



Revista de Gestão Costeira Integrada -  
Journal of Integrated Coastal Zone  
Management

E-ISSN: 1646-8872

[rgci.editor@gmail.com](mailto:rgci.editor@gmail.com)

Associação Portuguesa dos Recursos  
Hídricos

Loitzenbauer, Ester; Bulhões Mendes, Carlos André  
A dinâmica da salinidade como uma ferramenta para a gestão integrada de recursos  
hídricos na zona costeira: uma aplicação à realidade brasileira  
Revista de Gestão Costeira Integrada - Journal of Integrated Coastal Zone Management,  
vol. 11, núm. 2, 2011, pp. 233-245  
Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos  
Lisboa, Portugal

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=388340133008>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

## A dinâmica da salinidade como uma ferramenta para a gestão integrada de recursos hídricos na zona costeira: uma aplicação à realidade brasileira \*

### *The dynamics of salinity as a tool for integrated water resources management in the coastal zone: an application to Brazilian reality*

Ester Loitzenbauer<sup>@, 1</sup>, Carlos André Bulhões Mendes<sup>1</sup>

#### RESUMO

O estuário, interface entre o deságüe de água fluviais do continente e o oceano adjacente, é caracterizado pelo processo de mistura entre a água doce e a marinha. As atividades humanas, ao utilizar os recursos hídricos, diminuem o fluxo de água doce para os estuários. Essa diminuição, devido à demanda antrópica, pode aumentar a influência da salinidade, comprometendo a disponibilidade hídrica. Como a salinidade é um parâmetro conservativo e que está presente no domínio estuarino, justifica-se utilizar a mesma como um indicador da estrutura do ecossistema estuarino, e como uma ferramenta para a gestão integrada de recursos hídricos na zona costeira. Considerando a influência marinha sobre os recursos hídricos costeiros, a Política Nacional de Recursos Hídricos brasileira (PNRH), prevê que a gestão de recursos hídricos deve ser integrada com a das zonas costeiras e sistemas estuarinos. No entanto, apesar de as relações físicas operarem de forma contínua e integrada, observa-se que os instrumentos de políticas públicas como a de Recursos Hídricos e a de Gerenciamento Costeiro ainda estão fragmentadas e com baixa efetividade em seus resultados. Uma tentativa de preencher esta lacuna surgiu em 2005 com a criação, no âmbito do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, da Câmara Técnica de Integração da Gestão das Bacias Hidrográficas e dos Sistemas Estuarinos e da Zona Costeira. No presente estudo, a dinâmica da salinidade é representada através de um balanço de massa, com o qual foram simulados cenários de escassez hídrica para um estuário hipotético. Com o resultado dos cenários, subsídios técnicos para a gestão são propostos, utilizando os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos e do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro brasileiros. No estuário hipotético analisado, através do balanço de massa, chega-se a uma vazão máxima outorgável de 19,33m<sup>3</sup>/s, a ser dividida entre todos os usuários. Esta vazão é determinada em face à vazão de permanência que deve ser mantida no exutório, de 42,48m<sup>3</sup>/s. A outorga pode ser aplicada de maneira a limitar a demanda, mantendo a vazão necessária para limitar a intrusão salina no exutório. A dinâmica da salinidade também mostra sintonia direta para aplicação no enquadramento dos corpos de água e no zoneamento ecológico econômico costeiro. Para outros instrumentos como a cobrança e os planos de recursos hídricos e de gerenciamento costeiro, a dinâmica da salinidade facilita a integração da gestão, entretanto, sem ser aplicada diretamente. A metodologia proposta se mostrou útil na gestão integrada, sendo um elo entre os instrumentos existentes e as características peculiares das bacias costeiras.

**Palavras-chave:** Gestão Integrada de Recursos Hídricos, Gerenciamento Costeiro, Gestão de Estuários, Salinidade.

@ - Autor correspondente / corresponding author: [ester\\_loi@yahoo.com.br](mailto:ester_loi@yahoo.com.br)

1 - Universidade Federal de Rio Grande do Sul (UFRGS), IPH, Setor de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos. Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91501-970, Caixa Postal 15029, Porto Alegre, RS, Brasil.

\* Submissão: 4 Janeiro 2011; Avaliação: 9 Março 2011; Recepção da versão revista: 22 Março 2011; Aceitação: 14 Abril 2011; Disponibilização on-line: 20 Abril 2011

**ABSTRACT**

Estuaries are the interface between continental runoff and the ocean, as a part of the coastal zone. The main feature of an estuary is the mixing process of fresh and marine waters. By using water resources, human activities decrease the freshwater flow to the estuaries, increasing the saline water intrusion and compromising the availability of freshwater resources in the coastal zone. Therefore, the use of salinity can be justified as an indicator of the performance of coastal and estuarine environments. Considering the marine influence on coastal water resources, the Brazilian Water Resources Policy states that the water resource management must be integrated with estuarine systems and coastal zones. However, despite of the physical relationships operating in a continuous and integrated way in the coastal zone it is observed that the integration of instruments of public policy for water resources and coastal management are fragmented and have low effectiveness. An attempt to fill this gap emerged in 2005 with the creation, within the National Council of Water Resources, of the Technical Board for Integrating Management of Watersheds with Estuary Systems and Coastal Zones. This study proposes the dynamic of salinity as a tool for integrated management of estuarine zone. So, the first step is to describe the estuarine mixing using a mass balance, where the only source of salt is the ocean and the freshwater flow dilutes it. Based on this balance, water scarcity scenarios are simulated for a hypothetical estuary. Four scenarios were tested: the reference mark (representing the current situation), 1 – decrease of 25% in precipitation, 2 – increase of 25% in evaporation, 3 – changes in land use (increasing water demand for irrigation in 50%). The result of the scenarios is employed to propose subsidies for integrated management, using the tools included in the Brazilian Water Resources Policy and the National Coastal Management Plan. In the reference mark, the salinity of 0.5‰ is reached 2786m of the ocean. In other scenarios there is an increasing influence of salinity into the continent, in relation to the reference mark, due to reduced freshwater inflow. The largest intrusion is obtained in the scenario of decreasing of 25% in precipitation, with saline influences up to 3782m. The scenario of increasing water demand for irrigation has saline influence until 3182m. Assuming there is a withdrawal of water for public supply and irrigation in the estuary 3km from the ocean, management measures must be implemented to maintain the maximum salinity of 0.5‰ at this point. The next step for the integrated management of water resources is to examine the legal instruments of the National Water Resources Policy and Coastal Management National Plan in view of the results obtained in the scenarios. The granting of water rights can be limited in order to ensure the water volume needed to control the salt intrusion at the outlet. In the analyzed hypothetical estuary, it was found that the maximum flow that can be granted is 19,33m<sup>3</sup>/s, which must be divided among all users. This value was been reached based on the instream flow that must be maintained in the outfall, of 42,48m<sup>3</sup>/s, aiming to keep the utmost salinity of 0.5‰ 3km from the ocean. The classification water bodies can add the salinity as a parameter. Thus, monitoring of salinity should be done in order to maintain the maximum level. The salinity dynamics also shows direct application into the coastal ecological-economic zoning. For other instruments such as water taxing and water resources and coastal management plans, the salinity dynamics facilitates the integrated management. The proposed methodology proved to be useful in integrated management, as a link between existing instruments and the particular characteristics of the coastal basins.

