculado pelo script *calclength* do *Balance*, e sua profundidade média. As áreas de interface, por sua vez, foram calculadas,

multiplicando-se o valor do comprimento de cada linha de fronteira (em metros) pela sua respectiva profundidade média (em metros).

Dados de evaporação e precipitação médias anuais, em metros, foram transformados em imagens raster. Utilizando o programa Arcinfo, Hellweger e Maidment (1997) obtiveram os valores médios destes parâmetros para cada segmento. Estes valores, a seu turno, foram multiplicados pela área atinente a cada segmento, a fim de se transformar as unidades em m^3/s .

A parte mais complexa na preparação dos dados para a modelagem do balanço de massa, no referido caso, foi estimar os fluxos nos segmentos, com base no escoamento superficial da bacia hidrográfica. Para tanto, os autores se valeram dos dados gerados durante o trabalho desenvolvido por Quenzer (1998). Esta autora apresentou um método para a geração de mapas, em formato raster, da média anual dos fluxos e cargas de poluentes oriundos da superfície continental e para a determinação das concentrações resultantes recebidas por corpos de água. O método foi aplicado na Baía de Corpus Christi, utilizando-se, entre outros softwares, o *Balance*.

Neste estudo, as cargas originárias da atmosfera, da superfície continental, de fontes pontuais e não pontuais e dos fluxos do Rio Nueces foram calculadas e entraram no modelo de qualidade da água da baía, para gerar a sua concentração no sistema. As médias anuais dos fluxos foram consideradas em *estado estacionário*. Dessa forma, a modelagem realizada representou a média anual do balanço de massa.

Para dirigir o fluxo de água de uma célula a outra, as cargas foram acumuladas na rede de drenagem e na baía. Este dado entrou no modelo para calcular uma concentração de equilíbrio em cada um dos 20 segmentos da baía. Fontes de cargas não pontuais foram estabelecidas para cada célula como o produto do escoamento pela média da concentração esperada e acumulada na baía. Fontes de cargas pontuais e atmosféricas foram adicionadas para se computar a qualidade da água que, após, foi comparada com os dados observados. O balanço de massa simulado está ilustrado na figura 18.

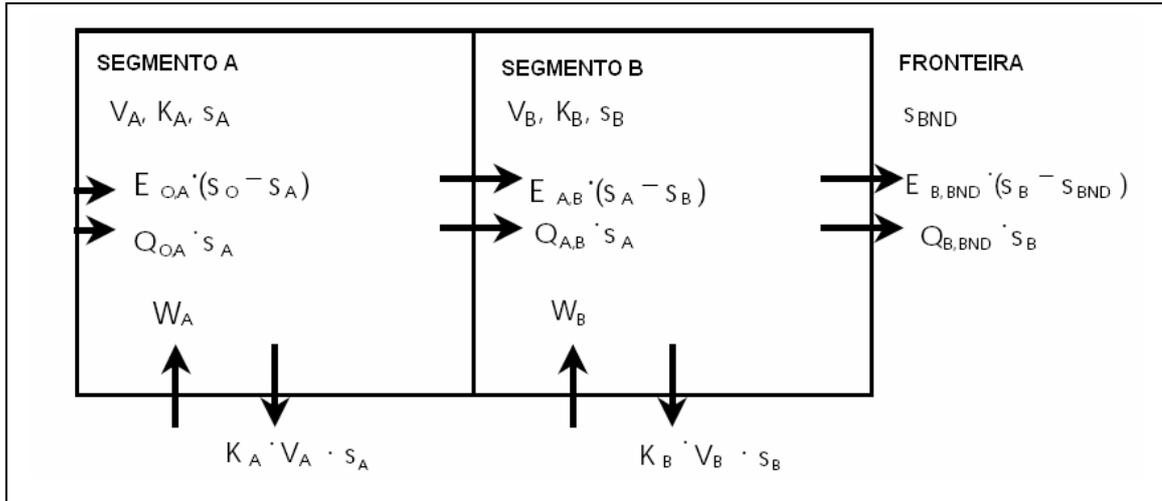


FIGURA 18 – METODOLOGIA PARA A ESTIMATIVA DA QUALIDADE DA ÁGUA, ATRAVÉS DO BALANÇO DE MASSA

Fonte: Quenzer (1998, p.98)

No sistema simulado foi aplicada a seguinte equação de balanço de massa:

$$d_{s_B}/dt * V_B = Q_{A,B} * s_A - Q_{B,BND} * s_B + E_{A,B} * (s_A - s_B) + E_{B,BND} * (s_B - s_{BND}) - K_B * V_B * s_B + W_{Bdt}$$

Equação 16

Onde d_{s_B}/dt = mudança concentração segmento B/mudança tempo dt;

V_B = volume do segmento B (m^3);

$Q_{A,B}$ = fluxo do segmento A para B (m^3/s);

$Q_{B,BND}$ = fluxo do segmento B para BND (m^3/s);

s_A = concentração do constituinte no segmento A (mg/L);

s_B = concentração do constituinte no segmento B (mg/L);

s_{BND} = concentração do constituinte na fronteira (mg/L);

$E_{A,B}$ = volume do coeficiente de dispersão entre os segmentos A e B (m^3/s);

$E_{B,BND}$ = volume do coeficiente de dispersão entre os segmentos B,BND (m^3/s);

K_B = taxa de decaimento no segmento B (/d);

W_B = carga de resíduo no segmento B (Kg/ano).

A equação acima calcula o balanço de massa em torno do segmento B da figura 18. Assumindo-se uma condição de estado estacionário, $[d_{sB}/dt]$, o termo V_B é zero. Os demais termos representam:

1. A entrada de carga advectiva do segmento A, $Q_{AB} * s_A$
2. A saída de carga advectiva através da fronteira, $Q_{B,BND} * s_B$
3. A carga dispersiva através da interface dos segmentos A e B, $E_{AB}(s_A - s_B)$
4. A carga dispersiva através da interface do segmento B e da fronteira, $E_{B,BND}(s_B - s_{BND})$
5. A perda de carga por decaimento, $K_B * V_B * s_B$
6. A carga residual para o segmento, W_B

Quenzer (1998) adverte que o estudo realizado apresenta limitações. O uso de médias anuais assume que fluxos e cargas são parâmetros em estado estacionário de ano a ano. Os efeitos do aumento dos constituintes das cargas através do sistema, em períodos de cheias excepcionais, não foram considerados.

De outra parte, a concentração dos constituintes de origem continental está relacionada a algumas classes de uso do solo, não abrangendo a diversidade de todos os tipos de uso do solo. Os diferentes estágios do crescimento das culturas na área agrícola, por exemplo, produzem distintos volumes de escoamento. Isto não foi considerado no caso em questão.

A autora ressalta, ainda, que as cargas dos constituintes foram consideradas *conservativas* na rede de drenagem, bem como no seu transporte para a baía, o que pode ter causado uma avaliação acima do que é realmente introduzido no estuário. Além disso, a dificuldade na aquisição de alguns dados, como os atmosféricos, evidenciou a sua restrição no momento de sua aplicação no modelo. A carga de sedimentos também não pode ser avaliada, refletindo-se na estimativa dos metais que afetam o sistema.

Apesar destes entraves, a autora afirma que o resultado final da modelagem representou uma razoável semelhança com os dados de concentração observada na baía.

2.4.2 Estuário de Ciénaga Grande de Santa Marta, Colômbia

Jönsson *et al.* (2005) aplicaram o modelo do balanço de massa para investigar mudanças potenciais dos fluxos de água doce e salgada, no sistema estuarino de Ciénaga Grande de Santa Marta, no norte da Colômbia. Este sistema compreende uma área de cerca de 1800 Km² que, a partir da década de 1970, teve o fluxo de água dos seus tributários diminuído, em virtude das atividades humanas, especialmente devido às práticas de irrigação. Essas mudanças resultaram em uma hipersalinização do sedimento do manguezal. Nos anos de 1990, o governo colombiano iniciou um amplo programa de reabilitação do ecossistema, por meio da recuperação da entrada de água doce para o sistema, facilitando, assim, a regeneração do ecossistema de mangue.

Para avaliar o regime hidrológico do sistema de Ciénaga Grande, os autores utilizaram o tempo de retorno da água como uma variável de diagnóstico. Segundo eles, o tempo de retorno oferece uma boa indicação das características do sistema e tem uma propriedade de integração que compensa, em certo ponto, a variação temporal. Neste caso, o balanço de massa foi aplicado para calcular o tempo de retorno dos corpos de água de Ciénaga Grande e Ciénaga Pajalar e, também, para determinar os fluxos de água através da Boca de La Barra, na entrada da baía (figura 19).

Para tanto, o balanço foi definido através da equação:

$$dV/dt = Q_p - Q_e + Q_r + Q_m + Q_n + Q_i - Q_o = Q_f - Q_o + Q_i \quad \text{Equação 17}$$

Onde Q_p é a precipitação, Q_e é a evaporação, Q_r é o fluxo do rio, Q_m é o fluxo da água subterrânea e Q_n é o fluxo de fontes antrópicas. Conforme Jönsson *et al.* (*op. cit.*), todas estas contribuições devem combinar os fluxos de água doce (Q_f).

A partir de então, o volume dos fluxos para o sistema, Q_i e Q_o , respectivamente, junto com a salinidade interna e externa, S_i e S_o , foram utilizados para formular o balanço da salinidade através da equação

$$V (dS_i/dt) = S_f Q_f + S_o Q_i - S_i Q_o \quad \text{Equação 18}$$

Onde S_f é a salinidade do fluxo de água doce, que por definição é igual a zero. O volume V e a salinidade S_i são considerados em estado estacionário, em virtude das simplificações que este método exige.

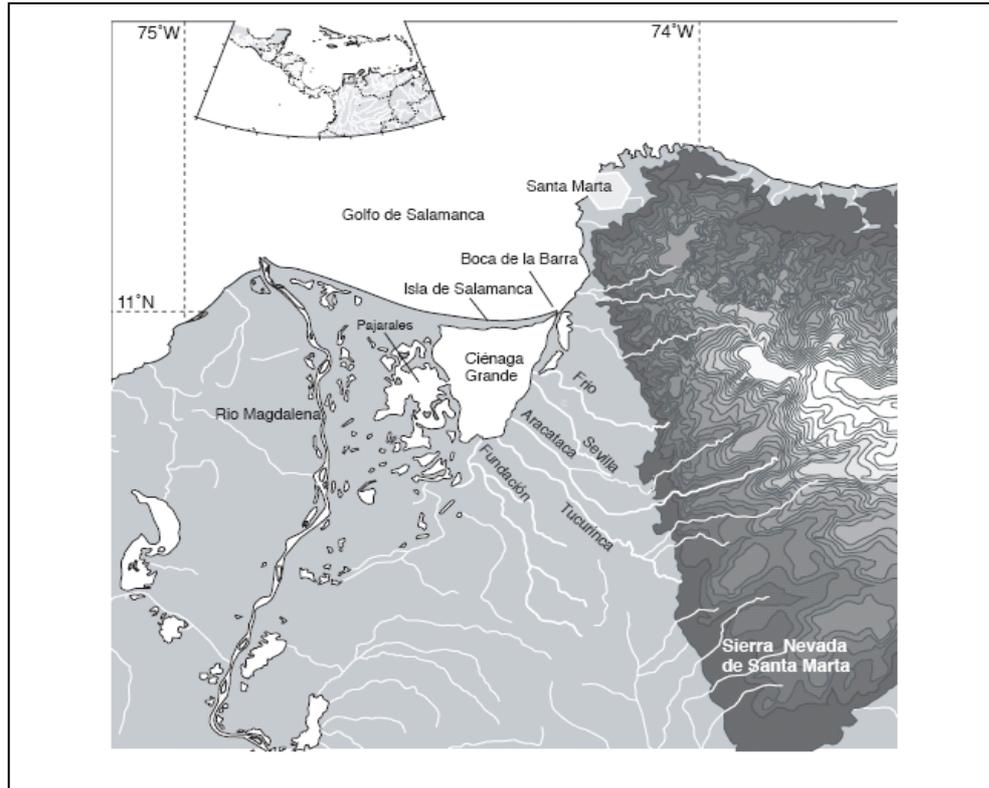


FIGURA 19 – SISTEMA ESTUARINO DE CIÉNAGA GRANDE DE SANTA MARTA

Fonte: Jönsson *et al.* (2005, p.35)

Sendo assim:

$$Q_i = S_i \cdot Q_f / S_o - S_i; \quad Q_o = S_o \cdot Q_f / S_o - S_i \quad \text{Equação 19}$$

O fluxo Q_o foi usado para determinar o tempo de retorno $T = V/Q_o$, onde V é o volume do sistema, de acordo com Bolin e Rodhe (1973 *apud* JÖNSSON *et al.*, 2005).

Os procedimentos realizados em Ciénaga Grande precisaram assumir algumas simplificações. Neste particular, é importante referir que foi considerado um volume constante para o sistema. Os autores reconhecem que marés, nível das lagoas, ventos e variação nas descargas dos rios, por exemplo, contribuem para a flutuação do volume dos corpos de água do sistema estuarino. Em um período longo, no entanto, estas mudanças em volume tenderão a se equilibrar. Desta maneira, parece ser razoável admitir um volume quase estacionário para o sistema, esclarecem Jönsson *et al.* (2005). Para alcançar esta condição, os dados devem representar apenas a condição média em um considerável período de tempo. A salinidade também foi aceita como constante no sistema, tanto no tempo como no espaço. Isto implica que o estuário deve ser bem misturado.

Estuários estratificados podem ser modelados, desde que outras simplificações auxiliares sejam assumidas advertem os autores.

No caso em foco, o balanço de massa não considerou lagoas pequenas, riachos e manguezal. Por isso, foi forçoso formular um número de hipóteses e simplificações, elucidam Jönsson *et al.* (2005). Por exemplo, a entrada de água doce foi atribuída a somente três fontes: precipitação direta, fluxo oriundo das encostas da Sierra e dos canais da região de Magdalena. Todas as trocas entre o oceano e Ciénaga Grande foram assumidas como tendo lugar na Boca de La Barra. O fluxo do Rio Magdalena foi negligenciado, uma vez que foi cortado por estradas e a Ilha de Salamanca foi considerada como impermeável. A precipitação e a temperatura nas encostas da bacia hidrográfica foram aceitas como as mesmas que ocorrem no estuário. Este, por sua vez, foi considerado do tipo bem misturado tanto verticalmente quanto horizontalmente. Foi ainda admitida uma elevada troca de matéria entre Ciénaga Grande e Ciénaga Pajara, conforme indicado pelos dados de salinidade e das marés recordes de Pajara.

Para estimar qual das variáveis introduzidas é mais crítica quando da efetuação dos cálculos, uma avaliação sensível foi realizada. Assim, cada variável foi multiplicada por um fator que variou de 0,1 a 10 e o resultante tempo de retorno foi utilizado como uma variável de diagnóstico.

O gráfico da figura 20 mostra que a salinidade é a variável mais crítica para uma estimativa correta do tempo de retorno, o que é consistente com as características bem estabelecidas do balanço de massa. Este parâmetro aparece como o de entrada mais robusta, em face da melhor precisão com que é medido. Nos dados apresentados, o tempo de retorno do sistema é mais suscetível a mudanças de salinidade em Ciénaga Grande ou no Golfo de Salamanca, comparado às mudanças de outras variáveis.

Jönsson *et al.* (*op. cit.*) concluíram que um tempo de retorno avaliado na ordem de 20 dias indicou que o sistema é inundado regularmente e ainda deveria ser descrito como um estágio intermediário entre rios suprindo com água doce o sistema e o oceano. Assim sendo, não consideram plausível que a elevada produção primária que caracteriza o sistema permaneça *in situ* tempo suficiente para depositar e acumular sedimentos de fundo, enquanto os detritos são descarregados para fora do Golfo de Salamanca.

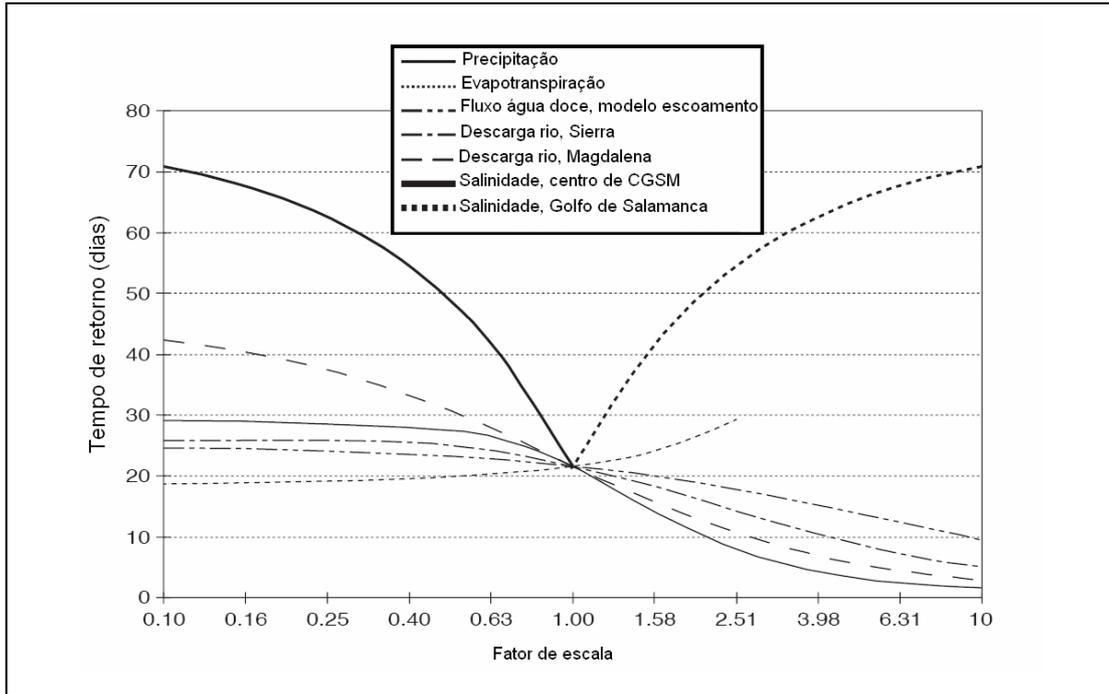


FIGURA 20 – ANÁLISE SENSÍVEL DO BALANÇO DE MASSA DE CIÉNAGA GRANDE
 Fonte: Adaptado de Jönsson *et al.* (2005, p.46)

O método de verificação proposto foi tido como apropriado, uma vez que não resultou em valores altos e não realistas de fluxos. Uma outra vantagem colocada é que o tempo derivado somente admitiu moderadamente largas magnitudes, não invalidando, com isto, a condição assumida de estacionário subjacente à análise. Por fim, os autores afirmam que o estudo realizado demonstrou que uma aproximação simples, preferivelmente para a modelagem de um corpo de água costeiro, pode fornecer um acréscimo útil ao conhecimento do sistema.

Os exemplos descritos acima demonstram que a modelagem de estuários, a partir do método do balanço de massa, requer simplificações importantes do mundo real e isto deve ser bem esclarecido no momento de se aplicar a metodologia e verificar seus resultados. Apesar disto, os produtos gerados, quando confrontados com a realidade, permitem uma avaliação integrada dos fluxos de matéria, entre os domínios continental e oceânico, valiosa para uma gestão sistêmica dos seus recursos.

3 A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TRAMANDAÍ

3.1 INTRODUÇÃO

O advento da Lei 10.350, promulgada em 30 de dezembro de 1994, ao instituir o Sistema Estadual de Recursos Hídricos e traçar os objetivos, princípios e diretrizes fundamentais da Política Estadual de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul, representou um marco histórico renovador para a gestão das águas do Estado. Estabelecendo como paradigma a descentralização participativa e definindo a bacia hidrográfica como unidade básica de intervenção, incorporou princípios praticados em países que avançaram no regramento do uso de seus recursos hídricos, como a França e o Reino Unido.

Segundo Cánepa e Grassi (2000, p.140), esta lei resgatou ao Poder Público e à sociedade gaúcha a concepção e o imperativo de **“um planejamento a longo prazo, sem o qual o bem ambiental água – de propriedade estatal – pode ser exaurido, principalmente por degradação qualitativa de suas fontes”**. O seu modelo sistêmico permite que as comunidades envolvidas tomem decisões, sem as quais **“o planejamento tornar-se-ia, dado a sua complexidade, excessivamente tecnocrático e provavelmente, fadado ao fracasso”**. Lanna (2000) explica que esta característica possibilita ao governo, usuários da água e sociedade negociarem e estabelecerem metas de desenvolvimento atreladas a instrumentos normativos e econômicos, como o enquadramento e a cobrança. O fórum por excelência da participação da cidadania se dá no âmbito de comitês de gerenciamento de bacia hidrográfica, que são colegiados mistos constituídos, predominantemente, por usuários da água e população e, minoritariamente, por órgãos públicos estaduais e federais atuantes na região e que tenham atribuições vinculadas aos recursos hídricos (art. 13, Lei 10.350/1994).

Na Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí o processo de formação do comitê esteve intimamente relacionado com as discussões públicas em torno do zoneamento ecológico-econômico (ZEE) e da proposta de enquadramento dos recursos hídricos do Litoral Norte, iniciadas em 1997. A criação do comitê foi ultimada em 1999, denotando uma exitosa experiência de atuação integrada, com

vistas ao gerenciamento dos recursos hídricos e costeiros. A mais recente nestes moldes, vivenciada no contexto estudado, foi expressa nos trabalhos que culminaram com a 1ª Etapa do Plano de Bacia, concluído em 2005.

Contudo, em que pese os valiosos esforços despendidos pelos órgãos estatais, responsáveis pela implementação destes instrumentos de gestão, e a existência de um comitê de bacia, os produtos das ações integradas, na prática, não foram suficientes para operacionalizar ações que contemplassem importantes conflitos de usos da água. É necessário lembrar que estes se manifestam em um complexo sistema hidrológico, produzido pela influência mútua entre os domínios oceânico e continental.

Neste capítulo procurou-se caracterizar os processos naturais considerados mais expressivos para a compreensão dos mecanismos condicionantes dos fluxos de água doce e salgada na bacia. Além disto, também se buscou avaliar como estes mecanismos podem ser afetados pelo tipo de uso e ocupação humana e de que maneira duas importantes experiências de gestão integrada ocorridas neste âmbito, o zoneamento ecológico-econômico e o plano de bacia, fomentaram o proposto nesta tese.

3.2 LOCALIZAÇÃO

A Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí situa-se no Litoral Norte do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas de 29°16' a 30°19' de latitude Sul e 49°45' a 50°22' de longitude Oeste, compreendendo as províncias geomorfológicas do Planalto Meridional e da Planície Costeira, em uma superfície de aproximadamente 2.697,87 Km² que inclui uma faixa costeira de cerca de 115 Km. Pertencente à Região Hidrográfica das Bacias Litorâneas como a Bacia L10, a sua área de abrangência contempla, de forma total ou parcial, 17 municípios, conforme dados de Profill Engenharia e Ambiente Ltda. (2004.a) (figura 21).

Seus limites são estabelecidos ao norte pelo divisor de águas da Bacia Hidrográfica do Rio Mampituba; a leste pelo Oceano Atlântico Sul; na sua porção meridional e sudoeste pela Bacia do Litoral Médio; a oeste pela Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos; e a noroeste pela Bacia Hidrográfica Taquari-Antas.

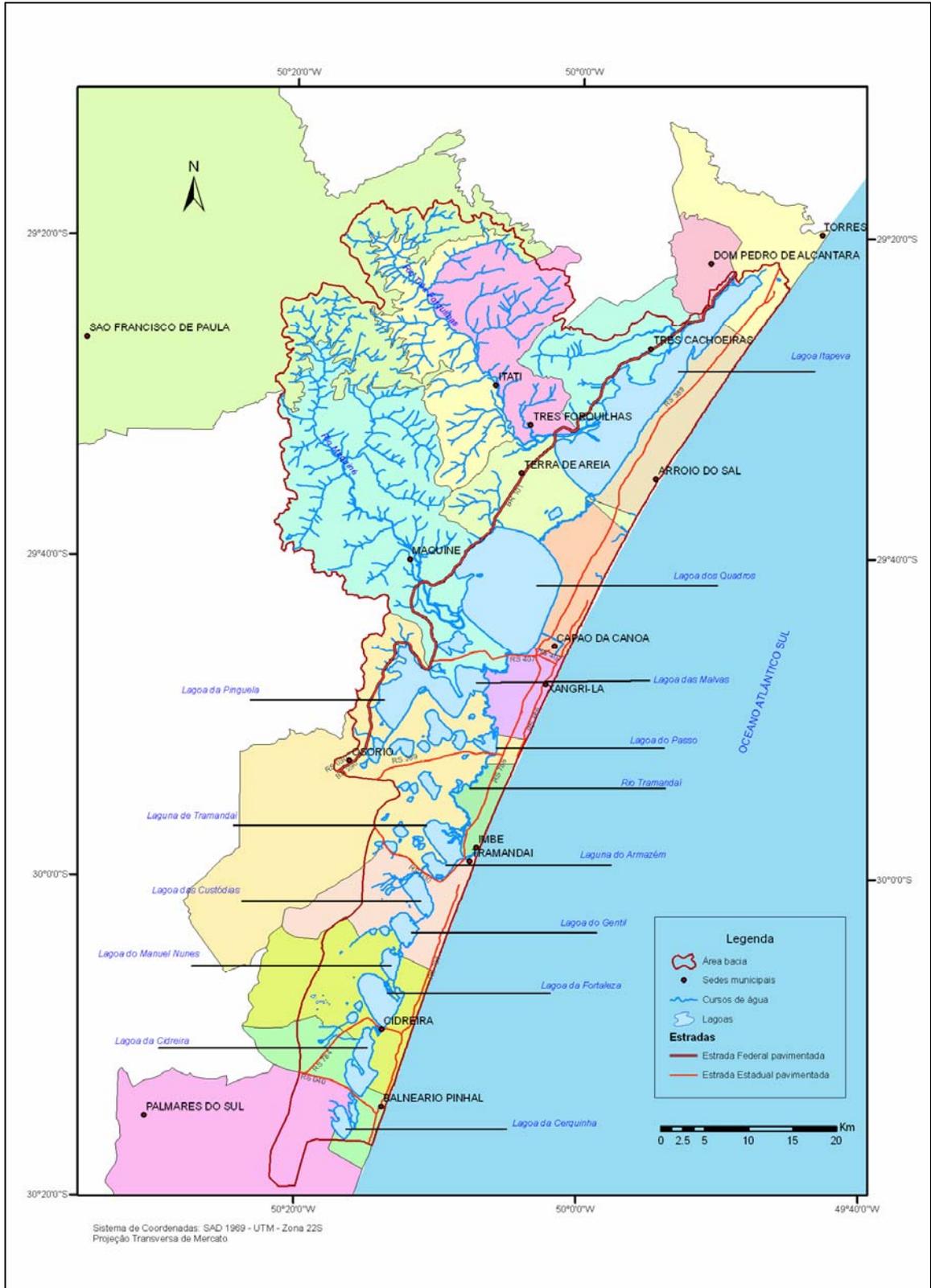


FIGURA 21 - DIVISÃO POLÍTICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TRAMANDAÍ, RS

O escopo da presente tese, segundo o colocado no capítulo 1, se restringe ao conjunto de lagoas interligadas representadas ao norte pela Lagoa Itapeva e ao sul pela Lagoa das Custódias, incorporando, assim, os principais corpos de água situados ao norte da bacia e os mais relevantes para a avaliação da propagação salina no seu sistema estuarino.

3.3 CARACTERIZAÇÃO GERAL

A Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí se individualiza pela diversidade de ecossistemas terrestres e aquáticos, representados por alguns dos últimos relictos, no território rio-grandense, da Floresta Atlântica *stricto sensu*, e pela variedade de corpos de água lóticos e lênticos, interligados num complexo sistema lacustre-lagunar de origem holocênica. Sua área abrange desde as terras elevadas do Planalto Meridional até os terrenos alagadiços da Planície Costeira, englobando uma série de ambientes deposicionais, que originam banhados e deltas intralagunares, abordados nos estudos de Tomazelli e Villwock (1991) e que serão destacados na seqüência deste capítulo.

As principais sub-bacias contribuintes do seu sistema hidrológico estão localizadas na escarpa planáltica, onde os rios Três Forquilhas e Maquiné se notabilizam pelo regime torrencial, fortemente condicionado pelo gradiente topográfico. Nestas áreas o uso predominante da água superficial é para a irrigação de hortaliças. Problemas relativos ao dinamismo fluvial, representado pela carga detrítica depositada nos vales e cheias devastadoras, são recorrentes no contexto em foco. Por outro lado, a ocupação indevida das encostas, mediante a substituição indiscriminada da floresta nativa pela bananicultura ou a mera exposição do solo litólito à erosão representam algumas das questões que preocupam e figuram na pauta de debates do comitê.

No setor planiciário da bacia a paisagem é dominada pelo conjunto de lagoas interligadas e isoladas, onde ao sul é possível se observar os remanescentes dos campos de dunas que funcionam como barreira protetora dos ventos e das tempestades oceânicas, bem como para a contenção da intrusão salina em subsuperfície. Estas lagoas costeiras são utilizadas principalmente como mananciais para o abastecimento público e industrial, irrigação do arroz, dessedentação animal, pesca, lazer e turismo. No entanto, estes ecossistemas

são também usados para o lançamento de esgoto *in natura* o que tem comprometido a qualidade das suas águas e sua diversidade biológica.

Intervenções estruturais em canais e em banhados são outros problemas que podem afetar a disponibilidade hídrica desta bacia que se conecta com o mar, mediante um pequeno canal de ligação com a Laguna de Tramandaí. O sistema estuarino que se origina desta troca entre continente-oceano é igualmente impactado pelos empreendimentos acima reportados. Desta forma, a conjugação de fatores favoráveis como estiagem na bacia, vento sul e retirada excessiva de água tende a expandir a propagação salina, representando um problema sério para o atendimento de usos prioritários da água, como o abastecimento público.

A população total residente, estimada para o ano de 2004, foi de aproximadamente 198 mil habitantes, o que representou menos de 2% da população do Estado. A concentração deste efetivo é predominantemente urbana, destacando-se as cidades de Osório, Capão da Canoa, Imbé e Tramandaí como as mais populosas (PROFILL ENGENHARIA E AMBIENTE LTDA., 2005.b). É importante ressaltar que este quadro é bastante alterado por ocasião dos meses de verão (dezembro a março), quando a população estimada pode superar um milhão de habitantes (10% da população estadual). Isto significa um substancial aumento nas demandas de água e na geração de esgotos.

O risco real e potencial da presença do terminal da Petrobrás, situado em Tramandaí, é outra questão de relevância para a gestão ambiental na bacia, em virtude dos problemas de vazamento de óleo, durante a descarga pelos petroleiros e na sua circulação, através do oleoduto. É digno de nota o fato deste conduto passar sobre o Rio dos Camarões, um importante curso de água utilizado, especialmente, para a pesca e que interliga a Laguna do Armazém com a Lagoa das Custódias. No ano de 2000, o órgão ambiental do Estado multou aquela empresa, em face de um grave derrame de petróleo na orla. Considerando-se a vulnerabilidade das lagoas costeiras e da sua importância como fonte de água doce para a planície costeira e o fato da população aumentar significativamente no verão, justamente quando as demandas deste bem se acentuam para atender a outros usos (como a irrigação, por exemplo), esta atividade pode, caso não seja devidamente controlada e monitorada, inviabilizar, por tempo indeterminado, o uso mais nobre destes recursos hídricos.

A economia da bacia está fundamentada em atividades de comércio e serviços, geralmente relacionados com o turismo de veraneio. A agricultura irrigada do arroz, situada sobretudo nas margens de lagoas e canais, e a indústria de transformação da madeira de pinus e eucalipto, na porção meridional, são outras atividades de relevo neste contexto.

A tabela 5 ilustra alguns dados relativos à área e à demografia dos municípios pertencentes à bacia em pauta. Da sua análise é possível perceber a importância do espaço urbano, notadamente nos municípios localizados junto à orla.

Tabela 5 – Área e demografia dos municípios, Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí, RS

Municípios	Área total Km ²	% área na bacia	Projeção - ano 2004				Estimativa população residente na bacia - ano 2004		
			População municipal			hab/km ²	População		
			Total	Urbana	Rural		Total	Urbana	Rural
Arroio do Sal	127,38	100,00	6.760	6.461	299	53,07	6.760	6.461	299
Balneário Pinhal	106,07	69,08	9.973	9.529	444	94,02	9.836	9.529	307
Capão da Canoa	96,72	100,00	37.297	37.097	201	385,62	37.297	37.097	201
Cidreira	241,49	72,39	11.515	11.033	482	47,68	11.382	11.033	349
D. Pedro Alcântara	79,18	24,23	2.827	752	2.075	35,71	503	0	503
Imbé	39,42	100,00	15.388	14.965	424	390,37	15.388	14.965	424
Maquiné	623,53	100,00	7.539	1.987	5.552	12,09	7.539	1.987	5.552
Osório	669,39	47,98	39.245	33.307	5.938	58,63	36.156	33.307	2.849
Palmares do Sul	945,90	6,40	11.903	9.972	1.931	12,58	124	0	124
S. Francisco Paula	3.326,94	6,15	19.941	12.404	7.538	5,99	464	0	464
Terra de Areia*	133,46	100,00	11.956	5.295	6.661	35,41	11.956	5.295	6.661
Torres	161,47	21,26	33.695	30.068	3.627	208,67	784	0	784
Tramandaí	143,51	74,23	37.696	36.054	1.642	262,67	37.273	36.054	1.219
Três Cachoeiras	252,40	82,40	10.298	5.116	5.182	40,80	9.386	5.116	4.270
Três Forquilhas	216,73	95,94	3.231	266	2.964	14,91	3.110	266	2.844
Xangri-lá	60,26	100,00	9.983	9.285	698	165,67	9.983	9.285	698
Total			269.247	223.589	45.658	36,25	197.939	170.394	27.546

Fonte dos dados: Profill Engenharia e Ambiente Ltda. (2004.a e 2005.b). (*) No Relatório sobre as Demandas Hídricas, a população do município de Itati não foi separada do município-mãe Terra de Areia. O novo município foi criado em 16/04/1996 e foi instalado em 2001. Segundo IBGE (2004 *apud* Profill Engenharia e Ambiente Ltda., 2005.b), a população estimada para Terra de Areia é de 8.617 e para Itati, 2.836 habitantes, considerando o ano referência 2004.

3.4 O SISTEMA HÍDRICO DA BACIA E SUA DINÂMICA NATURAL

Tomazelli e Villwock (1991) designaram de “sistema lagunar” ao conjunto de ambientes instalados na faixa de terrenos baixos do Litoral Norte rio-grandense, resultante do isolamento de lagoas que começou há cinco mil anos atrás, por ocasião do último evento transgressivo do Quaternário. Os

ecossistemas aquáticos mais relevantes para o atendimento dos múltiplos usos da água na Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí estão associados a este complexo lagunar.

Segundo os referidos autores, os corpos lagunares e lacustres deste sistema evidenciam uma tendência natural a se transformarem, gradativamente, em pântanos costeiros. Este fato, por si só, atesta a vulnerabilidade deste sistema bastante impactado pela ocupação e exploração indevida dos seus recursos ambientais. Tendo-se isto em conta, no presente item foram enfocadas as características principais destes ambientes, destacando-se a sua relevância nos processos de transferência de matéria e energia entre oceano e continente e como isto pode influir na propagação salina a partir do estuário do Rio Tramandaí.

3.4.1 Os subsistemas norte e sul da bacia

Segundo Ecoplan (1997), no sistema hídrico da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí podem ser individualizados dois subsistemas hidrográficos, um localizado ao norte e outro ao sul da desembocadura do Rio Tramandaí. Nestes subsistemas processos distintos de erosão, transporte e deposição podem ser evidenciados, de forma a contribuir para o entendimento dos seus efeitos na hidrodinâmica dos principais corpos de água da bacia.

O subsistema norte inicia na Lagoa Itapeva que se conecta com a Lagoa dos Quadros através do Rio Cornélios. Esta lagoa, por sua vez, apresenta um canal natural chamado João Pedro que a interliga a um subconjunto de lagoas formado pelos corpos lacustres Malvas, Palmital e Pinguela. Este sistema, a seu turno, por meio do Rio dos Postes se une a Lagoa do Passo. Em Profill Engenharia e Ambiente (2005.a) é ressaltado que existem ligações artificiais entre a Lagoa da Pinguela e a do Peixoto, assim como entre a Lagoa do Passo e as lagoas Lessa e Caieira. A partir da Lagoa do Passo as águas superficiais do subsistema fluem pelo Rio Tramandaí até a Laguna de Tramandaí, que se conecta com o mar mediante um pequeno canal, cujo detalhamento será avaliado mais adiante neste capítulo. Esta laguna completa o subsistema norte.

Na tabela 6 estão descritas as características físicas gerais das sub-bacias contribuintes para as lagoas do subsistema norte.

Tabela 6 – Características gerais das lagoas do subsistema norte

Lagoa	Bacia contribuinte (km ²)	Superfície de água* (km ²)	Volume* (10 ⁶ m ³)
Itapeva	729,4	124,9	194,3
Quadros	685,0	126,2	373,6
Pinguela, Palmital, Malvas e Peixoto	46,0	55,2	107,8
Lessa, Caieira e Passo	16,0	13,7	20,6
Tramandai e Armazém	43,1	19,7	18,5
Totais	1519,5	339,8	714,8

Fonte dos dados: Profill Engenharia e Ambiente Ltda. (2005.a); * Valor referido ao nível da lagoa no dia que foi realizado o levantamento topobatimétrico, de acordo com Ecoplan (1997 *apud* Profill Engenharia e Ambiente Ltda., *op. cit.*).

As áreas de contribuição das sub-bacias das lagoas Itapeva e Quadros representam 93 % do total contribuído para o subsistema norte. Ou seja, praticamente toda a contribuição de água superficial das sub-bacias incide nas duas primeiras lagoas. Em face disto, estes corpos lacustres exibem o maior volume e área do subsistema (PROFILL ENGENHARIA E AMBIENTE LTDA., 2005.a).

O subsistema sul é definido, oficialmente, a partir da Lagoa da Cerquinha, que em períodos de seca se divide em dois compartimentos isolados. Por meio de um canal natural esta se une a Lagoa Cidreira ou Rondinha que se conecta a Lagoa da Fortaleza, a maior lagoa deste subsistema. A partir daí as águas desta lagoa fluem por um pequeno canal até a Lagoa do Manuel Nunes. Esta, por sua vez, mediante a existência de outro canal é conectada à Lagoa do Gentil, que se interliga também através de um canal à Lagoa das Custódias. Por fim, esta última se comunica com a Laguna do Armazém, através do Rio dos Camarões ou Arroio Manuel, completando o subsistema sul.

Na tabela 7 são apresentadas as características físicas genéricas das sub-bacias contribuintes para estas lagoas.

Tabela 7 - Características gerais das lagoas do subsistema sul

Lagoa	Bacia contribuinte (km ²)	Superfície de água* (km ²)	Volume* (10 ⁶ m ³)
Cerquinha	4,9	7,5	6,0
Cidreira/Rondinha	6,6	14,7	14,1
Fortaleza	1,7	17,2	24,4
Manuel Nunes	1,9	3,7	2,7
Gentil	2,5	7,6	7,8
Custódias	21,1	9,0	9,4
Tramandaí e Armazém	2,0	19,7	18,5
Totais	40,7	79,4	82,9

Fonte dos dados: Profill Engenharia e Ambiente Ltda. (2005.a); * Valor referido ao nível da lagoa no dia que foi realizado o levantamento topobatimétrico, de acordo com Ecoplan (1997 *apud* Profill Engenharia e Ambiente Ltda., *op. cit.*).

A Lagoa das Custódias possui a maior área de contribuição, representando 52% do total contribuído das sub-bacias deste subsistema, que alimenta de forma modesta o sistema hídrico da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí. É preciso mencionar, porém, que estudos mais recentes confirmaram a imprecisão do limite sul desta bacia, representado pela sub-bacia da Lagoa da Cerquinha. Profill Engenharia e Ambiente Ltda. (2005.a), após verificações *in loco* e avaliando depoimentos de usuários da água no local, informa que há indicativos de que um conjunto de mais oito lagoas, situadas ao sul do corpo lacustre anteriormente mencionado (Bacia Litoral Médio – L20) drena para a bacia em pauta. Isto sendo confirmado implicaria em um acréscimo na sua superfície de cerca de 30 mil hectares e a inclusão de parte do território municipal de Mostardas.

Uma questão importante verificada neste estudo foi que o limite de drenagem do novo conjunto de lagoas estaria interceptando três drenagens (na Lagoa da Porteira, na Lagoa do Quintão e na Lagoa dos Barros), que representam, de fato, canais de irrigação. No caso da Lagoa da Porteira, por exemplo, o bombeamento para irrigação conduz a água a uma cota 6,0 m acima da cota de captação neste corpo hídrico. Outros aspectos fundamentais, implicados na definição do novo limite, estariam relacionados à inserção de mais um município na bacia e a obrigação de se quantificar as disponibilidades e as

demandas hídricas associadas à área incorporada (PROFILL ENGENHARIA E AMBIENTE LTDA., 2005.a).

A dificuldade de precisão do limite de bacias hidrográficas, nas áreas baixas da planície costeira, não é desconhecida. No entanto, as intervenções antrópicas neste âmbito não podem ser negligenciadas, pois elas decididamente afetam a dinâmica hídrica do sistema.

Outras considerações importantes sobre os subsistemas abordados dão conta que, no subsistema norte, as sub-bacias contribuintes perfazem um total de 1.519,5 km² e a superfície líquida das lagoas representam 336,7 km². Isto significa uma área total de contribuição de 1.856,2 km² com o conjunto das lagoas perfazendo um volume igual a 713 hm³. Segundo Profill Engenharia e Ambiente Ltda. (2005.a), estes valores indicam que a sub-bacia contribuinte é pequena se comparada ao volume dos reservatórios representado pelas lagoas. Sendo assim, a presença destas lagoas com grande volume de água doce e sub-bacias contribuintes relativamente pequenas explica-se pela conjugação de certos fatores como balanço climatológico médio local superavitário (precipitação superior à evapotranspiração), pequena saída de vazão e aporte da água subterrânea.

Para o subsistema sul foi constatado que as sub-bacias de contribuição compreendem uma área total de 40,7 km² e uma superfície líquida das lagoas equivalente a 79,3 km². A área de contribuição total é de 120 km² com um volume de 87 hm³. Então, comparativamente, o subsistema sul contribui com uma pequena parcela para a Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí. De acordo com Profill Engenharia e Ambiente Ltda. (*op. cit.*), isto ocorre porque as lagoas deste subsistema possuem baixa conexão com o mar, se comportando de forma mais independente, apresentando um balanço hídrico local, com uma diminuta entrada de afluência devido ao porte reduzido de sua sub-bacia.

Portanto, o subsistema norte é o que domina o escoamento para o sistema hídrico da bacia em foco. Na presente tese este subsistema foi considerado na íntegra para a avaliação do balanço de massa entre água doce e salgada.

3.4.2 O sistema estuarino

Tomazelli e Villwock (1991) explicam que, em seguida ao máximo transgressivo, é provável que a maior parte da faixa de terras baixas do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, atualmente constituída pela planície lagunar holocênica, estava ocupada por extensos corpos lagunares, em livre conexão com o mar. Atualmente, na Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí apenas a Laguna de Tramandaí apresenta estas características.

Segundo os referidos autores, morfologicamente esta laguna pode ser subdividida em dois corpos aquosos, separados parcialmente por um pontal que se desenvolveu na direção NW-SE, em decorrência da atuação do vento dominante na região. Assim, a norte se individualiza a conhecida “Lagoa de Tramandaí” e ao sul a “Lagoa do Armazém”. Este pontal não segmentou completamente a laguna, o que tem levado alguns pesquisadores a tratá-la como um corpo único. Nesta tese, uma vez que estes corpos aquosos apresentam características estuarinas, eles foram designados de lagunas e tratados individualmente, em face das características próprias das suas bacias contribuintes, conforme exposto antes. A designação dos demais corpos de água que fazem parte do sistema estuarino foi mantida de acordo com Tomazelli e Villwock (1991).

Levantamento batimétrico realizado entre os anos de 1939 e 1948, pela antiga Divisão de Estudos Hidrográficos da Secretaria das Obras Públicas do Estado do Rio Grande do Sul, demonstrou que o corpo lagunar compreendido por estas duas lagunas era bastante raso, com profundidades máximas de 1,7 m (Tomazelli e Villwock, *op. cit.*). A batimetria feita por Tabajara e Dillenburg (1997) revelou uma profundidade máxima de 1,4 m no interior da Laguna de Tramandaí enquanto a média ficou em 1,0 m. Nas margens noroeste e sudoeste desta laguna foi observada uma morfologia de fundo regular, que se desenvolve em profundidades inferiores a 1m. Os autores reportam ainda que, a nordeste, o crescimento dos **“lobos deltáicos”**¹⁴ do Rio Tramandaí imprime ao fundo lagunar um padrão de morfologia irregular. Estes ambientes foram ressaltados por

¹⁴ Guerra (1980, p.270) define como **“lóbulo deltáico”** as **“ilhas”** formadas na desembocadura dos rios que resultam da deposição fluvial.

Tomazelli e Villwock (1991), conforme será discutido com mais detalhamento ao longo deste item.

Quanto à Laguna do Armazém, os estudos de Tabajara e Dillenburg (1997) demonstraram que é mais rasa, com profundidade variando entre 0,5 a 1,0 m. Sua configuração morfológica foi considerada mais simples, com uma superfície de fundo relativamente plana.