**Keywords:** Integrated Water Resources Management, Coastal Management, Estuarine Management, Salinity.

**1. INTRODUÇÃO**

A legislação brasileira (Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro II) define a zona costeira como o espaço geográfico de interação do ar, do mar e da terra, incluindo seus recursos ambientais, abrangendo uma faixa marítima e outra terrestre. A faixa marítima compreende as 12 milhas náuticas a partir da linha de base, referentes ao mar territorial (estabelecidas de acordo com a Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar). A faixa terrestre é formada pelos municípios que sofrem influência dos fenômenos ocorrentes na Zona Costeira, a saber, os municípios:

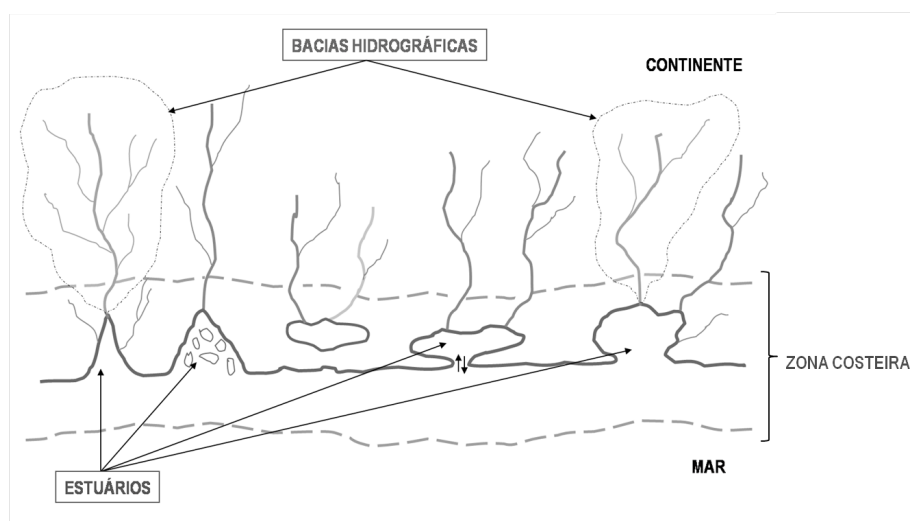
- Defrontantes com o mar;
- Não defrontantes com o mar que se localizem nas regiões metropolitanas litorâneas;
- Contíguos às grandes cidades e às capitais estaduais litorâneas, que apresentem processo de *conurbação*;
- Próximos ao litoral, até 50km da linha de costa, que aloquem, em seu território, atividades ou infra-estruturas de grande impacto ambiental sobre a Zona Costeira, ou ecossistemas costeiros de alta relevância;
- *Estuarinos-lagunares*, mesmo que não diretamente defrontantes com o mar, dada a relevância destes ambientes para a dinâmica marítimo-litorânea; e
- Que, mesmo não defrontantes com o mar, tenham todos os limites estabelecidos com os municípios referidos nas alíneas anteriores.

Nessa área, há uma gradação de ambientes, (continente) Solo → Bacia Hidrográfica → Estuário → Mar (oceano), todos interligados (Figura 1).

O estuário é a interface entre o deságüe fluvial do continente e o oceano adjacente, sendo parte integrante da zona costeira. Considerando a clássica definição de Pritchard (1967) – *o estuário é um corpo de água costeiro, semifechado, que possui uma ligação livre ao mar e dentro da qual a água do mar se dilui progressivamente com a água doce proveniente da drenagem terrestre* – o principal fenômeno físico da região estuarina é a mistura entre a água salgada e a água doce.

A mistura estuarina apresenta, por um lado a descarga de água doce continental e do outro a ação de ondas e marés com água salgada. Esta dinâmica gera um gradiente de salinidade, do continente em direção ao oceano. Se a descarga continental diminui, a ação marinha se acentua, aumentando a área estuarina ou a concentração de sais na região interior do estuário. Se a descarga continental aumenta, a mistura se desloca em direção ao oceano.

De acordo com o censo de 2010, 24% da população brasileira vive na zona costeira, o que significa aproximadamente 45 milhões de pessoas. Grandes centros industriais, atividade portuária, processamento mineral e de celulose, estaleiros e fazendas de camarão; assim como alguns setores industriais, como químico e petroquímico também se concentram nessa região (Jablonski & Filet, 2008).



**Figura 1.** A zona costeira: contínuo continente – oceano, incluindo as bacias hidrográficas e os estuários.

**Figure 1.** The Coastal Zone: continuum land – ocean, including watersheds and estuaries.

As atividades humanas necessitam de recursos hídricos para sua efetivação. A principal fonte desses recursos é a bacia hidrográfica. Ao utilizar os recursos hídricos da bacia, a ação antrópica diminui o fluxo de água doce afluente ao estuário. A retirada de água à montante na bacia condiciona uma maior intrusão do mar no continente. Quanto mais o mar adentra no continente, menor é a disponibilidade de água doce na zona costeira, que devido à mistura com a água do mar torna-se salgada – salobra. Se esse processo se tornar contínuo, danos permanentes podem ser causados para a irrigação e para os ecossistemas especializados. Também o abastecimento de água das populações costeiras pode ficar comprometido. Desta forma, a salinidade, como uma característica essencial dos ambientes estuarinos, pode ser compreendida como um indicador numa relação de causa e efeito, que conecta as atividades a montante da bacia aos efeitos ecológicos ao longo da costa (Habib *et al*, 2007).

Justifica-se, portanto, entre os vários elementos que podem ser utilizados como indicadores do funcionamento dos ambientes costeiros e estuarinos, utilizar a salinidade. Esta cumpre uma função importante na distribuição das comunidades de flora e fauna e é determinante para o estabelecimento de atividades econômicas dependentes de recursos hídricos, onde os usos podem ser limitados devido à salinidade.

## 2. GESTÃO INTEGRADA DOS RECURSOS HÍDRICOS NA ZONA COSTEIRA BRASILEIRA

Observando a influência marinha nos sistemas hídricos continentais, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) – Lei Nº 9.344/1997, no artigo terceiro prevê que a gestão dos recursos hídricos deve ser integrada com a das zonas costeiras e dos sistemas estuarinos. Entretanto, apesar das relações físicas funcionarem de forma contínua e integrada na região costeira – estuarina, expressa principalmente através da dinâmica da salinidade, observa-se que os instrumentos de políticas públicas como a de Recursos Hídricos e a de Gerenciamento Costeiro ainda

estão fragmentadas e com baixa efetividade em seus resultados.

O aumento da intrusão salina nos estuários e bacias hidrográficas costeiras já está sendo detectado em diversas partes do Brasil. Na foz do Rio São Francisco (nordeste), a diminuição da vazão afluente tem aumentado a salinização costeira, causando problemas para o abastecimento, agricultura e pesca (Brandini, 2008).

Na bacia do Rio Tramandaí (RS), durante o verão de 2003/2004, o efeito decorrente das atividades antrópicas associadas a uma seca pluviométrica, limitou a captação de água bruta para abastecimento e irrigação, quando houve um rebaixamento anormal dos níveis das lagoas costeiras, proporcionando maior entrada do mar (Loitzenbauer, 2010).

No processo brasileiro de gestão integrada de recursos hídricos na zona costeira, surgem dificuldades, como por exemplo, as diferentes unidades geográficas de gestão. Na zona costeira, o gerenciamento não respeita o funcionamento dos sistemas físicos, utilizando os limites municipais como unidade de gestão. A gestão de recursos hídricos utiliza como unidade territorial as bacias hidrográficas, mas não considera a influência marinha na zona costeira, no estuário. Tem-se aí o foco principal do problema aqui estudado, ou seja, instâncias administrativas separadas, porém sob a ótica física do sistema são elementos indissociáveis (bacia hidrográfica, estuário e zona costeira).

Por isso, é interessante introduzir o conceito de gestão de estuários, tratando da área de influência salina dentro do continente, que é afetada tanto pelos usos na bacia hidrográfica quando pela ação marítima. Neste contexto, a salinidade torna-se o principal indicador da dinâmica água doce – água salgada; devendo ser incorporada ao processo de gestão.

A gestão de estuário também engloba a área externa ao continente, onde a ação da bacia hidrográfica afeta o oceano. Em rios com grandes vazões, como o Amazonas, a área estuarina está totalmente localizada na plataforma continental,

não havendo intrusão salina na foz (Nicolodi *et al.*, 2009). Entretanto, o foco do presente trabalho é a ação oceânica no continente e como esta pode afetar a disponibilidade hídrica continental. Portanto, não é considerada a área estuarina externa.

Na gestão de estuários salienta-se a figura do comitê de bacia como órgão integrador. No comitê há a participação do poder público (municipal, estadual e federal), dos usuários das águas e das organizações da sociedade com ações na área de recursos hídricos, permitindo a discussão dos conflitos e arbitragem de soluções, e integrando as políticas públicas que tem com a água forte interlocução.

As questões referentes à interface entre os recursos hídricos e o gerenciamento costeiro devem ser discutidas no comitê, que posteriormente encaminha recomendações específicas as prefeituras envolvidas, para colocar em práticas diretrizes de competência municipal, como o plano de gerenciamento costeiro. A importância da articulação entre a prefeitura e o comitê se reflete também no ordenamento territorial, onde a prefeitura é responsável pelas licenças ambientais locais e pode limitar a instalação de empreendimentos em função da disponibilidade hídrica na bacia. A interação do comitê com os outros entes administrativos (estados e governo federal) também é essencial, pois a dominialidade sobre os recursos hídricos no Brasil é estadual ou federal (no caso de rios trans-fronteiriços ou que banhem mais de um estado). Desta forma, a outorga de uso da água e o licenciamento ambiental de projetos com influência sobre a qualidade e quantidade dos recursos hídricos é responsabilidade estadual ou federal. Em cada caso, a esfera responsável deve estar presente no comitê.

Se tratando da gestão de estuários, as normas legais a serem aplicadas são a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC). Os dois últimos se destacam na problemática da diminuição da disponibilidade de água doce na zona costeira devido à ação marinha.

## 2.1 Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH)

A principal diretriz legal para a gestão de água no Brasil é a PNRH, estabelecida pela Lei Federal Nº 9.433 de 1997. Esta apresenta vários instrumentos de gestão (Tabela 1), visando à manutenção da qualidade, quantidade e temporalidade dos fluxos de água doce.

Um importante instrumento é o Plano Nacional de Recursos Hídricos, que já foi aprovado e vem sendo aplicado, num processo flexível, dinâmico e contínuo, contemplando as necessidades das macrobacias nacionais. O plano de recursos hídricos é a maior ferramenta de gestão, onde são propostas medidas específicas e diretas, objetivos a serem alcançados e metas a serem atingidas.

Considerando as particularidades de uma bacia hidrográfica costeira, no âmbito do Plano Nacional há o Programa de Gestão de Recursos Hídricos Integrados ao Gerenciamento Costeiro, incluindo áreas úmidas, ainda em fase de elaboração. Este programa deve apresentar diretrizes específicas e considerações sobre como os outros instrumentos da PNRH devem ser aplicados na região costeira considerando suas particularidades físicas.

Nos planos estaduais de recursos hídricos detalhamentos devem ser feitos incorporando a perspectiva da gestão integrada nas unidades hidrográficas costeiras presentes no território estadual.

Os planos de bacias hidrográficas, que contemplam as particularidades de cada bacia, também devem ser elaborados a partir de diretrizes específicas para a zona costeira. Esses planos devem ser integrados com os planos de gerenciamento costeiro dos municípios, visando corrigir as limitações oriundas das diferentes esferas administrativas.

A outorga de uso de recursos hídricos é um instrumento útil para definir os limites que cada usuário tem para utilizar o recurso dentro de cada bacia. Aplicando a outorga em bacias costeiras, pode-se utilizar como critério para estabelecimento dos limites a vazão mínima que deve ser mantida no exutório para limitar a intrusão salina, para que esta não comprometa a disponibilidade hídrica.

Outro instrumento com aplicação prática na zona costeira é o enquadramento dos corpos de água de acordo com seu uso preponderante. Atualmente os critérios do enquadramento compreendem as diretrizes da Resolução Nº 357 de 2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). O objetivo deste instrumento é estabelecer critérios de qualidade de água considerando os usos que a comunidade quer ou vem dando para o corpo de água. Assim, usos mais nobres, como recreação de contato primário e abastecimento público, possuem uma classe cujos limites dos parâmetros são mais restritivos.

Na referida resolução de enquadramento dos corpos de água, o ambiente é dividido em: água doce, salobra e salgada; e dentro dessas classes é feita a subdivisão das classes de uso.

**Tabela 1.** Instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos.

**Table 1.** Instruments of the National Water Resources Policy.

Instrumentos da PNRH
I – Planos de Recursos Hídricos;
II – Enquadramento dos corpos de água em classe, segundo os usos preponderantes da água;
III – Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos;
IV – Cobrança pelo uso de recursos hídricos;
VI – Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.



Porém, não há distinção entre os parâmetros analisados para água doce, salobra ou salgada, sendo utilizados os mesmos— oxigênio dissolvido,  $\text{DBO}_5$ , etc. — para todas as divisões. Numa área costeira, a salinidade reflete a dinâmica ambiental e limita alguns usos da água, devendo ser, portanto, monitorada para as classes de águas salobras. A introdução da salinidade como um parâmetro visa manter um *padrão*, ou seja, um determinado intervalo de salinidade que represente a dinâmica natural, e que não comprometa os usos da água e os ecossistemas especializados.

## 2.2 Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro

O Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC) prevê instrumentos de gestão no Decreto Federal Nº 5.300 de 2004 (Tabela 2). Através desses instrumentos, a gestão costeira é desenvolvida de forma integrada, descentralizada e participativa, sendo a responsabilidade de formulação e implementação dos planos regionais e locais de gerenciamento costeiro atribuída aos estados e municípios, respectivamente.

O principal instrumento de gerenciamento costeiro, considerando a interface com os recursos hídricos, é o zoneamento ecológico econômico costeiro (ZEEC). O uso do solo traduz como o homem ordena o território, que atividades serão desenvolvidas e implantadas. Numa bacia costeira, o ZEEC define em que locais da bacia podem ser exercidas e instaladas diversas atividades econômicas em função do potencial poluidor, dos resíduos gerados, do consumo de recursos naturais, entre outros. Considerado o problema do aumento da salinidade dentro do continente devido à maior retirada de água doce à montante, o uso do solo deve ser feito de maneira a limitar os usos que demandem grande quantidade de água, e que, se implantados na bacia possam comprometer a disponibilidade de água doce.

O ZEEC também pode ser aplicado em conjunto com o enquadramento dos corpos de água. No enquadramento, podem-se definir os valores máximos de salinidade no estuário. Através do zoneamento, determinam-se as atividades que podem ser instaladas nas diferentes zonas,

em função da demanda de água. A dinâmica da salinidade é a ferramenta necessária para estabelecer a conexão entre o volume de água demandado para uma determinada atividade e a disponibilidade hídrica — que pode ser comprometida pela intrusão salina, respeitando as salinidades máximas permitidas no enquadramento.

## 2.3 Câmara Técnica de Integração da Gestão das Bacias Hidrográficas e dos Sistemas Estuarinos e da Zona Costeira (CTCOST)

Apesar da menção da necessidade de integração da gestão na PNRH de 1997, as discussões sobre efetivação da gestão integrada dos recursos hídricos e da zona costeira começaram em 2001, com a criação da Agência Nacional de Águas (ANA).

Entre os anos de 2001 a 2005, a questão da integração esteve em pauta nos principais fóruns de discussão do Brasil. Um desses foi o Fórum Nacional de Comitês de Bacia Hidrográfica, realizado em Gramado (RS) em 2004. Na plenária do evento foi aprovada a solicitação da criação de uma câmara técnica no âmbito do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), para contemplar a temática da integração entre os recursos hídricos e a zona costeira.

Em 2005, o Ministério do Meio Ambiente realizou o 1º Encontro Nacional Temático de Gestão Integrada de Bacias Hidrográficas e da Zona Costeira, com o objetivo de subsidiar uma metodologia de gestão integrada. Foram discutidas questões referentes aos instrumentos da PNRH e do PNGC, além de instrumentos da Política Nacional de Meio Ambiente (Lei Federal Nº 6.938 de 1981), como o Licenciamento Ambiental (Nicoldi *et al.*, 2009).