No que tange ao canal que conecta a Laguna de Tramandaí ao mar, os dados mostram que é estreito e raso. Apresenta apenas 1,5 km de extensão, 100 m de largura e uma profundidade máxima de 5,0 m (TOMAZELLI, 1990). A batimetria efetuada por Tabajara e Dillenburg (*op.cit.*) atesta que a sua profundidade média é de 3,0 m. Neste estudo, a configuração das isóbatas revelou a sua sinuosidade, possibilitando a identificação de locais onde dominam processos de erosão e deposição. A orientação SW-NE resulta da ação de correntes litorâneas, que provocam a deriva de sedimentos principalmente neste sentido. Os autores explicam ainda que a tendência natural de migração do canal está atualmente contida, graças à construção de um guia de corrente ao longo da sua margem nordeste.

A figura 22 ilustra os resultados das batimetrias realizadas em épocas diferentes nestes corpos de água. Comparando-se uma com outra, pode-se notar que no primeiro levantamento não havia a retificação do canal sul do Rio Tramandaí. Esta intervenção afetou sobremaneira os processos hidrogeológicos na Laguna de Tramandaí. Tabajara e Dillenburg (1997, p.26) afirmam que o **“principal depocentro de sedimentos lamosos ocorre em frente ao distributário mais ativo do delta do Rio Tramandaí”**, sendo este responsável pelo mais importante suprimento de silte e argila para a mencionada laguna. Tabajara (1994) aponta que este local é caracterizado pela baixa energia e deposição de sedimentos finos, processo este que é acelerado pela intrusão salina por favorecer a floculação destes materiais.

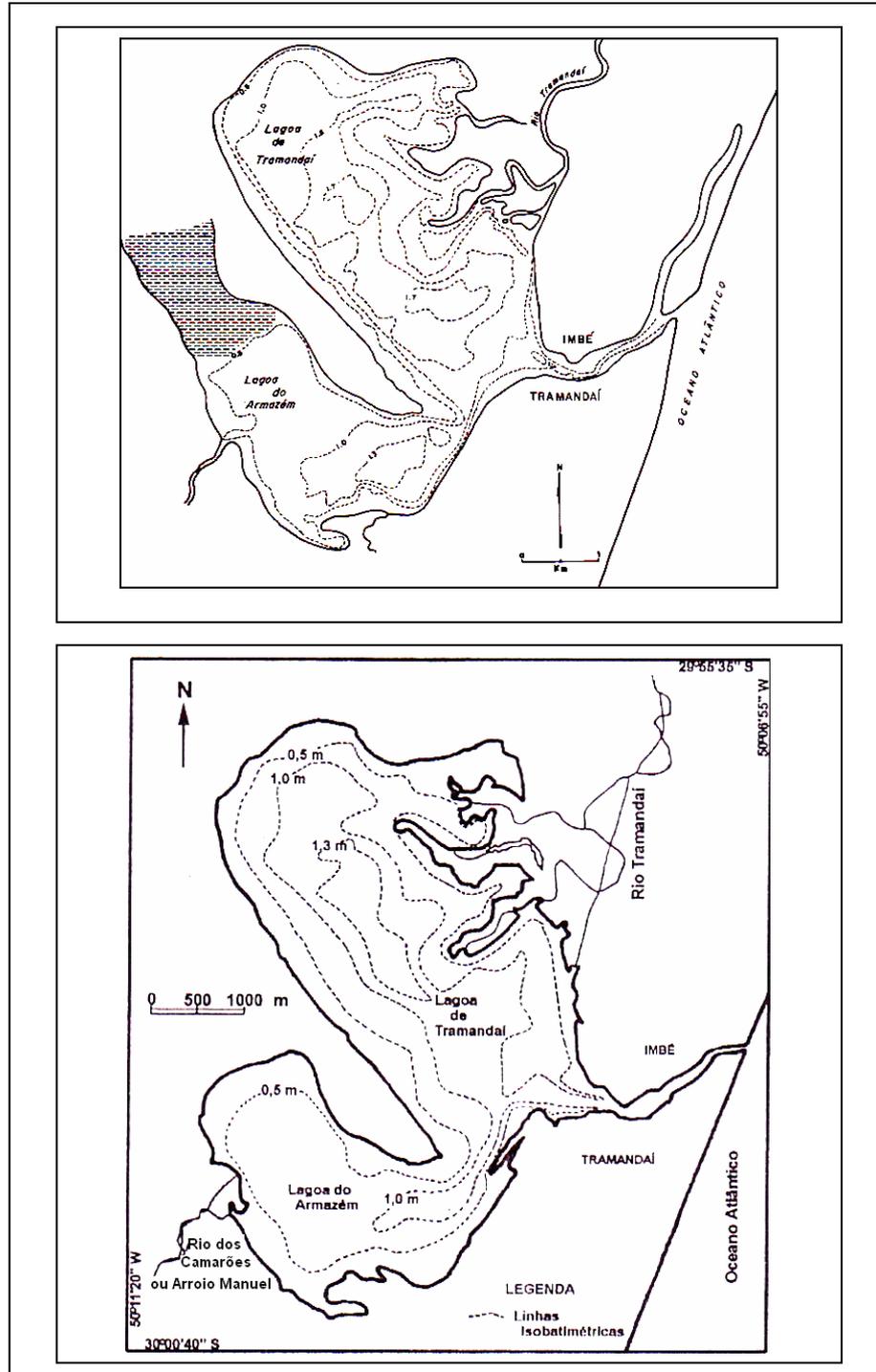


FIGURA 22 – BATIMETRIAS REALIZADAS NAS LAGUNAS DE TRAMANDAÍ E DO ARMAZÉM, NA DÉCADA DE 1940 E EM 1997

Fontes: Tomazelli e Villwock (1991, p. 16) e Tabajara e Dillenburg (1997, p. 24)

Tabajara e Dillenburg (1997) concluíram que existe uma forte correlação entre a batimetria e a distribuição dos sedimentos de superfície de fundo nestas lagoas. Eles individualizaram três grandes ambientes deposicionais:

1. Ambiente de margem lagunar, composto principalmente por fácies texturais arenosas, excetuando-se as margens abrigadas. Os processos sedimentares são controlados fundamentalmente pela ação das ondas e correntes geradas pelos ventos locais.
2. Ambiente de fundo lagunar, separado do anterior pela isóbata de 1,0 m, apresenta fácies texturais lamosas com exceção do fundo lagunar arenoso, localizado a noroeste da Laguna de Tramandaí. Neste ambiente a salinização da laguna favorece a flocculação, responsável pela intensificação dos processos de sedimentação das argilas transportadas pelo Rio Tramandaí.
3. Ambiente de canal lagunar, dominado por areias finas, depositadas pela ação de correntes bidirecionais controladas pelas marés e vazões fluviais.

Os autores também esclarecem que a predominância de sedimentos arenosos na Laguna do Armazém resulta da sua pequena profundidade, assim como do diminuto aporte de sedimentos finos para a mesma oriundo do Rio dos Camarões. O conteúdo de matéria orgânica nos sedimentos lagunares foi definido como inversamente proporcional ao tamanho dos sedimentos. Os valores máximos encontrados (18,7%) estão relacionados aos sedimentos lamosos e os mínimos ($\leq 0,5\%$), aos arenosos. A procedência e distribuição dos sedimentos clásticos de fundo e sua respectiva matéria orgânica estão, atualmente, vinculados a processos naturais e antrópicos que atuam no sistema lagunar.

A dinâmica da propagação salina dentro e a partir destes dois corpos aquosos é outro fator de relevância a ser considerado para a gestão integrada da sua bacia hidrográfica. Neste particular, os estudos até então realizados se limitaram a campanhas de amostragem de parâmetros físico-químicos (condutividade e salinidade, por exemplo) voltados, primordialmente, para a verificação de fatores abióticos relacionados com a distribuição espaço-temporal de organismos. Trabalhos que abordam a hidrodinâmica e sedimentologia são mais restritos às duas lagunas e outras lagoas da bacia. Os canais de ligação entre estes corpos aquosos e, notadamente, o do Rio Tramandaí carecem de estudos que detalhem o comportamento da intrusão salina. A rede de monitoramento da qualidade da água da FEPAM, que avalia entre outros

parâmetros a condutividade, a salinidade e o teor de cloretos nos corpos de água enfocados, além de ter um número insuficiente de pontos, realiza apenas duas campanhas anuais e não necessariamente no mesmo dia, conforme será explicitado no próximo capítulo. Desta forma, apesar da existência de importantes trabalhos científicos, especialmente sobre a biocenose lacustre-lagunar, o estuário da bacia ainda precisa de uma abordagem mais ampla e sistemática, capaz de dimensioná-lo em face dos condicionantes meteorológicos e das intervenções antrópicas no contexto em pauta. Não obstante estas limitações, existem dados de salinidade para o canal de comunicação com o mar e as lagoas de Tramandaí e do Armazém suficientes para avaliar as suas características estuarinas.

Chomenko (1981), em seu estudo sobre a influência deste parâmetro na distribuição de moluscos do gênero *Littoridina*, observou uma contínua movimentação de águas na região de Tramandaí, que produzia uma estratificação acentuada em alguns momentos e, em outros, configurava um todo homogêneo. Essas alterações foram registradas ao longo de um perfil diário que abrangeu as Lagoas de Tramandaí e do Armazém e a barra do Rio Tramandaí. Segundo a autora, em algumas ocasiões foi observado que a intrusão salina alcançava as proximidades da Lagoa das Custódias e, eventualmente, a sua ligação com a Lagoa do Gentil. Ela conclui seu trabalho caracterizando este sistema como um estuário do tipo misto.

Würdig (1984), que avaliou a ecologia de *Ostracodes* no sistema lagunar de Tramandaí, reforçou que tanto a salinidade como a condutividade varia muito nas Lagoas de Tramandaí e do Armazém, o que demonstra a sua elevada hidrodinâmica. Ela também referiu a ocorrência de um nítido gradiente positivo de salinidade e condutividade nas lagoas situadas ao sul em direção àquelas mais próximas do canal de ligação com o mar. Por serem corpos aquosos rasos, a ação dos ventos produz modificações bruscas, como a destruição da cunha salina no setor estuarino.

Tabajara (1994), analisando a distribuição espacial da salinidade nestas lagoas, identificou três subambientes:

1. Zona do Rio Tramandaí, com água doce oligohalina (salinidade média 6,24‰).
2. Laguna de Tramandaí, com água oligo à euhalina (salinidade média 12,25‰).
3. Zona de embocadura lagunar e Laguna do Armazém, com água meso à euhalina (salinidade média 22,71‰ a 15,79‰).

O autor ainda destaca que o escoamento do estuário para o mar está sujeito ao nível das lagoas, em função das precipitações na bacia e do maior ou menor represamento das águas pelos ventos do quadrante sul. Neste particular, Motta (1969 *apud* TABAJARA & DILLENBURG, 1997) já reportava que, neste contexto, a amplitude de maré astronômica de 45 cm pode ser considerada desprezível. Logo, os efeitos meteorológicos em comparação com os astronômicos são mais decisivos para a propagação salina.

Kapusta (2001), considerando a distribuição e a densidade de meiofauna nas lagoas em foco, registrou uma variedade ampla para o parâmetro salinidade: 29,5‰, no canal de ligação com o mar, e 0‰ na Laguna de Tramandaí, junto ao braço norte do Rio Tramandaí, na campanha de inverno. A Laguna do Armazém exibiu uma menor variabilidade dos parâmetros abióticos, o que pode ser atribuído ao predomínio do vento Nordeste no momento das coletas, favorecendo a entrada de salinidade para este corpo aquoso. No seu trabalho a autora também caracterizou três subambientes:

1. Laguna do Armazém, que apresentou a maior densidade de organismos da meiofauna, evidenciando um ambiente de hidrodinâmica moderada, composta por sedimentos com predomínio de areia fina, salinidade mais constante e um maior aporte de nutrientes.
2. Laguna de Tramandaí, que demonstrou uma menor densidade de meiofauna, especialmente nos pontos junto ao delta do Tramandaí, devido ao aporte de água doce deste rio, distinguindo um ambiente de salinidade baixa, onde sedimentos de areia muito fina predominaram.

3. Canal de conexão com o mar, que registrou uma densidade intermediária de meiofauna, associada a variações importantes de salinidade e elevada hidrodinâmica.

Kapusta *et al.* (2006), analisando a ocorrência e diversidade de organismos do grupo Nematoda nestes corpos aquosos, encontraram salinidades médias que variaram de 0,0 ‰ a 11,5 ‰, no canal, 0,2 ‰ a 6,8 ‰, na Laguna do Armazém, e 0,0 ‰ a 5,0 ‰ na Laguna do Tramandaí (tabela 8).

Tabela 8 – Valores médios e desvio padrão da temperatura, profundidade e salinidade, campanhas realizadas no ano 2000

Época da coleta	Temperatura (°C)	Profundidade (cm)	Salinidade (‰)
Verão			
Laguna do Armazém	29,2 ± 0,8	40,0 ± 10,0	3,3 ± 0,6
Canal	27,5	110	0,0
Laguna de Tramandaí	25,7 ± 1,0	57,0 ± 1,5	0,0 ± 0,0
Outono			
Laguna do Armazém	20,4 ± 0,7	35,0 ± 5,0	6,8 ± 0,3
Canal	20,0	105,0	11,5
Laguna de Tramandaí	19,1 ± 0,3	93,3 ± 42,5	5,0 ± 4,6
Inverno			
Laguna do Armazém	16,2 ± 1,4	28,3 ± 7,6	4,0 ± 5,2
Canal	17,0	80,0	8,0
Laguna de Tramandaí	18,6 ± 1,2	64,0 ± 23,5	3,2 ± 3,0
Primavera			
Laguna do Armazém	23,4 ± 0,3	38,3 ± 7,6	0,2 ± 0,3
Canal	24,3	90,0	0,5
Laguna de Tramandaí	22,6 ± 0,1	68,3 ± 20,2	0,3 ± 0,6

Fonte dos dados: Kapusta *et al.* (2006, p.137)

Fausto *et al.* (no prelo), estudando a abundância sazonal do camarão-rosa, realizaram um monitoramento mensal nestas lagunas, juntamente com a Lagoa das Custódias, que também pode sofrer a influência da propagação salina. No canal foram realizadas duas campanhas por mês. O monitoramento abrangeu o período de outubro de 2000 a julho de 2002, em uma rede de doze pontos: o ponto 1 localizado no mar, o 2 e o 3 no canal da barra; 4 a 6, na Laguna de Tramandaí; 7 e 8 na Laguna do Armazém; e 9 a 12 na Lagoa das Custódias. Este acompanhamento igualmente demonstrou a ampla variedade do parâmetro salinidade. Os pontos 2 e 3 apresentaram valores máximos de 35 ‰ e 34,5 ‰, respectivamente, e mínimos de 0,1 ‰. O conjunto de pontos situados na Laguna de Tramandaí apresentaram salinidades máximas e mínimas de 18,5 ‰ a 0,1 ‰. Na Laguna do Armazém o valor máximo foi de 29,4 ‰ e o mínimo de 0,1 ‰. Na Lagoa das Custódias o máximo foi de 17,1 ‰ e o mínimo de 0,1 ‰. No gráfico da

figura 23 é possível se verificar a variabilidade observada no ponto 3, ao longo do período considerado, bem como a tendência para o padrão de estuário misturado.

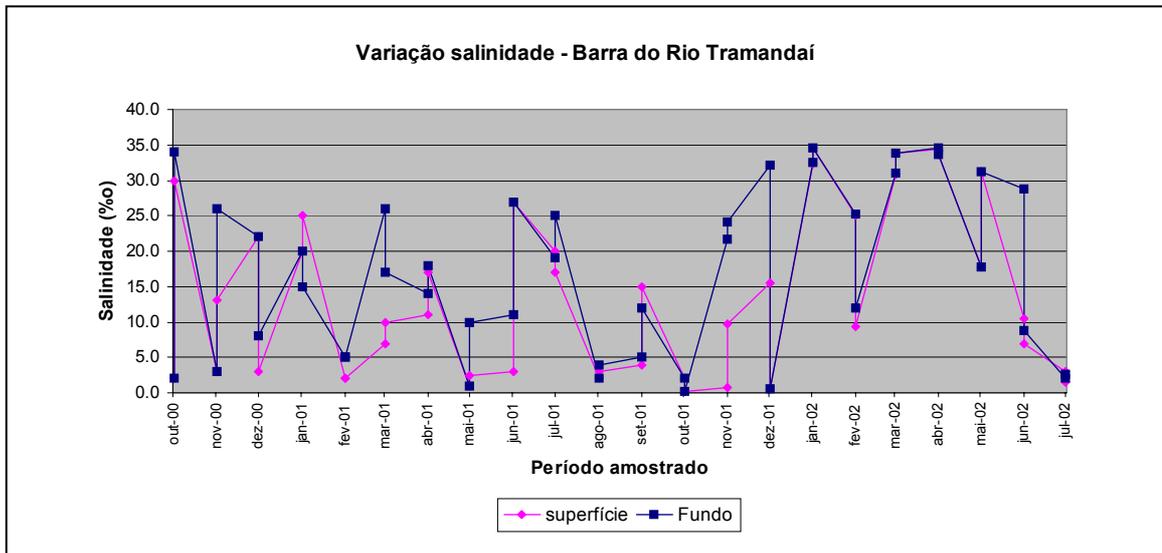


FIGURA 23 – SALINIDADE MEDIDA NO CANAL DA BARRA DO RIO TRAMANDAÍ, EM OUTUBRO/2000 A JULHO/2002

Fonte dos dados: Fausto (no prelo)

Pelo exposto acima, pode-se perceber que as características morfológicas do canal de conexão com o mar e das lagoas de Tramandaí e Armazém se refletem em respostas hidrodinâmicas distintas à conjugação de fatores como ventos dominantes, correntes fluviais e correntes de maré. De outra parte, a ligação destes ambientes com os subsistemas sul e norte da bacia, e o que isto significa em termos de aporte de água doce, configura uma distribuição de salinidade que pode variar muito em um curto período de tempo.

3.4.3 O ambiente fluvial

Tomazelli e Villwock (1991) distinguiram dois cursos de água que nascem na escarpa planáltica e drenam para a região costeira estudada: os rios Três Forquilhas e Maquiné. Eles representam os principais contribuintes do sistema hidrográfico da Bacia do Rio Tramandaí, cujas cabeceiras de drenagem se localizam em altitudes superiores a 900 m (PROFILL ENGENHARIA E AMBIENTE LTDA., 2005.a). O seu ambiente fluvial denota um padrão entrelaçado que, segundo Miall (1992), é encontrado em canais fortemente condicionados a uma grande carga de fragmentos rochosos grossos, que acarretam morfologias fluviais como barras e ilhas de cascalhos, inibindo o fluxo da corrente que acaba se ramificando em vários outros canais.

De acordo com Tomazelli e Villwock (1991), a carga clástica grossa do Rio Três Forquilhas é formada basicamente por fragmentos de basalto. Esta carga é acumulada ao longo do seu vale, originando a montante feições de leques aluviais. Quando alcança a planície costeira, este corpo de água passa a assumir um padrão meandrante. A sua desembocadura na Lagoa Itapeva ostenta um delta bem desenvolvido que prograda de forma ativa para o interior do ecossistema lacustre.

O Rio Maquiné apresenta um comportamento análogo ao Três Forquilhas. Recebendo a contribuição de vários afluentes menores, que fluem através de vales estreitos e encaixados da encosta do Planalto Meridional, onde o gradiente topográfico favorece a sua competência em transportar sedimentos, o vale deste rio é marcado por barras cascalhosas, formadas principalmente por matações e seixos de basalto. Ao ingressar na planície ele já abandonou quase toda a sua carga detrítica grossa, passando a exibir um padrão meandrante, dividido em canais que escoam sobre uma antiga planície deltaica. Segundo os autores acima mencionados, esta teria sido um corpo lagunar que foi gradativamente colmatado por uma progradação deltaica desenvolvida em sua desembocadura. Hoje em dia, o Rio Maquiné, após a reunião de seus canais, inflete em direção geral norte, desembocando na margem sudoeste da Lagoa dos Quadros.

Estes cursos fluviais são marcados por um comportamento hidrológico variável, que se reflete nas características dos corpos aquosos do subsistema norte da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí. O efeito da topografia é observado nos índices pluviométricos médios elevados para estes vales. Isto pode ser confirmado, por exemplo, nos dados da precipitação anual média para as Estações Climatológicas de Maquiné (32 m de altitude) e de Osório (38 m de altitude), respectivamente 1652,2 mm e 1504,4 mm (PROFILL ENGENHARIA E AMBIENTE LTDA., 2005.a). Significativas alterações hidrológicas comportamentais destes rios em períodos de enchentes foram destacadas por Tomazelli e Villwock (1991). Segundo os autores, isto é expresso nos canais abandonados e que são reativados nestes eventos extremos, causando sérios danos à comunidade.

Enfim, a água procedente da escarpa planáltica é conduzida predominantemente por estes rios que alimentam as principais lagoas do

subsistema norte da bacia. O transporte de água e sedimentos resultante da interação entre o domínio fluvial e o lacustre influencia decididamente as características físico-químicas do seu sistema estuarino e vice-versa.

Na planície costeira, segundo reportado anteriormente, se encontram os cursos de água que interconectam as lagoas e lagunas da área em pauta. Dentre estes o mais relevante é o do Rio Tramandaí, que drena sobre uma ampla planície situada ao norte da Laguna de Tramandaí, escoando para este corpo lagunar as águas oriundas das lagoas do subsistema norte, incluindo o aporte de água dos rios que derivam do Planalto Meridional. As referidas alterações efetuadas na geometria do seu canal são responsáveis pelo aumento na descarga de água e sedimentos para a laguna em foco.

Tomazelli e Villwock (1991, p.19) explicam que os canais do subsistema sul se distinguem dos situados no subsistema norte por apresentarem reversões de fluxo, decorrentes dos níveis relativos dos corpos lacustres e lagunares por eles interligados. O fato comum entre todos os canais interlagunares é o seu padrão meandrante. Isto se explica pela baixa declividade da planície pela qual escoam, juntamente com uma possível **“elevada taxa suspensão/tração na carga sedimentar transportada”**. Os diversos canais e meandros abandonados, diques marginais e leques de rompimento de diques marginais são feições morfológicas notórias nas planícies aluviais associadas a estes cursos de água.

3.4.4 Os ambientes deltáico e paludial

Conforme já referido, na área de estudo os cursos fluviais desenvolvem junto às suas desembocaduras pequenos deltas, os quais progradam de forma ativa para o interior dos corpos de água costeiros. Tomazelli e Villwock (1991) diferenciaram dois tipos de ambientes deltáicos, adotando como critério as características dos cursos fluviais responsáveis pela sua formação: os deltas flúvio-lagunares e os deltas de “maré” lagunar.

Os autores esclarecem que os deltas flúvio-lagunares evoluem adjacente às margens das lagoas e lagunas, em virtude do acúmulo de carga sedimentar transportada pelos rios ou canais de fluxo unidirecional que conectam estes corpos aquosos. Eles predominam no subsistema norte da bacia, podendo se apresentar na forma ativa, em evidente processo de crescimento, como nos rios

Três Forquilhas e Tramandaí, e inativa, ou seja, deltas abandonados cujo crescimento cessou.

O delta do Rio Três Forquilhas avança ativamente para o interior da Lagoa Itapeva, onde é possível observar o desenvolvimento de uma planície deltáica subárea, a partir da sua margem sudoeste. Nesta planície se constata a dominância de um único canal principal por onde fluem as águas do rio. Apenas mais próximo da sua desembocadura ele se subdivide. O comportamento morfológico impresso por uma configuração quase retilínea do canal é atribuído pelos autores à ação de diques marginais bem desenvolvidos, que tendem a manter a trajetória do curso fluvial.

O delta do Rio Tramandaí prograda a partir da margem norte da Laguna de Tramandaí. O canal principal está dividido em três pequenos canais distributivos. Estes canais desenvolveram três lobos deltaicos que já avançaram bastante para o interior do corpo lagunar. A intervenção antrópica neste rio, de acordo com o mencionado, direcionou praticamente toda a sua drenagem para o canal situado mais a leste do delta, fazendo com que o correspondente lobo deltaico cresça e os demais sejam abandonados. Tomazelli e Villwock (1991, p.20) explicam, todavia, que o nível baixo de energia do corpo lagunar impede um processo destrutivo mais acelerado destes lobos.

Os deltas de “maré” lagunar se desenvolvem na foz dos canais que interligam as lagoas e lagunas do subsistema sul. As reversões de fluxo apresentadas por estes canais, resultam da sua resposta às flutuações dos níveis dos corpos aquosos sujeitos às “marés” lagunares. Estas, por sua vez, derivam predominantemente da ação de ventos sobre a superfície das lagoas, da ocorrência de períodos com maior ou menor índice pluviométrico e marés de tempestades no mar. As lagoas situadas ao sul da Laguna de Tramandaí, como a do Armazém, Custódias, Gentil e Manoel Nunes apresentam estas morfologias mais desenvolvidas ao norte do seu canal de ligação, devido à direção preferencial de fluxo no sentido da Laguna de Tramandaí. Para os autores, estas reversões estariam, possivelmente, restritas a períodos de estiagem na bacia, associadas a eventos de subida do nível do corpo lagunar devido a uma maior intrusão salina a partir do seu canal. Eles atestam que

A simples constatação da existência de deltas na extremidade sul dos canais evidencia a ocorrência de reversões temporárias de fluxo e, conseqüentemente, a possibilidade de um gradiente decrescente de salinidade dos corpos aquosos a partir da Laguna de Tramandaí. (TOMAZELLI & VILLWOCK, 1991, p.21)

A ocorrência de deltas de “maré” abandonados também foi identificada na área estudada. O melhor exemplo é observado na Laguna do Armazém, que se desenvolveu a partir da carga de sedimentos transportada por um antigo canal de ligação entre esta e a Lagoa das Custódias. Atualmente o fluxo lagunar é realizado através do Rio dos Camarões, cancelando, pois, a progradação do delta.

Tomazelli e Villwock (1991, p.22) esclarecem que a gênese mais comum para a ocorrência destes ambientes paludiais está associada ao processo natural de colmatção dos corpos lacustres e lagunares costeiros, que têm a sua lâmina de água reduzida com o gradativo avanço da vegetação sobre os mesmos. Um exemplo deste processo pode ser conferido na margem noroeste da Laguna do Armazém. Outro mecanismo de formação de pântanos e eventuais turfeiras, encontradas na área de estudo, está vinculado **“ao afogamento e progressiva colmatção das cavas entre os cordões litorâneos pleistocênicos”**. Os autores destacam que, durante o máximo transgressivo holocênico, estes baixios entre os cordões foram afogados. Após o rebaixamento do nível de base que se seguiu à regressão holocênica, estas depressões foram invadidas pela vegetação. Os resíduos destas, depositados no local, formaram pequenas turfeiras, como a encontrada entre as lagoas Itapeva e dos Quadros.

No contexto estudado, os ambientes paludiais constituídos por pântanos (banhados) representavam um elemento bem mais destacado no conjunto dos ecossistemas deposicionais da bacia. A ampliação de cultivos irrigados, as intervenções na geometria dos canais, a expansão urbana entre outras causas antrópicas têm contribuído para a redução destes sistemas.

3.4.5 Os condicionantes climáticos e seus efeitos

Conforme foi possível constatar, a compreensão da dinâmica atual do sistema hídrico da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí não prescinde de uma avaliação criteriosa dos efeitos que as variações relativas do nível do mar, resultantes de mudanças climáticas pretéritas, produziram no seu âmbito. Os

ciclos transgressivos e regressivos deixaram testemunhos na paisagem da planície costeira rio-grandense, gerando ambientes de deposição que interagem com a hidrodinâmica atual de seus principais corpos de água.

As condições climáticas, que dominam no presente os processos morfogenéticos na região, decorrem da sua posição transicional entre as latitudes médias e subtropicais, fazendo com que o Litoral Norte do Rio Grande do Sul esteja principalmente submetido à influência de dois importantes centros de ação atmosférica, o anticiclone semipermanente do Atlântico Sul e o anticiclone migratório polar. São nestes sistemas de circulação que se individualizam, respectivamente, as massas de ar Tropical Atlântica (Ta) e Polar Atlântica (Pa). Durante o verão, ainda que de forma secundária, as massas de ar Equatorial Continental (Ec) e Tropical Continental (Tc) afetam a região (SANTOS, 2000). As características térmicas e higrométricas e a frequência de atuação destes sistemas, interagindo conjuntamente com três grandes fatores estáticos, a latitude, a topografia e a maritimidade, são os principais responsáveis pela ocorrência de um clima mesotérmico brando na porção norte da planície costeira do Estado (VIEIRA & RANGEL, 1988).

O anticiclone semifixo do Atlântico Sul é um centro positivo, dispersor de ventos, que influencia as condições meteorológicas da região durante o ano todo. A massa de ar Ta, oriunda deste sistema, se caracteriza geralmente pela temperatura e umidade elevadas. Segundo Nimmer (1979), sob o seu domínio as condições atmosféricas se caracterizam pela estabilidade e tempo ensolarado. O quadro se altera em função da passagem das frentes polares ou devido a fortes ventos de Leste a Nordeste, gerados pelo anticiclone do Atlântico Sul, que experimentam uma ascendência dinâmica do ar provocada pela escarpa do planalto. Hasenack e Ferraro (1989) ressaltam que, no período abrangido pela primavera e pelo verão, quando a insolação é mais acentuada no Hemisfério Sul, o Litoral Norte rio-grandense é mais afetado pela borda instável deste centro de alta pressão, o que se traduz por precipitações freqüentes e predominantemente do tipo convectivo.

O anticiclone polar marítimo da América do Sul também é um centro de ação positivo que afeta a região, atraído pelo gradiente barométrico do Equador. Nimmer (1979) explica que na sua gênese este centro exhibe forte subsidência e

inversão térmica, que se reflete na ocorrência de um ar muito seco, frio e estável. Ao absorver calor e umidade da superfície marinha, ao longo da sua trajetória, torna-se instável. A massa Pa, individualizada neste anticiclone, é fria e úmida, podendo, ocasionalmente, ser reforçada pela Polar Pacífica (Pp) que torna mais robusto o seu avanço no sentido sul-norte. Sua influência é mais intensa no inverno, quando as condições de frontogênese são freqüentes. A seqüência típica de tempo associada à sua passagem se caracteriza, em primeiro lugar, pela forte instabilidade associada à passagem da Frente Polar, com a ocorrência de ventos que sopram de sul a sudeste. Após a passagem do sistema frontal, é observada a queda abrupta de temperatura seguida de estabilidade na atmosfera. A escarpa planáltica, funcionando como uma barreira aos ventos continentais de sudoeste, caracterizados por serem frios e secos, reduz em parte os impactos da passagem das frentes, tornando o inverno mais ameno na região.

As massas de ar Ec e Tc, atuantes no verão, embora quentes registram características higrométricas distintas. Segundo Nimmer (1979), a massa Ec, individualizada na Amazônia, ocorre no sul do Brasil vinculada às chamadas correntes perturbadas de Oeste ou às Linhas de Instabilidade Tropicais. A sua passagem provoca precipitação de chuvas convectivas, verificadas ao entardecer ou no início da noite, podendo ficar restrita à encosta do Planalto Meridional e suas adjacências. A Tc tem sua origem no centro de ação negativo da região do Chaco, situado no interior do continente sul-americano. Trata-se de uma massa de ar quente e seca, de grande importância para a circulação atmosférica do Litoral Norte do Estado, especialmente em face da ocorrência de episódios de estiagem.

Assim, a interação dos sistemas atmosféricos com os elementos de uma paisagem marcada pelos contrastes topográficos, pela existência de corpos lacustres e lagunares e pela presença do mar define o clima da região na qual a Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí se insere. O padrão climático de circulação que estabelece as condições meteorológicas médias para o Rio Grande do Sul, no verão e no inverno, pode ser observado na figura 24.

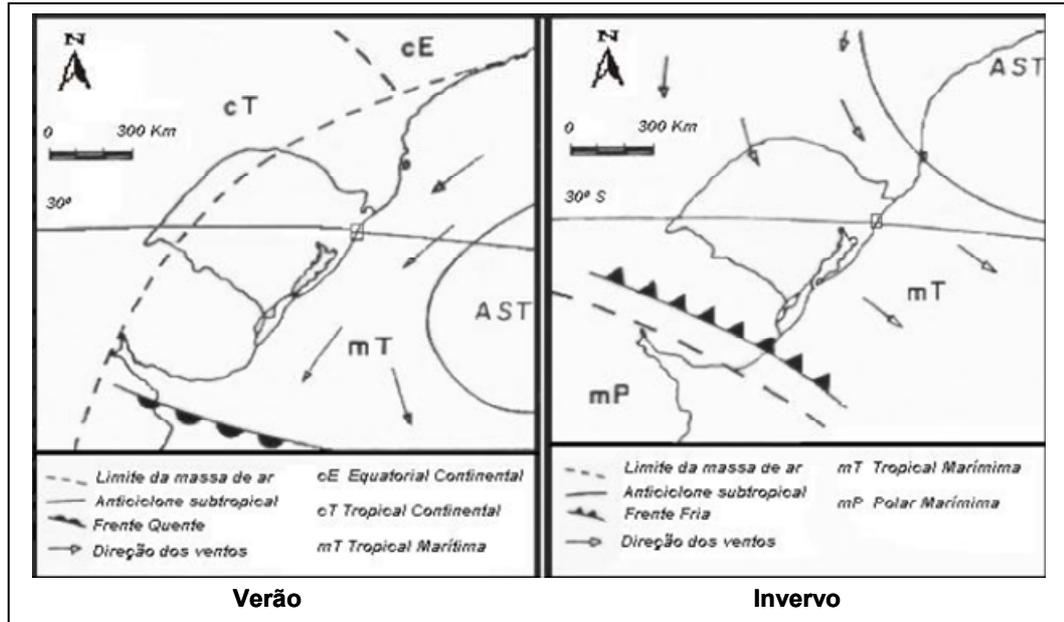


FIGURA 24 – PADRÃO DE CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA NO RIO GRANDE DO SUL

Fonte: Hasenack e Ferraro (1989)

De acordo com Secretaria da Agricultura e Abastecimento (1994), no Litoral Norte do Estado as temperaturas médias oscilam de 15°C a 19°C, com a média das máximas variando entre 21°C a 25°C e a média das mínimas entre 11°C a 18°C. As chuvas são observadas durante o ano todo, com média anual oscilando entre 1100 mm a 1900 mm. Os maiores índices foram registrados nas áreas elevadas da escarpa planáltica, demonstrando o efeito da orografia na distribuição pluviométrica da região. Os dados de umidade relativa revelam uma variação média entre 75% a 85%, demonstrando a influência das principais massas de ar atuantes na região e da sua contigüidade com o mar. A evapotranspiração potencial anual, conforme Fundação de Economia e Estatística (1975), revela o gradiente verificado da zona costeira até as áreas mais altas do planalto resultantes do decréscimo da temperatura. Na planície lagunar as variações estão na faixa de 900 mm a 1000 mm/ano e na escarpa planáltica oscila entre 600 mm a 900 mm anuais.

Quanto ao regime típico de ventos, Santos (2000) reforça a sua participação como um importante fator para a avaliação da dinâmica costeira da região, especialmente no que diz respeito à modelagem de feições geomorfológicas superficiais, aos processos de colmatagem e segmentação de lagoas e às oscilações do nível de maré. A origem deste elemento climático está, basicamente, vinculada aos sistemas de altas pressões acima descritos.

Tomazelli (1993 *apud* VILLWOCK & TOMAZELLI, 1995) verificou neste contexto o domínio do vento Nordeste, oriundo do anticiclone do Atlântico Sul, atuando o ano todo, mas com frequência maior na primavera e no verão, devido à aproximação do centro de alta pressão atraído com mais intensidade para o continente nesta época do ano. O vento de Oeste-Sudoeste sopra de forma mais ativa no inverno, associado aos deslocamentos das frentes polares. Apesar de serem considerados secundários, são os ventos do quadrante sul que favorecem a intrusão de água salgada para o subsistema norte da bacia (figura 25).

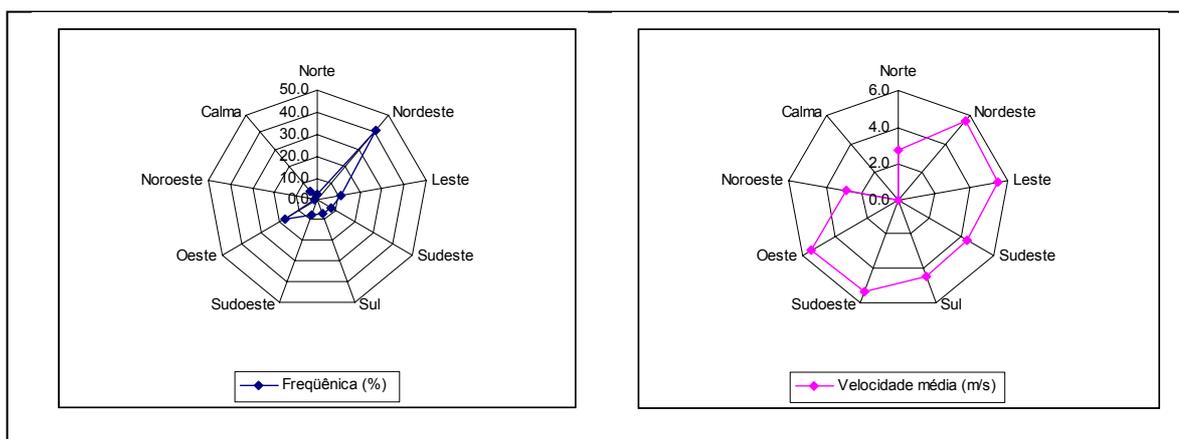


FIGURA 25 - FREQUÊNCIA E VELOCIDADE MÉDIA DOS VENTOS, ESTAÇÃO DE IMBÉ, RS
 Fonte dos dados: Tomazelli (1993 *apud* VILLWOCK & TOMAZELLI)

3.5 USO DO SOLO NA BACIA

A Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí, situada em uma região de transição entre ambientes tipicamente tropicais, ao norte, e temperados, ao sul, se distingue por uma grande diversidade de ecossistemas terrestres e aquáticos, que se revelam, sobretudo, na variedade das formas fisionômicas da sua paisagem. Este mosaico se evidencia por um sistema de lagoas interligadas, pela presença de áreas úmidas e campos litorâneos, limitados pela borda do Planalto Meridional, onde prevalecem as formações arbóreas das florestas Atlântica e de Araucária.

A ocupação humana nestas unidades tem, historicamente, perturbado a sua dinâmica natural, através da expansão de sistemas urbanos e agrários. Os efeitos podem ser observados na aceleração dos processos de erosão, transporte e deposição que se refletem na disponibilidade quali-quantitativa de seus recursos hídricos e costeiros.

A fisionomia da paisagem da bacia revela a preponderância de matas concentradas a noroeste. Na porção central domina uma extensa planície formada por lagoas e campos. Contíguo ao mar, a leste, ocorre a concentração de áreas urbanas, enquanto ao sul a silvicultura e os campos de dunas são os elementos marcantes (figura 26). Segundo Profill Engenharia e Ambiente Ltda. (2005.b), a individualização das classes foi dificultada em muitos casos, como na identificação dos cultivos agrícolas nos vales dos rios Maquiné e Três Forquilhas, onde as lavouras são bastante diversificadas e constituídas de mandioca, milho e horticultura, com a produção de repolho, couve-flor, cenoura, alface e beterraba. A principal atividade agrícola na bacia é representada pelo cultivo de arroz irrigado, desenvolvido no centro-sul (Osório, Cidreira, Balneário Pinhal e Palmares do Sul) e no norte da bacia (Torres, Três Cachoeiras e Osório).

Profill Engenharia e Ambiente Ltda. (*op. cit.*) ressalta como principais conflitos verificados na utilização do solo da bacia: o avanço da silvicultura sobre os campos arenosos, ao sul; a expansão da orizicultura sobre as áreas úmidas; a ampliação da área urbana sobre os campos de dunas; e a bananicultura sobre as florestas de encosta, sendo parte desenvolvida em áreas de elevada declividade, consideradas de preservação permanente. Na faixa costeira se localizam os problemas ambientais mais expressivos da bacia, como o da expansão imobiliária desordenada, que é estimulada pela procura intensiva para o veraneio e a facilidade de acesso e uso que o relevo promove.

3.6 DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUPERFICIAL E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA NA BACIA

Os estudos para a avaliação da disponibilidade hídrica superficial da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí consideraram os aspectos quantitativos e qualitativos dos seus recursos hídricos. O diagnóstico dos usos múltiplos da água obedeceu a uma sistemática de classificação sugerida por Lanna (1997 *apud* PROFILL ENGENHARIA E AMBIENTE LTDA., 2005.d) que os divide em consuntivos e não consuntivos¹⁵.

¹⁵ Usos consuntivos são os que retiram a água de uma fonte natural e diminuem as suas disponibilidades, quantitativa ou qualitativa, espacial e temporalmente (Ex.: abastecimento público e industrial, agricultura e irrigação). Os não consuntivos são os que não modificam o volume de água de forma expressiva, correspondendo, de um modo geral, aos relativos à geração de energia, transporte hidroviário, pesca e piscicultura, turismo/recreação/lazer, transporte e depuração de efluentes e à preservação das comunidades aquáticas (LANNA, 1997).

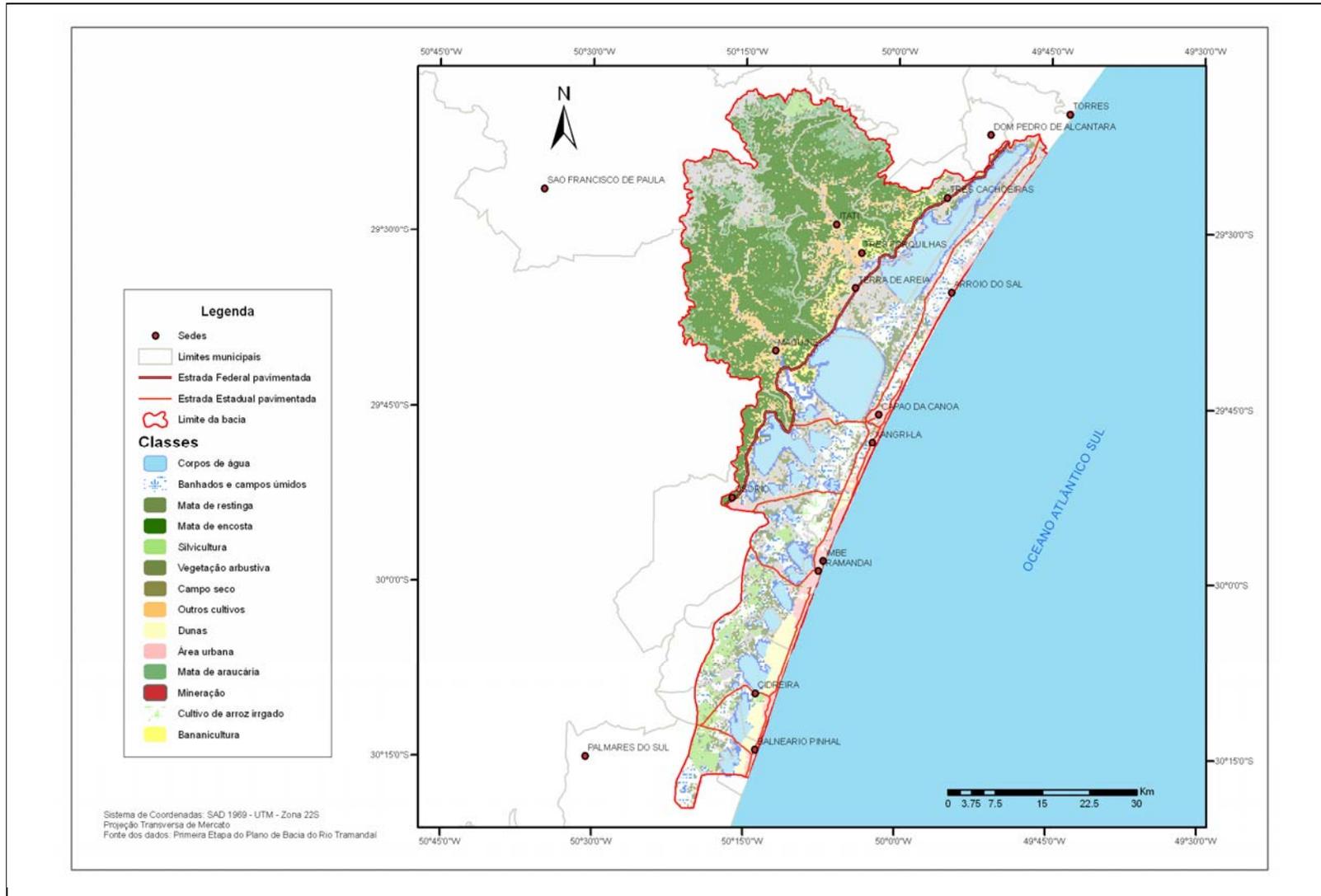


FIGURA 26 – MAPA DE USO DO SOLO

3.6.1 Disponibilidade hídrica superficial quantitativa

No contexto em pauta, a estimativa da disponibilidade hídrica superficial quantitativa foi realizada com base nas análises dos dados hidrológicos e na utilização de modelos numéricos destinados à verificação do comportamento hidrológico e hidráulico dos seus rios, lagoas e canais. Assim, com as informações (níveis e vazões) geradas através da modelagem, a disponibilidade hídrica do sistema foi estimada por meio das curvas de permanências mensais de nível, para as lagoas, e de vazão, para os rios e canais que interligam as lagoas. Utilizando-se séries históricas de medições disponíveis¹⁶, foram estabelecidos, estatisticamente, valores mínimos esperados para estes parâmetros. A partir dos níveis obtidos nas lagoas foi determinado o volume, com base em curvas do tipo cota x volume. No caso em questão, foram adotadas as frequências de 90% e 95% de permanência, tanto para os valores de vazão quanto para os valores de níveis.

Assim, verificou-se que os rios Três Forquilhas e Maquiné apresentam distribuições distintas ao longo do ano. Considerando a permanência de 95%, o Rio Maquiné exibiu vazões na foz de 1,57 m³/s em maio e 5,13 m³/s em junho. Os dois meses de inverno, junho e julho, aparecem com os maiores índices. Para o Rio Três Forquilhas a variabilidade é menor e os valores extremos anuais foram identificados nos meses de maio, com vazões de 1,13 m³/s, e dezembro, com 3,36 m³/s (figura 27).

Os valores de vazão para outros cursos de água e canais de ligação entre as lagoas da bacia foram estimados com a mesma metodologia aplicada aos rios acima referidos. Na tabela 9 são apresentados os valores de vazão dos canais que interligam as lagoas com uma frequência de 95% de permanência.

¹⁶ Os detalhes das séries históricas utilizadas e suas limitações serão comentados no capítulo 4 desta tese.

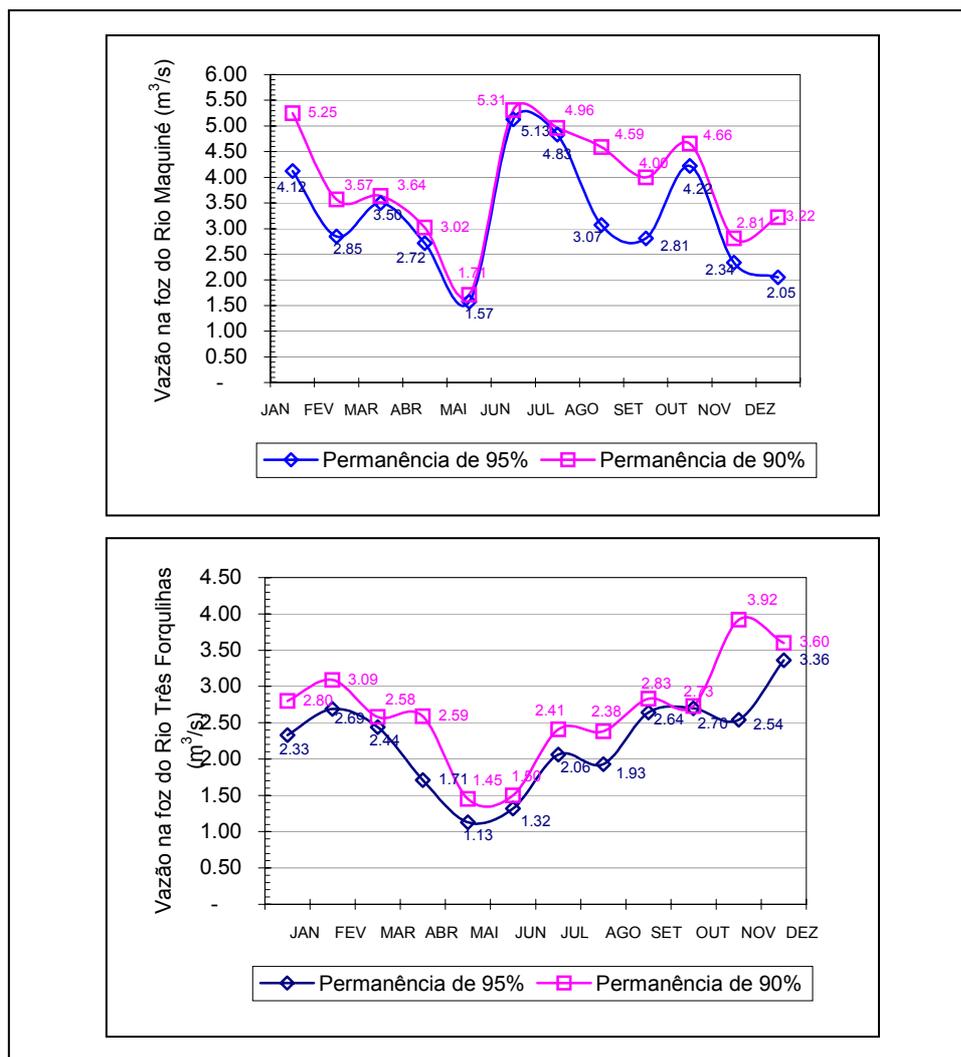


FIGURA 27 – GRÁFICOS DOS VALORES MENSAIS PARA AS VAZÕES Q_{90} E Q_{95} PARA OS RIOS MAQUINÉ E TRÊS FORQUILHAS, BACIA DO RIO TRAMANDAÍ
 Fonte: Profill Engenharia e Ambiente Ltda. (2005.d, p.56)

Tabela 9 - Valores mensais de vazão dos canais com 95% de permanência (m³/s)

Canais	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Rio Cornélios	15,74	15,18	13,63	14,89	12,03	11,30	11,01	8,94	12,03	13,72	13,95	15,25
Rio João Pedro	36,76	34,99	35,65	30,65	26,94	23,44	25,64	25,12	28,45	29,67	32,48	35,69
Rio dos Postes	40,27	36,09	40,95	33,35	25,33	28,72	26,56	24,28	31,07	31,34	36,63	40,65
Rio Tramandaí	36,81	36,33	43,17	31,11	23,19	32,86	26,78	25,20	32,59	31,76	35,27	39,66

Fonte: Profill Engenharia e Ambiente Ltda. (2005.d, p.57)

Tendo-se como base os dados da referida tabela, para o Rio dos Cornélios os meses de maior disponibilidade hídrica acontecem no período de dezembro a março, estando na ordem de $15 \text{ m}^3/\text{s}$ e coincidindo com os picos da vazão Q_{95} no Rio Três Forquilhas, afluente da Lagoa Itapeva. O Canal João Pedro, que conecta

a Lagoa dos Quadros à Lagoa das Malvas, exibe vazões Q_{95} aproximadamente duas vezes maiores que o Rio dos Cornélios, uma vez que o seu sistema hídrico a montante recebe as contribuições das sub-bacias dos Rios Maquiné e Três Forquilhas. Nos meses de dezembro a março é verificada a maior disponibilidade, análogo ao que ocorre no Rio dos Cornélios, com vazões acima de $35 \text{ m}^3/\text{s}$. Segundo Profill Engenharia e Ambiente Ltda. (2005.d), o regime de chuvas, que é superior nesta época do ano nas nascentes dos rios Maquiné e Três Forquilhas, deve estar diretamente correlacionado a este quadro de vazões. Para o Rio Tramandaí as vazões, presentes ou superadas em 95% do tempo observado, assinalam valores de maior disponibilidade nos meses de novembro a março. Nestes meses são atingidos valores acima de $35 \text{ m}^3/\text{s}$, assinalando uma condição menos desfavorável do ponto de vista de atendimento às demandas hídricas, pois é justamente neste período que ocorrem as demandas para irrigação.

Os volumes estimados para uma permanência de 95% para as principais lagoas interligadas e lagoas isoladas da bacia em foco estão registrados na tabela 10.

Tabela 10 - Volumes existentes ou superados em 95% do tempo (milhões de m^3)

Lagoa/laguna	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Itapeva	133,05	131,02	124,54	118,33	106,28	97,26	97,26	98,74	113,10	116,27	116,62	122,53
Quadros	251,18	251,56	255,89	244,12	240,61	233,37	229,36	239,53	242,84	242,65	243,35	247,17
Malvas/Palmital/ Pinguela	89,05	91,02	91,53	88,54	86,86	84,85	83,00	86,08	87,44	87,17	86,94	87,95
Peixoto	3,03	3,15	3,18	3,01	2,91	2,80	2,70	2,87	2,94	2,93	2,92	2,97
Passo	3,67	3,81	3,82	3,81	3,63	3,45	3,45	3,41	3,57	3,67	3,52	3,59
Lessa/Caieira	8,87	9,20	9,21	9,19	8,77	8,34	8,34	8,26	8,62	8,85	8,51	8,67
Tramandaí/Arma zém	17,11	17,91	18,14	19,25	18,50	19,25	18,30	18,27	16,60	17,72	17,88	17,34
Cerquinha	6,98	7,26	7,30	7,30	7,00	6,81	6,67	6,73	6,78	6,97	6,84	6,88
Cidreira	7,03	7,31	7,35	7,35	7,05	6,86	6,72	6,78	6,83	7,03	6,89	6,94
Emboaba	1,21	1,26	1,26	1,26	1,21	1,18	1,16	1,17	1,17	1,21	1,18	1,19
Fortaleza	16,36	17,02	17,12	17,11	16,41	15,97	15,65	15,79	15,89	16,35	16,03	16,15
Rondinha	7,17	7,45	7,50	7,50	7,19	6,99	6,85	6,92	6,96	7,16	7,02	7,07
Custódias	8,46	8,80	8,85	8,85	8,49	8,26	8,09	8,17	8,22	8,46	8,29	8,35

Lagoa/laguna	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Pombas	3,55	3,69	3,72	3,71	3,56	3,47	3,40	3,43	3,45	3,55	3,48	3,50
Gentil	7,24	7,53	7,57	7,57	7,26	7,06	6,92	6,98	7,03	7,23	7,09	7,14
Manuel Nunes	4,94	5,13	5,16	5,16	4,95	4,82	4,72	4,76	4,79	4,93	4,84	4,87
Marcelino	0,32	0,33	0,34	0,34	0,32	0,31	0,31	0,31	0,31	0,32	0,32	0,32

Fonte: Profill Engenharia e Ambiente Ltda. (2005.d, p.58)

De acordo com o exposto na tabela acima, é possível constatar que os maiores volumes, averiguados ou superados em 95% do tempo estão na Lagoa dos Quadros. Neste corpo aquoso a disponibilidade equivale a mais de 250 milhões de m³, no mês de março. Na Lagoa Itapeva a maior disponibilidade ocorre no mês de janeiro, quando se estimou um volume de 133 milhões de m³, com uma garantia de 95%. Para o conjunto de lagoas Pinguela, Palmital e Malvas, de porte menor que as anteriormente referidas, a maior disponibilidade presente 95% do tempo é avaliada em 91 milhões de m³, verificada no mês de março. É necessário ressaltar que as Lagoas Itapeva e Quadros representam importantes mananciais para o abastecimento público na bacia. Quanto às lagoas de Tramandaí e do Armazém, com suas águas salobras, apresentam volumes garantidos menores, alcançando valores da ordem de 19 milhões de m³, nos meses de abril e junho. Segundo Profill Engenharia e Ambiente Ltda. (2005.d), a variabilidade sazonal dos volumes se deve à conjugação de fatores como declividade da lâmina de água dos canais que conectam as lagoas a montante e jusante, influência das variações de nível do mar, ventos e evaporação.

O referido estudo concluiu que na bacia em pauta existem grandes reservatórios naturais, que equivalem a uma espécie de “*poupança*” de água com a qual é promovida a maior parte das atividades econômicas e, ao mesmo tempo, se atende o abastecimento humano. No entanto, a entrada de água salgada do mar pelo estuário do Rio Tramandaí tende a restringir usos importantes. Isto é constatado em pelo menos cinco corpos aquosos, representados pelas Lagoas do Armazém e de Tramandaí, pelas lagoas das Custódias e do Gentil e, ainda, no trecho inferior do Rio Tramandaí. O trabalho também enfatizou a ocorrência de estiagens severas que tem ampliado a influência marinha sobre a bacia, reportando a maior frequência de eventos de

salinização ao longo do Rio Tramandaí até trechos de montante, onde raramente haviam sido observados.

3.6.2 Disponibilidade hídrica superficial qualitativa

No que se refere às condições qualitativas das águas do contexto em apreço, os resultados do trabalho focado anteriormente foram estabelecidos com base nos dados da rede de monitoramento da FEPAM, constituída por 22 pontos, ao longo do período de 1992 a 2004. Para a classificação da qualidade da água, foram selecionados os parâmetros DBO₅, coliformes fecais e metais pesados. A classificação dos pontos foi realizada com base na Resolução 357/2005 do CONAMA, utilizando-se o percentil 80% das amostras. Assim, para cada ponto foi determinado o respectivo valor presente em 80% das amostras (tabela 11).

Problemas pertinentes à utilização de agroquímicos nas lavouras foram mencionados a partir das conclusões de Machado (2000 *apud* PROFILL ENGENHARIA E AMBIENTE LTDA., 2005.a), que analisou sedimentos de superfície de fundo nas lagoas do Marcelino, Peixoto, Pinguela, Palmital, Malvas e do Passo. Os resultados obtidos pelo autor, ao longo de uma rede de 19 pontos, em quatro campanhas de coleta (primavera, verão, outono e inverno) revelaram situações críticas no que concerne à concentração de metais pesados, notadamente mercúrio, e matéria orgânica em todos os pontos amostrados, revelando uma intensa atividade humana. É importante considerar que inexistem atividades industriais geradoras de poluição por metais pesados no entorno das Lagoas das Malvas e do Passo. Isto pode indicar que os traços de metais pesados, identificados nos meses de verão, poderiam estar associados à utilização de agrotóxicos nas lavouras de arroz irrigado, localizadas à montante das estações. Segundo Profill Engenharia e Ambiente Ltda. (2005.a), são necessários maiores estudos para se concluir sobre este problema.

Tabela 11 - Classificação dos parâmetros de qualidade da águas superficiais nos pontos de monitoramento

Ponto GERCO/FEPAM	Corpo Hídrico	Salinidade (‰)				DBO ₅ ²⁰ (mg/L)				Coliformes (NMP)				Metais Pesados (mg/L)				Classificação	
		Nº de amostras	Percentil 80	Média	Classe	Nº de amostras	Percentil 80	Média	Classe	Nº de amostras	Percentil 80	Média	Classe	Nº de amostras	Metal*	Percentil 80	Média		Classe
04	Lagoa Itapeva	14	0,0	0,0	-	17	1,8	1,3	1	9	694	401	2	5	Cu	0,01	0,01	1	2
05	Lagoa Itapeva	14	0,0	0,0	-	16	1,5	1,2	1	6	500	234	2	5	Zn	0,04	0,03	1	2
06	Lagoa dos Quadros	14	0,0	0,0	-	16	1,0	1,1	1	5	110	74	1	5	Zn	0,07	0,06	1	1
07	Lagoa dos Quadros	13	0,0	0,0	-	14	1,0	1,1	1	5	63	31	1	8	Cu	0,01	0,01	1	1
08	Rio Maquiné	15	0,0	0,0	-	16	1,0	1,0	1	9	168	333	1	6	Zn	0,08	0,05	1	1
10	Lagoa Marcelino Ramos	16	0,0	0,0	-	17	8,8	6,9	3	11	9000	5144	4	6	Zn	0,04	0,03	1	4
11	Lagoa Peixoto	15	0,0	0,0	-	17	2,0	1,3	1	15	132	78	1	9	Hg	0,0001	0,077	1	1
12	Lagoa da Pinguela	16	0,0	0,0	-	17	1,0	1,4	1	4	19	11	1	6	Cu	0,01	0,01	1	1
13	Lagoa Palmital	15	0,0	0,0	-	16	1,0	1,3	1	11	51	1478	1	6	Cu	0,01	0,01	1	1
14	Rio Tramandaí	15	0,0	0,0	-	17	1,8	1,5	1	10	212	144	2	6	Zn	0,05	0,03	1	2
15	Laguna de Tramandaí	17	9,5	4,9	-	16	1,0	1,1	2s	9	62	206	2s	4	Cu	0,01	0,01	2s	2s
16	Laguna de Tramandaí	16	2,0	1,6	-	15	2,0	1,3	2s	9	580	548	2s	3	Zn	0,10	0,07	2s	2s
17	Barra do Rio Tramandaí	17	10,9	6,9	-	16	1,0	1,2	2s	10	800	1169	2s	2	Ni	0,04	0,03	2s	2s
18	Barra do Rio Tramandaí	17	13,4	10,5	-	16	1,0	1,1	2s	10	500	833	2s	3	Cu	0,01	0,01	2s	2s
19	Laguna do Armazém	18	10,2	7,0	-	17	1,0	1,1	2s	10	191	116	2s	5	Cu	0,01	0,01	2s	2s
20	Laguna do Armazém	16	8,0	5,0	-	16	2,0	1,3	2s	10	300	257	2s	2	Pb	0,02	0,01	2s	2s
21	Lagoa das Custódias	14	5,5	2,7	-	15	1,0	1,1	1s	7	38	57	1s	3	Zn	0,00	0,00	1s	1s
22	Lagoa Fortaleza	13	0,0	0,0	-	14	1,0	1,1	1	6	2	20	1	5	Zn	0,04	0,03	1	1
23	Lagoa Fortaleza	14	0,0	0,0	-	15	2,0	1,3	1	8	17	10	1	4	Zn	0,04	0,02	1	1
24	Lagoa Rondinha	14	0,0	0,1	-	15	1,0	1,1	1	8	9	6	1	4	Zn	0,07	0,04	1	1
25	Lagoa Cerquinha	15	0,0	0,1	-	17	1,0	1,4	1	6	13	9	1	5	Zn	0,04	0,03	1	1
54	Lagoa Gentil	6	2,0	1,7	-	9	1,0	1,0	1s	0	-	-	-	1	Zn	0,09	0,09	1s	1s

Fonte: Modificado de Profill Engenharia e Ambiente Ltda. (2005.a). (*) Representado o metal com a maior concentração encontrada nas amostras.

Outra questão importante é relativa aos riscos da intrusão salina nos mananciais utilizados para abastecimento e irrigação. Neste particular, a ação dos ventos dominantes tem um papel fundamental, à medida que favorecem a evaporação e o represamento de lagoas. De acordo com Profill Engenharia e Ambiente Ltda. (2005.a), na bacia em foco os ventos do quadrante norte são apontados como responsáveis pelo rebaixamento das lagoas situadas ao norte da barra do Rio Tramandaí. Os ventos do quadrante sul, de outra parte, provocam o represamento das águas do conjunto de lagoas do subsistema norte, favorecendo a entrada de água do mar através do estuário. Isto é tão sério que tem provocado a paralisação do sistema de abastecimento público em municípios importantes na bacia, como Imbé, Capão da Canoa e Xangri-Lá.

De acordo com CORSAN (1992 *apud* PROFILL ENGENHARIA E AMBIENTE LTDA., 2005.a) em 1989 foi registrada a primeira ocorrência de interrupção de abastecimento associada à salinidade na bacia, ocorrida na captação de Imbé, localizada na Lagoa dos Veados. Outros problemas operacionais deste tipo foram observados em 1991, na captação de Capão da Canoa, na Lagoa dos Quadros, que foram atribuídos à salinização verificada após o rebaixamento de nível da lagoa, em decorrência da ação do vento sul. No inverno daquele ano, a intrusão salina alcançou o Canal do João Pedro, na sua confluência com a citada lagoa. Nesse momento, a captação de água para Rainha do Mar, oriunda da Lagoa do Passo foi suspensa por mais de 45 dias consecutivos, pois os teores de cloretos estavam acima de 250 mg/L¹⁷. Ainda naquele ano, ao longo dos meses de setembro e outubro, foi registrada uma nova elevação dos níveis de sais acima do permitido no mencionado corpo hídrico. Nesta lagoa praticamente todos os anos o fenômeno da intrusão salina tem sido constatado, coincidindo, muitas vezes, com o período de verão e as captações para a irrigação. O problema pode persistir durante vários dias, dependendo das condições meteorológicas e dos níveis das lagoas.

A relação uso com a classe atual das águas superficiais dos principais corpos de água da bacia em apreço está sintetizada na tabela 12. O mapa da figura 28 exhibe a classificação atual dos corpos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí, de acordo com a metodologia referida.

¹⁷ A Portaria Nº 518 do Ministério da Saúde, de 25/03/2004, define como valor máximo permitido para água destinada a consumo humano o limite de 250mg/L de cloretos.

Tabela 12 - Classes e uso das águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí por manancial monitorado

Corpo hídrico (pontos do monitoramento)	Usos atuais da água	Classe	Classe do uso mais nobre	Classificação atual da qualidade da água			Parâmetros fora da classe de uso		Usos da água compatível com a qualidade atual
				Inv.	Ver.	Ano	Inv.	Ver.	
Lagoa Itapeva	Criação de espécies destinadas à alimentação humana;	1 ou 2	2	2	2	2	-	-	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abastecimento doméstico após tratamento convencional; ▪ Proteção das comunidades aquáticas; ▪ Recreação de contato primário; ▪ Irrigação de hortaliças e plantas frutíferas; ▪ Criação natural e/ou int. espécies à alimentação humana.
	Recreação de contato primário;	2							
	Dessedentação animal;	3							
	Abastecimento doméstico.	1, 2 ou 3							
	Lançamento de esgotos	-							
Lagoa dos Quadros	Criação de espécies destinadas à alimentação humana;	1 ou 2	2	1	1	1	-	-	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abastecimento doméstico sem prévia ou com simples desinfecção; ▪ Preservação e equilíbrio natural das espécies aquáticas.
	Recreação de contato primário;	2							
	Dessedentação animal;	3							
	Abastecimento doméstico;	1, 2 ou 3							
	Irrigação de arroz;	3							
	Lançamento de esgotos	-							
Rio Maquiné	Dessedentação animal;	3	1	1	2	1	coliformes fecais	-	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abastecimento doméstico sem prévia ou com simples desinfecção; ▪ Preservação e equilíbrio natural das espécies aquáticas.
	Irrigação de arroz;	3							
	Recreação de contato primário;	2							
	Irrigação de hortaliças;	1							
Lagoa Marcelino Ramos	Dessedentação animal;	3	3	4	4	4	coliformes fecais	coliformes fecais	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Navegação; ▪ Harmonia paisagística; ▪ Usos menos exigentes.
	Lançamento de esgotos	-							
Lagoa do Peixoto	Abastecimento doméstico;	1, 2 ou 3	3	1	1	1	-	-	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abastecimento doméstico sem prévia ou com simples desinfecção; ▪ Preservação e equilíbrio natural das espécies aquáticas.
	Dessedentação animal;	3							

Corpo hídrico (pontos do monitoramento)	Usos atuais da água	Classe	Classe do uso mais nobre	Classificação atual da qualidade da água			Parâmetros fora da classe de uso		Classe
				Inv.	Ver.	Ano	Inv.	Ver.	
Lagoa da Pinguela	Irrigação de arroz;	3	3	1	1	1	-	-	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abastecimento doméstico sem prévia ou com simples desinfecção; ▪ Preservação e equilíbrio natural das espécies aquáticas.
	Dessedentação animal;	3							
Lagoa Palmital	Dessedentação animal;	3	3	1	1	1	-	-	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abastecimento doméstico sem prévia ou com simples desinfecção; ▪ Preservação e equilíbrio natural das espécies aquáticas.
Rio Tramandaí	Abastecimento doméstico;	1, 2 ou 3	3	2	1	2	-	-	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abastecimento doméstico sem prévia ou com simples desinfecção; ▪ Preservação e equilíbrio natural das espécies aquáticas.
	Irrigação de arroz;	3							
	Dessedentação animal;	3							
	Criação de espécies destinadas à alimentação humana;	1 ou 2							
Laguna de Tramandaí	Criação de espécies destinadas à alimentação humana;	2s	2s	2s	2s	2s	salobra	salobra	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Recreação de contato primário; ▪ Navegação; ▪ Proteção das comunidades aquáticas; ▪ Criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana.
	Lançamento de esgotos	-							
Barra do Rio Tramandaí	Criação de espécies destinadas à alimentação humana;	2s	2s	2s	2s	2s	salobra	salobra	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Recreação de contato primário; ▪ Navegação; ▪ Proteção das comunidades aquáticas; ▪ Criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana.
	Lançamento de esgotos	-							

Corpo hídrico (pontos do monitoramento)	Usos atuais da água	Classe	Classe do uso mais nobre	Classificação atual da qualidade da água			Parâmetros fora da classe de uso		Classe
				Inv.	Ver.	Ano	Inv.	Ver.	
Laguna do Armazém	Criação de espécies destinadas à alimentação humana;	2s	2s	2s	2s	2s	salobra	salobra	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Recreação de contato primário; ▪ Navegação; ▪ Proteção das comunidades aquáticas; ▪ Criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana.
	Lançamento de esgotos	-							
Lagoa Custódia	Criação de espécies destinadas à alimentação humana;	1s	1s	1s	1s	1s	salobra	salobra	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Recreação de contato primário; ▪ Navegação; ▪ Proteção das comunidades aquáticas; ▪ Criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana.
Lagoa da Fortaleza	Abastecimento doméstico;	1, 2 ou 3	2	1	1	1	-	-	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abastecimento doméstico sem prévia ou com simples desinfecção; ▪ Preservação e equilíbrio natural das espécies aquáticas.
	Irrigação de arroz;	3							
	Recreação de contato primário;	2							
	Dessedentação animal;	3							
	Criação de espécies destinadas à alimentação humana;	1 ou 2							
Lagoa Rondinha	Dessedentação animal;	3	2	1	1	1	-	-	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abastecimento doméstico sem prévia ou com simples desinfecção; ▪ Preservação e equilíbrio natural das espécies aquáticas.
	Criação de espécies destinadas à alimentação humana;	1 ou 2							
Lagoa Cerquinha	Dessedentação animal;	3	2	1	1	1	-	-	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abastecimento doméstico sem prévia ou com simples desinfecção; ▪ Preservação e equilíbrio natural das espécies aquáticas.
	Criação de espécies destinadas à alimentação humana;	1 ou 2							
Lagoa do Gentil	Criação de espécies destinadas à alimentação humana;	1 ou 2	3	1s	1s	1s	-	-	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Recreação de contato primário; ▪ Navegação; ▪ Proteção das comunidades aquáticas; ▪ Criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana.
	Recreação de contato primário;	2							

Fonte: Adaptado de Profill Engenharia e Ambiente Ltda. (2005.a)

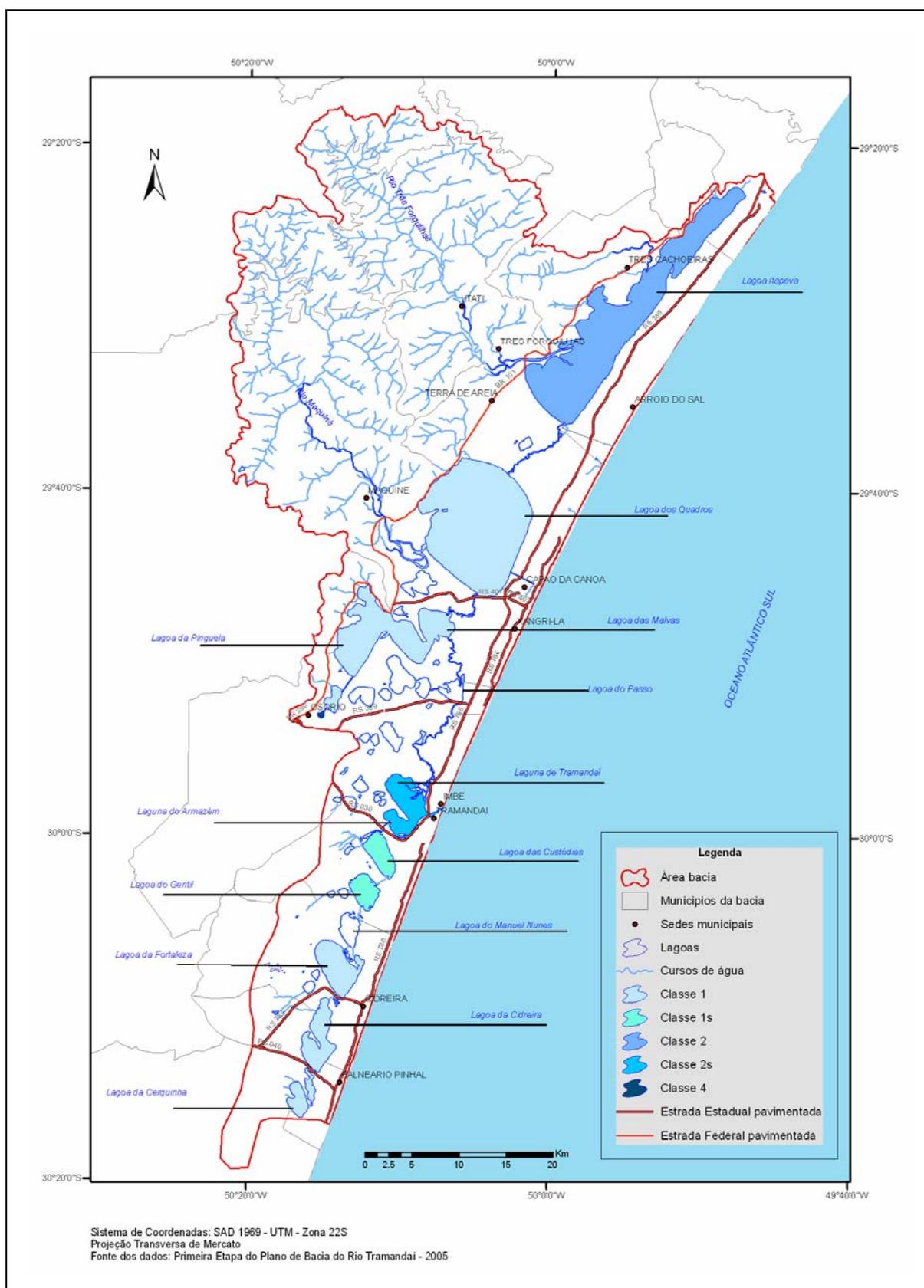


FIGURA 28 – MAPA DA CLASSIFICAÇÃO ATUAL DAS ÁGUAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TRAMANDAÍ, RS

3.6.3 Demandas hídricas da água superficial

Os estudos desenvolvidos por Profill Engenharia e Ambiente Ltda. (2005.b) identificaram como principais usos consuntivos da água na bacia em foco o abastecimento público e industrial; a dessedentação animal; e a irrigação. Como usos não consuntivos foram destacados a aqüicultura; a pesca; o lançamento de efluentes domésticos, industriais, da criação de animais e oriundos da degradação de resíduos sólidos; o lazer, a recreação e o turismo; a navegação; e a mineração.

Consoante com o apurado, o caráter sazonal é marcante no âmbito da bacia em pauta. Isto é observado especialmente no que concerne à irrigação das culturas de arroz e às atividades turísticas de veraneio, que ocorrem no mesmo período do ano, ou seja, entre dezembro e março. Nesta época, as demandas de água para consumo humano e para as lavouras se sobressaem. Os cálculos estimados para 2004 apontaram uma demanda anual de águas superficiais para o uso consuntivo de 112 milhões m³/ano, dos quais 78% foram consumidos no período citado. O maior consumo de água superficial deriva do setor da irrigação, que na época representava 83% da demanda consuntiva anual de água superficial da bacia. O segundo consumo em ordem de grandeza é representado pelo abastecimento público, que compreendeu 15,42 % da demanda anual, no período considerado. Avaliando-se apenas os meses mais críticos, o abastecimento público significou cerca de 9,1 % da demanda consuntiva total das águas superficiais. A irrigação sozinha representou 90,2 % dessa demanda total. Nos demais meses do ano, ou seja, de abril a novembro, quando o efetivo demográfico é significativamente menor e não ocorrem derivações de água para a lavoura orizícola, a distribuição de demandas entre os setores irrigação e abastecimento público é mais equilibrada, equivalendo a 48 % para a irrigação de hortigranjeiros e 38 % para abastecimento doméstico à população fixa da bacia.

Quanto aos usos não consuntivos das águas superficiais, o trabalho em apreço destaca que estão relacionados, principalmente, à recepção e ao afastamento de efluentes. Assim, foi calculada para 2004 a geração de aproximadamente 7.616,15 t/ano de matéria orgânica medida em termos de DBO nos municípios da bacia. Esta carga decorre, em sua maior parte, dos despejos domésticos (58,29 %) e dos efluentes gerados na criação de animais (34,52 %). No verão, como esperado em virtude da vinda de veranistas, ocorre a maior produção

de cargas orgânicas oriundas do esgotamento doméstico e da decomposição dos resíduos sólidos. Para o período em pauta a estimativa foi de 55,27 % (4.209,07 t) da carga orgânica anual.

Nos gráficos da figura 29 é possível se ter uma idéia da magnitude das demandas e cargas estimadas para a bacia em foco.

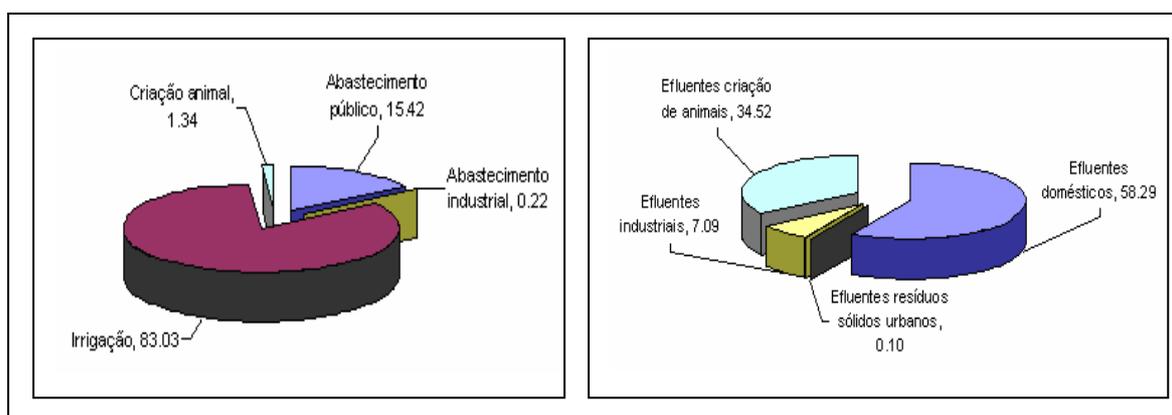


FIGURA 29 – DEMANDAS E CARGAS ANUAIS, EM %, ESTIMADAS PARA 2004, BACIA DO RIO TRAMANDAÍ, RS

Fonte: Modificado de Profill Engenharia e Ambiente Ltda. (2005.b, p.278 e 280)

3.6.4 Prognóstico das demandas hídricas

No trabalho em destaque também foram avaliadas as demanda consuntivas e não consuntivas de água superficial projetadas para um horizonte temporal de 8 anos. Neste cenário não são avaliadas ações que possam contribuir para a mitigação de eventuais conflitos.

Sendo assim, para as demandas consuntivas as estimativas apontam para um incremento que representará um volume total de 162 milhões m^3 /ano, dos quais 79 %, ou seja, cerca de 128 milhões m^3 , se acredita que será consumido entre dezembro e março pela irrigação do arroz e pelo abastecimento público. Os dados assinalam que, em 2012, a irrigação representará 82,2 % da demanda consuntiva anual de água superficial na bacia e o abastecimento público 16,4 %. Para o período do verão, correspondente ao ápice destas demandas, a irrigação equivalerá a 90 % do consumo de águas superficiais e o abastecimento público 10 %. Nos outros meses, o abastecimento público representará 42 % e a irrigação 47 % das demandas consuntivas superficiais totais para o período prognosticado.

No que tange às cargas geradas pelos usos não consuntivos, estimou-se para o horizonte temporal de 8 anos (2012) que estarão na ordem de 10.777,53 t/ano,

originárias dos despejos domésticos e industriais, da criação de animais e da decomposição de resíduos sólidos. No período de dezembro a março ocorrerá a maior produção, que poderá alcançar 59,99 % (6.465,83 t) da carga orgânica total em 2012. Os gráficos da figura 30 ilustram a estimativa das demandas e cargas projetadas para a bacia em pauta.

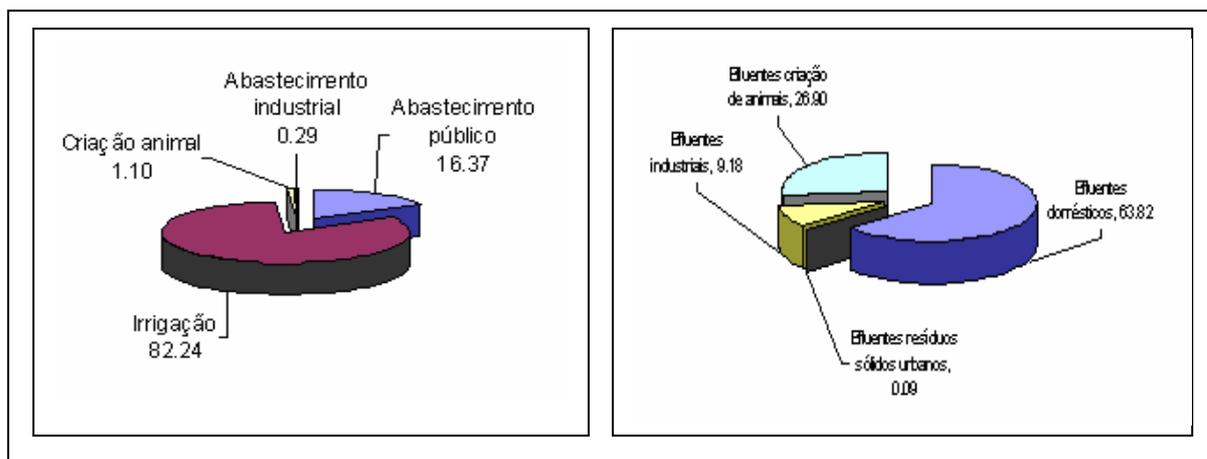


FIGURA 30 – PROGNÓSTICO DAS DEMANDAS HÍDRICAS SUPERFICIAIS E DAS CARGAS ORGÂNICAS, EM %, PARA 2012, NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TRAMANDAÍ, RS
 Fonte: Modificado de Profill Engenharia e Ambiente Ltda. (2005.b, p.279 e 281)

3.7 OS INSTRUMENTOS DE GESTÃO CONSOLIDADOS

Nos itens anteriores deste capítulo foi possível conferir a grande diversidade de ambientes produzidos pela dinâmica natural do sistema flúvio-lacustre-lagunar da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí, bem como a sua alta relevância em termos dos serviços ambientais que oportuniza. Por outro lado, constatou-se também que o padrão de ocupação antrópico tem perturbado mecanismos importantes para a manutenção da disponibilidade de oferta de seus recursos hídricos e costeiros. Isto se observa nos problemas relativos a alterações de cursos de água, aumento de processos erosivos nas encostas do planalto, precariedade no esgotamento sanitário, uso de agroquímicos etc. Estas questões entre outras têm conduzido os órgãos públicos a implementar instrumentos de gestão que visem ao ordenamento do território e ao regramento do uso da água na bacia. Neste item foram destacados alguns destes instrumentos, concebidos com a finalidade de promover o gerenciamento integrado da bacia hidrográfica e da zona costeira.

3.7.1 O Zoneamento ecológico-econômico e o enquadramento das águas

O Zoneamento ecológico-econômico (ZEE), realizado pela FEPAM no Litoral Norte do Estado, contemplou a área da Bacia do Rio Tramandaí. O processo foi

divido em duas fases distintas: a primeira, relacionada diretamente com a produção de dados e formulação de uma proposta técnica; e a segunda, elaborada através da discussão pública e participação da sociedade.

O produto técnico da primeira fase, que iniciou em 1988, foi elaborado com base na metodologia proposta pela Coordenação Nacional do Projeto GERCO. Assim, mediante o cruzamento de cartas temáticas, foi elaborada uma carta de unidades ambientais, representando o diagnóstico sócio-ambiental da região. Esse produto foi integrado com zoneamentos intermediários da flora e da fauna e com o zoneamento da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica. Para FEPAM (2000), estes zoneamentos representam, de forma mais evidente, a vulnerabilidade do uso do território pela comunidade. Em face disto, foram eles que deram origem à carta síntese do ZEE. O produto final foi um mapa com 14 zonas, que apresentam padrões paisagísticos semelhantes e informações sobre fragilidade e condicionamentos ambientais de cada zona. No território da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí foram observadas 12 zonas (figura 31).

As zonas, no seu conjunto, foram designadas, em conformidade com levantamentos que determinaram uma característica predominante, não se devendo, pois, excluir a existência de outras formas de paisagem em uma mesma zona. FEPAM (2000) ressalta que o ZEE não tem como intento coibir certos usos, mas instituir diretrizes para a gestão, tendo-se em conta as limitações ambientais.

Na segunda fase, Haase *et al.* (2001) ressaltam a inovação de se inserir as discussões sobre o ZEE concomitantemente com as propostas de enquadramento das águas do Litoral Norte do Estado e de formação de um comitê de bacia para a região. Isso foi realizado mediante a organização de uma série de eventos intitulada “Jornada de Atividades para o Gerenciamento Ambiental do Litoral Norte”, promovida pela parceria entre a FEPAM e o Departamento de Recursos Hídricos (DRH), órgão responsável pela integração do Sistema Estadual de Recursos Hídricos (art. 10, Lei 10.350/1994).

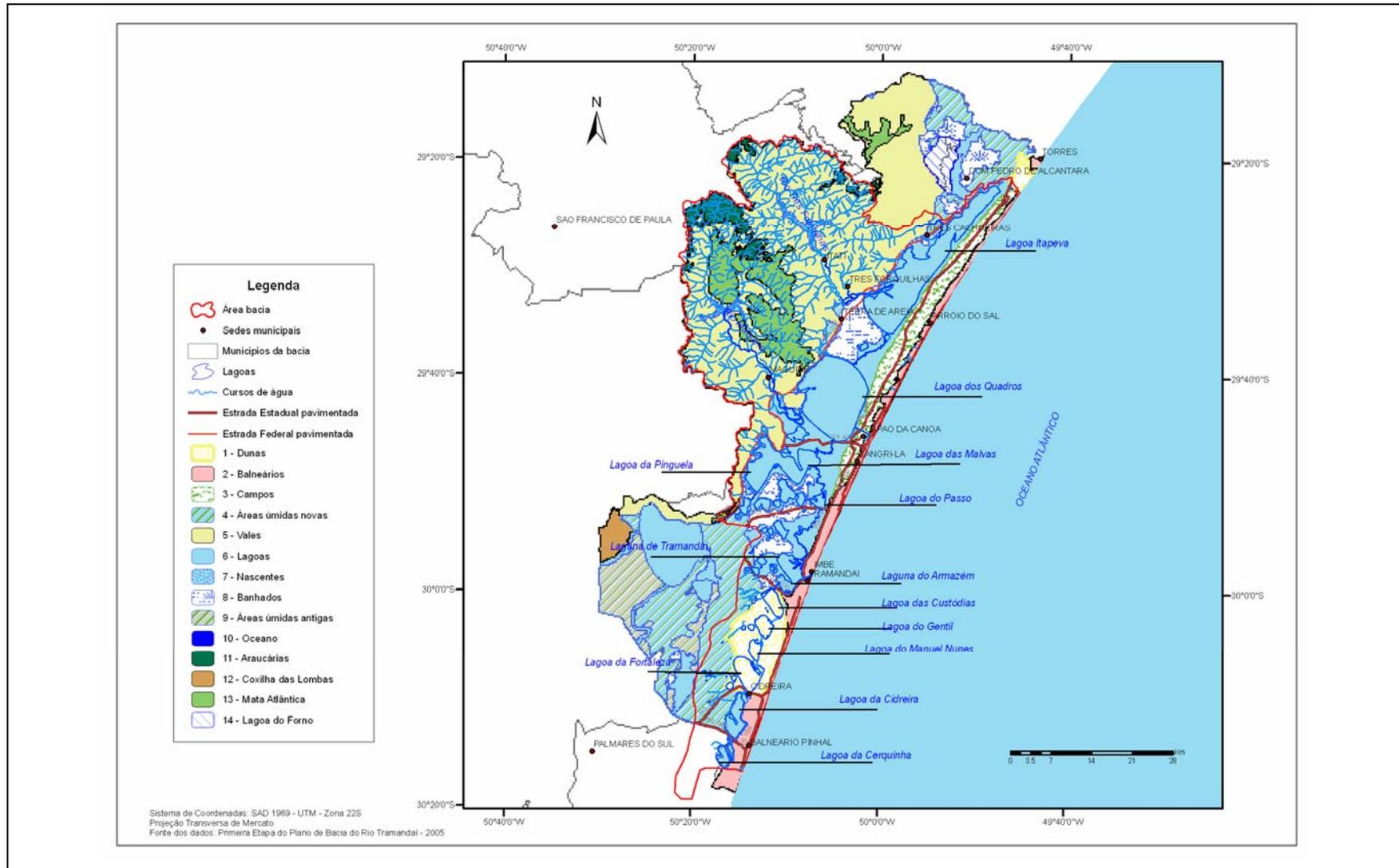


FIGURA 31 – ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO DO LITORAL NORTE DO RS

Nesse contexto, particularmente durante o VI Fórum de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Litoral Norte, realizado em dezembro de 1997, a necessidade de formação de um comitê de bacia ganhou relevo. De acordo com Profill Engenharia e Ambiente Ltda. (2004.a, p.47-48)

A primeira fase de discussões públicas do projeto do ZEE visava a compartilhar com a sociedade local os estudos técnicos realizados. Inclusive os relativos à qualidade das águas, como foi apresentado nas reuniões. Mas, o que mais chama atenção, é o reforço constante da necessidade de mobilização e participação das sociedades locais na formatação final da proposta de ZEE e, ao mesmo tempo, para a formação do Comitê de Bacia. Esse aspecto multifuncional das reuniões, aparentemente, é algo tranquilo e que está voltado para a otimização dos recursos econômicos e humanos. Porém, como é demonstrado na seqüência do trabalho, esse procedimento, em certo momento, redundou no estabelecimento de “disputa” de competências.