O resultado final deste evento foi criação da Câmara Técnica de Integração das Bacias Hidrográficas e dos Sistemas Estuarinos e Zona Costeira — CTCOST, a qual foi instituída em junho de 2005, pela Resolução Nº 51 do CNRH, com os seguintes objetivos:

- ✓ Integrar os instrumentos da PNRH e do PNGC;
- ✓ Analisar e propor ações para minimizar ou solucionar conflitos de uso de recursos hídricos na zona costeira e estuários;

**Tabela 2.** Instrumentos do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro.

**Table 2.** Instruments of the National Coastal Zone Management Plan.

Instrumentos da PNGC
I – Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro – PNGC;
II – Plano de Ação Federal da Zona Costeira – PAF;
III – Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro – PEGC;
IV – Plano Municipal de Gerenciamento Costeiro – PMGC;
V – Sistema de Informação do Gerenciamento Costeiro – SIGERCO;
VI – Sistema de Monitoramento Ambiental da Zona Costeira – SMA;
VII – Relatório de Qualidade Ambiental da Zona Costeira – RQA-ZC;
VIII – Zoneamento Ecológico Econômico Costeiro – ZEEC;
IX – Macrodiagnóstico da Zona Costeira.

- ✓ Propor intercâmbio técnico e interinstitucional entre os diferentes gestores.

Mesmo com pouco tempo de existência, a CTCOST tem discutido e trabalhado muito a questão da integração da gestão. O primeiro instrumento abordado foi o plano de recursos hídricos, através de uma proposta de resolução que incluía aspectos relevantes para a gestão de bacias hidrográficas costeiras, baseada na Resolução Nº 17 do CNRH, que define as normas gerais para a elaboração dos planos de bacia. A versão final dessa proposta foi aprovada pela CTCOST em outubro de 2007, faltando ser aprovada pelo CNRH.

Para que a proposta de resolução possa resultar em consequências práticas, foi também incluído um artigo que determina que, para a formulação de diretrizes para o enquadramento dos corpos de água, para outorga e para cobrança pelo uso de recursos hídricos, devem ser observadas as especificidades e limitações impostas por diferentes zonas de gestão. Foram criadas três zonas potenciais de interação, que foram baseadas em UNEP/MAP/PAP (1999), para servir como base para as medidas de gestão de uma bacia hidrográfica costeira (Tabela 3).

A principal zona para a gestão integrada é a Zona Crítica - ZCR, onde ocorre a interação entre o mar, a bacia e as atividades humanas. Nesta zona, é que será implementado o ordenamento dos usos dos recursos estuarinos, além de identificados e analisados os principais conflitos que possam comprometer a integridade do ecossistema estuarino e do ambiente adjacente. A ZCR é envolta pela Zona Dinâmica - ZD, que compõem a transição entre os sistemas terrestres e marinhos que possam influenciar a integridade e os usos dos recursos na ZCR. A Zona de Influência - ZI abrange toda a área de potencial interação, ou seja, a totalidade da bacia de drenagem e o mar territorial.

A idéia de zonas para a gestão integrada é muito boa, vindo a suprir a lacuna criada pelas diferentes unidades territoriais. Entretanto, ao utilizar as referidas zonas na gestão integrada de recursos hídricos e da zona costeira, surgem dilemas.

A primeira impressão é de que esta divisão é mais pertinente ao gerenciamento costeiro (no sentido de *costa, orla marítima*) do que a gestão de recursos hídricos. Ao aumentar a área da bacia hidrográfica até o limite do mar territorial, a gestão dos recursos hídricos fica muito mais complexa. Além disso, questiona-se sobre como regulamentar a região marinha considerando que aí existem muitos fatores (marés, ondas, fatores meteorológicos, etc.) que estão fora do controle humano.

Dificuldades levaram o CNRH a apresentar resistência à aceitação dos termos originais da proposta da CTCOST. Duas foram as razões principais. A primeira, por parte da ANA, foi o receio que a resolução de integração venha a acarretar em custos adicionais para a mesma, e talvez, também para os estados. A alegação é que a área estuarina, principalmente marinha, está fora da área de competência do Sistema Nacional de Recursos Hídricos. Assim, a ANA entende que nestes ambientes as atividades não são passíveis de outorga, por exemplo, e muito menos cobrança pelo uso da água, nem diluição de efluentes. Em segundo lugar, o setor elétrico associado ao industrial (Confederação Nacional da Indústria - CNI), não deseja que esta integração venha a causar problemas para a operação de reservatórios (informação verbal<sup>1</sup>).

Assim, a CTCOST, ao reavaliar a proposta de resolução, retira a definição de zonas de influência e reencaminha a proposta ao CNRH para aprovação em dezembro de 2009. Entretanto, não houve aceite por parte do CNRH, que retirou a proposta de pauta alegando a necessidade de verificação sobre a ingerência do Sistema Nacional de Recursos Hídricos na área costeira e as conotações correlatas. Esta decisão foi capitaneada pelo setor industrial e de energia.

Apesar da resolução que estabelece as diretrizes adicionais para elaboração de planos de bacia em zonas costeiras ainda

1 - Conversa informal com o Prof. Dr. Luis Fernando de Abreu Cybis, Presidente da CTCOST, em Porto Alegre, em junho de 2009.

**Tabela 3.** Zonas de gestão para uma bacia hidrográfica costeira.

**Table 3.** Management zones for a coastal watershed.

Zona	Definição	Delimitação
<b>Zona Crítica – ZCR</b>	Representa ao próprio estuário, caracterizada pela mistura de água e sedimentos fluviais e marinhos;	Gradiente de salinidade e pluma estuarina;
<b>Zona Dinâmica – ZD</b>	Área circunvizinha a ZCR sujeita a influência de processos naturais e atividades humanas sobre as características e recursos estuarinos e marinhos. Engloba ecossistemas ripários, áreas úmidas, sistemas lagunares e segmentos terrestre e marinho da orla costeira;	APPs* fluvio-marinhas e áreas úmidas delimitadas nas áreas dos municípios que compõem a ZC. Orla marítima como definida pelo Decreto Federal N.º 5.300/2004;
<b>Zona de Influência – ZI</b>	É composta pela bacia hidrográfica adjacente e pelo mar territorial, que exercem influência sobre as ZCR e ZD.	Bacia Hidrográfica e Mar Territorial.

\*APP = Área de Proteção Permanente.

não estar aprovada, um segundo instrumento da PNRH está em estudo pela CTCOST, a outorga de direito de uso de recursos hídricos em bacias costeiras. Questionamentos devem ser levantados sobre como deve ser feita a outorga em áreas sujeitas à intrusão salina e em estuários, situações ainda não regulamentadas.

A CTCOST tem discutido e estudado os instrumentos da PNRH em face à zona costeira. A problemática da limitação da disponibilidade hídrica na zona costeira devido à ação marinha também deve ser levantada, pois esta câmara visa propor subsídios para integrar a gestão. Entretanto, ainda falta suporte institucional e político à CTCOST, para que as proposições sejam efetivadas e se tornem normas gerais para a gestão no Brasil.

### 3. METODOLOGIA

O presente estudo visa testar a seguinte hipótese: *A salinidade como indicador da estrutura dos estuários é uma ferramenta útil para a gestão de recursos hídricos na zona costeira?*

Para testar este pressuposto, utilizou-se um balanço de massa, onde a substância em questão é o sal, aplicado em um estuário unidimensional. Os modelos de balanço de massa permitem estabelecer a relação física entre o aporte líquido de água doce e a salinidade, com eficiência computacional e fácil implementação (Babson, *et al.* 2005; Habib *et al.* 2007).

O balanço de massa foi aplicado em um estuário hipotético. Posteriormente as equações apresentadas podem ser incorporadas a um modelo computacional, agregando as características particulares de um estuário real.

Com o resultado do balanço de massa subsídios são propostos visando à gestão de recursos hídricos na zona costeira, em face à realidade brasileira, a PNRH e PNGC.

#### 3.1 Representação Matemática da Dinâmica da Salinidade

A representação do processo de mistura estuarina parte da combinação da equação da continuidade (ou conservação de massa) (equação 1) e da equação de conservação de sal (equação 2), num estuário unidimensional esquematizado conforme a Figura 2.

onde  $u$  (m/s) é a velocidade média da água na seção (Figura

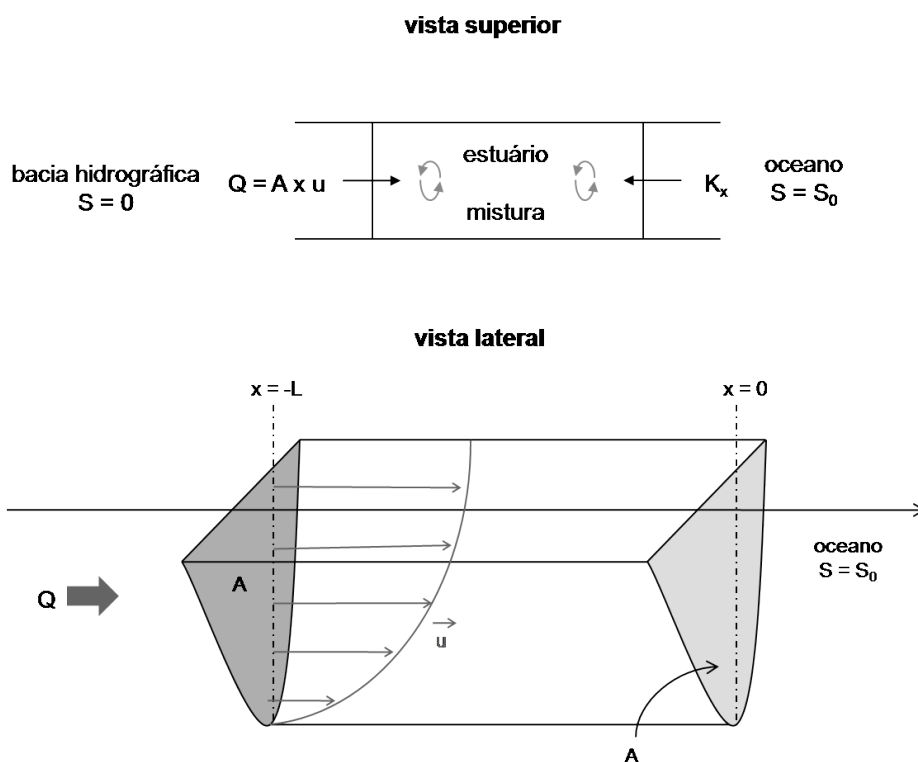
$$\frac{\partial(u.A)}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(S)}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial S}{\partial x} = \left[ K_x \cdot \frac{\partial^2 S}{\partial x^2} \right] \quad (2)$$

2);  $x$  (m) é a distância do longo do eixo do estuário;  $A$  é a área da seção transversal;  $t$  (s) é o tempo;  $S$  (‰) é a salinidade e  $K_x$  ( $m^2/s$ ) é o coeficiente de dispersão longitudinal.

Na aplicação das equações 1 e 2, consideram-se algumas simplificações, que visam minimizar variações pontuais ocorrentes devido às marés, gradientes de densidade associados, etc. (Miranda *et al.*, 2002):

- O estuário é tipo bem misturado, ou seja, não há gradientes verticais de salinidade;



**Figura 2.** Exemplificação do ambiente utilizado no balanço de massa para a salinidade, visão superior e lateral.

**Figure 2.** Example of the environment used to the salinity mass balance, front and transversal views.



- A qualidade de água é descrita como uma condição média de vários ciclos de maré, ou seja, não se considera as variações relativas a cada ciclo de maré;
- O estuário está numa condição estacionária, ou seja, a área e os fluxos analisados não variam no tempo, são constantes.

Entretanto, o estuário ideal, com seção transversal, vazão e profundidade constante, raramente é encontrado na natureza. Num contexto de compreensão da dinâmica de um ambiente natural, estas simplificações não são apropriadas. Um procedimento simples aproxima esse estuário ideal em um estuário real: dividir o estuário numa série de segmentos, em cada qual é aplicado o balanço de massa, assumindo que não há gradiente de salinidade significativo dentro de cada segmento.

Neste trabalho, é utilizado um estuário hipotético composto por apenas um segmento, visto que o objetivo é validar a metodologia. Na aplicação em uma situação real, o mesmo procedimento pode ser aplicado, repetidamente no número de segmentos em que o estuário é dividido. Thomman & Muller (1987) sugerem princípios a serem observados na segmentação de um estuário ou baía.

Assim, em condições em que  $\frac{\partial A}{\partial t} = 0$ , a equação da continuidade (equação 1), simplifica-se em:

$$\frac{\partial uA}{\partial x} = 0 \quad (3)$$

O que representa que  $uA = \text{constante} = Q$ . Logo,  $u = Q/A$ .

A equação da conservação de sal (equação 2), considerando  $\frac{\partial S}{\partial t} = 0$ , pois a salinidade é um parâmetro conservativo, e a equação 3 ( $u = Q/A$ ), passa a ser:

$$K_x \cdot \frac{\partial^2 S}{\partial x^2} - \frac{Q}{A} \cdot \frac{\partial S}{\partial x} = 0 \quad (4)$$

A equação 4 considera, a montante o fluxo de água doce que entra no estuário, diluindo a salinidade,  $\left(\frac{Q}{A} \cdot \frac{\partial S}{\partial x}\right)$ . Através da vazão ( $Q$ ) são inseridas no sistema as componentes do balanço hídrico:

$$Q = q + P - ETP - d \quad (5)$$

onde  $Q$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) é a vazão afluyente ao estuário,  $q$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) é a vazão inicial,  $P$  é a precipitação (tradicionalmente medida em mm, transformada para  $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $ETP$  é a evapotranspiração (medida em mm, transformada para  $\text{m}^3/\text{s}$ ) e  $d$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) é a demanda de água.

À jusante é computada a entrada de água salgada que aumenta a concentração da salinidade:

$$\left(K_x \cdot \frac{\partial^2 S}{\partial x^2}\right)$$

O coeficiente  $K_x$  incorpora as variações do fluxo de maré, os efeitos do gradiente de densidade gerado pela salinidade, e outros gradientes de velocidade na direção  $x$  (ao longo do eixo do estuário) – longitudinal.

Existem vários métodos de estimar este coeficiente, um deles é o uso da salinidade do estuário como traçador (Thomman & Mueller, 1987):

$$K_x = u \cdot (x_2 - x_1) \div \ln(S_2 - S_1) \quad (6)$$

onde  $u$  ( $\text{m/s}$ ) é a velocidade do adveção líquida;  $x$  ( $\text{m}$ ) é a distância do oceano e  $S$  ( $\text{‰}$ ) é a salinidade. Com dados de salinidade em vários pontos do estuário, plota-se salinidade vs. distância numa escala semi-logarítmica. Alternadamente, seleciona-se dois pontos ( $S_1, x_1$ ) e ( $S_2, x_2$ ) na exata linha que melhor representa os dados de salinidade na escala semi-log. Com estes pontos aplica-se a equação 6 para obter o  $K_x$  (Thomman & Mueller, 1987).

A equação 4 deve ser integrada em relação a um sistema de coordenadas  $Ox$  orientado positivamente estuário abaixo, onde  $x = -L$  e  $x = 0$  correspondem ao limite interior da zona de mistura de água doce e água salina e a boca do estuário, respectivamente. Com esta orientação a componente de velocidade gerada pela descarga fluvial é positiva.