Para Haase *et al.* (2001), a experiência em pauta foi marcada por vantagens e desvantagens. Segundo as autoras, foi positivo o fato de terem sido tratados três temas novos na região, pois fomentou a participação de diferentes agentes sociais, que se reuniram em uma mesma discussão. Por outro lado, se verificou uma grande dificuldade dos distintos setores de representação da sociedade em assimilar a gama de informações novas pertinentes ao Sistema Estadual de Recursos Hídricos, ao enquadramento das águas e ao zoneamento ecológico-econômico. A proposta de enquadramento das águas do Litoral Norte do Estado, construída em 1997 durante o processo acima exposto, está exibida na figura 32.

O comitê de bacia foi por fim criado pelo Decreto Estadual Nº. 39.637, de 28 de julho de 1999, no âmbito da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí. Assim, foi assumida para a gestão a unidade espacial definida pela lei de recursos hídricos e não mais a região do Litoral Norte, contemplada pelo ZEE.

Anele *et al.* (2003) ressaltam que o panorama evidenciado nas discussões do ZEE apontou que a manutenção da qualidade ambiental da região é estratégica para o seu desenvolvimento sócio-econômico. Todavia, isto só se concretizará quando de fato se tornar uma preocupação incorporada ao cotidiano municipal de prefeituras, comunidades e legislação, particularmente no que concerne aos seus planos diretores.

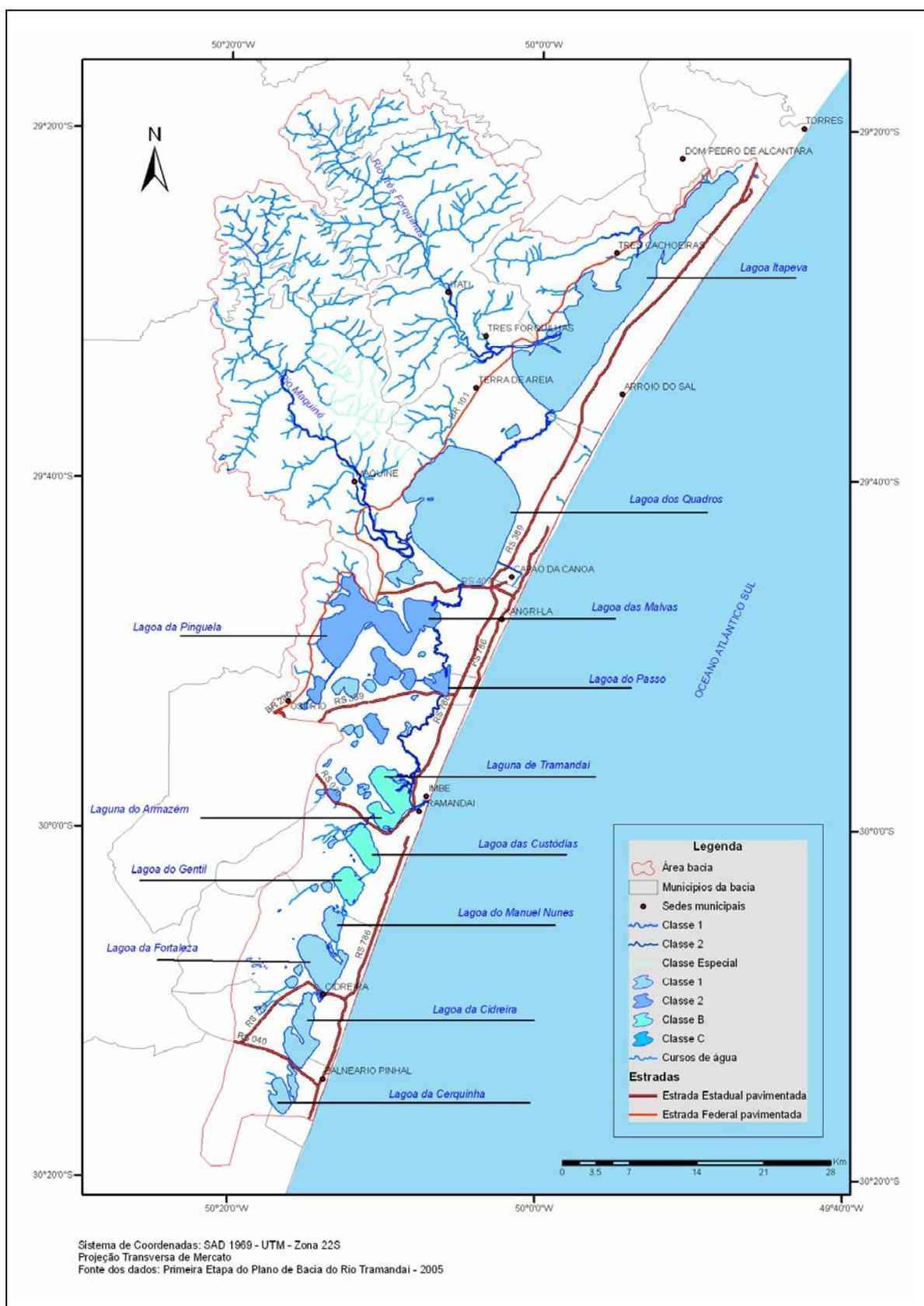


FIGURA 32 – ENQUADRAMENTO DAS ÁGUAS DO LITORAL NORTE PROPOSTO POR FEPAM EM 1997

O Programa Nacional de Meio Ambiente II, através do Projeto “Fortalecimento do Gerenciamento Costeiro do Litoral Norte do Rio Grande do Sul” trouxe novas perspectivas ao definir como uma das atividades a municipalização das diretrizes do ZEE, utilizando como principal instrumento os Planos Diretores Municipais. Como estratégia de condução deste projeto foi inserida a consolidação do ZEE, vinculado ao Plano de Bacia do Rio Tramandaí e à elaboração de planos de gestão setoriais, o ordenamento de uso das margens das lagoas de Tramandaí e do Armazém, o regramento da atividade de mineração de areia e de manejo das áreas remanescentes de dunas móveis, finalizando com o projeto executivo para a estruturação do plano de gestão e divulgação de informações do Litoral Norte.

Algumas das atividades acima foram ultimadas. A estruturação do curso para capacitação de gestores municipais foi realizada de forma conjunta entre FEPAM e a Fundação de Planejamento Metropolitano e Regional (METROPLAN). O curso foi estruturado em módulos temáticos, compostos por disciplinas e exercícios que foram aplicados dentro das realidades dos municípios. O material produzido pelas aulas práticas foi adaptado a cada local. Na ocasião, foram inscritos vinte municípios, incluindo três originalmente fora da área de abrangência. No final do curso foram concluídas dez propostas técnicas de Planos Diretores. A ultimação do processo, entretanto, depende do interesse do administrador público municipal, a fim de que possa ser apreciada e transformada em lei.

Outro desdobramento do ZEE foi a sua utilização para o ordenamento das atividades da mineração de areia. Segundo Hasse *et al.* (2003), os impactos ambientais desta atividade referem-se, basicamente, aos seguintes aspectos: alteração do nível do lençol freático, geralmente muito superficial na região; destruição da cobertura vegetal; abertura de grandes lagos (tanques), alterando condições hidrológicas¹⁸; modificação e destruição de habitats terrestres e corredores de biodiversidade; acentuada alteração da paisagem; mobilização de grandes quantidades de areia¹⁹; suspensão e transporte de frações finas de sedimentos para os corpos de água da região, provocando aumento da sua turbidez e assoreamento; lixiviação de sais e outros produtos solúveis, que irão para os

¹⁸ Neste particular os autores alertam que, muitas vezes, a base dos tanques está abaixo do nível do lençol freático.

¹⁹ Conforme os autores, em alguns locais, a areia apresenta concentração de minerais pesados, como ilmenita e titânio (Hasse *et al.*, 2003)

ambientes aquáticos, alterando a qualidade de suas águas; impactos sociais no entorno, tais como poeira, ruído, perigo de atropelamento e deterioração das estradas, pelo tráfego excessivo de caminhões.

Segundo técnicos da FEPAM, o ZEE tem sido utilizado atualmente como parâmetro para a concessão de licença ambiental, sendo que o próximo passo é uma maior internalização da proposta por parte da população. Na elaboração da 1ª Etapa do Plano de Bacia do Rio Tramandaí, este zoneamento foi resgatado como um suporte ao planejamento dinâmico e ao estabelecimento de diretrizes de desenvolvimento local e regional.

3.7.2 O Plano de Bacia

Conforme colocado no capítulo anterior desta tese, a gestão não se viabiliza sem o planejamento. No que tange a recursos hídricos, a Lei 10.350/1994 preconiza que os objetivos, princípios e diretrizes da Política Estadual de Recursos Hídricos serão discriminados no Plano Estadual de Recursos Hídricos e nos Planos de Bacias Hidrográficas (art. 21). A mesma lei explica que os Planos de Bacia têm por fim operacionalizar, no escopo de cada bacia hidrográfica, as disposições do Plano Estadual de Recursos Hídricos. Para tanto, o período estipulado é de 4 anos, com atualizações periódicas a cada 2 anos. O Plano de Bacia deve compatibilizar os aspectos quantitativos e qualitativos, de forma a assegurar que as metas e usos previstos pelo Plano Estadual sejam atingidos concomitantemente com melhorias significativas e contínuas da qualidade dos corpos de água (art. 26).

A Resolução 17, de 29 de maio de 2001, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos estabeleceu as diretrizes complementares para a elaboração dos Planos de Bacia, definindo seus conteúdos mínimos. Em seu artigo 8º esta Resolução explicita que os planos deverão ***“ser constituídos por diagnósticos e prognósticos, alternativas de compatibilização, metas, estratégias, programas e projetos, contemplando os recursos hídricos superficiais e subterrâneos”***. Nesse mesmo ano, a FEPAM iniciou as articulações em torno do processo de enquadramento das águas da Bacia do Rio Tramandaí, em conformidade com a atual legislação. A experiência descrita no item anterior contribuiu para a criação de uma comissão composta por técnicos do órgão ambiental, do DRH e um

representante do comitê de bacia. A partir de então ficou decidido que a nova proposta de enquadramento seria consolidada como uma etapa do Plano de Bacia.

Desta forma, após um longo processo de discussão no âmbito do comitê, foram estabelecidos os produtos do Termo de Referência para a contratação dos estudos para a 1ª Etapa do Plano de Bacia do Rio Tramandaí. Este estudo iniciou em outubro de 2003 e finalizou em dezembro de 2005. As fases cumpridas nesta etapa foram: Fase A – Diagnóstico e Prognóstico das disponibilidades e demandas hídricas e Fase B – Compatibilização e Articulação, culminando com o balanço hídrico, propostas de adequação das demandas com as disponibilidades e enquadramento das águas. Assim, os objetivos específicos da 1ª Etapa do Plano de Bacia do Rio Tramandaí foram: fornecer as informações básicas quanto à disponibilidade quali-quantitativa dos recursos hídricos na bacia; determinar as demandas de usos das águas superficiais e subterrâneas na bacia; disponibilizar estas informações em linguagem acessível à sociedade da bacia, através do Comitê de Bacia; subsidiar e estabelecer as diretrizes para a implementação dos instrumentos de gestão de recursos hídricos previstos em Lei, em especial apontar o Enquadramento dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí; e fornecer elementos para a elaboração da 2ª Etapa do Plano de Bacia, ou seja, os Planos de Ações.

Muitos dos resultados obtidos com os relatórios sobre disponibilidades e demandas hídricas já foram reportados neste capítulo. Neste item serão destacados especificamente dois produtos: o balanço hídrico e a proposta final de enquadramento dos corpos de água referendado pelo comitê de bacia.

Profill Engenharia e Ambiente Ltda. (2005.e) estimou a disponibilidade hídrica das lagoas e cursos de água, a partir das curvas de permanência de níveis (volumes) e vazão, utilizando as curvas de 90% e 95% de permanência no tempo. O cálculo do balanço hídrico foi estabelecido através da diferença entre o volume (V) ou vazão (Q) de referência (correspondente a 90% de permanência) e volume ou vazão ecológica. Estes, a seu turno, foram assumidos como equivalentes a 50% daquele que permanece 90% do tempo nos corpos de água, isto é: V_{ECO} ou $Q_{ECO} = 0,5 * V_{90\%}$ ou Q_{90} .

Na tabela 13 é apresentada a disponibilidade ($V_{90\%} - V_{ECO}$ ou $Q_{90\%} - Q_{ECO}$) calculada por manancial. Os valores das lagoas (volume) estão em m^3 e dos rios e canais (vazão) estão em m^3/s . Na tabela 14 estão ilustrados os consumos por manancial, calculados para a bacia.

O resultado do quociente entre demandas e disponibilidades, apresentadas nas referidas tabelas, representa o percentual da disponibilidade hídrica que atualmente está sendo utilizado em cada manancial. Este valor está expresso na tabela 15, para todos os meses do ano. Segundo Profill Engenharia e Ambiente Ltda. (2005.e), isto possibilita observar a sazonalidade no balanço hídrico, que é visível nos meses em que ocorrem as demandas para a irrigação e para o abastecimento público, causando uma pressão maior sobre alguns mananciais.

As lagoas que apresentaram situação crítica quanto às condições quantitativas foram a Emboaba, a da Fortaleza e a das Pombas. A Lagoa da Emboaba registrou a situação mais problemática de todos os corpos hídricos verificados, destacando-se os meses de dezembro a fevereiro com o balanço quantitativo desfavorável. Esta lagoa apresenta um pequeno volume e é utilizada para atender às demandas hídricas para abastecimento público, irrigação e criação de animais. O estudo destaca que mesmo nos meses de abril a outubro, quando não ocorrem demandas para irrigação e o uso principal é para abastecimento público, mais de 40% da disponibilidade é utilizada. Na Lagoa da Fortaleza o balanço hídrico adverso nos meses de dezembro a fevereiro pode ser explicado pelo acréscimo da demanda para abastecimento público combinado com o período de captação de água para orizicultura. Já na Lagoa das Pombas o período de balanço hídrico quantitativo crítico também coincide com a época de irrigação.

Os principais rios da bacia não exibiram problemas no seu balanço hídrico, durante o ano. Em todos os casos, menos de 20% da disponibilidade calculada ($V_{90\%} - V_{ECO}$ ou $Q_{90\%} - Q_{ECO}$) estava sendo utilizada.

Tabela 13 - Disponibilidade para captação ($V_{90\%} - V_{ECO}$ em milhões m^3 ou $Q_{90\%} - Q_{ECO}$ em m^3/s) por manancial

Manancial	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Canal João Pedro (m^3/s)	51,96	48,05	49,86	42,09	36,62	34,70	35,67	36,13	43,36	42,84	43,64	47,86
Lagoa Cerquinha (milhões/ m^3)	3,55	3,68	3,74	3,71	3,54	3,48	3,45	3,46	3,54	3,55	3,47	3,54
Lagoa Cidreira (milhões/ m^3)	3,58	3,71	3,77	3,74	3,56	3,50	3,47	3,48	3,56	3,58	3,50	3,57
Lagoa Emboaba (milhões/ m^3)	0,62	0,64	0,65	0,64	0,61	0,60	0,60	0,60	0,61	0,62	0,60	0,61
Lagoa Fortaleza (milhões/ m^3)	8,33	8,64	8,78	8,71	8,29	8,16	8,08	8,11	8,29	8,34	8,15	8,31
Lagoa Rondinha (milhões/ m^3)	3,65	3,78	3,84	3,82	3,63	3,57	3,54	3,55	3,63	3,65	3,57	3,64
Lagoa Custódias (milhões/ m^3)	4,31	4,47	4,54	4,51	4,29	4,22	4,18	4,19	4,29	4,31	4,21	4,30
Lagoa Pombas (milhões/ m^3)	1,81	1,88	1,91	1,89	1,80	1,77	1,75	1,76	1,80	1,81	1,77	1,80
Lagoa Itapeva (milhões/ m^3)	67,54	69,51	66,82	66,11	55,47	52,27	51,41	56,05	58,58	60,17	61,29	64,08
Lag. Tramandaí/Armazém (milhões/ m^3)	8,56	9,07	9,23	9,68	9,33	9,62	9,26	9,14	8,94	8,94	9,04	9,33
Lagoa Gentil (milhões/ m^3)	3,68	3,82	3,88	3,85	3,67	3,61	3,57	3,59	3,67	3,69	3,60	3,67
Lagoa Manuel Nunes (milhões/ m^3)	2,51	2,61	2,65	2,63	2,50	2,46	2,44	2,45	2,50	2,51	2,46	2,51
Lagoa Marcelino (milhões/ m^3)	0,16	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
Lagoa Passo (milhões/ m^3)	1,87	1,92	1,96	1,92	1,84	1,78	1,79	1,77	1,85	1,87	1,78	1,80
Lagoa Peixoto (milhões/ m^3)	1,57	1,63	1,64	1,58	1,47	1,43	1,40	1,47	1,51	1,51	1,51	1,54
Lagoa Quadros (milhões/ m^3)	127,50	129,54	131,06	127,31	120,94	119,42	118,14	121,58	125,15	124,76	123,17	126,42
Lagoas Lessa/Caieria (milhões/ m^3)	4,52	4,64	4,72	4,63	4,43	4,31	4,34	4,29	4,46	4,51	4,31	4,36
L. Pinguela/Palmital/Malvas (milhões/ m^3)	45,47	46,47	46,63	45,62	43,68	42,90	42,40	43,76	44,45	44,45	44,34	44,96
Rio Cornélios (m^3/s)	24,16	22,17	20,01	21,36	18,36	15,40	15,44	15,45	17,78	19,00	19,36	21,53
Rio Maquiné – alto (m^3/s)	2,09	1,42	1,45	1,20	0,68	2,11	1,97	1,83	1,59	1,85	1,12	1,28
Rio Maquiné – baixo (m^3/s)	2,63	1,79	1,82	1,51	0,86	2,65	2,48	2,30	2,00	2,33	1,41	1,61
Rio Tramandaí (m^3/s)	51,33	53,07	59,58	43,82	37,24	45,33	37,92	39,60	52,63	49,10	48,77	54,61
Rio Três Forquilhas – alto (m^3/s)	0,98	1,08	0,91	0,91	0,51	0,53	0,85	0,84	0,99	0,96	1,37	1,26
Rio Três Forquilhas – baixo (m^3/s)	1,40	1,55	1,29	1,29	0,73	0,75	1,21	1,19	1,41	1,37	1,96	1,80

Fonte: Profill Engenharia e Ambiente Ltda. (2005.e, p. 11), com modificações.

Lagoa/Rio	Demanda (m ³ /mês)	Jan	Fev	Mar	Abr - Out*	Nov	Dez	Total
CUSTÓDIAS	Irrigação	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Criação animal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LAGOA DAS POMBAS	Abastecimento público	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Irrigação	1.876.500,00	1.563.750,00	625.500,00	0,00	625.500,00	1.563.750,00	6.255.000,00
	Criação animal	1.770,91	1.770,91	1.770,91	12.396,37	1.770,91	1.770,91	21.250,92
	Total	1.878.270,91	1.565.520,91	627.270,91	12.396,37	627.270,91	1.565.520,91	6.276.250,92
LAGOA DE ITAPEVA	Abastecimento público	274.508,35	274.508,35	274.508,35	1.331.715,14	190.245,02	274.508,35	2.619.993,56
	Irrigação	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Criação animal	28.151,56	28.151,56	28.151,56	197.060,92	28.151,56	28.151,56	337.818,72
	Total	302.659,91	302.659,91	302.659,91	1.528.776,06	218.396,58	302.659,91	2.957.812,28
LAGOA TRAMANDAÍ/ ARMAZÉM	Abastecimento público	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Irrigação	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Criação animal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LAGOA DO GENTIL	Abastecimento público	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Irrigação	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Criação animal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LAGOA DO MANUEL NUNES	Abastecimento público	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Irrigação	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Criação animal	2.572,41	2.572,41	2.572,41	18.006,87	2.572,41	2.572,41	30.868,92
	Total	2.572,41	2.572,41	2.572,41	18.006,87	2.572,41	2.572,41	30.868,92
LAGOA DO MARCELINO	Abastecimento público	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Irrigação	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Criação animal	1.770,91	1.770,91	1.770,91	12.396,37	1.770,91	1.770,91	21.250,92
	Total	1.770,91	1.770,91	1.770,91	12.396,37	1.770,91	1.770,91	21.250,92

Lagoa/Rio	Demanda (m ³ /mês)	Jan	Fev	Mar	Abr - Out*	Nov	Dez	Total
LAGOA DO PASSO	Abastecimento público	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Irrigação	315.000,00	262.500,00	105.000,00	0,00	105.000,00	262.500,00	1.050.000,00
	Criação animal	1.770,91	1.770,91	1.770,91	12.396,37	1.770,91	1.770,91	21.250,92
	Total	316.770,91	264.270,91	106.770,91	12.396,37	106.770,91	264.270,91	1.071.250,92
LAGOA DO PEIXOTO	Abastecimento público	194.135,62	194.135,62	194.135,62	1.255.183,79	179.311,97	194.135,62	2.211.038,24
	Irrigação	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Criação animal	1.770,91	1.770,91	1.770,91	12.396,37	1.770,91	1.770,91	21.250,92
	Total	195.906,53	195.906,53	195.906,53	1.267.580,16	181.082,88	195.906,53	2.232.289,16
LAGOA DOS QUADROS	Abastecimento público	629.487,94	629.487,94	629.487,94	2.122.884,26	303.269,18	529.711,49	4.844.328,77
	Irrigação	2.092.500,00	1.743.750,00	697.500,00	0,00	697.500,00	1.743.750,00	6.975.000,00
	Criação animal	9.209,15	9.209,15	9.209,15	64.464,05	9.209,15	9.209,15	110.509,78
	Total	2.731.197,09	2.382.447,09	1.336.197,09	2.187.348,31	1.009.978,33	2.282.670,64	11.929.838,57
LAGOA LESSA/CAIEIRA	Abastecimento público	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Irrigação	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Criação animal	3.794,81	3.794,81	3.794,81	26.563,67	3.794,81	3.794,81	45.537,69
	Total	3.794,81	3.794,81	3.794,81	26.563,67	3.794,81	3.794,81	45.537,69
LAGOA PINGUELA/ PALMITAL/ MALVAS	Abastecimento público	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Irrigação	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Criação animal	7.870,44	7.870,44	7.870,44	55.093,08	7.870,44	7.870,44	94.445,30
	Total	7.870,44	7.870,44	7.870,44	55.093,08	7.870,44	7.870,44	94.445,30
RIO DOS CORNÉLIOS	Abastecimento público	76.950,00	76.950,00	76.950,00	241.142,86	34.448,98	76.950,00	583.391,84
	Irrigação	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Criação animal	4.684,06	4.684,06	4.684,06	32.788,42	4.684,06	4.684,06	56.208,72
	Total	81.634,06	81.634,06	81.634,06	273.931,28	39.133,04	81.634,06	639.600,56
RIO MAQUINÉ - ALTO	Abastecimento público	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Irrigação	1.130,00	1.130,00	1.130,00	7.910,00	1.130,00	1.130,00	13.560,00
	Criação animal	6.960,83	6.960,83	6.960,83	48.725,81	6.960,83	6.960,83	83.529,99

Lagoa/Rio	Demanda (m ³ /mês)	Jan	Fev	Mar	Abr - Out*	Nov	Dez	Total
	Total	8.090,83	8.090,83	8.090,83	56.635,81	8.090,83	8.090,83	97.089,96
RIO MAQUINÉ - BAIXO	Abastecimento público	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Irrigação	1.080.574,00	930.574,00	480.574,00	1.264.018,00	480.574,00	930.574,00	5.166.888,00
	Criação animal	125,28	125,28	125,28	876,96	125,28	125,28	1.503,36
	Total	1.080.699,28	930.699,28	480.699,28	1.264.894,96	480.699,28	930.699,28	5.168.391,36
RIO TRAMANDAÍ	Abastecimento público	264.535,63	264.535,63	264.535,63	494.523,82	70.646,26	264.535,63	1.623.312,58
	Irrigação	5.724.000,00	4.770.000,00	1.908.000,00	0,00	1.908.000,00	4.770.000,00	19.080.000,00
	Criação animal	4.262,26	4.262,26	4.262,26	29.835,82	4.262,26	4.262,26	51.147,09
	Total	5.992.797,89	5.038.797,89	2.176.797,89	524.359,64	1.982.908,52	5.038.797,89	20.754.459,72
RIO TRÊS FORQUILHAS - ALTO	Abastecimento público	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Irrigação	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Criação animal	12.107,21	12.107,21	12.107,21	84.750,47	12.107,21	12.107,21	145.286,51
	Total	12.107,21	12.107,21	12.107,21	84.750,47	12.107,21	12.107,21	145.286,51
RIO TRÊS FORQUILHAS - BAIXO	Abastecimento público	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Irrigação	582.845,00	552.845,00	462.845,00	2.819.915,00	462.845,00	552.845,00	5.434.140,00
	Criação animal	3.110,52	3.110,52	3.110,52	21.773,64	3.110,52	3.110,52	37.326,22
	Total	585.955,52	555.955,52	465.955,52	2.841.688,64	465.955,52	555.955,52	5.471.466,22

Fonte: Profill Engenharia e Ambiente Ltda. (2005.e, p.12-16); *total para os sete meses, esta demanda é uniforme em todos os meses de abril a outubro equivalendo mensalmente a 1/7 deste total apresentado. **Na Lagoa da Cidreira, 88% (5.250.000 m³/ano) da demanda para irrigação destina-se a irrigar áreas com cultivo de arroz FORA dos limites da bacia hidrográfica; *** Na Lagoa da Fortaleza, 33% (12.715.758 m³/ano) da demanda para irrigação destina-se a irrigar áreas com cultivo de arroz FORA dos limites da bacia hidrográfica;

Tabela 15 - Percentual da disponibilidade hídrica utilizado para usos consuntivos

MANANCIAL	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Can. João Pedro	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Lag. Cerquinha	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Lag. Cidreira	51	41	16	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	18	43
Lag. Emboaba	120	109	87	41	43	44	44	44	43	43	59	113
Lag. Fortaleza	135	115	48	2	2	2	2	2	2	2	57	120
Lag. Rondinha	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Lag. Custódias	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Lag. Pombas	104	84	33	1	1	1	1	1	1	1	36	87
Lag. Itapeva	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Lag. T/A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Lag. Gentil	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Lag. MN	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Lag. Marcelino	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Lag. Passo	17	14	6	1	1	1	1	1	1	1	6	15
Lag. Peixoto	13	13	12	12	13	13	13	13	12	12	13	13
Lag. Quadros	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2
Lag. L/C	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Lag. P/P/M	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Rio Cornélio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Rio M – alto	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Rio M – baixo	16	21	11	5	9	3	3	4	4	3	14	23
Rio Tramandaí	5	4	2	1	1	1	1	1	1	1	2	4
Rio TF – alto	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Rio TF - baixo	17	14	14	13	22	21	13	14	12	12	10	12

Obs: T/A = Tramandaí/Armazém; MN = Manuel Nunes; L/C = Lessa/Caieira; P/P/M = Pinguela/Palmital/Malvas; M = Maquiné e TF = Três Forquilhas.

LEGENDA	
	Demanda corresponde a menos de 20% da disponibilidade
	Demanda entre 20% e 30% da disponibilidade
	Demanda entre 30% e 60% da disponibilidade
	Demanda entre 60 e 100% da disponibilidade
	Demanda ultrapassa o limite da disponibilidade calculada ($V_{90\%}$ menos $0,5 \cdot V_{90\%}$)

Fonte: Profill Engenharia e Ambiente Ltda. (2005.e, p.17)

Quanto ao enquadramento dos corpos de água na bacia, o processo iniciou com as consultas pré-enquadramento, quando então foram consolidados três cenários alternativos. A finalidade foi oportunizar a comparação entre opções mais ou menos restritivas, tendo-se em conta a influência que terão nas escolhas de intervenções nas lagoas e rios da bacia e o que isto significa em termos de custos. A síntese destes cenários e sua comparação com a classificação atual das águas da bacia estão apresentadas na tabela 16.

Tabela 16 – Classe atual das águas e cenários de enquadramento propostos

Lagoa ou Rio	Classes de Qualidade da Água (Conforme a Res. 357/2005 CONAMA)			
	Atual	Cenário 01 - Pré-Enquadramento	Cenário 2 - GERCO/ FEPAM (1997)	Cenário 03 (alternativo)
Lagoa da Cerquinha	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1
Lagoa da Rondinha/Cidreira	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1
Lagoa da Fortaleza	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1
Lagoa do Manoel Nunes	Classe 1	Classe 2	Classe 1	Classe 1
Lagoa do Gentil	Classe 1s*	Classe 1s*	Classe B*	Classe 1s*
Lagoa das Custódias	Classe 1s*	Classe 1s*	Classe B*	Classe 1s*
Lagunas do Armazém/Tramandaí	Classe 2s*	Classe 1s*	Classe B*	Classe 1s*
Rio Tramandaí*	Classe 2	Classe 2	Classe 2	Classe 2
Lagoa Emboaba	sem dados	Classe 1	Classe 2	Classe 1
Lagoa das Pombas	sem dados	Classe 2	Classe 2	Classe 1
Lagoa do Marcelino	Classe 4	Classe 2	Classe 2	Classe 3
Lagoa do Peixoto	Classe 1	Classe 1	Classe 2	Classe 1
Lagoas Lessa/Caieira/Outras	sem dados	Classe 2	Classe 1 e 2**	Classe 1
Lagoas Pinguela/Palmital/Malvas	Classe 1	Classe 1	Classe 2	Classe 1
Lagoa do Passo	sem dados	Classe 2	Classe 2	Classe 2
Canal João Pedro	sem dados	Classe 1	Classe 2	Classe 1
Lagoa dos Quadros	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1
Rio Maquiné – Alto	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1
Rio Maquiné – Baixo	Classe 2	Classe 1	Classe 2	Classe 1
Rio Cornélios	sem dados	Classe 1	Classe 1	Classe 1
Rio Três Forquilhas – Alto	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1
Rio Três Forquilhas – Baixo	Classe 1	Classe 1	Classe 1	Classe 1
Lagoa Itapeva	Classe 2	Classe 1	Classe 1	Classe 2
	Situação em que há diferenças entre os cenários no enquadramento proposto			

Fonte: Profill Engenharia e Ambiente Ltda. (2005.e, p.31); * Classe 1s = Classe 1 de águas salobras; Classe 2s = Classe 2 de águas salobras; Classe B = Classificação com base na Portaria SSMA 07/1995, Norma Técnica FEPAM 003/1995; **Proposta GERCO/FEPAM (1997): Lagoas do Lessa e Caieira enquadradas em Classe 2.

Com base nestes cenários, o estudo avaliou a necessidade de intervenção para alcançar as classes estabelecidas. Assim, verificou-se que, do ponto de vista quantitativo, são fundamentais intervenções nas lagoas da Fortaleza, das Pombas e da Emboaba, em face do balanço hídrico desfavorável. Para melhorar a qualidade da água, notadamente quanto à remoção da carga poluidora, devem ser operadas ações nos seguintes corpos hídricos: lagunas do Armazém e do Tramandaí, lagoas do Marcelino e Itapeva e curso inferior do Rio Maquiné. No que tange ao Rio Tramandaí, foi sugerido intervenção para o controle dos efeitos da salinização e

para a Lagoa dos Quadros foi proposta a remoção dos esgotos de Capão da Canoa, pois se constatou que o volume atual de carga poluidora já é muito elevado.

A proposta final de Enquadramento das águas da Bacia do Rio Tramandaí foi construída de forma participativa através do Comitê Tramandaí, com o apoio do DRH/SEMA e acompanhamento da FEPAM, demonstrado o esforço de consolidação de um processo integrativo (PROFILL ENGENHARIA E AMBIENTE, 2005c e g). As intervenções sugeridas em cada corpo de água podem ser conferidas na tabela 17. O resultado do processo está ilustrado na figura 33.

Tabela 17 - Intervenções para cada corpo de água conforme a Proposta Final de Enquadramento

Corpo hídrico	Intervenções propostas
Lagoa da Cerquinha	<ul style="list-style-type: none"> • Ampliação/ implantação da rede coletora e tratamento dos esgotos de Balneário Pinhal ⁽¹⁾. • Monitoramento da qualidade da água. • Recomposição da mata ciliar.
Lagoa da Rondinha/ Cidreira	
Lagoa da Fortaleza	<ul style="list-style-type: none"> • Tratamento dos esgotos de Cidreira⁽¹⁾. • Equacionamento do problema de balanço hídrico desfavorável. • Definição sobre a Barragem da Fortaleza. • Recomposição da mata ciliar. • Programa de manejo de dunas • Monitoramento da qualidade da água.
Lagoa do Manoel Nunes	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoramento da qualidade da água. • Recomposição da vegetação ciliar.
Lagoa do Gentil	<ul style="list-style-type: none"> • Ampliação/ implantação da rede coletora e tratamento dos esgotos de Tramandaí ⁽¹⁾. • Recomposição da mata ciliar. • Monitoramento da qualidade da água.
Lagoa das Custódias	
Lagunas do Armazém e de Tramandaí	<ul style="list-style-type: none"> • Ampliação/ implantação da rede coletora e Tratamento dos esgotos de Tramandaí e Imbé ⁽¹⁾. • Monitoramento da qualidade da água. • Recomposição da mata ciliar.
Rio Tramandaí	<ul style="list-style-type: none"> • Controle da salinização provocada pela entrada da água do mar em fluxo contrário, nas épocas de seca e durante o período de irrigação. • Monitoramento da qualidade da água. • Recomposição da mata ciliar. <p>Para controle da salinização sugere-se a implementação de estrutura no leito do Rio Tramandaí que consiste de uma soleira fixa que impeça o avanço da água salobra.</p>
Lagoa Emboaba	<ul style="list-style-type: none"> • Equacionamento do problema de balanço hídrico desfavorável • Recomposição da mata ciliar. • Monitoramento da qualidade da água.
Lagoa das Pombas	

Corpo hídrico	Intervenções propostas
Lagoa do Peixoto	<ul style="list-style-type: none"> • Ampliação/ implantação da rede coletora e tratamento dos esgotos de Osório ⁽¹⁾. • Intensificação na fiscalização dos padrões de emissão das indústrias. • Melhoria no sistema de disposição final de resíduos sólidos de Osório. • Recomposição da vegetação ciliar. • Monitoramento da qualidade da água.
Lagoa do Marcelino	<ul style="list-style-type: none"> • Ampliação/ implantação da rede coletora e tratamento dos esgotos de Osório ⁽¹⁾. • Monitoramento da qualidade da água. • Recomposição da mata ciliar.
Lagoas Lessa/ Caieira/ Outras	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoramento da qualidade da água. • Recomposição da mata ciliar.
L. Pinguela/ Palmital/ Malvas	
Lagoa do Passo	
Canal João Pedro	
Lagoa dos Quadros	<ul style="list-style-type: none"> • Ampliação/ implantação da rede coletora e tratamento dos esgotos de Capão da Canoa e Xangrilá ⁽¹⁾. • Monitoramento da qualidade da água. • Recomposição da mata ciliar.
Alto Rio Maquiné	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoramento da qualidade da água. • Recomposição da mata ciliar
Baixo Rio Maquiné	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoramento da qualidade da água; • Ampliação/ implantação da rede coletora e tratamento dos esgotos de Maquiné (1). • Recomposição da mata ciliar
Rio Cornélios	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoramento da qualidade da água. • Recomposição da mata ciliar. • Ampliação/ implantação da rede coletora e tratamento dos esgotos de Terra de Areia ⁽¹⁾.
Alto Rio Três Forquilhas	<ul style="list-style-type: none"> • Recomposição da mata ciliar. • Monitoramento da qualidade da água.
Baixo Rio Três Forquilhas	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoramento da qualidade da água; • Ampliação/ implantação da rede coletora e tratamento dos esgotos de Terra de Areia, Itati e Três Forquilhas ⁽²⁾. • Implantação de sistemas de destinação final de resíduos sólidos nos municípios de Terra de Areia, Itati e Três Forquilhas. • Recomposição da mata ciliar.
Lagoa Itapeva	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoramento da qualidade da água; • Ampliação/ implantação da rede coletora e tratamento dos esgotos de Itati ⁽²⁾, Três Forquilhas ⁽²⁾, Terra de Areia ⁽²⁾, Três Cachoeiras ⁽²⁾ e Arroio do Sal ⁽¹⁾. • Implantação de sistemas de destinação final de resíduos sólidos nos municípios de Terra de Areia, Itati, Três Forquilhas e Três Cachoeiras.

Fonte: Modificado de Profill Engenharia e Ambiente Ltda. (2005.h, p.25-27); (1) Tratamento primário por reatores anaeróbios de fluxo ascendente seguido de tratamento secundário/terciário por banhados construídos; (2) Tratamento por lagoas de estabilização australianas (Lagoa anaeróbia seguida de Lagoa Facultativa).

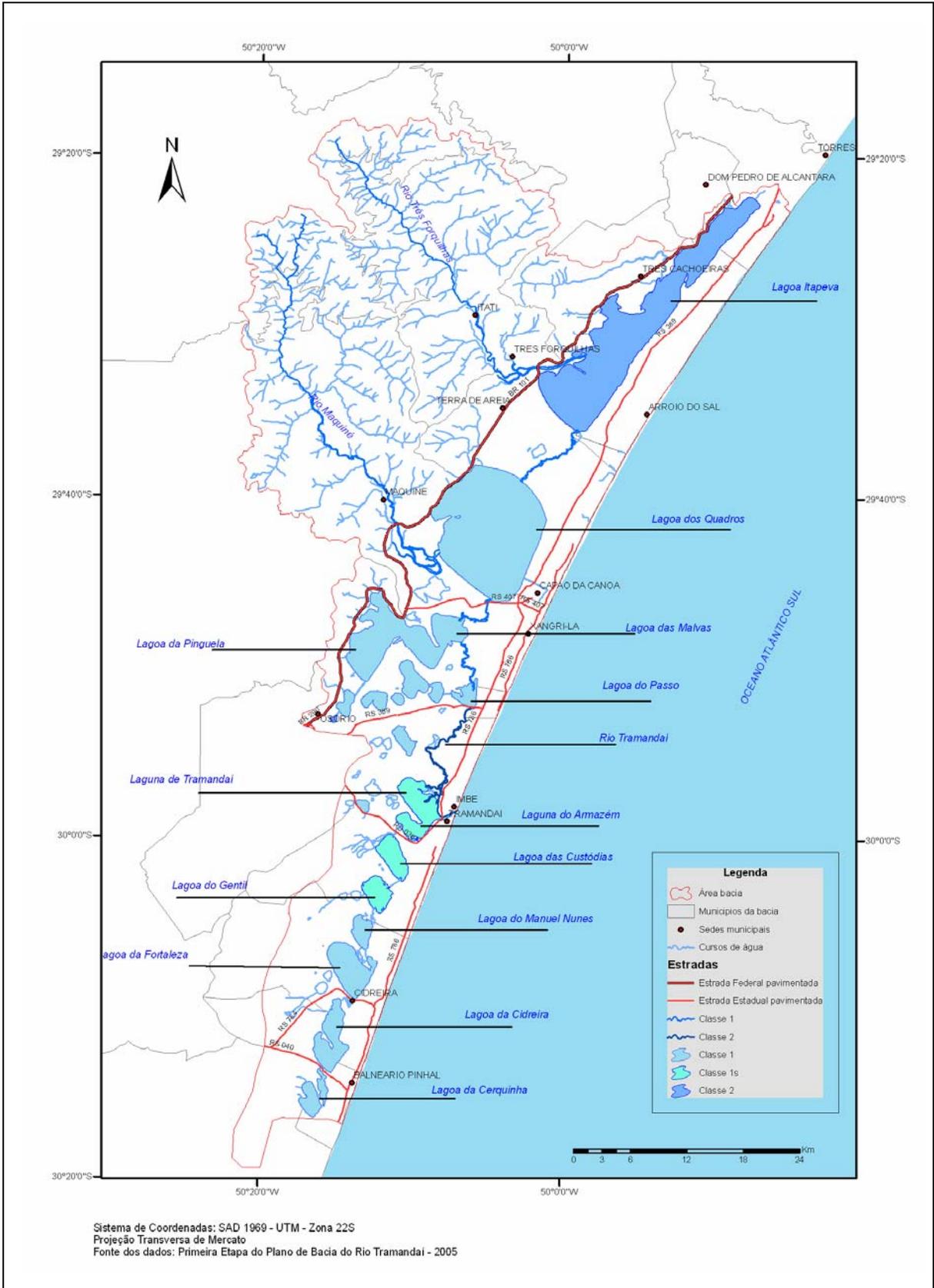


FIGURA 33 – PROPOSTA DE ENQUADRAMENTO DAS ÁGUAS APROVADA PELO COMITÊ DA BACIA DO RIO TRAMANDAÍ

Apesar de todo o empenho para a consolidação dos instrumentos de gestão enfocados neste capítulo, algumas questões relevantes devem ser consideradas. Tanto na formulação do ZEE quanto na elaboração do Plano de Bacia se percebe uma fragilidade no que concerne a dados consistentes sobre a dinâmica estuarina e sua interface com o domínio flúvio-lacustre. Isto é significativo à medida que intervenções estruturais, como construção de eclusa para conter a intrusão salina e dragagem do canal da barra e do Rio Tramandaí, são sugeridas como possíveis soluções a conflitos de uso na área estudada.

4 METODOLOGIA ADOTADA

4.1 INTRODUÇÃO

A metodologia adotada para o desenvolvimento desta tese fundamentou-se no modelo de balanço de massa para um estuário ideal de diferenças finitas, descrito por Thomann e Mueller (1987). Para tanto foram assumidas as seguintes simplificações: o estuário é considerado unidimensional; a qualidade da água é descrita como uma condição média anual e em número de ciclos de marés; área, fluxo e taxas de reações não variam com a distância; o estuário está em uma condição de estado estacionário; e a variável considerada é conservativa (salinidade).

As simplificações acima caracterizam uma situação idealizada, conforme explicado no capítulo 2. Sendo assim, é imperativo tornar mínimo os efeitos desta redução do mundo real. Para tanto, as lagoas e canais utilizados para a simulação foram divididos em um número finito de segmentos. Cada segmento foi modelado como um tanque completamente misturado. O balanço de massa, então, foi calculado através do programa Balance 1.0, admitindo-se que o gradiente no interior de cada segmento não é expressivo.

As principais etapas da metodologia descrita neste capítulo estão representadas no fluxograma da figura 34.

4.2 PROCEDIMENTOS PARA O BALANÇO DE MASSA

Os procedimentos descritos neste item foram baseados, sobretudo, nos trabalhos de Hellweger (1997), Hellweger e Maidment (1997) e Quenzer (1998).

4.2.1 Segmentação das principais lagoas e canais da área de estudo

Os arquivos vetoriais das linhas e polígonos da hidrografia da área de estudo foram obtidos a partir da base cartográfica fornecida por Profill Engenharia e Ambiente (2004.b), que foi utilizada na elaboração da 1ª Etapa do Plano de Bacia do Rio Tramandaí.

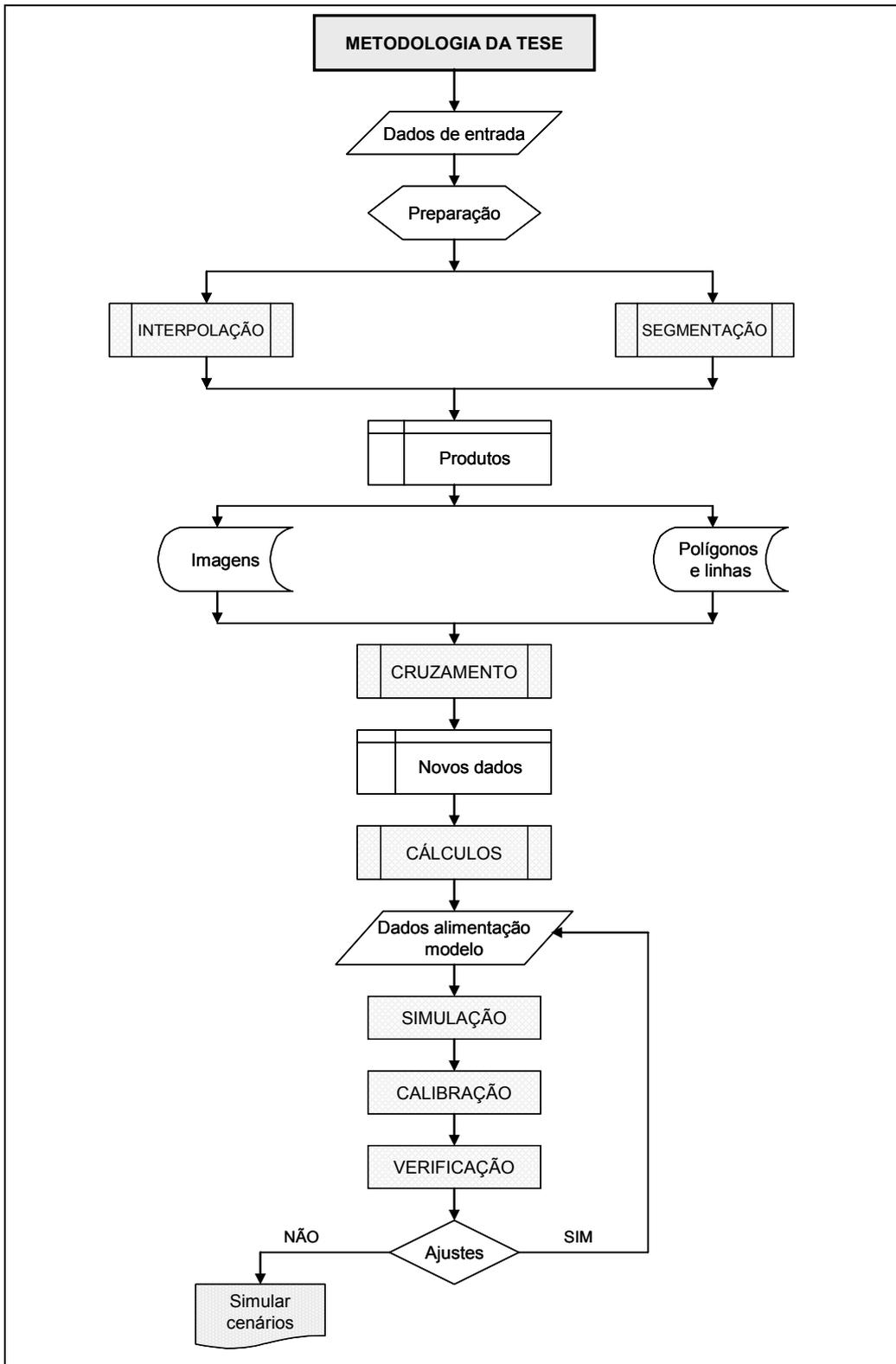


FIGURA 34 – FLUXOGRAMA GERAL DA METODOLOGIA DA TESE

Alguns dados digitais, no entanto, precisaram ser corrigidos, uma vez que resultaram, fundamentalmente, da digitalização de antigas cartas em escala 1:50.000 da Diretoria de Serviço Geográfico (DSG) do Exército. As alterações foram realizadas, sobretudo, nos canais do delta e no traçado do Rio Tramandaí, através do programa CartaLinx 1.2, tendo como referência o mosaico das bandas 7, 4 e 3 de duas imagens do satélite Landsat 7, uma de 29.11.1999, órbita 220/080, abrangendo a porção norte da bacia, e outra de 30.10.2000, órbita 220/081, da porção centro-sul (figura 35).

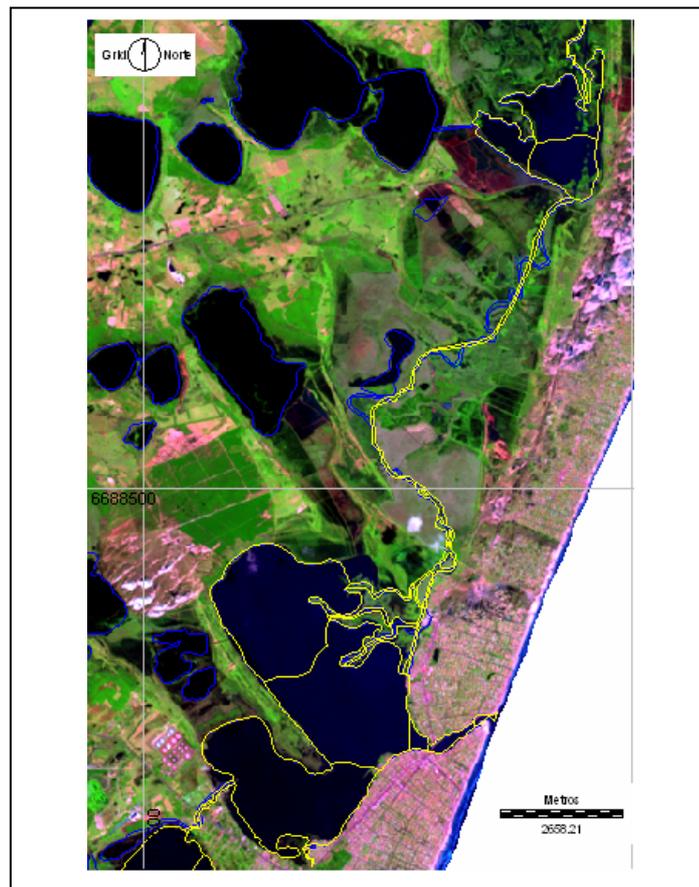


FIGURA 35 – HIDROGRAFIA ORIGINAL EM AZUL E CORRIGIDA EM AMARELO DO DELTA E DO CANAL DO RIO TRAMANDAÍ

Feitas as correções necessárias, se iniciou a segmentação dos corpos de água determinados para a simulação. Os critérios definidos para tanto foram a batimetria e os aportes de água no sistema (entradas e saídas de rios e canais). Os dados batimétricos brutos das lagoas foram obtidos de Ecoplan Engenharia Ltda. (1997). A batimetria do Rio Tramandaí foi adquirida em parte de INPH (1999). Para os rios dos Cornélios, dos Postes e dos Camarões, bem como para os canais João Pedro e para os canais do delta do Tramandaí foram aceitas as informações de

profundidade média obtida junto às colônias de pescadores e demais usuários da água da bacia, de acordo com o indicado pelos pesquisadores do Centro de Estudos Costeiros, Limnológicos e Marinhos (CECLIMAR), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Os dados de profundidade, então, foram processados no programa Surfer 8.0, a partir do qual cada corpo de água pode ser trabalhado individualmente. A princípio foram interpolados os dados para o conjunto das principais lagoas e canais que integram a Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí, compreendendo a Lagoa Itapeva, ao norte, até a Lagoa Rondinha, ao sul. As lagoas isoladas foram excluídas, visto que o balanço de massa proposto exige que os corpos hídricos estejam conectados. A resolução espacial foi definida para um pixel de 30 x 30 m e o método de interpolação utilizado foi o da krigagem, devido aos bons resultados alcançados por Santos (2000).

Após a obtenção das imagens, verificou-se que algumas lagoas e canais não poderiam ser aproveitados para a modelagem, em virtude da precariedade dos dados batimétricos e da dimensão dos canais que as conectam, pois, na escala métrica trabalhada, ou seja, 1:50.000, a maioria não pôde ser representada por um polígono. Isto ocorreu com a grande maioria das lagoas do subsistema sul e com as lagoas do Peixoto, Lessa e Caieira, subsistema norte. Estas três últimas lagoas apresentam canais artificiais que as conectam com lagoas utilizadas na modelagem. Contudo, não há registro de influência estuarina nestes corpos de água. Para o subsistema sul, a modelagem ficou restrita à Lagoa das Custódias que se destaca neste contexto por representar sozinha 52 % da contribuição total das sub-bacias deste subsistema (Profill Engenharia e Ambiente Ltda., 2005.a). Além disto, nela são observados valores de salinidade que a colocam na zona de mistura do sistema estuarino. Em função do exposto, o limite sul da área de escopo do trabalho restringiu-se a este corpo de água.

Os arquivos matriciais de profundidade gerados foram exportados para o programa Idrisi 32, sendo posteriormente preparados para comporem as imagens de fundo dos polígonos das lagoas e canais, a serem segmentados no programa CartaLinx. Os segmentos assim gerados foram novamente exportados para o Idrisi, no qual foram manipulados para produzirem as imagens dos polígonos. Estes

polígonos foram então concatenados, a fim de comporem a imagem vetorial do conjunto dos corpos aquosos estabelecidos para a simulação do balanço de massa.

4.2.2 Cálculo da área e da profundidade média dos segmentos

A superfície (m^2) de cada segmento foi calculada pelo programa CartaLinx, quando da geração dos polígonos. As imagens individuais de cada corpo de água segmentado, ao serem exportadas e manipuladas no programa Idrisi, deram origem às imagens dos polígonos, em conformidade com o especificado antes. A partir destas foi possível extrair o dado de profundidade média para cada polígono, mediante o seu relacionamento com a respectiva imagem da batimetria.

4.2.3 Cálculo do volume nos segmentos

O volume (m^3) dos segmentos foi calculado mediante o produto da área (m^2) pela profundidade média (m) de cada segmento.

4.2.4 Cálculo da evaporação nos segmentos

Os dados pontuais das médias anuais de evaporação (m) foram obtidos das estações climatológicas listadas na tabela 18. Por meio destes dados foram produzidas representações matriciais a exemplo do especificado no item 4.2.1. Utilizando-se o arquivo de polígonos, foram extraídos os valores médios deste parâmetro para cada segmento, de acordo com o descrito no item 4.2.2.

Tabela 18 – Estações Climatológicas utilizadas

Estações	Coordenadas	Altitude (m)	Órgão	Série	Média anual de chuva (mm)
Imbé	28°58'S e 50°07'W	02	DEPRC	1951 a 1994	1.429,8
Osório	29°58'S e 50°19'W	38	DEPRC	1965 a 1980	1.504,4
Maquiné	29°40'S e 50°13'W	32	FEPAGRO	1961 a 2003	1.652,1
São Francisco de Paula	29°20'S e 50°31'W	922	INMET	1931 A 1961	1.471,1
Torres	29°12'S e 29°26'W	31	INMET	1961 a 2003	1.480,0

A evaporação média anual foi multiplicada pela área do respectivo segmento. O produto resultante, por sua vez, foi dividido pelo número de segundos no ano, a

fim de se obter o dado de evaporação em unidades de fluxo (m^3/s), consoante o especificado por Hellweger e Maidment (1997).

4.2.5 Cálculo da precipitação nos segmentos

Os dados de precipitação média anual foram obtidos das estações listadas nas tabelas 18 e 19. Da mesma maneira como o procedido para a evaporação, foram geradas as imagens de chuva, a partir das quais foram extraídos os valores médios deste parâmetro para cada segmento. Estes dados também foram transformados em unidades de fluxo, a exemplo dos dados de evaporação. O mapa de localização das estações climatológicas e pluviométricas utilizadas neste estudo está representado na figura 36.

Tabela 19 – Estações Pluviométricas utilizadas

Estações	Coordenadas	Altitude (m)	Órgão	Série	Média anual de chuva (mm)
Barragem Blang	29°19'S a 50°37'W	780	DEPRC	1958 A1987	1.514,6
Barragem Divisa	29°17'S a 50°34'W	820	DEPRC/CEEE	1961 A1987	1.610,2
Barragem Salto	29°19'S a 50°40'W	750	DEPRC/CEEE	1947 a 1992	1.601,7
Capão dos Coxos	29°24'S a 50°34'W	920	DEPRC/CEEE	1947 a 1992	1.677,9
Cerrito	29°16'S a 50°30'W	910	DEPRC/CEEE	1941 a 1992	1.500,8
Lageado Grande	29°05'S a 50°37'W	900	DEPRC/CEEE	1941 a 1992	1.471,1
Lagoa dos Barros	29°54'S e 50°26'W	10	DEPRC	1951 a 1983	1.338,1
Lagoa dos Quadros	29°39'S a 50°07'W	3	DEPRC	1951 a 1988	1.649,7
Morrinhos	29°23'S a 50°22'W	900	DEPRC/CEEE	1941 a 1992	1.467,7
Passo Raso	29°06'S a 50°25'W	920	DEPRC/CEEE	1947 a 1975	1.506,8
Porto Guerreiro	29°25'S a 49°54'W	10	DEPRC	1972 a 1977	1.576,9
Rio dos Carvalhos	29°23'S a 50°11'W	40	DEPRC/CEEE	1960 a 1992	1.470,2
Serra do Pinto	29°22'S e 50°11'W	470	CEEE	1961 a 2003	1.530,1

4.2.6 Dados da interface dos segmentos

De acordo com Hellweger e Maidment (1997), a linha de interface é definida pelos pontos de maior profundidade. Para tanto, foi necessário seccionar as linhas entre os polígonos que constituíam esta conexão. Isto foi realizado no programa CartaLinx, por meio do qual foram obtidos os dados de comprimento da linha e da seção representativa da interface.

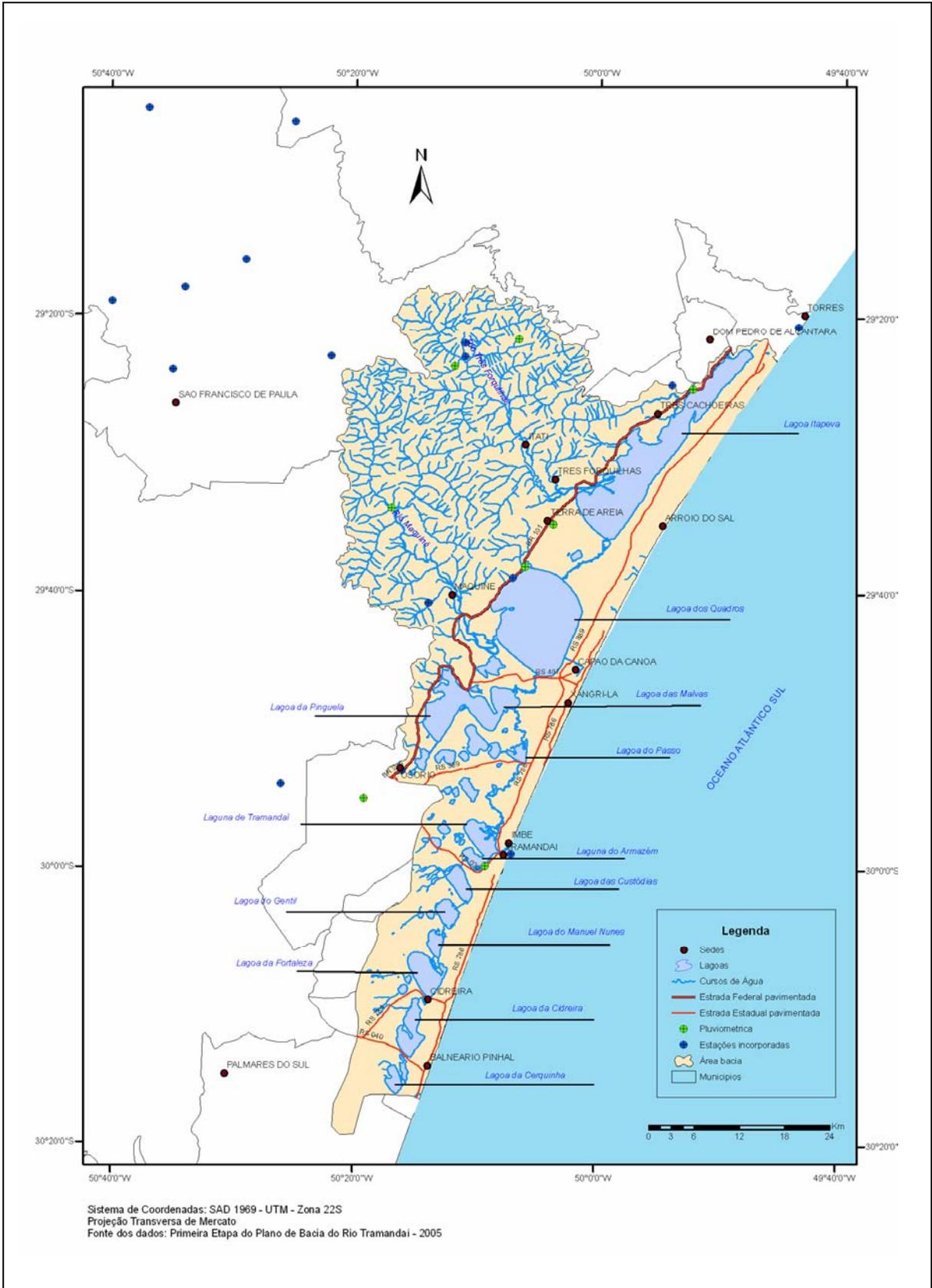


FIGURA 36 – MAPA DAS ESTAÇÕES CLIMATOLÓGICAS E PLUVIOMÉTRICAS UTILIZADAS

A profundidade média ao longo da seção foi definida no programa Idrisi. Para tanto, utilizou-se como fundo a respectiva imagem da batimetria e, ao longo da linha de interface, foram realizadas pelo menos cinco leituras do dado de profundidade na tela do computador. A média destas leituras foi assumida como a profundidade média da interface considerada. A área da seção, a seu turno, resultou do produto do comprimento da linha pela sua profundidade média.

4.2.7 As estimativas dos fluxos de entrada e saída para cada segmento

A avaliação das vazões afluentes em cada segmento foi extremamente prejudicada, em virtude da insuficiência de dados. Há somente uma estação fluviométrica operando na área da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí, a Estação Maquiné, localizada na encosta planáltica. O conjunto de dados das estações Rio dos Carvalhos e Itati, ambas situadas no Rio Três Forquilhas, apresentava muitas falhas e não pôde ser aproveitado. Para se contornar este problema e obter dados passíveis de serem utilizados na modelagem, os seguintes procedimentos foram adotados:

4.2.7.1 Para a geração das vazões afluentes

Primeiramente, foram selecionados apenas os principais cursos de água que deságuam nas lagoas Itapeva e dos Quadros, uma vez que estes são os maiores contribuintes de água doce superficial para o sistema lacustre-lagunar da bacia estudada, quais sejam: rios Maquiné, Três Forquilhas, Cardoso e Sanga Funda. O dado da média anual das vazões na Estação de Itati, disponível em Profill Engenharia e Ambiente Ltda. (2005.a), foi utilizado como base para estimar as vazões médias anuais afluentes à Lagoa Itapeva, a partir dos rios Cardoso e Três Forquilhas. Isto foi realizado mediante uma regra de três simples, que relacionou a área das sub-bacias da estação fluviométrica considerada com a das sub-bacias dos rios citados. Este método, ainda que precário, permitiu que se obtivesse um valor próximo ao esperado, considerando-se as características físicas das citadas sub-bacias.

O mesmo método acima descrito foi aplicado à Estação Maquiné. O dado de vazão média anual, também obtido da referência supra citada, foi utilizado para avaliar a vazão média anual afluenta para a Lagoa dos Quadros, a partir do Rio Maquiné e da Sanga Funda.

A lista de estações desativadas na bacia pode ser conferida na tabela 20. O mapa das estações fluviométricas anteriormente mencionadas está ilustrado na figura 37, juntamente com as respectivas sub-bacias.

Tabela 20 – Estações fluviométricas, Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí, RS

Nome	Local	Período	Operador	Situação	UTM_E	UTM_N
Barra do João Pedro	Canal João Pedro	Mai/1996 a Abr1997	ECOPLAN	Desativada	588916	6706744
Passo da Lagoa	Rio Tramandaí	Mai/1996 a Abr1997	ECOPLAN		586622	6694712
Camping da Pinguela	Lagoa Pinguela	Mai/1996 a Abr1997	ECOPLAN		577893	6705967
Ponte dos Camarões	Rio dos Camarões	Mai/1996 a Abr1997	ECOPLAN		578713	6681559
Porto Fagundes	Lagoa Itapeva	Mai/1996 a Abr1997	ECOPLAN		609478	6744757
Barra do Querinos	Rio dos Querinos	Mai/1996 a Abr1997	ECOPLAN		597473	6724583
Barra dos Querinos	Lagoa Itapeva	1971 a 1979	DEPRC		598302	6724814
Barra dos Cornélios	Lagoa dos Quadros	1971 a 1979	DEPRC		592187	6719250
Lagoa dos Quadros	Lagoa dos Quadros	1988 a 1993	DEPRC		589289	6706472
Passo da Lagoa	Rio Tramandaí	1971 a 1982	DEPRC		586372	6694687
Capão dos Quirinos	Rio Tramandaí	1971 a 1988	DEPRC		583186	6686138
Imbé	Rio Tramandaí	1971 a 1988	DEPRC		583596	6685575
Ponte Tramandaí	Rio Tramandaí	1971 a 1981	DEPRC		583661	6682893
Pai Manoel Montante	Rio Tramandaí	1971 a 1985	DEPRC		577389	6681077
Pai Manoel Jusante	Rio Tramandaí	1971 a 1985	DEPRC		579460	6681740
Barra dos Cornélios	Rio dos Cornélios	1981 a 1987	DNAEE		591847	6719510
Itati	Rio Três Forquilhas	1963 a 1987	CEEE		587384	6736367
Maquiné	Rio Maquiné	1980 a 2003	DNAEE	Operando	577695	6718367
João Pedro Montante	Rio João Pedro	1981 a 1987	DNAEE	Desativada	588645	6706565
Capão dos Quirinos	Rio Tramandaí	1981 a 1987	DNAEE		583725	6686610
Rio dos Carvalhos	Rio Três Forquilhas	1960 a 1970	CEEE		580878	6749431

Fonte dos dados: Profill Engenharia e Ambiente Ltda. (2005)

4.2.7.2 Para a geração dos fluxos entre as linhas de interface dos segmentos

A obtenção da medida da velocidade média num curso de água não é tarefa fácil, ressalta Soares (2004). A figura 38 demonstra como os dados são obtidos em campo. A seção do canal é geralmente dividida em 10 subseções e a velocidade é medida conforme a regra 0,2 + 0,8 da profundidade, no caso de seções mais profundas que 0,3 m, ou 0,6 da profundidade para seções menos profundas que 0,3 m.

Nesta tese, os fluxos entre os segmentos foram estimados a partir da fórmula de Bernoulli, na qual o fluxo volumétrico Q em canais é dado pelo produto da área da seção transversal A pela velocidade da corrente V , ou seja, $Q = A * V$.

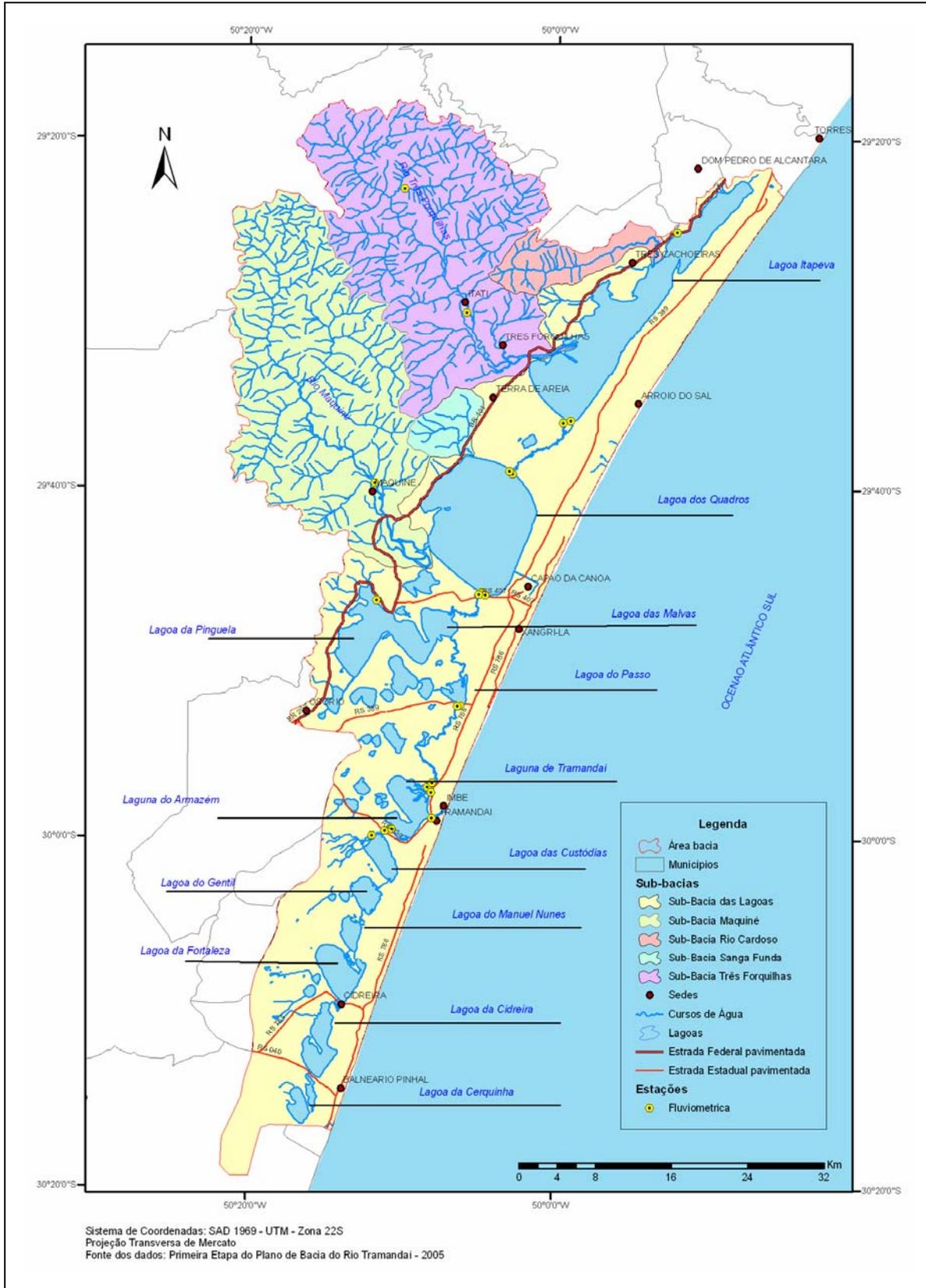


FIGURA 37 – MAPA DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS E SUB-BACIAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TRAMANDAÍ, RS

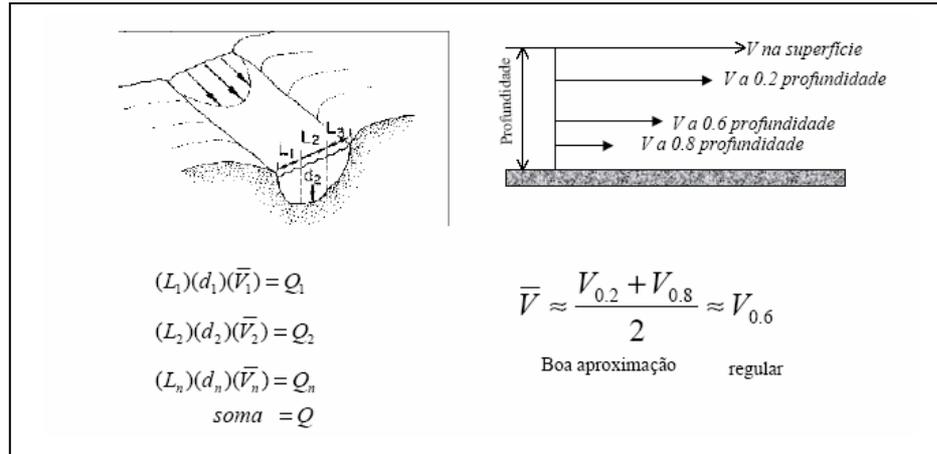


FIGURA 38 – DIAGRAMA DEMONSTRATIVO DE FLUXOS EM UM CANAL E DAS APROXIMAÇÕES UTILIZADAS PARA A SUA MEDIDA

Fonte: Soares (2004, p.48)

A aplicação deste cálculo, no entanto, necessita de dados de velocidade média de fluxo nas seções definidas como linha de interface dos segmentos. Estes dados foram estimados mediante a fundamentação teórica do comportamento hidrodinâmico de lagoas costeiras e a base física fornecida pela batimetria dos segmentos. Assim, no estudo realizado por DNER/IME (2000), referido no capítulo 2, foram encontrados importantes indicativos, uma vez que o contexto estudado é similar ao considerado na presente tese. Os resultados gerados no sistema lagunar sul catarinense, através do modelo MIKE 21 HD, demonstraram que, tanto em condições de enchente como de vazante, as velocidades na porção mais ampla das lagoas variaram de 0,0 a 0,1 m/s. Nos setores mais estreitos, ou seja, na ligação com outra laguna ou na confluência com o canal do rio, as velocidades oscilaram de 0,1 a 0,2 e 0,2 a 0,6 m/s. Tendo-se isto em conta e com o apoio dos dados das estações fluviométricas Capão dos Querinos, Barra dos Cornélios e João Pedro Montante, operadas pelo DNAEE e atualmente desativadas (tabela 21), e também com os dados de vazões²⁰ geradas por Profill Engenharia e Ambiente (2005) para os cursos de água Cornélios, João Pedro, Postes e Tramandaí, assumiu-se para as lagoas estudadas a velocidade de corrente de 0,001 a 0,002 m/s e para os canais 0,18 a 0,20 m/s. Estes valores foram utilizados para a primeira rodada do modelo.

²⁰ O período simulado corresponde a janeiro de 1960 a dezembro de 2003. As vazões foram simuladas mês a mês. A média das descargas (m³/s) geradas para o Rio dos Cornélios foi 26,83; para o Canal João Pedro, 49,88; para o Rio dos Postes, 58,33; para o Rio Tramandaí, 66,63; e para o mar, 71,56 (PROFILL ENGENHARIA E AMBIENTE LTDA., 2005.a).

Tabela 21 – Médias dos dados das estações fluviométricas de Capão dos Querinos, Barra dos Cornélios e João Pedro Montante

Estação fluviométrica	Corpo hídrico	Média da descarga (m ³ /s)	Média da velocidade (m/s)	Média da área da seção (m ²)	Média da profundidade (m)	Período dados
Capão dos Querinos	Rio Tramandaí	60,08	0,26	231,75	3,59	1981-1987
Barra dos Cornélios	Rio Cornélios	30,50	0,18	164,44	3,96	1981-1987
João Pedro Montante	Rio João Pedro	56,37	0,27	199,23	3,89	1981-1987

Fonte dos dados: Profill Engenharia e Ambiente Ltda. (2005.a)

4.2.7.3 Geração das vazões de saída dos segmentos

Na avaliação do balanço de massa proposto nesta tese, além do oceano foram definidas outras fronteiras abertas entre os segmentos. Estes contornos representam as linhas de interface com os pontos de captação de água doce para os usos abastecimento público, irrigação e dessedentação animal. As demandas de água para estes fins foram calculadas para os principais corpos de água da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí por Profill Engenharia e Ambiente Ltda. (2005.e), em m³/ano. Estes dados foram convertidos em m³/s para serem utilizados na modelagem (tabela 22).

Tabela 22 – Demandas de água consuntiva nos corpos de água simulados

Corpo Hídrico	Uso da água	Total/ano (m ³)	Demanda (m ³ /s)
Canal João Pedro	Abastecimento público	0	0
	Irrigação		
	Criação animal	9.233,22	0,00029
	Total	9.233,22	-
Lagoa Itapeva	Abastecimento público	2.619.993,56	0,0830
	Irrigação	0	0
	Criação animal	337.818,72	0,011
	Total	2.957.812,28	-
Lagoa do Passo	Abastecimento público	0	0
	Irrigação	1.050.000,00	0,081
	Criação animal	21.250,92	0,0007
	Total	1.071.250,92	-
Lagoa dos Quadros	Abastecimento público	4.844.328,77	0,154

Corpo Hídrico	Uso da água	Total/ano (m ³)	Demanda (m ³ /s)
	Irrigação	6.975.000,00	0,534
	Criação animal	110.509,78	0,004
	Total	11.929.838,57	-
Lagoas Pinguela/ Palmital/ Malvas	Abastecimento público	0	0
	Irrigação		
	Criação animal	94.445,30	0,003
	Total	94.445,30	-
Rio Cornélios	Abastecimento público	583.391,84	0,018
	Irrigação	0	0
	Criação animal	56.208,72	0,002
	Total	639.600,56	-
Rio Tramandaí	Abastecimento público	1.623.312,58	0,051
	Irrigação	19.080.000,00	2,164
	Criação animal	51.147,09	0,002
	Total	20.754.459,72	-

Fonte dos dados: Profiil Engenharia e Ambiente Ltda. (2005.e); obs: a irrigação corresponde à orizicultura, que consome água no período de novembro a março, sendo este período considerado para a conversão do volume em m³/s.

Desta forma, somando-se as vazões de entrada dos rios, as vazões das linhas de interface que entram em cada segmento e subtraindo-se as vazões representadas pelas demandas de água, chegou-se a um balanço preliminar entre as vazões escoadas e as vazões retiradas de cada segmento (vazão de água doce). É importante frisar que estes dados levaram em consideração a batimetria do corpo de água, tendo sido este o parâmetro usado como referencial para o estabelecimento do sentido dos fluxos em cada segmento.

4.2.8 O cálculo do coeficiente de dispersão (*E*)

O programa Balance requer a estimativa do coeficiente de dispersão nas linhas de interface influenciadas pela zona de mistura do estuário. Na presente tese, em função dos dados disponíveis, optou-se pela utilização da salinidade como um traçador (equação 5, capítulo 2), conforme proposto por Thomann e Mueller (1987).

Nesta etapa, novas dificuldades surgiram em face da falta de um monitoramento sistemático da salinidade em todo o estuário da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí. A rede de qualidade da água da FEPAM, ainda que abranja os principais corpos aquosos da bacia, é monitorada com apenas duas campanhas ao longo do ano, uma realizada no inverno e outra no verão (figura 39).

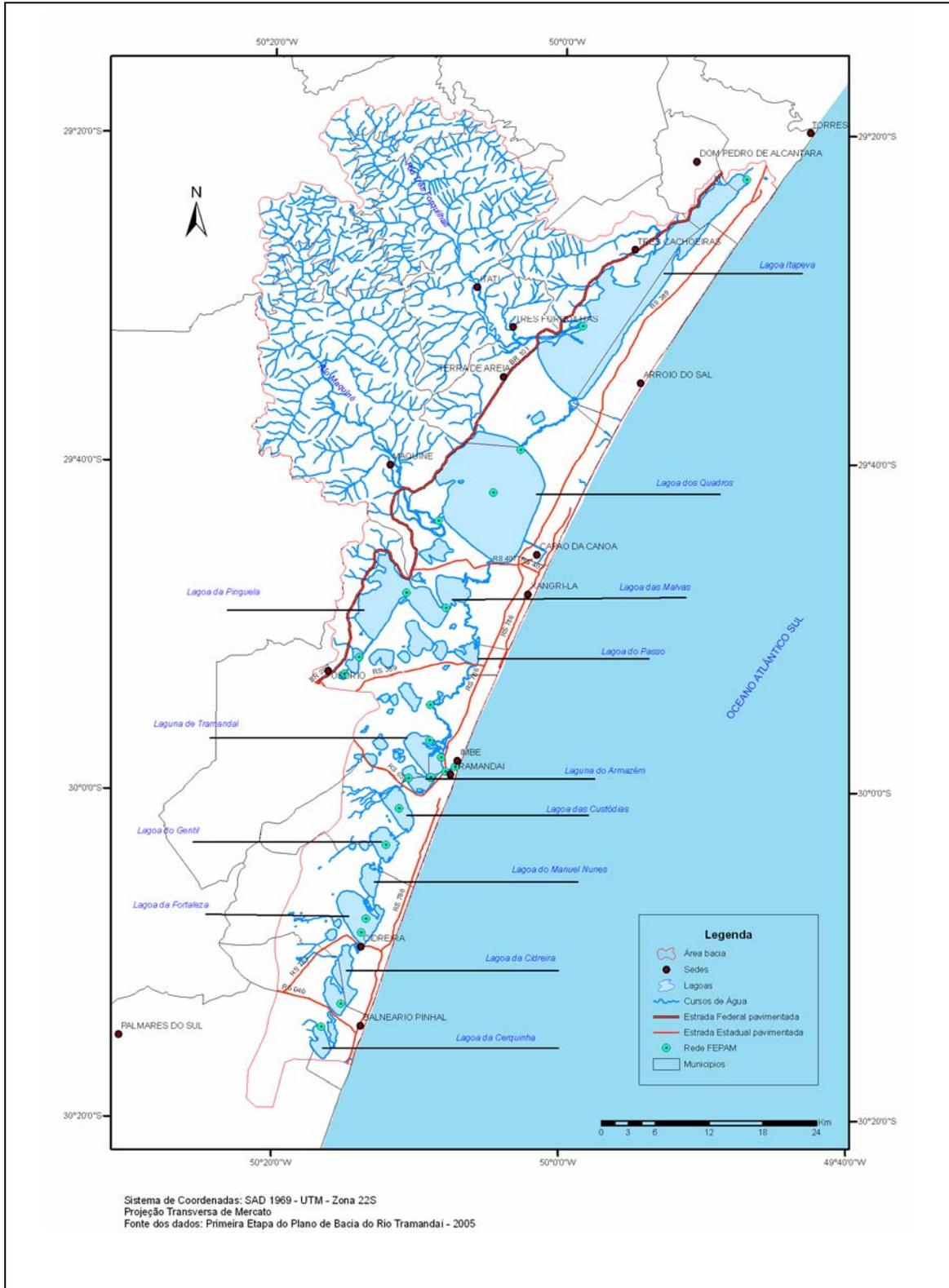


FIGURA 39 – REDE DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA DA FEPAM

As campanhas também podem ser efetuadas em datas distintas, obstando, assim, a compreensão do comportamento da intrusão salina no sistema estuarino em apreço. Isto foi observado, por exemplo, nas campanhas do ano 2005, que foi notabilizado por severa estiagem no Rio Grande do Sul. Como regra, as coletas feitas pelo órgão ambiental iniciam no ponto 18, localizado na barra do Rio Tramandaí, e são conduzidas para o subsistema norte, pela ordem, para os pontos 17 a 15, retornando até o ponto 20 e, daí, até o ponto 21. Os pontos situados ao norte, a partir do 14, podem ser coletados um dia antes ou um dia depois ou até em um espaço de tempo maior. O mesmo ocorrendo com os pontos localizados ao sul (tabela 23). Apesar destas limitações, esta rede oferece um importante conjunto de dados, resultante de um período de observação iniciado em 1993 com apenas uma campanha anual e que, a partir do ano 2000, passou a contar com as duas campanhas de coleta de água.

Tabela 23 – Dados da rede de monitoramento da qualidade da água da FEPAM, campanha de 2005

Ponto GERCO	Localização	Verão de 2005		Inverno de 2005	
		Data	Hora/início e término	Data	Hora/início e término
04	Lagoa Itapeva (margem norte)	24.02	09h15min 09h30min	17.07	09h05min 09h15min
05	Lagoa Itapeva (foz Rio Três Forquilhas)	1603	09h15min 09h22min	21.07	09h30min 09h40min
06	Lagoa dos Quadros (margem norte)	16.03	08h12min 08h20min	21.07	08h30min 08h40min
07	Lagoa dos Quadros (centro)	16.03	07h55min 08h10min	21.07	08h05min 08h15min
12	Lagoa da Pinguela (ligação L.Palmital)	15.03	08h45min 09h00min	20.07	08h40min 08h50min
13	Lagoa Palmital (ligação L.Malvas)	15.03	08h26min 08h38min	20.07	08h30min 08h40min
14	Rio Tramandaí, próximo L. das Pombas	15.03	07h55min 08h05min	20.07	07h40min 07h50min
15	Lagoa Tramandaí (foz Rio Tramandaí)	17.03	08h10min 08h16min	19.07	08h30min 08h40min
16	Lagoa Tramandaí (sul Rio Tramandaí)	17.03	07h49min 07h59min	19.07	08h00min 08h10min
17	Estuário Rio Tramandaí (ponte)	17.03	07h34min 07h42min	19.07	07h45min 07h55min
18	Estuário Rio Tramandaí (barra)	17.03	07h29min 07h33min	19.07	07h30min 07h40min
19	Lagoa do Armazém (ligação L.Tramandaí)	17.03	08h28min 08h35min	19.07	09h00min 09h10min
20	Lagoa do Armazém (foz Rio Camarão)	17.03	08h50min 09h05min	19.07	09h30min 09h40min
21	Lagoa das Custódias (centro)	1703	09h11min 09h20min	19.07	10h00min 10h10min
54	Lagoa Gentil (centro)	24.02	11h00min 11h25min	17.07	11h30min 11h42min

A partir da análise dos dados disponíveis definiu-se que a base para o cálculo do coeficiente de dispersão fosse relativa à campanha de verão de 2005. Esta escolha se deu em decorrência dos elevados valores de salinidade registrados no sistema estuarino em foco, sobretudo e pela primeira vez no ponto 14 (8,7‰). De outra parte, o período em apreço respondeu bem à aplicação de uma fórmula de regressão linear ($R^2 = 0,8275$). Este recurso foi utilizado com o objetivo de se estimar o valor da distância x_2 . É importante ressaltar, todavia, que o ponto 16, situado na foz do braço sul do Rio Tramandaí, precisou ser descartado para a geração da fórmula, devido aos baixos valores de salinidade registrados (14‰), decorrentes das vazões elevadas do rio neste ponto, embora sua localização seja próxima da desembocadura, fato explicado no capítulo anterior (tabela 24).

Tabela 24 – Dados de salinidade (‰) nas campanhas de verão e inverno de 2005, da Rede de Monitoramento da FEPAM

Localização	Ponto FEPAM	Verão 2005	Inverno 2005	Distância da foz (Km)
Rio Tramandaí (L.Pombas)	14	8.7	0.6	14.7
L.Tramandaí (foz Rio Tramandaí)	15	25.3	26.4	8.2
Estuário Tramandaí (ponte)	17	27.0	24.1	1.3
Estuário Tramandaí (barra)	18	28.1	24.2	0.0
L.Armazém (L.Tramandaí)	19	23.9	20.6	3.4
L. Armazém (R.Camarão)	20	23.3	14.8	6.6
L. Custódias (centro)	21	15.9	10.0	10.8

Então, aplicando a fórmula da regressão linear $y = -1,2018x + 29,467$, visualizada no gráfico da figura 40, foram estimadas as distâncias de um ponto x_2 em relação a outro x_1 . A salinidade de x_1 ou x_2 , quando da inexistência do dado, foi definida por meio da média aritmética daqueles que foram medidos e que estão mais próximos do ponto considerado. Na figura 41 é apresentado um exemplo dos procedimentos acima mencionados. Pode-se notar que os dados de salinidade dos pontos 18, 17 e 19 foram utilizados para a efetuação da média aritmética que estimou a salinidade nos segmentos do canal da desembocadura e na Laguna de Tramandaí. As distâncias foram sempre computadas a partir da foz e culminaram no primeiro segmento que apresentava salinidade zero. Estes cálculos tiveram como referência os dados obtidos a partir da equação da regressão.

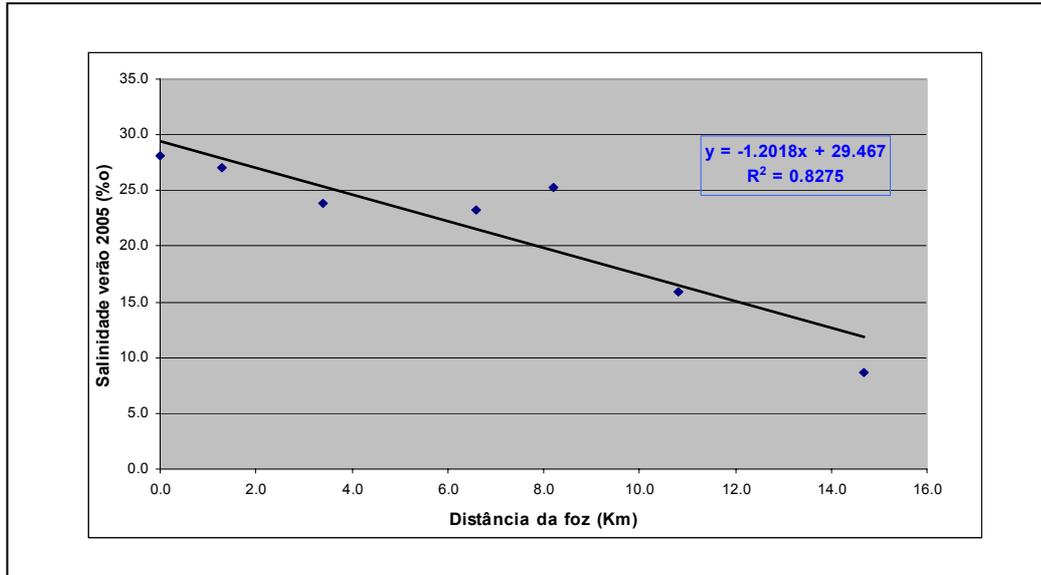


FIGURA 40 – GRÁFICO DA VARIAÇÃO DA SALINIDADE EM FUNÇÃO DA DISTÂNCIA, CAMPANHA VERÃO/ 2005, FEPAM, NO QUAL FORAM PLOTADAS A LINHA DE TENDÊNCIA E A EQUAÇÃO DE REGRESSÃO LINEAR ADOTADA PARA O CÁLCULO DE E

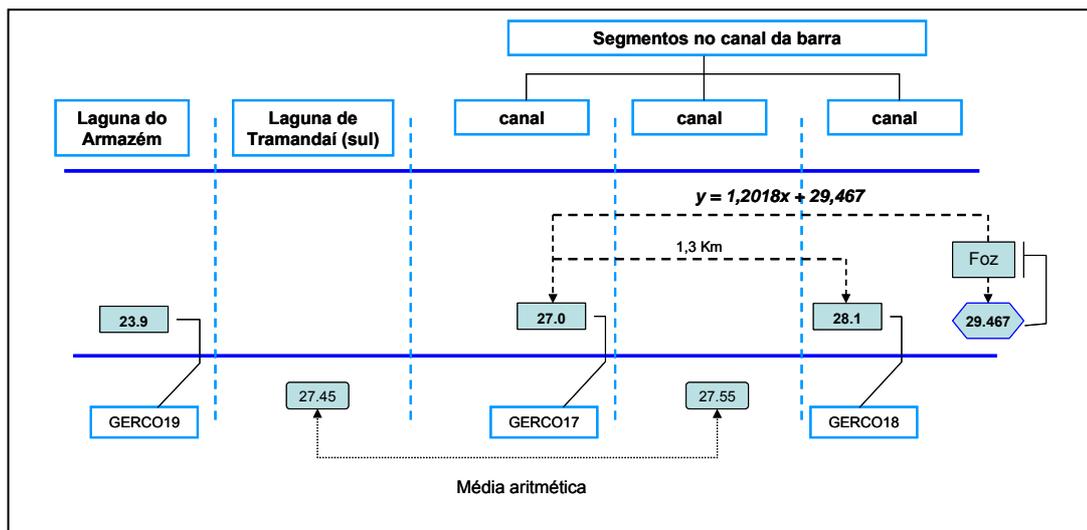


FIGURA 41 – DIAGRAMA DEMONSTRATIVO DA ESTIMATIVA DAS DISTÂNCIAS E DA SALINIDADE EM SEGMENTOS UTILIZADOS NA SIMULAÇÃO

Outro problema a ser solucionado foi o da avaliação das salinidades no delta do Rio Tramandaí. Neste setor do estuário não havia registro de dados. Na foz do braço sul do Rio Tramandaí, conforme anteriormente aludido, os valores para este parâmetro são muito baixos, em face do aporte de água doce oriunda do canal. Este fato desfigura a característica esperada no processo de propagação salina, qual seja a de um aumento de salinidade em direção ao mar. Logo, não foi possível se aplicar a fórmula da regressão linear. Desta maneira, a distância da foz foi obtida por meio de ferramentas que possibilitam a leitura direta na tela do ArcView, sendo neste caso assumido o valor de x_2 . Quanto à salinidade, a utilização da média aritmética

não pareceu ser a mais indicada. Desta forma, se adotou uma média ponderada, por meio da qual foram atribuídos pesos aos pontos medidos. Como critério se determinou pesos menores aos pontos diretamente influenciados pelas vazões fluviais (figura 42).