Em  $x = -L$ , a salinidade e o produto  $K_x \cdot \frac{\partial S}{\partial x}$  são iguais a zero e a constante de integração também é nula. A solução da equação diferencial 4 é:

$$S = S_0 \cdot \exp\left(\frac{Q \cdot x}{A \cdot K_x}\right) \quad (7)$$

Este resultado é a previsão da variação longitudinal discreta e estacionária da salinidade em estuários bem misturados. Com a equação 7 pode-se calcular a salinidade em algum ponto do estuário ( $S$ ) (determinando a distância  $x$  do oceano) ou o contrário, a qual distância do oceano ( $x$ ) obtém-se um determinado valor de salinidade (Figura 2). Variações da demanda de água ou de condicionantes meteorológicas (precipitação e evapotranspiração) podem ser simuladas através do  $Q$  (na equação 5 – do balanço hídrico).

### 3.2 Aplicação do Balanço de Salinidade

Para exemplificar a metodologia proposta, que descreve a dinâmica da salinidade, cria-se um estuário hipotético.

Para que os parâmetros do estuário sejam coerentes, esses foram determinados com base nas características da

região estuarina da bacia hidrográfica do Rio Tramandaí, RS (SEMA, 2008). Salienta-se que a utilização desses dados não tem como intuito a representação do referido estuário, apenas fornecer valores aceitáveis e condizentes para os parâmetros utilizados (Tabela 4).

**Tabela 4.** Parâmetros do estuário hipotético.

**Table 4.** Parameters of the hypothetical estuary.

Parâmetro	Valor
Área da bacia afluyente	1.000km <sup>2</sup>
Profundidade média	1m
Largura do estuário	200m
Vazão inicial	35m <sup>3</sup> /s
Coeficiente dispersão de maré	150m <sup>2</sup> /s

Como a Resolução Nº 357 do CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente do Brasil) estabelece que a água doce apresenta salinidade abaixo de 0,5‰, defini-se a salinidade em  $x = -L$  como sendo 0,5‰. Assim, utiliza-se:

- $S = 0,5‰$ ,
- $S_0$  (salinidade na foz do estuário) = 35‰,
- $q = 35\text{m}^3/\text{s}$ ,
- Precipitação de 1520 mm/ano e Evapotranspiração de 790 mm/ano,
- $A = 200\text{m}$ ,
- $K_x = 150\text{m}^2/\text{s}$ ,

para aplicar a equação 7 numa situação em que não há demanda antrópica.

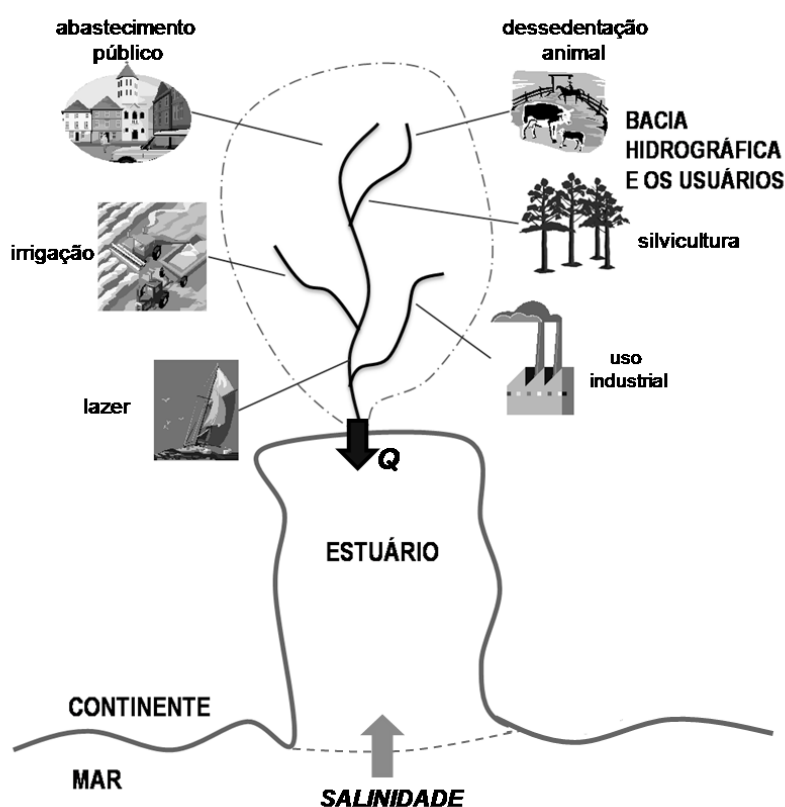
Os valores de precipitação e evapotranspiração convertidos de mm/ano para m<sup>3</sup>/s, utilizando a área da bacia, e posteriormente aplicados na equação 5. Considerando a demanda ( $d$ ) inexistente, a vazão afluyente  $Q = 58,15\text{m}^3/\text{s}$ .

Assim:

$$0,5 = 35 \cdot \exp\left(\frac{58,15 \cdot x}{200 \cdot 150}\right)$$

E  $x = -2192\text{m}$  que representa o  $-L$  da Figura 2 e corresponde à influência da salinidade ou limite da zona de mistura estuarina.

Deve-se considerar que os usuários da bacia hidrográfica, ao retirar água dos rios e córregos, estão modificando a vazão de água doce afluyente (Figura 3), alterando a dinâmica da salinidade.



**Figura 3.** A bacia hidrográfica e os usuários da água.

**Figure 3.** The watershed and the water users.

Assim, numa situação onde a vazão afluyente  $Q$  diminuir devido ao aumento na demanda de água na bacia ou diminuição da precipitação, pode-se simular qual será o efeito dessa variação na dinâmica da salinidade, ou seja, na zona de mistura.

Se houver um uma demanda de água de  $20\text{m}^3/\text{s}$  na situação acima, a vazão afluyente fica  $Q = 58,15 - 20 = 15\text{m}^3/\text{s}$ . A equação resultante é:

$$0,5 = 35 \cdot \exp\left(\frac{38,15 \cdot x}{200 \cdot 150}\right)$$

O resultado é  $x = -3341\text{m}$ . Com o acréscimo de uma demanda de água de  $20\text{m}^3/\text{s}$ , a influência da salinidade aumenta 52,4%. Neste caso, observa-se que uma demanda adicional de água altera a configuração do balanço de salinidade na área estuarina, acarretando impactos ambientais nesta região.

Exemplos como esse podem ser feitos, variando a demanda antrópica – abastecimento público, irrigação, uso industrial, dessedentação animal, etc. – ou as condições climáticas – precipitação e evapotranspiração – através da variável  $Q$ , utilizando a equação 5 (do balanço hídrico).

### 3.3 Cenários Simulados

Utilizando como base as premissas descritas acima, foram testados alguns cenários em que as condições padrão foram modificadas, visando representar a dinâmica da salinidade em função da variação das condições ambientais e antrópicas. Os cenários traçados foram:

- ✓ **Marco referencial:** precipitação de 1520 mm/ano, evapotranspiração de 790 mm/ano, demanda de água total de  $12,4\text{m}^3/\text{s}$  (abastecimento  $1\text{m}^3/\text{s}$  e irrigação  $11,4\text{m}^3/\text{s}$ ); coeficiente de dispersão de longitudinal de  $150\text{m}^2/\text{s}$  e salinidade na saída do estuário 35‰. Esta é a condição de referência, que serve como base para a criação dos outros cenários.
- ✓ **Cenário 1:** diminuição de 25% da precipitação; mantidos todos os outros fatores iguais;
- ✓ **Cenário 2:** aumento de 25% na evapotranspiração; mantidos todos os outros fatores iguais;

- ✓ **Cenário 3:** mudanças no uso do solo, aumentando a demanda por água para irrigação em 50% (de  $11,4\text{m}^3/\text{s}$  para  $17,1\text{m}^3/\text{s}$ ).