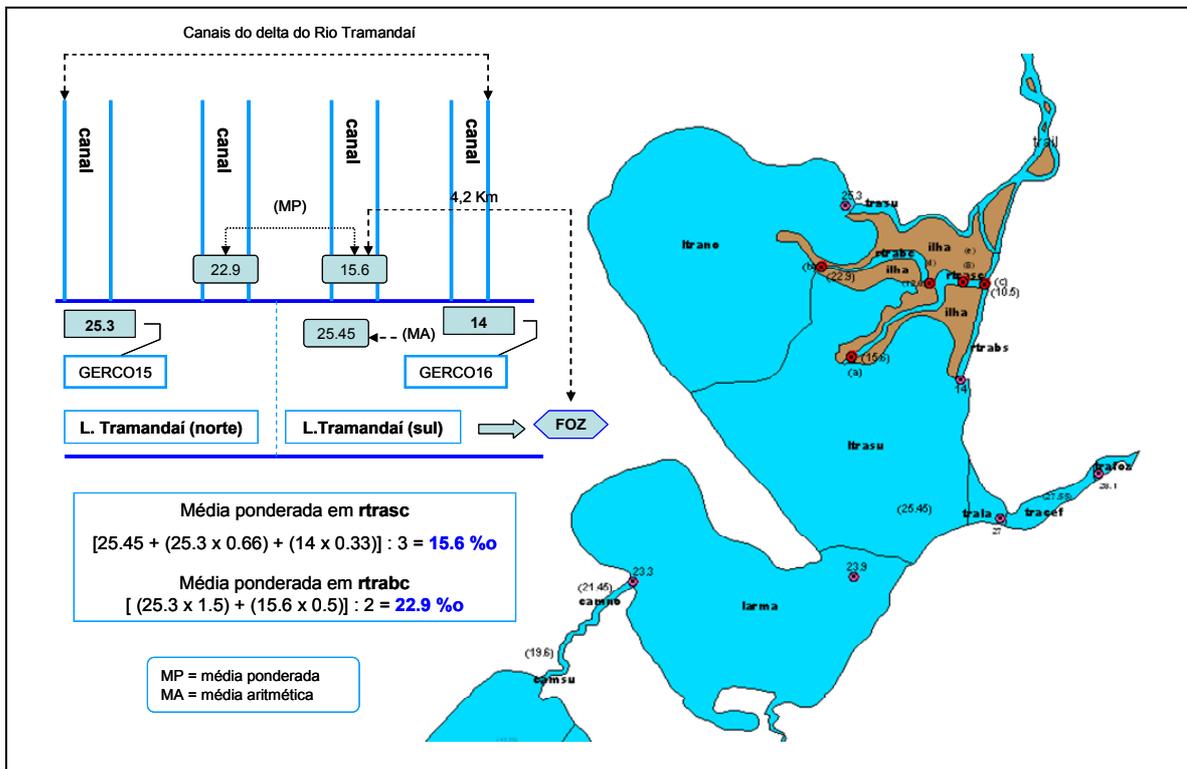


FIGURA 42 – DELTA DO RIO TRAMANDAÍ E DIAGRAMA ILUSTRATIVO DA ESTIMATIVA DA SALINIDADE NOS RESPECTIVOS CANAIS

Os resultados destes procedimentos serviram para preparar o modelo usado para a estimativa do balanço de massa. A figura 43 ilustra o fluxograma das etapas acima descritas.

4.3 A aplicação do modelo

O programa utilizado para a modelagem foi o Balance 1.0, que calcula a concentração de sais para cada polígono. Para as linhas é avaliado o transporte advectivo de massa através da linha, considerando o polígono que está corrente acima e o que está corrente abaixo. Também é computado para as linhas o transporte difusivo de massa, tendo-se em conta se o segmento adjacente é um polígono ou a fronteira (no caso a desembocadura do estuário ou outro contorno definido como aberto).

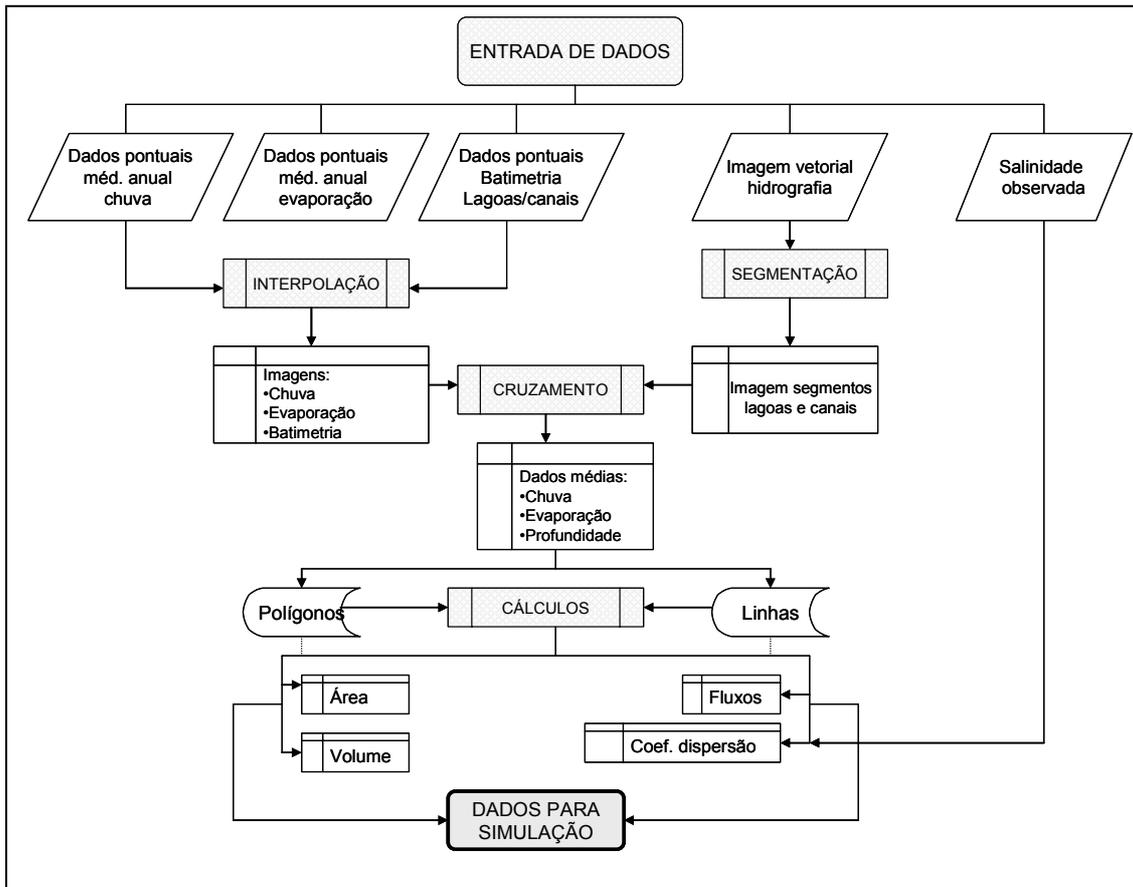


FIGURA 43 – FLUXOGRAMA DA ETAPA DE PREPARAÇÃO DOS DADOS PARA A MODELAGEM

4.3.1 Os parâmetros de entrada do sistema

Os dados de entrada consistem em linhas e polígonos que representam o sistema hídrico simulado, em formato shapefile, topologicamente conectados. A tabela de atributos contém os campos indicando o número do polígono situado a direita e a esquerda da linha. São especificados atributos para linhas e polígonos.

Para linhas é necessário fornecer os seguintes dados:

- Fluxo (Q);
- Concentração na fronteira (S_b ; exclusivo para linhas de fronteira);
- Profundidade média (H);
- Coeficiente de dispersão (E);
- Volume do coeficiente de dispersão (e_p).

Para polígonos é preciso indicar os seguintes parâmetros:

- Volume (V);

- Concentração inicial (S_0);
- Concentração observada (S_m).

4.3.2 Saída do sistema

A saída do sistema consiste no balanço de massa das variáveis introduzidas. O dado é armazenado na tabela de atributos dos polígonos e das linhas. Os dados armazenados para linhas consistem nos transportes advectivo e difusivo de massa. Os dados armazenados para polígonos representam a concentração modelada e as cargas advectiva e difusiva, através do cálculo das equações 14 e 15, descritas no capítulo 2, seguindo a metodologia de Hellweger (1987).

4.3.3 O cálculo de ep

O Balance apresenta uma série de scripts que possibilitam a elaboração de cálculos a partir dos dados fornecidos. O volume do coeficiente de dispersão ep , por exemplo, foi calculado por meio do script *calcep*, que utiliza a metodologia de Thomann e Mueller (1987), através da equação 10, apresentada no capítulo 2.

4.3.4 Calibração do modelo

O modelo foi calibrado através dos dados de salinidade medida sm , utilizando-se o método da *tentativa-e-erro* (THOMANN & MUELLER, *op. cit.*; HELLWEGER & MAIDMENT, 1997). Assim, para a sm foram adotados os dados obtidos da campanha de março de 2005, realizadas por FEPAM, uma vez que representaram uma condição de estiagem rigorosa no Estado.

Quanto à salinidade inicial so , HellWeger (1997) assumiu para a Baía de Corpus Christi um valor único para cada polígono, simulando a condição extrema de salinidade, período recorde, ou seja, 35‰ (35.000 mg/L, no Balance). Os corpos de água estudados nesta tese, no entanto, compreendem sistemas lóticos (canais) e lênticos (lagoas e lagoas), o que implica em uma elevada diversidade hidrodinâmica. Portanto, não era lógico atribuir para eles um valor idêntico de salinidade. Então, foram definidos valores máximos compatíveis com a localização de capa segmento, com base nos dados de Fausto *et al.* (no prelo) e informações da CORSAN. Estabeleceu-se como limite a Lagoa do Passo para a inserção de um valor inicial de salinidade, uma vez que os dados do setor de abastecimento público registram problemas de salinização neste corpo de água. Para os demais corpos

aquosos, seguindo-se o exemplo de Hellweger (1997), foram atribuídos um valor mínimo único de 0,001 ‰. Na tabela 25 estão listados os parâmetros de salinidade utilizados na modelagem. Os valores entre parênteses foram assumidos, devido à inexistência de dados aferidos.

Tabela 25 – Dados de salinidade medida (sm) e salinidade inicial (so) utilizadas para a simulação (‰)

Localização	Salinidade medida (sm)	Salinidade inicial (so)
Canal da barra	28.1	35.0
	(27.0)	30.0
	27.0	30.0
Laguna do Armazém	23.9	27.0
Rio dos Camarões	23.3	25.0
	(19.6)	20.0
Lagoa das Custódias	(17.8)	20.0
	15.9	17.0
	(15.0)	17.0
Laguna de Tramandaí	(26.5)	28.0
	25.3	26.0
Rio Tramandaí (braço norte)	(25.0)	20.0
Rio Tramandaí (centro-sul)	(19.5)	18.0
Rio Tramandaí (centro)	(19.0)	18.0
Rio Tramandaí (ilhas)	(20.0)	18.0
Rio Tramandaí (canais do delta)	(18.0)	18.0
	14.0	15.0
	(15.0)	15.0
	(15.0)	15.0
Lagoa do Passo	(15.0)	17.0

4.3.5 Rodando o programa

A primeira rodada do programa foi feita com o conjunto de dados anteriormente mencionados, atribuindo-se para a linha de interface com o mar s_b , que fecha o balanço de massa, uma concentração inicial de 38,9‰, coincidindo com a máxima salinidade encontrada por Fausto *et al.* (no prelo) na fronteira com o mar. Os parâmetros de controle utilizados e indicados por Hellweger (1997) foram:

- Delta t [h] = 24
- Converte delta s [mg/L] = 0.1
- Diverge delta s [mg/L] = 50000
- Max t [h] = 100000
- Nível de observação do usuário (0-4) = 1

Os dados de salinidade modelada s foram confrontados com os da observada s_m , gerando um mapa do erro modelado, a partir da diferença entre estes parâmetros, ou seja, $[s] - [s_m]$. Segundo Hellweger (1997), o resultado é aceitável quando esta diferença implicar em um erro em torno de 5%, ou seja, quando na maioria dos segmentos ele for inferior a 1 ppt.

Assim, após cada rodada, foram efetuados os ajustes nos dados de vazão nas interfaces e/ou fronteira com o mar e/ou nos coeficientes de dispersão. Neste último caso, era sempre imprescindível recalcular o ep . Os novos fluxos atribuídos às linhas de interface foram obtidos a partir da redução da velocidade anteriormente estimada. Desta forma, para as lagoas foram assumidas velocidades que variaram de 0,001 m/s a 0,002 m/s, enquanto para os canais foram definidas velocidades que oscilaram entre 0,1 m/s, para os do subsistema norte, a 0,002 m/s para os do delta e da barra do Rio Tramandaí. Um cuidado especial deve ser dado à orientação do sentido do fluxo, que é determinada pela inserção de valores positivos ou negativos. Por isto, é importante plotar os vetores dos fluxos já na primeira rodada do programa.

Os coeficientes de dispersão também precisaram ser reduzidos. Os melhores resultados foram obtidos com um valor máximo para a fronteira com o mar de 150 m^2/s , um valor único para as lagoas de 5 m^2/s , consoante indicações de DNER/IME (2000), e um valor constante para os canais de 20 m^2/s , conforme exemplo de

Hellweger (1997), a exceção do canal sul do Rio Tramandaí, ao qual foi assumido um coeficiente de dispersão de $30 \text{ m}^2/\text{s}$.

Na figura 44 está esquematizado o fluxograma geral das etapas da modelagem.

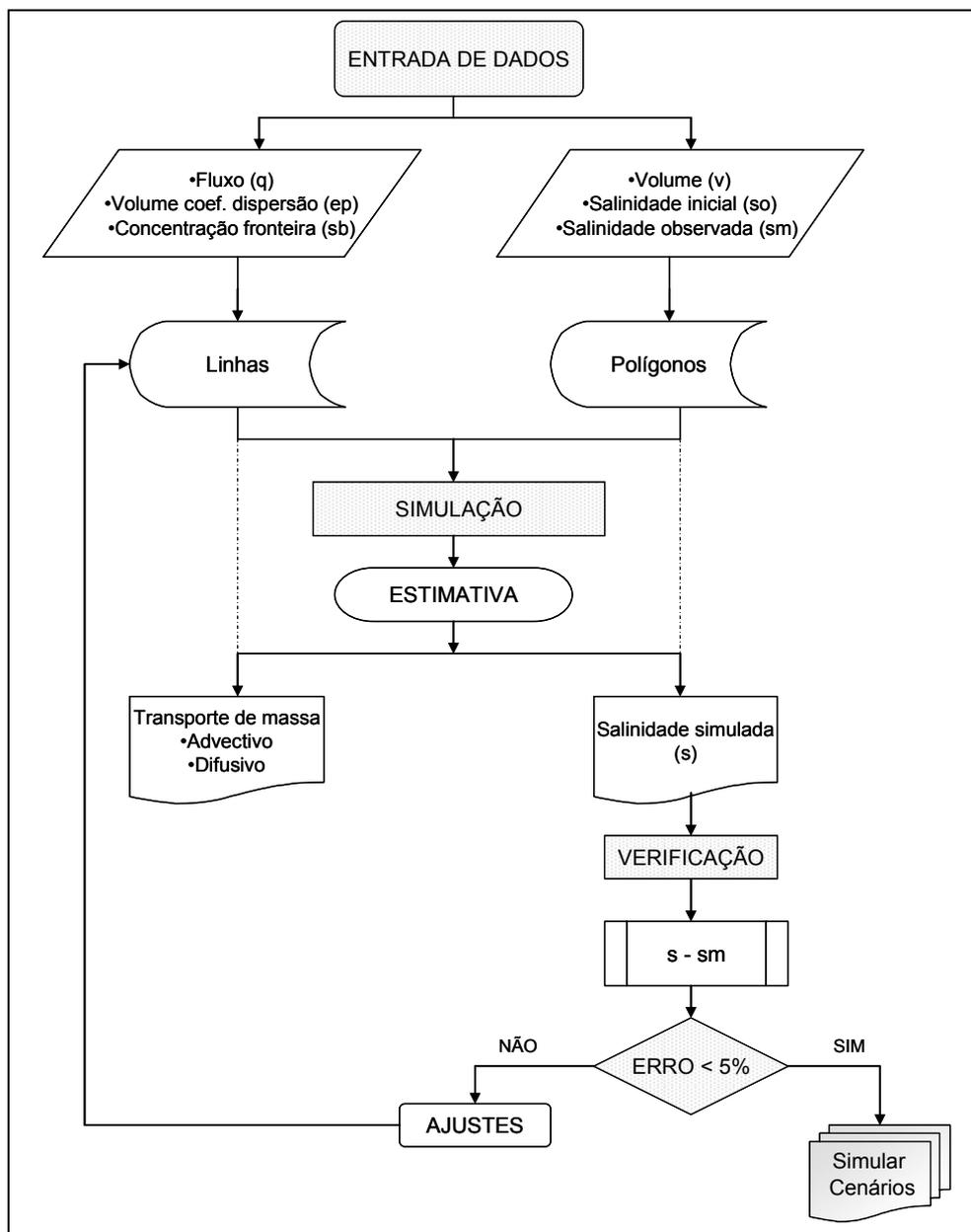


FIGURA 44 – FLUXOGRAMA DAS ETAPAS REALIZADAS PARA A SIMULAÇÃO DO BALANÇO DE MASSA

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 INTRODUÇÃO

No presente capítulo estão sistematizados os dados obtidos na etapa de preparação do modelo, assim como os resultados oriundos do balanço de massa, aplicado ao conjunto dos corpos de água simulados na tese. A análise e a discussão destes foram embasadas no conhecimento da dinâmica natural do sistema estudado e nos impactos da ação antrópica no seu contexto. Desta forma, a qualidade dos resultados foi confrontada com os dados reais disponíveis na bacia, ressaltando-se as incoerências observadas em face das restrições discutidas no capítulo anterior.

Por fim, para testar o modelo foram elaborados dois cenários para a aferição do seu comportamento em situações de vazões mais baixas e mais elevadas. Para tanto, escolheu-se a Lagoa do Passo, uma vez que é um importante manancial utilizado para o abastecimento público e para a irrigação do arroz e registra a ocorrência de salinização em suas águas.

5.2 PREPARAÇÃO DOS DADOS

A avaliação do balanço de massa proposto nesta tese exigiu um longo tempo para a preparação de dados para viabilizar a simulação. Nesta etapa, as dificuldades relativas à carência de dados precisaram ser superadas. Para tanto, se recorreu às indicações da literatura, a estudos análogos oriundos de bacias hidrográficas semelhantes e à utilização de técnicas de cálculo, consoante o indicado por EPA (2005) e exposto no capítulo 2.

5.2.1 Análise dos resultados

Os dados batimétricos disponíveis para a simulação apresentaram resultados satisfatórios para as lagoas Itapeva, dos Quadros e das Custódias, bem como para as lagoas de Tramandaí e do Armazém, assim como para o canal principal do Rio Tramandaí. Para as lagoas do Palmital, da Pinguela, das Malvas e do Passo, no entanto, eram muito precários, resultando em superfícies interpoladas pouco representativas. O mesmo ocorreu com o Rio dos Cornélios, Canal João Pedro, Rio dos Postes e o Rio dos Camarões, uma vez que a batimetria foi gerada apenas com as informações das comunidades de pescadores locais (figura 47).

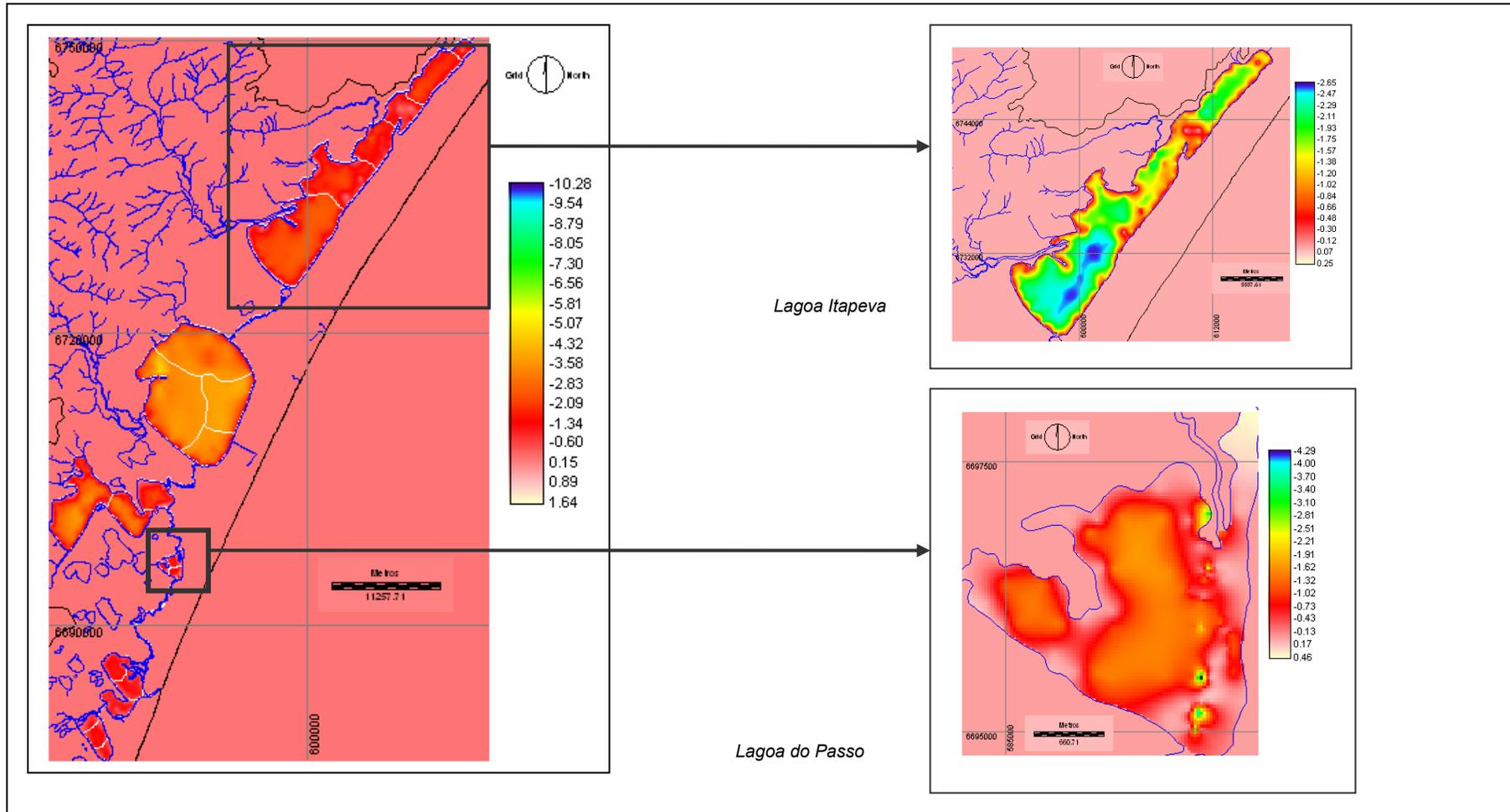


FIGURA 45 – BATIMETRIA DOS CORPOS DE ÁGUA UTILIZADOS NA SIMULAÇÃO, EM METROS, COM DESTAQUE PARA AS LAGOAS ITAPEVA E DO PASSO

O resultado da segmentação dos corpos de água definidos para o balanço de massa gerou um total de 55 polígonos, incluindo as ilhas presentes em algumas lagoas e canais. Cada polígono ou segmento foi processado individualmente para produzir os dados necessários à simulação, pois cada um foi modelado como se fosse um tanque inteiramente misturado, de acordo com Hellweger e Maidment (1997). Na figura 46 se tem um exemplo dos passos realizados para se chegar à segmentação das lagoas Tramandaí e do Armazém.

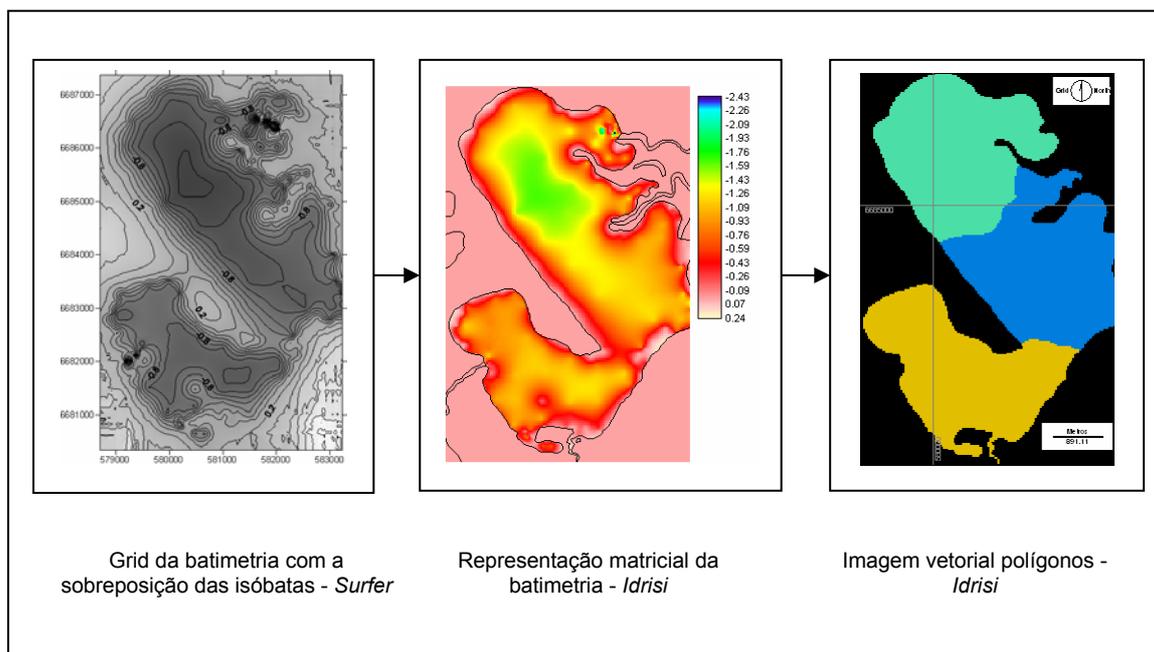


FIGURA 46 – REPRESENTAÇÕES DAS LAGUNAS DE TRAMANDAÍ E DO ARMAZÉM PREPARADAS PARA A SIMULAÇÃO

O conjunto dos corpos de água utilizado para a simulação está representado na figura 47. Na tabela 26 estão listados os segmentos definidos para a simulação. O nome atribuído a cada segmento teve apenas a finalidade de identificá-lo para o usuário.

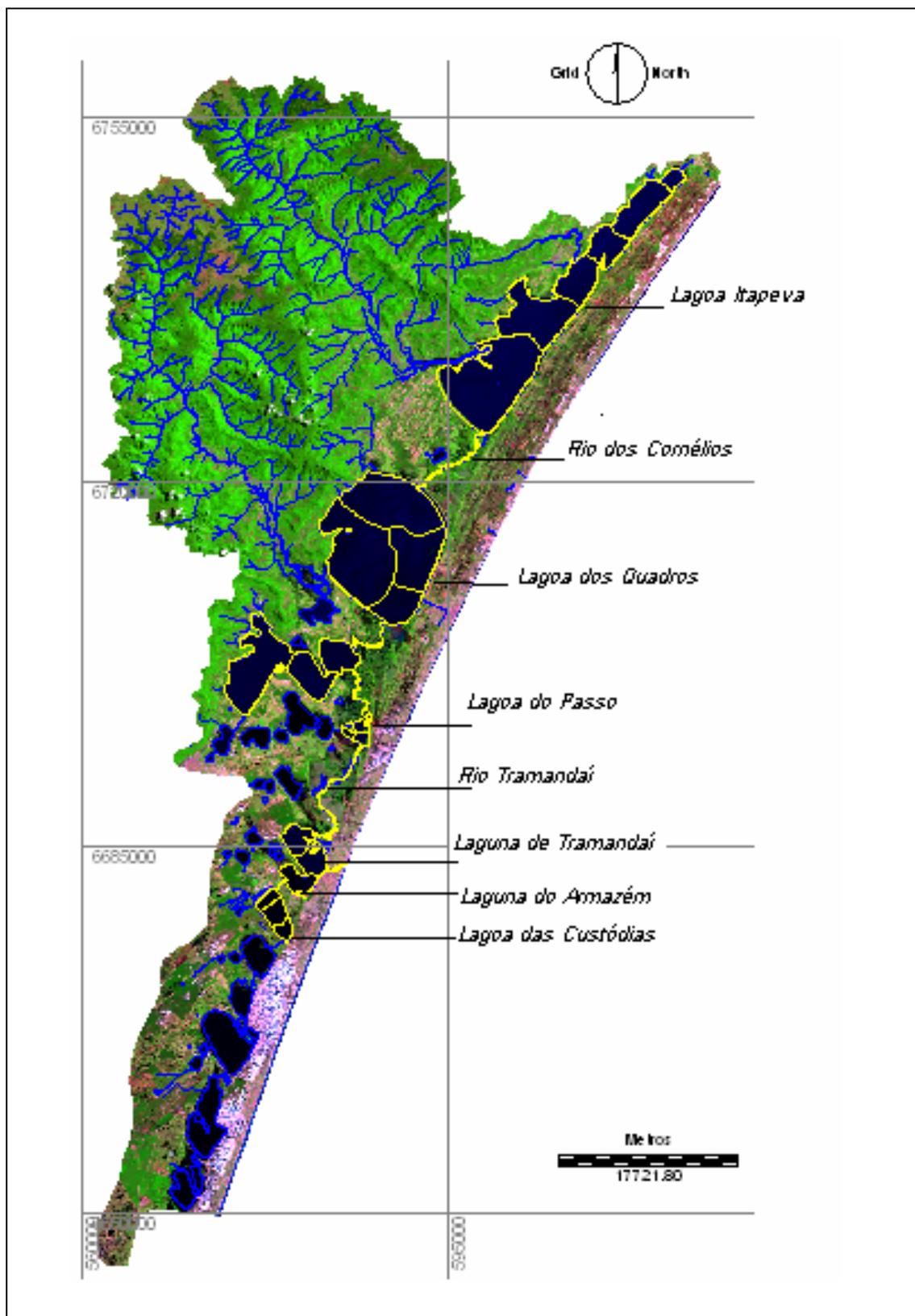


FIGURA 47 – CORPOS DE ÁGUA SEGMENTADOS PARA O BALANÇO DE MASSA, BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TRAMANDAÍ, RS

Tabela 26 – Segmentação definida para a simulação

Segmento	Nome	Localização
1	itace	Lagoa Itapeva (centro)
2	ilha	Ilha na Lagoa Itapeva
3	itane	Lagoa Itapeva (nordeste)
4	itano	Lagoa Itapeva (norte)
5	itail	Lagoa Itapeva (ilha)
6	itafo	Lagoa Itapeva -Rio Três Forquilhas
7	itaca	Lagoa Itapeva - Rio Cardoso
8	ilha	Ilha no Rio dos Cornélios
9	corsu	Rio dos Cornélios (sul)
10	corce	Rio dos Cornélios (centro)
11	cornu	Rio dos Cornélios (norte)
12	quail	Lagoa dos Quadros (ilha)
13	quano	Lagoa dos Quadros (norte)
14	ilha	Ilha na Lagoa dos Quadros
15	quale	Lagoa dos Quadros (leste)
16	quasu	Lagoa dos Quadros (sul)
17	jpmal	Canal João Pedro- Lagoa das Malvas
18	ilha	Ilha no Canal J. Pedro
19	jpqua	Canal J.Pedro - Lagoa dos Quadros
20	pingu	Lagoa Pinguela
21	malva	Lagoa Malvas
22	palmi	Lagoa Palmital
23	posno	Rio dos Postes (norte)
24	possu	Rio dos Postes (sul)
25	passw	Lagoa do Passo (oeste)
26	pasno	Lagoa do Passo (norte)
27	passu	Lagoa do Passo (sul)
28	ilha	Ilha no Rio Tramandaí
29	ilha	Idem
30	ilha	Idem
31	ilha	Idem
32	ilha	Idem
33	ilha	Idem
34	trasu	Rio Tramandaí (sul/norte delta)
35	trail	Rio Tramandaí-ilha
36	tracs	Rio Tramandaí (centro-sul)
37	trano	Rio Tramandaí (norte)
38	trace	Rio Tramandaí (centro)
39	ltrato	Laguna de Tramandaí (norte)
40	ltrasu	Laguna de Tramandaí (sul)
41	larma	Laguna do Armazém
42	camno	Rio dos Camarões (norte)
43	camsu	Rio dos Camarões (sul)
44	cusce	Lagoa das Custódias (centro)
45	cussu	Lagoa das Custódias (sul)
46	cusno	Lagoa das Custódias (norte)
47	trala	Rio Tramandaí-lagoa (próx.foz)
48	tracef	Rio Tramandaí (centro-foz)
49	trafoz	Rio Tramandaí (foz)

Segmento	Nome	Localização
50	rtrabs	Rio Tramandaí (braço sul/sul delta)
51	rtrasc	Rio Tramandaí (sul-centro/delta)
52	rtrabc	Rio Tramandaí (braço centro/delta)
53	ilha	Delta do Tramandaí
54	ilha	Idem
55	ilha	Idem

Os dados de profundidade média, área e volume dos segmentos foram obtidos através das representações batimétricas e, portanto, refletem o nível de precisão destas (tabela 27). Os resultados apontaram para a pouca profundidade do conjunto de segmentos utilizados para a simulação, com uma média geral de 2,05 m. Considerando-se apenas aqueles com levantamento batimétrico, verificou-se que no subsistema norte as maiores profundidades foram registradas nos segmentos da Lagoa dos Quadros, com média de 3,13 m e máxima de 3,47 m (*quale*) e mínima de 2,88 m (*quano*). Para a Lagoa Itapeva se constatou uma média de 1,32 m, com máxima de 1,91 m (*itafo*) e mínima de 0,87 m (*itail*), enquanto os segmentos do canal principal do Rio Tramandaí exibiram uma média de 1,70 m, com uma máxima de 2,76 m (*tracs*) e 0,17 m (*trasu*). Neste subsistema, o corpo aquoso mais raso é a Lagoa do Passo, com média de 0,70 m. Nas lagoas de Tramandaí e do Armazém a baixa profundidade foi mais uma vez evidenciada. As médias apresentaram valores de 0,91 m e 0,73 m, respectivamente. Já para a Lagoa das Custódias, pertencente ao subsistema sul, a média dos segmentos foi de 0,79 m.

Tabela 27 – Profundidade média, área e volume dos segmentos

Nome	Área (m ²)	Prof. média (m)	Volume (m ³)
itace	26731016.2	1.34	35819560
itane	3111070.078	0.96	2986627
itano	15147403.76	1.56	23630390
itail	9882235.217	0.87	8597301
itafo	54595699.59	1.91	104277800
itaca	13200976.56	1.28	16897250
corsu	235662.4955	2.5	589156.3
corce	280033.6134	4.8	1344161
cornu	345976.7195	3.2	1107126
quail	46217076.24	3.22	148818900
quano	37238732.01	2.88	107247600
quale	23310555.63	3.47	80887630
quasu	13073038.68	2.94	38434740
jpgal	237019.7133	6.83	1618845
jpgua	324982.7992	4.36	1416925
pingu	30013568.26	2.02	60627410

Nome	Área (m ²)	Prof. média (m)	Volume (m ³)
malva	9609077.046	1.16	11146530
palmi	11870152.59	1.96	23265500
posno	350999.8919	0.8	280799.9
possu	140144.1565	0.86	120524
passw	822598.2661	0.6	493559
pasno	1972927.202	0.63	1242944
passu	1507809	0.88	1326872
trasu	125937.0085	0.17	21409.29
trail	377828.116	2.38	899230.9
tracs	121086.9133	2.76	334199.9
trano	232806.4684	1.01	235134.5
trace	186185.9588	2.2	409609.1
ltrano	6026145.423	1.01	6086407
ltrasu	6115374.941	0.82	5014466
larma	5725975.672	0.73	4180088
camno	75661.04901	5.95	450183.2
camsu	40560.17255	4.99	202395.3
cusce	4272893.487	1.03	4401080
cussu	2491517.97	0.74	1843723
cusno	2360060.163	0.6	1416036
trala	174155.2255	0.85	148032
tracef	216092.2344	1.47	317655.6
trafoz	66132.45987	1.64	108457.2
rtrabc	102252.4876	1.00	102252.4
rtrasc	160590.5222	0.80	128472.4
rtrabs	90017.44155	3.00	270052.3

Os dados de evaporação e precipitação média anual, em metros e em unidades de fluxo (m³/s), foram obtidos por meio do geoprocessamento e podem ser conferidos na tabela 28. Eles demonstram que, em condições médias, as entradas de água por meio da precipitação superam as saídas decorrentes da evaporação em todos os segmentos.

Tabela 28 – Evaporação e precipitação nos segmentos utilizados

Nome	Chuva méd/ano (m)	Evaporação méd/ano (m)	Chuva (m ³ /s)	Evaporação (m ³ /s)
itace	1.64	0.86	1.390121	0.7289661
itane	1.52	0.78	0.1499501	0.07694808
itano	1.55	0.8	0.7445114	0.3842639
itail	1.58	0.82	0.4951005	0.2569509
itafo	1.69	0.89	2.925759	1.540784
itaca	1.60	0.84	0.6697603	0.3516242
corsu	1.69	0.94	0.01262905	0.00702444
corce	1.70	0.93	0.01509567	0.008258221
corno	1.70	0.92	0.01865045	0.01009318
quail	1.63	0.97	2.388819	1.421568
quano	1.66	0.95	1.960183	1.121791
quale	1.64	0.96	1.212243	0.7096059
quasu	1.61	0.98	0.6674148	0.4062525

Nome	Chuva méd/ano (m)	Evaporação méd/ano (m)	Chuva (m ³ /s)	Evaporação (m ³ /s)
jpmaal	1.58	0.99	0.01187504	0.007440688
jpqua	1.58	0.99	0.01628212	0.01020209
pingu	1.54	0.98	1.465655	0.9326895
malva	1.56	0.99	0.4753349	0.3016548
palmi	1.54	0.99	0.5796561	0.3726361
posno	1.04	0.67	0.01157534	0.00745719
possu	0.71	0.47	0.003155199	0.002088653
passw	1.51	1.01	0.03938747	0.02634526
pasno	1.52	1.01	0.09509289	0.06318672
passu	1.51	1.02	0.07219659	0.04876855
trasu	1.44	1.05	0.005750549	0.004193108
trail	1.45	1.05	0.01737223	0.01257989
tracs	1.46	1.04	0.005605876	0.003993226
trano	1.50	1.02	0.01107337	0.007529889
trace	1.47	1.03	0.008678759	0.006081035
ltrano	1.44	1.05	0.2751665	0.2006422
ltrasu	1.43	1.06	0.2772939	0.2055465
larma	1.42	1.06	0.2578365	0.1924695
camno	1.41	1.05	0.003382867	0.002519156
camsu	1.41	1.05	0.001813478	0.001350462
cusce	1.40	1.06	0.1896896	0.1436221
cussu	1.40	1.06	0.1106077	0.08374584
cusno	1.41	1.05	0.1055202	0.07857887
trala	1.25	0.94	0.006903032	0.00519108
tracef	1.43	1.08	0.009798703	0.007400419
trafoz	1.43	1.08	0.002998777	0.00226481
rtrabc	1.44	1.05	0.004669064	0.003404525
rtrasc	1.44	1.05	0.007332901	0.005346906
rtrabs	1.44	1.05	0.004110386	0.002997156

As respectivas representações de evaporação e precipitação, geradas nos corpos de água considerados para a simulação podem ser conferidas na figura 48.

Os valores calculados para as linhas que conectam os segmentos estão exibidos na tabela 29, na qual se observa o sentido do fluxo de um polígono a outro. Este sentido é explicado por Hellweger e Maidment (1997). Eles advertiram que o comprimento das linhas de segmentação nem sempre representam a interface avaliável para a estimativa da transferência e dispersão de massa. Neste caso, são os pontos de maior profundidade que irão representar a linha de interface. Assim, para se ilustrar um exemplo de como a conexão foi estabelecida entre os segmentos na figura 49 se destacaram os segmentos sul e norte da Laguna de Tramandaí.

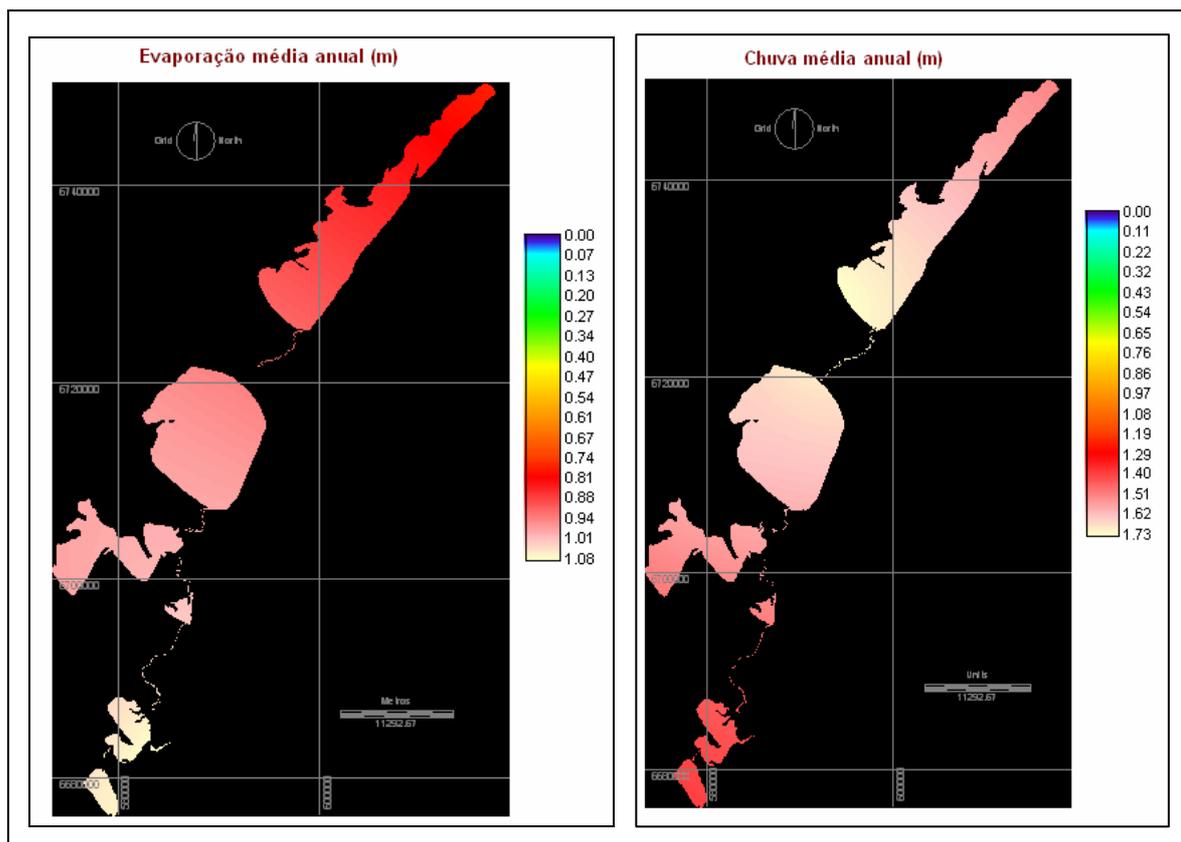


FIGURA 48 – REPRESENTAÇÕES DA EVAPORAÇÃO E PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL, EM METROS, DOS CORPOS DE ÁGUA SIMULADOS

Tabela 29 – Geometria da interface dos segmentos

De	Para	Linha (m)	Interface (m)	Prof. méd (m)	Área (m ²)
itane	itano	1769	1025	1.53	1568.25
itano	itail	2595	1281	1.55	1985.55
itail	itaca	1702	262	1.5	393
itaca	itace	2454	511	1.52	776.72
itace	itafo	4843	2756	2.02	5567.12
itafo	cornoc	254	254	1.5	203.2
cornoc	corce	106	106	3.3	349.8
corce	corsu	82	82	4.8	393.6
corsu	quano	167	167	1.5	661.32
quano	quail	5889	1848	3.42	6320.16
quano	quale	5721	4557	3.74	17043.18
quail	quale	5216	5216	3.68	19194.88
quail	quasu	3769	3769	3.63	13681.47
quasu	quale	3337	978	3.74	3657.72
quasu	jpqua	102	102	3.8	387.6
jpqua	jpmal	95	95	3.5	522.5
jpmal	malva	129	129	1.5	77.4
pingu	palmi	1583	1583	1.77	2801.91
palmi	malva	994	994	1.06	1053.64
malva	posno	91	91	1.5	136.5
posno	possu	69	69	0.75	51.75
possu	pasno	80	80	1.5	14.4

De	Para	Linha (m)	Interface (m)	Prof. méd (m)	Área (m ²)
passw	passu	755	755	0.72	543.6
pasno	passu	1361	1112	1.09	1212.08
passu	trano	135	135	1.08	145.8
trano	trace	45	45	2.5	112.5
trace	tracs	50	50	2.35	117.5
tracs	trail	49	49	2.96	145.04
trail	trasu	80	80	1.5	68
trasu	ltrano	180	180	1.5	90
cussu	cusce	2101	621	1.23	763.83
cusce	cusno	2419	622	1.35	839.7
cusno	camsu	94	94	1.5	47
camsu	camno	54	54	3.5	270
camno	larma	101	101	1.5	50.5
larma	ltrasu	1102	561	0.65	364.65
ltrano	ltrasu	2317	1184	1.38	1633.92
ltrasu	trala	785	125	0.95	118.75
trala	tracef	164	164	1.65	270.6
tracef	trafoz	183	183	2.15	393.45
trail	rtrabs	75	75	3.00	225
rtrabs	rtrasc	89	89	1.50	133.5
rtrabs	ltrasu	108	108	1.50	162

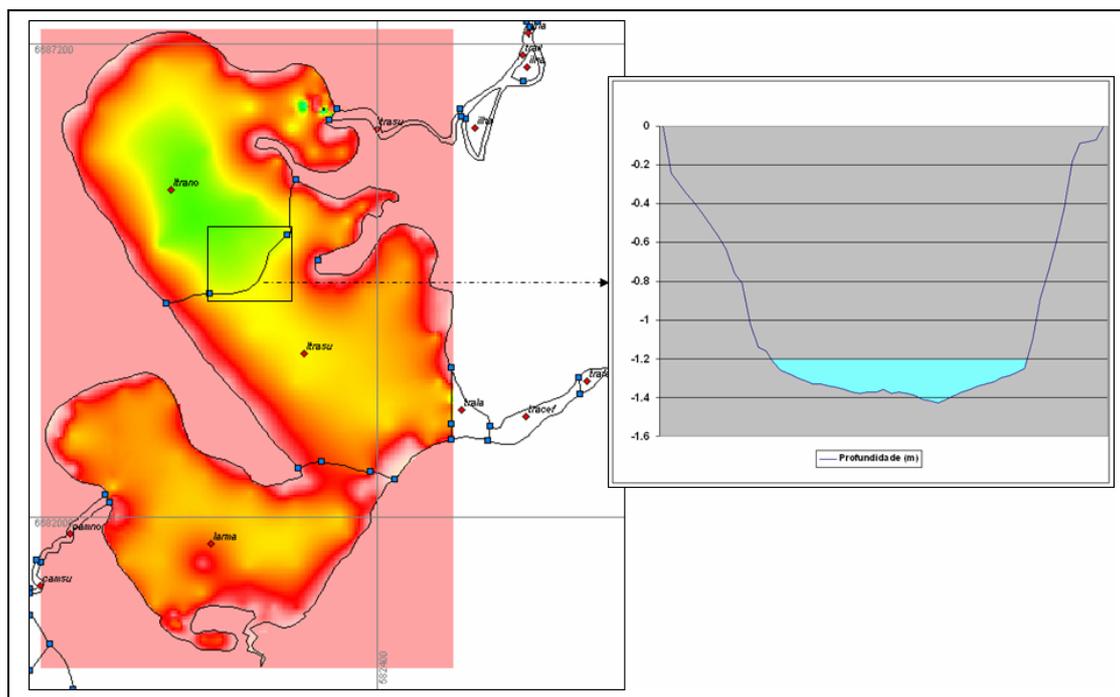


FIGURA 49 – EXEMPLO DE INTERFACE ENTRE OS SEGMENTOS SUL E NORTE DA LAGUNA DE TRAMANDAI, RS

A partir da geometria da interface entre os segmentos foram estimados os fluxos transferidos entre os polígonos e que são computados para o balanço de massa (tabela 30). As velocidades foram fundamentais para a definição deste parâmetro. Conforme explicado no capítulo anterior, elas foram

assumidas com base na literatura e nos dados constantes em Perfil Engenharia e Ambiente Ltda. (2005.a). Da sua análise é possível verificar que os fluxos mais elevados são registrados nos segmentos dos corpos aquosos do subsistema norte, em conformidade com o colocado no capítulo 3.

Tabela 30 – Fluxos na interface dos segmentos

De	Para	Área (m ²)	Velocidade (m/s)	Fluxos na interface (m ³ /s)
itane	itano	1568.25	0.001	1.57
itano	itail	1985.55	0.001	1.99
itail	itaca	393	0.001	0.39
itaca	itace	776.72	0.002	1.55
itace	itafo	5567.12	0.002	11.13
itafo	corno	381	0.18	68.58
corno	corce	349.8	0.18	62.96
corce	corsu	393.6	0.18	70.85
corsu	quano	250.5	0.18	45.09
quano	quail	6320.16	0.002	12.64
quano	quale	17043.18	0.002	34.09
quail	quale	19194.88	0.002	38.39
quail	quasu	13681.47	0.002	27.36
quasu	quale	3657.72	0.001	3.66
quasu	jpqua	387.6	0.2	77.52
jpqua	jpmal	332.5	0.2	66.50
jpmal	malva	193.5	0.2	38.70
pingu	palmi	2801.91	0.001	2.80
palmi	malva	1053.64	0.001	1.05
malva	posno	136.5	0.2	27.30
posno	possu	51.75	0.2	10.35
possu	pasno	120	0.2	24.00
passw	passu	543.6	0.001	0.54
pasno	passu	1212.08	0.001	1.21
passu	trano	145.8	0.2	29.16
trano	trace	112.5	0.2	22.50
trace	tracs	117.5	0.2	23.50
tracs	trail	145.04	0.2	29.01
trail	trasu	120	0.2	24.00
trasu	ltrano	270	0.2	54.00
cussu	cusce	763.83	0.001	0.76
cusce	cusno	839.7	0.001	0.84
cusno	camsu	141	0.2	28.20
camsu	camno	189	0.2	37.80
camno	larma	151.5	0.2	30.30
larma	ltrasu	364.65	0.001	0.36
ltrasu	ltrano	1633.92	0.001	1.63
ltrasu	trala	118.75	0.2	23.75
trala	tracef	270.6	0.2	54.12
tracef	trafoz	393.45	0.2	78.69

De	Para	Área (m ²)	Velocidade (m/s)	Fluxos na interface (m ³ /s)
trail	rtrabs	225	0.2	45.00
rtrabs	rtrasc	133.5	0.2	26.70
rtrabs	ltrasu	162	0.2	32.40
rtrasc	rtrabc	77	0.1	7.70
rtrasc	ltrasu	116	0.1	11.60

Para se oportunizar uma maior integração do gerenciamento de recursos hídricos com o gerenciamento costeiro foi realizado um balanço parcial entre as vazões (Q) que escoam e são derivadas em cada segmento (tabela 31). Isto foi realizado considerando-se os dados existentes sobre os usos consuntivos na bacia, discutidos no capítulo 3. O resultado do somatório entre os fluxos de entrada e saída de cada polígono atestou que em apenas um, *itane* (Lagoa Itapeva), o valor é negativo, o que estaria indicando uma demanda superior à disponibilidade hídrica deste segmento.

Tabela 31 – Vazões afluentes e derivadas por segmento

Segmento	Fluxo interface (m ³ /s)	Entrada fronteira (m ³ /s)	Demandas (m ³ /s)			Somatório (m ³ /s)
			abastecimento	irrigação	criação animais	
itane	0.0000	0.0000	-0.0830	0.0000	0.0000	-0.0830
itano	1.5700	1.7600	0.0000	0.0000	0.0000	3.3300
ltail	1.9900	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.9900
itaca	0.3900	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.3900
itace	1.5500	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0110	1.5390
itafo	11.1300	14.4900	0.0000	0.0000	0.0000	25.6200
cornos	68.5800	0.0000	-0.0180	0.0000	-0.0020	68.5600
corce	62.9600	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	62.9600
corsu	70.8500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	70.8500
quano	45.0900	1.0700	0.0000	-0.178	0.0000	45.9820
quail	12.6400	15.1600	0.0000	-0.178	-0.0400	27.5820
quale	76.1400	0.0000	-0.0770	0.0000	0.0000	76.0630
quasu	27.3600	0.0000	-0.178	-0.0730	0.0000	27.1050
jpqua	77.5200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	77.5200
jpmal	66.5000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	66.5000
malva	39.7500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	39.7500
ping	0.0000	27.6000	0.0000	0.0000	0.0000	27.6000
palmi	2.8000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0030	2.7970
posno	27.3000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	27.3000
possu	10.3500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	10.3500
pasno	24.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	24.0000
passw	0.0000	17.8700	0.0000	0.0000	0.0000	17.8700
passu	1.7500	0.0000	0.0000	-0.081	-0.0007	1.6683
trano	29.1600	0.0000	-0.0510	-0.541	0.0000	28.5680
trace	22.5000	0.0000	0.0000	-0.541	0.0000	21.9590
tracs	23.5000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	23.5000
trail	29.0100	0.0000	0.0000	-0.541	0.0000	28.4690

Segmento	Fluxo interface (m ³ /s)	Entrada fronteira (m ³ /s)	Demandas (m ³ /s)			Somatório (m ³ /s)
			abastecimento	irrigação	criação animais	
trasu	24.0000	0.0000	0.0000	-0.541	0.0000	23.4590
lrano	55.6300	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	56.8800
cussu	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
cusce	0.7600	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.7600
cusno	0.8400	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.8400
camsu	28.2000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	28.2000
camno	35.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	37.8000
larma	30.3000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	30.3000
ltrasu	0.3600	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	44.3600
trala	23.7500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	23.7500
tracef	54.1200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	54.1200
trafoz	78.6900	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	78.6900
rtrabs	45.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	45.0000
rtrasc	53.4000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	53.4000
rtrabc	7.7000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	7.7000

5.2.2 Discussão dos resultados

Os dados gerados na etapa de preparação para o balanço de massa buscaram capturar a diversidade inerente ao conjunto interligado de corpos aquosos lânticos e lóticos que foram destacados para a simulação. Assim, não obstante as restrições impostas em face da qualidade e da existência de dados disponíveis, a adoção do modelo dos segmentos finitos, representado pela divisão das lagoas e canais em polígonos, significou um diferencial para a estimativa das trocas de matéria entre oceano e continente no contexto estudado.

Desta forma, lagoas extensas como Itapeva e dos Quadros, por exemplo, não foram tratadas como um corpo aquoso uniforme. A sua divisão em segmentos facultou incorporar, de certa forma, efeitos das descargas dos rios e da retirada de água para atender a usos como abastecimento e irrigação.

No trabalho realizado por Profill Engenharia e Ambiente Ltda. (2005.a), que teve como um dos objetivos básicos a avaliação da disponibilidade hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí, o modelo de lagoas interligadas foi utilizado para determinar os níveis médios das lagoas, vazões de troca em função das vazões afluentes, precipitação, evaporação e os níveis de maré para a série destes dados. Neste método, o subsistema norte foi representado através de “nós” (lagoas) e trechos (canais). Nos “nós” as lagoas foram tratadas através da equação da continuidade, considerando-se o somatório das

vazões que entram e saem destes nós como sendo igual a um montante de volume armazenado na lagoa. Portanto, comparativamente, o referido modelo não teve condições de agregar a diversidade característica do sistema hídrico da bacia em foco (figura 50). Além disto, as trocas entre as massas das águas interiores e marinhas não foi considerada.

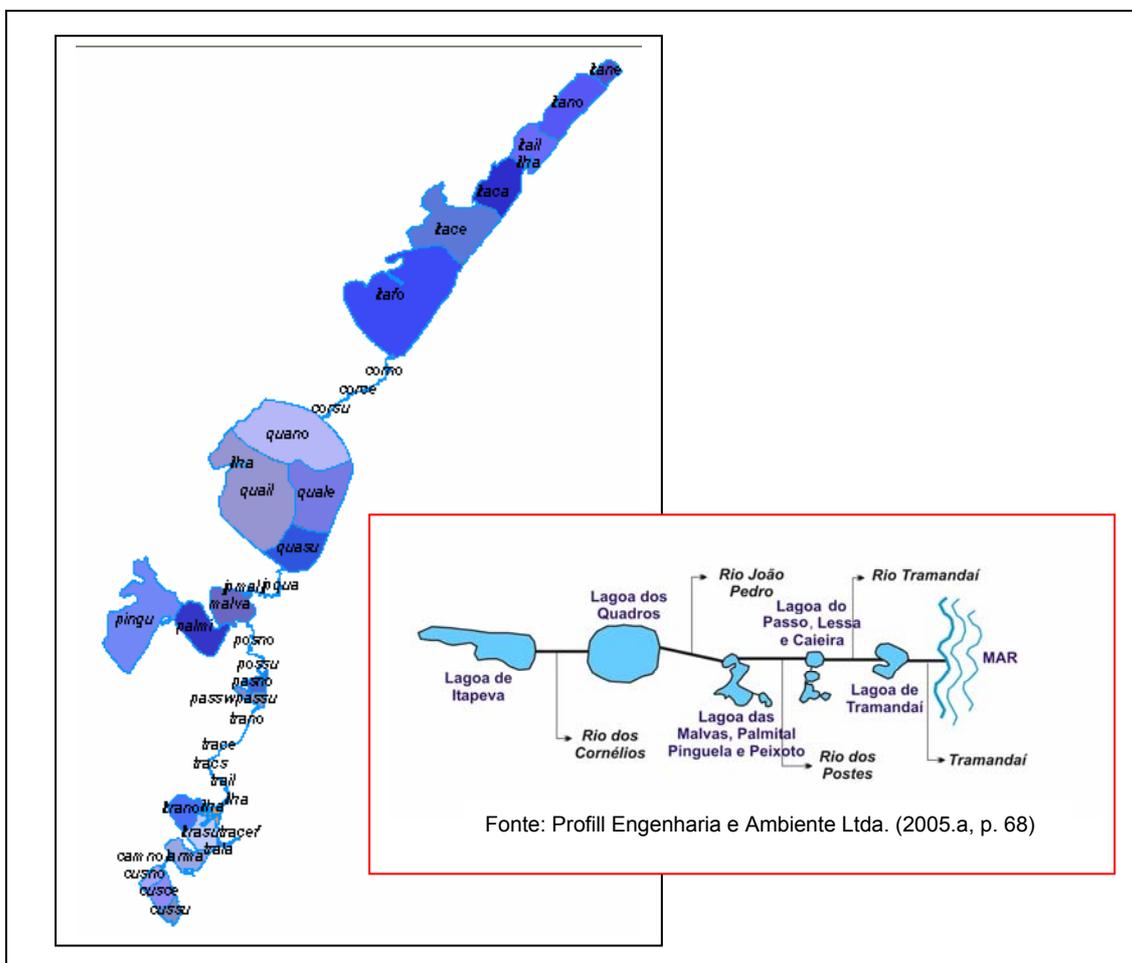


FIGURA 50 – COMPARAÇÃO ENTRE OS MODELOS UTILIZADOS NA TESE E NO PLANO DE BACIA DO RIO TRAMANDAI

Outra questão importante a ser colocada é que os dados da presente tese foram preparados com base nas condições médias anuais de chuva e evaporação, em conformidade com o indicado por Hellweger e Maidment (1997). No entanto, situações extremas de escassez e excessos hídricos são esperadas na bacia em pauta. Isto pode ser evidenciado no gráfico da figura 51 que ilustra os volumes totais precipitados e evapotranspirados (*E_{ti}*), em condições médias, máximas e mínimas, elaborados através de representações interpoladas e manipuladas em ambiente SIG, segundo metodologia descrita por Santos (2000).

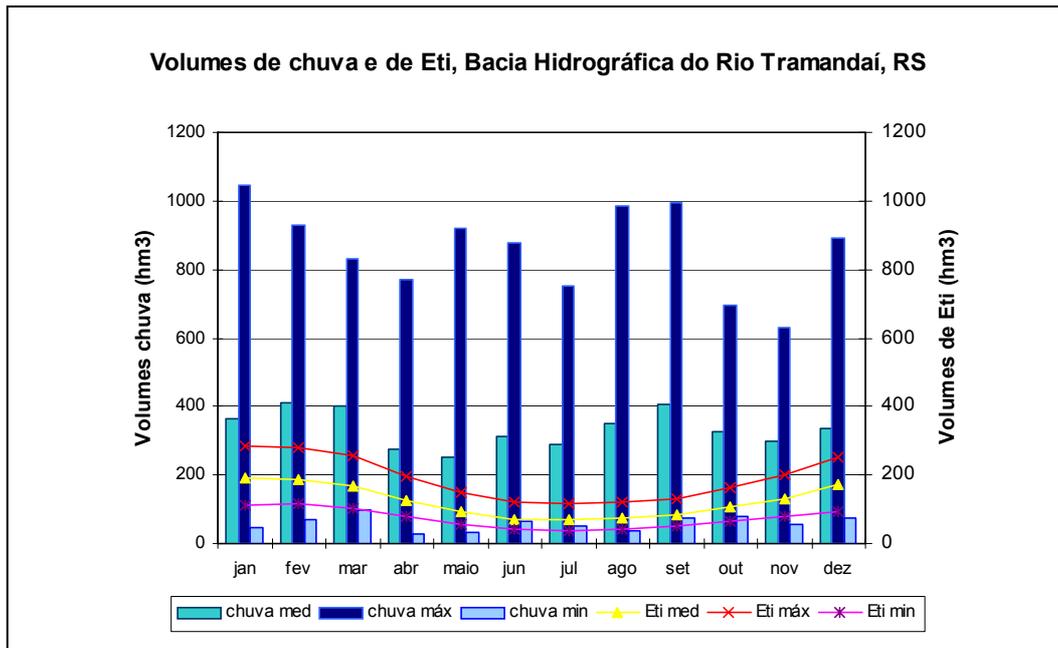


FIGURA 51 – VOLUMES TOTAIS DE CHUVA E EVAPOTRANSPIRAÇÃO ESTIMADOS PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TRAMANDAÍ, RS

A pequena profundidade média encontrada nas lagoas do subsistema norte é igualmente um importante fator para apreciar a intrusão salina em corpos de água situados a montante do sistema estuarino. De outra parte, a estimativa dos fluxos da vazão de água doce, que entra e sai do conjunto simulado, contribuiu para inserir não apenas a variabilidade física do ambiente, mas também observar algumas das interações que ocorrem em virtude das demandas pelo uso dos recursos hídricos, de acordo com o verificado nos próximos itens deste capítulo.

5.3 O BALANÇO DE MASSA

Os resultados produzidos através do balanço de massa adotado nesta tese possibilitaram que se avaliasse a variação espaço-temporal da salinidade no sistema simulado. A consistência dos mapas gerados foi averiguada por meio dos dados existentes na rede de monitoramento da qualidade da água da FEPAM, dos trabalhos Fausto *et al.* (no prelo) e da Superintendência do Litoral Norte da CORSAN.

5.3.1 Análise dos dados

Conforme explicado no capítulo anterior, o modelo foi calibrado a partir dos dados de salinidade medida na campanha de verão de 2005, da FEPAM. A partir da primeira rodada, ajustes foram sendo realizados nos dados de fluxos

na fronteira com o mar, fluxos entre as linhas e/ou coeficiente de dispersão, de acordo com Hellweger e Maidment (1997). Pode-se conferir na tabela 32 que houve necessidade de reduzir as vazões entre as interfaces para simular a condição considerada extrema para a bacia em foco. Isto foi realizado através da diminuição das velocidades estimadas para o fluxo na interface. Assim, as velocidades definidas para as lagoas variaram de 0,002 m/s a 0,001 m/s. Para os canais oscilaram de 0,1 m/s a 0,01 m/s, no subsistema norte; de 0,01 m/s a 0,002 m/s no delta do Rio Tramandaí; 0,01 m/s no Rio dos Camarões; e 0,002 na barra.

Tabela 32 – Ajustes finais nos fluxos entre as linhas de interface

De	Para	Prof. méd (m)	Área (m ²)	Veloc. (m/s)	Qentrada (m ³ /s)
itane	itano	1.53	1568.25	0.001	1.57
itano	itail	1.55	1985.55	0.001	1.99
itail	itaca	1.50	393	0.001	0.39
itaca	itace	1.52	776.72	0.002	1.55
itace	itafo	2.02	5567.12	0.002	11.13
itafo	cornio	1.50	381	0.1	38.10
cornio	corce	3.30	349.8	0.1	34.98
corce	corsu	4.80	393.6	0.1	39.36
corsu	quano	1.50	250.5	0.1	25.05
quano	quail	3.42	6320.16	0.002	12.64
quano	quale	3.74	17043.18	0.002	34.09
quail	quale	3.68	19194.88	0.002	38.39
quail	quasu	3.63	13681.47	0.002	27.36
quasu	quale	3.74	3657.72	0.001	3.66
quasu	jpqua	3.80	387.6	0.1	38.76
jpqua	jpmal	3.50	332.5	0.1	33.25
jpmal	malva	1.50	193.5	0.1	19.35
pingu	palmi	1.77	2801.91	0.001	2.80
palmi	malva	1.06	1053.64	0.001	1.05
malva	posno	1.50	136.5	0.1	13.65
posno	possu	0.75	51.75	0.1	5.18
possu	pasno	1.50	120	0.1	12.00
passw	passu	0.72	543.6	0.001	0.54
pasno	passu	1.09	1212.08	0.001	1.21
passu	trano	1.08	145.8	0.01	1.46
trano	trace	2.50	112.5	0.01	1.13
trace	tracs	2.35	117.5	0.01	1.18
tracs	trail	2.96	145.04	0.01	1.45
trail	trasu	1.50	120	0.005	0.60
trasu	ltrano	1.50	270	0.002	0.54
cussu	cusce	1.23	763.83	0.001	0.76
cusce	cusno	1.35	839.7	0.001	0.84
cusno	camsu	1.50	141	0.01	1.41
camsu	camno	3.50	189	0.01	1.89

De	Para	Prof. méd (m)	Área (m ²)	Veloc. (m/s)	Qentrada (m ³ /s)
camno	larma	1.50	151.5	0.01	1.52
larma	ltrasu	0.65	364.65	0.001	0.36
ltrasu	ltrano	1.38	1633.92	0.001	1.63
ltrasu	trala	0.95	118.75	0.002	0.24
trala	tracef	1.65	270.6	0.002	0.54
tracef	trafoz	2.15	393.45	0.002	0.79
trail	rtrabs	3.00	225	0.01	2.25
rtrabs	rtrasc	1.50	133.5	0.02	2.67
rtrabs	ltrasu	1.50	162	0.01	1.62
rtrasc	rtrabc	1.00	77	0.002	0.15
rtrasc	ltrasu	0.80	116	0.002	0.23
rtrabc	ltrano	0.50	12.5	0.002	0.03

O resultado final da salinidade modelada s aceito foi obtido após o programa ter divergido com uma concentração de 53,9 mg/L. Estes dados e o respectivo erro estão expostos na tabela 33, lembrando que os valores entre parênteses foram assumidos, segundo o esclarecido no capítulo anterior. Nos demais segmentos, onde a salinidade inicial foi mínima (0,001 ‰) não foi registrado erro.

Tabela 33 – Comparação entre salinidade medida e modelada (‰)

Polígono	sm	s	Erro (%)
passw	0.0	0.75	-
pasno	0.0	0.29	-
passu	(15.00)	14.89	0.73
trasu	(25.00)	24.78	0.88
trail	(20.00)	14.93	2.50
tracs	(19.00)	16.12	1.79
trano	(18.00)	17.49	2.83
trace	(19.00)	17.30	8.95
ltrano	25.30	26.79	5.89
ltrasu	(26.50)	27.68	4.45
larma	23.90	27.46	14.89
camno	23.30	23.32	0.08
camsu	(19.60)	21.17	8.01
cusce	15.90	17.04	7.17
cussu	(15.00)	16.35	9.00
cusno	(17.80)	19.00	6.74
trala	27.00	23.10	14.44
tracef	(27.00)	30.78	14.00
trafoz	28.10	88.86	216.22
rtrabc	(15.00)	16.56	10.40
rtrasc	(15.00)	26.17	74.13
rtrabs	14.00	16.78	19.85

Analisando-se os dados da tabela anterior, pode-se perceber que os maiores erros foram identificados no canal da barra, segmentado em três partes. O pior resultado ocorreu no primeiro segmento do canal, que representa a fronteira final do modelo. Os melhores resultados foram observados nas lagoas e canais do subsistema sul, considerando-se os segmentos com dados reais para aferição. Nas figuras 52 a 56 estão exibidos os mapas da salinidade modelada e do erro modelado resultantes da calibração do modelo. As setas em vermelho representam os fluxos de água doce e em verde e azul os fluxos de massa advectivo e dispersivo no interior do sistema.

5.3.2 Discussão dos dados

O balanço de massa gerado, apesar das severas limitações impostas por um grupo importante de dados utilizados na alimentação do programa, foi capaz de refletir condições reais da propagação salina na maior parte do sistema avaliado. É necessário salientar, uma vez mais, que este sistema se notabiliza pela dinâmica de corpos aquosos lênticos e lóticos, respondendo, pois, de maneira diferenciada aos fluxos de matéria e energia no seu interior.

Bons resultados foram observados no subsistema sul, onde ocorrem os menores aportes de água doce e a hidrodinâmica é caracterizada por uma menor intensidade em comparação com o subsistema norte. Os segmentos da Laguna de Tramandaí também responderam de forma satisfatória à modelagem, atestando a qualidade dos dados de entrada.

A Laguna do Armazém mais rasa, com morfologia mais simples e uma superfície de fundo plana, de acordo com os estudos de Tabajara e Dillenburg (1997), foi simulada como um corpo único. O erro superior ao esperado (3,56 ‰) pode estar associado a estas características e a uma concentração inicial muito elevada atribuída a este segmento (27 ‰), tendo-se em conta o conjunto de dados utilizados para a simulação.

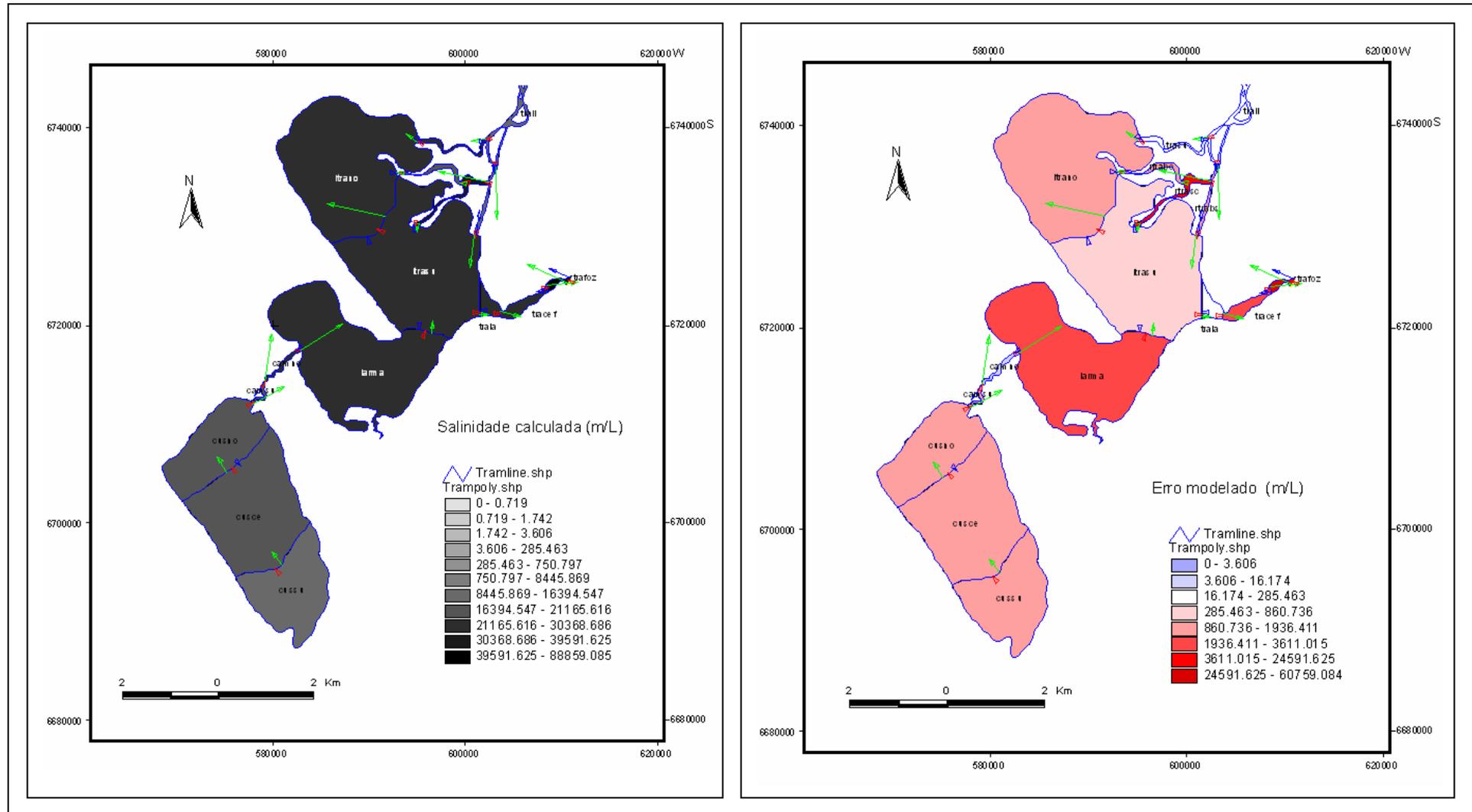


FIGURA 53 – SALINIDADE MODELADA E ERRO MODELADO PARA A LAGOA DAS CUSTÓDIAS, RIO DOS CAMARÕES, LAGUNAS DO ARMAZÉM E TRAMANDÁÍ, DELTA E CANAL DA BARRA

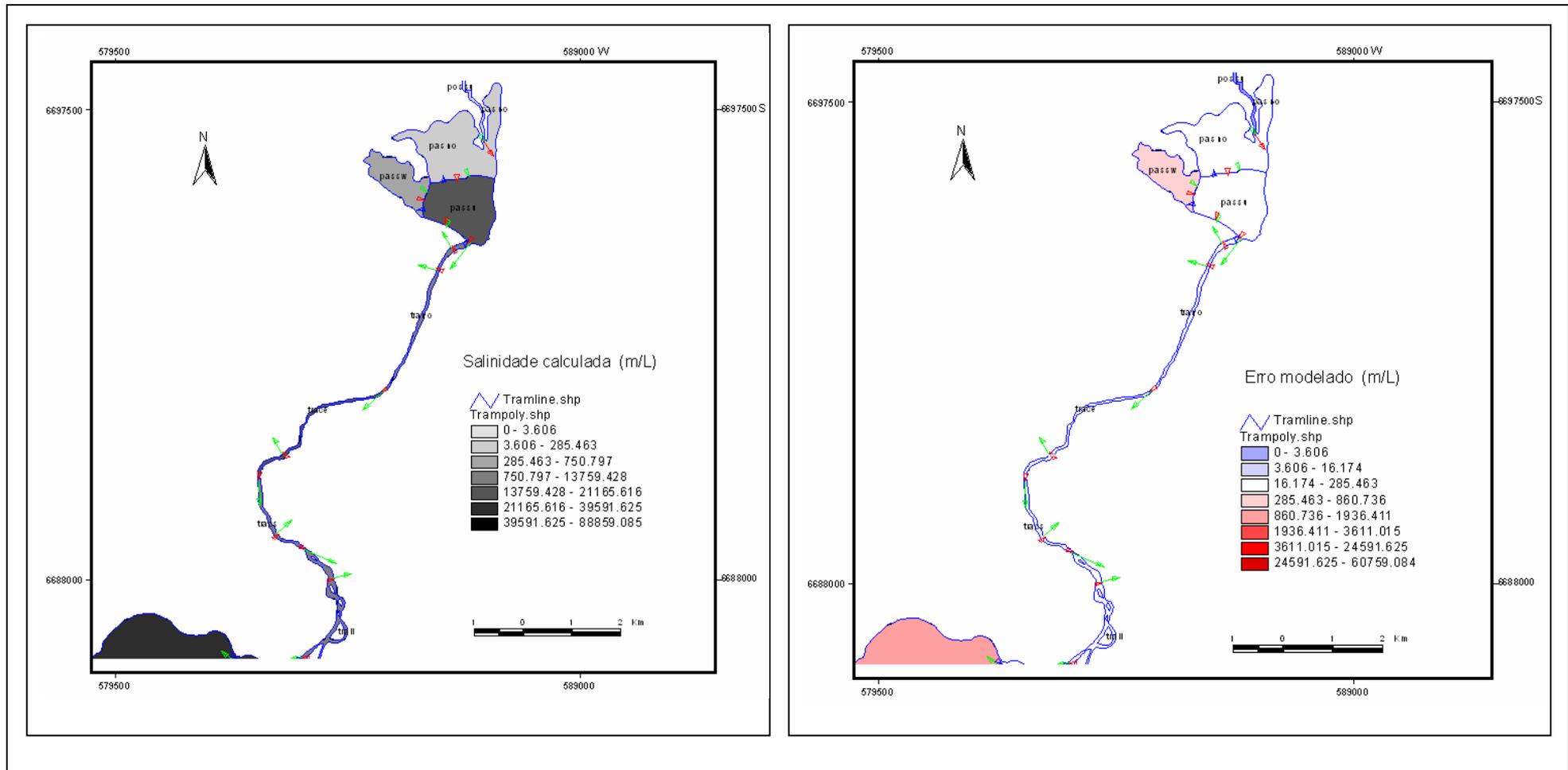


FIGURA 54 – SALINIDADE MODELADA E ERRO MODELADO NO CANAL PRINCIPAL DO RIO TRAMANDAÍ E LAGOA DO PASSO

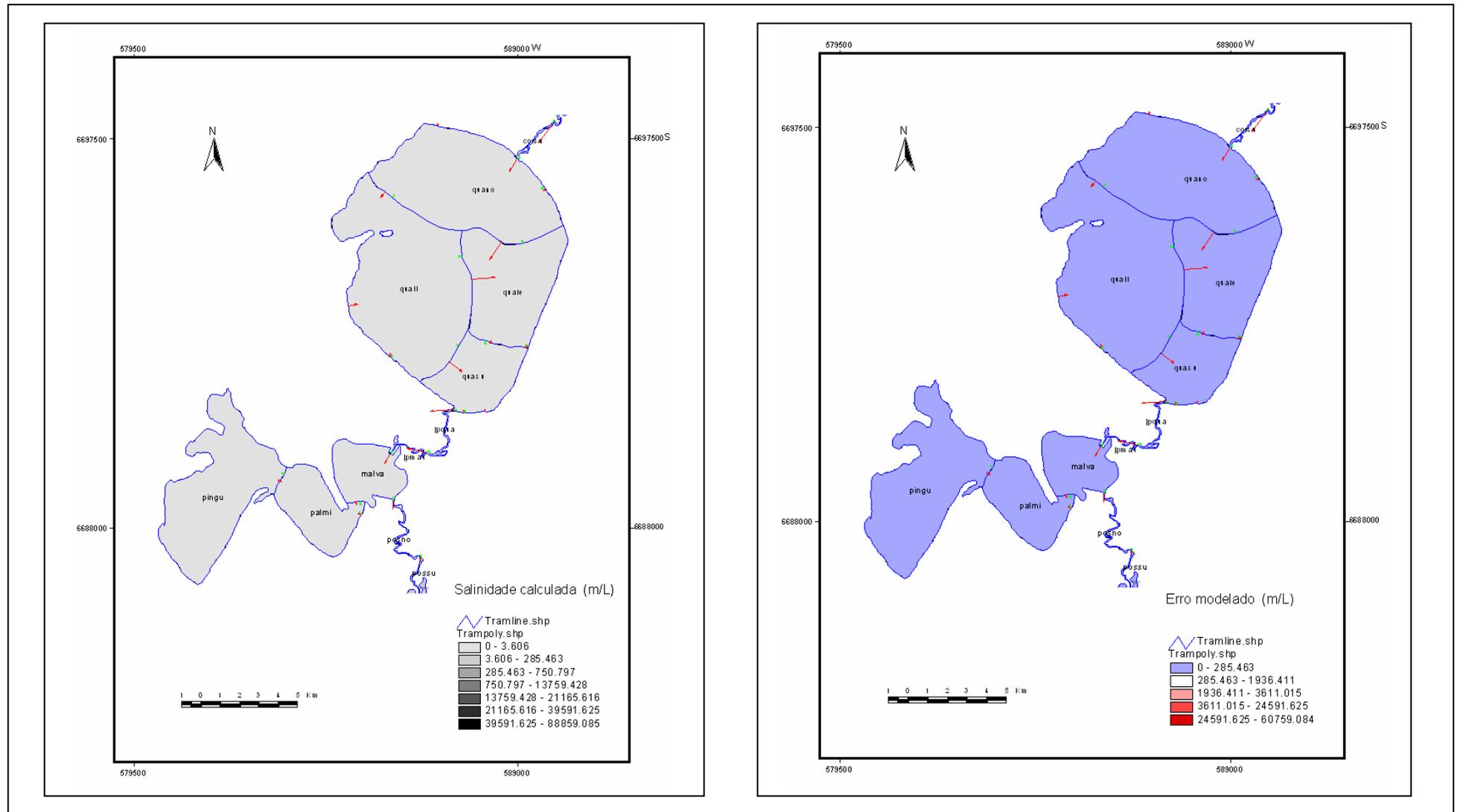


FIGURA 55 – SALINIDADE MODELADA E ERRO MODELADO NO RIO DOS POSTES, LAGOAS PINGUELA, PALMITAL E MALVAS, CANAL JOÃO PEDRO E LAGOA DOS QUADROS

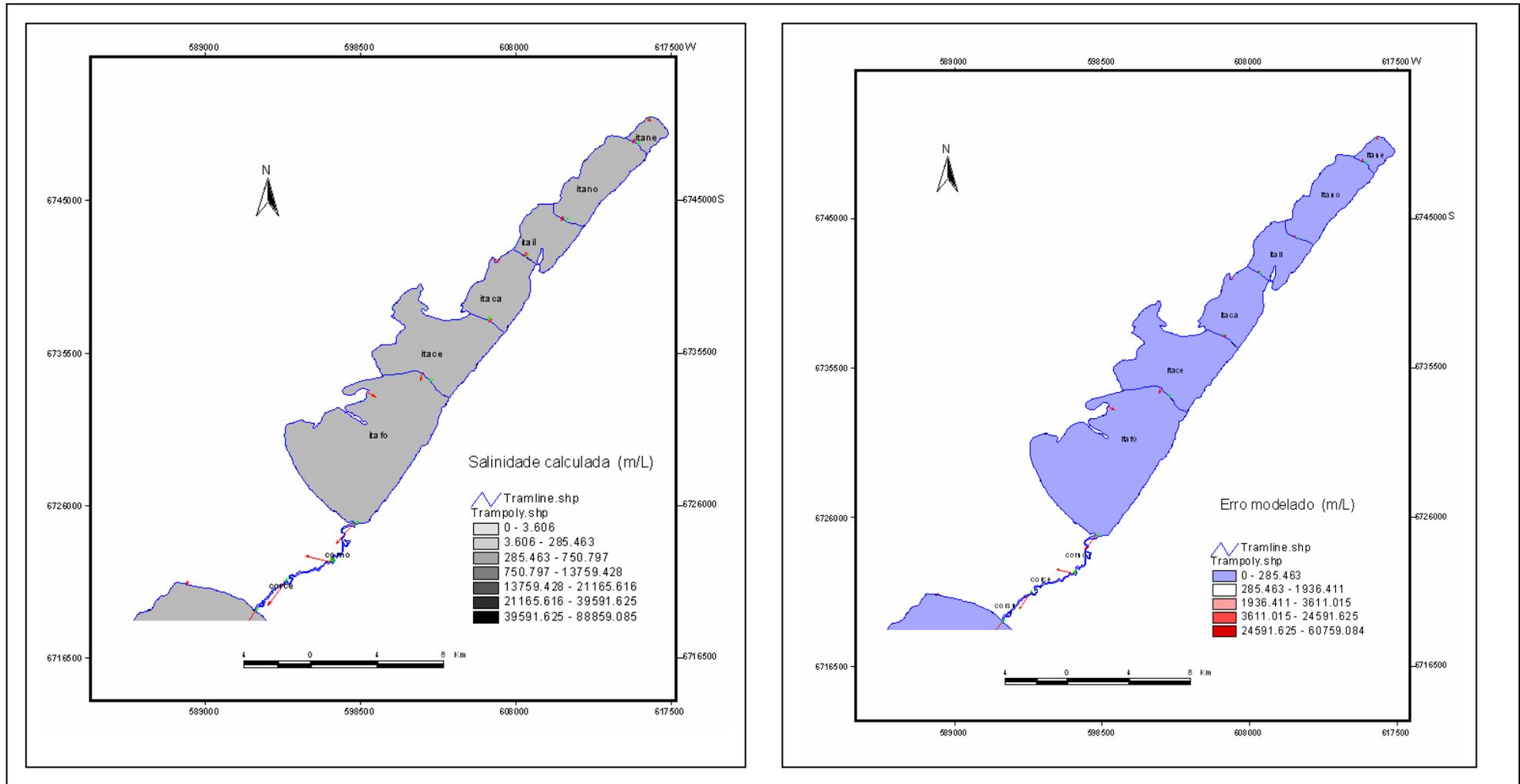


FIGURA 56 – SALINIDADE MODELADA E ERRO MODELADO NO RIO DOS CORNÉLIOS E NA LAGOA ITAPEVA

Outro resultado bastante interessante foi o encontrado na Lagoa do Passo, onde se pode observar a propagação de sais. Esta lagoa é considerada um ecossistema dulcícola, com salinidade medida de 0 ‰, em todas as campanhas realizadas pela FEPAM. No entanto, dados da Estação de Tratamento de Água da CORSAN (ETA), que monitora diariamente teores de cloretos, entre outros parâmetros, atestam a recorrente intrusão salina neste corpo de água. Na forte estiagem ocorrida em 2005 no Estado, a captação neste manancial precisou ser interrompida, em virtude dos níveis de cloretos muito acima do permitido (figura 57). Esta situação não é rara no contexto em foco, conforme o colocado no capítulo 3. Mesmo assim, inexistente um monitoramento eficiente e sistemático da intrusão salina nos corpos de água da bacia em pauta.

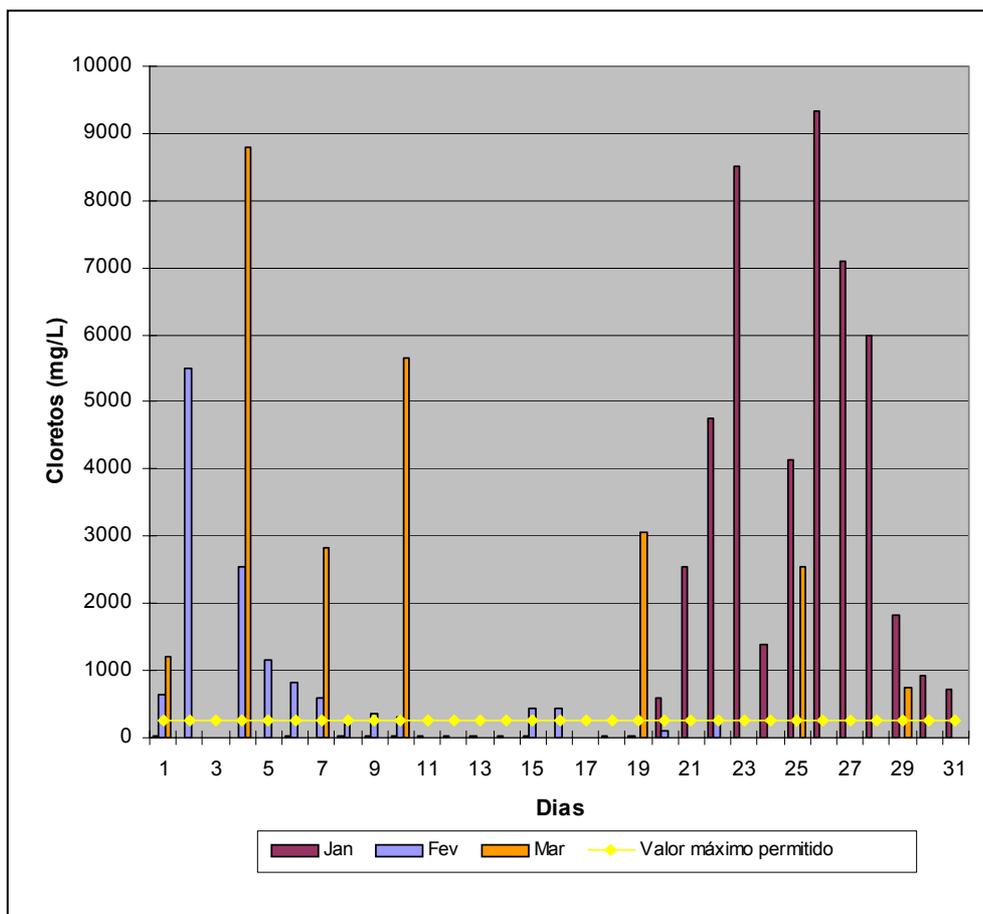


FIGURA 57 – GRÁFICO DOS TEORES DE CLORETOS ENCONTRADOS NO VERÃO DE 2005, ESTAÇÃO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CORSAN, LAGOA DO PASSO

Uma questão importante na avaliação dos resultados é que o programa divergiu ao alcançar uma concentração superior a 53 ‰. Para este parâmetro de controle do Balance foi definido o limite de 50 ‰, consoante indicação de Hellweger (1997). Portanto, esta divergência atestou uma instabilidade numérica no modelo, motivada pelo tempo estabelecido (24h) que foi considerado muito longo para a resposta de pelo menos um segmento. O autor explica que isto ocorre, porque o segmento tem uma fronteira através da qual sai ou entra massa em larga taxa. Isto provoca uma diminuição ou um aumento da concentração nesta linha de interface, antes que na outra borda do segmento haja tempo para ajustar o fluxo de massa. É necessário lembrar que o modelo é preparado para condições médias anuais.