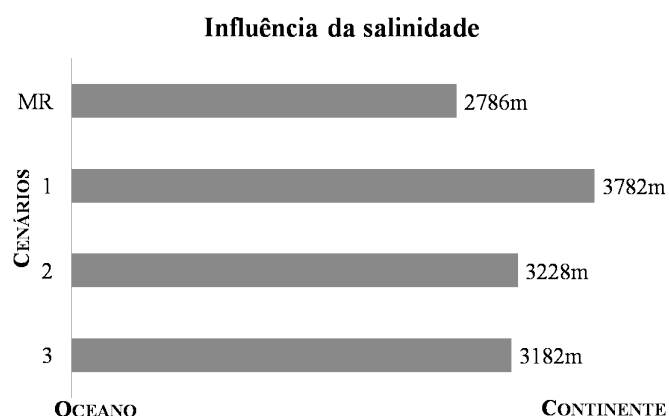
Com base no marco referencial, uma comparação é feita com os cenários futuros. Os resultados são interpretados e subsídios são propostos à luz dos instrumentos de gestão de recursos hídricos, bem como os de gerenciamento costeiro. Os instrumentos funcionam como regras administrativas e de regulação, que permitem aos gestores de um ambiente estuarino controlar as interações físicas e antrópicas.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Resultados Gerais

No estuário hipotético em questão, a situação presente foi considerada como marco referencial onde os usuários estão adaptados à utilização de água a partir deste cenário. Também o ecossistema está bem adaptado à mistura entre a água doce e a salgada.

Utilizando o modelo de balanço de massa proposto, no cenário do marco referencial a salinidade de 0,5‰ é atingida a 2786m do oceano. Para cada cenário há uma variação da influência da salinidade para dentro do continente, devido à diminuição da vazão afluyente de água doce no estuário (Figura 4 e Tabela 5).



**Figura 4.** Cenários versus distância da influência da salinidade adentro do continente (em metros).

**Figure 4.** Scenarios versus landward salinity influences (in meters).

**Tabela 5.** Resultados para os diferentes cenários.

**Table 5.** Results for the different scenarios.

Cenários	Situação	Vazão afluyente ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Distância da foz em que se encontra a salinidade 0,5‰ (m)
MR		45,75	2786
1	25% menos precipitação	33,70	3782
2	25% mais evapotranspiração	39,49	3228
3	Aumento de 50% na demanda para irrigação	40,05	3182

Os dois cenários em que houve maior influência salina foram de mudanças nas condições climáticas: diminuição da precipitação, a até 3782m e aumento da evapotranspiração, a até 3228m. O cenário de aumento da demanda de irrigação apresentou intrusão salina a até 3182m.

Os usuários de recursos hídricos possuem um limiar de salinidade o qual pode suportar. No caso do abastecimento público, se o limiar de 1‰ (Organização Mundial da Saúde) for superado, um sistema de dessalinização será necessário para tornar a água potável, o que torna o tratamento de água mais caro e trabalhoso. Para irrigação, muitas vezes as culturas possuem certa tolerância à salinidade, no caso do arroz, por exemplo, que pode tolerar até 2,5‰, porém o solo não. Devido à contínua evaporação da água, a concentração de sais no solo aumenta gradativamente. A planta desenvolvida em solo salino sofre com déficit hídrico e com o efeito tóxico do excesso de íons (Marcondes & Garcia, 2009).

Com o aumento da salinização, a terra pode se tornar improdutiva, com o solo degradado, e ser abandonada. A dessedentação animal não pode ser realizada com água salobra (salinidade acima 0,5‰) e o uso industrial também pode ser limitado devido à salinidade.

De forma a explicitar como o modelo proposto se aplica a gestão integrada, supõem-se que há uma captação de água para abastecimento público e irrigação no estuário, distante 3km do oceano. Em função da restrição à salinidade destes usos, a salinidade neste ponto não pode ultrapassar 0,5‰. Todos os cenários de escassez hídrica apresentam intrusão salina a mais de 3km da foz. Os instrumentos previstos na PNRH e PNGC podem ser utilizados para gerir estes casos.

Para a simulação dos cenários, em cada situação apenas um fator condicionante do fluxo hídrico foi alterado. Várias combinações podem ocorrer, o que pode limitar a disponibilidade hídrica de modo muito mais extremo do que os cenários simulados. Entretanto, numa situação prática, todas as variações que estão afetando o local podem ser manipuladas para chegar a um cenário correspondente, e a partir daí estabelecer os limites de uso e os subsídios para a gestão integrada. Por exemplo, possivelmente em situações de seca a demanda de água para irrigação aumente, alterando de forma significativa a influência da salinidade.

## 4.2 Subsídios para a Gestão Integrada

Nos cenários testados, o principal conflito a ser gerenciado é a diminuição da disponibilidade do recurso hídrico, devido à intolerância do usuário a concentrações de salinidade superiores a um determinado limite.

Desta forma, com os resultados obtidos para os cenários, a primeira medida para o planejamento e gestão seria analisar os instrumentos das PNRH e PNGC e a aplicabilidade destes na área estuarina. Algumas medidas complementares muitas vezes são necessárias, visto a especificidade do ambiente costeiro, para a integração entre a bacia hidrográfica e a zona costeira.

### a) Medidas de controle da demanda

A outorga de uso de recursos hídricos pode ser aplicada na bacia costeira de maneira a limitar a demanda, mantendo uma determinada vazão mínima a jusante, no exutório, na entrada do estuário.

Se houver, no estuário hipotético analisado, um ponto de captação de água a 3km do oceano, em que a salinidade não pode ultrapassar 0,5‰, a partir das equações do balanço de salinidade, a vazão de permanência de água doce deve ser de 42,48m<sup>3</sup>/s. Com esta vazão final no exutório da bacia, depois de efetuado o balanço hídrico, obtém-se que a máxima vazão que pode ser retirada da bacia é de 19,33m<sup>3</sup>/s, numa situação meteorológica normal (sem grande diminuição na precipitação e/ou aumento da evapotranspiração) e sem variação no nível do mar. Essa é a vazão máxima outorgável nessa bacia costeira – 19,33m<sup>3</sup>/s, que deve ser distribuída entre todos os usuários da bacia.

Como medida de controle, o monitoramento da salinidade no estuário pode ser aplicado, a partir do enquadramento de corpos de água, adicionando a salinidade como um parâmetro a ser observado nas bacias hidrográficas costeiras. O mapeamento das salinidades máximas permitidas na área estuarina e na bacia hidrográfica adjacente serve como ferramenta para fiscalização. No caso hipotético, a salinidade máxima a 3km da foz é 0,5‰. Se a salinidade aumentar neste ponto, devem ser aplicadas restrições à outorga.

Em cada estuário/bacia costeira, o principal instrumento facilitador é o comitê de bacia. A importância dos comitês de bacia é indiscutível. Nos comitês é que o balanço de massa deve ser aplicado para descrever a dinâmica da salinidade local e estabelecidos os limites de outorga para que a intrusão salina não limite a disponibilidade hídrica.

Como a necessidade de água é função do uso do solo na bacia hidrográfica, o ordenamento territorial também deve considerar a demanda de água das atividades a serem instaladas. Isso pode ser possível através da integração entre o zoneamento ecológico-econômico costeiro (ZEEC), as licenças ambientais e a outorga em cada bacia. O comitê de bacia deve ser a instituição responsável por essa integração, propondo limitações ao uso do solo em função da dinâmica da salinidade, e encaminhando as propostas aos municípios.

No caso hipotético, os usuários de recursos hídricos na bacia devem utilizar o máximo de 19,33m<sup>3</sup>/s. O ZEEC deve prever que as atividades a se instalarem devem dividir esta vazão. A área destinada à agricultura é restringida em função da demanda de água. Considerando a necessidade de 2l/s/ha de água para irrigação – média utilizada no cultivo de arroz por inundação no sul do Brasil, com a demanda do cenário do marco referencial, a área de cultivo é 5700ha. Sendo uma bacia rural em que só há uso da água para agricultura de arroz, mantendo a demanda de abastecimento de 1m<sup>3</sup>/s, sobram 18,33m<sup>3</sup>/s para irrigação. Essa vazão permite um aumento da área irrigada em 3465ha, para 9165ha. O ZEEC deve contemplar uma área de 9165ha (ou 91,65km<sup>2</sup>) para irrigação, sendo as outras áreas da bacia destinadas à proteção ambiental ou outras atividades que não retirem água dos cursos d'água.

A cobrança pelo uso dos recursos hídricos pode ser um instrumento aplicável na bacia hipotética em questão. A cobrança da vazão retirada de água bruta é um meio de induzir um consumo consciente e observar o valor econômico da água. A cobrança pode incentivar: o usuário de irrigação a utilizar meios que utilizem menos água, como gotejamento e aspersão em detrimento de irrigação por inundação; o usuário



industrial a aplicar processos produtivos que utilizem menos água, etc. Este instrumento pode regular a vazão demanda na bacia, diminuindo a demanda de m<sup>3</sup>/ha para irrigação, permitindo maior área de cultivo ou a inclusão de novos usuários.

O comitê de bacia deverá analisar a necessidade da aplicação da cobrança pelo uso da água. A dinâmica da salinidade deve ser utilizada para auxiliar o processo, visando conter a influência salina no continente.

#### b) Outras medidas

Os cenários estudados de variações da precipitação / evapotranspiração causaram um aumento significativo na influência da salinidade adentro do continente, sendo assim, esses fatores não podem ser desconsiderados. Essas variações podem causar limitações hídricas, principalmente quando há sobreposição de variáveis: aumento da evapotranspiração e diminuição da precipitação, e aumento da demanda.

As variáveis meteorológicas / climáticas não podem ser controladas pelo homem, apenas pode-se adaptar-se as situações críticas. Entretanto, os cenários de diminuição em 25% da precipitação e de aumento em 25% da evaporação geram um aumento da intrusão salina maior do que o aumento em 50% da demanda para irrigação. Logo, as implicações das variáveis ambientais devem ser consideradas no processo de gestão.

O balanço de massa deve ser feito utilizando valores médios anuais de precipitação e evapotranspiração, que incorporam as pequenas variações interanuais. Contudo, se, em decorrência de mudanças climáticas, o regime de chuvas for alterado, todo o processo de gestão da demanda de água da bacia costeira deve ser revisto. No estuário hipotético analisado, se houver diminuição em 25% da precipitação média, a retirada de água da bacia a 3km do oceano deverá ser alterada para um ponto mais a montante, como a 4km do oceano. Cabe, também, ao comitê de bacia analisar essa questão.

## CONCLUSÕES

A aplicação proposta demonstrou que a dinâmica da salinidade pode representar o ambiente estuarino e a interação entre a os usos da água a montante e o oceano, podendo ser útil na gestão integrada e na avaliação da disponibilidade hídrica.

No estuário hipotético, os cenários serviram como base para o desenvolvimento de ferramentas de gestão que podem ser aplicados em bacias costeiras.

Na aplicação dos instrumentos da PNRH e do PNGC, a dinâmica da salinidade foi o elo entre os instrumentos existentes e as características peculiares das bacias costeiras.

Os instrumentos que demonstraram sintonia direta com a dinâmica da salinidade foram: o enquadramento dos corpos de água, o zoneamento ecológico econômico costeiro e a outorga de uso dos recursos hídricos. Para estes, a utilização da representação matemática é complementar e reforça a gestão integrada.

Em outros instrumentos, como a cobrança e os planos de recursos hídricos e de gerenciamento costeiro, a dinâmica da salinidade facilita a integração da gestão, ao introduzir o efeito marinho na bacia hidrográfica, o que é necessário, pois

a bacia forma um contínuo com o oceano. Entretanto, essa não é aplicada diretamente como os outros instrumentos já citados, mas como uma ferramenta auxiliar.

A exemplificação da dinâmica da salinidade possui limitações, como por exemplo, não considerar: o efeito do relevo – em que as cotas altimétricas aumentam em direção ao continente (dependendo de cada bacia específica), o tipo de mistura estuarina – pois considera o estuário como sendo bem misturado, morfologia do estuário – cuja forma pode ser irregular, ou as contribuições laterais. Mas a representação da metodologia se mostrou útil para a gestão. Modelagens matemáticas mais complexas, utilizando *softwares* específicos, são recomendadas na aplicação do método em situações reais de bacias costeiras.

É importante o estabelecimento de critérios específicos para cada região estuarina. A representação da dinâmica da salinidade deve ser aplicada em estuários reais, com suas particularidades, para que a metodologia proposta seja realmente validada.

Com a aplicação da metodologia, normas gerais para a integração da PNRH e do PNGC, podem ser propostas, assim como subsídios específicos para cada estuário, a serem aplicados e geridos a nível local (nos comitês de bacias e nos municípios).

## BIBLIOGRAFIA

- Babson, A.L.; Kawase, M.; MacCready, P. (2005) – Seasonal and Interannual Variability in the Circulation of Puget Sound, Washington: A Box Model Study. *Atmosphere-Ocean* (ISSN: 1480-9214), 44(1):29-45. (disponível em [http://www.prism.washington.edu/lc/babson\\_et\\_al\\_oa\\_2006.pdf](http://www.prism.washington.edu/lc/babson_et_al_oa_2006.pdf))
- Brandini, F. (2008) – A salinização costeira. *O Eco* (site de jornalismo ligado no meio ambiente). (disponível em <http://www.oeco.com.br/frederico-brandini/19110-oecod228680>)
- Habib, E.; Nuttle, W.K.; Rivera-Monroy, V.H.; Gautam, S.; Wang, J.; Meselhe, E.; Twilley, R.R. (2007) – Assessing Effects of Data Limitation on Salinity Forecasting in Barataria Basin, Louisiana, with a Bayesian Analysis. *Journal of Coastal Research*, 23(3):749-763. (DOI:10.2112/06-0723.1)
- Jablonski, S.; Filet, M. (2008) – Coastal management in Brazil – A political riddle. *Ocean & Coastal Management*, 51(7):536-543. (DOI:10.1016/j.ocecoaman.2008.06.008)
- Loitzenbauer, E. (2010) – *Interfaces da Gestão Integrada de Recursos Hídricos e da Zona Costeira: Uma aplicação na Bacia do Rio Tramandaí*. 128p., Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Marcondes, J.; Garcia, A.B. (2009) – Aspectos citomorfológicos do estresse salino em plântulas de arroz (*Oryza sativa* L.). *Arquivos do Instituto Biológico* (ISSN: 0020-3653), São Paulo, 76(2):187-194. (disponível em [http://www.biologico.sp.gov.br/docs/arq/v76\\_2/marcondes.pdf](http://www.biologico.sp.gov.br/docs/arq/v76_2/marcondes.pdf))
- Miranda, L.B.; Castro, B.M.; Kjerfve, B. (2002) – *Princípios de Oceanografia Física de Estuários*, 414p., Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil. (ISBN: 8531406757)



- Nicolodi, J.L.; Zamboni, A.; Barroso, G.F. (2009) – Gestão Integrada de Bacias Hidrográficas e da Zona Costeira: Implicações para a Região Hidrográfica Amazônica. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 9(2):9-32. (disponível em [http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-115\\_Nicolodi.pdf](http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-115_Nicolodi.pdf))
- Pritchard, D.W. (1967) - What is an estuary: Physical viewpoint. In: Lauff, G.H. (ed.), *Estuaries*, pp.3-5, American Association for the Advancement of Science, Washington, DC, EUA.
- SEMA (2008) – Relatório Anual da Situação dos Recursos Hídricos no Estado do Rio Grande do Sul: Edição 2007/2008. 284p., Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul (SEMA), Porto Alegre, RS, Brasil. (disponível em <http://www.sema.rs.gov.br/sema/html/doc/relatorio.pdf>)
- Thomann, R.V.; Mueller, J.A. (1987) – *Principles of Surface Quality Modeling and Control*. 644 p., Harper & Row Publishers, Nova York, EUA.
- UNEP/MAP/PAP (1999) – *Conceptual Framework and Planning Guidelines for Integrated Coastal Area and River Basin Management*. 78p., Priority Actions Programme, Split, Croácia (ISBN: 9536429276). (disponível em <http://www.pap-thecoastcentre.org/pdfs/ICARM%20Guidelines.pdf>)