Para se tentar resolver este problema, se reduziu o tempo para 12 h, segundo o sugerido por Hellweger (1997). No entanto, isto não funcionou para o modelo de segmentos definido nesta tese, que é bem mais complexo do que o simulado pelo autor. Assim, acredita-se que a instabilidade numérica apresentada esteja associada ao segmento de pior resultado (*trafoz*).

Tendo-se em conta estas limitações e a título de um ensaio sobre o potencial do método para viabilizar uma gestão integrada entre recursos hídricos e costeiros, foram simulados dois cenários. Para tal, definiu-se a Lagoa do Passo como o corpo aquoso a ser avaliado, em face da sua suscetibilidade à intrusão salina e pelo fato de ser um manancial utilizado para dois importantes usos consuntivos na bacia, o abastecimento público e a irrigação. As alterações foram processadas apenas nos fluxos, não se modificando os demais dados.

Assim, para o cenário 1 se estabeleceu aumentar as demandas de água para a orizicultura no canal principal do Rio Tramandaí na ordem de 50%. Isto é feito diretamente na tela do Balance através de um comando. A primeira rodada, após esta mudança, não produziu efeito na lagoa, mas diminuiu a concentração no canal do rio, o que pode estar associado a uma maior dispersão de sais na linha de fronteira para a irrigação. No modelo, esta linha é aberta, denotando a saída de fluxo do sistema. A continuidade deste processo, ao longo do tempo, representa um problema para os irrigantes. Ainda neste cenário, foram reduzidas as vazões nos segmentos do Rio dos Postes, que se conecta com a referida lagoa. Isto foi realizado por meio da diminuição da velocidade de fluxo ao longo das linhas, o que resultou nas seguintes vazões: *possu* → *pasno*, 6 m³/s; *passu* → *trano*, 0,73 m³/s. A

nova rodada do programa demonstrou um aumento na concentração salina para a Lagoa do Passo (14,83 ‰ para 15,72 ‰), o que era esperado.

O cenário 2 foi simulado com um aumento nas vazões ao longo do Rio dos Postes e do Rio Tramandaí, da mesma maneira com o procedido no caso anterior, ou seja, elevando-se a velocidade de fluxo entre as linhas. As vazões resultantes apresentaram valores que oscilaram entre 10 m³/s a 24 m³/s. Neste cenário a concentração para a lagoa foi reduzida para 0,3 ‰. As representações com os cenários acima descritos podem ser conferidas nas figuras 58 e 59.

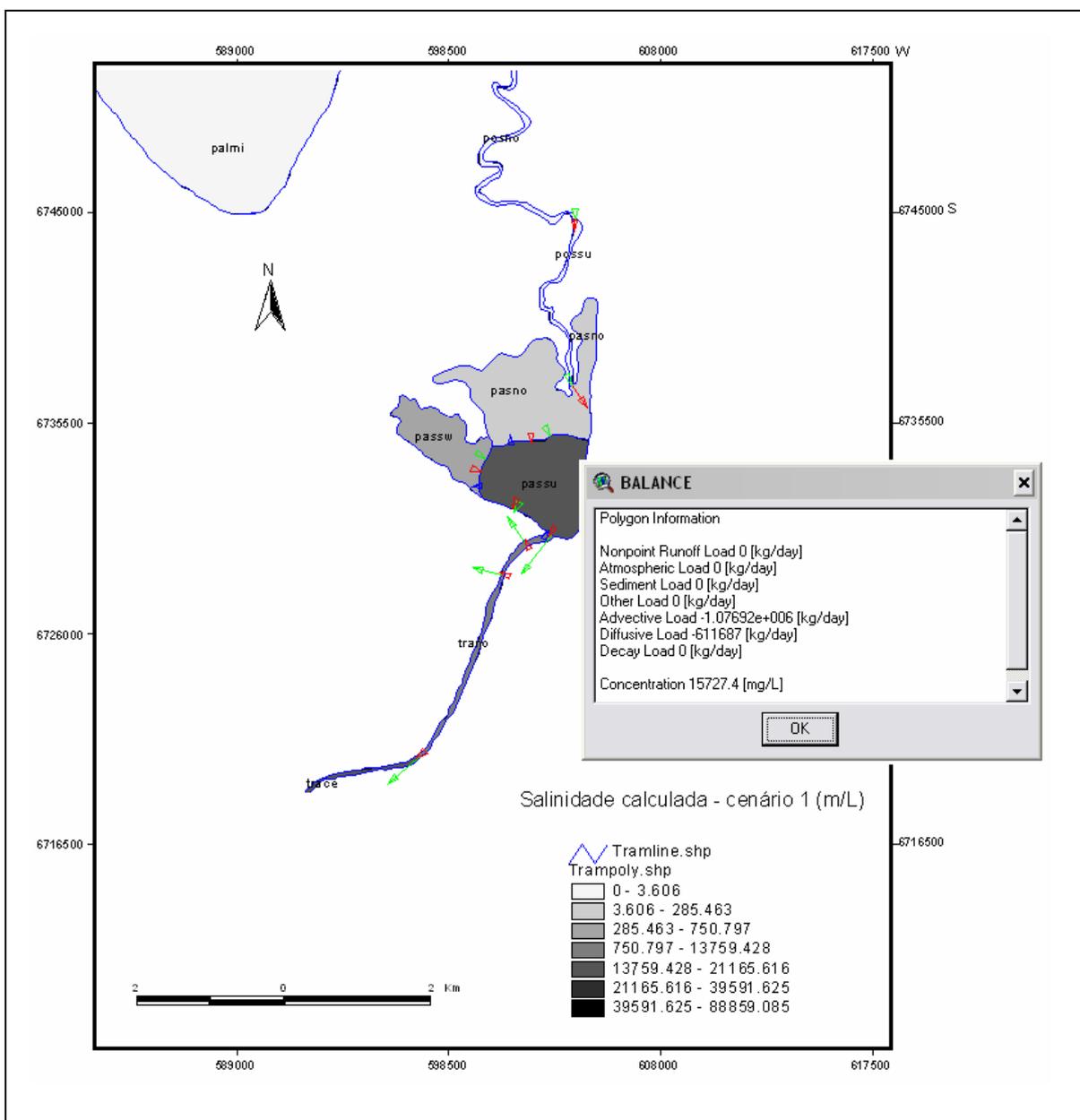


FIGURA 58 - CENÁRIO 1 SIMULADO PARA A LAGOA DO PASSO

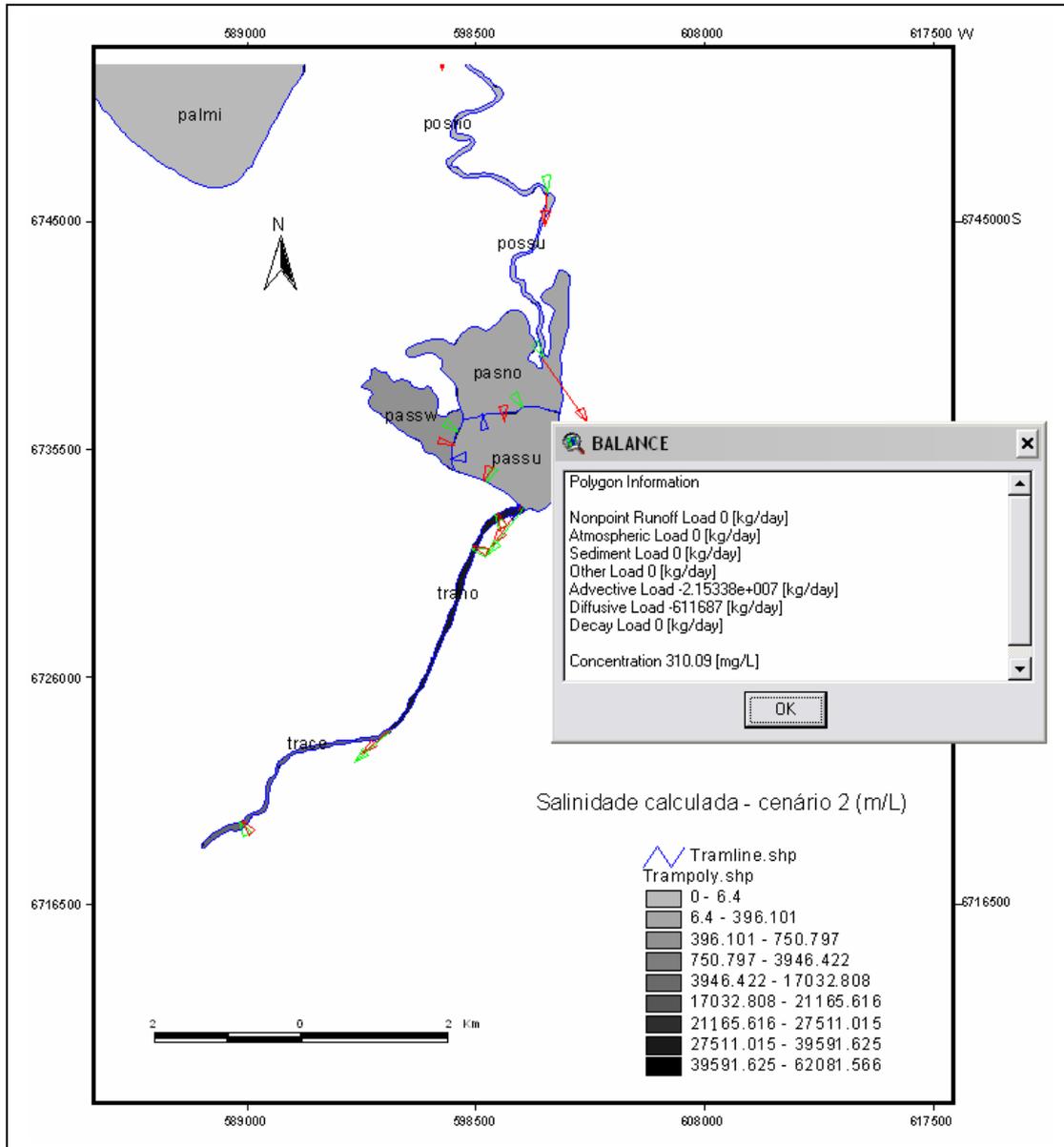


FIGURA 59 – CENÁRIO 2 SIMULADO PARA A LAGOA DO PASSO

6 CONCLUSÃO

6.1 INTRODUÇÃO

As unidades espaciais representadas pela bacia hidrográfica e zona costeira estão decididamente unidas, por meio da sua estrutura física e ecológica. Ambas englobam uma variedade de ambientes, utilizados de forma intensiva pela humanidade. É neste contexto que uma gama de funções sócio-econômicas é mantida, através do provimento de espaços, disponibilidade de recursos e disposição de produtos indesejáveis. A conexão se realiza através dos fluxos naturais de matéria e energia e dos resíduos e demandas decorrentes da ação antrópica. Assim, as bacias produzem impactos na zona costeira mediante alterações na descarga dos rios, na qualidade das águas, no transporte de sedimentos e cheias. A zona costeira, a seu turno, compromete as bacias por meio da incursão das correntes de marés, das tempestades e da sedimentação litorânea.

A gestão destes dois sistemas requer, portanto, um enfoque integrado dos processos naturais que se evidenciam, sobretudo, no seu setor estuarino. É nesta interface que as trocas entre as massas de água doce e salgada imprimem características ecológicas únicas, notabilizadas por uma intensa dinâmica espaço-temporal. Desta forma, o seu gerenciamento, ou seja, o conjunto de ações necessárias ao regramento da prática operacional dos seus múltiplos usos, do controle e da proteção de seus ambientes, precisa superar as barreiras inerentes a uma cultura de concepção ainda muito fragmentada de como administrar os seus bens.

Para tanto, é necessário que as ações se realizem em uma unidade espacial que contemple a maioria das relações de causa e efeito, relativas aos processos naturais e as suas respostas decorrentes das atividades humanas. Neste particular, os estudos ambientais têm distinguido a bacia hidrográfica como ideal para planejamento e intervenção, devido, principalmente, à função integradora da água.

Nesta tese foram consideradas questões do ponto de vista teórico, legal e metodológico intrínsecas à gestão de bacias hidrográficas e da zona costeira. O objetivo foi avaliar de que forma os intercâmbios entre os fluxos de água doce e salgada, em um sistema estuarino, são influenciados por condicionantes do meio

físico ou pela intervenção antrópica e formular cenários que facultem aos diferentes atores sociais uma visão sistêmica do problema. O propósito maior foi favorecer a tomada de decisão, perante eventos hidrológicos extremos, e contribuir para o seu gerenciamento integrado.

A revisão bibliográfica testemunhou que a modelagem matemática tem evoluído nos estudos de bacias situadas na zona costeira, gerando resultados significativos para a avaliação das suas condições quantitativas e qualitativas. As técnicas oportunizadas pelos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) favoreceram a simulação e a representação espacial dos fenômenos correlatos, o que tende a aprimorar importantes instrumentos para o ordenamento costeiro e a gestão de recursos hídricos.

No trabalho desenvolvido para o Plano de Bacia do Rio Tramandaí foi comprovada a complexidade do seu sistema flúvio-lacustre-estuarino, singularizado por dois subsistemas, o norte e o sul, com características hidrológicas distintas, que imprimem condições peculiares ao seu estuário. No seu âmbito, corpos de água lóticos e lênticos se conectam, produzindo efeitos notáveis na sua paisagem como a ocorrência de deltas intra-lagunares, banhados e outros ambientes deposicionais. Todavia, é neste contexto que se observam igualmente os maiores impactos de uma ocupação desordenada, uma vez que mecanismos imprescindíveis à manutenção da disponibilidade de oferta de recursos hídricos e costeiros têm sido perturbados. Isto foi constatado nos problemas relativos a alterações de cursos de água, aceleração de processos erosivos nas encostas do planalto, carência de esgotamento sanitário, práticas agrícolas inadequadas, etc.

Na tentativa de equacionar estes dilemas, averiguou-se que os órgãos públicos, responsáveis pela implementação de instrumentos de gestão, têm atuado ativamente na bacia. Os principais resultados, até então, culminaram com a elaboração do zoneamento ecológico econômico, a formação do comitê de bacia e a consolidação da 1ª Etapa do Plano de Bacia, todos construídos com um esforço de facultar a participação de amplos setores da sociedade.

Entretanto, pontos fundamentais, no que tange ao conhecimento da dinâmica natural da bacia, demonstraram ser um empecilho real a uma boa aplicação e funcionamento dos instrumentos elencados. Eles se referem ao desconhecimento do

comportamento da intrusão salina e à carência de informações hidrometeorológicas atualizadas, capazes de abranger a diversidade de corpos de água da bacia em foco.

Estas dificuldades se refletiram na operação do modelo matemático aplicado na tese. Os resultados, contudo, puderam atestar a relevância de se integrar os fluxos de água continentais e marinhas, mediante a metodologia do balanço de massa, conforme se concluiu neste capítulo.

6.2 SÍNTESE DOS RESULTADOS

Os resultados produzidos através do modelo de balanço de massa selecionado permitiram que se avaliasse a distribuição espaço-temporal da salinidade no sistema simulado. A veracidade dos mapas gerados pôde ser examinada por meio de dados existentes na bacia.

O resultado da salinidade modelada considerado satisfatório, tendo-se em conta as limitações dos dados disponíveis para a alimentação do modelo, foi atingido após o programa ter divergido com uma concentração de 53,9 mg/L. Da sua avaliação se constatou que os maiores erros foram encontrados no canal da desembocadura, dividido em três partes. O mais significativo foi observado no primeiro segmento do canal, que representa o polígono que encerra o balanço. Como ele é um corpo de água pequeno, raso e extremamente suscetível à dinâmica estuarina, a sua segmentação acabou gerando uma instabilidade numérica no modelo.

Os melhores resultados, por sua vez, foram computados no subsistema sul, onde se registram os menores aportes de água doce e a hidrodinâmica é menos intensa que a comparada ao subsistema norte. Os segmentos da Laguna de Tramandaí igualmente responderam de forma aceitável à modelagem, o que comprova a qualidade dos respectivos dados de entrada. Para a Laguna do Armazém, que é mais rasa e apresenta uma morfologia mais simples e superfície de fundo plana, o erro superou o esperado. Isto pode estar relacionado às características mencionadas e também a uma concentração inicial muito elevada que lhe foi atribuída.

Um resultado importante para o contexto em pauta foi encontrado a partir das simulações na Lagoa do Passo, onde se pode constatar a propagação de sais no

interior do seu segmento mais ao sul. As águas desta lagoa são muito utilizadas para o abastecimento público e para a irrigação. Eventos de intrusão salina já provocaram uma longa interrupção no abastecimento público para municípios muito procurados por ocasião do veraneio, provocando transtornos para a população abastecida com as águas deste corpo hídrico.

Assim, considerando-se a relevância desta lagoa, foram simulados dois cenários a fim de se testar o potencial do método como ferramenta de apoio à gestão integrada de recursos hídricos e costeiros. O primeiro cenário foi estabelecido, inicialmente, pelo aumento simples de 50% nas demandas de água para a orizicultura no canal principal do Rio Tramandaí, o que acabou não repercutindo sobre os níveis de salinidade computados para a lagoa. No entanto, se observou que reduziu a concentração no canal do rio. Isto talvez possa ser atribuído a uma maior dispersão de sais na linha de fronteira para a irrigação, o que, ao longo do tempo, representará um problema para os irrigantes. Outra modificação feita neste cenário foi a redução das vazões nos segmentos do Rio dos Postes. O resultado provocou um aumento na concentração salina para a Lagoa do Passo de 14,83 ‰ para 15,72 ‰.

Para o segundo cenário foi definido um aumento nas vazões ao longo do Rio dos Postes e do Rio Tramandaí. O resultado atestou que a concentração para a Lagoa do Passo foi reduzida para 0,3 ‰.

6.3 A AVALIAÇÃO DO MÉTODO

O método aplicado nesta tese se baseou em um modelo de balanço de massa para um estuário ideal de diferenças finitas. Logo, foi necessário assumir simplificações que representam uma situação idealizada e não encontrada na natureza, conforme explicitado no capítulo 4 desta tese.

Apesar das restrições inerentes à modelagem e, notadamente, à qualidade dos dados disponíveis para alimentar o modelo, o método utilizado foi capaz de atender de maneira satisfatória a quase totalidade dos objetivos propostos. Limitações importantes ocorreram, sobretudo, nas simulações da intrusão salina nos canais do delta e da barra do Rio Tramandaí, motivadas, possivelmente, pela precariedade de dados de entrada e pela segmentação utilizada, consoante o colocado anteriormente.

O balanço de massa realizado, entretanto, foi capaz de modelar fluxos de água doce e salgada que interagem no modelo. Além disto, permitiu que se previsse a concentração de salinidade com um erro admissível na maioria dos segmentos, segundo as recomendações encontradas em Hellweger e Maidment (1997).

O trabalho desenvolvido em ambiente de SIG, por outro lado, facilitou uma série de ações. Ele possibilitou a elaboração de cálculos, como a do volume do coeficiente de dispersão (ep), e facultou a geração de mapas que espacializaram a salinidade modelada e o erro modelado. Desta maneira, os polígonos que precisavam de ajustes foram identificados e puderam ser reorganizados diretamente na tela do computador. Os resultados também foram passíveis de serem apresentados por meio de tabelas, a partir das quais o percentual de erro da modelagem pode ser conferido.

De acordo com o advertido por Hellweger (1997), foi constatado que os cálculos realizados automaticamente pelo programa não eliminaram a necessidade de se verificar e modificar manualmente os dados que alimentam o modelo. Portanto, o conhecimento da dinâmica do sistema simulado é crucial para a apropriada manipulação e interpretação dos resultados da modelagem.

Cabe destacar que a utilização do modelo das diferenças finitas, representado pela segmentação das lagoas e canais, constituiu um avanço para a estimativa das trocas de matéria entre oceano e continente no contexto avaliado. Isto pode ser conferido à medida que extensas lagoas, como a Itapeva e a dos Quadros, não foram tratadas como um corpo aquoso uniforme. A sua divisão em segmentos possibilitou capturar, à medida do possível em decorrência dos dados que alimentaram o modelo, efeitos das descargas dos rios e da retirada de água para o atendimento de usos como abastecimento e irrigação.

Algumas aplicações práticas da metodologia desenvolvida na tese para a gestão integrada podem ser distinguidas. Uma delas se refere aos dados oficiais da rede de monitoramento da qualidade da água. A modelagem evidenciou a necessidade de reavaliar a seqüência de acompanhamento da bifurcação da intrusão salina nos subsistemas sul e norte do estuário, a fim de diminuir algumas distorções observadas no trabalho e comentadas nos capítulos 3 e 4. O órgão ambiental tem, assim, importantes indicativos para aprimorar o monitoramento

qualitativo nas bacias costeiras do Estado, revendo procedimentos e localização de pontos de coleta, especialmente nas lagoas anteriormente referidas.

A integração de importantes instrumentos de controle, como o licenciamento ambiental e a outorga pelo uso da água, também deverá ser beneficiada. Os possíveis impactos na disponibilidade hídrica de intervenções estruturais, como a instalação de barragens, eclusas ou sistema de bombas para a irrigação podem ser mais bem dimensionados, considerando também o método do balanço de massa.

As informações espacializadas e disponibilizadas para a sociedade, por outro lado, podem contribuir para uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos e costeiros da bacia. Usuários da água comprometida pela intrusão salina, como os irrigantes, o órgão responsável pelo abastecimento de água, os representantes do turismo e os administradores públicos poderão se preparar para uma situação desfavorável, diminuindo os efeitos negativos do fenômeno. Isto implica, necessariamente, em racionalizar o uso da água e do solo, buscando visualizar a bacia hidrográfica como um todo. De outra parte, o comitê de bacia terá mais elementos para informar e organizar seus membros, dirimindo conflitos pelo uso da água, uma vez que os pescadores também dependem da entrada periódica da intrusão salina nas lagoas para viabilizar a pesca.

Os corpos de água do sistema lagunar, por sua vez, igualmente necessitam deste intercâmbio com a água salgada, que é primordial à manutenção de comunidades aquáticas que dependem destes fluxos para a sua reprodução. Neste particular, a cooperação com os múltiplos usuários da água é imprescindível. Aliás, este é também um dos princípios da gestão costeira, ou seja, a construção e manutenção de mecanismos participativos (Art. 5º: Decreto 5.300/2004). Para tanto, o papel do pesquisador é essencial, à medida que os resultados do seu trabalho são publicizados de maneira inteligível e acessível para a população da bacia, favorecendo, então, a escolha de estratégias que compatibilizem a diversidade de usos com a proteção ambiental.

É importante considerar que a legislação faculta ao comitê de bacia poder deliberativo, como o de aprovar programas anuais e plurianuais de investimentos em serviços e obras de interesse para a sua bacia. Para tanto, a base são os estudos levantados no respectivo Plano de Bacia, que este tem a atribuição de aprovar (Art.

19, Lei 10350/1994). Logo, a participação social está definitivamente contemplada na gestão, precisando do conhecimento técnico-científico para ser qualificada.

6.4 SUGESTÃO PARA ESTUDOS FUTUROS

A gestão integrada de bacias hidrográficas e da zona costeira é um desafio para o administrador público, para os técnicos, para os cientistas e para a comunidade que utiliza e compartilha os seus recursos. Do ponto de vista legal, os avanços são notáveis. A legislação está consolidada e incorpora os princípios básicos para uma gestão co-responsável, descentralizada e participativa.

Há, contudo, uma lacuna importante a ser preenchida, que se resume na internalização do preconizado pela própria legislação por parte, principalmente, daqueles que tomam as decisões. Isto se tem refletido na destinação de investimentos concretos para se operacionalizar a gestão e construir e consolidar boas práticas que melhorem a relação sociedade-natureza.

As metodologias evoluíram, se refinaram e estão buscando incorporar, com as inerentes limitações é claro, o enfoque sistêmico. Neste sentido, modelos só são ferramentas eficientes quando alimentados com um conjunto de dados confiáveis e testados mediante o conhecimento do mundo real.

Tendo-se isto em conta, para a Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí são propostas as seguintes ações:

1. Estudar o comportamento da intrusão salina, de forma a dimensionar os seus efeitos na disponibilidade hídrica dos dois subsistemas da bacia.
2. Efetuar um amplo levantamento batimétrico, que abranja as principais lagoas e canais dos dois subsistemas, a fim de se possibilitar uma melhor avaliação dos fluxos de água doce e salgada no seu interior, assim como dos processos naturais e antrópicos relacionados à sua colmatagem.
3. Implementar uma rede de monitoramento hidrometeorológico que contemple a bacia como um todo, oportunizando uma aquisição permanente e qualificada de dados para estimar eventos climáticos e hidrológicos, bem como seus efeitos nos recursos hídricos e costeiros.
4. Ampliar e manter uma rede de monitoramento sistemático da qualidade de água, de maneira a agregar a diversidade de usos na bacia e permitir um

acompanhamento efetivo dos impactos das atividades humanas nos seus recursos hídricos.

Estas ações são somente algumas que carecem de ser assumidas em um processo integrativo de gestão. Isto está além do conhecimento ou do desejo dos cientistas de atenderem as urgentes demandas da sociedade, que divide um espaço cada vez mais degradado e sofre as pressões de setores atrasados da economia.

Atualmente, se tem percebido uma atuação intensa de agentes econômicos no sentido de flexibilizar a legislação que rege o meio ambiente. Neste particular, a falta de informações qualificadas é um grande aliado, pois inibe a ação de pesquisadores na busca de soluções ou de estratégias que dêem conta da crise sócio-ambiental.

Por outro lado, a promoção reiterada de levantamentos e diagnósticos, sem uma base representativa de dados, tende a desacreditar as ações do Poder Público perante a sociedade, que quer medidas factíveis para a compatibilização de conflitos. A organização da sociedade em comitês e colegiados, ainda que legítima e meritória, não basta para viabilizar a gestão. É necessário que os órgãos públicos assumam na íntegra as suas responsabilidades. Isto é fundamental para motivar e mobilizar uma permanente participação social.

Apesar de toda a contradição observada no que tange à aplicação dos instrumentos previstos em lei, o dilema da integração tem se firmado como algo possível de ser atingido. Um caminho apontado nesta tese é o da aplicação de modelos que auxiliem a compreensão de processos físicos que ocorrem em estuários e simulem cenários representativos das respostas destes sistemas aos diferentes usos da água. Existe, portanto, um apreciável potencial nos modelos de balanço de massa, não obstante a demanda de dados que exige o seu funcionamento ideal. O aprimoramento deste método representará, então, um avanço para a gestão de recursos hídricos e costeiros.

REFERÊNCIAS

- ABELL, J. T. Giving a damn about DOM in the subtropical North Pacific: Quantifying the role of dissolved organic matter in the cycling of carbon, oxygen and nutrients in the upper ocean. A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy University of Washington. Program Authorized to Offer Degree: School of Oceanography. 2003. 185p.
- ANELE, L. P.; LAYDNER, C.; AGUIAR, M. E. G. de; SILVA, M. C. L. da e MARCOS, M. E. de M. Zoneamento ecológico-econômico e Planos Diretores: Capacitação dos municípios para a gestão costeira. *In: II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa*, Anais eletrônicos [s/n]. 2003.
- BARLOW, M. e CLARKE, T. Blue Gold: the battle against corporate theft of the world's water. Toronto: Stoddart Publishing Co. 2002, 278p.
- BONETTI FILHO, J. Transporte de sedimentos por suspensão nas proximidades da Barra de Cananéia – SP. Vol. 1. Dissertação de Mestrado, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. 1995.
- BOWEN, R. E. e RILEY, C. Sócio-economic indicators and integrated coastal management. *In. Ocean & Coastal Management (ECOS)*. University of Massachusetts, Boston: (46). 2003. p. 299-312.
- CÁNEPA, E. e GRASSI, L. A. T. A Lei das Águas no Rio Grande do Sul, no caminho do desenvolvimento sustentável? *In: Revista Ciência e Ambiente*. Universidade Federal de Santa Maria. Julho/Dezembro de 2000, p.133-152.
- CHOMENKO, L. Influência da salinidade na distribuição de moluscos do gênero Littoridina na área correspondente ao Litoral Norte da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1981. 205p.
- DNER/IME. Estudo de Circulação D'água e de Dispersão de Poluentes no Complexo Lagunar Sul de Santa Catarina. Projeto de ampliação da capacidade rodoviária das ligações com os países do Mercosul Br -101 Florianópolis (SC) - Osório (RS). Projeto Básico Ambiental. Relatório Final. Convênio DNER/IME. Junho/2000, 70p.

ECOPLAN Engenharia Ltda. Avaliação da disponibilidade hídrica superficial e subterrânea do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, englobando todos os corpos hídricos que drenam para o Rio Tramandaí. Relatório Técnico Final. Vol. III, maio/1997. 1997. 263p.

EIGER, S. Qualidade da água em rios e estuários. *In: Hidrologia ambiental*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. ABRH. 1991. p.69-163.

EPA - United States Environmental Protection Agency. Handbook for developing watershed plans to restore and protect our waters. EPA. Office of Water. Nonpoint Source Control Branch. Washington. October 2005, 414p.

ESSINK, G. H. P. O. Improving fresh groundwater supply – problems and solutions. *In: Ocean & Coastal Management (ECOS)*. University of Massachusetts, Boston: (44). 2001. p. 229-449.

FAUSTO, I. da V., FONTOURA, N. F. & WÜRDIG, N. L. Seasonal Recruitment Of The Pink-Shrimp *Litopenaeus paulensis* Post-Larvae to the estuary of Tramandaí, Southern Brazil. [no prelo].

FEPAM. Diretrizes ambientais para o desenvolvimento dos municípios do Litoral Norte. *In: Cadernos de Planejamento e Gestão*. FEPAM/Programa de Gerenciamento Costeiro: Porto Alegre: 1. 2000. 96p.

FILET, M. e SENA, L. B. R. Gerenciamento costeiro e gerenciamento de bacias hidrográficas: a experiência de São Paulo. *In: Interfaces da Gestão de Recursos Hídricos: desafios da Lei das Águas de 1997*/ Héctor Raúl Muñoz, organizador. 2ª ed., Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos. 2000. p. 240-253.

FRIED, J.J. Geographically Based Models for Surface and Estuarine Waters and River/Aquifer Interfaces. *In.: Methods for Assessing Exposure of Human and Non-Human Biota*. Edited by R.G. Tardiff and B. Goldstein @ SCOPE 1991 Published by John Wiley & Sons Ltd. 1991. p.131-150.

FUNDAÇÃO de Economia e Estatística. Plano integrado para o desenvolvimento o Litoral Norte do Rio Grande do Sul: Diagnóstico Geral. Porto Alegre: FEE, Vol. 3. 1975, 283p.

GUERRA, A. T. G. Dicionário Geológico-Geomorfológico / Antônio Teixeira Guerra. 6ª ed. / revista e atualizada por Ignez Amélia Leal Teixeira Guerra e Antônio José Teixeira Guerra. Rio de Janeiro: IBGE, 1980, 446p.

HASENACK, H. e FERRARO, L. W. Considerações sobre o clima da região de Tramandaí, RS *In: Pesquisas*. Porto Alegre: **22**: 1989. 53-70.

HASHIM, N. B. Watershed, Hydrodynamic, and Water Quality Models for total maximum daily load St. Louis Bay Watershed Mississippi. A Dissertation Submitted to the Faculty of Mississippi State University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in Civil Engineering in the Department of Civil Engineering. Mississippi State, Mississippi. 2001.259p.

HASSE, J. F.; LAYDNER, C.; BARBOSA, N. S. F. e LIMA, J. M. F. Adequação das atividades de Mineração de Areia às diretrizes do zoneamento ecológico-econômico no litoral norte do Rio Grande do Sul. *In: Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa*, Anais eletrônicos [s/n]. 2003.

HASSE, J. F.; SILVA, M. L. C. e COBALCHINI, M. S. Evolução do Processo de Enquadramento na gestão de recursos hídricos – Experiências no Rio Grande do Sul. *In: IV Dialogo Interamericano de Gerenciamento de Água*, Foz do Iguaçu, Anais eletrônicos [s/n]. 2001.

HELLWEGER, F. & MAIDMENT, D. CCBPARAM, Corpus Christi Bay Water Quality Model Parameter Estimation. 1997. Disponível em: <<http://www.ce.texas.edu>>. Acesso em: 25 junho 2004, 22p.

HELLWEGER, F. BALANCE – Map based surface water quality model. GISHydro97 CD Version. 1997. 20p.

HELLWEGER, F. CCBFLOW, a steady state hydrodynamic model of Corpus Christi Bay. Center for Research in Water Resources, The University of Texas. Austin: Center for Research in Water Resources. 1997. Disponível em: <<http://www.ce.texas.edu>>. Acesso em: 22 junho 2004, 7p.

HURET, M.; DADOU, I.; DUMAS, F.; LAZURE, P. & GARÇON, V. Coupling physical and biogeochemical processes in the Río de la Plata plume. *In Continental Shelf Research*. March-April 2005; 25 (5-6): 629-653

INPH - Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias - Projeto de um canal navegável para o Sistema Lagunar Osório, Imbé e Tramandaí na Região Norte do Estado do Rio Grande do Sul. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias - Divisão de Hidrodinâmica (DIVHID). 1999.

IPCC. Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC/UNEP. 21p.

IPSEN, N., DYHR-NIELSEN, M. & HASSING, J. Linking fresh water resources management and coastal zone management. Draft, October 2002. 14p.

JÖNSSON, B. F. Some concepts of estuarine modelling. Department of Meteorology. Stockholm University. 2005. p.7 -29.

JÖNSSON, B. TWILLEY, R. MANCERA, E. e CASTAÑEDA-MOYA, E. Turnover-Time Estimates in a Tropical Estuary with High Spatial and Temporal Variability. *In Some Concepts of Estuarine Modelling*. Bror Fredrik Jönsson. Universitet Stockholm. 2005. p. 33-50

KAPUSTA, S. C. Estrutura e distribuição espacial da comunidade de meiofauna do complexo estuarino-lagunar Tramandaí-Armazém, RS. Situação de inverno e verão. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2001, 106p.

KAPUSTA, S.C., WURDIG, N.L., BEMVENUTI, C.E. & PINTO, T.K. Spatial and temporal distribution of Nematoda in a subtropical estuary. *Acta Limnol. Bras.*, 18(2):133-144, 2006.

KIMMERER, W.J. Open water processes of the San Francisco Estuary: from physical forcing to biological responses. *San Francisco Estuary and Watershed Science* [online serial]. Vol. 2, Issue 1 (February 2004), Article 1. 142p.

LANNA, A. E. A inserção da gestão das águas na gestão ambiental. *In: Interfaces da Gestão de Recursos Hídricos: desafios da Lei das Águas de 1997*/ Héctor Raúl Muñoz, organizador. 2ª ed., Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos. 2000. p. 75-109.

- LANNA, A. E. Gestão dos recursos hídricos. *In.: Hidrologia: ciência e aplicação*. 2ª ed./organizado por Carlos E.M. Tucci. Porto Alegre: Editora da Universidade: ABRH, 1993, p.727-767.
- LANNA, A. E. Sistemas de Gestão de Recursos Hídricos: análise de alguns arranjos institucionais. *In: Ciência e Ambiente/Universidade Federal de Santa Maria*. UFSM. Santa Maria: 21. 2000.p. 21-56.
- LÓPEZ, A. e MORALES, C. Integrated management of river basins in the Mediterranean region: sustainable water for nature and food. IUCN Mediterranean Office – The World Conservation Union. 2002. 42p.
- MCGINN, A. P. Traçando uma nova rota para os oceanos.*In: Estado do Mundo 1999/Lester Brown, Christopher Flavin, Hilary French; Tradução de Henry J. Mallet – Salvador:Uma Ed. 1999. p.81-99.*
- MENDES, C. A. B. Integração de modelos hidrológicos e sistemas de informações geográficas. *In. Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Volume 1, n.1, Jan/Jun 1996, p.47-66.
- MIALL, E. D. Fluvial sedimentology. Canadian Soc. Petrol. Geol. Calgary, 2 Niels Ipsen and Mogens Dyhr-Nielsen, UCC-Water.1992.
- MORAES, A. C. R. Contribuições para a gestão da zona costeira do Brasil: elementos para uma geografia do litoral brasileiro. São Paulo: Hucitec; Edusp. 1999. 229p.
- NATIONAL Estuary Program. Corpus Christi Bay in Texas. *In Estuaries on the Edge: The Vital Link Between Land and Sea*. National Estuary Program, 2004, p.89-97.
- NIMMER, E. Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE. 1979. 422p.
- NORMANDE, E. e MARQUES, R.C.C. Complexos estuarino-lagunares: questões para o gerenciamento integrado e participativo. *In: Ministério do Meio Ambiente. Agência Nacional de Águas. Rodrigo Flecha Ferreira Alves e Giordano Bruno Bomtempo de Carvalho (organizadores). Experiências de Gestão de Recursos Hídricos*. Brasília: MMA/ANA. 2001. p.165-184.
- ODUM, E. P. Ecologia. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S.A. 1983, 434p.
- PAP. Integrated Coastal Area and River Basin Management (ICARM). Disponível em: <<http://www.pap-thecoastcentre.org>> . Acessado em 23 janeiro 2004.

POLETTE, M., DIEHL, F. L., DIEHL, F. P., SPERB, R. M., SCHETTINI, C. A. F. & KLEIN, A. H. de F. Gerenciamento costeiro integrado e gerenciamento de recursos hídricos: como compatibilizar tal desafio. In: Interfaces da Gestão de Recursos Hídricos: desafios da Lei das Águas de 1997/ Héctor Raúl Muñoz, organizador. 2ª ed., Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos. 2000. p.221-238.

PROFILL Engenharia e Ambiente Ltda. [a] 1ª Etapa do Plano de Bacia do Rio Tramandaí. Relatório Temático A1 – Diagnóstico da Dinâmica Social da Bacia. Porto Alegre. Março de 2004. 76p.

PROFILL Engenharia e Ambiente Ltda. [a] 1ª Etapa do Plano de Bacia do Rio Tramandaí. Relatório Temático A2 – Diagnóstico das Disponibilidades Hídricas. Porto Alegre. 2005. 325p.

PROFILL Engenharia e Ambiente Ltda. [b] 1ª Etapa do Plano de Bacia do Rio Tramandaí. Relatório Temático A3 – Diagnóstico e Prognóstico das Demandas Hídricas. Porto Alegre. 2005. 325p.

PROFILL Engenharia e Ambiente Ltda. [c] 1ª Etapa do Plano de Bacia do Rio Tramandaí. Relatório Temático A4 – Organização e condução da mobilização social. Porto Alegre. 2005. 429p.

PROFILL Engenharia e Ambiente Ltda. [b]1ª Etapa do Plano de Bacia do Rio Tramandaí. Relatório Temático A5 – Base cartográfica. Porto Alegre. Julho de 2004. 26p.

PROFILL Engenharia e Ambiente Ltda. [d] 1ª Etapa do Plano de Bacia do Rio Tramandaí. Relatório da Fase A - Consolidação do diagnóstico do balanço hídrico. Porto Alegre. 2005. 135p.

PROFILL Engenharia e Ambiente Ltda. [e] 1ª Etapa do Plano de Bacia do Rio Tramandaí. Relatório Temático B1 - Alternativas de compatibilização das disponibilidades quantitativas e demandas hídricas. Porto Alegre. 2005. 95p.

PROFILL Engenharia e Ambiente Ltda. [f] 1ª Etapa do Plano de Bacia do Rio Tramandaí. Relatório Temático B2 - Alternativas de compatibilização das disponibilidades qualitativas e demandas hídricas e enquadramento dos recursos hídricos. Porto Alegre. 2005. 110p.

PROFILL Engenharia e Ambiente Ltda. [g] 1ª Etapa do Plano de Bacia do Rio Tramandaí. Relatório Temático B3 – Mobilização social para compatibilização e articulação e proposta de enquadramento. Porto Alegre. 2005. 51p.

PROFILL Engenharia e Ambiente Ltda. [h] 1ª Etapa do Plano de Bacia do Rio Tramandaí. Relatório da Fase B – Consolidação das atividades da fase de enquadramento dos recursos hídricos. Porto Alegre. 2005. 185p.

QUENZER, A. M. A GIS assessment of the total loads and water quality in the Corpus Christ Bay System. Thesis Bureau of Engineering Researche. The University of Texas at Austin, 1998. 253p.

RESOURCE Analysis. Conflict management and consensus building for integrated coastal management in Latin America and Caribbean. Delft, The Netherlands. Frank Rijsberman, editor. 1998. 51p.

RUNKEL, R. L. One-Dimensional Transport with inflow and storage (Otis): a solute transport model for streams and rivers. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report. 1998. 80p.

SANTOS, E. R. O. dos. A gestão da água em ambientes costeiros: uma contribuição à análise da disponibilidade hídrica das sub-bacias das lagoas do Morro do Forno e do Jacaré, Litoral Norte, RS. Florianópolis. Dissertação de Mestrado em Geografia, Departamento de Geociências do Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Santa Catarina. 2000. 215p.

SCHUBART, H. O. R. O zoneamento ecológico-econômico e a gestão de recursos hídricos. *In: Interfaces da Gestão de Recursos Hídricos: desafios da Lei das Águas de 1997/* Héctor Raúl Muñoz, organizador. 2ª ed., Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos. 2000. 155-175.

SECRETARIA da Agricultura e Abastecimento. Macrozoneamento agroecológico do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura e Abastecimento, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional da Pesquisa do Trigo, vol. I. 1994, 307p.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. *In.: Hidrologia: ciência e aplicação.* 2ª ed./organizado por Carlos E.M. Tucci. Porto Alegre: Editora da Universidade: ABRH, 1997, p.35-51.

SOARES, J. V. Água superficial, Hidrógrafa e o Processo de Runoff. *In.*: Introdução a Hidrologia de Florestas. 2004, p.45-70. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/~camilo/hidro/pdf/cap7.pdf>>. Acessado em 23 janeiro 2007.

TABAJARA, L. L. Aspectos hidrodinâmicos e sedimentologia do Sistema Lagunar Estuarino de Tramandaí, RS. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1994. 197p.

TABAJARA, L. L. e DILLENBURG, S. Batimetria e sedimentos de fundo da Laguna de Tramandaí, RS. *In: Notas Técnicas*. Porto Alegre: **10**:21-33. 1997.

THOMANN, R. V. e MUELLER, J. A. Principles of surface water quality modeling and control. Harper Collins Publishers Inc., New York. 1987, 644p.

TOMAZELLI, L. J. e VILLWOCK, J. A. Geologia do sistema lagunar holocênico do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil. *In: Pesquisas*. Porto Alegre: 18(1). 1991. p.13-24.

TOMAZELLI, L.J. Contribuição ao estudo dos sistemas deposicionais holocênicos do nordeste da Província Costeira do Rio Grande do Sul, com ênfase no sistema eólico. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1990. 220p.

TUNDISI, J. G. Limnologia e gerenciamento integrado de recursos hídricos: avanços conceituais e metodológicos. *In: Ciência e Ambiente/Universidade Federal de Santa Maria*. UFSM. Santa Maria: 21. 2000. p. 9-20.

UCC-Water. FreshCo Partnership on linking Integrated Water Resources Management and Integrated Coastal Zone Management. UCC-Water/UNEP/DHI. 2002. 7p.

UN Millennium Project 2005. Investing in Development: A Practical Plan to Achieve the Millennium Development Goals. New York, 2005, 356p.

UNEP/MAP/PAP. Conceptual Framework and Planning Guidelines for Integrated Coastal Area and River Basin Management, Split, Priority Actions Programme. 1999. 93p.

VALLINO, J.J. and HOPKINSON JR., C.S. Estimation of dispersion and characteristic mixing times in Plum Island Sound Estuary. *In.: Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 1998. **46**. 333-350p.

VIEIRA, E.F. e RANGEL, S.R. Ambiente lagunar-lacustre. *In: VIEIRA, E.F. e RANGEL, S.R. Planície costeira do Rio Grande do Sul: geografia física, vegetação e dinâmica sócio-demográfica*. Porto Alegre: Sagra, 1988, p.100-125.

VILLIERS, M. de. Água:/ Marq de Villers; tradução José Kocerginsky. Rio de Janeiro: Ediouro. 2002. 457p.

VILLWOCK, J. A. e TOMAZELLI, L. J. Geologia costeira do Rio Grande do Sul. *In: Notas Técnicas*. Porto Alegre: **8**: 1-45. 1995.

WÜRDIG, N. L. Ostracodes do Sistema Lagunar de Tramandaí, RS. Brasil. Sistemática, ecologia e subsídios à paleoecologia. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1984, 338p.